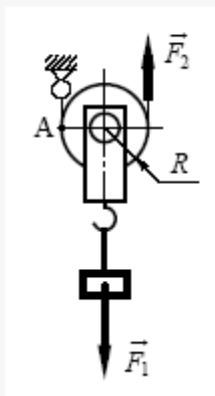


№1

### Простой подвижный блок

Груз поднимают с помощью подвижного блока радиусом  $R$  (см. рисунок). Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым они определяются.



#### Решение

→  
Плечо силы  $F_1$  относительно точки  $A$  равно  $R$ .

→  
Плечо силы  $F_2$  относительно точки  $A$  равно  $2R$ .

→  
Момент силы  $F_1$  относительно точки  $A$  равен  $F_1 \cdot R$ .

№2

### Человек на лестнице

Лестница длины  $L = 3$  м стоит, упираясь верхним закруглённым концом в гладкую стену, а нижним – в пол. Угол наклона лестницы к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ , её масса  $m = 15$  кг. На лестнице на расстоянии  $a = 1$  м от её верхнего конца стоит человек массы  $M = 60$  кг. Какова сила трения, действующая на лестницу (в ньютонах)? Если ответ нецелый, округлите его до целых.  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>

#### Решение

На рисунке изображены лестница с человеком и действующие на них силы. Условия равновесия лестницы с человеком в целом имеют вид:

$$N_1 L \sin \alpha = Mg(L-a) \cos \alpha + mgL \cos \alpha / 2$$

- уравнение моментов относительно оси  $O$ , проходящей через нижний конец лестницы;

$$N_1 = F_{\text{тр}}, N = Mg + mg$$

- условие равновесия лестницы с человеком в проекции на горизонтальную и вертикальную оси. Решив полученную систему уравнений, найдём силы, с которыми лестница давит на пол и стенку, а также требуемую в условии силу трения:

$$N = Mg + mg = 750 \text{ Н}; N_1 = F_{\text{тр}} = (Mg(1-a/L) + mg/2) \operatorname{ctg} \alpha \approx 274 \text{ Н}$$

№3

### Трение на столе

На шероховатой горизонтальной поверхности стола с коэффициентом трения  $\mu = 0,5$  находится брусок. Какую скорость  $V$  ему нужно сообщить, что через  $S = 150$  м его скорость уменьшилась в 4 раза? Ответ выразить в м/с. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

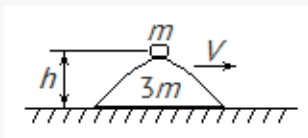
#### Решение

По закону сохранения энергии  $A_{\text{тр}} = \frac{m(V/4)^2}{2} - \frac{mV^2}{2}$ . По определению работы силы трения  $A_{\text{тр}} = -\mu N \cdot S$ , где  $N = mg$ . Итого получается, что  $V = \sqrt{\frac{32\mu g S}{15}} = 40$  м/с.

№4

### Горка с шайбой

Горка массой  $3m$  и шайба массой  $m$  на её вершине движутся по гладкой поверхности стола со скоростью  $V$ .



От незначительного толчка шайба начинает соскальзывать с горки, в результате чего горка начинает замедляться. Когда шайба оказалась на столе, горка остановилась. Чему равна скорость шайбы на столе? На какой высоте  $h$  первоначально была шайба (высота горки)? Поверхность горки является гладкой и имеет плавный спуск на стол.

#### Решение

Пусть  $u$  — скорость шайбы на столе. Рассмотрим систему, состоящую из горки и шайбы. Она является замкнутой, поэтому для неё выполняется закон сохранения импульса:  $(m + 3m)V = mu$ , откуда  $u = 4V$ .

По закону сохранения энергии  $\frac{4mV^2}{2} + mgh = \frac{mu^2}{2}$ . Подставляя  $u$ , находим  $h = \frac{6V^2}{g}$ .

№5

### Столбик в трубке

В горизонтальной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной  $l = 15$  см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Давление атмосферы в лаборатории  $p_0 = 750$  мм рт. ст. Какова температура воздуха в лаборатории? Ответ дать в градусах Кельвина. Округлить до сотен.

