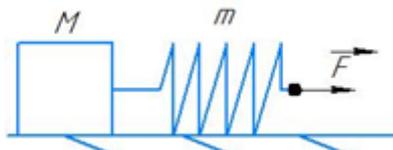


1. «Постоянная сила»

Изначально покоящийся брусок массой  $M$  сцеплен с весоной пружиной жёсткостью  $k$  и массой  $m$ , сделанной из того же материала. Система лежит на горизонтальной поверхности вблизи поверхности Земли. Найдите минимальную постоянную силу  $F$ , с которой необходимо тянуть пружину, чтобы система пришла в движение целиком. Коэффициент трения с поверхностью равен  $\mu$ .



**Возможное решение:**

1. При воздействии на пружину постоянной силой, она сначала будет ускоряться (так как она весома), а потом замедляться, так как пружина будет натягиваться. В момент, когда часть пружины уже придёт в движение скорость тела  $M$  будет равной нулю  $\Rightarrow$  кинетическая энергия системы будет равна нулю, но при этом сила  $F$  совершит работу, которая пойдёт на преодоление пружиной трения о поверхность и растяжение пружины.
2. Тогда по теореме об изменении кинетической энергии системы

$$0 = -\mu t g x - \frac{kx^2}{2} + Fx$$

3. Условие начала движения для тела  $M$  – равенство сил упругости и трения скольжения

$$\mu M g = kx$$

4. Решая систему уравнений, получим

$$F = \mu g \left( \frac{M}{2} + m \right)$$

**Система оценивания задачи:**

Описано, как будет двигаться система – **3 балла**

Написано уравнение из пункта 2 – **3 балла**

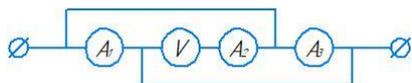
Написано уравнение из пункта 3 – **2 балла**

Решена система и найдено значение силы – **2 балла**

**Максимальный балл за полное решение – 10 баллов**

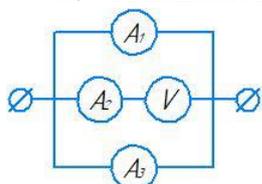
## 2. «Схема»

Дана схема. Найдите показания всех приборов, если вольтметр показывает 0,9 В, первый амперметр показывает 1 А, а сопротивление вольтметра в 9 раз больше сопротивления амперметра. Все амперметры одинаковые. Что будут показывать приборы, если вместо амперметров поставить вольтметры, а вместо вольтметра поставить амперметр с теми же сопротивлениями?



### Возможное решение:

1. Эквивалентная схема будет выглядеть так:

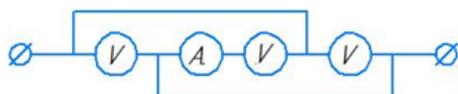


2. Напряжение на первом и третьем амперметрах одинаковое, как и ток.

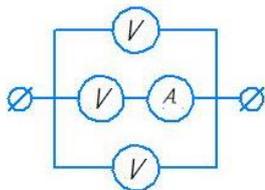
$$U_1 = I_1 R_a = U_3, I_3 = I_1 = 1 \text{ A.}$$

$$3. \frac{R_a}{R_V} = \frac{1}{9} \Rightarrow R_a + R_V = 10R_a \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10 \Rightarrow I_2 = 0,1 \text{ A.}$$

4. Для второго случая схема будет такой:



5. Эквивалентная схема такая:



6. Верхний и нижний вольтметры будут показывать 1В, так как на участок подано то же напряжение. Средний вольтметр и амперметр покажут то же, что и вольтметр и амперметр 2 в первом случае, так как на них подано то же напряжение, а соотношение сопротивлений не поменялось.

### Система оценивания задачи:

Изображена эквивалентная схема для случая 1— **3 балла**

Найден ток на третьем амперметре — **1 балл**

Найдено показание второго амперметра — **2 балла**

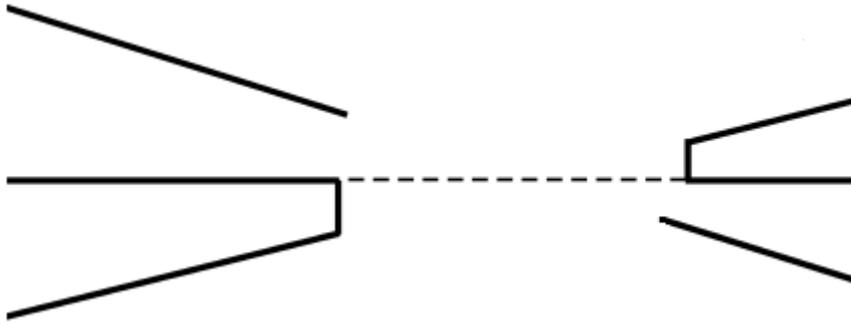
Найдены показания верхнего и нижнего вольтметра во втором случае — **2 балла**

