

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА «ПУЛИ» БАЛЛИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПОМОЩЬЮ УНИФИЛЯРНОГО ПОДВЕСА

Цель работы: определение скорости полета «пули» с помощью крутильного маятника на основе закона сохранения момента количества движения.

Задание: экспериментально определить скорость полета «пули» с помощью измерения угла φ_m максимального отклонения рамки крутильного маятника. Определить зависимость числа колебаний крутильного маятника от времени и период колебаний рамки с грузами и без грузов. Оценить погрешность проведённых измерений.

Подготовка к выполнению лабораторной работы: ознакомиться с методикой определения скорости полета «пули» с помощью крутильного маятника и используемой измерительной аппаратурой. Ответить на контрольные вопросы.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М. Наука, 1987.-Т. 1, гл. V, §§ 38 - 42; гл. VII, §§ 53, 54.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики.- М.: Наука,1974. Т. 1, §§ 32, 33, 36.

Контрольные вопросы

1. Что является мерой инертности тела при поступательном движении?
2. Что является мерой инертности тела при вращательном движении?
3. Что называется моментом инерции твердого тела?
4. Чему равна кинетическая энергия вращательного движения твердого тела?
5. Выведете основное уравнение вращательного движения.
6. Как определить направление вектора угловой скорости вра-

щения относительно некоторой оси?

7. Сформулируйте закон сохранения момента количества движения и условия его выполнения

8. Опишите принцип действия лабораторной установки и порядок выполнения работы

Описание установки

Основным элементом установки (см. рис. 1) является крутильный маятник, представляющий собой металлическую рамку 1, подвешенную на стальной нити 2. Нить подвеса закреплена вертикально в натянутом состоянии на стойке 3 с основанием 4. Рамка может совершать крутильные колебания вокруг вертикальной оси, проходящей через ее ось симметрии. На ней имеют-ся места для крепления двух дополнительных грузов 5 симметрично относительно оси. К ней же крепится «мишень» 6 в виде диска, поверхность которого покрыта тонким слоем пластилина, флажок 7 для контроля ее колебаний и противовес 8. «Пулей» служит тонкое металлическое кольцо.

К стойке на кронштейне 9 крепится «пистолет», состоящий из направляющего стержня с пружиной 10 и спускового устройства 11. К стойке также на кронштейне крепится фотодатчик 12 (лампа + фотоприёмник), соединенный с электронным блоком регистрации времени и числа колебаний.

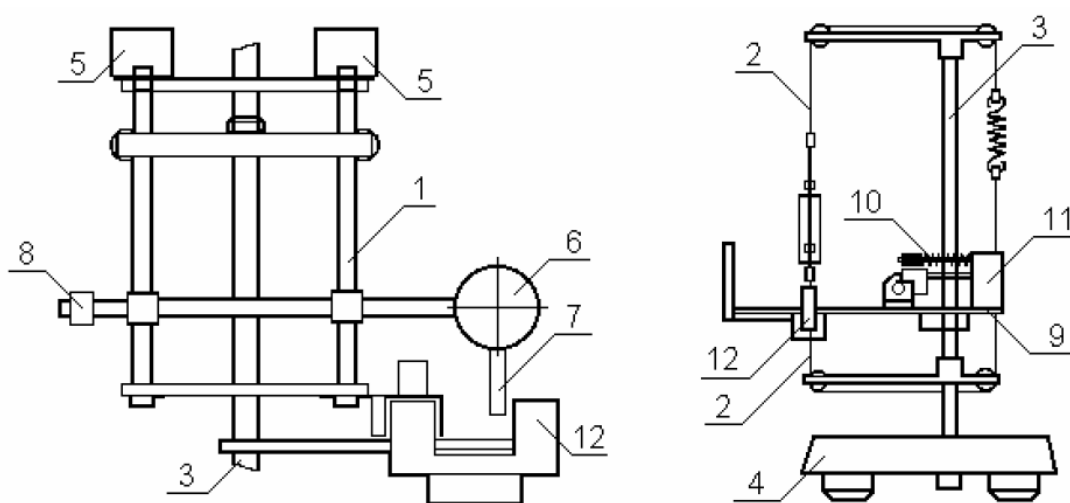


Рис. 1. Схема установки 3

Принцип действия лабораторной установки

После выстрела «пуля» попадает в «мишень» и прилипает к ее поверхности (см. рис. 2.). Соударение «пули» с «мишенью» происходит за столь короткое время, что поворотом рамки с «мишенью», а, следовательно, и действием момента сил упруго-сти нити за это время можно пренебречь. Момент силы тяжести и силы натяжения нити относительно вертикальной оси равен нулю. Таким образом, относительно этой оси суммарный момент внешних сил, действующий на рамку и «пулю», равен нулю и при соударении выполняется закон сохранения суммарного момента импульса рамки и «пули».

Момент импульса «пули» перед соударением $L_1 = mvl$, где m - масса «пули», v - его скорость, l - прицельное расстояние (см. рис. 2). После соударения рамка с грузами приходит во вращение с угловой скоростью ω , при этом ее момент импульса

$$L_2 = (I_p + 2Ml_1^2)\omega. \quad (1)$$

Здесь I_p - момент инерции рамки без грузов, M - масса каждого из грузов, l_1 - расстояние грузов от оси вращения. Вкладом в момент инерции массы прилипшей «пули» можно пренебречь из-за ее малости.

