

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПРОВЕРКА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Целью работы является проверка закона сохранения механической энергии с помощью установки, называемой маятником Обербека.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Закон сохранения механической энергии для изолированной системы, между частями которой действует только консервативные силы, может быть записан в виде [1]

$$E = E_k + E_n(x, y, z), \quad (1)$$

где E - полная механическая энергия системы; E_k - ее кинетическая энергия; E_n - потенциальная энергия системы.

Выполнение закона сохранения энергии связано со свойством однородности времени - его симметрией по отношению к сдвигу начала отсчета времени.

Установка схематически изображена на рис. 1.

Прибор состоит из металлического крестообразного маховика, на концах которого закреплены четыре одинаковых груза массой m каждый. Маховик приводится во вращение прикрепленной к его валу нитью, на другом конце которой находится чашка для гирь.

Если на чашку поместить гирю массой M , то ее потенциальная энергия относительно уровня пола определится соотношением

$$E_n = M g H, \quad (2)$$

где H - высота чашки с гирей над уровнем пола.

Под действием силы тяжести чашка с гирей начнет равноускоренно падать и потенциальная энергия гири будет переходить в кинетическую энергию ее самой и вращающегося маховика. При этом, в соответствии с законом сохранения механической энергии (1), для момента удара чашки с гирей о пол, можно записать

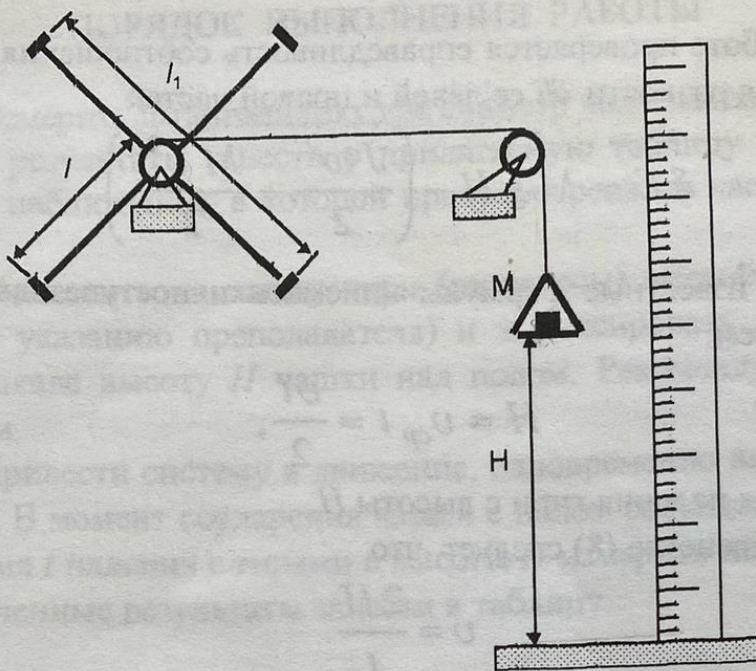


Рис. 1

$$E_n = E_k + E_{\text{вр}}, \quad (3)$$

где E_k - кинетическая энергия падающей гири; $E_{\text{вр}}$ - кинетическая энергия вращающегося маховика с грузом.

При этом

$$E_k = \frac{M v^2}{2}, \quad (4)$$

где v - скорость гири при ее соударении с полом.

Кинетическая энергия вращающегося маховика [2]

$$E_{\text{вр}} = \frac{J \omega^2}{2}, \quad (5)$$

где J - момент инерции маховика (вместе с грузами); ω - угловая скорость вращения маховика в момент соударения гири с полом.

Учитывая выражения (2), (4), (5) в соотношении (3), имеем

$$M g H = \frac{M v^2}{2} + \frac{J \omega^2}{2}. \quad (6)$$

E_n E_k $E_{\text{вр}}$

В работе проверяется справедливость соотношения (6) путем вычисления разности δE ее левой и правой частей

$$\delta E = M g H - \left(\frac{J \omega^2}{2} + \frac{M v^2}{2} \right) \quad (7)$$

Используя известные формулы кинематики поступательного движения, имеем

$$H = v_{cp} t = \frac{v t}{2}, \quad (8)$$

где t - время падения гири с высоты H .

Из равенства (8) следует, что

$$v = \frac{2H}{t}. \quad (9)$$

Тогда

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{4H}{Dt}, \quad (10)$$

где R - радиус вала маховика и $D = 2R$ - его диаметр.

