

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ
УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР –
факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова

Кафедра физики

Общий физический практикум

Лабораторная работа № 1.4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ
С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО
МАЯТНИКА**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Целью работы является ознакомление учащихся с одним, из лабораторных методов определения скорости быстро движущихся тел. Если исследуемое тело (пуля) совершит неупругое соударение с неким массивным объектом, находящимся в положении равновесия (баллистическим маятником), последний отклонится от своего начального положения, причем наблюдаемое отклонение есть функция скорости пули. Измеряя его, мы получаем возможность рассчитать по приведенным ниже формулам скорость попавшей в маятник пули.

Теоретическая часть

Баллистическим маятником называется маятник, период колебаний которого намного больше времени внешнего воздействия. Пусть пуля имеет массу m и скорость v . При кратковременном ударе пули, застревая в веществе маятника массой M , сообщает ему некоторую скорость V . Закон сохранения импульса дает:

$$mv = (m + M)V \quad (1)$$

После удара маятник (вместе с пулей) отклоняется от положения равновесия и центр масс системы поднимается на некоторую высоту h . При этом закон сохранения механической энергии системы тел записывается в виде:

$$(m + M)gh = \frac{(m + M)V^2}{2} \quad (2)$$

Высота h может быть легко найдена, если известны длина маятника l (расстояние от точки подвеса до центра масс) и максимальный угол α его отклонения от вертикали (см. рис. 1). Действительно, из рис. 1 следует, что:

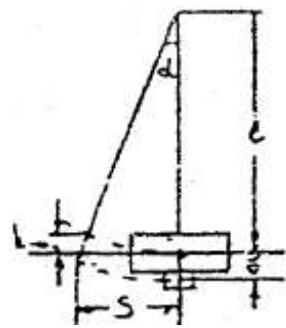


Рис. 1 К пояснению экспериментального метода

$$h = l \cdot (1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \approx l \frac{\alpha^2}{2}, \quad (3)$$

где угол α считается малым, таким, что $\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$. Используя формулы

(1), (2) и (3), и учитывая тот факт, что $m \ll M$, выразим скорость пули как функцию угла α :

$$v = \left(1 + \frac{M}{m}\right) \sqrt{gl} \cdot \alpha \approx \frac{M}{m} \sqrt{gl} \cdot \alpha \quad (4)$$

Для определения угла α маятник в нижней своей части имеет отсчетную рамку с натянутой короткой вертикальной нитью. Если смещение центра этой нити по горизонтали равно S , то очевидно (см. рис.1):

$$\alpha \approx \frac{S}{l + \delta}, \quad (5)$$

где δ - расстояние от центра масс до центра рамки.

Подставляя (5) в (4), окончательно получаем:

$$v \approx \frac{M \cdot \sqrt{gl} \cdot S}{m \cdot (l + \delta)} \quad (6)$$

Величины M и l как данные установки приводятся в табличке на стене напротив каждого маятника. Их необходимо перенести в лабораторный журнал.

Экспериментальная часть

Баллистический маятник в данной задаче представляет собой полое цилиндрическое тело, частично заполненное пластилином и подвешенное на четырех (для устойчивости) тонких нитях. Снизу цилиндр, как отмечалось, снабжен отсчетной рамкой. В маятник стреляют из пушки пулей, летящей по горизонтали (Рис. 2)

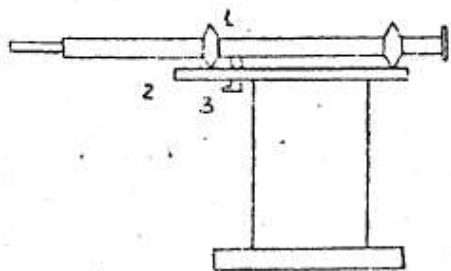


Рис. 2 Эскиз «пушки».

