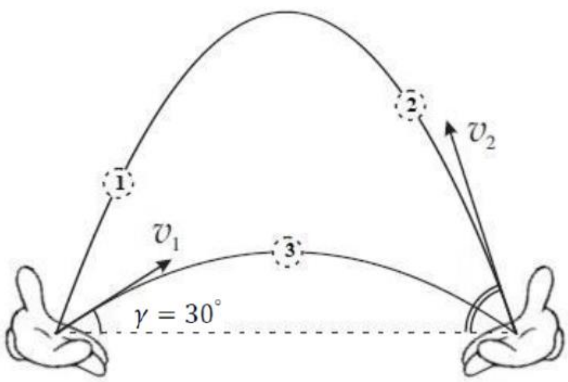
Всероссийская олимпиада школьников 2022-2023 учебный год
Окружной этап
ФИЗИКА
10 класс

1**. Цирковой трюк**



Клоун решил удивить публику новым трюком. Он взял три одинаковых теннисных шарика и стал их перебрасывать из руки в руку, как показано на рисунке. Считая, что, время полета шарика **2**, в три раза больше времени полета шарика **3**, определите начальную скорость шарика **2**. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения $g =$ 10 м/с^2. Угол $\gamma = 30^{\circ}$. Руки клоуна практически не смещаются и располагаются на одном уровне. Начальная скорость шарика **3** равна 2 м/с.

Решение:

Пусть t − время полёта шарика **3** из левой руки в правую, а $2t$ − время полёта шарика **2** из правой руки в левую; γ − угол, под которым брошен шарик **3** к горизонту, φ − угол, под которым брошен шарик **2** к горизонту. Тогда:

$t = \frac{2v_1 \cdot sin\gamma}{g}, 3t = \frac{2v_2 \cdot sin\varphi}{g} \rightarrow 3v_1 \cdot sin\gamma = v_2 \cdot sin\varphi$ (1)

С другой стороны, дальность полёта шариков **2** и **3** по обеим траекториям одинакова:

$v_1 t \cdot cos\gamma = v_2 3t \cdot cos\varphi$ (2)

Поделим (1) на (2):

$3tg\,\gamma = \frac{1}{3}tg\,\varphi \quad \rightarrow \; tg\,\varphi = 9tg\,\gamma = 3\sqrt{3}$ (3)

Используя тождество $cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\varphi}}$ выразим скорость шарика **2** из (2):

$v_2 = v_1 \cdot \frac{cos\gamma \cdot \sqrt{1+tg^2\varphi}}{3}$ (4)

Ответ: $v_2 \approx 3$ м/с.

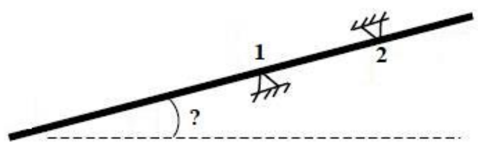
Критерии оценивания:

1) Записаны формулы для времен полета шариков **2** и **3**- 2 балла
2) Записаны формулы для дальности полета шариков **2** и **3** – 2 балла
3) Записано равенство дальностей в обоих случаях – 2 балла
4) Получено выражение для скорости шарика **3** – 2 балла
5) Получено численное значение для скорости шарика **3** – 2 балла