Учитывая полученные результаты в выражении (7), получаем

$$\delta E = M g H - \left(\frac{8JH^2}{D^2 t^2} + \frac{2MH^2}{t^2} \right)$$

или окончательно

$$\delta E = M g H - \frac{H^2}{t^2} \left(\frac{8J}{D^2} + 2M \right). \quad (11)$$

Момент инерции маховика с грузом может быть определен по формуле

$$J = \int r^2 dm = \rho \int r^2 dV. \quad (12)$$

где r - расстояние от оси вращения до элемента массой dm ; ρ - плотность материала; dV - элемент объема, массой dm .

В данной работе следует принять $J = (2,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить штангенциркулем диаметр вала маховика D . Полученные результаты занести в прилагаемую таблицу записи результатов наблюдений, в которой предусмотрена их частичная обработка.

2. Поместить на чашку гири (разновесы) массой от 200 до 400 г (по указанию преподавателя) и зафиксировать по измерительной шкале высоту H чашки над полом. Рекомендуется брать $H = 1-1,2$ м.

3. Привести систему в движение, одновременно включить секундомер. В момент соударения чашки с полом секундомер выключить. Время t падения с гирями с высоты H измерить не менее пяти раз. Полученные результаты занести в таблицу.

Таблица

Номер опыта	D_i , мм	ΔD_i , мм	$(\Delta D_i)^2$	t_i , с	Δt_i , с	$(\Delta t_i)^2$
	$\bar{D} =$	$\sum (\Delta D_i)^2 =$		$\bar{t} =$		$\sum (\Delta t_i)^2 =$

4. Вычислить значения доверительной погрешности ΔD , Δt , ΔH , ΔM (ускорение свободного падения g в данной работе допустимо считать постоянным $g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

$$\Delta D = t_{np} \sqrt{\sum (\Delta D_i)^2 / n(n-1)}, \quad P = 0,68;$$

$$\Delta t = t_{np} \sqrt{\sum (\Delta t_i)^2 / n(n-1)}, \quad P = 0,68;$$

$\Delta M = P \cdot \Delta M_{\text{пр}}$; $\Delta H = P \cdot \Delta H_{\text{пр}}$, где $P = 0,68$, а предельные погрешности $\Delta M_{\text{пр}}$ и $\Delta H_{\text{пр}}$ определяются по таблице предельных погрешностей лабораторных приборов и инструментов.

5. По соотношению (11) с точностью до 3-4 значащих цифр вычислить предварительное значение разности δE .

6. По подготовленной заранее формуле для доверительной погрешности $\Delta(\delta E)$ вычислить погрешность $\Delta(\delta E)$ с точностью до одной значащей цифры, указав ее доверительную вероятность ($P = 0,68$).

7. Округлить полученное значение погрешности и предварительного результата измерения. Записать результат измерения величины δE в виде

$$\delta E = \delta \bar{E} \pm \Delta(\delta E), \quad P = 0,68.$$

8. Проанализировать полученный результат и сделать (в письменном виде) необходимые выводы.

Возможен также более простой вариант обработки результатов измерений данной работы, когда находят порознь величины начальной потенциальной энергии $E_1 = M g H$ и конечной кинетической энергии

$$E_2 = \frac{H^2}{t^2} \left(\frac{8J}{D^2} + 2M \right) \text{ и их погрешности } \Delta E_1 \text{ и}$$

ΔE_2 . При этом следует иметь в виду, что при вычислении погрешности энергии E_2 (но не самого ее значения!) вторым членом суммы в скобках можно пренебречь вследствие его малости по сравнению с первым (проверьте это утверждение и объясните его физический смысл).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте закон сохранения механической энергии. Для каких систем он справедлив?

2. Как определяется момент инерции материальной точки, твердого тела?

3. Как выражается кинетическая энергия падающего груза, вращающегося механизма?

4. Какова взаимосвязь линейной скорости падения чашки с грузом и угловой скорости вращения маховика?

5. Почему в производимых в работе расчетах не учитывается вес чашки?

1. Астахов А.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1977, т. 1, § 31, 33.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1982, т. 1, §18,21,24,39.
3. Гусев Г.В., Буркова Л.А. Учебное пособие. Обработка и анализ результатов лабораторного физического эксперимента. - СПб.: СПГУТД, 1995.

Составители доц. Соколов Ю.И., доц. Клименко И.Б.,
доц. Гусев Г.В.