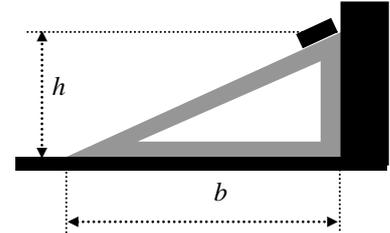


ЗАДАЧА № 1

На полу, прижатый к стене, стоит гладкий клин высотой  $h=50\text{см}$  и основанием  $b=120\text{см}$ . Масса клина  $M=560\text{г}$ . В верхней части на его наклонной поверхности удерживается кирпич длиной  $l=25\text{см}$  и массой  $m=1,69\text{кг}$ , также прижатый к стене (см. рисунок). Кирпич отпускают, и он начинает скользить без трения вниз по плоскости.



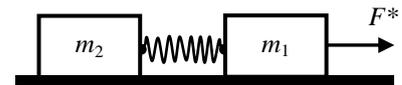
Определить силу давления клина на стену ( $N$ ) и пол ( $P$ ) во время спуска. Через сколько секунд ( $t$ ) после начала спуска кирпич коснется пола?

Решение

Длина наклонной плоскости  $L=130\text{см}$ , а угол ее наклона  $\varphi = \arcsin(5/13)$ . Кирпичу надо проехать путь  $s = L - l = 105\text{см}$  с ускорением  $a_o = g \sin\varphi$ , на что уйдет время  $t = \sqrt{(2s/a_o)} = 0,74\text{с}$ . При этом горизонтальная составляющая ускорения  $a_x = a_o \cos\varphi$  обеспечивается давлением стенки на кирпич через клин:  $N = ma_x = 6\text{Н}$ . Вертикальная составляющая ускорения  $a_y = a_o \sin\varphi = g(\sin\varphi)^2$  обеспечивается земным притяжением, точнее, его частью в количестве  $F = ma_y = 2,5\text{Н}$ . Оставшейся от  $mg$  частью кирпич вместе с клином давят на пол с силой  $P = (M + m)g - ma_y = 20\text{Н}$ .

ЗАДАЧА № 2

На столе лежат два бруска, сцепленные пружиной (см. рисунок). Их массы  $m_1=200\text{г}$  и  $m_2=300\text{г}$ . Коэффициент трения между ними и столом  $\mu=0,4$ . С какой **минимальной горизонтальной** силой ( $F^*$ ) нужно тянуть первый брусок, чтобы сдвинуть второй с места?



Решение

Пружину нужно растянуть на величину  $x$ , где  $kx = \mu m_2 g$ . Если приложенная сила  $F < \mu(m_1 + m_2)g = 2\text{Н}$ , то первый груз начнет разгоняться, а потом тормозить до полной остановки, продолжая растягивать пружину по инерции. Когда он остановится, то для сдвига  $m_2$  пружина должна быть растянута по крайней мере до указанного значения  $x$ . Для этого достаточно силы  $F^*$ , которая совершит работу  $A = F^*x = kx^2/2 + \mu m_1 g x$  (потенциальная энергия растянутой пружины + работа против сил трения). Разделив обе части на  $x$  и взяв  $kx$  из первого равенства, получим:

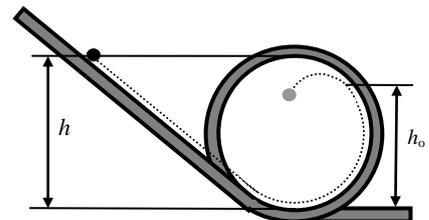
$$F^* = \mu(m_1 + m_2/2)g = 1,4\text{ Н}.$$

ЗАДАЧА № 3

Установка для демонстрации «мертвой петли» представляет собой гладкий желоб, изогнутый в виде петли в вертикальной плоскости. Петля (см. рисунок) состоит из прямой наклонной части, которая плавно (по касательной) переходит в окружность радиуса  $R$ , а та, в свою очередь, также плавно переходит в горизонтальный прямой участок. Для того, чтобы скользящий по желобу (без трения) шарик совершил «мертвую петлю», то есть проскользил по круглому участку без отрыва от желоба, его надо пустить по наклонному участку с высоты  $H$ , большей диаметра петли.

Наименьшая высота, позволяющая шарик совершить «мертвую петлю», равна  $H_{\min}=150\text{см}$ . Найти величину радиуса петли  $R$ . Размерами шарика пренебречь.

