

ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

1. Мимо остановки по прямой улице с постоянной скоростью проезжает грузовик. Через $\tau = 5$ с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением $a = 3$ м/с², и догоняет грузовик на расстоянии $S = 150$ м от остановки. Чему равна скорость грузовика v ? (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем уравнение движения грузовика и мотоцикла

$$x_{\Gamma} = v \cdot t;$$
$$x_{\text{М}} = \frac{a \cdot (t - \tau)^2}{2}.$$

Определим время встречи

$$S = \frac{a \cdot (t_{\text{В}} - \tau)^2}{2};$$
$$t_{\text{В}} = \tau + \sqrt{\frac{2S}{a}}; \quad t_{\text{В}} = 15 \text{ с.}$$

Определим скорость грузовика

$$v = \frac{S}{t_{\text{В}}}; \quad v = 10 \text{ м/с.}$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
2	Записано $S = \frac{a \cdot (t_{\text{В}} - \tau)^2}{2}$ либо аналог	1
	Найдено время движения мотоцикла до встречи	1
	Определена скорость грузовика	1

2. Груз массой $m = 4$ кг подвешен к укрепленному в лифте динамометру. Лифт начинает спускаться с верхнего этажа с постоянным ускорением. Сначала показания динамометра были равны $F = 38$ Н. Далее показания динамометра стали равны 40 Н. Перед торможением на первом этаже показания динамометра стали равны 44 Н. Чему равно и куда было направлено ускорение лифта a на всех этапах движения? (3 балла) Скорость лифта при равномерном движении равна $v = 2$ м/с. Весь спуск занял время $T = 23$ с. С какого этажа производился спуск? (3 балла) Высота этажа равна $h = 3$ м.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Определим силу тяжести груза $mg = 40$ Н.

В начале движения показания динамометра равны 38 Н, поэтому ускорение a_1 лифта направлено вниз. Определим ускорение в этом случае

$$F = m(g - a_1);$$
$$a_1 = g - \frac{F}{m};$$
$$a_1 = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

Время движения лифта при разгоне равно

$$t_1 = \frac{v}{a_1}; \quad t_1 = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ с.}$$

При разгоне лифт пройдет путь

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2}; \quad S_1 = 4 \text{ м.}$$

Далее лифт движется равномерно, так как показания динамометра равны силе тяжести. Ускорение лифта равно нулю.

При торможении перед остановкой на первом этаже ускорение лифта направлено вверх и равно

$$F_2 = m(g + a_2);$$
$$a_2 = \frac{F}{m} - g;$$
$$a_2 = 1 \text{ м/с}^2.$$

Время движения лифта при торможении равно

$$t_2 = \frac{v}{a_2}; \quad t_2 = \frac{2}{1} = 2 \text{ с.}$$

При торможении лифт пройдет путь

$$S_2 = \frac{v^2}{2a_2}; \quad S_2 = 2 \text{ м.}$$

Так как все время движения лифта $T = 23$ с, то время равномерного движения равно

$$t_3 = T - t_1 - t_2; \quad t_3 = 23 - 4 - 2 = 17 \text{ (с)}.$$

За это время лифт пройдет путь

$$S_3 = v \cdot t_3; \quad S_3 = 34 \text{ м.}$$

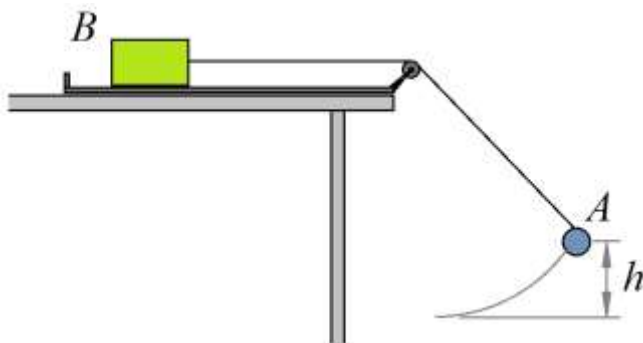
Таким образом при спуске лифт прошёл путь

$$S = 4 + 34 + 2 = 40 \text{ (м)}.$$

Так как высота этажа 3 метра, то лифт спускался с 14 этажа (в ответе получается число больше 13, значит в этом случае нужно округлять до ближайшего большего целого).

