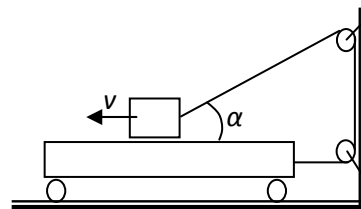


Решения и критерии оценивания

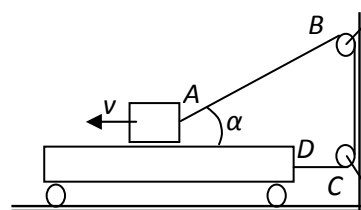
Задача 1

Небольшой брусок через систему блоков связан нерастяжимой нитью с длинной тележкой, которая может катиться по горизонтальной поверхности. Брусок кладут на тележку и приводят в движение с постоянной скоростью $v = 2$ м/с, направленной горизонтально вдоль тележки (см. рис.). Какую скорость относительно бруска будет иметь тележка в тот момент, когда угол между наклонной нитью и горизонтом составит $\alpha = 60^\circ$? Считайте, что в указанный момент тележка не доехала до стены, к которой прикреплены блоки.



Возможное решение

Ввиду нерастяжимости нити проекция скорости точки A верёвки на направление AB равна проекции скорости точки D верёвки на направление DC , т. е. $v \cos \alpha = u$, где u – скорость тележки относительно земли. Скорость тележки относительно бруска равна:



$$v_{\text{отн.}} = u + v = v(1 + \cos \alpha) = 3 \text{ м/с.}$$

Критерии оценивания

Применено условие нерастяжимости нити	3 балла
Найдена скорость тележки относительно земли.....	2 балла
Применён закон сложения скоростей	3 балла
Найдена скорость тележки относительно бруска	2 балла

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – 10 баллов.

Задача 2

Льдинка с замороженной в неё пулей висит на нити и частично погружена в воду, находящуюся в тонкостенном цилиндрическом стакане, стоящем на столе. Лёд не касается стенок и дна стакана. Площадь дна стакана $S = 100 \text{ см}^2$. Сила натяжения нити равна $F = 1$ Н. На сколько изменится уровень воды в стакане после того, как льдинка растает? Повысится он или понизится? Пуля имеет массу $m = 10$ г и плотность $\rho = 10\,000 \text{ кг/м}^3$. Плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Возможное решение

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое стакана, в которое включим воду, льдинку и пулю. Сила тяжести компенсируется двумя направленными вверх внешними силами – силой F и силой давления со стороны дна. Последняя, по третьему закону Ньютона, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия содержимого стакана в исходном состоянии следует:

$$F + S\rho_0gh_1 = m_{\text{содерж}}g,$$

где h_1 – высота уровня воды в исходном состоянии.

После таяния льдинки масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень воды в стакане и, следовательно, давление воды около дна. Кроме этого, перестаёт действовать сила F , но на дно с силой $N = mg - \frac{m}{\rho}\rho_0g = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)$

начинает давить пуля. Новое условие равновесия содержимого стакана имеет вид:

$$S\rho_0gh_2 + N = m_{\text{содерж}}g,$$

где h_2 – высота уровня воды в конечном состоянии.

Вычитая из первого уравнения второе, получим выражение для изменения уровня воды в стакане:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{F - mg\left(1 - (\rho_0/\rho)\right)}{\rho_0gS} = 0,91 \text{ см.}$$

Так как эта величина положительная, то уровень повысится.

Критерии оценивания

Записано условие равновесия содержимого в исходном состоянии **2 балла**

Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации **2 балла**

Получено выражение для изменения уровня жидкости..... **2 балла**

(Если задача решалась через объём погружённой льдинки и изменение объёмов при таянии, то за верное выражение для изменения уровня – 6 баллов.)