Если же шарик пустить с меньшей высоты, то он, не закончив «мертвой петли», оторвется от желоба и некоторое время будет находиться в свободном полете (см. рисунок, на котором пунктиром показана его примерная траектория). На какой высоте ( $h_o$ ) произойдет отрыв шарика от желоба, если пустить его с высоты  $h$ , равной диаметру петли ( $h = 2R$ )?



Решение

Для совершения «мертвой петли» превышение точки старта над верхней точкой петли ( $h$ ) должно обеспечить такую скорость ( $v$ ) в этой точке, что центростремительное ускорение  $a_c = v^2/R \geq g$ . Из закона сохранения энергии  $v^2 = 2gh$ , откуда  $h \geq R/2$ ,  $H_{\min} = 2,5R$  и, соответственно,  $R = 60\text{см}$ .

Если точка старта будет на уровне верхней точкой петли, то шарик оторвется, не дойдя до верха часть окружности, а именно дугу, составляющую центральный угол  $\varphi$ , при котором  $a_c = v^2/R = g \cos \varphi$ . Но, по закону сохранения энергии, в этой точке  $v^2 = 2gR(1 - \cos \varphi)$ , откуда  $\cos \varphi = 2/3$  и  $h_0 = 5R/3 = 1\text{ м}$ .

#### ЗАДАЧА № 4

На освещенной стороне поверхности Луны температура достигает значения  $\sim +130^\circ\text{C}$ . Оценить среднеквадратичную скорость теплового движения молекул водорода ( $V_{\text{H}_2}$ ) и азота ( $V_{\text{N}_2}$ ) при этой температуре. Сравнить ее со второй космической скоростью для Луны ( $V_{II}$ ). Радиус Луны  $R = 1,7$  тысяч км, ускорение свободного падения на Луне составляет  $1/6$  от земного. Массы атомов водорода и азота принять равными 1 и, соответственно, 14 аем (атомных единиц массы).  $1\text{ аем} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ кг}$ ,  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж/К}$ .

#### Решение

Среднеквадратичная скорость ( $V^*$ ) частиц идеального газа при абсолютной температуре  $T$  дается выражением  $V^* = \sqrt{3kT/m}$ , что при  $T = 403\text{ К}$  для молекул водорода ( $\text{H}_2$ ) и азота ( $\text{N}_2$ ) составляет:  $V^*_{\text{H}_2} = 2240\text{ м/с}$  и  $V^*_{\text{N}_2} = 600\text{ м/с}$ . Вторая космическая скорость ( $V_{II}$ ) любой планеты  $V_{II} = \sqrt{2gR}$ , что для Луны составляет:

$$V_{II} = (\sqrt{2 \cdot 10\text{ м/с}^2 \cdot 1,7 \cdot 10^6\text{ м/6}})^{1/2} = 2380\text{ м/с},$$

#### ЗАДАЧА № 5

Не пользуясь таблицами, определить относительную влажность воздуха в комнате при температуре  $t = 30^\circ\text{C}$ , если измеренная точка росы в ней оказалась равной  $t_{\text{росы}} = 11^\circ\text{C}$ . Считать, что в этой температурной области плотность насыщенного пара ( $\rho^*$ ) пропорциональна 16-й степени **абсолютной** температуры:

$$\rho^*(T) = A \cdot T^{16}, \text{ где } A - \text{константа.}$$

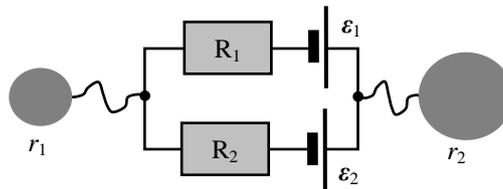
#### Решение

$$\varphi = (T_{\text{росы}}/T)^{16} = [(11+273)/(30+273)]^{16} = 0,355 = 35,5\%$$

#### ЗАДАЧА № 6

Два источника постоянного тока, два резистора и два металлических шара собраны в схему, представленную на рисунке. Шары изначально не заряжены и удалены друг от друга на значительное расстояние. ЭДС источников ( $\varepsilon_i$ ), сопротивления резисторов ( $R_i$ ) и радиусы шаров ( $r_i$ ) имеют следующие значения:  $\varepsilon_1 = 2\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 3\text{ В}$ ,  $R_1 = 2\ \Omega$ ,  $R_2 = 1\ \Omega$ ,  $r_1 = 10\text{ см}$ ,  $r_2 = 30\text{ см}$ . Символ  $\Omega$  (заглавная греческая «омега») – одно из стандартных обозначений единицы сопротивления «Ом».