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
2.1	Записаны выражения, связывающие показания динамометра и ускорения для трех участков (по 0,5 за каждый)	1,5
	Определены направления и величины ускорения для трех участков (по 0,5 за каждый)	1,5
2.2	Найдены времена движения и пути, пройденные лифтом на трех участках (по 0,5 за каждый)	1,5
	Определен путь лифта	1



3. В установке, изображённой на рисунке, грузик A соединён перекинутой через блок нитью с бруском B , лежащим на горизонтальной поверхности трибометра, закреплённого на столе. Грузик отводят в сторону, приподнимая его на высоту h , и отпускают. Длина свисающей части

нити равна L . Какую величину должна превзойти масса грузика, чтобы брусок сдвинулся с места в момент прохождения грузиком нижней точки траектории? Масса бруска M , коэффициент трения между бруском и поверхностью μ . Трением в блоке, а также размерами блока пренебречь. (7 баллов)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Условие того, что брусок B сдвинется с места следующее: сила натяжения нити T превосходит максимальное значение силы трения покоя, равное силе трения скольжения μmg

$$T > \mu Mg.$$

Сила натяжения нити максимальна в тот момент, когда грузик проходит равновесное положение (нить вертикальна), ускорение груза a в этом случае направлено вертикально вверх и определяется вторым законом Ньютона

$$ma = T - mg.$$

Определим силу натяжения нити T

$$T = m(a + g).$$

Ускорение груза – это центростремительное ускорение, которое равно

$$a = \frac{v^2}{L}.$$

Скорость груза v в момент прохождения равновесия определим из закона сохранения энергии

$$mgh = \frac{mv^2}{2};$$

$$v^2 = 2gh.$$

Подставим всё в уравнение для T , получим

$$T = m \left(\frac{2gh}{L} + g \right).$$

Так как для того, чтобы груз сдвинулся с места, должно выполняться условие

$$T > \mu Mg,$$

то получаем неравенство

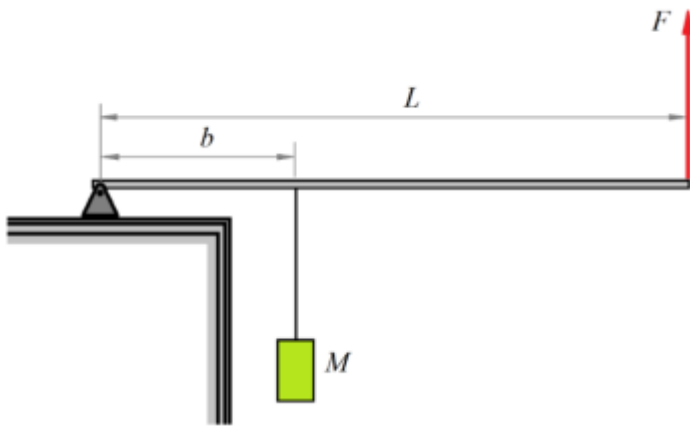
$$m \left(\frac{2gh}{L} + g \right) > \mu Mg.$$

Следовательно, для массы груза имеем

$$m > \frac{\mu ML}{2h + L}$$

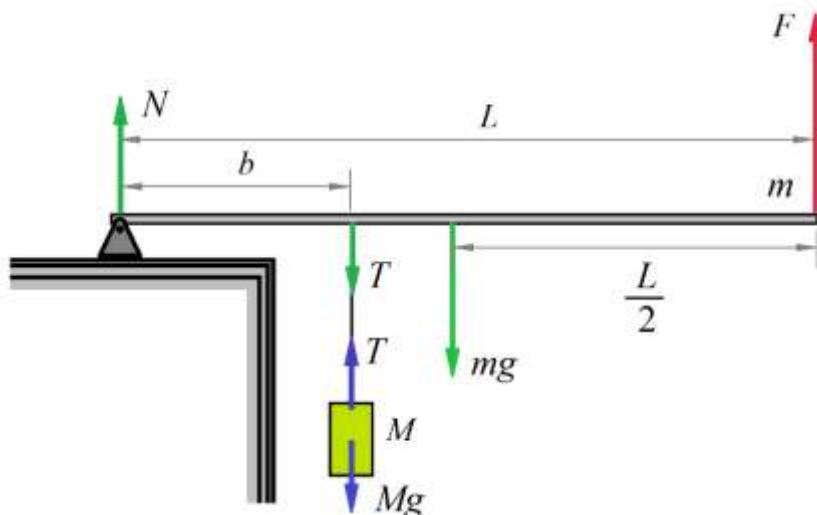
Критерии проверки:

	Содержание	Балл
3	$T > \mu Mg$	1
	Записан второй закон Ньютона для груза $T = m(a + g)$	1
	Есть выражение для центростремительного ускорения $a = \frac{v^2}{L}$	1
	Записан закон сохранения энергии, найдена скорость v	2
	Получено значение для массы m	2



