

-3. Скольжение

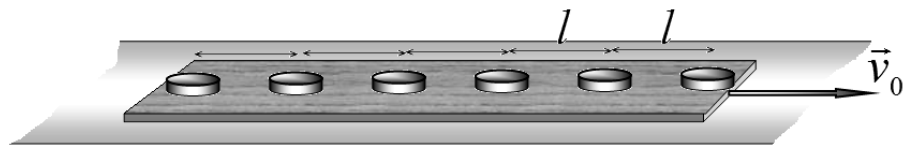
Условие

Задача 9-3. Скольжение.

1. Шайба массы m лежит на горизонтальном сухом столе. Коэффициент трения шайбы о стол постоянен и равен μ . Шайбе толчком сообщают горизонтальную скорость v_0 . Какой путь пройдет шайба по столу до полной остановки?



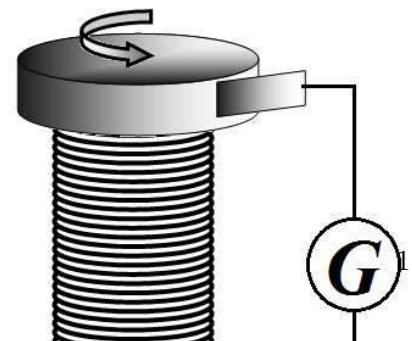
2. Шайба массы m лежит на горизонтальном смазанном маслом столе. При движении шайбы со стороны стола действует сила вязкого трения пропорциональная скорости шайбы $\vec{F} = -b\vec{v}$, b — постоянный известный коэффициент. Шайбе толчком сообщают горизонтальную скорость v_0 . Какой путь пройдет шайба по столу до полной остановки?



3. На длинной горизонтальной доске, размещенной на горизонтальной поверхности, расположена цепочка из N небольших одинаковых шайб. Шайбы находятся на расстоянии l друг от друга, первая шайба находится на краю доски. Доску вместе с шайбами разогнали до скорости v_0 , (шайбы движутся вместе с доской), а затем отпустили. Определите, сколько шайб соскользнет с доски (до полной остановки всех движущихся тел), если коэффициент трения шайб о доску равен μ , а доски о поверхность 2μ . Массы шайб значительно меньше массы доски. Шайбы можно считать материальными точками.

4. На длинной горизонтальной доске, размещенной на горизонтальной поверхности, расположена цепочка из N небольших одинаковых шайб. Шайбы находятся на расстоянии l друг от друга. Доску вместе с шайбами разогнали до скорости v_0 , (шайбы движутся вместе с доской), а затем отпустили. Определите, сколько шайб соскользнет с доски (до полной остановки всех движущихся тел), если коэффициент трения доски о поверхность равен μ , а на шайбу со стороны доски действует сила вязкого трения, пропорциональная относительной скорости шайбы $\vec{F} = -b\vec{v}$, b — постоянный известный коэффициент. Массы шайб значительно меньше массы доски.

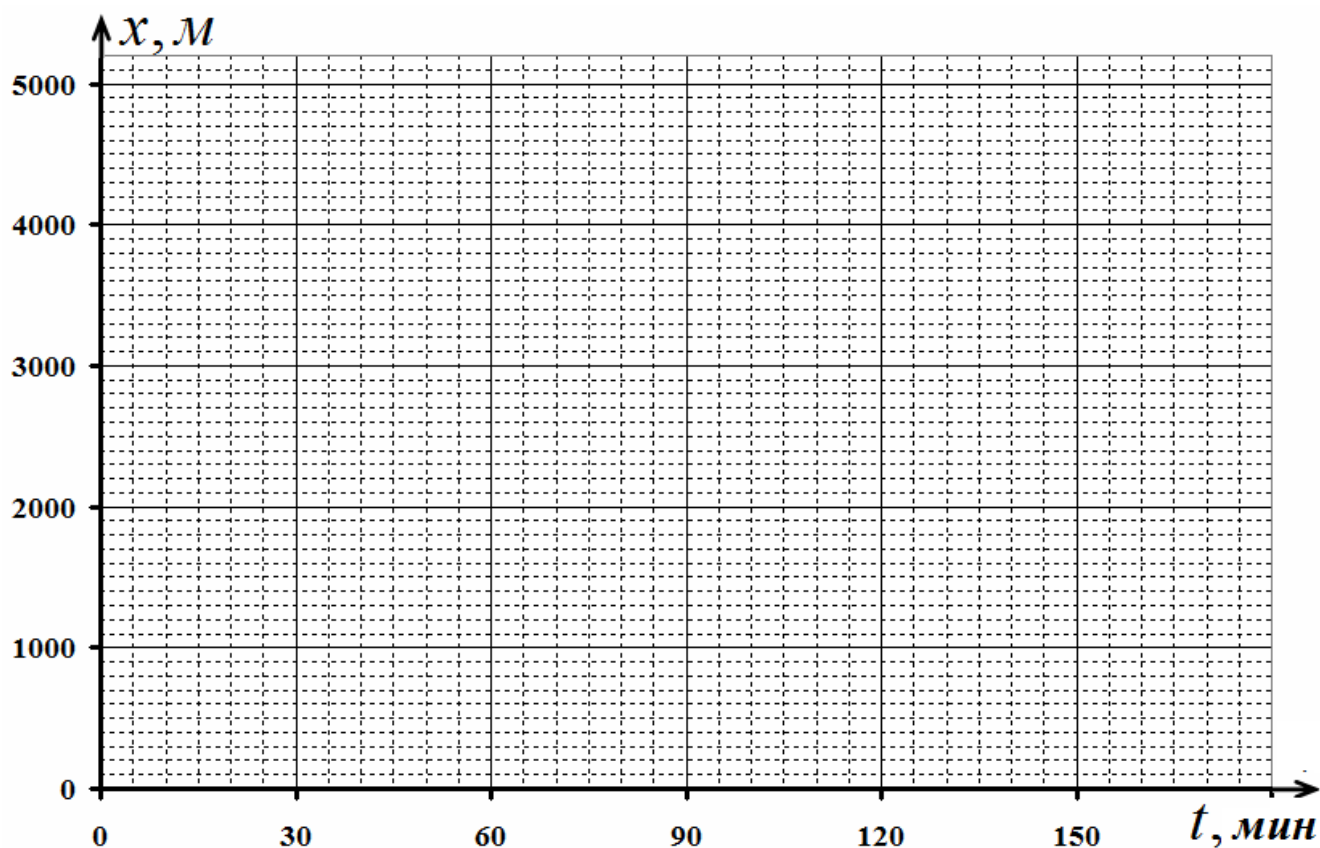
5. (Опыт Толмена и Стюарта) Катушка из медного провода содержит N витков, намотанных в один слой. Радиус обмотки равен R , диаметр поперечного сечения проволоки равен d . Выводы катушки через скользящие контакты подключены к гальванометру (прибору для измерения электрического заряда). Катушку раскрутили до угловой скорости ω вокруг ее оси,

