

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Открытая региональная межвузовская олимпиада вузов Томской области (ОРМО)  
Заключительный этап по физике

**Решения к Варианту 1**

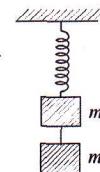
1. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 5 м/с. Через какое время тело вернется в исходную точку?

**Решение**

Будем считать начальную координату тела равной нулю. Тогда уравнение движения можно записать в виде  $x = 5t - 5t^2$ . Приравняв координату нулю можно найти что время равно или нулю (начало движения) или одной секунде.

**Ответ:** через 1 с тело вернется в исходную точку.

2. К концу пружины подвешены два одинаковых груза массы  $m$  каждый, соединенные нитью (см. рисунок). В некоторый момент нить пережигают. Найдите амплитуду колебаний верхнего груза. Коэффициент жесткости пружины  $k$ , массами пружин и нити можно пренебречь.



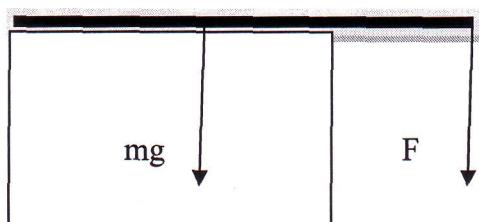
**Решение**

Пружина растянута на величину  $2mg/k$ . После пережигания нити положение равновесия шара соответствует растяжению пружины на величину  $mg/k$ . Следовательно, амплитуда колебаний равна  $mg/k$ .

**Ответ:**  $mg/k$ .

3. Линейка длины 30 см и массы 50 г лежит на столе так, что за край стола выступает треть её длины. Какую силу необходимо вертикально приложить к выступающему концу линейки, чтобы противоположный её конец начал приподниматься?

**Решение**

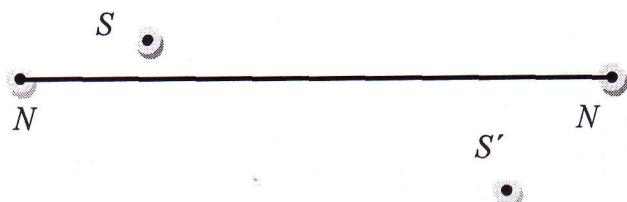


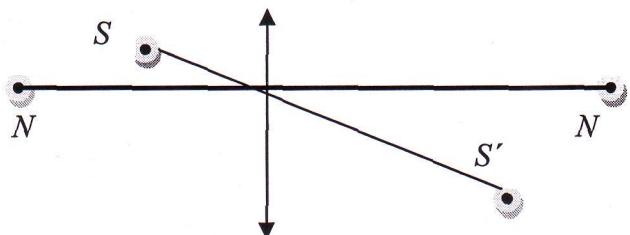
Сила тяжести приложена к середине линейки. К свободному концу необходимо прикладывать силу направленную вниз. Расстояния от точки приложения силы тяжести до точки опоры (оси вращения) равно 5 см. Запишем уравнение моментов относительно точки опоры линейки на стол:

$$F \cdot 0.05 = mg \cdot 0.1$$

**Ответ:** необходимо приложить вертикальную силу 1 Н

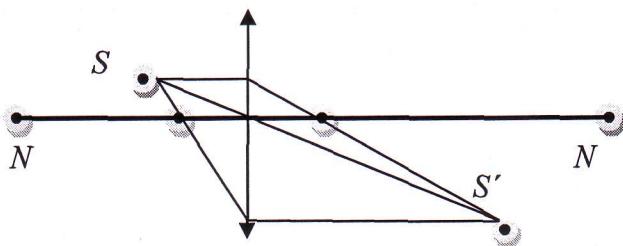
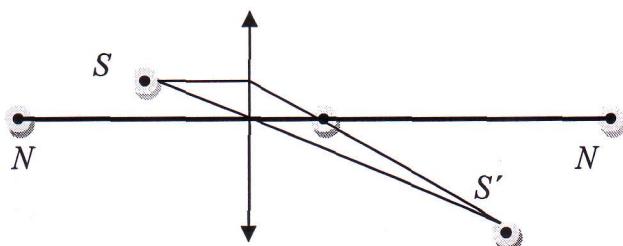
4. Заданы главная оптическая ось линзы  $NN'$ , положение источника  $S$  и его изображения  $S'$ . Найдите построением положение оптического центра линзы  $C$  и ее фокусов.





