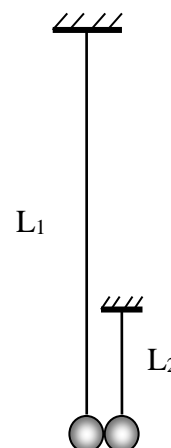


**Заключительный (очный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.  
11 класс**

**Типовой вариант**

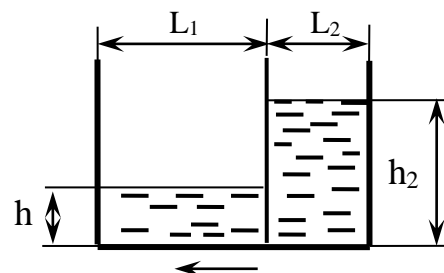
**Задача 1 (10 баллов)**

Два одинаковых упругих шарика подвешены на невесомых нерастяжимых нитях таким образом, что нити параллельны и центры тяжести шариков находятся на одном уровне. Длина нити первого шарика  $L_1 = 1$  м, второго  $L_2 = 0,25$  м. Нить второго шарика отклонили на небольшой угол и отпустили. Сколько раз столкнутся шарики за время  $\tau = 4$  с, прошедшее с начала движения второго шарика? Ускорение свободного падения принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



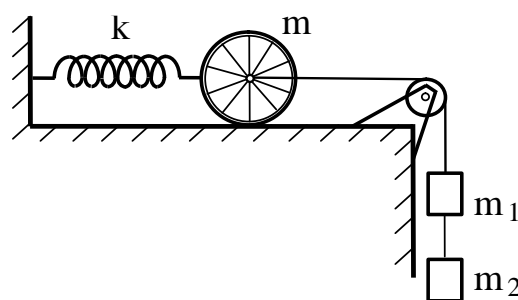
**Задача 2 (12 баллов)**

Призматический сосуд длиной 3 м и шириной 1 м, разделён перегородкой на два отсека длиной  $L_1 = 2$  м и  $L_2 = 1$  м. Сосуд заполнен водой до высоты  $h_1 = 1$  м в первом отсеке и до высоты  $h_2 = 1,75$  м во втором отсеке. Сосуд перемещается горизонтально с постоянным ускорением  $a = 0,4$  м/с<sup>2</sup>. Определите суммарную силу давления воды на перегородку. Ускорение свободного падения принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



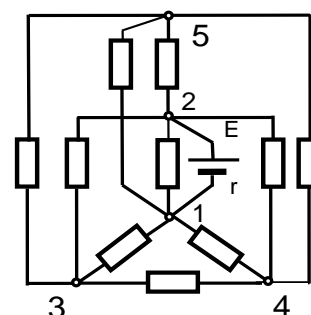
**Задача 3 (12 баллов)**

К оси колеса, масса  $m$  которого равномерно распределена по ободу, присоединена пружина жесткости  $k$ . Второй конец пружины прикреплен к стене. С помощью нити, перекинутой через блок, к оси колеса подвешены два груза:  $m_1 = m$ , и  $m_2 = 3m$ . Система пришла в движение с нулевой начальной скоростью при недеформированной пружине. Считая, что колесо катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания, определите максимальную силу натяжения нити, соединяющей грузы  $m_1$  и  $m_2$  при их дальнейшем движении. Массами пружины, нити и блока пренебречь.

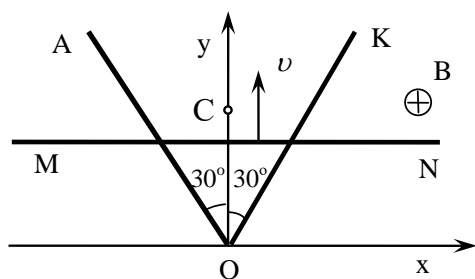


**Задача 4 (12 баллов)**

В электрической цепи, представленной на рисунке, сопротивление каждого резистора  $r = 10$  Ом. Какая мощность будет выделяться в этой цепи, если к точкам 1 и 2 подсоединить батарею с ЭДС  $E = 6$  В и внутренним сопротивлением  $r = 10$  Ом?



### Задача 5 (12 баллов)



Проводник АОК, согнутый под углом  $60^\circ$ , расположен в плоскости  $xOy$ , как показано на рисунке, в постоянном однородном магнитном поле индукции  $B$ , перпендикулярной плоскости  $xOy$ . По проводнику из начала координат  $O$  перемещают поступательно вдоль оси  $y$  с постоянной скоростью  $v$  перемычку  $MN$ , параллельную оси  $x$ . Сопротивление единицы длины перемычки равно  $\rho$ . Пренебрегая сопротивлением

проводника и скользящих контактов, а также индуктивностью контура, найдите полное количество теплоты  $Q$ , выделившейся в перемычке, за время её движения до точки  $C$ .