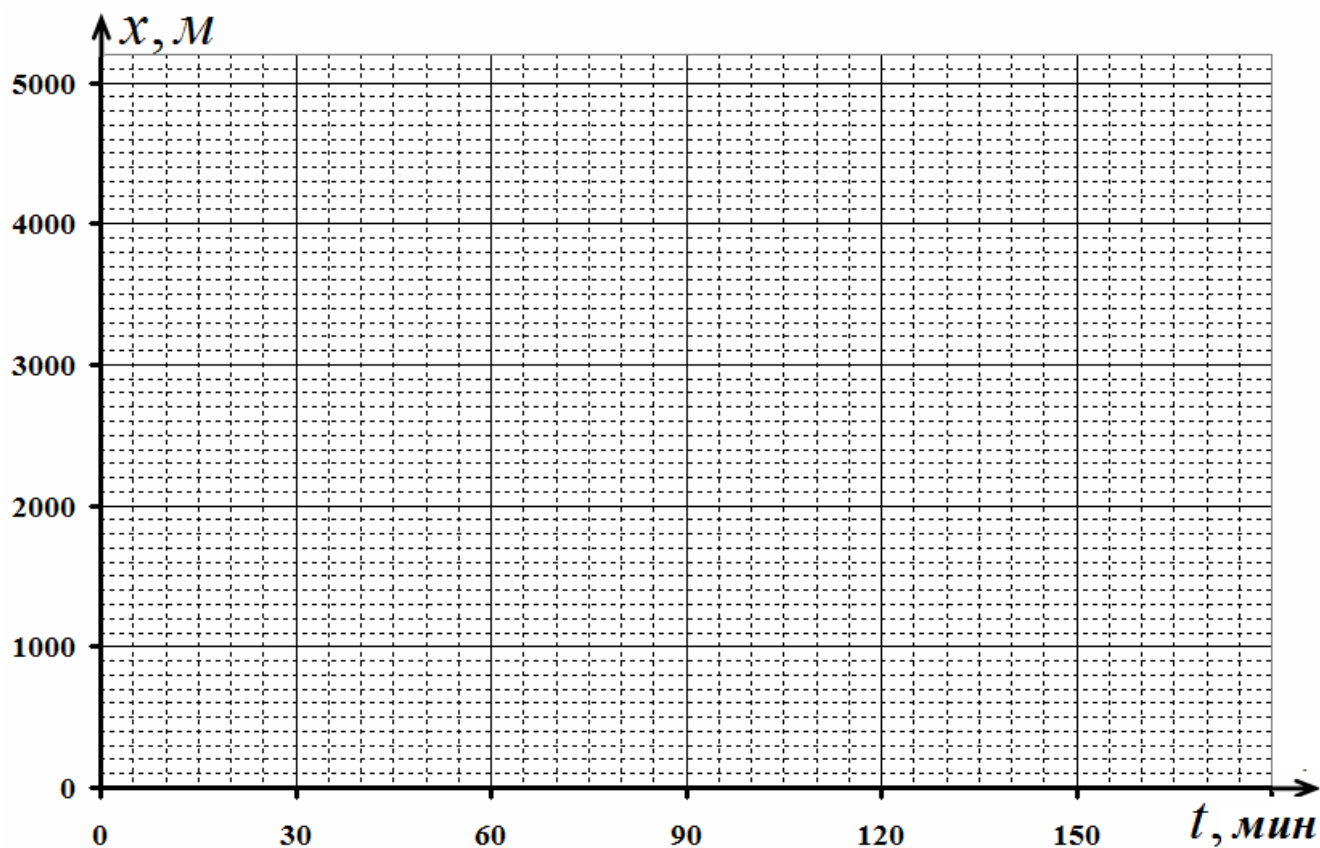


а затем затормозили, при этом через катушку и гальванометр пошел электрический ток. Какой электрический заряд пройдет через гальванометр, за все время существования электрического тока?

