

## Лабораторная работа 1.1

### Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Зотов Алексей 496 гр.

5 апреля 2016 г.

**Цель работы:** определить скорость полета пули, применяя законы сохранения и используя баллистический маятник, познакомиться с базовыми принципами обработки экспериментальных данных.

**В работе используются:** духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, баллистический маятник.

Для измерения переданного пулей импульса и, следовательно, ее скорости используют баллистический маятник. Баллистическим называется маятник, колебания которого вызываются кратковременным начальным импульсом (толчком). Кратковременным можно считать импульс, если время действия сил (время соударения) значительно меньше периода колебаний маятника. При этом отклонение маятника за время соударения значительно меньше амплитуды колебаний.

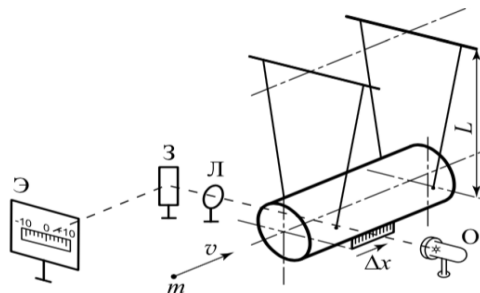


Рис. 1: Схема установки для измерения скорости полета пули

Используемый в этой работе баллистический маятник представляет собой тяжелый цилиндр, подвешенный на четырех нитях одинаковой длины. Он изображен на рис. 1 вместе с измерительной системой. Важной особенностью используемой системы подвески маятника является то, что при колебаниях ось цилиндра перемещается параллельно самой себе без вращения. Колебания происходят так, как будто вся масса маятника сосредоточена в его центре масс. Любая точка цилиндра при колебаниях маятника движется по дуге окружности, радиус которой равен расстоянию по вертикали между уровнями верхнего и нижнего концов нитей подвеса.

Связь между максимальным отклонением маятника и начальной скоростью, полученной им в результате толчка, описывается законом сохранения механической энергии, если потери энергии за период значительно меньше энергии его колебаний. По начальному максимальному отклонению маятника определяются импульс и скорость пули.

Внешними силами для системы пуляцилиндр являются сила тяжести, которая не имеет горизонтальной компоненты, и силы натяжения нитей, у которых появляются горизонтальные компоненты при отклонении маятника. Однако если отклонения малы, то и эти компоненты малы. Тем более мал по сравнению с импульсом пули их импульс за время соударения. Поэтому закон сохранения импульса при соударении пули с цилиндром имеет вид :

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

Здесь  $m$  — масса пули,  $M$  — масса цилиндра,  $u$  — скорость пули перед ударом,  $V$  — скорость цилиндра и пули после неупругого соударения.

Учитывая, что масса маятника значительно больше массы пули, можно написать :

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

Получив начальную кинетическую энергию, маятник при отклонении будет подниматься до тех пор, пока всю ее не израсходует. Если пренебречь потерями, то вся кинетическая энергия переходит в потенциальную в поле тяжести. Тогда по закону сохранения механической энергии высота  $h$  подъема маятника над его начальным положением связана с начальной скоростью маятника  $V$  следующим образом:

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

Высота подъема маятника выражается через угол  $\varphi$  отклонения маятника от вертикали:

$$h = L(1 - \cos \varphi) = 2L \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad \text{где } \varphi \approx \frac{\Delta x}{L} \quad (4)$$

Считая  $\varphi \ll 1$ , получаем окончательную формулу для определения скорости пули:

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x \quad (5)$$

### Ход работы

#### 1. Измерение массы пуль.

Измерим на аналитических весах суммарную массу всех пульек, а также массу каждой пульки в отдельности:  $M_{all} = 4.154[\text{g}]$

Таблица 1: Масса пуль.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$m_i, [\text{g}]$	0.516	0.515	0.520	0.524	0.527	0.511	0.523	0.516

Среднее значение массы пульки :  $m_{cp} = 0.519$  Среднеквадратичное отклонение масс пулек от среднего значения :  $\sigma_m = 0.005$

Проверим аддитивность массы:  $M_{all}^* = \Sigma m_i = 4.152$ ,  $\Delta M = |M_{all}^* - M_{all}| = 0.002$ , погрешность одного измерения  $\Delta m = 0.0005 \implies$  погрешность результата  $\Delta_M = m * 8 = 0.004$ . Можно говорить о выполнении закона аддитивности массы.

#### 2. Параметры установки.

Масса маятника  $M = 2900 \pm 5 [\text{g}]$ .

$L = 225 \pm 0.5 [\text{cm}]$ .

#### 3. Измерение отклонений. Произведем 8 выстрелов, $i$ -му выстрелу соответствует пуля с номером $i$ .

Таблица 2: Отклонение от положения равновесия.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta x_i = x_i - x_0, [\text{mm}]$	15	17	16	14	15	14	14	15

$$\sigma_{x_0} = 0.2 [\text{mm}]$$

$$\sigma_{x_i} = 1.5 [\text{mm}]$$

$$\sigma_{\Delta x_i} \approx 1.5 [\text{mm}]$$

#### 4. Определение скорости пули.

Для определения скорости пули воспользуемся формулой (5):

Таблица 3: Скорость пули.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$v_i, [m/c]$	176	200	186	162	172	166	162	176

Среднее значение скорости:  $v_{cp} = 175 [m/c]$

Среднеквадратичное отклонение скоростей от среднего значения:  $\sigma_{v_{cp}} \approx 12 [m/c]$

Погрешность каждого измерения вычислим по формуле :  $\sigma_{v_i} = \sqrt{\sigma_L^2(v_i) + \sigma_{\Delta x_i}^2(v_i) + \sigma_{m_i}^2(v_i)}$  , где  $\sigma_x$  - отклонение, вызванное погрешностью величины  $x$ .

Таблица 4: Погрешность скорости пули для каждого измерения.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{v_i}, [m/c]$	17.7	17.8	17.6	17.5	17.4	17.9	17.5	17.7

Посмотрим на вклады погрешностей в отдельности:

Таблица 5: Составляющие погрешности скорости пули для каждого измерения.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{\Delta x_i}^2(v_i), [m/c]$	314.6	315.8	309.7	305.0	301.6	320.7	306.2	314.6
$\sigma_L^2(v_i), [m/c]$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$\sigma_{m_i}^2(v_i), [m/c]$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Из таблицы можно видеть, что наибольший вклад в погрешность результата привносит погрешность измерения отклонения. Из - за этого погрешность каждого измерения превосходит среднеквадратичное отклонение результата от среднего. Отсюда можно сделать вывод, что сильные различия полученных скоростей вызваны, в основном, именно погрешностью измерения отклонения, а не реальным различием скорости от выстрела к выстрелу.