



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Виртуальный практикум

Лабораторная работа № 19-В

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Авторы
Жданова Т.П.
Кудря А.П.
Лемешко Г.Ф.
Пруцакова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Настоящая лабораторная работа наглядно демонстрирует один из старинных методов определения скорости полета снаряда. Предусмотрен виртуальный эксперимент по определению скорости пули и электронная проверка результатов расчета.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов всех форм обучения, изучающих физику, при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента, особенно при дистанционном обучении.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Жданова Т.П.

ст. преподаватель кафедры «Физика»

Кудря А.П.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Пруцакова Н.В.

Оглавление

Краткая теория.....	4
Выполнение работы.....	7
Контрольные вопросы.....	8
Список литературы.....	8

Цель работы:

- 1) определение скорости пули,
- 2) определение момента инерции маятника.

О программе

Программа наглядно демонстрирует один из старинных методов определения скорости полета снаряда. Предусмотрен виртуальный эксперимент по определению скорости пули и электронная проверка результатов расчета.

Краткая теория

Изобретение баллистического маятника принадлежит французскому физiku Э. Мариотту. В механике твердых тел Э. Мариотт построил теорию удара, в которой, пользуясь подвешенными на нитях шарами, он демонстрировал сохранение количества движения (импульса). Такое название маятника во многом обязано областью его наибольшего применения, а именно – в баллистике.

Баллистика, как наука, занимается исследованием движения снарядов, выпущенных из огнестрельного оружия, и вообще движением твердых тел в гравитационном поле. Различают внутреннюю баллистику, занимающуюся исследованием движения снаряда в канале орудия, в противоположность внешней баллистике, исследующей движение снаряда по выходе из орудия. Первые исследования траектории полета снаряда сделал в 1546 году Тартаглия. Итальянские учёные Г.Галилей и Э.Торричелли установили, что траекторией полета снаряда является парабола. В 1687 году английский физик И.Ньютон доказал, что с учетом сопротивления воздуха траектория не может быть параболой. Первое настоящее решение основных задач баллистики дал знаменитый математик швейцарский и российский математик и механик Л.Эйлер. Во все времена исследователей интересовала скорость снаряда на выходе из орудия и зависимость скорости от координат траектории.

Для определения скорости ядра в 1742 году Робинс используя идею Э.Мариотта, изобрел употребляемый и поныне баллистический маятник. В настоящее время маятник используется для определения скорости пули.

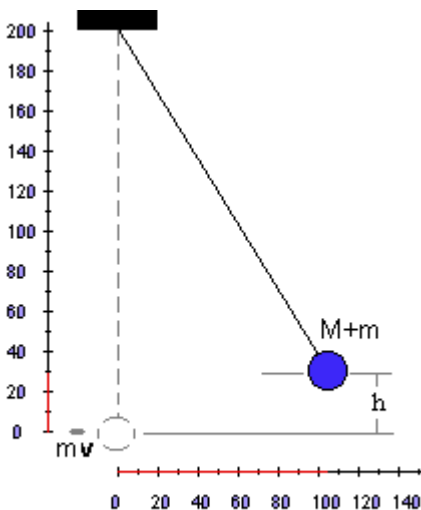


Рис.1

Баллистический маятник представляет собой **массивное** тело, массой M , укрепленное на подвесе (рис.1). Пуля массой m , летящая со скоростью \vec{v} , попадая в неподвижный маятник, вызывает подъем его центра масс на высоту h .

В данном случае происходит неупругое столкновение, при котором после взаимодействия тела движутся как одно целое, при этом механическая энергия не сохраняется.

1. Считая систему «пуля-маятник» замкнутой, применим закон сохранения импульса для неупругого взаимодействия пули с маятником.

До взаимодействия импульс системы равен импульсу пули $\vec{p}_1 = m\vec{v}$, а после взаимодействия $\vec{p}_2 = (M + m)\vec{u}$, где \vec{u} - скорость системы «пуля-маятник» после взаимодействия.

В соответствии с законом сохранения импульса $\vec{p}_1 = \vec{p}_2$ или в проекции на горизонтальную ось:

$$mv = (M + m)u. \quad (1)$$

После неупругого удара пули маятник приобретает кинетическую энергию, переходящую в крайнем верхнем положении в потенциальную:

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

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволяет определить скорость пули:

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh}. \quad (3)$$

При неупругом соударении не выполняется закон сохранения **механической** энергии, т.к. часть механической энергии переходит во внутреннюю, т.е. выделяется в виде тепла Q .