## Решение

Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке:

$p = p_0 + \rho g d$ , где  $p_0 = \rho g H$  – давление атмосферы. Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры  $T$  и первоначального объема, то по уравнению Клапейрона–Менделеева:

$$T = T_0 + \Delta T, \quad \frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} = 1 + \frac{d}{H}. \quad \text{Отсюда } T_0 = \Delta T \frac{H}{d} = 300 \text{ К.}$$

11 класс

№6

## Шарик в поле

В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 10$  Тл, направленной вертикально вниз, равномерно вращается в горизонтальной плоскости против часовой стрелки шарик, имеющий положительный заряд  $q = 10^{-3}$  Кл. Шарик подвешен на нити длиной  $L = 2$  м (конический маятник). Угол отклонения нити от вертикали равен  $\alpha = 30^\circ$ , скорость движения шарика равна  $v = 4$  м/с. Найдите массу шарика  $m$ . Ответ дать в граммах. Округлить до целых.  
 $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

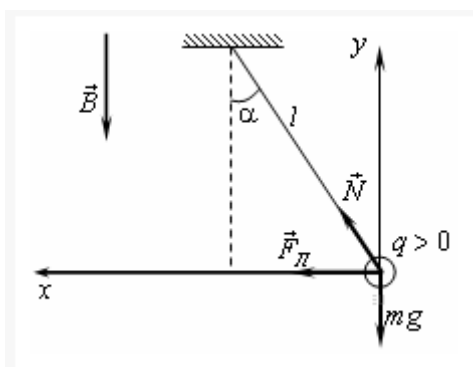
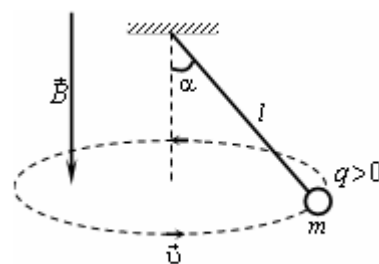
## Решение

II закон Ньютона в проекциях на оси:

$$\text{оx: } N \cdot \sin \alpha + qvB = mv^2/R$$

$$\text{оy: } N \cdot \cos \alpha - mg = 0$$

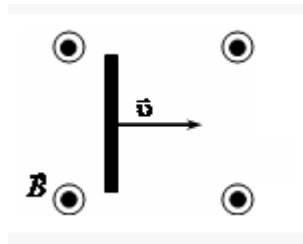
$$\text{Так как } R = L \sin \alpha, \text{ то масса равна: } m = \frac{qB}{\frac{v}{L \sin \alpha} - \frac{g \operatorname{tg} \alpha}{v}} = 4 \text{ г.}$$



№7

## Каково ускорение

Горизонтальный проводник длиной  $L = 1$  м движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна  $B = 0,5$  Тл. Скорость проводника горизонтальна и перпендикулярна проводнику. При начальной скорости проводника, равной нулю, проводник переместился на  $S = 1$  м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна  $E = 2$  В. Каково ускорение проводника? Ответ дать в  $\text{м/с}^2$ , округлить до целых.



### Решение

При движении перемычки в ней возникает ЭДС  $\mathcal{E} = vBL$ . В конце пути длиной  $S$  скорость проводника  $v = \sqrt{2as}$ , откуда  $a = \frac{\mathcal{E}^2}{2B^2L^2S} = 8 \text{ м/с}^2$ .

№8

### Таблица фотоэффекта

В таблице приведены значения максимальной кинетической энергии  $K_{max}$  фотоэлектронов при облучении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ .

$\lambda$	$\lambda_0$	$2\lambda_0$
$K_{max}$	$K_0$	$\frac{1}{4}K_0$

Чему равна работа выхода  $A_{вых}$  фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

### Решение

При облучении светом с длиной волны  $\lambda_0$  уравнение Эйнштейна для фотоэффекта даёт  $\frac{hc}{\lambda_0} = A_{вых} + K_0$ .