Заряд электрона - e , его масса - m , концентрация электронов (число электронов в единице объема) в меди равна n . При движении электрона в проводнике на него действует сила вязкого трения, пропорциональная скорости электрона $\vec{F} = -\beta\vec{v}$, β - постоянный известный коэффициент.

Шифр работы _____ Бланк №1





Бланк №2

Решение

Задача 9-3. Скольжение.

1. Со стороны стола на шайбу действует сила трения равная

$$F = \mu mg. \quad (1)$$

Работа этой силы «съест» кинетическую энергию шайбы, поэтому

$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu mgS \Rightarrow S = \frac{v_0^2}{2\mu g}. \quad (2)$$

Примечание. Эту задачу также можно решать на основании 2 закона Ньютона.*

2. Запишем уравнение 2 закона Ньютона для шайбы

$$ma = -bv \quad (3)$$

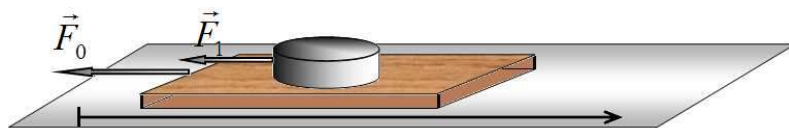
И воспользуемся определениями ускорения и скорости

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -b \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow m \Delta v = -b \Delta x. \quad (4)$$

Это соотношение справедливо для малых промежутков времени, но если просуммировать по всем промежуткам за все время движения, то его можно рассматривать для полных изменений скорости и координаты, поэтому

$$m \Delta v = -b \Delta x \Rightarrow m(0 - v_0) = -b(S - 0) \Rightarrow S = \frac{mv_0}{b}. \quad (5)$$

3. Так как массы шайб значительно меньше массы доски, то движение доски можно рассматривать независимо от движения шайб. На доску действует сила трения со стороны стола $F_0 = 2\mu mg$ (силой



трения со стороны шайб следует пренебречь ввиду малости их масс). Следовательно, до полной остановки доска пройдет путь равный

$$S_0 = \frac{v_0^2}{4\mu g}. \quad (6)$$

Очевидно, что все шайбы начнут двигаться относительно доски, обгоняя ее.

На каждую шайбу действует сила трения $F_1 = \mu mg$ (независимой от скоростей доски и самой шайбы). Поэтому в той же системе отсчета, связанной с неподвижной поверхностью, каждая шайба может пройти (если не соскользнет с доски) до остановки путь равный

$$S_1 = \frac{v_0^2}{2\mu g}. \quad (7)$$

С доски соскользнут все шайбы, которые находились изначально на расстояниях меньших $\Delta S = S_1 - S_0 = \frac{v_0^2}{4\mu g}$ от переднего края доски. Число таких шайб

$$n = \left[\frac{v_0^2}{4\mu g l} \right] + 1. \quad (8)$$

Здесь квадратные скобки обозначают целую часть числа.

4. Запишем уравнение 2 закона Ньютона для шайбы в инерциальной системе отсчета, связанной с неподвижной поверхностью

$$ma = -b(v - v_0) \Rightarrow m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -b \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} - \frac{\Delta x_0}{\Delta t} \right), \quad (9)$$

где x, x_0 и v, v_0 координаты и скорости шайбы и доски. Применяя операцию суммирования, описанную в пункте 2, получим

$$\begin{aligned} m\Delta v = -b(\Delta x - \Delta x_0) &\Rightarrow m(0 - v_0) = -b(S - S_0) \Rightarrow \\ S - S_0 = \frac{mv_0}{b} & . \end{aligned} \quad (10)$$

Следует заметить, что путь $S - S_0$, пройденный шайбой по доске, не зависит от закона торможения самой доски!

Число шайб, которые соскользнут с доски в этом случае равно

$$n = \left[\frac{mv_0}{bl} \right] + 1. \quad (11)$$

5. Используя результат (10), полученный в предыдущем пункте, находим, что каждый электрон пройдет по проводу путь равный

$$L = \frac{mR\omega}{\beta}. \quad (12)$$

Те электроны, которые находятся на меньших расстояниях от гальванометра пробегут через него. Их число равно

$$N = nsL = n \frac{\pi d^2}{4} \frac{mR\omega}{\beta}. \quad (13)$$

Они несут заряд

$$q = eN = ne \frac{\pi d^2}{4} \frac{mR\omega}{\beta}. \quad (14)$$