Длина отрезка  $OC$  равна  $L$ .

### Задача 6 (22 балла)

Теплоизолированный сосуд, откачанный до глубокого вакуума, находится в большом объёме, заполненном смесью аргона и неона при давлении  $P = 10^5$  Па и температуре  $T_0 = 300$  К. Плотность смеси  $\rho = 1,0 \text{ кг/м}^3$ . В некоторый момент открывают кран, и происходит заполнение сосуда газом. Определите температуру газа в сосуде после его заполнения. Какая часть внутренней энергии газа в сосуде приходится на атомы аргона. Давление газа вне сосуда считать неизменным.

**Заключительный (очный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.  
11 класс**

**Вариант № 9**

**Задача 1** (10 баллов)

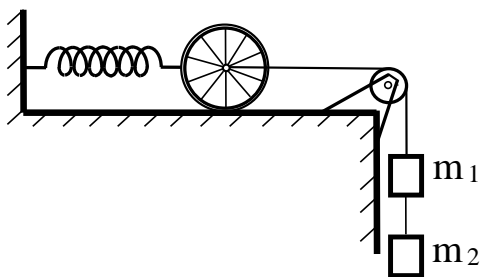
Дифракционная решётка содержит  $n = 200$  штрихов на 1 мм. На решётку падает нормально монохроматический свет ( $\lambda = 0,6$  мкм). Определите число главных максимумов интенсивности, которое даёт эта решётка?

**Задача 2** (12 баллов)

По трубопроводу, расположенному в горизонтальной плоскости и изогнутому под прямым углом, подаётся топливо, расход которого  $Q = 10$  дм<sup>3</sup>/с. Площадь сечения трубы  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Плотность топлива  $\rho = 0,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Определите величину минимальной горизонтальной составляющей силы, которую необходимо приложить к трубе, чтобы она была неподвижна.

**Задача 3** (12 баллов)

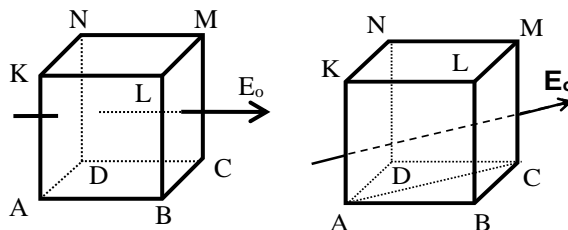
К оси колеса, масса которого равномерно распределена по ободу, присоединена пружина.



Второй конец пружины прикреплен к стене. С помощью нити, перекинутой через блок, к оси колеса подвешены два груза:  $m_1 = 10$  кг, и  $m_2 = 5$  кг. Система пришла в движение с нулевой начальной скоростью при недеформированной пружине. Считая, что колесо катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания, определите массу колеса  $M$ , если известно, что максимальная сила натяжения нити, соединяющей грузы  $m_1$  и  $m_2$  при их дальнейшем движении,  $T = 80$  Н. Массами пружины, нити и блока, а также трением в блоке пренебречь.

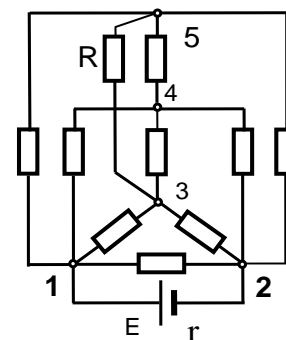
**Задача 4** (12 баллов)

В однородном электрическом поле находится незаряженный проводящий куб  $ABCD KLMN$ , ориентированный так, что вектор напряженности поля  $E_0$  перпендикулярен грани куба  $BCML$ . Поверхностная плотность заряда в середине указанной грани равна  $+\sigma_0$ . Найдите модуль плотности зарядов в середине боковой грани  $ADNK$  и верхней грани  $KLMN$ , если куб расположить так, что вектор напряженности поля будет параллелен диагонали  $AC$  нижней грани куба?



**Задача 5** (12 баллов)

В электрической цепи, представленной на рисунке, сопротивление каждого резистора  $r = 1$  Ом. Какая мощность будет выделяться в этой цепи, если к точкам 1 и 2 подсоединить батарею с ЭДС  $E = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом?



**Задача 6** (22 балла)

Теплоизолированный сосуд, откачанный до глубокого вакуума, находится в большом объёме, заполненном смесью аргона и неона при давлении  $P = 10^5$  Па и температуре  $T_0 = 300$  К. Плотность смеси  $\rho = 1,0$  кг/м<sup>3</sup>. В некоторый момент открывают кран, и происходит заполнение сосуда газом. Определите температуру газа в сосуде после его заполнения. Какая часть внутренней энергии газа в сосуде приходится на атомы аргона. Давление газа вне сосуда считать неизменным.

