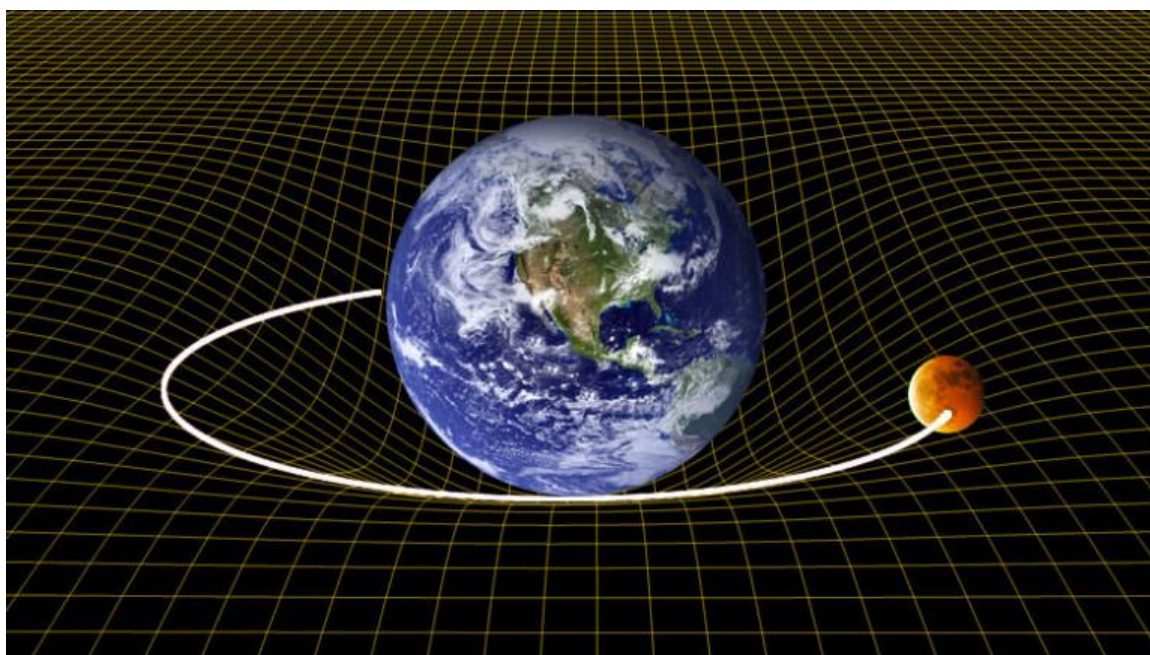


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Г. Рипп, Е.В. Мирошниченко



Равноускоренное движение

Учебное пособие
по общей физике
для студентов технических
и естественно-научных специальностей

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 53.08 (075.8)
P537

Р е ц е н з е н т:

С.В. Чернявская - кандидат физико-математических наук, доцент

А.Г. Рипп

P537 **Равноускоренное движение: учеб. пособие по общей физике /**
А.Г. Рипп, Е.В. Мирошниченко. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 10 с.

Учебное пособие разработано преподавателями кафедры «Физика» СевГУ и предназначено для студентов 1 и 2 курсов технических и естественно-научных специальностей, выполняющих лабораторные работы по дисциплинам: «физика» и «физический практикум». В пособии студентам предлагается познакомиться особенностями равноускоренного движения тел в однородном гравитационном поле, методами экспериментальной проверки характера движения и с одним из методов измерения ускорения свободного падения. Лабораторная установка, на которой предлагается провести эксперименты, виртуальная.

Пособие содержит краткий теоретический материал, описание лабораторной установки, порядок выполнения лабораторной работы и методы оценки погрешности измерений. Материал изложен подробно и в доступной форме. Для студентов, желающих получить больше информации, в конце пособия приводится список литературы.

УДК 53.08 (075.8)

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Физика», протокол № 11 от 25 июня 2018 г.

