

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.2.1

Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Костылев Влад, Б01-208

12 октября 2022 г.

Аннотация

Требуется определить скорость полета пули, применяя законы сохранения и используя баллистические маятники. В работе используются: духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, а также баллистические маятники.

1 Теоретическая справка

Скорость вылета пули из духового ружья 150-200 м/с, а из боевой винтовки ~ 1000 м/с.

Время пролета лабораторной установки $\sim 10^{-2} - 10^{-3}$ с. Скорость пули можно измерить по импульсу, без дорогостоящей аппаратуры.

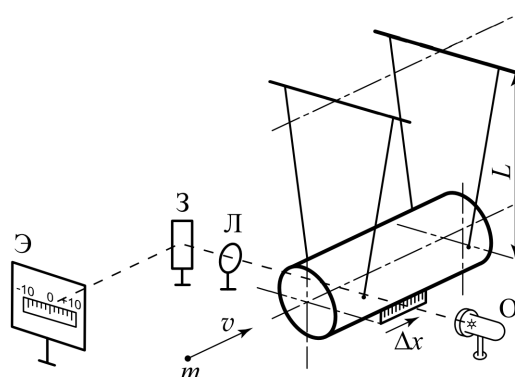
При скорости ~ 200 м/с даже тело массой в 100 раз больше пули сдвинется всего на 0.1 мм.

Для измерения переданного пулей импульса и ее скорости используют баллистический маятник (колебания которого вызываются кратковременным (время соударения много меньше периода колебаний) начальным импульсом (толчком)). В случае гармонических колебаний время соударения t , отнесенное к периоду колебаний T , и отклонение φ за время соударения, отнесенное к периоду колебаний T , и отклонение φ_m (амплитуде), связаны простым соотношением:

$$\frac{\varphi}{\varphi_m} \approx \frac{2\pi t}{T}.$$

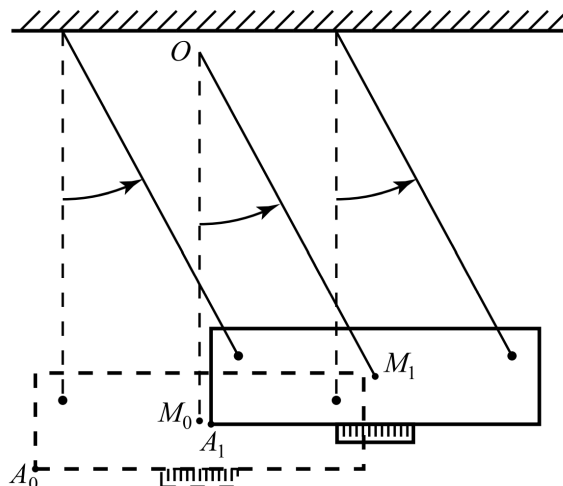
В дальнейшем будем считать затухание малым, если за десять колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину.

При проведении эксперимента нужно позаботиться о том, чтобы после удара пули колебания маятника происходили в одной плоскости и отсутствовали поперечные движения. Добиться этого можно с помощью специальной установки:



Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

Используемый в этой части работы баллистический маятник представляет собой тяжелый цилиндр, подвешенный на четырех нитях одинаковой длины:



Любая точка цилиндра при колебаниях маятника движется по дуге окружности (все точки цилиндра движутся по дугам окружностей одинакового радиуса).

Внешними силами для системы пуля - цилиндр являются сила тяжести, которая не имеет горизонтальной компоненты, и силы натяжения нитей, у которых появляются горизонтальные компоненты при отклонении маятника. При малых отклонениях маятника эти компоненты тоже малы, как и их импульс по сравнению с импульсом пули в момент столкновения. Теперь запишем ЗСИ:

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

где m, M, u, V - массы пули и цилиндра, скорости пули перед ударом, скорость цилиндра и пули после неупругого столкновения. Учитывая, что масса маятника значительно больше массы пули,

$$u = \frac{M}{m}V \quad (2)$$

Пренебрегая потерями энергии, вся кинетическая энергия маятника перейдет в потенциальную в поле тяжести. Тогда, из ЗСЭ:

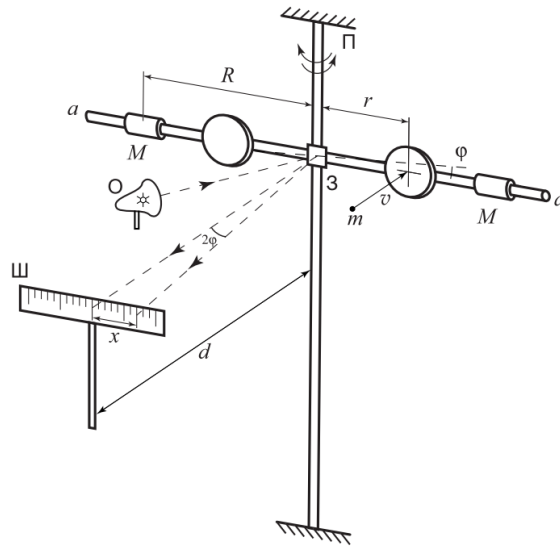
$$V^2 = 2gh \quad (3)$$

Тогда получаем:

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x \quad (4)$$

Метод крутильного баллистического маятника:

Начальная кинетическая энергия вращения маятника переходит в потенциальную - упругую энергию закручивания проволоки и расходуется на необратимые потери - в первую очередь на трение о воздух. Роль потерь можно оценить по изменению амплитуды колебаний за 10 периодов. Если амплитуда уменьшается менее чем наполовину, то затухание колебаний считаем малым, то есть потери энергии за период колебаний значительно меньше энергии колебаний.



