

**ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ**  
**ВАРИАНТ 27101 для 10-го класса**

1.10. На Открытой московской инженерной конференции школьников «Потенциал», которая ежегодно проходит в НИУ «МЭИ», учащиеся 10-го класса демонстрировали экспериментальную установку для изучения законов идеального газа. В вертикальном сосуде они поместили тяжёлый поршень, который мог перемещаться практически без трения. Под поршнем в сосуде находился воздух, давление которого отличалось от атмосферного. В начальный момент поршень был закреплён. После освобождения поршня он начал перемещаться с некоторым ускорением. Школьники пытались определить, изменится ли величина этого ускорения, если на поршень положить груз. Какой результат они получили? Объясните свой ответ.

**Решение:**

Если давление газа в начальный момент больше атмосферного, то ускорение поршня меньше ускорения свободного падения

$$a_1 = \frac{mg - (p_{\text{газа}} - p_{\text{атм}})S}{m}, \text{ где } S - \text{сечение сосуда.}$$

Ускорение может быть направлено как вниз, так и вверх. Если добавить груз, то

$$a_2 = g - \frac{(p_{\text{газа}} - p_{\text{атм}})S}{m + M}, \text{ где } M - \text{масса груза.}$$

Очевидно, что ускорения различны.

Если давление газа в начальный момент меньше атмосферного, то ускорение поршня больше ускорения свободного падения

$$a_3 = g + \frac{(p_{\text{атм}} - p_{\text{газа}})S}{m}.$$

Если в этом случае на поршне находился груз, то груз, который под действием силы тяжести движется с ускорением свободного падения, отстаёт от поршня и ускорение поршня не изменяется.

2.10. Вечером и утром энергопотребление в городах больше, чем в дневное время. Предположим, что все городские потребности в электроэнергии обеспечивает одна гидроэлектростанция. Определите, во сколько раз необходимо увеличить расход воды через гидротурбины на этой ГЭС, чтобы удовлетворить увеличивающееся в 3 раза энергопотребление. Считайте, что КПД гидрогенератора не зависит от подключённой к нему нагрузки, а силы вязкого трения в водоводах ГЭС пренебрежимо малы.

**Решение:**

По закону сохранения механической энергии потенциальная энергия воды в водохранилище преобразуется в кинетическую энергию водяного потока, попадающего на лопасти гидротурбины

$$mgh = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Расход воды через гидрогенератор запишем в виде

$$Q = \frac{V}{t} = Sv, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь сечения водоводов,  $V$  – объем воды, проходящий через турбину в единицу времени.

Мощность, выдаваемая гидрогенератором в электрическую сеть, равна

$$P = \eta \frac{mgh}{t}, \quad (3)$$

где  $\eta$  – КПД гидрогенератора.

Подставляя (1), а затем (2) в (3) с учетом  $m = \rho V$  получаем мощность, выраженную через расход воды

$$P = \eta \frac{mgh}{t} = \eta \frac{mv^2}{2t} = \eta \frac{\rho V v^2}{2t} = \eta \frac{\rho Q^3}{2S^2}.$$

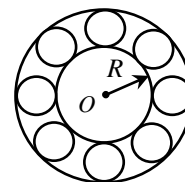
Таким образом, расход воды через гидрогенераторы ГЭС пропорционален корню кубическому из потребляемой мощности

$$Q \sim \sqrt[3]{P}.$$

Отсюда следует, что при увеличении энергопотребления в 3 раза расход воды нужно увеличить в 1,44 раза.

Ответ: 1,44 раза.

3.10. Внутреннее кольцо шарикоподшипника радиусом  $R=4$  см закреплено на оси  $O$  токарного станка. Внешнее кольцо подшипника закреплено неподвижно на корпусе станка. Шарики подшипника имеют радиус  $r=1$  см и катятся по внутреннему и внешнему кольцам без проскальзывания. Сколько оборотов вокруг оси  $O$  сделают шарики за время одного оборота внутреннего кольца?



*Решение.*

*Введём следующие обозначения:*

$\Omega$  – угловая скорость вращения оси станка,  $v$  – линейная скорость движения центра шарика,  $\omega_1$  – угловая скорость движения центра шарика вокруг оси станка.

*Так как качение происходит без проскальзывания, то мгновенная скорость точки В равна нулю, а мгновенная скорость точки А в две раза больше линейной скорости центра шарика С и равна линейной скорости точек поверхности внутреннего кольца. Тогда:*

$$2v = \Omega R.$$

*Линейную скорость центра шарика С можно записать как:*

$$v = \omega_1(R + r).$$

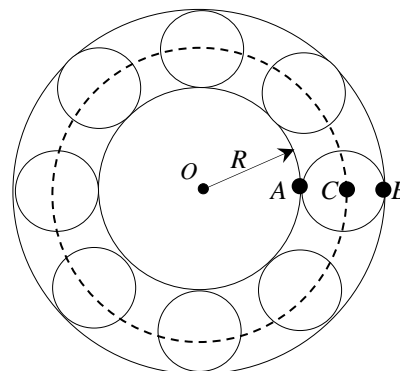
*Тогда*

$$2\omega_1(R + r) = \Omega R.$$

*Введем периоды обращения центрального кольца и шарика относительно оси O:*

$$\begin{cases} T = \frac{2\pi}{\Omega} \\ T_{\text{ш}} = \frac{2\pi}{\omega_1} \end{cases}$$

$$N = \frac{T}{T_{\text{ш}}} = \frac{\omega_1}{\Omega} = \frac{R}{2(R + r)} = \frac{4}{2(4 + 1)} = 0,4 \text{ оборота.}$$



4.10. На краю неподвижного плота массой  $M = 600$  кг стоит человек массой  $m = 60$  кг. Плот плавает в озере. Человек прошел по плоту расстояние  $l = 6,2$  м. Плот за время движения человека переместился относительно берега на расстояние  $x = 20$  см. Сила сопротивления воды прямо пропорциональна скорости плота:  $F_c = \alpha V$ . Найдите скорость движения человека относительно берега, если  $\alpha = 300$  Н·с/м. Человек двигался прямолинейно и равномерно.

