



**Санкт-Петербургский национальный
исследовательский Академический
университет имени Ж.И. Алфёрова
Российской академии наук**

Свиридов Фёдор, Александр Слободнюк, Владимир Попов

Рабочий протокол и отчёт по лабораторной работе № 4

Цель работы. С помощью баллистического маятника определить скорости пуль с различными массами

Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Измерить массы пуль
- Измерить длину баллистического маятника
- Измерить массу баллистического маятника
- Измерить отклонения маятника после выстрела каждой пули
- Обработать полученные результаты
- Сделать выводы

Объект исследования. Зависимость скорости пули от её массы после выстрела из пружинного пистолета

Метод экспериментального исследования. Измерение скоростей пуль

Рабочие формулы и исходные данные.

Предполагаемая зависимость скорости пули от её массы после выстрела из пружинного пистолета: $v \sim \sqrt{\frac{1}{m}}$

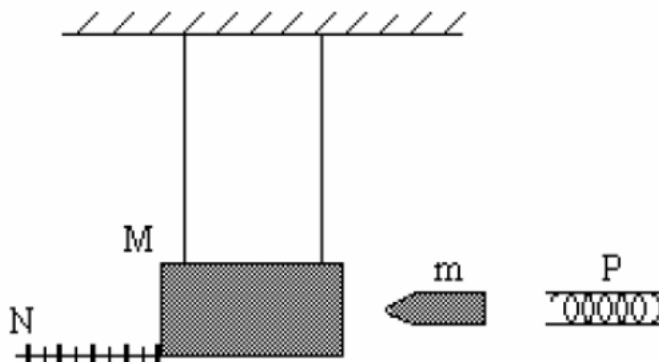
$$v_i = \frac{m_i + M}{m_i} \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot x_i \quad (1)$$

где l - длина маятника; m_i и x_i - масса пули и отклонение маятника в данном эксперименте, соответственно

Таблица 1: Измерительные приборы

Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
Линейка	Аналоговый	20 – 40 см	0,1 см
Электронные весы	Цифровой	1 – 200 г	0,01 г

Рис. 1: Схема установки



Результаты прямых измерений и их обработки.

- Масса баллистического маятника: $M = 112$ г
- Длина маятника: $l = 30$ см

Таблица 2: Измерения

№	Масса пули m_i (г)	Отклонение маятника x_i (см)
1	11,53	9
2	10,72	5
3	3,74	2,5

Расчет результатов косвенных измерений. Пользуясь формулой (1), находим скорости пуль:

$$v_1 = \frac{11,53 \cdot 10^{-3} + 0,112}{11,53 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{9,81}{0,3}} \cdot 9 \cdot 10^{-2} \approx 5,51 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$v_2 = \frac{10,72 \cdot 10^{-3} + 0,112}{10,72 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{9,81}{0,3}} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \approx 3,27 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$v_3 = \frac{3,74 \cdot 10^{-3} + 0,112}{3,74 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{9,81}{0,3}} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \approx 4,42 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

№	Скорость пули $v_i \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$
1	5,51
2	3,27
3	4,42

Расчет погрешностей измерений.

$$v = v(m, M, l, x)$$

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial m} \Delta m \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial M} \Delta M \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial l} \Delta l \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x \right)^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial m} \Delta m = x \sqrt{\frac{g}{l}} \left(-\frac{M}{m^2} \right) \Delta m$$

$$\frac{\partial v}{\partial M} \Delta M = \frac{x}{m} \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \Delta M$$

$$\frac{\partial v}{\partial l} \Delta l = \frac{m+M}{m} x \sqrt{g} \left(-\frac{1}{2\sqrt{l^3}} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x = \frac{m+M}{m} \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \Delta x$$

В итоге:

$$\Delta v = \sqrt{\frac{x^2 g M^2}{l m^4} \Delta m^2 + \frac{x^2 g}{m^2 l} \Delta M^2 + \frac{(m+M)^2 x^2 g}{4 m^2 l^3} \Delta l^2 + \frac{(m+M)^2 g}{m^2 l} \Delta x^2}$$

$$\Delta m = 0,01 \text{ г}$$

$$\Delta M = 0,1 \text{ г}$$

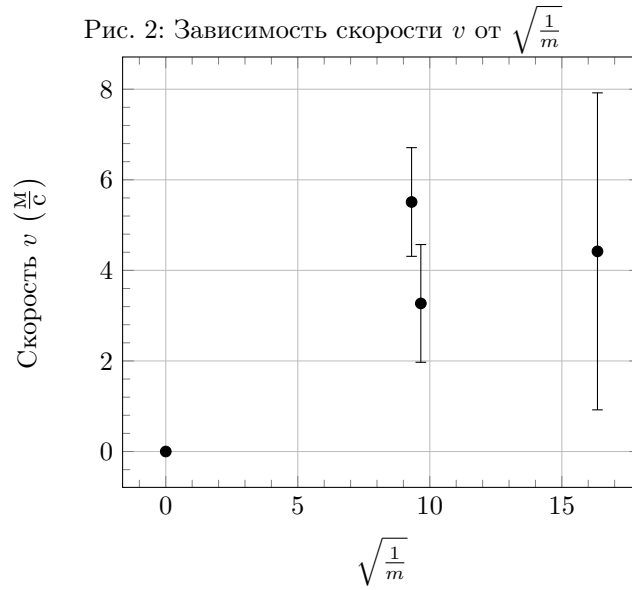
$$\Delta l = 5 \text{ мм}$$

$$\Delta x = 2 \text{ см}$$

№	Погрешность скорости $\Delta v_i \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$
1	1,2
2	1,3
3	3,5

Таблица 3: **Окончательные результаты.**

№	Скорость пули v_i ($\frac{M}{C}$)
1	$(5, 5 \pm 1, 2)$
2	$(3, 3 \pm 1, 3)$
3	$(4, 4 \pm 3, 5)$



Выводы и анализ результатов Мы провели косвенные измерения скоростей пуль и получили зависимость скорости пули от её массы (стреляя из пружинного пистолета). Говорить о линейной зависимости $v \sim \sqrt{\frac{1}{m}}$ (рис. 2), основываясь всего на трёх измерениях, которые ещё и имеет большую погрешность, очень трудно.

Стоит отметить несколько пунктов о погрешности:

- Маятник, масса которого измерялась, не от экспериментальной установки (не учтено в погрешности)
- Рабочая [формула \(1\)](#) упрощённая. На самом деле высоту, на которую поднимается маятник, следует считать следующим образом:

$$h = l \left(1 - \sqrt{\frac{l^2 - x^2}{l^2}} \right) \text{ (не учтено в погрешности)}$$

- Шкала, которую смещал маятник, не точно фиксировала отклонение (учтено в погрешности, для этого мы взяли $\Delta x = 2$ см)