



**НТЦ-22.04.23**  
**СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ**

Методические рекомендации  
по выполнению  
лабораторных работ

улица Гришина, 94В,  
212000, г. Могилев,  
Республика Беларусь  
тел/факс (+375 -222) 78-14-14,  
78-37-37

E-mail: [ntp@ntpcentr.com](mailto:ntp@ntpcentr.com)  
[www.ntpcentr.com](http://www.ntpcentr.com)

## ОПИСАНИЕ УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Учебный лабораторный стенд предназначен для исследования движения падающего тела.



Рисунок 1 – Внешний вид стенда

Конструктивно стенд состоит из экспериментальной установки и блока управления (электронного секундомера).

Установка выполнена в виде стойки, закрепленной на основании, с регулируемыми ножками. На стойке закреплены два оптических датчика на кронштейнах, которые могут выставляться на различной высоте, линейка для измерения расстояния, которое пролетает тело при свободном падении. Электромагнит на верхнем конце стойки фиксирует тело в исходном положении.

Тела представляют собой грузы разной массы.

Для отсчета времени свободного падения тел используется электронный секундомер. На лицевой панели которого размещены два четырехразрядных индикатора, тумблер «Электромагнит» и кнопка «Сброс».



## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА СТЕНДЕ

Лабораторная работа №1	4
▶ Исследование движения падающего тела	4

## Лабораторная работа №1

## Исследование движения падающего тела

**Цель работы**

- ✓ Получение практических навыков по исследованию движения падающего тела.

**Оборудование**

- Набор грузов.

**Теоретическая справка**

**Падение тела** – движение тела в поле тяготения Земли с начальной скоростью, равной нулю.

**Свободное падение** – это движение тел в безвоздушном пространстве (вакууме) без начальной скорости только лишь под действием притяжения Земли (под действием силы тяжести).

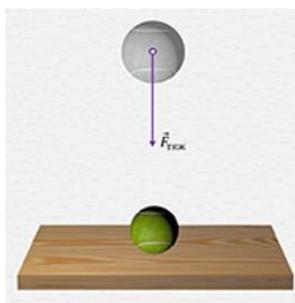


Рисунок 1.1 – Движение тела под действием силы тяжести

**Свободное падение** – равноускоренное движение. Ускорение свободного падения не зависит от массы тела, постоянно в данной точке Земли и направленно к центру Земли. Ускорение свободного падения обозначают буквой  $g$  (gravitas – тяжесть).



**Гравитацией** называется взаимное притяжение тел, действующее на все объекты во Вселенной. Согласно классическому закону всемирного тяготения И. Ньютона, все тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними; она не зависит от других свойств тел.

Силу, с которой тело притягивается к Земле под действием ее гравитационного поля, называют **силой тяжести**.

**Ускорение свободного падения** – ускорение, сообщаемое свободной материальной точке силой тяжести.



**Идеальное свободное падение** – в вакууме, где независимо от массы, плотности и формы все тела падают одинаково быстро, т.е. в любой момент времени тела имеют одинаковые мгновенные скорости и ускорения.

**Ускорение свободного падения** – ускорение, сообщаемое телам гравитационным полем Земли. При малых высотах над поверхностью Земли ( $h \ll R_3$ ) считается постоянным ( $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ), поэтому свободное падение является равноускоренным движением и для него справедливы все формулы равноускоренного движения с заменой ускорения  $a$  на  $g$ .

$$y = y_{0y} + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} \quad (1.1)$$



**Примечание:** Ускорение свободного падения несколько изменяется в зависимости от географической широты места на поверхности Земли.

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

где  $G$ - гравитационная постоянная;  
 $R$ - радиус планеты;  
 $M$  – масса планеты.

$$R_{\text{экв}} > R_{\text{пол}}$$

$$g_{\text{экв}} \approx 9,78 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$g_{\text{пол}} \approx 9,83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Свободное падение без начальной скорости происходит по вертикальной прямой.