4. Груз массой $M = 100$ кг удерживают на месте с помощью рычага, приложив вертикальную силу $F = 350$ Н (см. рисунок). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного массивного стержня длиной $L = 5$ м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно $b = 1$ м. Чему равна масса стержня m ? (4 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Расставим силы в системе и запишем условие покоя груза M и правило моментов для рычага относительно точки крепления к шарниру

$$T = Mg;$$

$$FL = Tb + mg \frac{L}{2}.$$

Из записанных соотношений определяем массу рычага m

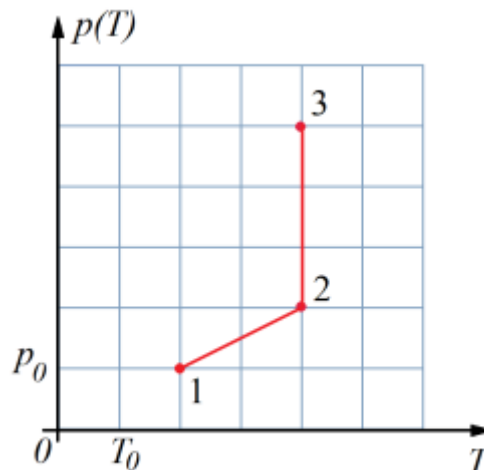
$$m = \frac{2F}{g} - \frac{2Mb}{L};$$

$$m = 30 \text{ кг.}$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
6	Сделан рисунок, расставлены силы	1
	Записано условие покоя груза	1
	Записано правило моментов для рычага	1
	Получен ответ для массы рычага 30 кг	1

5. Некоторая масса одноатомного идеального газа участвует в процессе 1 – 2 – 3, график которого изображён на рисунке в координатах $p - T$, где p – давление газа, T – абсолютная температура газа. Как изменяются объём газа V в ходе процесса 1 – 2 и 2 – 3? (3 балла) Плотность газа в состоянии 1 равна ρ . Определить плотность газа в состоянии 3. (4 балла)

**ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:**

Процесс 1-2 на диаграмме pT представляет прямую линию, выходящую из начала

координат, следовательно, это – изохорный процесс, объём не меняется.

В ходе процесса 2-3 объём газа уменьшается (температура постоянна, давление увеличивается).

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для состояния (1)

$$p_0 \cdot V_1 = \frac{m}{M} R \cdot 2T_0.$$

Плотность равна

$$\rho_1 = \rho = \frac{m}{V_1} = \frac{p_0 M}{2RT_0}.$$

Аналогичным образом определим плотность газа в состоянии (3)

$$5p_0 \cdot V_3 = \frac{m}{M} R \cdot 4T_0.$$

Плотность равна

$$\rho_3 = \frac{m}{V_3} = \frac{5p_0 M}{4RT_0} = \frac{5}{2} \rho_1 = 2,5\rho.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
5.1	Процесс 1-2 – прямая из начала координат, поэтому изохорный	1
	1-2 объём не меняется	1
	Процесс 2-3 объём газа уменьшается	1
5.2	Записано уравнение состояния для (1)	1
	Записано уравнение состояния для (2)	1
	Плотность ρ связана с параметрами в состоянии (1)	1
	Найдена плотность газа в состоянии (3)	1

6. В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещён столбик ртути длиной $L = 7,5$ см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально, запаянным концом вниз. На сколько градусов следует нагреть воздух в трубке, чтобы объём, занимаемый воздухом, стал прежним? Температура воздуха в лаборатории $T = 300$ К, а атмосферное давление составляет $p_{\text{атм}} = 750$ мм рт. ст. Плотность ртути $\rho = 13600$ кг/м³. (6 баллов)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Переведем давление из мм рт.ст. в паскалы: 750 мм рт.ст. = 102000 Па (если принять $g = 10$ м/с²).

При горизонтальном расположении трубки давление воздуха внутри трубки равно атмосферному.

При вертикальном расположении трубки давление воздуха внутри равно

$$p = p_{\text{атм}} + \rho gh.$$

Обозначим объём воздуха внутри трубки V , запишем объединённый газовый закон

$$\frac{p_{\text{атм}}V}{T_1} = \frac{(p_{\text{атм}} + \rho gh)V}{T_2}.$$

Поделим на объём и выразим T_2

$$T_2 = T_1 \frac{p_{\text{атм}} + \rho gh}{p_{\text{атм}}} = T \frac{p_{\text{атм}} + \rho gh}{p_{\text{атм}}};$$

$$T_2 = 330 \text{ К}.$$

Таким образом температура должна увеличиться на 30 К.

