

Лабораторная работа № 9

Определение скорости полёта ружейной пули

Цель работы: определить экспериментально скорость полёта пули пневматического ружья двумя способами: кинематическим и динамическим.

Оборудование: установка для определения скорости полёта ружейной пули, винтовка пневматическая, пули, аналитические весы, технические весы, набор разновесов, 2 листа бумаги формата А4, циркуль, ножницы, транспортёр.

Теоретическая часть

Кинематический способ

Способ основан на измерении времени, в течение которого пуля пролетает известное расстояние между двумя дисками, закреплёнными на одной оси. Аналог методики Штерна¹ по измерению скоростей молекул.

Пусть два диска, которые находятся на расстоянии d друг от друга, вращаются равномерно с угловой скоростью ω . За время пролёта t пули между ними, они поворачиваются на угол α (рис. 9.1).

Тогда время пролёта можно определить по формуле

$$t = \frac{\alpha}{\omega}, \quad (9.1)$$

либо выразить следующим образом

$$t = \frac{d}{v}, \quad (9.2)$$

где v – модуль скорости пули.

Приравняв правые части формул (9.1) и (9.2) получаем

$$v = \frac{\omega d}{\alpha}. \quad (9.3)$$

Используя связь модуля угловой скорости с частотой n (числом оборотов в секунду) $\omega = 2\pi n$, формулу (9.3) можно переписать в виде

$$v = \frac{2\pi n d}{\alpha}, \quad (9.4)$$

в которой α следует измерять в радианах. Однако экспериментально удобнее угол α измерять в градусах. Поэтому окончательно запишем

$$v = \frac{360^\circ n d}{\alpha(^{\circ})}. \quad (9.5)$$

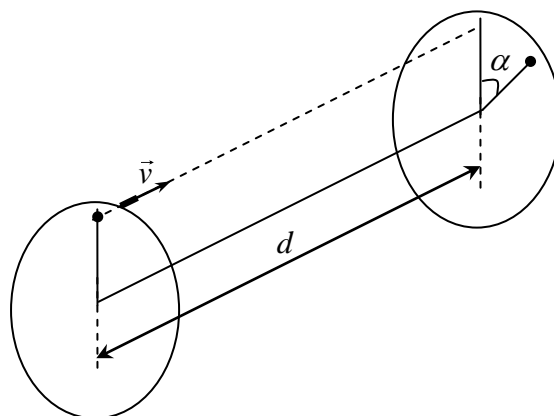


Рис. 9.1.

¹ Штерн Отто (Otto Stern) (1888 – 1969) – немецкий физик, лауреат Нобелевской премии 1943 года за метод молекулярных пучков и другие достижения.

Динамический способ

При этом способе скорость пули определяется с помощью баллистического маятника.

Баллистический маятник – это разновидность физического маятника, предназначенная, главным образом, для определения скоростей пуль и снарядов.

В настоящей работе он представляет собой цилиндр, который заполнен пластилином и подвешен в горизонтальном положении на длинных и тонких нитях. Летящая свинцовая пуля входит в пластилин и сообщает маятнику некоторую скорость, в результате чего маятник отклоняется на определённый угол, который может быть измерен.

Определение скорости полёта пули основано на применении законов сохранения импульса и энергии механической системы. Удар пули о пластилин можно считать абсолютно неупругим. При таком предположении запишем закон сохранения импульса в следующем виде

$$mv = (m + M)v_1, \quad (9.6)$$

где m – масса пули, v – модуль её скорости до удара, M – масса маятника, v_1 – модуль скорости центра масс пули и маятника сразу после удара. Так как масса пули мала по сравнению с массой маятника, то ею можно пренебречь, переписав (9.6) в виде

$$mv = Mv_1. \quad (9.7)$$

тогда

$$v = \frac{M}{m} v_1. \quad (9.8)$$

Модуль скорости маятника с пулей v_1 можно определить из закона сохранения полной механической энергии. В момент удара пули о маятник их кинетическая энергия равна

$$E_k = \frac{(M + m)v_1^2}{2}. \quad (9.9)$$

Центр масс маятника с пулей отклоняется от положения равновесия, поднимаясь в крайнем положении на высоту h от первоначального положения (рис. 9.2). При этом изменение потенциальной энергии системы пуля-маятник равно их начальной кинетической энергии

$$(M + m)gh = \frac{(M + m)v_1^2}{2} \quad (9.10)$$

Отсюда

$$v_1 = \sqrt{2gh}. \quad (9.11)$$

С учетом (9.11), равенство (9.8) запишется в виде

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{2gh}. \quad (9.12)$$

Поскольку непосредственное измерение высоты h затруднительно, то удобно выразить её через длину маятника l (расстояние от точки подвеса до центра масс маятника) и угол его отклонения от положения равновесия φ (см. рис. 9.2). Из треугольника ABC имеем $l - h = l \cos \varphi$. Отсюда

$$h = l(1 - \cos \varphi). \quad (9.13)$$

Подставляя (9.13) в (9.12), получаем для модуля скорости пули

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{2gl(1 - \cos \varphi)} = \frac{2M \sin \frac{\varphi}{2}}{m} \sqrt{gl}. \quad (9.14)$$

При малых углах синус можно заменить значением аргумента. Тогда

$$v = \frac{M 2\pi\varphi(^{\circ})}{2m180^{\circ}} \sqrt{gl} = \frac{\pi M \varphi(^{\circ})}{180^{\circ} m} \sqrt{gl}, \quad (9.15)$$

где угол φ измеряется в градусах.

