

6. По формуле (19) найдите величину скорости пули.
7. Повторите пункты 4–6 для всех пуль.
8. Постройте график зависимости скорости пули от ее массы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ

1. Ответьте на вопросы 1–4 из работы N 11.
2. Почему в работе используется неупругий удар?
3. Получите формулу (19). Как учтены сделанные при ее выводе приближения в конструкции экспериментальной установки?
4. В формулировке закона сохранения импульса требуется, чтобы система была замкнутой. В данной работе при записи закона сохранения импульса (выражение (14)) в тексте содержится требование малости времени удара по сравнению с периодом колебаний маятника. Как согласовать эти требования между собой?
5. Как зависит точность измерения от значений параметров, входящих в формулу (19)?
6. Как скорость пули зависит от ее массы? Обоснуйте полученную зависимость.
7. *Как влияет масса пружины пистолета на экспериментально измеренную зависимость скорости пули от массы?
8. *Влияет ли на упомянутую зависимость масса пистолета?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 13.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА

Цель работы – изучение законов сохранения в динамике вращательного движения и их применение к решению практической задачи нахождения скорости полета пули.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Приборы и принадлежности: крутильный баллистический маятник с электронной системой отсчета времени, набор пуль.

Общий вид маятника показан на рис. 11. Основание 1 маятника оснащено регулировочными винтами 2 для выравнивания прибора. На основании установлена колонна 3, на которой закреплены три кронштейна 4,5,6. К среднему кронштейну 5 прикреплено стреляющее устройство 7, прозрачный экран 8 с угловой шкалой и фотоэлектрический датчик 9. Кронштейны 4 и 6 имеют зажимы для крепления стальной проволоки 10. На ней подвешен маятник, состоящий из двух стержней 11, мисочек, наполненных

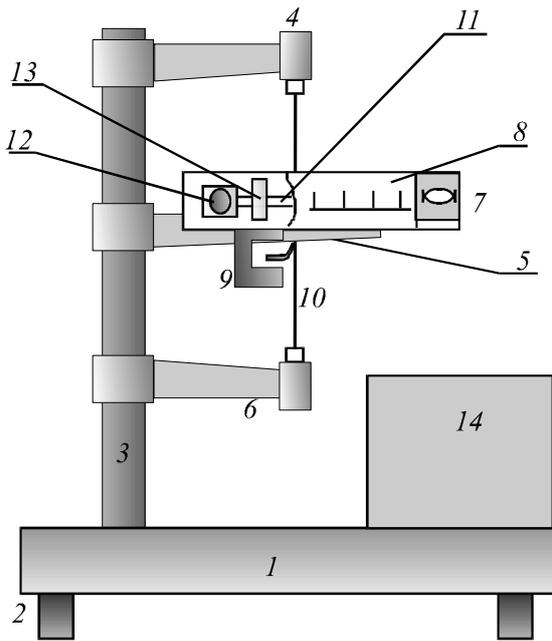


Рис. 11.

пластином 12, двух перемещаемых грузов 13. Фотоэлектрический датчик соединен с электронным миллисекундомером 14, для регистрации периодов колебаний маятника.

ВЫВОД РАБОЧЕЙ ФОРМУЛЫ

После попадания пули в маятник он начинает колебаться вокруг вертикальной оси. Если время взаимодействия с пулей гораздо меньше периода колебаний маятника, то момент импульса в процессе удара должен сохраняться:

$$mvl = (J_1 + ml^2)\omega, \quad (20)$$

где m – масса пули, v – ее скорость, l – расстояние от оси вращения маятника до точки удара пули, J_1 – момент инерции маятника относительно оси вращения, ω – угловая скорость, которую он приобретет после удара.

Если пренебречь силами трения, то в процессе колебания крутильного маятника должна сохраняться механическая энергия. Тогда максимальное значение кинетической энергии будет равно максимальной потенциальной энергии:

$$(J_1 + ml^2)\omega^2 / 2 = D\alpha_m^2 / 2. \quad (21)$$

Здесь D – модуль кручения (коэффициент пропорциональности момента упругих сил закрученной проволоки и угла, на который она закручена (см. работу 31)), α_m – угол максимального отклонения маятника.

