

Д.В. Креопалов, М.Л. Поздышев, А.В. Семиколенов

Свободное падение

Учебно-методическое пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МГТУ им. Н.Э. Баумана

2025

УДК 531.113.8

ББК 22.212

К79

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8508/>

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра «Физика»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

Рецензент

д-р физ.-мат. наук, профессор *И.В. Фомин*

Креопалов, Д. В.

К79 Свободное падение : учебно-методическое пособие / Д. В. Креопалов, М. Л. Поздышев, А. В. Семиколенов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025. — 12, с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6619-1

Представлены общие сведения об ускорении свободного падения в различных точках Земли. Изложен один из методов экспериментального определения кинематических параметров при прямолинейном движении тела под действием силы тяжести. Дано описание экспериментальной установки и измерительной аппаратуры. Приведена методика обработки данных эксперимента.

Для студентов всех технических специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 531.113.8

ББК 22.212

Учебное издание

Креопалов Дмитрий Владиславович
Поздышев Михаил Леонидович
Семиколенов Андрей Владимирович

Свободное падение

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 22.09.2025. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 0,75. Тираж 144 экз. Изд. № 1605-2025 (5489).

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

press@bmstu.ru <https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

ISBN 978-5-7038-6619-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

Предисловие

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Физика», в рамках которой предусмотрено выполнение лабораторной работы «Свободное падение».

Цель работы — определение величины ускорения свободного падения экспериментальным путем.

В теоретической части учебно-методического пособия приведены краткие сведения о гравитационном поле Земли, особенностях определения ускорения свободного падения в различных точках Земли.

Экспериментальная часть включает в себя задание на выполнение лабораторной работы, схему проведения эксперимента, подробное описание экспериментальной установки и ее измерительных элементов, указания по выполнению эксперимента, получению экспериментальных данных и их обработке.

После успешного освоения материала данного учебного издания студенты будут:

- *знать* современные физические представления об ускорении свободного падения на Земле и различных методах его определения;
- *уметь* по полученным экспериментальным данным определять ускорение свободного падения и другие кинематические параметры равнопеременного движения;
- *владеть* методикой измерения временных промежутков движущегося тела в ходе проведения эксперимента при использовании счетчика времени;
- *понимать* влияние различных особенностей на точность результата определяемых величин.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Падение тел из состояния покоя в безвоздушном пространстве под действием силы тяжести называется свободным падением. Заметим, что при падении тяжелых тел с небольшой высоты влиянием сопротивления воздуха можно пренебречь и движение их считать свободным падением. Ускорение, с которым движутся тела в состоянии свободного падения, называют ускорением свободного падения g .

Гравитационное поле Земли в области пространства много меньшего по размеру чем земной шар можно считать однородным. На тело массой m в любой точке этой области действует постоянная сила тяжести

$$F = mg,$$

где g — ускорение свободного падения, направленное к центру Земли. На широте Москвы на уровне моря $g = 9,8152 \text{ м/с}^2$.

Если считать Землю шаром радиусом $R \approx 6371 \text{ км}$, то на небольшое тело массой m со стороны Земли действует сила гравитации

$$F = G \frac{Mm}{(R+h)^2},$$

где $G = (6,673 \pm 0,003) \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ — гравитационная постоянная; $M = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — масса Земли; h — высота над поверхностью Земли.

Приравняв силу тяжести и силу гравитации, можно получить теоретическое выражение для ускорения свободного падения g на поверхности Земли (на уровне моря):

$$g = G \frac{M}{R^2} = 9,816 \text{ м/с}^2.$$

На самом деле Земля не является идеальным шаром. В хорошем приближении Земля — эллипсоид, у которого малая полуось — полярный радиус, равный — 6 356 863 м, а большая полуось — экваториальный радиус, равный 6 378 245 м.

Таким образом, Земля немного сплюснута вдоль оси вращения. В основном поэтому g изменяется от $9,83 \text{ м/с}^2$ на полюсах до $9,78 \text{ м/с}^2$ на экваторе.

Еще одна причина уменьшения измеренного значения g на экваторе связана с вращением Земли вокруг своей оси. Так как тело массой m движется вместе с Землей по окружности с радиусом, равным расстоянию до оси вращения, то часть силы тяжести составляет центробежная сила $F = m\omega^2 R_0$, ω — угловая скорость вращения, R_0 — расстояние до оси вращения.

Таким образом, если бы Земля вращалась очень быстро, то при некоторой угловой скорости на экваторе было бы состояние невесомости.

Уравнение, описывающее свободное падение тела в однородном поле силы тяжести — это второй закон Ньютона. В проекции на ось, направленную вниз, оно имеет вид

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = mg, \quad (1)$$

где $h(t)$ — путь, пройденный телом при падении; t — время падения.