Работа 4. Равноускоренное движение

Цели работы

1. Убедиться, что движение материального объекта в поле тяжести вблизи планеты является *равноускоренным*.
2. Измерить *ускорение свободного падения* вблизи планеты.

1. Краткая теория

Между всеми телами независимо от их состояния действует сила взаимного притяжения тел (*гравитационная сила*) Её величина зависит от трёх факторов.

- От масс тел и распределения массы в каждом из тел.
- От формы тел.
- От взаимного расположения тел.

В частном случае, когда телами являются материальные точки, формула гравитационной силы имеет простейший вид. Называется эта формула *Законом всемирного тяготения*. Открыл её Исаак Ньютон.

Закон всемирного тяготения.

Гравитационная сила, действующая между двумя материальными точками, пропорциональна произведению их масс m_1 и m_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r .

$$F_{12} = F_{21} = F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}. \quad (1.1)$$

В этой формуле G – мировая константа, которая называется *гравитационной постоянной (постоянной всемирного тяготения)*.

Гравитационная постоянная в СИ равна $G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$.

Закон всемирного тяготения справедлив не только для материальных точек, но и для однородных шаров¹ и для однородных сфер². Кроме того, этот закон справедлив *приблизённо* в следующих трёх случаях

- 1) Размеры тел много меньше расстояния между ними.
- 2) Тела имеют форму, близкую к шару.
- 3) Одно из тел имеет форму, близкую к шару, размер второго тела много меньше расстояния между центрами тел.

Пусть M масса некоторой планеты, R – радиус этой планеты, m – масса маленького по сравнению с планетой материального объекта. В этом случае можно с высокой точностью пользоваться законом всемирного тяготения. Если

¹ Однородное тело – это тело, масса которого равномерно распределена по его объёму. Иными словами, плотность тела в любой его точке одна и та же.

² Физическая сфера – это тонкостенный полый шар.

высота объекта h над поверхностью планеты много меньше радиуса планеты ($h \ll R$), то расстояние между центрами масс взаимодействующих тел незначительно отличается от радиуса планеты. Следовательно,

$$r = R + h \approx R.$$

Тогда сила, с которой планета притягивает объект (сила тяжести), равна

$$F = G \frac{Mm}{R^2}.$$

В соответствии со вторым законом Ньютона, данная сила создаёт объекту ускорение, равное

$$a = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2}.$$

Это ускорение называется *ускорением свободного падения* и обозначается буквой g . Итак,

$$g = G \frac{M}{R^2}. \quad (1.2)$$

Из этой формулы видно, что ускорение свободного падения не зависит от массы объекта и определяется только свойствами планеты (её массой M и радиусом R). Поэтому все малые по сравнению с планетой материальные объекты движутся вблизи планеты с одним и тем же ускорением g , причём это ускорение не меняется с течением времени, так что движение каждого из малых объектов является *равноускоренным*.

Этот факт можно проверить экспериментально. Если объект падает на планету из состояния покоя и движется равноускоренно с ускорением g , то согласно уравнению кинематики равноускоренного движения, высота падения h и время падения t связаны зависимостью

$$h = \frac{gt^2}{2}. \quad (1.3)$$

Эта зависимость между h и t – *теоретическая*. Но можно получить и экспериментальную зависимость – для этого надо бросать тело с разных высот h и измерять время падения t . Чтобы убедиться в соответствии экспериментальной зависимости между h и t и теоретической, заметим, что теоретическая зависимость $h(t)$ – нелинейная (квадратичная), но её легко линеаризовать, то есть привести к линейной. Для этого надо ввести вспомогательную величину

$$x = \frac{t^2}{2}.$$

Тогда из (1.3) следует:

$$h = gx. \quad (1.4)$$

Это означает, что высота падения h зависит от вспомогательной величины x *линейно*, более того – *прямо пропорционально*. Поэтому экспериментальные точки на графике зависимости $h(x)$ должны расположиться вдоль прямой линии, проходящей через начало координат. Если этот факт будет подтверждён, то тем самым будет подтверждена квадратичная зависимость $h(t)$, то есть фор-

мула (1.3). А так как эта формула верна только при условии равноускоренного движения, то её подтверждение означает, что движение тела – действительно *равноускоренное*. Кроме того, из (1.4) следует, что коэффициентом пропорциональности между h и x является ускорение свободного падения, поэтому измерение углового коэффициента – это измерение ускорения свободного падения g .

