

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М-9

"МАЯТНИК ОБЕРБЕКА"

1. Цель работы.

Изучение понятий абсолютно твердого тела, момента инерции, момента силы, момента импульса; закона динамики вращательного движения твёрдого тела; экспериментальное исследование особенностей движения маятника Обербека; опытное определение моментов инерции и момента силы трения.

2. Подготовка к работе.

Изучите теоретический материал по учебнику [1]: понятия абсолютно твёрдого тела, момента инерции, момента силы, момента импульса, закон динамики вращательного движения твёрдого тела, способ расчёта моментов инерции с применением теоремы Штейнера. Ознакомьтесь со способами измерения характеристик движения маятника Обербека и методом опытного определения моментов инерции и момента силы трения. Подготовьте ответы на вопросы дня допуска.

3. Вопросы для допуска к лабораторной работе.

1. Что называется абсолютно твёрдым телом? Определите понятия момента силы и момента импульса относительно некоторой оси в пространстве.

2. Запишите закон динамики вращательного движения для абсолютно твёрдого тела с неподвижной осью вращения.

3. Сформулируйте теорему Штейнера. На основе этой теоремы рассчитайте момент инерции шара массой m и радиусом R , закреплённого на одном конце невесомого стержня длиной L и вращающегося вокруг другого конца этого стержня. (Момент инерции шара относительно оси, проходящей через его центр, равен $I = \frac{2}{5}mR^2$).

4. Объясните принцип опытного определения момента инерции вращающейся системы и момента силы трения в данной лабораторной работе.

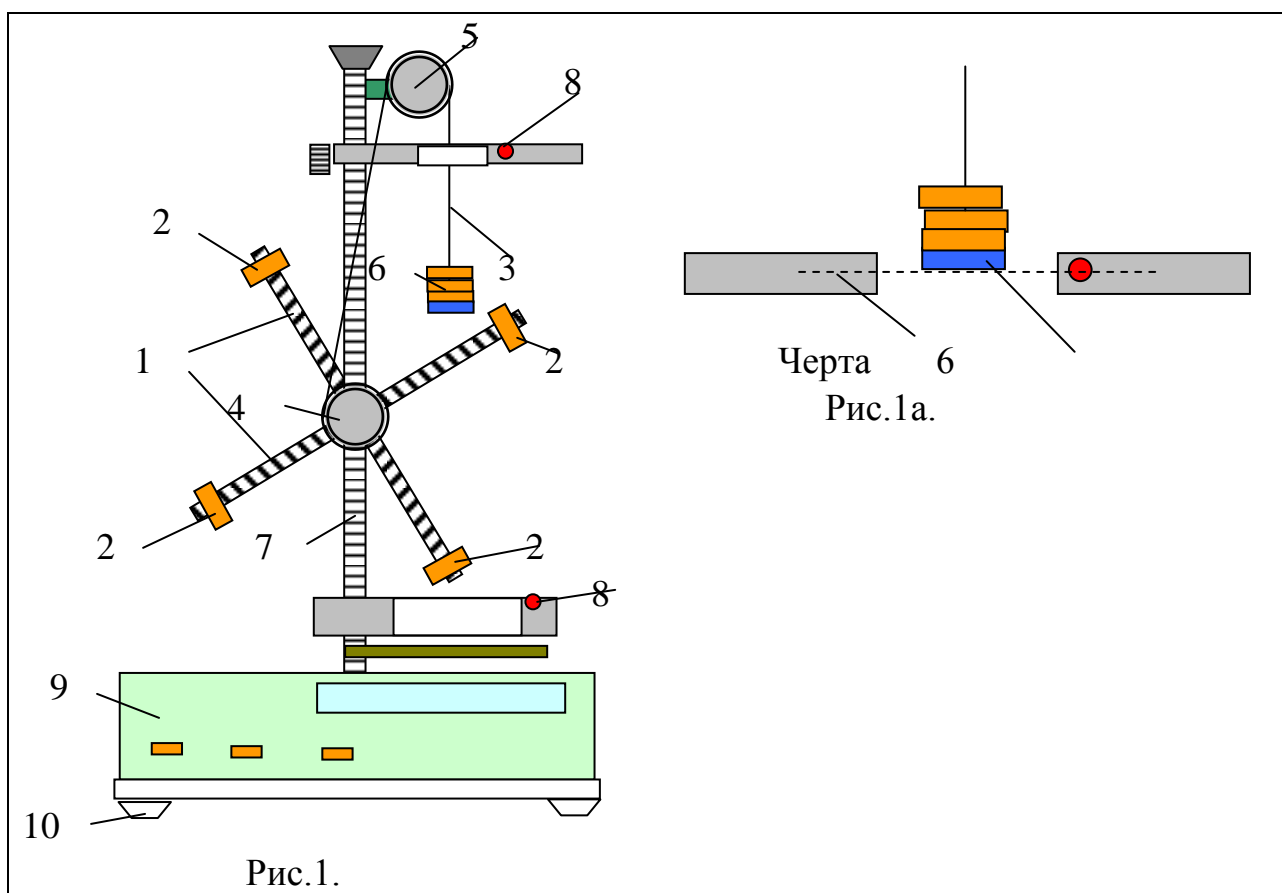
5. В чем состоит принцип опытного определения ускорения свободного падения?