**Решение.**

*В системе отсчета, связанной с берегом:*

$$Ft = mv - MV; \quad \alpha Vt \cdot t = mvt - MVt$$

$$\alpha x \cdot t = m(l - x) - Mx$$

$$t = \frac{m(l - x) - Mx}{\alpha x} = \frac{60 \cdot (6,2 - 0,2) - 600 \cdot 0,2}{300 \cdot 0,2} = \frac{240}{60} = 4 \text{ с}$$

*Тогда скорость плота относительно берега равна  $V = \frac{x}{t} = 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,*

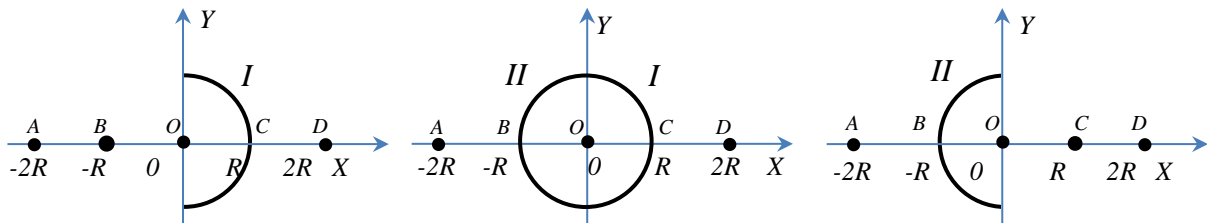
*а скорость человека относительно плота равна  $v = \frac{l}{t} = 1,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .*

*Используя закон сложения скоростей, получим, что скорость человека относительно берега равна  $v - V = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .*

5.10. Тонкая непроводящая равномерно заряженная полусфера радиусом  $R$  с центром в начале координат целиком расположена в полупространстве с положительными значениями координаты  $x$ , т.е. плоскость основания полусферы совпадает с плоскостью  $ZOY$ . Нулевое значение потенциала электростатического поля полусферы выбрано в бесконечно удаленной точке. Потенциал в точке начала координат равен  $100$  В. Потенциал в точке на оси  $OX$  с координатой  $x = -2R$  равен  $38,2$  В. Определите потенциал в точке на оси  $OX$  с координатой  $x = 2R$ .

**Решение.**

*Тонкая проводящая равномерно заряженная полусфера радиусом  $R$  с центром в начале координат целиком расположена в полупространстве с положительными значениями координаты  $x$  таким образом, что плоскость основания полусферы совпадает с плоскостью  $ZOY$ . Нулевое значение потенциала электростатического поля полусферы выбрано в бесконечно удалённой точке. Потенциал в точке начала координат равен  $100$  В. Потенциал в точке на оси  $OX$  с координатой  $x = -2R$  равен  $38,2$  В. Определите потенциал в точке на оси  $OX$  с координатой  $x = 2R$ .*



Решение: обозначим исходную полусферу индексом  $I$

Дано:  $\varphi_{AI} = 38,2$  В Найти:  $\varphi_{DI} = ?$

Дополним исходную полусферу  $I$  такой же полусферой  $II$  и используем принцип суперпозиции:  $\varphi_{\Sigma} = \varphi_I + \varphi_{II}$ . Тогда определим потенциалы точек  $O, C, D$  в поле полной сферы:

(1)  $\varphi_{O\Sigma} = \varphi_{OI} + \varphi_{OII} = 100 + 100 = 200$  В

(2)  $\varphi_{C\Sigma} = \varphi_{O\Sigma} = 200$  В (т.к. потенциал всех точек получившейся сферы одинаков)

(3) поскольку потенциал поля сферы  $\varphi \approx \frac{1}{r}$ , то  $\varphi_{D\Sigma} = \frac{1}{2} \varphi_{C\Sigma} = 100$  В =  $\varphi_{\Sigma}(2R)$

(4) поскольку  $\varphi_{D\Sigma} = \varphi_{DI} + \varphi_{DII} = \varphi_{A\Sigma} = \varphi_{AI} + \varphi_{AII} = 100$  В =  $\varphi_{\Sigma}(-2R)$ , то  $\varphi_{AII} = \varphi_{A\Sigma} - \varphi_{AI} = 100 - 38,2 = 61,8$  В

(5) положение точки  $A$  в поле полусферы  $II$  эквивалентно положению точки  $D$  в поле полусферы  $I$ , поэтому  $\varphi_{DI} = \varphi_{AII} = 61,8$  В

Ответ: потенциал в точке на оси  $OX$  с координатой  $x = 2R$  равен  $61,8$  В.