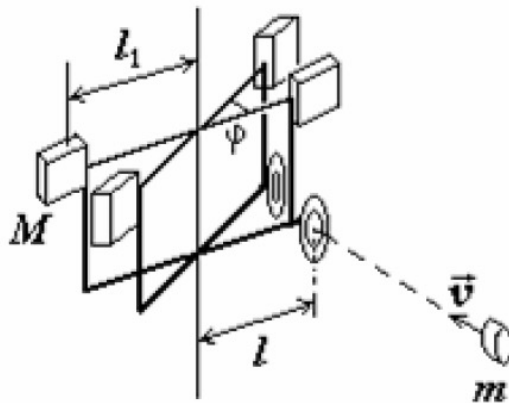


Рис. 2. Схема опыта

По закону сохранения $L_1 = L_2$, следовательно:

$$v = \frac{(I_p + 2Ml_1^2)\omega}{ml}. \quad (2)$$

Чтобы воспользоваться этой формулой, нужно найти угловую скорость рамки ω и момент инерции рамки с грузами $I_p + 2Ml_1^2$.

Угловую скорость можно найти по углу φ_m максимального отклонения рамки после соударения. После соударения вращение рамки тормозится под действием момента упругих сил в нити подвеса. При этом выполняется закон сохранения энергии. Кинетическая энергия рамки переходит в потенциальную энергию закрученной нити:

$$\frac{(I_p + 2Ml_1^2)\omega^2}{2} = \frac{D\varphi_m^2}{2}, \quad (3)$$

где D - модуль кручения проволоки. Модулем кручения называется коэффициент пропорциональности между моментом упругих сил $M_{упр}$ и углом закручивания нити φ :

$$M_{упр} = -D\varphi.$$

Знак минус здесь показывает, что направление момента упругих сил противоположно углу закручивания. Из соотношения (3) находим выражение для угловой скорости:

$$\omega = \varphi_m \sqrt{\frac{D}{(I_p + 2Ml_1^2)}}. \quad (4)$$

Модуль кручения D и момент инерции $I_p + 2Ml_1^2$ определяют значение периода колебаний рамки. Их отношение, а также необходимый для вычисления скорости момент инерции рамки с грузами можно найти из измерений периода колебаний рамки с грузами и без них. Для того чтобы понять, как связан период с этими величинами, рассмотрим уравнение вращения рамки, подвешенной на упругой нити:

$$I\ddot{\varphi} = -D\varphi.$$

Здесь I - момент инерции рамки в общем случае, $\ddot{\varphi}$ - вторая производная от угла по времени, т.е. угловое ускорение. Это

уравнение можно привести к виду

$$\ddot{\varphi} = -\omega_0^2 \varphi, \quad (5)$$

где $\omega_0 = \sqrt{D/I}$. Уравнение (5) описывает гармонические колебания с циклической частотой колебаний ω_0 . Период колебаний вычисляется по формуле

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{D}}. \quad (6)$$

Обозначив период колебаний рамки без грузов T_1 , а с грузами T , по формуле (6) имеем:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_p}{D}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{I_p + 2Ml_1^2}{D}}. \quad (7)$$

Из этих формул получим для угловой скорости (4) следующее выражение:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \cdot \varphi_m. \quad (8)$$

Исключая модуль кручения из формул (7) находим момент инерции рамки с грузами:

$$I_p + 2Ml_1^2 = \frac{2Ml_1^2 T^2}{T^2 - T_1^2}. \quad (9)$$

Подстановка соотношений (8) и (9) в уравнение (2) дает окончательную формулу:

$$v = \frac{4\pi Ml_1^2 T \varphi_m}{ml(T^2 - T_1^2)}. \quad (10)$$

Порядок выполнения работы

1. Произведите регулировку положения основания с помощью регулировочных опор. Добейтесь вертикальности нити подвеса.
2. Установите грузы на рамке.
3. Установите «мишень» на рамке. Убедитесь, что «мишень» находится на линии «выстрела» и перпендикулярна ей, а флажок пересекает при колебаниях рамки оптическую ось фотодатчика.
4. Установите «пулю» на направляющий стержень «пушки», б

взведите пружину и произведите «выстрел». Визуально определите угол φ_m максимального отклонения рамки по шкале угловых перемещений с помощью флажка, закрепленного на рамке. Повторите «выстрел» и измерение угла максимального отклонения не менее трех раз.

5. Измерьте штангенциркулем расстояние l от оси вращения рамки до центра отпечатка «пули» в «мишени».

6. Отклоните рамку с грузами на угол 40° градусов и зафиксируйте с помощью электромагнита. Нажмите на электронном блоке кнопку «СБРОС», при этом должны обнулиться показания счетчиков колебаний и времени. Нажмите кнопку «ПУСК», при этом выключится электромагнит, и начнутся крутильные колебания рамки. Определите время t , за которое происходит N колебаний рамки. Для регистрации времени необходимо нажать кнопку «СТОП» после того, как произойдет $N - 1$ полных колебаний. Прибор остановит счет времени в момент завершения N -го колебания. Количество колебаний выберите в пределах $10 \div 15$.

7. Измерьте штангенциркулем расстояние l_1 от оси вращения рамки до центров грузов.

8. Снимите грузы с рамки и аналогично п. 6. проведите измерения времени t_1 , за которое происходит N_1 колебаний рамки без грузов. Выберите N_1 в пределах $10 \div 15$.

9. С помощью лабораторных весов определите массы грузов M и массу «пули» m .

10. Вычислите среднее значение угла максимального отклонения при выстреле:

$$\overline{\varphi}_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{mi}}{n},$$

где n – количество измерений угла максимального отклонения.

11. Вычислите периоды колебания рамки с грузами и без грузов: $T = t / N$, $T_1 = t_1 / N_1$

12. Используя среднее значение угла $\overline{\varphi}_m$, вычислите по формуле (10) скорость «пули» v .