### Решение

Используем стандартные лучи для построения изображений в линзах. Первый луч проходит через точку предмета, центр линзы и точку изображения. Второй луч идет параллельно главной оптической оси и после линзы проходит через фокус (и через точку изображения). Третий луч за линзой идет параллельно главной оптической оси через точку изображения, а перед линзой проходит через фокус (и точку предмета)



5. Четыре одинаковых тела равной массы по  $m = 20\text{ г}$  каждое расположены на одной горизонтальной прямой на некотором расстоянии друг от друга. В крайнее тело ударяется такое же тело, имеющее скорость  $v_0 = 20\text{ м/с}$  и движущееся вдоль прямой, на которой расположены тела. Считая соударения тел абсолютно неупругими, найти кинетическую энергию  $E_k$  системы после прекращения соударений.

### Решение

Так как удар неупругий, то полная механическая энергия системы тел не сохраняется. Но будет сохраняться полный импульс системы, то есть

$$mv_0 = 5mv,$$

следовательно, вся система слипшихся шаров будет двигаться со скоростью

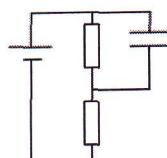
$$v = \frac{v_0}{5},$$

а ее кинетическая энергия будет равна

$$E_k = \frac{mv_0^2}{10} = 0,8\text{ Дж.}$$

6. Сопротивление каждого резистора в схеме равны 1 Ом. ЭДС источника 2 В. Найти напряженность электрического поля внутри конденсатора, если расстояние между его пластинами 2 мм.  
Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

Оценка задания № 6 – 15 баллов



### Решение

Напряженность электрического поля конденсатора можно связать с напряжением на его обкладках

$$E = \frac{U}{d}$$

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на верхнем резисторе, которое можно выразить по закону Ома для участка цепи

$$U = IR$$

Сила тока может быть выражена по закону Ома для полной цепи, а с учетом того, что по участку содержащему конденсатор ток не протекает, резисторы соединены последовательно

$$I = \frac{\varepsilon}{2R}$$

Для напряженности получается выражение

$$E = \frac{\varepsilon}{2d}$$

Подставим числовые значения и получим

**Ответ** 500 В/м

7. С какой максимальной силой прижимается к телу человека медицинская банка, если диаметр ее отверстия  $d = 4$  см? В момент прикладывания к телу воздух в ней имеет температуру  $t_1 = 80$  °C, а температура окружающего воздуха  $t_0 = 20$  °C, атмосферное давление  $P_0 = 10^5$  Па. Изменением объема воздуха в банке при ее присасывании к телу пренебречь.

#### Решение

При остывании воздуха в банке давление в ней становится меньше атмосферного, и сила, с которой она прижимается к телу, равна

$$F = (P_0 - P_\delta) \cdot S,$$

где  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $P_\delta$  - давление в банке после остывания воздуха.

Изменением объема в банке пренебрегаем, тогда по закону Шарля

$$\frac{P_\delta}{T_0} = \frac{P_0}{T_1} \quad \text{при } V = \text{const}.$$

Тогда  $P_\delta = P_0 \frac{T_0}{T_1}$ .

Решаем, применяя систему единиц СИ:

$$F_{\max} = S \left( P_0 - P_0 \frac{T_0}{T_1} \right) = P_0 S \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right),$$
$$F_{\max} = 10^5 \cdot \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2}{4} \cdot 3,14 \left( 1 - \frac{293}{353} \right) = 10^5 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 0,17 \approx 21 \text{ H}.$$

**Ответ:**  $F_{\max} \approx 21 \text{ H}$ .

8. Круглая металлическая пластина падает вертикально вниз в однородном магнитном поле, параллельном поверхности Земли. В процессе падения она остается параллельной линиям индукции магнитного поля и перпендикулярной поверхности Земли. Толщина пластинки  $d$  много меньше ее радиуса  $R$ , масса пластины равна  $m$ , модуль индукции магнитного поля  $B$ . Определите ускорение, с которым падает пластина.