2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка – *виртуальная*. Она разработана в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

При вызове программы открывается окно «Определение ускорения свободного падения».

В центральной части окна приведены цель работы и краткое описание работы. Внизу окна – три управляющие кнопки:

- **Ход работы.** При нажатии этой кнопки открывается окно, в котором показан порядок выполнения работы. Эту кнопку нажимать *не надо*, так как в данном пособии вам предлагается порядок выполнения лабораторной работы, который несколько отличается от того, который предлагают разработчики программы.
- **Эксперимент.** При нажатии на эту кнопку открывается окно с экспериментальной установкой.
- **Завершение работы.** Эта кнопка вызывает выход из программы.

Окно «Эксперимент» показано на рис. 2.1. Оно содержит два раздела: панель инструментов (слева) и окно визуализации (справа).

Панель инструментов содержит окно выбора планеты и секундомер.

После выбора планеты появляется информация о массе M и радиусе планеты R .

Секундомер запускается кнопкой «**Пуск**», в этот момент тело в окне визуализации (шарик) начинает падать. В момент падения тела на планету секундомер останавливается, и в индикаторном окне «**Время**» показывается время падения тела t .

В окне визуализации вы видите шарик, лежащий на горизонтальной полочке, линейку, показывающую высоту полочки над поверхностью планеты, и окно с бегунком «Изменение высоты падения h (м)».