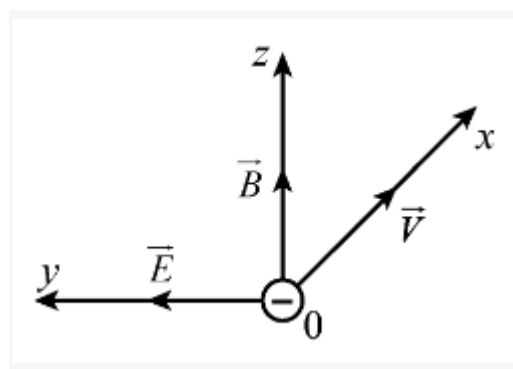
При облучении светом с длиной волны  $2\lambda_0$  уравнение Эйнштейна для фотоэффекта даёт  $\frac{hc}{2\lambda_0} = A_{вых} + \frac{1}{4}K_0$ .

Из этих соотношений получаем, что  $A_{вых} + K_0 = 2A_{вых} + \frac{1}{4}K_0$ , откуда  $A_{вых} = \frac{1}{2}K_0$ .

№9

### Электромагнитная сила

Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси  $Ox$  под действием света с катода фотоэлемента, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рисунок).



Какой должна быть частота падающего света  $\nu$ , чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена против оси  $Oy$ ? Работа выхода для вещества катода

$2,39$  эВ, напряжённость электрического поля  $3 \cdot 10^2 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ , индукция магнитного поля  $10^{-3}$  Тл. В ответ укажите

граничное значение, выраженное в ПГц ( $1 \text{ ПГц} = 10^{15} \text{ Гц}$ ). Если ответ не целый, округлите до десятых.

### Решение

На электрон со стороны магнитного поля действует сила Лоренца величиной  $F_L = qvB$ . Направление её определяется правилом левой руки. В данном случае сила Лоренца оказывается направленной в положительном направлении оси  $Oy$ .

Со стороны электрического поля на электрон действует сила  $F_3 = qE$ . Поскольку электрона заряжен отрицательно, сила направлена против направления напряжённости электрического поля, то есть в отрицательном направлении оси  $Oy$ .

Таким образом, чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена против оси  $Oy$ , должно выполняться условие:  $qVB < qE$  тогда  $V < \frac{E}{B}$ .

Из уравнения Эйнштейна, для максимальной кинетической энергии фотоэлектронов  $h\nu = A + \frac{mV^2}{2}$ .

Следовательно, частота падающего света должна подчиняться условию:  $\nu < \frac{1}{h} \left( A + \frac{mE^2}{2B^2} \right) = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ .

№10

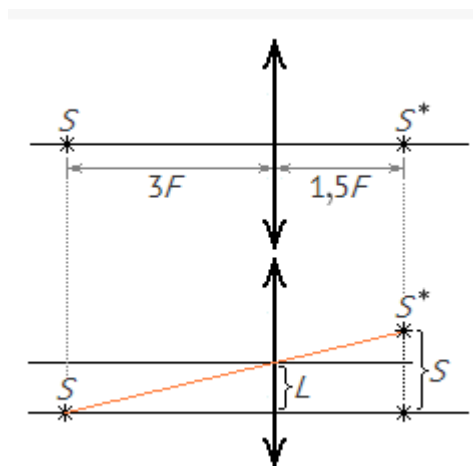
### Поступательный сдвиг линзы

Точечный источник света находится на главной оптической оси на расстоянии  $d = 3F$  от собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$ . Линзу сместили вверх на расстояние  $L = 6$  см в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси. На сколько сантиметров сместится изображение источника в линзе? Если ответ не целый, то округлить до десятых.

### Решение

Найдём местоположение изображение  $S^*$  источника  $S$  в тонкой линзе. Из уравнения тонкой линзы

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$  и  $d = 3F$  следует, что  $f = 1,5F$ .



После поступательного сдвига линзы вверх расстояние от источника до линзы останется тем же, значит и расстояние от изображения до линзы сохранится, однако изображение сместится так, чтобы источник, изображение и главный оптический центр линзы лежали на одной прямой.

Из подобия треугольников  $\frac{L}{S} = \frac{3F}{3F + 1,5F}$ , откуда  $S = \frac{3L}{2} = 9$  см.