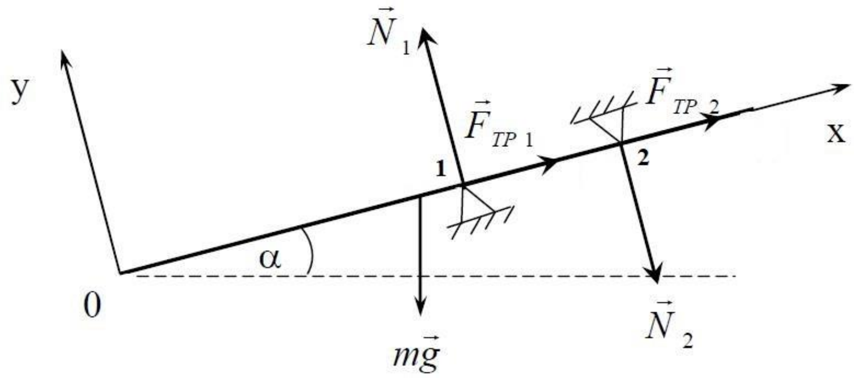
Всего 10 баллов

2. **Равновесие балки**

Для удержания в равновесии балки длиной L инженер-механик придумал конструкцию, изображенную на рисунке. Балка удерживается в равновесии на опорах **1** и **2**, причём её левый конец не касается горизонтальной поверхности пола. Под каким углом к горизонту наклонена эта балка, если расстояние между опорами l_1 , коэффициент трения об опоры μ , расстояние от опоры **2** до правого конца балки l_2. Балку считать однородной.



Решение:



Обозначим через $\alpha -$ угол наклона балки к горизонту и расставим силы, действующие на балку. Силы трения направлены вдоль балки вверх, т.к. балка стремится соскользнуть вниз. Балка будет находиться в равновесии, если будут выполняться два условия: равенство нулю всех сил, действующих на балку и равенства нулю моментов всех сил, действующих на балку, относительно оси, проходящей, например, через опору **2**. Запишем первое условие равновесия для балки в проекциях на ось OX и OY:

OX: $F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} - mg \cdot sin\alpha = 0$ (1)

OY: $N_1 - N_2 - mg \cdot cos\alpha = 0$ (2)

Принимая во внимание, что $F_{\text{тр}} \leq \mu N$, перепишем уравнения (1) и (2) в виде:

$\mu N_1 + \mu N_2 - mg \cdot sin\alpha \geq 0$ (3)

$N_1 - N_2 - mg \cdot cos\alpha = 0$ (4)

Напишем для балки второе условие равновесия, относительно оси, проходящей через **2**:

$M_1 - M_2 = 0,$ (5)

где $M_1 = mg \cdot \left(\frac{L}{2} - l_2\right) \cdot cos\alpha, M_2 = N_1 \cdot l_1$

$mg \cdot \left(\frac{L}{2} - l_2\right) \cdot cos\alpha = N_1 \cdot l_1$ (6)

Из уравнений (4) и (6) найдем:

$N_1 = \frac{mg \cdot cos\alpha(\frac{L}{2} - l_2)}{l_1}$ и $N_2 = \frac{mg \cdot cos\alpha(\frac{L}{2} - l_2 - l_1)}{l_1}$ (7)

Подставляя (7) в (3), получим:

$L \geq 2l_2 + l_1 \cdot (1 + \frac{tg\alpha}{\mu}) \rightarrow tg\alpha \leq \frac{(L - 2l_2 - l_1)}{l_1} \cdot \mu$ (8)

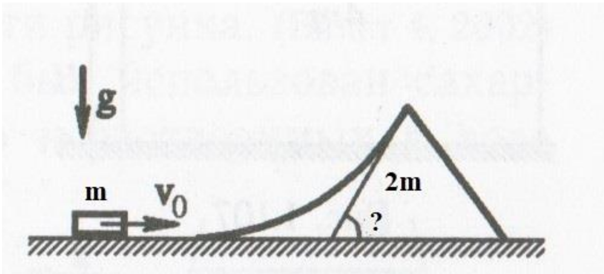
Ответ: $tg\alpha \leq \frac{(L-2l_2-l_1)}{l_1} \cdot \mu$

Критерии оценивания:

1) Сделан рисунок с указанием сил, действующих на балку - 1 балл
2) Верно записано первое условие равновесия для балки в проекциях ОХ и ОУ - 3 балла
3) Верно записано второе условие равновесия относительно оси 1 или 2 – 3 балла
4) Верно получено аналитическое выражение для $tg\alpha$- 3 балла.

