

## Лабораторная работа 1.02

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Е.А. Коломийцева, К.В. Куликовский, А.А. Сафронов, В.В. Филимонов

*Цель работы:* экспериментальное и теоретическое исследование кинематики и динамики свободного падения тела.

*Задание:* произвести экспериментальные измерения времени  $t$  и высоты  $h$  падения тела. По полученным данным построить график зависимости  $h$  от  $t^2$  и рассчитать ускорение свободного падения  $g$ .

*Подготовка к выполнению лабораторной работы:* изучить законы кинематики и динамики поступательного движения материальной точки, ознакомиться с работой экспериментальной установки, подготовить конспект лабораторной работы.

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика. - СПб.: Издательство «Лань», 2018, гл. 1, §§ 3, 4; гл. 2, § 16.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Издательский центр «Академия», 2019, гл. 1, §§ 1 – 3; гл. 5, §§ 22, 23.

### Контрольные вопросы

1. Что такое ускорение? Как направлен вектор ускорения по отношению к траектории движения тела?
2. Сформулируйте основные законы кинематики поступательного равнопеременного движения.
3. Как получить основное соотношение данной работы  $g = 2h/t^2$  ?
4. Сформулируйте закон всемирного тяготения. При каких условиях гравитационное поле Земли можно считать однородным? При каких нельзя?
5. Найти размерность гравитационной постоянной  $G$  в системе СИ.
6. Используя гравитационную постоянную и ускорение свободного падения, определите массу Земли, считая, что ее радиус 6400 км.
7. Опишите методику эксперимента и обработки результатов.
8. Опишите методику расчёта погрешностей. Как вывести формулу для  $\Delta g/g$  из соотношения (2) ?
9. На каком расстоянии от поверхности Земли ускорение свободного падения равно  $1 \text{ м/с}^2$  ?

10. Какое значение получилось бы для  $g$ , если бы экспериментальную установку перенести на Луну (масса и радиус Луны  $M_{\text{Л}} = 7,35 \times 10^{22}$  кг и  $R_{\text{Л}} = 1,74 \times 10^6$  м)?

### Теоретическое введение

Самый распространенный вид равнопеременного движения – свободное падение тел в поле тяготения Земли. Все тела независимо от их массы в отсутствие сил сопротивления воздуха падают на Землю с одинаковым ускорением, называемым ускорением свободного падения  $g$ .

Направим ось  $Y$  вниз и выберем начало отсчета в верхней точке нахождения тела. В этом случае  $y_0 = 0$ ,  $v_{0y} = 0$  при  $t = 0$ . Закон равнопеременного движения тела по оси  $Y$  при свободном падении без начальной скорости имеет вид

$$y = \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

Полагая  $y = h$ , и зная время падения тела  $t$  можно рассчитать ускорение свободного падения

$$g = 2h/t^2. \quad (2)$$

Формула (2) используется в настоящей работе для определения ускорения свободного падения.

По закону всемирного тяготения вблизи земной поверхности на тело массы  $m$  действует сила гравитации

$$F = GmM/R^2, \quad (3)$$

где  $M$  – масса Земли,  $R$  – радиус Земли,  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  Н м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup> – гравитационная постоянная.

Средний радиус Земли составляет 6371 км. Для большинства практических задач при расстояниях, значительно меньших, чем размеры Земли, гравитационное поле можно считать однородным, т.е. постоянным по величине и направлению. Если пренебречь вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, то можно приравнять силу тяжести  $F_g = mg$  и силу гравитационного тяготения

$$F_g = mg = F = GmM/R^2, \quad (4)$$

откуда  $g = GM/R^2$ .

Из-за вращения Земли и того, что земной шар сплюснут на полюсах, ускорение свободного падения изменяется с широтой в пределах от 9,780 м/с<sup>2</sup>

на экваторе до  $9,832 \text{ м/с}^2$  на полюсах. В большинстве практических задач используется усреднённое значение  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

### Описание аппаратуры и методики измерений

В настоящей работе рассматривается свободное падение шарика в гравитационном поле Земли. Установка, показанная на рисунке 1, позволяет измерять время падения стального шарика с высоты, точно задаваемой в интервале от 20 до 960 мм. Вертикальная стойка с высотной разметкой крепится к основанию со встроенной контактной поверхностью. Стартовый столик с пусковым устройством крепится к стойке на точно выставляемой высоте. Пусковое устройство при нажатии на рычаг отпускает падающий предмет (стальной шарик).

Ниже пускового устройства находятся три контактных штыря, обеспечивающих точность начального положения шарика. Магнит удерживает шарик в начальном положении. Контакты и проводящая поверхность шарика образуют выключатель, который запускает электронный секундомер, как только шарик начинает падать. Отсчет времени свободного падения прекращается при ударе шарика о контактную пластину.