Перед началом эксперимента необходимо взвесить пулю, затем найти расстояние δ , измерив диаметр маятника и размер отсчетной рамки штангенциркулем:

$$M = (.. \pm \Delta M) \text{ г};$$

$$l = (.. \pm \Delta l) \text{ мм};$$

$$\delta = (.. \pm \Delta \delta) \text{ мм}.$$

Далее устанавливают шкалу, предназначенную для измерения отклонения маятника S параллельно плоскости отсчетной рамки на расстоянии примерно 5-6 мм от нее. Подготавливают пушку к выстрелу. Рычаг 3 (рис. 2) отводят в правое положение. Вставляют пулю в дуло 2 пушки и сдвигают ее шомполом до отказа. Тщательно убедившись, что пуля может вылететь только в центр маятника, производят выстрел. Делают отсчет отклонения нити рамки. Для каждой пули производят 7 выстрелов. Опыты проводят с двумя разными пулями. Результаты измерений заносят в следующую

таблицу, заполняя сначала первый, а затем третий ее столбцы (N – номер выстрела):

Таблица №1

N	1-ая пуля $m = (.. \pm \Delta m) \text{ г}$		2-ая пуля $m = (.. \pm \Delta m) \text{ г}$	
	S, мм	ΔS^{cl} , мм	S, мм	ΔS^{cl} , мм
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Средние				

Расчётная часть

Приведенные в первой (а затем и в третьей) колонке таблицы результаты серии измерений обрабатывают стандартным способом, заполняя таблицу до конца и находя S_{cp} . Далее по формуле (6) вычисляют среднюю скорость пули и её случайную ошибку:

$$\Delta v_{cp}^{cl} = v_{cp} \cdot \varepsilon_{v_{cl}}^{cl} = v_{cp} \cdot \varepsilon_{S_{cp}}^{cl} \quad (7)$$

($\varepsilon_{v_{cl}}^{cl} = \varepsilon_{S_{cp}}^{cl}$, поскольку v и S связаны линейной зависимостью).

Из (6) получают выражения для расчёта приборной ошибки (относительной и абсолютной):

Вопросы

$$\varepsilon_v^{np} = \sqrt{(\varepsilon_M^{np})^2 + (\varepsilon_m^{np})^2 + (\varepsilon_S^{np})^2 + \left(\frac{1}{2}\varepsilon_l\right)^2} \quad (8)$$

$$\Delta v^{np} = \varepsilon_v^{np} \cdot v_{cp}$$

Здесь ε_M^{np} и ε_m^{np} - приборные погрешности измерения масс маятника и пули (первая находится из данных таблички данных на стене), ε_S^{np} - отношение точности отсчета S к S_{cp} , которую необходимо принять равной 2 мм. Далее, поскольку точность измерения δ в (6) более чем на порядок выше точности, с которой задано l , а само $\delta \ll l$, при вычислении погрешности можно вовсе ею пренебречь. Значение g в (6) естественно, нужно брать с надлежащим числом знаков, ибо погрешность ее в выражении для ε_v^{np} также не вошла. Найдя полную ошибку определения скорости пули:

$$\Delta v = \sqrt{(\Delta v_{cp}^{cl})^2 + (\Delta v^{np})^2}, \quad (9)$$

записывают окончательный результат в виде:

$$v = (v_{cp} \pm \Delta v)m / c, \quad (10)$$

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta v}{v} \cdot 100\%$$

Аналогичным образом обрабатывают данные, относящиеся ко 2 пуле.

1. Можно ли считать, что $\frac{mv^2}{2} = (m + M)gh$.
2. Оценить (для данных M и m), какая часть энергии пули переходит в тепло.
3. Почему угол α должен быть меньше 5° ?
4. Зависит ли скорость пули от массы пружины?
5. Оцените ошибку, возникающую из-за неточности формулы (5)
6. Как изменится результат измерений, если скорость пули будет не параллельна оси маятника?
7. То же, если пуля ударит выше или ниже оси?
8. То же, но если пуля ударит сбоку?
9. Как будет меняться отклонение маятника при изменении массы пули?
10. Как еще экспериментально можно определить скорость пули?

Рекомендованная литература

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., «Механика», учебник Физика-10 класс.
2. Матвеев А.Н., «Механика: учебное пособие», т. 1.
3. Сивухин Д.В., «Общий курс физики», т. 1.
4. Ландсберг Г.С., «Элементарный учебник физики», т. 1.
5. Сергеев С.П. «Обработка результатов физического эксперимента».