Из формул (20) и (21) для скорости полета пули получим выражение:

$$v = \frac{\alpha_m}{ml} \sqrt{D(J_1 + ml^2)}. \quad (22)$$

Учитывая, что $ml^2 \ll J_1$, это выражение можно упростить:

$$v = \frac{\alpha_m}{ml} \sqrt{DJ_1}. \quad (23)$$

Для нахождения J_1 , D используются свободные колебания маятника. Уравнение движения запишем:

$$J_1\alpha'' = -D\alpha. \quad (24)$$

Решением этого дифференциального уравнения является гармоническая функция $\alpha = \alpha_m \cos(2\pi t/T + \varphi_0)$, период T которой определяется выражением:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J_1}{D}}. \quad (24)$$

При изменении расстояния между грузами l_3 (см. рис.11) меняется момент инерции маятника и, следовательно, период колебаний. Для двух различных положений грузов можно записать:

$$\begin{aligned} T_1 &= 2\pi\sqrt{\frac{J_1}{D}}, & T_1 &= 2\pi\sqrt{\frac{J_1}{D}}, \\ T_2 &= 2\pi\sqrt{\frac{J_2}{D}}, & T_2 &= 2\pi\sqrt{\frac{J_2}{D}}, \\ J_1 &= J_0 + 2MR_1^2, & J_1 &= J_0 + 2MR_1^2, \\ J_2 &= J_0 + 2MR_2^2. & J_2 &= J_0 + 2MR_2^2. \end{aligned} \quad (25)$$

Здесь I_0 - момент инерции маятника без грузов, R_1, R_2 – расстояния от оси вращения до центра грузов. Из этих уравнений можно найти I_1 и D , но вычислять их значения нет необходимости: достаточно подставить полученные аналитические соотношения в выражение (22). В этом случае рабочая формула для скорости пули примет вид:

$$v = \frac{4\pi\alpha_m M}{ml} \frac{T_1}{T_1^2 - T_2^2} (R_1^2 - R_2^2). \quad (26)$$

ХОД РАБОТЫ

1. Включите установку в сеть переменного тока 220 В. Нажмите последовательно кнопки «Сеть» и «Сброс» на панели установки. Если установка исправна, на табло появятся нули. Проверьте светится ли лампочка фотоэлектрического датчика.
2. Максимально отдалите грузы l_3 друг от друга, измерьте R_1 .
3. Проверьте по шкале и, если нужно, установите нулевое положение маятника поворотом узла крепления проволоки.
4. Отведите пружину стреляющего устройства, заложите пулю и произведите выстрел.
5. Измерьте максимальный угол отклонения маятника α_m и расстояние l до центра застрявшей пули.
6. Пропустите 2–3 первых колебания. Измерьте время 10–15 следующих, запустив миллисекундомер кнопкой «Сброс» и остановив его кнопкой

«Стоп». (Число полных колебаний высвечивается на табло «Периоды».)
Вычислите T_1 .

7. Максимально сблизьте грузы 13 , измерьте R_2 .
8. Поверните рукой маятник на угол близкий к α_m и отпустите. Повторив пункт 6, определите T_2 .
9. Измерьте массу пули m .
10. Вычислите скорость полета пули по формуле (26). Масса грузов указана на приборе.
11. Повторите опыт для других положений грузов 13 .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ

1. Ответьте на вопросы 1–4 из работы N 11.
2. Опишите экспериментальную установку и метод измерения скорости полета пули.
3. В формулировке закона сохранения момента импульса требуется, чтобы система была замкнутой. В данной работе при записи закона сохранения момента импульса (выражение (20)) в тексте содержится требование малости времени удара по сравнению с периодом колебаний маятника. Как согласовать эти требования между собой?
4. Какие еще допущения используются при выводе рабочей формулы, и как они учитываются в конструкции установки?
5. Любую ли скорость пули можно измерить с помощью конкретного маятника?
6. Зависит ли ответ на предыдущий вопрос от массы пули?