Получено численное значение для изменения уровня жидкости **2 балла**

Явно указано, что уровень повысится..... **2 балла**

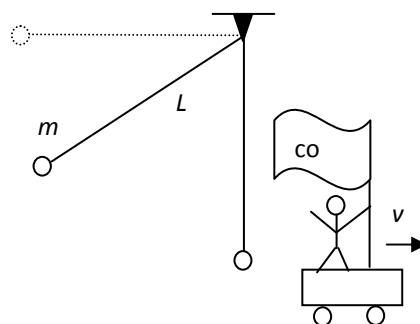
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – 10 баллов.

Задача 3

Небольшой шарик массой m , подвешенный на лёгкой нерастяжимой нити к потолку комнаты, отпустили без начальной скорости из состояния, в котором нить была горизонтальна. Найдите работу силы натяжения нити над шариком при его движении от верхнего положения до самого нижнего. Ответ дайте для системы отсчёта, связанной с комнатой, и для системы отсчёта, движущейся относительно комнаты горизонтально в плоскости рисунка с постоянной скоростью V . Длина нити L . Систему отсчёта, связанную с комнатой, можно считать инерциальной.



Возможное решение

В системе отсчёта, связанной с комнатой, сила натяжения нити в любой момент движения направлена перпендикулярно скорости шарика, следовательно, её работа равна нулю.

Закон сохранения механической энергии для шарика имеет вид $mgL = \frac{mu^2}{2}$, откуда можно найти скорость шарика в нижнем положении: $u = \sqrt{2gL}$. В движущейся системе отсчёта начальная скорость шарика по модулю равна V , а модуль конечной скорости шарика равен $|V - u|$. Тогда из теоремы о кинетической энергии для шарика следует: $\frac{m(|V - u|)^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = A_T + mgL$. Отсюда получаем, что работа силы натяжения нити равна: $A_T = -mVu = -mV\sqrt{2gL}$.

Так как в движущейся системе отсчёта в любой момент угол между векторами скорости шарика и силы натяжения тупой, работа этой силы отрицательная.

Критерии оценивания

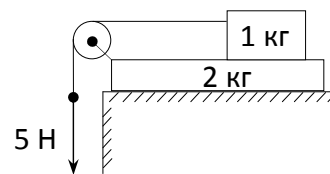
- Обосновано равенство нулю работы силы натяжения нити в системе отсчёта, связанной с комнатой..... **1 балл**
- Записан закон сохранения энергии в системе отсчёта, связанной с комнатой..... **2 балла**
- Найдена начальная и конечная скорость шарика в движущейся системе отсчёта **2 балла**
- Применена теорема о кинетической энергии для шарика в движущейся системе отсчёта **3 балла**
- Получено выражение для работы силы натяжения нити в движущейся системе отсчёта (с правильным знаком)..... **2 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – 10 баллов.

Задача 4

На столе лежит доска массой $m_1 = 2$ кг, а на доске находится брусок массой $m_2 = 1$ кг. К бруску привязана лёгкая нить, второй конец которой перекинут через идеальный блок, закреплённый на краю доски. Коэффициенты трения между доской и столом и между бруском и доской одинаковы и равны $\mu = 0,1$. Участок нити между бруском и блоком горизонтален. С какими по модулю ускорениями начнут двигаться брусок и доска, если к вертикальному участку нити приложить направленную вниз силу $F = 5$ Н? Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с².



Возможное решение

На доску в горизонтальном направлении действуют три силы: направленная вправо сила натяжения нити и направленные влево силы трения со стороны пола и бруска. Горизонтальная составляющая силы натяжения нити, действующая на доску вправо, равна по модулю 5 Н. Она больше суммы модулей максимально возможных сил трения, которые действуют на доску:

$$\mu[(m_1 + m_2)g + F] + \mu m_2 g = 4,5 \text{ Н.}$$

Следовательно, доска будет скользить по полу вправо. При этом очевидно, что брусок будет проскальзывать по доске влево. Из второго закона Ньютона, записанного для доски и для бруска, находим модули их ускорений:

$$a_1 = \frac{F - (\mu[(m_1 + m_2)g + F] + \mu m_2 g)}{m_1} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad a_2 = \frac{F - \mu m_2 g}{m_2} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Критерии оценивания