Найти установившийся потенциал каждого из шаров ( $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ) и величину заряда ( $q$ ), перетекшего с одного шара на другой. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.



#### Решение

Разность потенциалов между шарами  $\varphi_2 - \varphi_1 = (\varepsilon_2 R_1 + \varepsilon_1 R_2) / (R_1 + R_2) = + 8/3\text{ В}$  создается электрической цепью и достигается перетеканием отрицательного заряда  $q$  со 2-го шара на 1-й. Поскольку

$$\varphi_1 / \varphi_2 = - r_2 / r_1 = -3, \text{ то}$$

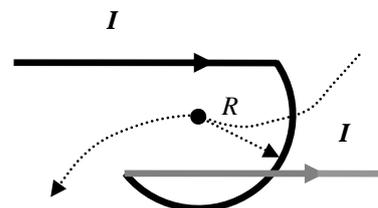
$$\varphi_1 = -2\text{ В}, \quad \varphi_2 = +2/3\text{ В}, \quad \text{а} \quad q = \varphi_1 r_1 4\pi\varepsilon_0 = -2,2 \times 10^{-12}\text{ Кл}.$$

#### ЗАДАЧА № 7

**Бесконечный прямой тонкий** провод, по которому протекает ток  $I$ , изогнули **в середине** так, как показано на рисунке. Прямые участки провода параллельны друг другу, а петля образует дугу, составляющую половину окружности радиусом  $R$  (для наглядности радиус представлен на рисунке пунктирной стрелкой). Все участки провода лежат в одной (горизонтальной) плоскости и в точке пересечения не имеют друг с другом электрического контакта.

В той же плоскости с постоянной скоростью  $V$  движется металлический незаряженный шарик радиусом  $r \ll R$ . Его траектория и направление движения представлены на рисунке (вид сверху) пунктирной линией со стрелкой. В некоторый момент он проходит центр дуги (см. рис.).

Определить, между какими точками шарика (верхней, нижней, передней, задней, левой, правой по ходу) разность потенциалов, индуцированная его движением в магнитном поле проводника, окажется в этот момент наибольшей. Найти ее величину ( $U_{\text{max}}$ ).

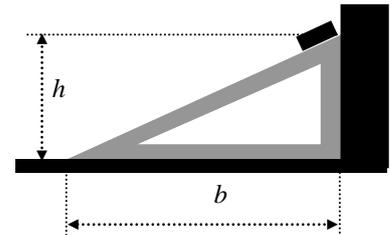


### Решение

Магнитное поле в центре создается только дугой ( $B = \mu_0 I / 4R$ ), поскольку вклады двух прямых участков взаимно скомпенсированы. По «правилу правого буравчика» вектор  $\mathbf{B}$  направлен перпендикулярно плоскости рисунка в сторону от читателя. Тогда, по «правилу левой руки», сила Лоренца действует на заряды шарика в плоскости рисунка, причем на положительные – влево по ходу, а на отрицательные – вправо. Т.о., максимальная разность потенциалов будет между левой и правой точками:  $\Delta\varphi = 2Bvr = \mu_0 IVr / 2R$ .

ЗАДАЧА № 1

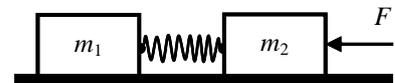
На полу, прижатый к стене, стоит гладкий клин высотой  $h = 40$  см и основанием  $b = 75$  см. Масса клина  $M = 775$  г. В верхней части на его наклонной поверхности удерживается брусок длиной  $l = 25$  см и массой  $m = 289$  г, также прижатый к стене (см. рисунок). Брусок отпускают, и он начинает скользить без трения вниз по плоскости.



Определить силу давления клина на стену ( $N$ ) и пол ( $P$ ) во время спуска. Через сколько секунд ( $t$ ) после начала спуска брусок коснется пола?

ЗАДАЧА № 2

На шероховатом столе лежат два бруска, сцепленные пружиной. Их массы  $m_1 = 400$  г и  $m_2 = 600$  г. Первый брусок пытаются сдвинуть с места, толкая на него через пружину второй брусок горизонтальной силой  $F$ , как это показано на рисунке. Минимальная сила, необходимая для этого, равна  $F_{min} = 2$  Н. Определить Коэффициент трения ( $\mu$ ) между брусками и столом.

