

9 класс

Задача 9.1. Скатывание шарика

Оборудование: металлический желоб (уголок), штатив с лапкой, металлический шарик, миллиметровая бумага, линейка, скотч (по требованию), стираемый маркер, планшет с возможностью видеозаписи, картон или бумага для изготовления ограничителя движения шарика.

Исследуйте экспериментально зависимость ускорения шарика от угла наклона желоба по отношению к горизонтали. Определите на основе проведенного эксперимента вид и параметры этой зависимости.

Решение

1. Ускорение шарика вызывается проекцией силы тяжести на наклонную плоскость, которая равна $mg \sin \alpha$. Величина ускорения определяется инерционными свойствами шарика, связанными с его поступательным и вращательным движениями. Напрашивается, что ускорение будет пропорционально $\sin \alpha$ или пропорционально высоте, с которой скатывается шарик $h = l \sin \alpha$, то есть $a = kh$.

Ускорение может быть найдено из соотношения

$$l = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2l}{t^2}.$$

Строя график зависимости $a = \frac{2l}{t^2}$ от h , получаем прямую линию, угловой коэффициент которой равен k . Также могут быть построены зависимость вида

$\frac{1}{t^2} = k \left(\frac{h}{2l} \right)$ или эквивалентные ей зависимости, например, $\frac{1}{t^2} = \left(\frac{k}{2l} \right) h$ и

$$\frac{1}{t^2} = \left(\frac{k}{2} \right) \frac{h}{l} = \frac{k}{2} \sin \alpha.$$

Комментарий. Момент инерции шарика относительно оси, проходящей через его центр масс, равен $I_c = \frac{2}{5}mR^2$. Расстояние от горизонтальной оси, проходящей через

центр масс шарика до точки касания желоба шариком равно $R/\sqrt{2}$. По теореме Гюйгенса-Штейнера момент инерции шарика, относительно мгновенной оси вращения, проходящей через точки касания желоба с шариком, равен

$$I_A = \frac{2}{5}mR^2 + m\frac{R^2}{2} = \frac{9}{10}mR^2.$$

Записывая основное уравнение динамики вращательного движения относительно мгновенной оси вращения, получим

$$mg\frac{R}{\sqrt{2}}\sin\alpha = I_A\beta = I_A\frac{a}{R/\sqrt{2}},$$

$$mg\frac{R^2}{2}\sin\alpha = \frac{9}{10}mR^2a$$

$$a = \frac{5}{9}g\sin\alpha.$$

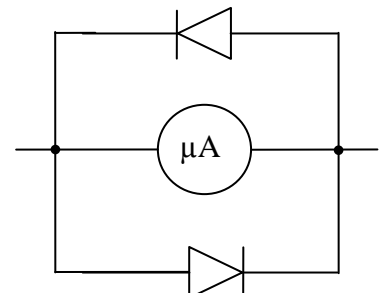
Критерии оценивания

1. Теоретически проанализирован вид зависимости ускорения шарика от угла наклона плоскости или от высоты h	2
2. Определены времена t скатывания шарика и соответствующие им расстояния l в каждой серии, результаты сведены в таблицу	3
3. Для каждого l вычислены значения ускорения шарика	1
4. Построена зависимость $a(h)$ или эквивалентная зависимость (шкала, единицы измерения, линия занимает не менее $\frac{3}{4}$ поля графика)	3
5. Из графиков получен угловой коэффициент зависимости, результат в воротах $5.4 \pm 0.4 \text{ м/с}^2$	3
6. Оценена погрешность	3

Задача 9.2. Защита амперметра

Для защиты микроамперметра от превышения максимально допустимого тока иногда используют схему, приведенную на рисунке.

1) Определите внутреннее сопротивление амперметра.



- 2) Определите напряжение открытия диодов U_0 .
- 3) Определите величины сопротивлений открытых диодов R_∂ .
- 4) Определите чувствительность микроамперметра к большим токам.

Оборудование: микроамперметр с защитой, вольтметр, регулируемый источник напряжения (или переменное сопротивление и постоянный источник напряжения), резистор 20 кОм, провода.

Соберем схему, в которой соединены последовательно источник \mathcal{E} , резистор R и амперметр с защитой. Сопротивление источника мало по сравнению с R . Снимем зависимость показаний амперметра от напряжения на источнике.

При малых напряжениях на амперметре ($U_a < U_0$, до излома кривой $\mathcal{E}(I_a)$) оба диода закрыты

$$\mathcal{E} = I_a R + U_a = I_a (R + R_a) \Rightarrow R_a = \frac{\mathcal{E}}{I_a} - R, \quad U_a = \mathcal{E} - I_a R$$

Напряжение открытия диодов лежат в диапазоне примерно от 0.4 до 2 В, поэтому должно быть

$$\mathcal{E}(\text{В}) - I_a (\mu\text{А}) \cdot 20 \cdot 10^3 (\text{Ом}) < 0.3(\text{В}).$$

При $U_a > U_0$ (после излома кривой)

$$U_a = I_a R_a = U_0 + I_\partial R_\partial$$

$$\mathcal{E} = I_a R_a + (I_a + I_\partial) R = I_a R_a + \left(I_a + \frac{I_a R_a - U_0}{R_\partial} \right) R$$

$$\mathcal{E} = I_a \left(R_a + R + \frac{R_a R}{R_\partial} \right) - \frac{U_0 R}{R_\partial}$$

Аппроксимируя прямой линией участок зависимости после излома кривой $\mathcal{E}(I_a)$

$$\mathcal{E} = a I_a + b$$

и находя по графику ее угловой коэффициент a и свободный член b , получим

$$a = R_a + R + \frac{R_a R}{R_\partial} \Rightarrow R_\partial = \frac{R_a R}{a - R_a - R}.$$

$$b = -\frac{U_0 R}{R_\partial} \Rightarrow U_0 = -\frac{b R_\partial}{R} = -\frac{b R_a}{(a - R_a - R)}$$

Чувствительность амперметра к большим токам:

$$I = I_a + I_\partial = I_a + \frac{I_a R_a - U_0}{R_\partial} \approx I_a + \frac{I_a R_a}{\frac{R_a R}{a - R_a - R}} = I_a \left(1 + \frac{a - R_a - R}{R} \right) = I_a \left(\frac{a - R_a}{R} \right)$$

$$k = I/I_a = \frac{a - R_a}{R}.$$

Критерии оценивания

1. Качественно проанализирован вид зависимости ВАХ	2
2. Снята зависимость тока через амперметр от поданного напряжения, результаты в таблице	3
3. Построена зависимость тока через амперметр от ЭДС $I_a(\mathcal{E})$ или $\mathcal{E}(I_a)$ (шкала, единицы измерения, линия занимает не менее $\frac{3}{4}$ поля графика)	3
4. По угловому коэффициенту $\mathcal{E}(I_a)$ при малых напряжениях определено значение сопротивления амперметра (п. 2 проверки)	2
5. По угловому коэффициенту при больших напряжениях $\mathcal{E}(I_a)$ определено значение сопротивления открытых диодов	2
6. Путем линейной аппроксимации участков графика при больших напряжениях найдены напряжения открытия диодов	3
7. Определена чувствительность амперметра к большим токам	2*