### Решение.

Предположим, что пластина падает с постоянной скоростью  $v$ . На каждый электрон будет действовать сила Лоренца  $F = qvB$  ( $q$  – заряд электрона). Пусть вектор  $\vec{B}$  (рис.12) направлен перпендикулярно плоскости рисунка вверх. Тогда под действием силы Лоренца электроны будут смещаться вправо. В результате правая сторона пластины приобретет отрицательный заряд, а левая – положительный. Внутри пластины возникнет электрическое поле, силовые линии которого будут направлены слева направо. Так как  $d \ll R$ , поле можно считать однородным. Краевыми эффектами пренебрегаем. Разделение зарядов будет происходить до тех пор, пока сила Лоренца не уравновесится электрической силой, обусловленной электрическим полем разделившихся зарядов

$$qvB = qE,$$

где  $E$  – напряженность электрического поля. Поскольку появится электрическое поле, напряженность которого  $E = Bv$ , то между плоскостями, ограничивающими пластину, возникнет разность потенциалов

$$U = Ed = Bvd.$$

Пластину с разделившимися зарядами можно рассматривать как плоский конденсатор, на пластинах которого находится заряд

$$Q = CU = \frac{SBvd}{4\pi kd} = \frac{SBv}{4\pi k}, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь пластин ( $S = \pi R^2$ ). Как видно из соотношения (5), заряд зависит от скорости движения пластины. Если пластина движется с ускорением, то скорость растет, и заряды на сторонах пластины будут меняться. Следовательно, в пластине возникнет ток. Сила тока будет равна

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{SB}{4\pi k} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{SB}{4\pi k} a,$$

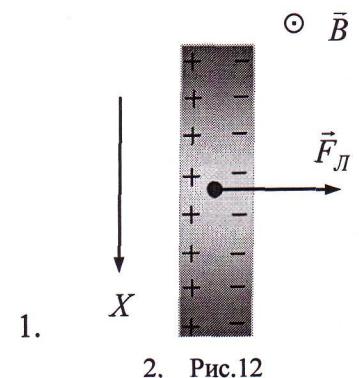
где  $a$  – ускорение, с которым движется пластина.

Таким образом, движущуюся пластину можно рассматривать как проводник с током, движущийся в магнитном поле. На такой проводник будет действовать сила Ампера.

$$F_A = IBd = \frac{SB^2 d}{4\pi k} a. \quad (6)$$

В рассматриваемом случае сила Ампера направлена вверх.

Уравнение движения пластины можно записать следующим образом:



2. Рис.12

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_A.$$

Проектируя это уравнение на вертикальную ось  $X$ , и, подставляя значение силы Ампера (6), получим:

$$ma = mg - \frac{SB^2d}{4\pi k} a.$$

Отсюда для ускорения, с которым движется пластина, получим следующую формулу:

$$a = \frac{g}{1 + \frac{RB^2d}{4km}}.$$

*Ответ:*  $a = \frac{g}{1 + \frac{RB^2d}{4km}}.$

## Решение к Варианту 2

1. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Через какое время скорость тела станет равной нулю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение**

Для скорости тела в случае движения вертикально вверх можно записать уравнение:

$$v = v_0 - gt$$

Подставим числовые значения и приравняем скорость нулю.

**Ответ:** время равно 1 с.

2. Груз, висящий на пружине, совершает колебания в вертикальной плоскости. Во сколько раз изменится частота колебаний груза, если его подвесить на двух таких же пружинах, соединенных последовательно?

**Решение**

Частота колебаний груза связана с массой груза и коэффициентом жесткости пружины соотношением

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k_1}{m}}$$

Во втором случае удлинение обеих пружин равно сумме удлинений каждой из них:

$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$ . Каждое из удлинений можно записать по закону Гука

$\frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$ . Тогда коэффициент жесткости для двух пружин будет равен

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

Для отношения частот можно составить уравнение

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \sqrt{\frac{k_1 k_2}{(k_1 + k_2)m}} / \sqrt{\frac{k_1}{m}} = \frac{1}{2}$$

**Ответ:** уменьшиться в два раза

3. Какую силу нужно приложить к одному из концов трубы, лежащей на земле горизонтально, чтобы она начала приподниматься? Масса трубы 80 кг.