4. Литература.

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. I. М.: Наука, 1998 г.

5. Методика проведения эксперимента и описание установки.

Схема установки показана на рис. 1. На горизонтальной оси расположены четыре металлических стержня 1 под углом 90° друг к другу. На стержнях с помощью винтов закрепляются одинаковые передвигаемые грузы 2; для отсчета расстояний этих грузов от оси вращения на стержнях нанесены сантиметровые деления. Стержни вместе с грузами приводятся во вращательное движение с помощью нити 3, намотанной на шкив 4. На конце нити, перекинутой через легкий диск 5, подвешена платформа со сменными грузами 6. Расстояние, проходимое по вертикали грузами 6, отсчитывается по шкале 7. Отсчет времени

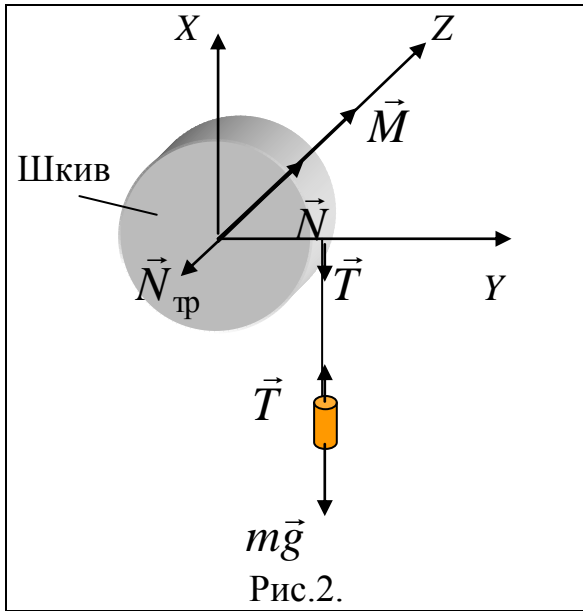


движения грузов производится при помощи фотодатчиков 8, подключенных к миллисекундомеру 9. Положение грузов 6 относительно фотодатчиков 8 регулируется винтами 10. На оси шкива 4 находится электромагнит, который затормаживает вращение стержней с грузами в момент пересечения платформой 6 светового луча нижнего фотодатчика.

Покажем, каким образом, измеряя параметры движения грузов 6, можно определить момент силы трения, действующий на шкив 4 и полный момент инерции системы.