Таким образом,

$$Q = \Delta E = E_1 - E_2, \text{ где}$$

$\Delta E = E_1 - E_2$ - изменение механической энергии при неупругом соударении пули о маятник,

$$E_1 = \frac{mv^2}{2} - \text{кинетическая энергия пули до взаимодействия,}$$

$$E_2 = (M + m)gh - \text{конечная потенциальная энергия системы «пуля-маятник»}.$$

Получаем:

$$Q = \frac{mv^2}{2} - (M + m)gh. \quad (4)$$

Разделив Q на E_1 , найдем долю потерянной энергии:

$$\delta = \frac{Q}{E_1} = 1 - \frac{2(M + m)gh}{mv^2}. \quad (5)$$

2. Считая систему «пуля-маятник» замкнутой, запишем закон сохранения момента импульса:

$$mvl = J\omega, \quad (6)$$

где mvl - момент импульса летящей пули, l - длина нити, $J\omega$ - момент импульса системы «пуля-маятник», J - момент инерции маятника с

пулей, $\omega = \frac{u}{l}$ - угловая скорость системы «пуля-маятник», u - скорость

системы «пуля-маятник» после взаимодействия, которую можно найти из формулы (1):

$$u = \frac{mv}{M + m}. \quad (7)$$

Найдём момент инерции маятника с пулей из формулы (6) с учётом (7):

$$J = \frac{mvl^2}{u} = \frac{mvl^2(M + m)}{mv} = (M + m)l^2. \quad (8)$$

Отсюда видно, что момент инерции маятника с пулей совпадает с моментом инерции материальной точки массой $(M + m)$. Это возможно только в том случае, если длина нити намного больше размера маятника.

Выполнение работы

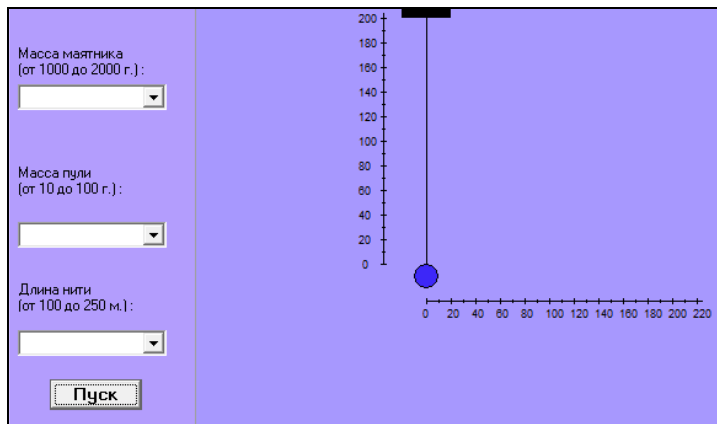


Рис.2

1. Открыть папку «Маятник» и файл «Mayatnik».
2. В появившемся активном окне (рис.2) подобрать массу маятника M , его длину l и массу пули m таким образом, чтобы при «выстреле» высота поднятия маятника была достаточно большой. Занести эти данные в таблицу.
3. Нажатием на клавишу «Пуск» произвести 10 «выстрелов», записывая каждый раз максимальную высоту поднятия h в таблицу.
4. Определить скорость пули для каждой высоты по формуле (3).
5. Вычислить величину внутренней энергии Q по формуле (4).
6. Вычислить долю потерянной энергии δ при неупругом соударении по формуле (5).
7. Результаты вычислений занести в таблицу.
8. Построить графики зависимостей: $Q(v)$ и $\delta(v)$.
9. Рассчитать момент инерции баллистического маятника по формуле (8).
10. По проделанной работе сделать вывод.

Таблица

	$M =$			$l =$			$m =$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h, \text{ м}$										
$v, \text{ м/с}$										
$Q, \text{ Дж}$										
$\delta, \%$										
$J =$										

8. Построить графики зависимостей: $Q(v)$ и $\delta(v)$.
9. Рассчитать момент инерции баллистического маятника по формуле (8).
10. По проделанной работе сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Что изучает баллистика и какую роль в ней выполняет баллистический маятник?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
4. Как с помощью законов сохранения импульса и механической энергии получить расчетную формулу скорости пули?
5. Как рассчитать энергию и ее долю, перешедшую во внутреннюю энергию маятника и пули?
6. Что называется моментом инерции материальной точки?
7. Что называется моментом импульса материальной точки?
8. Сформулируйте закон сохранения момента импульса.

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс физики Т.2. – М: Наука, 2005.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М: Высшая школа, 2019.