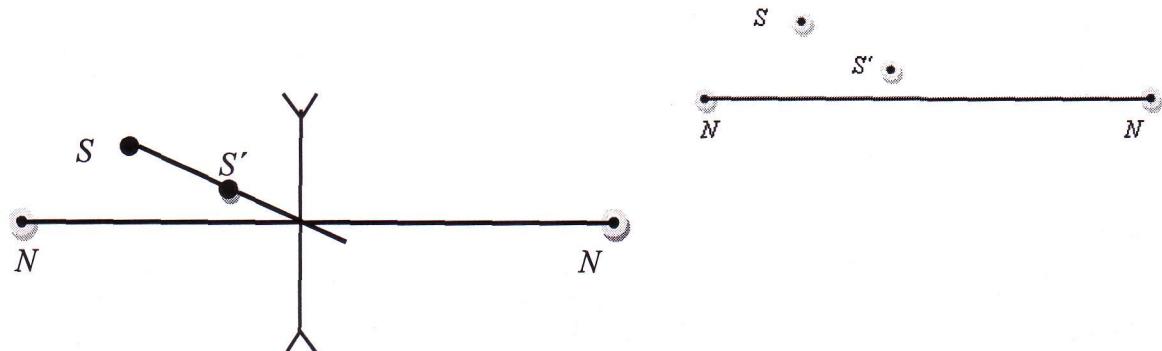
**Решение**

Для поворота необходимо чтобы момент силы приложенной к одному из концов трубы превосходил момент силы тяжести. Считаем все моменты относительно точки соприкосновения трубы и земли. Плечо силы тяжести равно половине длины трубы, а плечо силы, прикладываемой к концу трубы равно её длине

$$mg \frac{l}{2} = Fl$$

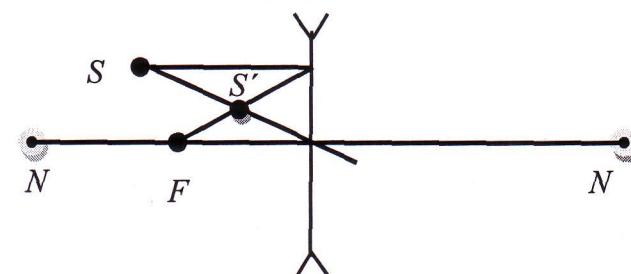
В результате получается, что прикладываемая сила должна быть равна половине силы тяжести. **Ответ:** 400 Н.

4. Заданы главная оптическая ось линзы  $NN$ , положение источника  $S$  и его изображения  $S'$ . Найдите построением положение оптического центра линзы  $O$  и ее фокусов.



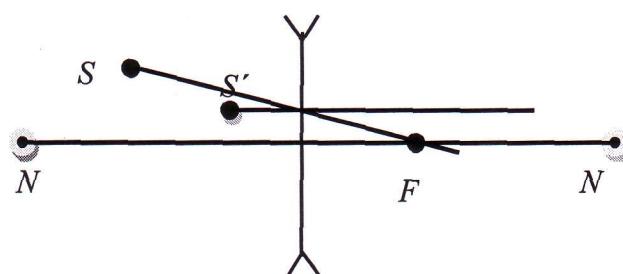
**Решение**

Используем стандартные лучи для построения изображений в линзах. Первый луч проходит через точку предмета, центр линзы и точку изображения.



изображения, а после линзы продолжение луча предмета)

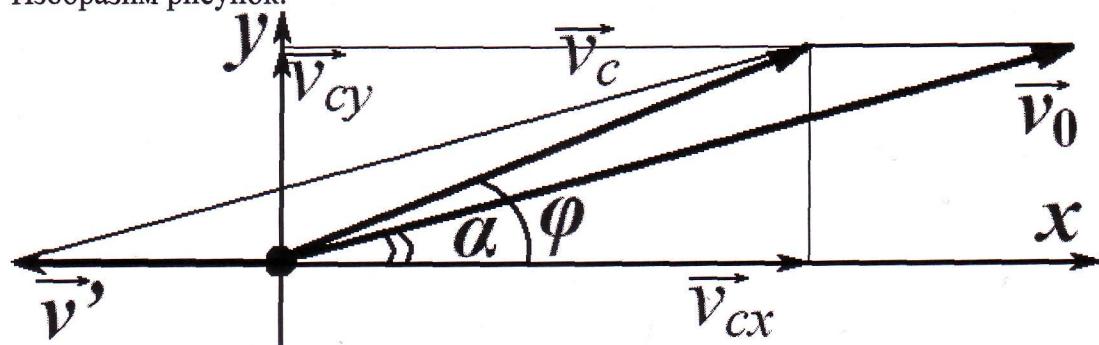
Второй луч идет параллельно главной оптической оси и после линзы проходит через фокус (и через точку изображения). Третий луч за линзой идет параллельно главной оптической оси, так что его продолжение проходит через фокус (и точку изображения, а после линзы продолжение луча предмета)