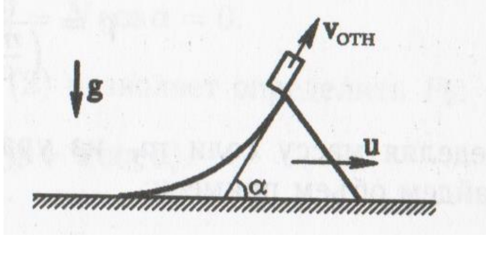
Всего 10 баллов

3. **Ледяная горка**



Юный хоккеист сообщает клюшкой шайбе горизонтальную скорость. В результате удара шайба попадает на покоящуюся гладкую ледяную горку, двигается по этой горке без отрыва и покидает её. Горка движется по горизонтальной поверхности, не отрываясь от неё, приобретает скорость в четыре раза меньше начальной скорости шайбы. Нижняя часть горки имеет плавный переход к горизонтальной поверхности (см.Рис.). Пренебрегая изменением потенциальной энергии шайбы при ее движении по горке и считая поверхность, на которой располагается горка, гладкой, определите угол наклона к горизонту верхней части горки. Параметры, изображенные на рисунке, считать известными.

Решение:



На рисунке изображен момент соскальзывания шайбы с горки. Обозначим в этот момент скорость шайбы относительно горки через $v_{отн}$, а скорость самой горки через u. Очевидно, что скорость горки направлена горизонтально, а относительная скорость шайбы составляет угол α с горизонтом. Поскольку действующая на систему «шайба+горка» в горизонтальном направлении результирующая сила равна нулю, то горизонтальная составляющая импульса этой системы остаётся неизменной:

$mv_0 = 2mu + m(v_{отн} \cdot cos\alpha + u)$ (1)

По условию задачи $u = v_0/4$, то (1) примет вид:

$v_0 = 4v_{отн} \cdot cos\alpha$ (2)

По закону сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \frac{mv_ш^2}{2}, \qquad (3)$$

где $v_ш$- скорость шайбы в момент соскальзывания относительно неподвижной системы координат. Скорость шайбы найдем из закона сложения скоростей:

$$v_ш^2 = v_{отн}^2 + u^2 + 2 \cdot v_{отн} u \cdot \cos\alpha \qquad (4)$$

После подстановки (4) в (3) с учётом $u = v_0/4$, получим:

$$13v_0^2 = 16v_{отн}^2 + 8 \cdot v_{отн} v_0 \cdot \cos\alpha \qquad (5)$$

Подставляя (2) в (5), получим:

$$208v_{отн}^2 \cdot cos^2\alpha = 16v_{отн}^2 + 32v_{отн}^2 \cdot cos^2\alpha \rightarrow \cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{11}}.$$

Ответ: $\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{11}}$.

Критерии оценивания:

1) Записано выражение для горизонтальной составляющей импульса– 2 балла
2) Записан закон сохранения энергии– 2 балла
3) Получено выражение для скорости шайбы – 2 балла
4) Получено численное значение для $\cos\alpha$ – 4 балла

Всего 10 баллов

4. **Зима в Простоквашино**

Зима в Простоквашино выдалась очень холодной. Днём температура воздуха за окном $-15°C$, а ночью $-32°C$. Чтобы не замёрзнуть, Матроскин и Шарик затопили печь. Они подбрасывали дубовые дрова днём в течение $\tau_1 = 6$ часов для поддержания температуры воздуха в доме $24°C$, а ночью в течение $\tau_2 = 3$ часов для поддержания этой же температуры. Во сколько раз при этом изменится объем сжигаемых дров ночью по сравнению с дневным сжиганием?

Решение:

Введем обозначения: $t_{10} -$ температура воздуха днём на улице, $t_{20} -$ температура воздуха ночью на улице, $t -$ температура воздуха в доме, $q -$ удельная теплота сгорания дров. Будем считать, что мощность тепловых потерь $N_{потерь} = k\Delta t$. По закону сохранения энергии:

$$k \cdot (t - t_{10}) = q \cdot m_1 \cdot \tau_1, \qquad (1)$$

$m_1 = \rho \cdot V_1$, $\rho -$ плотность дров, $V_1 -$ объём сжигаемых дров днём.

$$k \cdot (t - t_{20}) = q \cdot m_2 \cdot \tau_2, \qquad (2)$$

$m_2 = \rho \cdot V_2$, $V_2 -$ объём сжигаемых дров ночью.