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
6	750 мм рт.ст. = 102000 Па ($g = 10$ м/с ²)	1
	Найдено давление воздуха внутри трубки при горизонтальном расположении	1
	Найдено давление воздуха внутри трубки при вертикальном расположении	2
	Записан объединённый газовый закон, либо дважды уравнение состояния газа	1
	Найдена T_2 или изменение температуры	1

7. С идеальным одноатомным газом, который находится в сосуде с поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты Q_1 , в результате чего его температура повысилась на $\Delta T = 1$ К. Во втором опыте, предоставив газу возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты Q_2 , которое на 208 Дж больше, чем Q_1 . В результате температура газа повысилась, как и в первом случае, на ΔT . Какова, по данным этих двух опытов, молярная масса газа M , если его масса $m = 1$ кг? (5 баллов)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

В первом опыте газ участвует в изохорном процессе, поэтому работа не совершается, подведенное количество теплоты идет на увеличение внутренней энергии

$$Q_1 = \Delta U_1 = \frac{3m}{2M} R \cdot \Delta T.$$

В ходе второго опыта процесс изобарный, меняется не только внутренняя энергия газа, но и совершается работа A

$$Q_2 = \Delta U_2 + A = \frac{3m}{2M} R \cdot \Delta T + p \cdot \Delta V.$$

Так как из уравнения Менделеева – Клапейрона следует, что

$$p \cdot \Delta V = \frac{m}{M} R \cdot \Delta T,$$

то

$$Q_2 = \frac{5m}{2M} R \cdot \Delta T.$$

По условию задачи

$$Q_2 - Q_1 = 208 \text{ Дж.}$$

Определим

$$Q_2 - Q_1 = \frac{5m}{2M} R \cdot \Delta T - \frac{3m}{2M} R \cdot \Delta T = \frac{m}{M} R \cdot \Delta T.$$

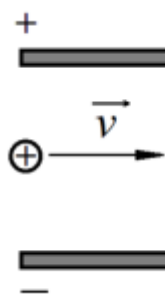
Найдем молярную массу газа

$$M = \frac{mR \cdot \Delta T}{Q_2 - Q_1}; \quad M = 40 \text{ г/моль.}$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
7	Записано первое начало термодинамики для первого опыта	0,5
	Записано первое начало термодинамики для второго опыта	0,5
	Для второго опыта есть $p \cdot \Delta V = \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	1
	Найдено $Q_2 - Q_1 = \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	1
	Выражена молярная масса	1
	Записано числовой ответ	1

8. Протон влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок). Минимальная скорость, с которой протон должен влететь в конденсатор, чтобы



затем вылететь из него, равна $v = 350 \text{ км/с}$. Длина пластин конденсатора $S = 5 \text{ см}$, напряжённость электрического поля конденсатора $E = 5200 \text{ В/м}$. Каково расстояние d между пластинами конденсатора? Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Модуль заряда электрона

равен $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса протона $m = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. (6 баллов)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Сила, действующая на протон, равна eE и направлена вертикально вниз. Ускорение протона также направлено вертикально вниз и равно

$$a = \frac{e}{m} E.$$

В горизонтальном направлении протон движется равномерно, время его движения внутри конденсатора равно

$$t = \frac{L}{v}.$$

За это время по вертикали протон сместится вниз на расстояние

$$\Delta y = \frac{at^2}{2} = \frac{eEt^2}{2m}.$$

Чтобы протон смог вылететь из конденсатора, его смещение должно быть меньше $d/2$. При минимальной скорости смещение будет равно $d/2$, поэтому