С учетом начальных условий $\frac{dh(0)}{dt} = 0$, $h(0) = 0$ решение уравнения имеет вид

$$h(t) = \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

График зависимости h от t имеет вид параболы (рис. 1)

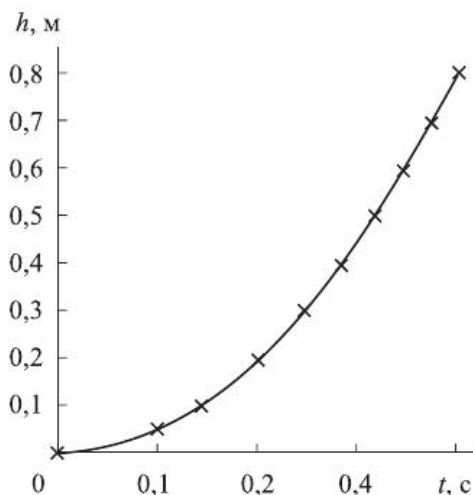


Рис. 1. График зависимости $h(t)$

Убедиться в этом можно, построив график $h(t^2)$: он будет линейным (рис. 2).

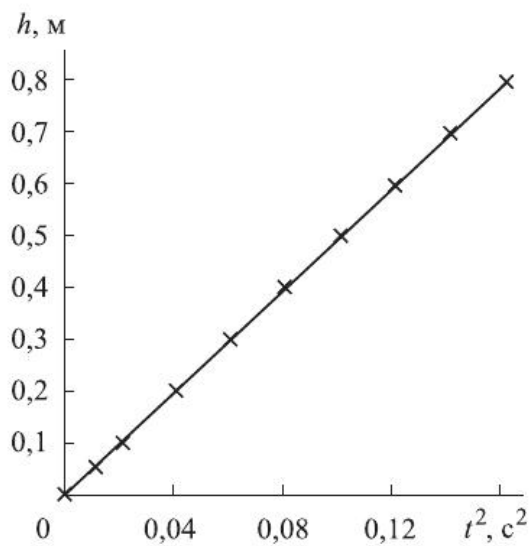


Рис. 2. График зависимости $h(t^2)$

Тангенс угла наклона этого графика в соответствии с уравнением (2) равен $g/2$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Задание на выполнение лабораторной работы.

1. Ознакомиться с методами экспериментального определения кинематических параметров при прямолинейном движении тела под действием силы тяжести.

2. Изучить экспериментальную установку и освоить использование счетчика времени.

3. Провести эксперимент по исследованию падения стального шарика диаметром 19 мм (3/4 дюйма) с заданной высоты под действием силы тяжести, получить все необходимые параметры с использованием измерительной аппаратуры.

4. Обработать экспериментальную информацию, определить ускорение свободного падения в зависимости от высоты падения тела, оценить погрешности измерений и сравнить результаты полученных величин при различных исходных данных в ходе проведении эксперимента.

Описание и порядок подготовки лабораторной установки к выполнению эксперимента

Соберите установку, изображенную на рис. 3. Подключите выход Start/Stop (желтое и белое гнезда) универсального счетчика к верхней части, где будет закреплен шарик. Выход Stop (желтое и белое гнезда) к нижней части с приемной чашкой.

ВНИМАНИЕ! Не вставлять провода в красные гнезда «+5V», чтобы не замкнуть их накоротко.

Включите счетчик времени, общий вид которого приведен на рис. 4. Выключатель находится на задней панели счетчика. Установите режим Timer (Время) с помощью кнопки Function и режим ZZ. Кнопки Start и Stop в этом режиме работают при разрыве цепи.

Контрольные вопросы

1. В этой лабораторной работе не учитывается сопротивление воздуха. Как этот факт повлияет на результат вычисления g ?
2. Выведите формулы (3) и (5).
3. В первом приближении Земля имеет форму шара слегка приплюснутого по оси вращения. Где и почему ускорение свободного падения будет бóльшим: на полюсах или на экваторе?
4. Как влияет вращение Земли на измерение величины ускорения свободного падения?
5. На какой высоте от поверхности Земли ускорение свободного падения уменьшится на 1 %?
6. Из автомата Калашникова выстрелили горизонтально. Что раньше упадет на землю — пуля или горизонтально выпавшая гильза (сопротивлением воздуха пренебречь)?
7. Почему в воздухе быстрее падают тела с большей массой?
8. Какой опыт продемонстрировали американские астронавты с целью доказательства своего нахождения на Луне?
9. Сколько бы длились земные сутки, если бы на экваторе тела находились в состоянии невесомости?

Литература

Веретимус Д.К., Веретимус Н.К. Физические основы механики. Колебания и волны. Элементы специальной теории относительности. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.

Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М.; СПб.: Физматлит, 2000.

Савельев И.А. Курс общей физики. Кн. 1: Механика. М.: Наука, 1998.

Сивухин Д.В. Курс общей физики. Т. 1: Механика. М.: Наука, 1989.

Содержание

Предисловие	3
Теоретическая часть	4
Экспериментальная часть	7
Контрольные вопросы	12
Литература	12