**Заключительный (очный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.  
11 класс**

**Ситуационная задача**

**Вариант 1**

Известный физик-теоретик Фримен Дайсон предложил стратегию решения энергетических проблем землян в будущем. Суть ее заключается в том, что достаточно развитая в технологическом отношении цивилизация способна использовать излучение собственного центрального светила, окружив его тонкой оболочкой, радиусом порядка радиусов планетарных орбит. Допустим, цивилизация планеты Плюк, обитающая вокруг звезды Цза массой  $M = 2 \cdot 10^{30}$  кг, мощностью  $N = 4 \cdot 10^{26}$  Вт (находится на Главной последовательности, диаграммы Герцшпрунга—Рассела, параметры, близки к характеристикам Солнца) соорудила сферу Дайсона, радиусом  $r = 2 \cdot 10^{11}$  м, поглощающую  $a = 30\%$  энергии звезды и пропускающую остальные  $t = 70\%$ .

Оцените массу сферы  $m$  и ее толщину  $h$ , при которых гравитационное притяжение звезды, будет компенсироваться оказываемым звездой световым давлением? Для сравнения масса Земли  $M_З = 6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Луны  $M_Л = 7 \cdot 10^{22}$  кг. Считать, что объемная плотность материала сферы имеет порядок плотности воды  $\rho_в$ .

**Решение**

1. Давление света интенсивностью  $I$

$$p = \frac{aI}{c}$$

Выражая интенсивность через мощность Цзы, имеем:

$$p = \frac{aN}{4\pi cr^2},$$

где  $r$  — расстояние от звезды до поверхности сферы. Сила гравитации Цзы, действующая на малый участок поверхности,

$$\delta F = G \frac{M\sigma\delta S}{r^2}.$$

Тогда гравитационное давление

$$p_Г = G \frac{M\sigma}{r^2}.$$

Приравнявая давления, определяем поверхностную плотность Сферы Дайсона

$$\sigma = \frac{aN}{4\pi cGM},$$

Считаем

$$\sigma = \frac{0,3 \cdot 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}}{4 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{М}^2}{\text{кг}^2} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}} = 0,2 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}.$$

Масса сферы

$$m = \sigma \cdot 4\pi r^2 = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{11} \text{ м})^2 \approx 10^{20} \text{ кг} \ll M_Л.$$

Толщина сферы

$$h = \frac{\sigma}{\rho_в} \approx \frac{2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}}{10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 200 \text{ нм}.$$

**Заключительный (очный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.  
11 класс**

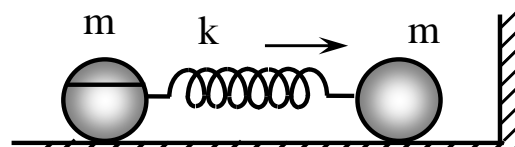
**Вариант № 11**

**Задача 1 (10 баллов)**

На дифракционную решётку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ( $\lambda = 0,67 \text{ мкм}$ ) спектра второго порядка ?

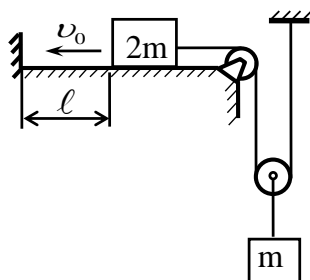
**Задача 2 (12 баллов)**

Два одинаковых шара массой  $m = 2 \text{ кг}$  каждый, соединённых невесомой пружиной жёсткости  $k = 100 \text{ Н/м}$  скользят по гладкой горизонтальной плоскости и налетают на вертикальную стенку. Задний шар разрезан горизонтальной плоскостью на две части, как показано на рисунке. Коэффициент трения между частями шара  $\mu = 0,4$ . При какой максимальной скорости шаров разрезанные части заднего шара не будут проскальзывать относительно друг друга при дальнейшем движении шаров. Удар считать абсолютно упругим. Ускорение свободного падения принять  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



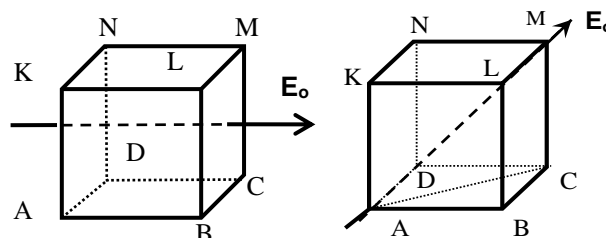
**Задача 3 (12 баллов)**

В системе, изображённой на рисунке, груз  $m$  висит на подвижном блоке, а груз  $2m$  лежит на горизонтальной плоскости. В начальный момент груз  $2m$  находится на расстоянии  $\ell$  от вертикальной стенки и движется к ней со скоростью  $v_0$ . Достигнув стенки, он ударяется о неё. Считая удар груза о стенку абсолютно неупругим, определите максимальную высоту  $H$ , на которую поднимется груз  $m$  от начального положения. Нить считать нерастяжимой. Трением и массой нити и блоков пренебречь.