Запишем для стержней 1 с грузами 2 уравнение динамики вращательного движения относительно оси Z (рис. 2):

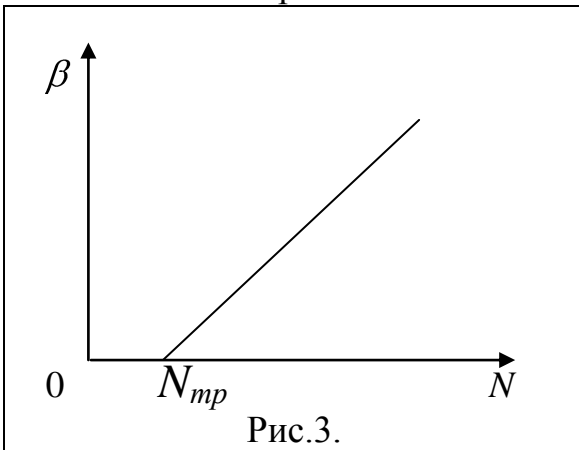
$$\sum N_z = I_z \cdot \beta \quad (1)$$



Здесь $\sum N_z$ - полный момент сил относительно оси Z; I_z - полный момент инерции системы относительно оси Z; β - угловое ускорение. Учитывая, что полный момент сил $\sum N_z$ равен разности момента сил натяжения нити N и момента силы трения $N_{тр.}$, получаем:

$$\beta = \frac{1}{I_z} (N - N_{тр.}) \quad (2)$$

Если измерить угловые ускорения β при различных моментах N , т.е. при различных массах грузов б, то полученная зависимость $\beta(N)$ будет линейной, как показано на рис. 3.



По наклону этой зависимости

$$A_1 = \frac{d\beta}{dN} = \frac{1}{I_z}$$

можно найти полный момент инерции системы:

$$I_z = \frac{1}{A_1}. \quad (3)$$

Величина отрезка, отсекаемого графиком зависимости $\beta(N)$ на оси абсцисс, будет равна моменту сил трения $N_{тр.}$ (см. рис. 3).

Величины β и N , необходимые для построения графика $\beta(N)$, можно определить, измеряя время вертикального перемещения груза б. Уравнение движения этого груза массой m_1 имеет вид (см. рис. 2):

$$m_1 g - T = m_1 a. \quad (4)$$

Отсюда момент силы натяжения нити равен (r - радиус шкива 4):

$$N = rT = r m_1 (g - a). \quad (5)$$

Ускорение a определяется измерением времени t равноускоренного дви-

жения груза m_1 на определенном расстоянии h :

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (6)$$

Наконец, угловое ускорение β находится по известной формуле:

$$\beta = \frac{a}{r}. \quad (7)$$

Покажем теперь, каким образом, измеряя характеристики движения системы, можно определить ускорение свободного падения g . Если проводить измерения при максимальной массе груза на нити m_1 , то приближенно можно считать, что $N \Rightarrow N_{mp}$. Полный момент инерции I_z представим, как сумму момента инерции стержней I_{cm} и момента инерции четырех грузов, принимая их приближенно за материальные точки:

$$I_z = I_{cm} + 4mR^2, \quad (8)$$

где R – расстояния грузов от оси вращения. Тогда из соотношений (2), (5), (6), (7) и (8) получим:

$$R^2 = \frac{m_1 r^2 g}{8hm} t^2 - \frac{m_1 r^2}{4m} - \frac{I_{cm}}{4m}. \quad (9)$$

Если измерить время опускания груза t при различных положениях грузов m на стержнях (R) и затем определить наклон графика линейной зависимости $R^2(t^2)$

$$A_2 = \frac{d(R^2)}{d(t^2)} = \frac{m_1 r^2 g}{8hm},$$

то величина g находится по формуле

$$g = \frac{8hmA_2}{m_1 r^2}. \quad (10)$$

6. Порядок выполнения работы.

6.1. Подготовка установки к работе.

1. При намотанной на шкив 4 нити отрегулировать при помощи винтов 10 положение платформы 6 таким образом, чтобы при движении она проходила примерно посередине отверстий фотодатчиков 8, не задевая их стенок.

2. Включить установку в сеть (выполняет лаборант). Кнопки "Сброс" и "Пуск" привести в отжатое положение.

6.2. Определение погрешностей измерения времени движения груза 6.

1. При отжатой кнопке "Пуск" установить грузы 2 на стержнях на максимальных расстояниях от оси вращения. При этом платформу 6 следует оставить без дополнительных грузов.

2. Нажав кнопку "Пуск" (при этом торможение электромагнитом прекращается) и постепенно наматывая нить на шкив 4, поднять платформу 6 так, чтобы ее нижний край совпадал с чертой на верхнем фотодатчике 8 (рис. 1а). Отжав кнопку "Пуск", зафиксировать платформу в этом положении. Нажав кнопку "Сброс", установить нулевой отчёт цифрового индикатора времени.