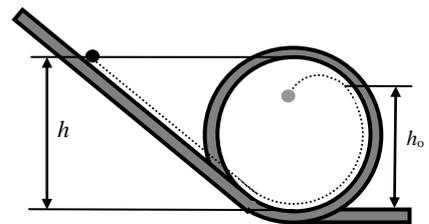


ЗАДАЧА № 3

Установка для демонстрации «мертвой петли» представляет собой гладкий желоб, изогнутый в виде петли в вертикальной плоскости. Петля (см. рисунок) состоит из прямой наклонной части, которая плавно (по касательной) переходит в окружность радиуса  $R = 60$  см, а та, в свою очередь, также плавно переходит в горизонтальный прямой участок.

Для того, чтобы скользящий по желобу (без трения) шарик совершил «мертвую петлю», то есть проскользил по круглому участку без отрыва от желоба, его надо пустить по наклонному участку с высоты  $H$ , большей диаметра петли. Пренебрегая размерами шарика, найти наименьшее значение этой высоты ( $H_{min}$ ), позволяющее шарика совершить «мертвую петлю».

Если же шарик пустить с меньшей высоты, то он, не закончив «мертвой петли», оторвется от желоба и некоторое время будет находиться в свободном полете (см. рисунок, на котором пунктиром показана его примерная траектория). На какой высоте ( $h_0$ ) произойдет отрыв шарика от желоба, если пустить его с высоты  $h$ , равной диаметру петли ( $h = 2R = 120$  см)?



ЗАДАЧА № 4

На поверхности Марса температура достигает значения  $T = -30^\circ\text{C}$ . Оценить среднеквадратичную скорость теплового движения молекул гелия ( $V_{\text{He}}$ ) и кислорода ( $V_{\text{O}_2}$ ) при этой температуре. Сравнить ее со второй космической скоростью для Марса ( $V_{\text{II}}$ ). Радиус Марса  $R = 3,4$  тысяч км, ускорение свободного падения на Марсе составляет 0,4 от земного. Массы атомов гелия и кислорода принять равными 4 и, соответственно, 16 аеи (атомных единиц массы).  $1 \text{ аеи} = 1,66 \cdot 10^{-27}$  кг,  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

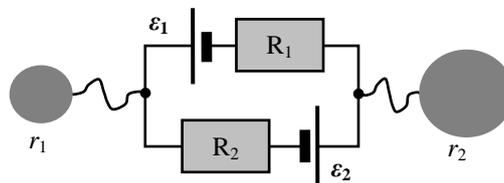
### ЗАДАЧА № 5

Не пользуясь таблицами, определить относительную влажность воздуха в комнате при температуре  $t = 25^\circ\text{C}$ , если измеренная точка росы в ней оказалась равной  $t_{\text{росы}} = 17^\circ\text{C}$ . Считать, что в этой температурной области плотность насыщенного пара ( $\rho^*$ ) пропорциональна 16-й степени *абсолютной* температуры:

$$\rho^*(T) = A \cdot T^{16}, \text{ где } A - \text{константа.}$$

### ЗАДАЧА № 6

Два источника постоянного тока, два резистора и два металлических шара собраны в схему, представленную на рисунке. Шары изначально не заряжены и удалены друг от друга на значительное расстояние. ЭДС источников ( $\varepsilon_i$ ), сопротивления резисторов ( $R_i$ ) и радиусы шаров ( $r_i$ ) имеют следующие значения:  $\varepsilon_1 = 2\text{В}$ ,  $\varepsilon_2 = 3\text{В}$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 1\Omega$ ,  $r_1 = 10\text{см}$ ,  $r_2 = 30\text{см}$ . Символ  $\Omega$  (заглавная греческая «омега») – одно из стандартных обозначений единицы сопротивления «Ом».



Найти установившийся потенциал каждого из шаров ( $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ) и величину заряда ( $q$ ), перетекшего с одного шара на другой. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

### ЗАДАЧА № 7.

Бесконечный прямой тонкий провод, по которому протекает ток  $I$ , изогнули в середине так, как показано на рисунке. Прямые участки провода параллельны друг другу, а петля образует дугу, составляющую половину окружности радиусом  $R$  (для наглядности радиус представлен на рисунке пунктирной стрелкой). Все участки провода лежат в одной (горизонтальной) плоскости.

В той же плоскости с постоянной скоростью  $V$  движется металлический незаряженный шарик радиусом  $r \ll R$ . Его траектория и направление движения представлены на рисунке (вид сверху) пунктирной линией со стрелкой. В некоторый момент он проходит центр дуги (см. рис.).

Определить, между какими точками шарика (верхней, нижней, передней, задней, левой, правой по ходу) разность потенциалов, индуцированная его движением в магнитном поле проводника, окажется в этот момент наибольшей. Найти ее величину ( $U_{\text{max}}$ ).