Показано, что показания среднего вольтметра и амперметра будут такими же, как в первом случае у вольтметра и амперметра 2 – **2 балла**  
*Максимальный балл за полное решение – 10 баллов*

### 3. «Странные мухи»

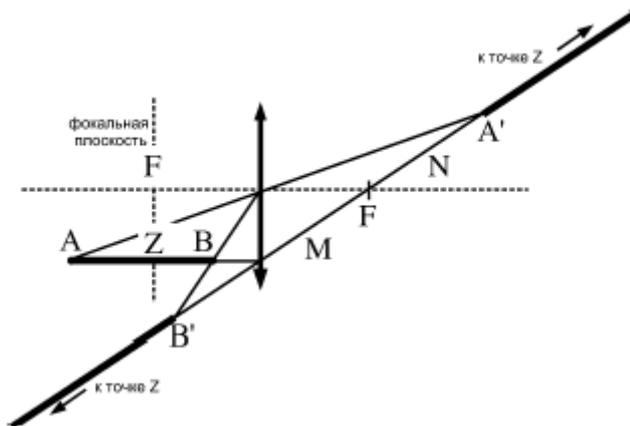
Две странные мухи летали около вертикально стоящей линзы в горизонтальной плоскости по замкнутой траектории. Изображения их траекторий, получившееся в линзе, показано на рисунке.

Покажите, какая в действительности была траектория у мух. Пунктиром показана главная оптическая ось линзы.

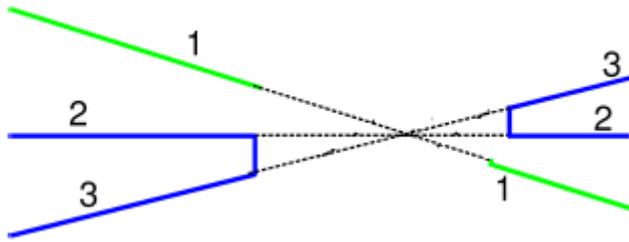


#### **Возможное решение:**

1. Поскольку изображения получились разорванными, то это значит, что линза собирающая (в рассеивающей нет возможности «разорвать» изображение замкнутой линии) и что каждая муха пересекала фокальную плоскость линзы при движении.
2. Рассмотрим построение изображения отрезка, пересекающего фокальную плоскость линзы в точке  $Z$ . Изображение всех точек отрезка  $AB$  будет лежать на прямой  $MN$ , а у точки  $Z$  будет два изображения, уходящих на бесконечность.



3. Из рисунка видно, что у нас есть три пары прямых, каждая из которых лежит на одной прямой, значит, их прообразы – 3 отрезка.



4. Прямые с индексом 1 образуют просто отрезок. Это будет траектория первой мухи – она будет летать взад-вперёд перед линзой.
5. Пары лучей 2-3 образуют два отрезка, между которыми есть ещё два отрезка, перпендикулярных главной оптической оси => вторая муха летала по траектории, представляющей собой прямоугольник.

***Система оценивания задачи:***

Показано, что линза должна быть собирающей – **2 балла**

Показано построение отрезка, пересекающего фокальную плоскость – **3 балла**

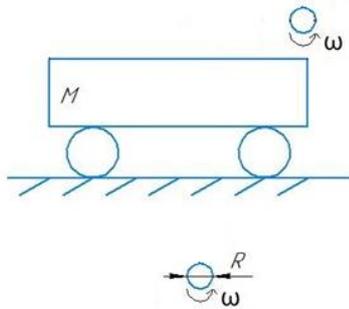
Правильно определена траектория первой мухи – **2 балла**

Правильно определена траектория второй мухи – **3 балла**

***Максимальный балл за полное решение – 10 баллов***

#### 4. «Подвижная платформа»

На неподвижную шероховатую платформу ставят колесо, раскрученное так, что угловая скорость точек колеса равна  $200 \text{ рад/с}$ . Радиус колеса  $R = 50 \text{ см}$ . С какой скоростью поедет платформа относительно стола сразу после прекращения проскальзывания колеса, если масса колеса  $m = 3 \text{ кг}$ , а платформы  $M = 20 \text{ кг}$ ? Считать спицы колеса невесомыми. Трением платформы о стол пренебречь. Известно, что платформа и колесо сделано из резины и нагрелись на  $0,2^\circ\text{C}$  и на  $0,6^\circ\text{C}$  соответственно. Удельная теплоёмкость резины равна  $1800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$ .



