

Лабораторная работа В1.04

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

Цель работы

Изучение свободного падения тел.

Задачи

1. Исследовать зависимость времени свободного падения шариков различной массы от высоты.
2. Определить значение ускорения свободного падения.

Введение

Свободным падением называется движение тела в поле тяжести Земли при отсутствии сопротивления воздуха. Ещё Галилеем в XVII веке было экспериментально установлено, что вблизи поверхности Земли все тела падают с одинаковым ускорением, независимо от их массы. Это ускорение называется *ускорением свободного падения g* . Ускорение свободного падения меняется с географической широтой: на полюсе оно максимально и равно $9,83 \text{ м/с}^2$, на экваторе – минимально и равно $9,78 \text{ м/с}^2$. Это обусловлено суточным вращением Земли вокруг своей оси, с одной стороны, и «сплюснутостью» Земли – с другой (экваториальный радиус планеты на 21 км больше полярного). Стандартным («нормальным») значением g принято считать $g = 9,80655 \approx 9,81 \text{ м/с}^2$.

Величина g уменьшается с высотой над земной поверхностью: при поднятии на 1 м она уменьшается приблизительно на $3 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$. На высотах, которые много меньше радиуса Земли ($\approx 6400 \text{ км}$), изменение g достаточно мало, поэтому в расчётах, не требующих особой точности, ускорение свободного падения можно

считать независимым от высоты.

В настоящей работе исследуемое тело – шарик – свободно падает вертикально вниз с некоторой высоты h (рис.1). При движении с постоянным ускорением $\vec{g}$ скорость $\vec{v}$ и радиус вектор $\vec{r}$ точки изменяются со временем в соответствии с уравнениями:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{g} dt = \vec{v}_0 + \vec{g}t, \quad (1)$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \int_0^t \vec{v} dt = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}. \quad (2)$$

В проекции на ось y , при движении с нулевой начальной скоростью с высоты h из уравнения (2) следует, что

$$y = h - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Обозначая через τ время падения шарика с высоты h , выражение (3) примет вид:

$$\frac{g\tau^2}{2} = h, \quad (4)$$

откуда следует, что квадрат времени падения τ пропорционален высоте h ($\tau^2 \sim h$).

Соотношение (4) можно проверить экспериментально, определяя время падения шарика с высоты h . Как следует из (4), зависимость $h(\tau)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеаризовать, то есть использовать новые переменные, зависимость между которыми была бы линейной. В нашем случае такими переменными являются h и τ^2 . Зная угловой коэффициент зависимости $h(\tau^2)$, можно определить ускорение свободного падения.

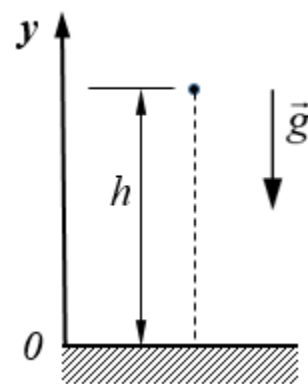


Рис.1. Свободное падение шарика с высоты h

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 2. На штанге штатива 1 укреплены в общем блоке держатель шарика 2 и датчик секундомера 3. При нажатии кнопки начала процесса симуляции на панели параметров (рис.3) держатель отпускает шарик, в этот момент срабатывает датчик, секундомер начинает отсчёт времени. При достижении шариком мишени 4 отсчёт времени прекращается. Время полёта шарика отображается на панели секундомера 5. Путь, пройденный шариком за время свободного падения, измеряется с помощью линейки 6.