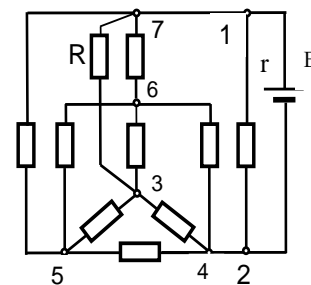
**Задача 4 (12 баллов)**

В однородном электрическом поле находится незаряженный проводящий куб ABCD KLMN, ориентированный так, что вектор напряженности поля  $E_0$  перпендикулярен грани куба BCML. Поверхностная плотность заряда в середине указанной грани равна  $+\sigma_0$ . Найдите модуль плотности зарядов в середине передней грани ABLK и верхней грани KLMN, если куб расположить так, что вектор напряженности поля будет располагаться вдоль диагонали AM куба.



**Задача 5 (12 баллов)**

В электрической цепи, представленной на рисунке, сопротивление каждого резистора  $r = 2 \text{ Ом}$ . Какая мощность будет выделяться в этой цепи, если к точкам 1 и 2 подсоединить батарею с ЭДС  $E = 12 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 2 \text{ Ом}$ ?



**Задача 6 (22 балла)**

Теплоизолированный сосуд, откачанный до глубокого вакуума, находится в большом объёме, заполненном смесью гелия и неона при давлении  $P = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $T_0 = 300 \text{ К}$ . Плотность смеси  $\rho = 0,96 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . В некоторый момент открывают кран, и происходит заполнение сосуда газом. Определите температуру газа в сосуде после его заполнения. Какая часть внутренней энергии газа в сосуде приходится на атомы неона. Давление газа вне сосуда считать неизменным.

**Заключительный (очный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.  
11 класс**

**Ситуационная задача**

**Вариант 5**

Для проведения монтажных или ремонтных работ в космосе, например, на космической станции применяется различный инструмент, в том числе «неотскакивающий» молоток, ударная часть которого состоит из полого корпуса цилиндрической формы и свободно перемещающегося внутри него груза в виде свинцовой дроби, обеспечивающего гашение отскока.

Определите необходимую массу пустой ударной части молотка, если скорость до удара равна 3 м/с, масса груза 680 г, а коэффициент восстановления при ударе (отношение модулей скорости ударной части молотка без груза до и после удара)  $k=0,8$ . Удар груза о внутреннюю поверхность молотка считать абсолютно неупругим. Определите длину свободного пробега груза внутри ударной части, если геометрическая величина отскока головы молотка не должна превышать 20 мм.

**Решение:**

Импульс движущегося молотка складывается из импульсов головы молотка (корпуса ударной части) и груза, имеющих к моменту удара равные скорости:

$$P_{\Sigma 1} = (M_M + M_{\Gamma})V_1.$$

Реальный удар характеризуется потерей части энергии и импульса головы молотка (груз пока находится в свободном полете внутри молотка) на совершение работы. Коэффициент восстановления равен

$$k = V_{M2}/V_{M1},$$

где  $V_{M2}$  и  $V_{M1}$  – модули скорости головы молотка после и до удара.

Таким образом, после удара импульс головы (с учетом направления движения) равен

$$P_{M2} = -V_{M2}M_M = -kV_1M_M.$$

Закон сохранения импульса после отскока головы молотка

$$-kV_1 M_M + M_{\Gamma}V_1 = 0,$$

Удар абсолютно неупругий.

Откуда масса пустой ударной части молотка равна

$$M_M = \frac{M_{\Gamma}V_1}{kV_1} = \frac{M_{\Gamma}}{k} = 0,85 \text{ кг.}$$

После удара голова и груз движутся навстречу друг другу со скоростями  $V_2$  и  $V_1$  соответственно. Дистанция, которую должна пройти голова до встречи с грузом равна дистанции отскока  $x_M$ . Найдем время обратного движения головы до встречи с грузом:

$$t = \frac{x_M}{V_{M2}} = \frac{x_M}{V_1 k} = 0,0083 \text{ с.}$$

За это время груз пройдет расстояние:

$$x_{\Gamma} = tV_1 = 0,025 \text{ м.}$$