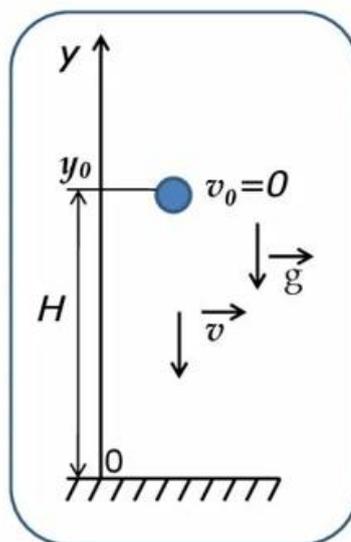


Рисунок 1.2 – Свободное падение тела с высоты  $H$

Без учета силы сопротивления согласно рисунка 1.2 получим:

$$a = -g \quad (1.2)$$

$$v = gt \quad (1.3)$$

$$y = H - gt^2/2 \quad (1.4)$$

С учетом силы сопротивления:

$$a(t) = \frac{k_1 v_i + k_2 v_i^2 - mg}{m} \quad (1.5)$$

$$y_{i+1} = y_i + v_i \Delta t \quad (1.6)$$

$$v_{i+1} = v_i + \frac{k_1 v_i + k_2 v_i^2 - mg}{m} \Delta t \quad (1.7)$$

где  $k_1$  – коэффициент вязкого трения;

$k_2$  – коэффициент лобового сопротивления.

Скорость  $v$  и расстояние  $H$  в случае свободного падения определяется по формуле 1.8 – 1.10.

$$v = v_0 + gt \quad (1.8)$$

$$H = v_0 t + gt^2/2 \quad (1.9)$$

$$H = \frac{v^2 - v_0^2}{2g} \quad (1.10)$$

Перемещение или путь тела при свободном падении определяется по формуле 1.11:

$$s = H = \frac{gt^2}{2} \quad (1.11)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $9.8 \text{ м/с}^2$ ;

$t$  – время падения, с.

Координата тела определяется по формуле 1.12.

$$y = y_0 - \frac{g_y t^2}{2}, y_0 = h \quad (1.12)$$



### **Историческая справка:**

Галилео Галилей обнаружил, что шары одинакового диаметра, изготовленные из дерева, золота, слоновой кости, скатываются по наклонному желобу с одинаковыми ускорениями. Ускорение не зависит от массы шаров.

А при движении в воздухе на тела действует, кроме силы тяжести, еще сила сопротивления воздуха и архимедова сила.

В вакууме же дробинка и перышко падают одновременно.

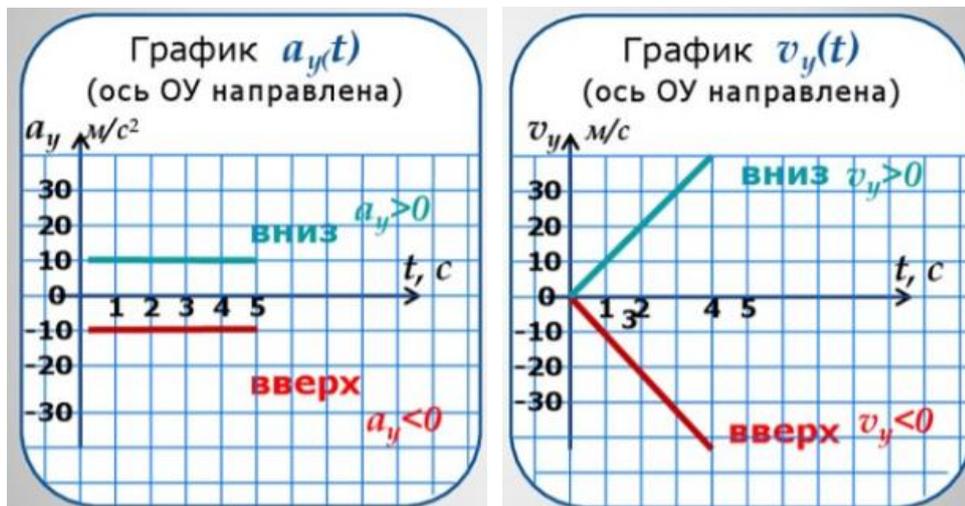


Рисунок 1.3 – Графическое представление свободного падения

Для того, чтобы движение тела в воздухе на Земле считать свободным падением необходимо использовать тела обтекаемой формы и плотность, которых намного больше плотности воздуха.

$$mg \gg F_A \quad (1.13)$$

$$\rho_T V g \gg \rho_B V g \quad (1.14)$$

$$\rho_T \gg \rho_B \quad (1.15)$$



## Практическая часть

Порядок подготовки к работе:

1. Изменяя высоту ножек выставьте основание установки по уровню в горизонтальной плоскости.
2. Подключите установку к электронному секундомеру.
3. Выставьте в одну вертикальную линию электромагнит и оптические датчики.
4. Выставьте оптические датчики на нужном расстоянии от магнита и друг от друга.



**ВНИМАНИЕ!** Не допускается попадание солнечных лучей на фотодатчик.

5. Подключите электронный блок к сети 220В.



