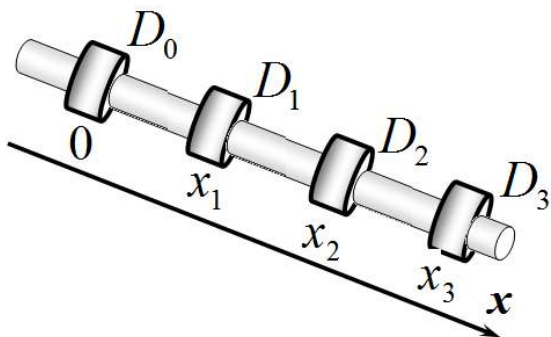


Условие

Задание 9-1. Ускоренное движение.

Приборы и оборудование: установка для фиксации времен; штатив с лапкой, линейка, два шарика, металлический цилиндр.



В вашем распоряжении имеется установка для точной фиксации времен. На прозрачной трубке закреплены четыре оптических датчика D_0, D_1, D_2, D_3 , подключенные к электронной системе. Когда некоторое тело (у Вас – шарик, или цилиндр) проходит через датчик – с точностью 10^{-3} с фиксируется время прерывания (т.е. время, когда исследуемое тело проходит через датчик). Счетчик времени запускается, когда тело проходит через начальный (нулевой датчик). На экране высвечиваются времена прохождения тела через три оставшихся датчика.

Внимательно ознакомьтесь с инструкцией по работе с этой установкой! Положение датчиков на трубке не изменяйте!

С помощью штатива с лапкой вы можете закреплять трубку под произвольным углом к горизонту. Измерять эти углы следует с помощью линейки.

1. Измерьте и запишите координаты всех датчиков.

Далее вам следует исследовать скатывание металлических шариков по трубке в зависимости от угла наклона к горизонту.

Расположите трубку под углом $\alpha \approx 45^\circ$ к горизонту.

2. На основании экспериментальных данных проверьте, можно ли считать движение шарика равноускоренным.

Приведите теоретические формулы, результаты измерений и обработки, обосновывающие ваш вывод.

Далее считайте, что движение тел в трубке является примерно равноускоренным.

3. Предложите формулу, позволяющую по результатам измерений времен прохождения датчиков (и известным координатам датчиков) рассчитывать среднее ускорение тела. 4. Исследуйте зависимость ускорения a скатывания шарика от угла наклона трубки α . Предложите такую функцию угла наклона $z(\alpha)$, чтобы зависимость $a(z)$ была линейной. Постройте график этой линейной зависимости, рассчитайте ее параметры. 5. Проведите аналогичные исследования для шарика другого диаметра. 6. Можно ли считать, что эти шарики скатываются одинаково (т.е. их ускорения равны при одинаковых углах наклона)?

Проведите исследования соскальзывания металлического цилиндра по трубке.

7. Исследуйте зависимость ускорения цилиндра a при его соскальзывании по трубке от угла наклона трубки α . Постройте график полученной зависимости $a(\alpha)$. 8. Используя все полученные экспериментальные данные, рассчитайте коэффициент трения цилиндра по трубке. Опишите метод, который Вы использовали для расчета коэффициента трения.

Решение

Задание 9-1. Ускоренное движение.

1. Измерения координат датчиков проводятся с помощью линейки. Для разных установок положения датчиков могут отличаться в пределах ± 2 см.
2. Датчики позволяют снимать времена прохождения шарика сквозь них. Причем счет времени запускается при прохождении первого датчика. Таким образом, в результате одного эксперимента имеет три пары чисел – результатов измерений: координаты и времена прохождения: $(x_1, t_1), (x_2, t_2), (x_3, t_3)$. Оптимальным способом доказательства, того что движение является равноускоренным является построение линейаризованной зависимости $\frac{x}{t}(t)$. Эксперимент однозначно подтверждает, что эта зависимость линейная, следовательно, движение шарика – равноускоренное.
3. При выводе расчетной формулы следует учесть, что при прохождении первого датчика шарик уже имеет некоторую начальную скорость v_0 . Поэтому координаты датчиков и времена их прохождения связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} x_1 &= v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2} \\ x_2 &= v_0 t_2 + \frac{a t_2^2}{2} \\ x_3 &= v_0 t_3 + \frac{a t_3^2}{2} \end{aligned} \quad (1)$$

Это система трех уравнений с двумя неизвестными (ускорение и начальная скорость), для ее решения можно выбрать любые два уравнения. Для повышения точности следует взять второе и третье уравнения, из которых следует, что ускорение можно рассчитать по формуле:

$$a = 2 \frac{\frac{x_3}{t_3} - \frac{x_2}{t_2}}{t_3^2 - t_2^2}. \quad (2)$$

4. Угол наклона трубки можно изменять с помощью лапки штатива. В качестве меры угла можно измерить (с помощью линейки) синус этого угла:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}. \quad (3)$$

Где l - длина трубки. h - высота приподнятого конца трубки. Для построения исследуемой зависимости следует измерить ускорения не менее, чем при 5 значениях углов наклона. При каждом угле наклона следует проводить несколько измерений, а потом усреднить их результаты. Для того, чтобы получить линейную зависимость, следует построить график зависимости ускорения от синуса угла наклона $a = f(\sin \alpha)$. Эксперимент дает результаты очень близкие к теоретической зависимости

$$a = \frac{7}{5} g \sin \alpha. \quad (4)$$

5. Для второго шарика результаты получаются практически такими же.
6. Из эксперимента однозначно следует, что шарика разных диаметров скатываются одинаково.
7. Измерения со скользящим цилиндром проводятся аналогично. Имеются два существенных отличия от скатывания шарика: первое, времена соскальзывания существенно больше; второе, имеет некоторый минимальный угол наклона (примерно 20°), при котором начинается соскальзывание.

8. Теоретическая зависимость ускорения от угла наклона изучается в курсе физики и имеет вид:

$$a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha. \quad (5)$$

Для того, чтобы использовать все экспериментальные данные, необходимо линеаризовать зависимость (5), что можно сделать различными способами. Наиболее предпочтительным является построение линейной зависимости величины $Y = \frac{a}{\sin \alpha}$ от величины $X = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$:

$$Y = g - \mu g X. \quad (6)$$

По коэффициентам этой зависимости легко рассчитываются требуемые величины: ускорение свободного падения и коэффициент трения.