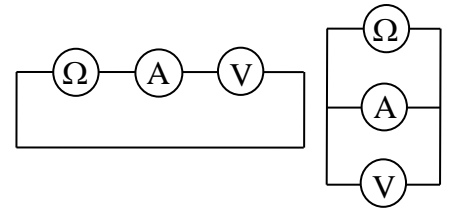


**Решения и критерии оценивания решений задач
Заключительного тура олимпиады «Росатом», 2021-2022 учебный год,
физика, 9 класс**

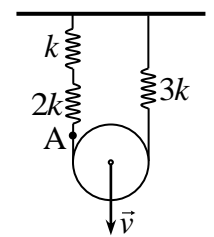
1. Когда омметр, амперметр и вольтметр соединили последовательно (левый рисунок), их показания были следующими: омметра $R_0 = 1,0$ Ом, амперметра $I_0 = 1,0$ А, вольтметра $U_0 = 1,0$ В. Какими будут показания приборов, когда



их соединили так, как показано на правом рисунке, если внутреннее сопротивление омметра равно $r_\Omega = 1,0$ Ом. **Указание:** омметр – прибор для измерения сопротивлений - представляет собой последовательно соединенные источник напряжения, амперметр и резистор. Омметр измеряет силу электрического тока в цепи и пересчитывает ее и напряжение источника в сопротивление внешней цепи.

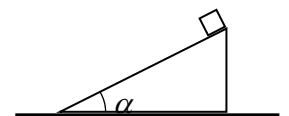
2. Скорость тела, брошенного с земли под некоторым углом к горизонту, оказалась направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту в моменты времени t_1 и t_2 , отсчитанные от момента броска. Найти дальность полета тела и максимальную высоту подъема. Ускорение свободного падения равно g . Сопротивлением воздуха пренебречь.

3. Куски невесомой нерастяжимой нити связывают три невесомых пружины с коэффициентами жесткости k , $2k$ и $3k$. Концы веревки прикреплены к горизонтальному потолку, а сама она охватывает невесомый подвижный блок так, как показано на рисунке. Куски веревки от потолка до блока вертикальны. В некоторый момент времени блок начинают тянуть вниз с постоянной скоростью \vec{v} .



С какой скоростью движется точка А (см. рисунок)? Какой силой нужно действовать на блок через время t после начала движения? Считать, что для любых растяжений пружин справедлив закон Гука.

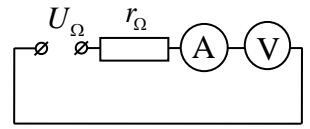
4. На горизонтальной поверхности находится гладкий клин с углом при основании $\alpha = 30^\circ$, на нем тело. Клин двигают вправо с некоторым ускорением. Найти это ускорение, если время соскальзывания тела вдвое меньше времени соскальзывания с закрепленного клина? Ответ обосновать.



5. На столе стоят три цилиндрических сосуда с одинаковой площадью дна. Объемы сосудов $V_1 = V$, $V_2 = 2V$, $V_3 = 4V$. Сосуды до краев заполнены водой. Воду в сосудах нагревают с помощью кипятильника, мощности которого не хватает для того, чтобы ее вскипятить. В первом сосуде воду удастся нагреть до температуры $t_1 = 80^\circ\text{C}$, во втором - до температуры $t_2 = 60^\circ\text{C}$. До какой температуры удастся нагреть воду в третьем сосуде с помощью данного кипятильника? Считать, что теплоотдача пропорциональна разности температур воды и окружающей среды и площади контакта между ними. Комнатная температура $t_0 = 20^\circ\text{C}$, вода в сосудах прогревается равномерно.

Решения

1. С учетом указания к условию задачи эквивалентная схема цепи, показанной на левом рисунке в условии задачи, имеет вид, показанный на рисунке справа, где U_{Ω} и r_{Ω} - напряжение внутреннего источника омметра и его сопротивление. Найдем величину U_{Ω} , а также сопротивления амперметра и вольтметра.