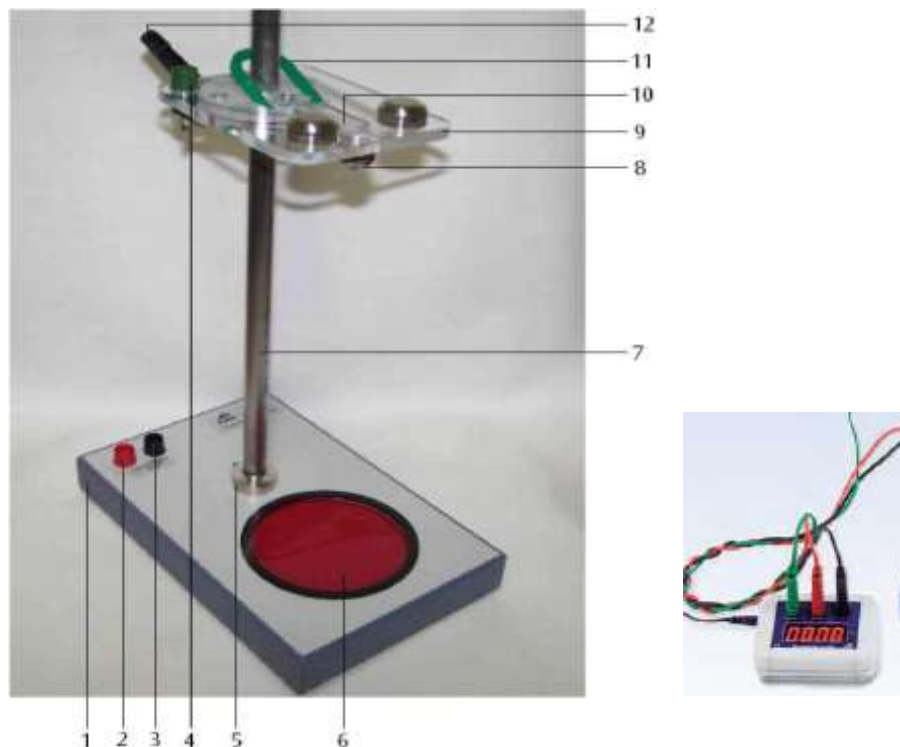


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Пояснение к рисунку:

1 – основание;

- 2 – разъем для провода сигнала остановки отсчета;
- 3 – разъем для провода заземления;
- 4 – разъем для провода сигнала начала отсчета;
- 5 – разъем для вертикальной стойки с фиксирующим винтом;
- 6 – контактная пластина;
- 7 – вертикальная стойка с высотной разметкой;
- 8 – стальной шарик;
- 9 – стартовый столик с пусковым устройством;
- 10 – удерживающий рычаг с магнитом;
- 11 – пусковой рычаг;
- 12 – зажимной рычаг для столика с пусковым устройством.

### Порядок выполнения работы

1. Задайте высоту свободного падения  $h = 800$  мм. Высота падения считывается с высотной разметки вертикальной стойки, а начало отсчета начинается с верхней кромки отверстия на втулке начала отсчета (рис. 2). Показания на разметке соответствуют пройденному расстоянию, т.е. расстоянию между местом отрыва шарика и контактной пластиной на основании.



Рис. 2. Выбор высоты падения

2. Поместите стальной шарик между контактными штырями, нажав вниз на удерживающий рычаг с магнитом 10 (см. рис.1) и подвесьте к нему шарик.
3. При нажатии на пусковой рычаг 11 (см. рис. 1) включается электронный секундомер одновременно с началом падения шарика. Как только шарик упадет на контактную пластину на основании, секундомер остановится и покажет на табло время падения. Зафиксируйте время свободного падения  $t$ .

4. Уменьшайте высоту свободного падения  $h$  с шагом 50 мм до высоты 250 мм, определяя в каждом случае время свободного падения  $t$ .
5. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1.

$h$ , мм	$t$ , мс	$t^2$ , с <sup>2</sup>	$g$ м/с <sup>2</sup>
250			
300			
350			
400			
450			
500			
550			
600			
650			
700			
750			
800			

### Обработка результатов измерений

1. Рассчитайте ускорение свободного падения  $g$  по формуле (2) для всех значений высоты  $h$ .
2. Вычислите среднюю величину  $g_{\text{ср}}$
3. Рассчитайте относительную погрешность по формуле

$$E = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta t}{t},$$

полученной из соотношения (2). Абсолютную погрешность ускорения свободного падения вычислите по формуле

$$\Delta g = E \cdot g.$$

4. Запишите результат измерений  $g$  с учетом погрешности.
5. Постройте график зависимости высоты  $h$  от квадрата времени падения  $t^2$ . Рассчитайте  $g$  по угловому коэффициенту полученной прямой.
6. Сравните результат измерений с теоретическим значением  $g$  и проверьте, укладывается ли полученное отклонение в интервал погрешностей.