Правильно указаны силы, действующие на тела	2 балла
Указаны максимально возможные модули сил трения для доски и для бруска (по 1 баллу за каждую величину)	2 балла
Объяснено, почему доска скользит по полу вправо	1 балл
Указано, что брусок проскальзывает по доске и движется относительно доски влево	1 балл
Найден модуль ускорения бруска	2 балла
Найден модуль ускорения доски	2 балла

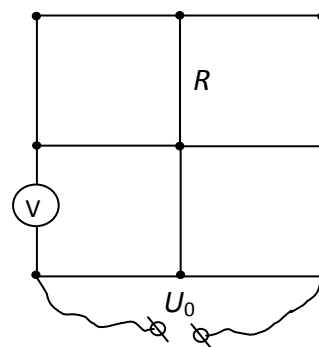
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – **10 баллов**.

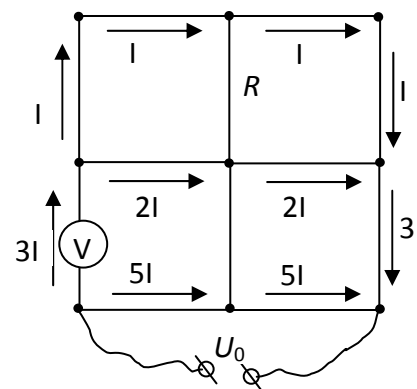
Задача 5

Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R . Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R . К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 20$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.



Возможное решение

Изобразим схематически токи, текущие в звеньях сетки, учитывая её симметрию и закон Ома для участка цепи. Согласно этому закону, силы тока в параллельных звеньях, находящихся под одинаковым напряжением, обратно пропорциональны сопротивлениям этих звеньев. При изображении токов также нужно учитывать закон сохранения электрического заряда для узлов сетки – сумма токов, втекающих в узел, должна быть равна сумме токов, вытекающих из узла. Кроме того, заметим, что, в силу симметрии схемы, токи через средние вертикальные проводники не текут.



Если через верхние звенья течёт ток силой I , то через средние горизонтальные проводники течёт ток силой $2I$ (так как ток I течёт через звенья с общим сопротивлением $4R$, а ток $2I$ – через звенья с общим сопротивлением $2R$). Ток силой $3I$ течёт через участок цепи с общим сопротивлением $10R/3$ – этот участок включает в себя все элементы, кроме двух нижних горизонтальных звеньев. Это означает, что через два нижних горизонтальных звена с суммарным сопротивлением $2R$ течёт ток силой $5I$. Напряжение на этих двух нижних звеньях равно $U_0 = 10IR$. Для вольтметра можно записать: $U_V = 3IR$. Отсюда

$$U_V = 3U_0/10 = 6 \text{ В.}$$

Критерии оценивания

- Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники..... **1 балл**
- Найдена связь между током, текущим через вольтметр, и токами в других частях цепи..... **3 балла**
- Установлена связь между напряжением источника и током, текущим в какой-либо части цепи (например, в нижней ветви) **2 балла**

- Установлена связь между показанием вольтметра и током, текущим через него..... **1 балл**
Получено выражение для связи напряжения источника и показания вольтметра..... **2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра **1 балл**

При решении с помощью построения эквивалентной схемы:

- Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники **1 балл**
Правильно составлена эквивалентная схема..... **2 балла**
Правильно определено полное сопротивление электрической цепи..... **3 балла**
Правильно определён ток, текущий через источник напряжения..... **1 балл**
Определён ток, текущий через в вольтметр..... **2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра **1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

*Максимум за задание – **10 баллов**.*

Всего за работу – 50 баллов.