#### **Возможное решение:**

1. При постановке колеса на платформу начнётся проскальзывание, вследствие чего кинетическая энергия колеса будет переходить в энергию платформы и тратиться на трение скольжения, т.е. переходить во внутреннюю.
2. Рассмотрим всё в системе отсчёта «стол». Энергия вращательного движения колёс перейдёт частично в энергию поступательного движения машинки, частично останется во вращении, частично передастся платформе и колесо будет нагреваться:

$$\frac{I\omega_1^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} - \frac{I\omega^2}{2} = A_{\text{тр}}, A_{\text{тр}} = -Q = -c(m\Delta t_1 + M\Delta t_2), \quad \omega_1 = \frac{v_1}{R}, \quad v_1 -$$
 скорость центра масс колеса относительно стола сразу после того, как проскальзывание закончится,  $\omega_1$  - угловая скорость вращения колеса на платформе сразу после того, как проскальзывание закончится,  $v$  - скорость платформы относительно стола сразу после того, как проскальзывание закончится,  $I$  - момент инерции колеса.

3. Поскольку на колеса и платформу внешние тела действуют вертикально, то они не влияют на горизонтальное их движение, значит в проекции на горизонтальную ось ЗСИ верен:

$$Mv = mv_1 \Rightarrow v_1 = \frac{Mv}{m}$$

4. Из пункта 2 и 3 находим скорость поступательного движения платформы относительно стола  $\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{M^2}{m}v^2 = -c(m\Delta t_1 + M\Delta t_2) + \frac{mR^2\omega^2}{2} \Rightarrow v = \left( \frac{-c(m\Delta t_1 + M\Delta t_2) + \frac{mR^2\omega^2}{2}}{\frac{1}{2}M + \frac{M^2}{m}} \right)^{\frac{1}{2}} = 5,6 \frac{м}{с}$ .

**Система оценивания задачи:**

Показано, на что будет тратиться начальная энергия колеса – **3 балла**

Найдено количество теплоты, выделившееся в результате трения – **2 балла**

Записан закон сохранения импульса – **2 балла**

Решена система уравнений и найдено верное значение скорости платформы – **3 балла**

**Максимальный балл за полное решение – 10 баллов**

## 5. «Весёлая компания»

Компания друзей собралась летом на пикник. Из-за сильной жары они решили газировку охлаждать прямо на месте в сумке-холодильнике с заранее охлаждёнными до  $T_1 = -10^\circ\text{C}$  элементами. Сначала ребята в сумку опустили одну бутылку и, подождав длительное время, вынули. Оказалось, бутылка охладилась до  $T = 5^\circ\text{C}$ . После этого они опустили вторую бутылку, точно такую же. Какая будет температура у второй бутылки через такое же время? На улице температура  $T_0 = 35^\circ\text{C}$ , а на пикник от магазина компания шла довольно долго.

### ***Возможное решение:***

1. Будем считать, что всё количество теплоты, которое забирает сумка-холодильник, отдаёт бутылка с газировкой.
2. Поскольку компания шла довольно долго, температуры бутылок равны температурам на улице.
3. От первой бутылки сумка-холодильник забирает  $C_1(T - T_1)$  количества теплоты, где  $C_1$  — теплоемкость сумки-холодильника, бутылка, в свою очередь, отдаёт  $C_2(T_0 - T)$  теплоты, где  $C_2$  — теплоемкость бутылки с газировкой. Тогда  $C_1(T - T_1) = C_2(T_0 - T)$ .
4. Когда мы помещаем в сумку-холодильник вторую бутылку, сумка-холодильник забирает от неё  $C_1(T_x - T)$  теплоты, где  $T_x$  — температура, до которой нагрелись холодильные элементы в сумке-холодильнике (эта же температура, до которой охладилась бутылка, то есть искомая нами температура), бутылка в свою очередь отдаёт  $C_2(T_0 - T_x)$  количества теплоты.  $C_1(T_x - T) = C_2(T_0 - T_x)$
5. Делим одно уравнение на второе, получаем:

$$\frac{(T - T_1)}{(T_x - T)} = \frac{T_0 - T}{T_0 - T_x} \Rightarrow T_x = 15^\circ\text{C}$$

### ***Система оценивания задачи:***

Записано уравнение теплового баланса для первой бутылки – **3 балла**

Записано уравнение теплового баланса для второй бутылки – **3 балла**

Найдена конечная температура – **4 балла**

***Максимальный балл за полное решение – 10 баллов***