5. Самолет в безветренную погоду взлетает со скоростью  $v_0 = 40 \text{ м/с}$  под углом к горизонту  $\alpha = 10^\circ$ . Внезапно начинает дуть горизонтальный встречный ветер, скорость которого  $v = 10 \text{ м/с}$ . Какой стала скорость самолета относительно Земли и какой угол образует этот вектор скорости с горизонтом?

**Решение**

Изобразим рисунок.



1. Полная скорость самолёта в ветреную погоду может быть найдена как:

$$v_c = \sqrt{v_{cx}^2 + v_{cy}^2}, \quad (1)$$

где  $v_{cx}$  и  $v_{cy}$  – проекции скорости на оси координат:

$$\text{OX: } v_{cx} = v_{0x} - v' = v_0 \cdot \cos \alpha - v'. \quad (2)$$

$$\text{OY: } v_{cy} = v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), получим:

$$\begin{aligned} v_c &= \sqrt{(v_0 \cdot \cos \alpha - v')^2 + v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha} = \\ &= \sqrt{(v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha + v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha) - 2 \cdot v_0 \cdot v' \cdot \cos \alpha + v'^2} = \\ &= \sqrt{v_0^2 - 2 \cdot v_0 \cdot v' \cdot \cos \alpha + v'^2} = \sqrt{1600 - 2 \cdot 40 \cdot 10 \cdot \cos 10^\circ + 100} = \\ &= \sqrt{1700 - 800 \cdot 0.9848} = \sqrt{912,15} = 30,201 = 30,2 \text{ м/c} \end{aligned}$$

2. Тангенс угла  $\varphi$ , который образует вектор скорости  $v_c$  с горизонтом, можно найти как отношение:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{v_{cy}}{v_{cx}} = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{v_0 \cdot \cos \alpha - v'} = \frac{40 \cdot \sin 10^\circ}{40 \cdot \cos 10^\circ - 10} =$$

$$\text{или } = \frac{40 \cdot 0,1736}{40 \cdot 0,9848 - 10} \approx 0,2363.$$

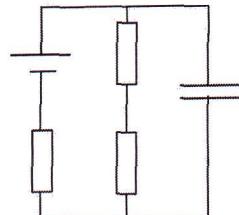
$$\text{или } = \frac{40 \cdot 0,17}{40 \cdot 0,98 - 10} \approx 0,2328.$$

Тогда:  $\varphi = \arctg 0,2363 \cong 13,295^\circ \approx 13,3^\circ$ .

$\varphi = \arctg 0,2328 \cong 13,105^\circ \approx 13,1^\circ$ .

**Ответ:**  $v = 30,2 \text{ м/c}$ ,  $\varphi \approx \arctg 0,23 \approx 13^\circ$ .

6. В схеме, изображенной на рисунке, определите напряжение на конденсаторе. Сопротивления каждого резистора 1 Ом, ЭДС источника 2 В. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



### Решение

Конденсатор и участок цепи, включающий два резистора соединены параллельно. Напряжение на последовательно соединенных резисторах можно выразить по закону Ома для участка цепи

$$U = I \cdot 2R$$

Для нахождения силы тока используем закон Ома для полной цепи. Учтем при этом, что по участку содержащему конденсатор ток не протекает поэтому все три резистора оказываются соединенными последовательно. Тогда

$$I = \frac{\mathcal{E}}{3R}$$

Окончательно для напряжения на конденсаторе получим

$$U = \frac{\epsilon}{3R} 2R$$

Подставим числовые данные и получим

**Ответ 4/3 В.**

7. Из баллона со сжатым кислородом объемом 100 л из-за неисправности крана вытекает газ. При температуре 273 К манометр на баллоне показывал давление  $2 \cdot 10^6$  Па. Через некоторое время при температуре 300 К манометр показал то же давление. Сколько газа вытекло из баллона?