Поскольку показания вольтметра составляют $U_0 = 1,0$ В при силе тока через него $I_0 = 1,0$ А, его сопротивление равно

$$r_V = 1 \text{ Ом.}$$

Показания омметра составляют величину $R_0 = 1$ Ом, следовательно, при силе тока в цепи $I_0 = 1$ А напряжение U на внешней по отношению к омметру цепи равно $U = 1$ В и равно напряжению на вольтметре. Это значит, что напряжение на амперметре и его сопротивление r_A равны нулю

$$r_A = 0$$

(в действительности сопротивление амперметра много меньше сопротивления вольтметра, и при той точности, с которой нам заданы показания приборов, оно не измеряется).

Напряжение внутреннего источника омметра, очевидно, определяется соотношением

$$U_{\Omega} = I_0 r_{\Omega} + U_0 = 2,0 \text{ В.}$$

Поэтому при параллельном включении амперметра и вольтметра (правая схема в условии задачи), ток через вольтметр течь не будет, а ток через амперметр I_1 будет определяться соотношением

$$I_1 = \frac{U_{\Omega}}{r_{\Omega}} = \frac{I_0 r_{\Omega} + U_0}{r_{\Omega}} = 2,0 \text{ А}$$

При этом вольтметр будет показывать напряжение на амперметре, которое равно нулю, из-за его нулевого сопротивления

$$U_1 = 0$$

По этой же причине и сопротивление, измеряемое омметром, будет нулевым $R_1 = 0$.

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)

1. Правильно найдено сопротивление вольтметра – 0,5 балла
2. Правильно найдено сопротивление амперметра – 0,5 балла
3. Правильно найдено напряжение источника омметра – 0,5 балла
4. Правильный ответ – показания всех приборов на правом рисунке в условии задачи - 0,5 балла

Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям

2. Поскольку траектория тела симметрична относительно верхней точки, время подъема $t_{\text{под}}$ тела на максимальную высоту лежит ровно посередине между моментами t_1 и t_2 :

$$t_{\text{под}} = \frac{t_2 + t_1}{2}, \quad (1)$$

а полное время движения $t_{\text{полн}}$ есть удвоенное время (1)

$$t_{полн} = t_2 + t_1, \quad (2)$$

Из формулы (1) и закона изменения скорости тела для равноускоренного движения, находим изменение вертикальной проекции скорости тела за время подъема на максимальную высоту:

$$0 = v_{0,y} - \frac{g(t_2 + t_1)}{2}$$

где $v_{0,y}$ - проекция вектора начальной скорости на вертикальную ось. Отсюда находим вертикальную проекцию начальной скорости тела

$$v_{0,y} = \frac{g(t_2 + t_1)}{2}$$

Горизонтальную проекцию начальной скорости можно найти из следующих соображений. Поскольку от момента t_1 до момента подъема на максимальную высоту (т.е. за время $(t_2 - t_1)/2$) вертикальная проекция уменьшается до нуля, то применяя закон движения для скорости к этому этапу движения, получим

$$0 = v_{1,y} - \frac{g(t_2 - t_1)}{2}$$

где $v_{1,y}$ - вертикальная проекция вектора скорости тела в момент времени t_1 . Поэтому

$$v_{1,y} = \frac{g(t_2 - t_1)}{2}$$

Поэтому горизонтальная проекция скорости тела в этот момент есть

$$v_{1,x} = v_{1,y} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{g(t_2 - t_1)}{2} \sqrt{3} = v_{0,x} \quad (3)$$

А поскольку горизонтальная составляющая скорости не меняется, то в процессе всего движения она будет (3). Отсюда и формулы (2) находим дальность полета S

$$S = v_{0,x} t_{полн} = \frac{g(t_2 - t_1)}{2} \sqrt{3} (t_2 + t_1) = \frac{\sqrt{3}}{2} g (t_2^2 - t_1^2)$$

Максимальную высоту подъема h можно найти, зная вертикальную проекцию начальной скорости

$$h = \frac{v_{0,y}^2}{2g} = \frac{g(t_2 + t_1)^2}{8}$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)

- 1. Правильно найдено полное время полета тела и время подъема на максимальную высоту – 0,5 балла**
- 2. Правильно найдена вертикальная проекция начальной скорости тела – 0,5 балла**
- 3. Правильно найдена горизонтальная проекция вектора начальной скорости тела – 0,5 балла**
- 4. Правильный ответ – 0,5 балла**

Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям

- 3.** Пусть, начиная с некоторого момента времени, проходит малый интервал времени Δt . Поскольку блок движется с постоянной скоростью, он за этот интервал времени блок перемещается вниз на величину $\Delta x = v \Delta t$. Тогда пружины за этот интервал времени должны в сумме растянуться на величину $2\Delta x$. С другой стороны, сила натяжения нити в каждом ее сечении одинакова, поэтому

пружины растягиваются одинаковой силой и, следовательно, их удлинения обратно пропорциональны коэффициентам жесткости. Это значит, что если пружина с коэффициентом жесткости k растянулась на Δx_1 , то пружина $2k$ растянулась на $\Delta x_1/2$, пружина $3k$ растянулась на $\Delta x_1/3$. Поэтому

$$\Delta x_1 + \frac{\Delta x_1}{2} + \frac{\Delta x_1}{3} = 2v\Delta t$$

Отсюда находим

$$\Delta x_1 = \frac{12}{11}v\Delta t \quad (1)$$

С другой стороны, перемещение точки А за рассматриваемый интервал времени равно суммарному удлинению пружин с коэффициентом жесткости k и $2k$, т.е.

$$\Delta x_A = \Delta x_1 + \frac{\Delta x_1}{2} = \frac{3}{2}\Delta x_1 = \frac{18}{11}v\Delta t$$

Поэтому

$$v_A = \frac{\Delta x_A}{\Delta t} = \frac{18v}{11}$$

поскольку эта скорость не зависит от времени (или положения блока) она постоянна в процессе движения блока.

Поскольку блок движется равномерно, то сила, с которой нужно действовать на него через время t после начала движения, равна удвоенной силе натяжения нити в этот момент, которая равна силе упругости пружин. За время t после начала движения блок переместился на величину vt , а пружина с коэффициентом жесткости k растянулась на величину

$$\Delta x_k = \frac{12}{11}vt$$

(ср. с формулой (1)). Поэтому сила упругости этой пружины будет равна

$$F_{уп} = \frac{12kvt}{11}$$

Следовательно, сила, с которой нужно действовать на блок, равна

$$F = \frac{24kvt}{11}$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)

- 1. Правильная идея нахождения скорости точки А – кинематические связи перемещения блока и точки А – 0,5 балла**
 - 2. Правильная динамическая связь растяжения разных пружин - одинаковая сила упругости каждой - – 0,5 балла**
 - 3. Правильный ответ для скорости точки А – 0,5 балла**
 - 4. Правильный ответ для силы, с которой нужно действовать на блок – 0,5 балла**
- Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям**

4. Найдем время соскальзывания с неподвижного клина. Ускорение тела a на неподвижном клине и длина пройденного им до спуска пути l определяются соотношениями

$$a = g \sin \alpha, \quad l = \frac{h}{\sin \alpha},$$

(h - начальная высота тела над землей), поэтому время спуска тела с закрепленного клина можно найти по закону равноускоренного движения

$$t = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{2h}{g}} = 2\sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1)$$

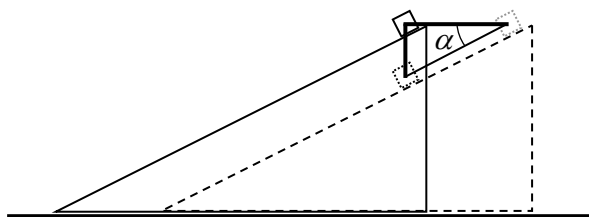
По условию время соскальзывания тела с движущегося с ускорением клина в два раза меньше времени (1), т.е. равно

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2)$$

Но время (2) – это время свободного падения тела с высоты h (без начальной скорости). Следовательно, ускорение клина таково, что тело свободно падает с ускорением g . Найдем из этого условия ускорение клина.