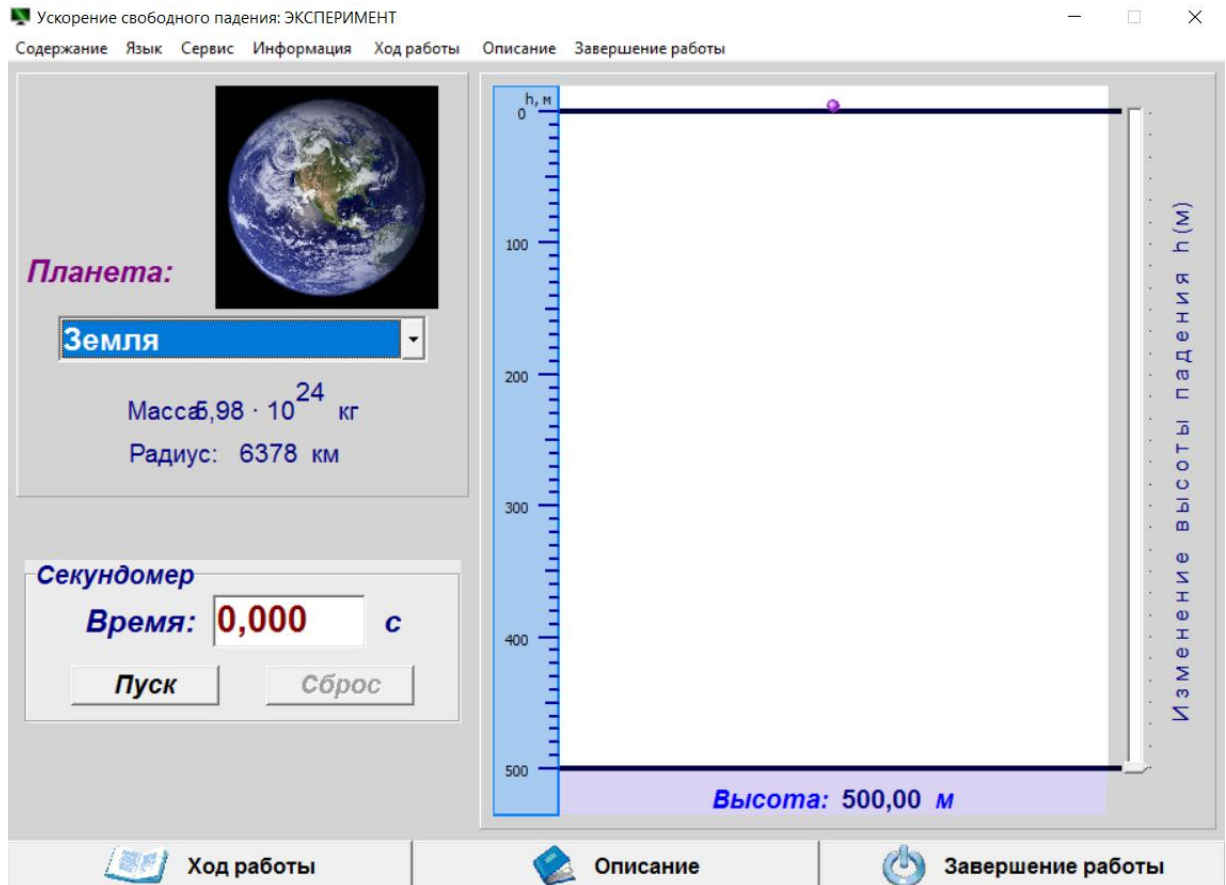


Рис. 2.1. Окно «Эксперимент»

3. Порядок выполнения работы

- 3.1. Включите режим «Эксперимент» и обратитесь к преподавателю для того, чтобы он выбрал для вас планету. После этого заполните таблицу 1. «Условия эксперимента».

Таблица 1

Условия эксперимента

Планета			
Масса	M	кг	
Радиус	R	км	
Гравитационная постоянная	G	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$	
Ускорение свободного падения – расчётное значение	g	$\text{м} / \text{с}^2$	
Погрешности прямых измерений	$\Delta(h)$	м	
	$\Delta(t)$	с	

Для заполнения пятой строки таблицы рассчитайте ускорение свободного падения по формуле (1.2): $g = G \frac{M}{R^2}$.

- 3.2. Установите бегунком в окне «**Изменение высоты падения h (м)**» максимально возможное значение высоты падения.
- 3.3. Если число в индикаторном окне «**Время**» не равно нулю, то обнулите его, нажав кнопку «**Сброс**».
- 3.4. Нажмите кнопку «**Пуск**». Шарик начнёт падать, секундомер включится.
- 3.5. В момент падения шарика на поверхность планеты секундомер остановится. Запишите в таблицу 2 значения высоты падения h и времени падения t .

Таблица 2
Зависимость времени падения t от высоты падения h

Номер опыта	h	t	$x = t^2/2$	$\Delta(x)$
	м	с	с ²	с ²
1				
2				
3				
...				
...				
20				

- 3.6. Уменьшите немного высоту падения шарика и повторите опыт, то есть снова проделайте пункты 3.3 – 3.5. Всего надо проделать 20 опытов. Шаг изменения высоты падения может быть произвольный, но лучше, если он будет равен (или примерно равен) $\frac{h_{max}}{20}$.
- 3.7. Нажмите кнопку «**Завершение работы**».

4. Обработка результатов эксперимента

- 4.1. Заполните четвёртый и пятый столбцы таблицы 2. Как оценивать погрешность измерения вспомогательной величины x , то есть $\Delta(x)$, написано в пункте 5.
- 4.2. На основании данных таблицы 2 постройте график зависимости $h(t)$. Нанесите на график планки погрешностей и линию тренда. В параметрах линии тренда выберите «Полиномиальная», «Степень» = 2, «Показывать уравнение на диаграмме».
- 4.3. Напишите в отчёте, что показывает построенный вами график зависимости $h(t)$.
- 4.4. На основании данных таблицы 2 постройте график зависимости $h(x)$. Нанесите на график планки погрешностей и линию тренда. В параметрах линии тренда выберите «Линейная», «Показывать уравнение на диаграмме».
- 4.5. Напишите в отчёте, что показывает построенный вами график зависимости $h(x)$.