**Решение**

В системе СИ (системе интернациональной)

$$V_1 = V_2 = V = 100 \text{ л} = 0,1 \text{ м}^3,$$

$$P_1 = P_2 = P = 2 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$T_1 = 273 \text{ К}$$

$$T_2 = 300 \text{ К.}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = ?$$

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для двух состояний газа:

$$\left\{ \begin{array}{l} PV = \frac{m_1}{M} RT_1, \\ PV = \frac{(m_1 - \Delta m)}{M} RT_2. \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} PV = \frac{m_1}{M} RT_1, \\ PV = \frac{(m_1 - \Delta m)}{M} RT_2. \end{array} \right. \quad (13)$$

$$\text{Из (12) и (13)} \rightarrow \frac{m_1}{M} RT_1 = \frac{(m_1 - \Delta m)}{M} RT_2,$$

или

$$m_1 T_1 = m_1 T_2 - \Delta m T_2 \longrightarrow \Delta m = \frac{m_1 (T_2 - T_1)}{T_2},$$

или

$$\Delta m = \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) \cdot m_1.$$

Из (12)

$$m_1 = \frac{PV M}{RT_1}.$$

Тогда

$$\Delta m = \left( 1 - \frac{273}{300} \right) \cdot \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8,32 \cdot 273} \approx 0,254 \text{ кг.}$$

*Ответ:  $\Delta m = 0,254 \text{ кг.}$*

8. По обмотке длинного цилиндрического соленоида радиуса  $r$  протекает постоянный ток, создающий внутри соленоида однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Между витками соленоида в него влетает по радиусу (перпендикулярно оси соленоида) электрон со скоростью  $\vec{v}$ . Отклоняясь в магнитном поле, электрон, спустя некоторое время, покинул соленоид. Определите время движения электрона внутри соленоида.

### Решение

На электрон, влетевший в магнитное поле, будет действовать сила Лоренца, направленная перпендикулярно векторам скорости электрона и индукции магнитного поля, то есть вектор силы Лоренца в любой момент времени будет лежать в плоскости, перпендикулярной оси соленоида. Скорость электрона перпендикулярна индукции магнитного поля, поэтому величина силы Лоренца будет равна  $F_L = qvB$ .

Электрон внутри соленоида будет двигаться по дуге окружности. Радиус этой окружности  $R$  можно найти из уравнения движения электрона

$$\frac{mv^2}{R} = qvB.$$

$$\text{Отсюда } R = \frac{mv}{qB}.$$

На рис.11 показана траектория движения электрона внутри соленоида. В точке  $O_1$  находится центр окружности, описываемой электроном,  $\vec{v}'$  – скорость электрона в момент выхода из соленоида. Поскольку сила Лоренца работы не совершает, модули векторов  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$  равны. Время движения электрона внутри соленоида будет равно

$$t = \frac{S}{v},$$

где  $S$  – длина дуги  $CD$  (путь, пройденный электроном). Поскольку  $S = R\phi$ , то

$$t = \frac{R\phi}{v}.$$

Угол  $\phi$  можно найти из прямоугольного треугольника  $O_1CO$ .

$$\phi = 2\arctg \frac{r}{R} = 2\arctg \frac{qBr}{mv}.$$

Таким образом, время движения электрона внутри соленоида будет равно

$$t = \frac{2m}{qB} \arctg \left( \frac{qBr}{mv} \right).$$

$$\text{Ответ: } t = \frac{2m}{qB} \arctg \left( \frac{qBr}{mv} \right)$$

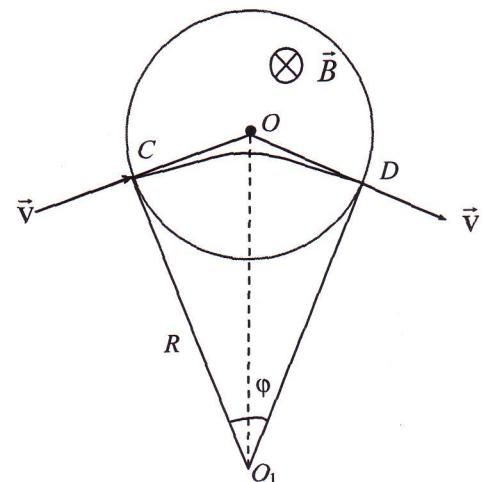


Рис.11

**Утверждаю:**

Зам.председателя оргкомитета олимпиады