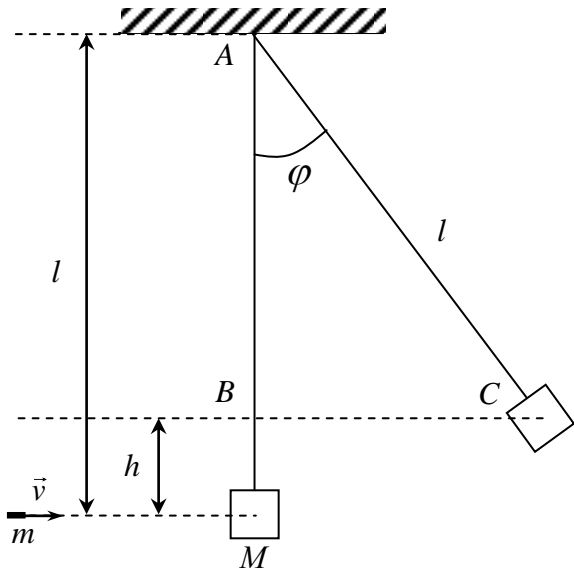


Рис. 9.2

Описание установки

Установка (рис. 9.3) представляет собой подставку 1, на которой укреплены стойка 2 для ружья 3, стойка 4 для электродвигателя 5, защитный щит 6 с пулеуловителем 7, который представляет собой трубу, заполненную ватой и заткнутую пробкой. Баллистический маятник 8, снабжённый указателем, закреплён на кронштейне 9. Длина нитей не изменяется. Шкала 10 с делениями в градусах закреплена на подставке.

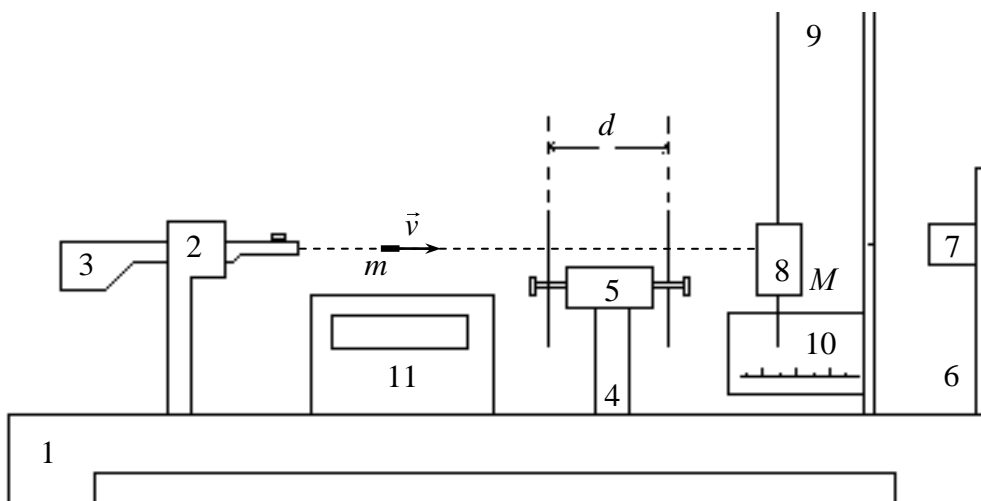


Рис. 9.3

Деления нанесены на части окружности радиусом, равным длине маятника с указателем. Маятник может сниматься с подвеса. Тахометр² 11 установлен на подставке 1. Фото установки приведено на рис. 9.4.

Ружье закреплено неподвижно. Чтобы его зарядить, нужно сдвинуть рукой защёлку казённой части ствола вниз, левой рукой опустить казённую часть до упора (при этом слышен характерный щелчок), правой рукой при этом необходимо придерживать стойку для ружья.

Далее нужно вложить пулю выпуклой частью вперёд в ствол и поднять казённую часть до горизонтального положения. После этого можно производить выстрел.



Рис. 9.4

² Тахо́метр (от греч. *τάχος* – скорость + *μέτρον* – мера) – измерительный прибор, предназначенный для измерения частоты вращения

Экспериментальная часть

Внимание!

При работе с пневматическим ружьем будьте крайне аккуратны. При выстреле никто не должен стоять рядом с установкой.

Отличительной особенностью выполнения данной лабораторной работы является то, что скорость полёта пули определяется одновременно двумя способами.