Пренебрегая потерями, закон сохранения энергии при колебаниях записываем следующим образом:

$$k \frac{\phi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2} \quad (5)$$

Здесь k - модуль кручения проволоки Π , а ϕ - максимальный угол поворота маятника. Пользуясь тем, что $m r \Omega = I \Omega$ Получаем следующее:

$$u = \frac{x}{2d} \frac{\sqrt{kI}}{m r} \quad (6)$$

kI можно найти по измерениям периодов колебаний маятника с грузами M и без них. В первом случае период колебаний равен:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (7)$$

Во втором случае:

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}} \quad (8)$$

Из этого следует:

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{(T_1)^2 - (T_2)^2} \quad (9)$$

Здесь R - расстояние от центров масс грузов M до проволоки.

2 Используемое оборудование

В работе используются: духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, а также баллистические маятники.

3 Методика измерений

1. Ознакомление с устройством баллистического маятника и измерительной установки.

- Измерение на аналитических весах массу каждой пульки.
- Измерение с помощью двухметровой линейки расстояние L.
- Настройка оптической системы, предназначенной для измерения перемещения маятника.
- Убеждение в малом затухании колебаний: за десять колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину.
- Произведение нескольких выстрелов и определите по формуле скорость пули при каждом выстреле.
- Нахождение среднего значения скорости пули и разброс отдельных результатов около среднего значения.

4 Результаты измерений и обработка данных

Сделаем 4 выстрела по маятнику, совершающего поступательные движения и занесем все измеренные данные в таблицу:

m , г	0,506	0,512	0,504	0,508
Δx , мм	12	11,5	11	12
u , м/с	149,3	155,5	147,2	146,4

Погрешность при измерении массы пульки = $\pm 0.001g$, при измерении $\Delta x = \pm 0.5mm$, $M = \pm 5g$

Воспользуемся формулой (4) и рассчитаем значения скоростей:

$$u_1 = 128,7$$

$$u_2 = 125,1$$

$$u_3 = 119,4$$

$$u_4 = 128,2$$

Средняя скорость пули $u_{\text{ср}} = 125,35 \text{ м/с}$, а погрешность будет равна:

$$\sigma_u^{\text{сист}} = u \sqrt{\varepsilon_M^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\varepsilon_L}{2}\right)^2} \quad \sigma_u^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_i - u_{\text{ср}})^2} \quad \sigma_u = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{случ}}^2}$$

$$\sigma_u^{\text{сист}} \approx 3,1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \sigma_u^{\text{случ}} \approx 2,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \sigma_u \approx 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Окончательно получаем скорость пули равную $u = (125,4 \pm 4,2) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Произведем еще 4 выстрела по **крутильному баллистическому маятнику**:

	m , г	x , см	u , м/с	T , с
без грузиков	0,505	10,5	136,7	18
без грузиков	0,498	12	132,1	18
с грузиками	0,499	17	129,9	13
с грузиками	0,507	18	133,8	13

$$\sqrt{kI} \approx 138,18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\sigma_{\sqrt{kI}} = \sqrt{kI} \cdot \sqrt{\varepsilon_{T_2^2 - T_1^2}^2 + (2\varepsilon_{R^2})^2 + \varepsilon_M^2 + \varepsilon_{T^2}^2} \approx 0,54 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\sigma_u^{\text{сист}} = u \cdot \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_d^2 + \varepsilon_{\sqrt{kI}}^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_r^2} \quad \sigma_u^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad \sigma_u = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}$$

Тогда средняя скорость $\underline{u_{\text{ср}} = (128,6 \pm 1,44) \frac{\text{м}}{\text{с}}}$

5 Обсуждение результатов

После подсчета результатов, мы получили среднюю скорость для первого способа и второго. Способ измерения скорости с помощью крутильного баллистического маятника оказался точнее, т.к. и суммарная, и относительность погрешности получились меньше, нежели чем при подсчете скорости методом баллистического маятника совершающего поступательное движение.

6 Заключение

Были получены скорости пули двумя методами: методом баллистического маятника, совершающего поступательное движение, и методом крутильного баллистического маятника. Разброс полученных значений связан как с ошибками опыта, так и с различием скоростей пуль от выстрела к выстрелу. Так же имеет значение то, что стрельба в каждом методе производилась разным ружьем.