$$\frac{d}{2} = \frac{eEL^2}{2mv^2}.$$

Определим d

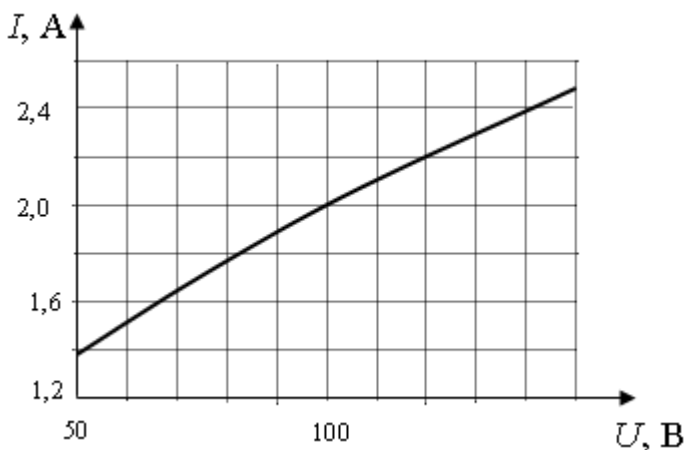
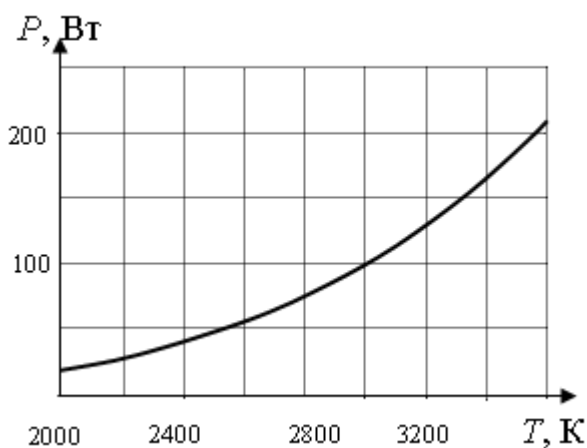
$$d = \frac{eEL^2}{mv^2};$$

$$d = 10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ см}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
8	Записано выражение для силы eE и указано ее направление	1
	Найдено ускорение	1
	Найдено время движения протона внутри конденсатора	1
	Определено смещение по вертикали	1
	Получено выражение для d	1
	Найдено числовое значение	1

9. При нагревании спирали лампы накаливания протекающим по ней электрическим током основная часть подводимой энергии теряется в виде теплового излучения. На рисунке изображены графики зависимости мощности тепловых потерь лампы от температуры спирали $P = P(T)$ и силы тока от приложенного напряжения $I = I(U)$. При помощи этих графиков определите примерную температуру спирали лампы при силе тока $I = 2 \text{ А}$. (3 балла)



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

По графику зависимости силы тока от напряжения (ВАХ лампы) определим, что при токе 2 А напряжение на лампе равно $U = 100$ В. Поэтому на лампе будет выделяться мощность P , равная

$$P = I \cdot U;$$

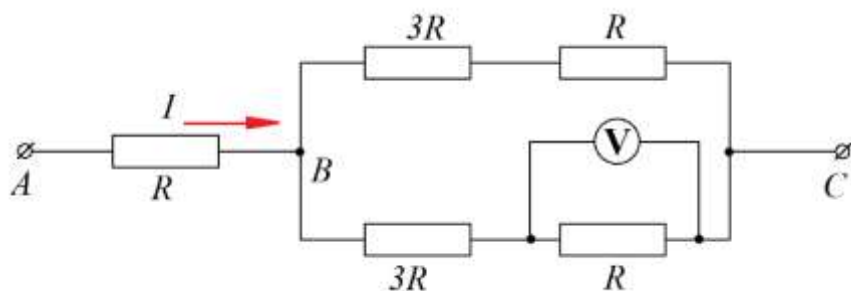
$$P = 2 \cdot 100 = 200 \text{ (Вт)}.$$

По графику зависимости мощности от температуры определяем температуру, соответствующую этой мощности

$$T = 3570 \text{ К}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
9	По графику ВАХ найдено напряжение 100 В	1
	Посчитана мощность 200 Вт	1
	По графику $P(T)$ найдено значение температуры – примерно 3570 К	1



10. На рисунке показана схема участка электрической цепи. По участку AB течёт постоянный ток $I = 4$ А. Какое напряжение показывает идеальный вольтметр, если

сопротивление $R = 1$ Ом? (2 балла) Чему равно напряжение между точками А и С U_{AC} ? (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Так как вольтметр идеальный, то его сопротивление намного больше сопротивлений всех резисторов, следовательно, ток через него не идёт. Тогда в точке В ток поделится пополам, так как сопротивления верхней и нижней ветвей одинаковы и равны $3R + R = 4R$. Поэтому ток через резистор, к которому

параллельно присоединён вольтметр, равен 2 А. Следовательно, напряжение на нём равно (показания вольтметра) $2 \cdot 1 = 2$ (В).

Напряжение между точками А и С равно

$$U_{AC} = I \cdot R + \frac{I}{2} \cdot (3R + R) = 3I \cdot R;$$

$$U_{AC} = 12 \text{ В.}$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
10.1	Сопротивления верхней и нижней веток одинаковы	0,5
	В точке В ток делится пополам	0,5
	Найдены показания вольтметра	1
10.2	Найдено напряжение между точками А и С	2