1. Нарисуйте циркулем и вырежьте из бумаги два диска диаметром, равным ширине листа. В их центрах проткните отверстия, используя авторучку. Закрепите диски на вале электродвигателя установки и обозначьте их 1 и 2 (1-й диск ближе к ружью).
2. Измерьте расстояние между дисками d с помощью металлической линейки с ценой деления 1 мм. Ввиду того, что при своем вращении диски колеблются, в погрешности Δd основную роль будет играть субъективная ошибка, поэтому остальными составляющими погрешности средства измерения в этом случае можно пренебречь. Результат запишите в таблицу 1.
3. Возьмите две пули, первую из которых назовем предварительной, а вторую – контрольной. Определите массы пуль на аналитических весах (Среднюю массу пули можно определять, используя технические весы, взвешивая одновременно не менее десяти пуль). Результаты запишите в таблицу 2.
4. Снимите с нитей баллистический маятник, удалите из него пули от прошлых опытов и измерьте его массу на технических весах. Результат запишите в таблицу 2. Для последующего определения погрешности запишите массу каждого использованного разновеса в отдельности.
5. Закрепите баллистический маятник так, чтобы его центр масс совпадал с траекторией пули. Указатель маятника должен находиться на нулевом делении шкалы 10. Измерьте стальной линейкой длину маятника l до его центра. Запишите результат измерения в таблицу 2.
6. Зарядите ружье предварительной пулей и произведите выстрел в неподвижные диски, одновременно определяя по шкале угол φ_1 , на который отклонится указатель маятника. Образовавшиеся в дисках отверстия обозначьте цифрой 0. **Диски при этом не снимать.** Занесите значение угла φ_1 в таблицу 2.
7. Зарядите ружье контрольной пулей и включите электродвигатель.
8. Через 30 – 40 секунд после включения двигателя с экрана тахометра запишите значение числа оборотов двигателя в таблицу 1.
9. Осуществите контрольный выстрел, при котором определите по шкале 10 угол φ_2 , на который отклонится указатель маятника. Выключите электродвигатель. Результат запишите в таблицу 2.

- Пробитые отверстия в дисках обозначьте 1.
10. Снимите диски. Наложив диск 1 на диск 2, совместите их центры и нулевые отверстия, помеченные цифрой 0. Затем карандашом отметьте положение первого отверстия диска 1 на диске 2 точкой и цифрой 2. Далее на диске 2 проведите две радиальные прямые через метки отверстий с отметками 1 и 2 и определите угол α в градусах с помощью транспортира. Результат измерений внесите в таблицу 1.
 11. Рассчитайте значение модуля скорости пули для кинематического способа по формуле (9.5). Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности, запишите конечный результат.
 12. Рассчитайте значение модуля скорости по формуле (9.15), предварительно определив среднее значение угла φ . Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности, запишите ответ.
 13. Сравните значения скорости, полученные двумя методами с учётом погрешности. Найдите в справочнике скорость пули для исследуемой пневматической винтовки, сравните с полученными значениями, сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон сохранения импульса механической системы.
2. Почему в работе не учитывается изменение импульса пули при её полёте от ружья до баллистического маятника за счёт действия силы тяжести и силы сопротивления воздуха?
3. При каких условиях полная механическая энергия сохраняется?
4. Равны ли кинетические энергии системы «пуля-маятник» до и после удара.
5. Получите расчётные формулы для v и Δv при кинематическом и динамическом способах.
6. Изменяется ли импульс материальной точки, равномерно движущейся по окружности?
7. Является ли система «пуля-маятник» замкнутой?
8. Сохраняется ли импульс системы «пуля-маятник» после удара?

Примечание:

В работе используется винтовка Иж – 22 или ПСРМ с оценочной скоростью пули (110 ± 10) м/с (в паспорте не указано).

URL: <https://weapon.temadnya.com/1108515096021436857/pnevmaticheskie-vintovki-izh---opisanie-ekspluatatsionnyh-harakteristik-oruzhiya/>.

Лабораторная работа № 9. Лист отчёта
Определение скорости полёта ружейной пули

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Погрешности измерительных приборов. $\alpha =$ _____ %

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
Определение расстояния между дисками стальной линейкой (1м)					
Стальная линейка (1м)					
Транспортир					
Шкала установки для определения угла φ					
Технические весы					
Аналитические весы					
Тахометр					

Результаты измерений

Таблица 1

$d =$	$\alpha =$	$n =$
$\Delta d =$	$\Delta \alpha =$	$\Delta n =$
$\varepsilon_d =$	$\varepsilon_\alpha =$	$\varepsilon_n =$

Таблица 2

$m =$	$M =$	$l =$	$\varphi_1 =$	$\varphi_2 =$	$\bar{\varphi} =$
$\Delta m =$	$\Delta M =$	$\Delta l =$	$\Delta \varphi_1 =$	$\Delta \varphi_2 =$	$\Delta \bar{\varphi} =$
$\varepsilon_m =$	$\varepsilon_M =$	$\varepsilon_l =$	$\varepsilon_{\varphi_1} =$	$\varepsilon_{\varphi_2} =$	$\varepsilon_{\bar{\varphi}} =$

Формулы для расчёта косвенных измерений

Ответ:

Величина	Значение		Абсолютная погрешность	Единицы измерения	Относительная погрешность, %
$v_k =$		\pm			
$v_d =$		\pm			
$v_{\text{таб}} =$		\pm			

Интервалы сравнений