- 4.6. Определите экспериментальное значение ускорения свободного падения. Для этого заполните таблицу 3 и используйте функцию ЛИНЕЙН. Она выдаст вам значение g вместе с абсолютной погрешностью $\Delta(g)$.

Таблица 3
Ускорение свободного падения

Величина	g
Размерность	м/с ²
Значение	
Абсолютная погрешность	
Относительная погрешность	

- 4.7. Запишите результат измерения ускорения свободного падения в стандартной форме:

$$g = (\dots \pm \dots) \text{ м/с}^2, \quad \varepsilon(g) = \dots\%.$$

- 4.8. Сравните измеренное и расчётное значения ускорения свободного падения и напишите в отчёте, о чём говорит это сравнение.
4.9. Сформулируйте выводы.

5. Оценка погрешностей измерений

- 5.1. Погрешности *прямых* измерений.

В данной лабораторной работе прямым способом измеряются две величины: высота падения тела h и время падения t .

Высота падения измеряется по линейке и указывается внизу окна визуализации в метрах в виде числа с двумя знаками после запятой. Это означает, что $\Delta(h) = 0,01 \text{ м} = 1 \text{ см}$.

Время падения показывает цифровой секундомер в секундах в виде числа с тремя знаками после запятой, поэтому $\Delta(t) = 0,001 \text{ с} = 1 \text{ мс}$.

Именно эти значения $\Delta(h)$ и $\Delta(t)$ вам надо записать в таблицу 1 «Условия эксперимента».

- 5.2. Погрешность измерения вспомогательной величины $x = \frac{t^2}{2}$.

Эта величина измеряется косвенно, её абсолютную погрешность можно оценить по общему правилу:

$$\Delta(x) = \Delta\left(\frac{t^2}{2}\right) = \left|\frac{dx}{dt}\right| \Delta(t) = t\Delta(t).$$

- 5.3. Погрешность измерения ускорения свободного падения g .

Так как ускорение свободного падения – это угловой коэффициент линейной зависимости $h(x)$, то его абсолютную погрешность выдаёт функция ЛИНЕЙН.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что такое «гравитационная сила»?
- 6.2. От чего зависит гравитационная сила?
- 6.3. В чём состоит Закон всемирного тяготения и каковы условия его применимости?
- 6.4. Что такое «равноускоренное движение»?
- 6.5. При каком условии движение малого груза в гравитационном поле планеты является равноускоренным?
- 6.6. Зависит ли ускорение свободного падения от массы падающего тела?
- 6.7. По какой формуле можно рассчитать ускорение свободного падения малого тела вблизи поверхности планеты?
- 6.8. Зачем нужна вспомогательная величина $x = \frac{t^2}{2}$?
- 6.9. В чём состоит способ измерения ускорения свободного падения в данной лабораторной работе?
- 6.10. Как оценить погрешность измерения ускорения свободного падения?

7. Литература

- 7.1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 1989.
- 7.2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.
- 7.3. Кравченко Н.С., Ревинская О.Г. Лабораторный практикум по изучению моделей физических процессов на компьютере. – Томск: Издательство НИ ТПУ, 2007.
- 7.4. Рипп А.Г. Обработка измерений: метод. пособие. – Севастополь: СКУЯЭП, 2012.

Учебное издание

**Рипп Александр Гешелевич
Мирошниченко Евгения Владимировна**

Равноускоренное движение

Учебное пособие по общей физике

В авторской редакции

Изд. № 141/18. Объем 0,75 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»