**ВНИМАНИЕ:** Производить подключение и отключение установки к блоку управления только при выключенном питании секундомера.

### ⚙ Исследование движения падающего тела

1. Проведите измерение времени пролета 3 различных расстояний груза, для каждого из расстояний не менее 3 раз. Для этого выполните следующие действия:
  - Переведите тумблер в положение «Удержание».
  - Подвесьте на электромагнит груз.
  - Переведите тумблер в положение «Пуск». Произойдет отключение электромагнита, сработает начало отсчета первого интервала.
  - После прохождения первого датчика произойдет остановка отсчета времени на первом интервале и пуск на втором.
  - После прохождения второго датчика произойдет остановка отсчета времени на втором интервале и груз упадет в ловитель.
  - Результаты измерений занесите в таблицу 1.1. Нажмите кнопку «Сброс» на электронном секундомере для обнуления результатов измерений.
2. Повторите измерения для других грузов.
3. Вычислите расстояние падения по формуле 1.11. Сравните его с фактическим. Сделайте выводы.
4. Постройте график зависимости  $\Delta t^2 = f(h)$  для каждого груза. В соответствии с выражением  $h = \frac{g\Delta t^2}{2} \rightarrow \Delta t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  график должен представлять прямую линию с наклоном  $g/2$ , проходящую через начало координат. Оцените качественно линейность зависимости. Укажите на отклонения от теоретической зависимости и объясните причины.
5. По методу парных точек вычислите угловой коэффициент полученной зависимости и определите ускорение свободного падения. Оцените погрешность.
6. Сравните между собой полученные для разных грузов величины  $g$ . Сравните полученные величины с теоретическими.

### Обработка результатов эксперимента

Таблица 1.1 – Результаты выполнения работы

Груз № _____ (масса, г)				
h, м	$\Delta t_1$ , с	$\Delta t_2$ , с	$\Delta t_3$ , с	$\langle \Delta t \rangle$ , с
Груз № _____ (масса, г)				
h, м	$\Delta t_1$ , с	$\Delta t_2$ , с	$\Delta t_3$ , с	$\langle \Delta t \rangle$ , с



Груз № _____ (масса, г)				
h, м	$\Delta t_1, c$	$\Delta t_2, c$	$\Delta t_3, c$	$\langle \Delta t \rangle, c$

Пример экспериментальной зависимости приведен на рисунке 1.4.

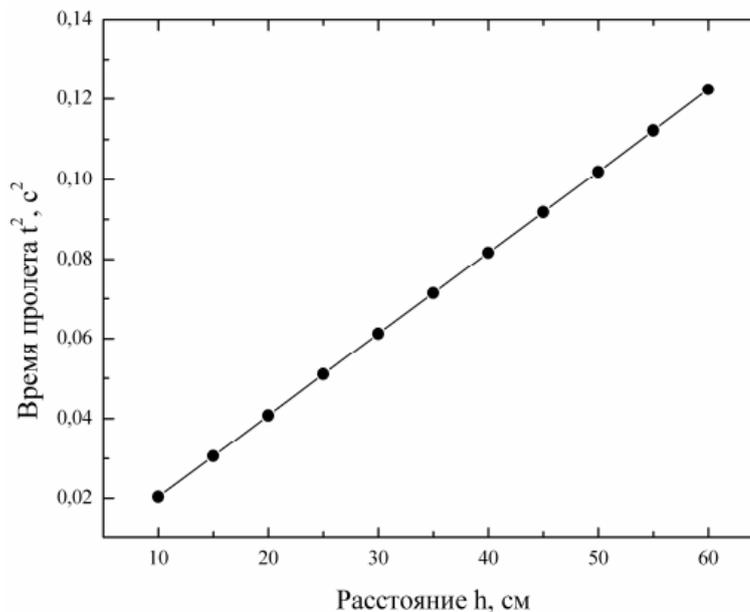


Рисунок 1.4 – Зависимость времени пролета  $\Delta t$  грузом №1 фиксированного расстояния от величины этого расстояния

#### Порядок завершения работы:

- Убедитесь, что груз не подвешен на электромагнит.
- Отключите электронный секундомер.



#### Контрольные вопросы

1. Что называется свободным падением?
2. К какому виду движения относится свободное падение?
3. Что можно сказать о числовом значении ускорения свободного падения в данной точке Земли для тел разного веса?
4. Как изменяется ускорение свободного падения при увеличении высоты падения над поверхностью Земли?