Пусть тело сместилось вертикально вниз на величину Δx . Тогда клин должен сместиться вправо на такую величину Δx_1 , что

$$\Delta x_1 = \Delta x \operatorname{ctg} \alpha \quad (3)$$



Этот вывод иллюстрируется рисунком, на котором жирными вертикальным и горизонтальным отрезками показаны перемещения тела и клина. А поскольку связь перемещений клина и тела (3) справедлива в любой момент времени, то такой же будет связь скоростей и ускорений тела и клина. Поэтому

$$a_{\text{кл}} = a_m \operatorname{ctg} \alpha = \sqrt{3}a_m$$

Ну а поскольку тело движется с ускорением свободного падения, то окончательно получаем для ускорения клина

$$a_{\text{кл}} = \sqrt{3}g$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)

1. Правильное время соскальзывания с неподвижного клина – 0,5 балла
2. Правильный вывод (с обоснованием), что тело падает вертикально вниз с ускорением свободного падения – 0,5 балла
3. Правильная кинематическая связь ускорения тела и клина – 0,5 балла
4. Правильный ответ для ускорения клина – 0,5 балла

Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям

5. Теплототдача от сосудов в окружающую среду складывается из теплоотдачи через свободную поверхность воды в сосуде, дно и боковые стенки. Поскольку при переходе от одного сосуда к другому площадь дна и свободной поверхности воды не меняется, во всех трех случаях она пропорциональна разности температур воды и среды

$$w_1 = x(t - t_0)$$

где w_1 - количество теплоты, уходящее из сосуда через дно и свободную поверхность в единицу времени, t - температура воды в сосуде, t_0 - температура воздуха в комнате, x - коэффициент пропорциональности, который одинаков во всех трех случаях.

Теплоотдача через боковые стенки пропорциональна разности температур воды и комнаты и площади поверхности боковых стенок. Эта площадь разная для трех сосудов, причем она пропорциональна высоте сосуда и, следовательно, его объему (поскольку площадь дна сосудов одинакова). Поэтому для теплоотдачи через боковые стенки можно написать

$$w_2 = yV(t - t_0)$$

где w_2 - количество теплоты, уходящее из сосуда через боковые стенки в единицу времени, t - температура воды в сосуде, t_0 - температура воздуха в комнате, y - коэффициент пропорциональности, который одинаков во всех трех случаях.

Рассмотрим теперь тепловой баланс для всех трех случаев. Пусть мощность нагревателя равна P . Поскольку в первом случае вода не нагревалась выше температуры t_1 , то теплоотдача из сосуда при этой температуре равна мощности нагревателя

$$P = x(t_1 - t_0) + yV(t_1 - t_0)$$

где V - объем первого сосуда. Во втором случае уравнение теплового баланса аналогично

$$P = x(t_2 - t_0) + 2yV(t_2 - t_0)$$

Решая эту систему уравнений относительно x и y , получим

$$x = \frac{P(2t_2 - t_1 - t_0)}{(t_1 - t_0)(t_2 - t_0)}, \quad y = \frac{P(t_1 - t_2)}{V(t_1 - t_0)(t_2 - t_0)}$$

Для третьего сосуда уравнение теплового баланса дает

$$P = x(t_3 - t_0) + 4yV(t_3 - t_0) = \left[\frac{P(2t_2 - t_1 - t_0)}{(t_1 - t_0)(t_2 - t_0)} + \frac{P(t_1 - t_2)4V}{V(t_1 - t_0)(t_2 - t_0)} \right] (t_3 - t_0)$$

Отсюда находим

$$t_3 = t_0 + \frac{(t_1 - t_0)(t_2 - t_0)}{3t_1 - 2t_2 - t_0} = 44^\circ \text{C}$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)

1. Правильная идея решения: в равновесии поток тепла, сообщенного сосудам нагревателем, равно количеству тепла потерянного, которое можно найти по закону Фурье - 0,5 балла

2. Правильные уравнения для потери тепла первым и третьим сосудами – 0,5 балла

3. Правильно найдены коэффициенты пропорциональности в законе Фурье для теплопотерь через дно и стенки сосуда – 0,5 балла

4. Правильный ответ – 0,5 балла

Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям

Оценка работы

Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 10 баллов. Допустимыми являются все целые или «полуцелые» оценки от 0 до 10.