3. Нажав кнопку "Пуск", привести систему в движение. После автоматического затормаживания системы электромагнитом записать полученное время t_1 в таблицу 1.

4. Нажать на кнопку "Сброс" и, начиная с пункта 2, провести аналогичные измерения ещё четыре раза. Значения $t_2 \div t_3$ занести в таблицу 1.

Таблица 1.

| t | $\langle t \rangle$ | $\rho_i = t_i - \langle t \rangle$ | σ_t |
|-----|---------------------|------------------------------------|------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

6.3. Измерение зависимости углового ускорения β от момента силы натяжения нити N .

1. Установить грузы 2 на стержнях 1 симметрично на некотором расстоянии R от оси вращения (величина R рекомендуется преподавателем). Платформу 6 оставить без дополнительных грузов.

2. Произвести однократное измерение времени опускания платформы 6 в порядке, описанном в пунктах 2 и 3 предыдущего эксперимента 6.2. Полученное значение t_1 , записать в таблицу 2.

3. Аналогичные однократные измерения провести с одним, двумя и тремя дополнительными грузами, помещаемыми на платформу 6, не меняя при этом положений грузов на стержнях. Полученные значения t_2, t_3, t_4 занести в таб-

лицу 2.

Таблица 2.

| | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|
| t, c | | | | |
| $a, m \cdot c^{-2}$ | | | | |
| β, c^{-2} | | | | |
| $m_1, кг.$ | | | | |
| $N, Н \cdot м$ | | | | |
| $I_z, кг \cdot м^2$ | | | | |
| $N_{тр.}, Н \cdot м$ | | | | |

6.4. Измерение зависимости времени опускания груза 6 от положения грузов 2 на стержнях.

1. Установить грузы 2 на максимальном расстоянии от оси вращения R_1 . На платформу 6 поместить два дополнительных груза, в соответствии с пунктами 2 и 3 в эксперименте 6.2. Произвести однократные измерения времени опускания t_1 грузов 6. Данные занести в таблицу 3.

2. Аналогичные однократные измерения произвести для четырех других расстояний $R_2 \div R_5$ грузов 2 от оси вращения. Данные также занести в таблицу 3.

Таблица 3.

| | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|
| $R, м$ | | | | | |
| $R^2, м^2$ | | | | | |
| t, c | | | | | |
| t^2, c^2 | | | | | |
| $g, m \cdot c^{-2}$ | | | | | |

7. Оформление отчёта.

1. По данным таблицы 1 рассчитать среднее значение $\langle t \rangle$, разности ρ_i и среднеквадратичное отклонение σ_t . Полученные данные записать в таблицу 1.

2. По данным таблицы 2 рассчитать ускорения a и β , применяя формулы (6) и (7). По формуле (5) рассчитать величины N . Данные записать в таблицу 2.

3. Построить график зависимости $\beta(N)$ и по его наклону A_1 , используя формулу (3), определить полный момент инерции системы I_z . На пересечении графика $\beta(N)$ с осью абсцисс определить момент силы трения $N_{тр}$. Записать полученные данные в таблицу 2.

4. Сравнить полученное экспериментально значение I_z с теоретическим. Для этого рассчитать величину I_z , как сумму моментов инерции стержней $I_{ст.}$ и грузов 2. При расчетах использовать значения массы и длины стержней, приведенные на установке; грузы 2 принять за материальные точки.

5. По данным табл. 3 рассчитать величины t^2 и R^2 . Построить график зависимости $R^2(t^2)$ и по его наклону, пользуясь формулой (10), определить ускорение свободного падения g .

6. Определить абсолютную $\sigma_{g,ср.}$ и относительно δ_g погрешности косвенного измерения величины g . Для этого выразить g , как функцию t и R , применяя формулу (9). При расчётах по формуле (П.7) (см. Приложение) использовать величину σ_t из таблицы 1; в качестве σ_R принять величину, равную половине деления, нанесенного на стержне.

7. По полученным результатам эксперимента сделать выводы.