Поделим (2) на (1) с учётом $m = \rho \cdot V$:

$$\frac{V_2 \cdot \tau_2}{V_1 \cdot \tau_1} = \frac{(t - t_{20})}{(t - t_{10})}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(t - t_{20}) \cdot \tau_1}{(t - t_{10}) \cdot \tau_2} \qquad (3)$$

Ответ: увеличится $\approx$ в 2,87 раз

Критерии оценивания:

1) Записано выражение для мощности тепловых потерь – 1 балл
2) Записаны закон сохранения энергии днём – 3 балла
3) Записаны закон сохранения энергии ночью – 3 балла
4) Получено выражение для $\frac{V_2}{V_1}$ – 2 балла
5) Получен верный численный ответ - 1 балл

Всего 10 баллов

5. **Одинаковые лампочки**

Экспериментатор Глюк изучал зависимость силы тока от напряжения в электрической цепи с лампой накаливания. Результаты измерений он проиллюстрировал в виде вольт-амперной характеристики (Рис.1). Затем, Глюк собрал электрическую цепь, состоящую из двух исследуемых ранее одинаковых ламп накаливания, идеального амперметра, идеальной батарейки и резистора (Рис.2). Помогите Глюку определить показания амперметра при известных на Рис.2 значениях элементов электрической цепи.

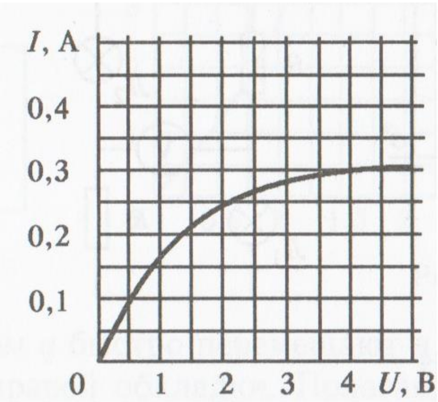


Рис. 1

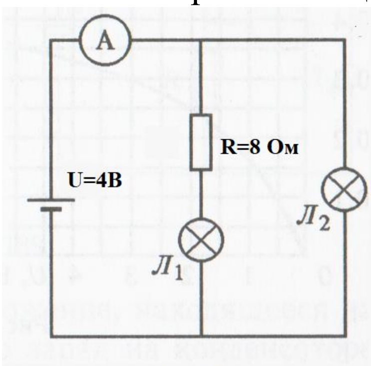
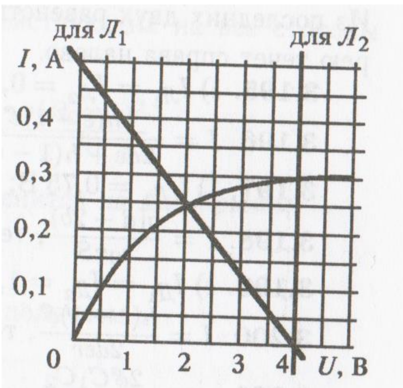


Рис. 2

Решение:



Напряжение на лампочке $Л_1$:

$U_{Л1} = U - I_{Л1} \cdot R,$ (1)

где $I_{Л1}$ − ток через лампу $Л_1$

Уравнение (1) называется уравнением нагрузочной прямой. Построим эту прямую.

Пересечение этой прямой с вольт-амперной характеристикой лампочки даёт:

$U_{Л1} = 2В,\ \ I_{Л1} = 0{,}25$ А. (2)

Напряжение на второй лампочке $U_{Л2} = 4В$. По вольт-амперной характеристике находим ток через неё: $I_{Л2} = 0{,}3$ А. Ток через батарею равен:

$I = I_{Л1} + I_{Л2} = 0{,}55\ A.$ (3)

Именно этот ток и покажет амперметр.

Ответ: $I = 0{,}55\ A.$

Критерии оценивания:

1) Записан закон Ома для контура с $Л_1$ и выражено напряжение на $Л_1$ - 2 балла
2) Верно построена нагрузочная кривая - 2 балла
3) Определены напряжение и ток на $Л_1$ - 2 балла
4) Определены напряжение и ток на $Л_2$ - 2 балла
5) Найден ток через амперметр - 2 балла

Всего 10 баллов