

## 11 класс Задача 1

Вращающийся с угловой скоростью  $\omega$  гимнастический обруч радиуса  $R$  и массой  $m$  упал вертикально плашмя на ковер с высоты  $h$ . Определите количество выделившейся при этом теплоты.

### Решение

Первоначальный запас энергии обруча определялся суммой потенциальной и кинетической энергии.

Начальная потенциальная энергия равна  $mgh$ , кинетическая  $m(R\omega)^2/2$ . Значит, полное количество теплоты равно  $Q = m(gh + (R\omega)^2/2)$

## 11 класс Задача 2

При морозе  $-10^\circ\text{C}$  на поверхности пруда за одни сутки нарастает слой льда толщиной 11 см. Оцените, на какой глубине в средних широтах можно закапывать без дополнительной теплоизоляции металлические трубы водопровода, чтобы избежать замерзания воды?

### Решение

При замерзании воды необходимо обеспечить отток скрытой теплоты плавления льда от областей кристаллизации. Чем меньше теплопроводность вещества, через который осуществляется отток теплоты, тем медленнее будет идти кристаллизация. Сухой грунт обладает плохой теплопроводностью, однако дождливой осенью он может пропитаться водой. Поэтому, делая оценку “с запасом” предположим, что теплопроводность промерзшего грунта равна теплопроводности льда.

Далее возможны следующие рассуждения. Пусть за время  $\Delta t$  толщина льда прирастает на величину  $\Delta h$ . Тогда за это время с единицы площади замерзающей поверхности необходимо отвести количество скрытой теплоты  $q \rho \Delta h$  ( $q$  – удельная теплота плавления льда,  $\rho$  – плотность воды). Сквозь толщину  $h$  уже замерзшего к этому времени льда через единицу площади поверхности в атмосферу перейдет количество тепла  $\chi(T - T_{\text{пл}}) \Delta t / h$  ( $\chi$  – коэффициент теплопроводности льда,  $T$  – температура воздуха). Таким образом, получаем уравнение:

$$q \rho h \Delta h = \chi(T - T_{\text{пл}}) \Delta t.$$

Отсюда, из соображений размерности, очевидно, что  $h^2 \sim (T - T_{\text{пл}})t$ . Следовательно, если считать, что мороз  $-10^\circ\text{C}$  продлится 100 суток, это приведет к возрастанию толщи льда на 110 см. А при морозе  $-20^\circ\text{C}$  за те же 100 суток примерно 155 см. С учетом, средней температуры зимой, можно быть уверенным, что трубопровод на глубине 1,5 метра не промерзнет.

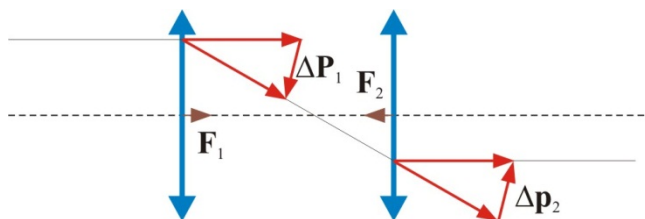
## 11 класс Задача 3

Две идеально прозрачных собирающих линзы установлены на подставках на горизонтальном гладком столе. Линзы образуют телескопическую систему (расстояние между ними равно сумме фокусных расстояний). Что произойдет с линзами при освещении системы мощным пучком лазерного света параллельным оптической оси?

## Решение

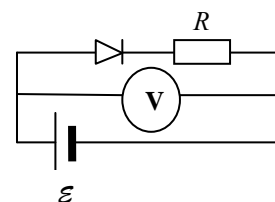
Как известно, свет обладает импульсом. Преломляя лучи света, линзы меняют направления импульсов световых лучей, и значит, испытывают на себе силу светового давления.

На рисунке проведены построения хода световых лучей в системе, описанной в условии. Учтено, что поглощения в линзах нет. Видно, что изменение импульса света первой линзой имеет составляющую вдоль оптической оси направленную навстречу падающим лучам, а второй – вдоль. Тогда по третьему закону Ньютона свет будет “отталкивать” (сила  $F_1$ ) первую линзу и “притягивать” (сила  $F_2$ ) вторую. Линзы начнут сближаться. Дальнейший анализ движения требует большего количества данных: фокусные расстояния, диаметр линз, их масса.



## 11 класс Задача 4

В схеме, приведенной на рисунке, внутреннее сопротивление источника тока  $r$ , диод имеет нулевое сопротивление, если напряжение на нем больше  $U_0$  в прямом направлении и бесконечное в остальных случаях. Что показывает идеальный вольтметр в этой цепи? Что он покажет, если изменить полярность включения диода?



## Решение

Если  $\mathcal{E} < U_0$  то диод закрыт и вольтметр покажет значение  $\mathcal{E}$ . Если  $\mathcal{E} > U_0$  диод открывается и можно записать закон Ома для полной цепи  $\mathcal{E} = U_0 + I(R+r)$ . Вольтметр покажет  $(\mathcal{E}R + U_0 r)/(R+r)$ .

## 11 класс Задача 5

Точечные электрические заряды величинами  $2q$  и  $-q$  находятся на расстоянии  $l$  друг от друга. Где и какой заряд следует поместить, чтобы система находилась в механическом равновесии?

## Решение

Ясно, что дополнительный заряд следует поместить на прямой соединяющей наши заряды. Положительный заряд  $Q$  нужно расположить так чтобы заряд  $-q$  оказался между ним и зарядом  $2q$ , Так как только в этом случае можно ожидать равенства кулоновских сил от зарядов разной величины ( за счет пропорционального изменения расстояний) Если обозначить расстояние между зарядами  $Q$  и  $-q$  как  $x$ , то условия динамического равновесия можно записать в виде:

$$\begin{aligned} 2qq/l^2 &= qQ/x^2 \\ qQ/x^2 &= 2qQ/(x+l)^2 \end{aligned}$$

Решив эти уравнения получим  $x = (1 + \sqrt{2})l$ ,  $Q = 2q(1 + \sqrt{2})^2$ .