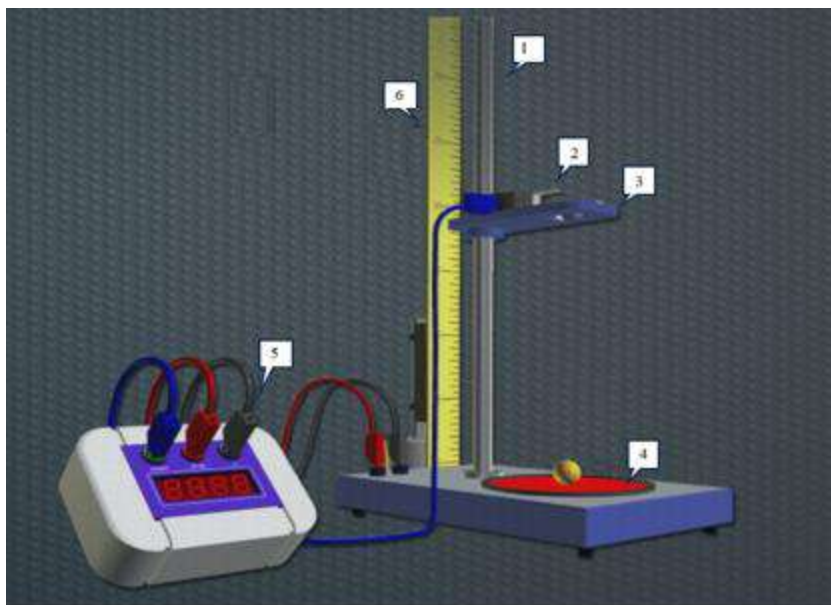


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки: 1 – штанга штатива, 2 – держатель шарика, 3 – датчик секундомера, 4 – мишень, 5 – секундомер, 6 – линейка

В работе используются шарики одинаковой формы и диаметра, но различной массы. Горизонтальная мишень 4 располагается в основания штатива, её положение неизменно. Изменение высоты h осуществляется за счёт перемещения блока «держатель - датчик секундомера» по штанге штатива.

Порядок проведения эксперимента

1. Занесите в таблицу 1 предложенные преподавателем исходные данные: массы шариков m_1 , m_2 , m_3 .
2. Запустите программу виртуальной лабораторной работы «Свободное падение». Нажмите кнопку «Начать эксперимент». Выполните пробный запуск с любыми параметрами, проверьте, что на табло секундомера 5 отображается время полёта.
3. На панели параметров эксперимента (рис.3) установите массу первого шарика m_1 и высоту $h = 100$ см. Измерьте время свободного падения первого шарика τ_1 . Запишите полученное значение в таблицу 1.

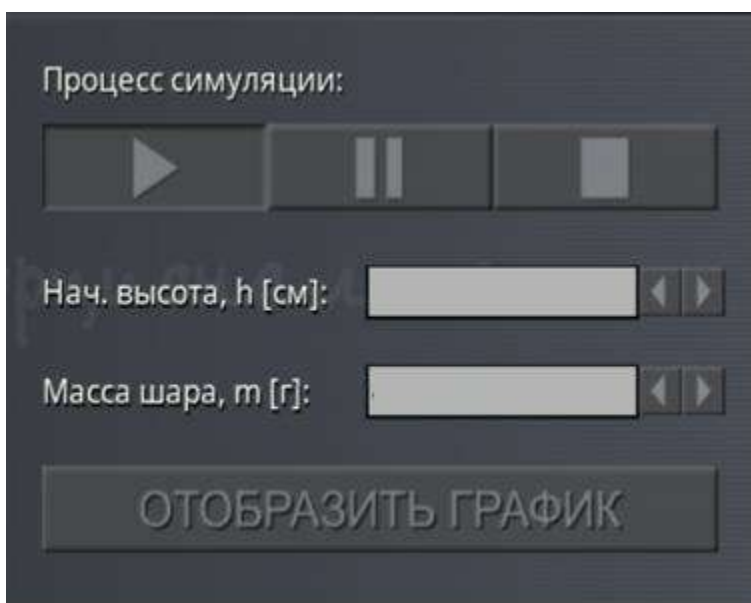


Рис.3. Панель параметров эксперимента

4. Изменяя высоту h в соответствии с указанными значениями в таблице 1, проведите измерения времени падения, результаты измерений занесите в таблицу 1.
5. Проведите измерения, описанные в пунктах 3 и 4, для шариков массами m_2 и m_3 .
6. Сравните результаты, записанные в таблицу 1, со значениями из файла

data_sheet.csv. В случае значительного несовпадения, проведите измерения повторно.

Таблица 1. Время свободного падения шариков разной массы

№	h , см	$m_1 = \dots\dots\dots$ Г		$m_2 = \dots\dots\dots$ Г		$m_3 = \dots\dots\dots$ Г	
		τ_1 , мс	τ_1^2 , мс ²	τ_2 , мс	τ_2^2 , мс ²	τ_3 , мс	τ_3^2 , мс ²
1	100						
2	90						
3	80						
4	70						
5	60						
6	50						
7	40						
8	30						

Обработка результатов

1. Заполните оставшиеся столбцы таблицы 1, возводя в квадрат время полёта каждого шарика.
2. По данным таблицы 1 постройте графики зависимости $h(\tau^2)$ отдельно для каждого из шариков.
3. Для зависимости $h(\tau^2)$ каждого из шариков методом парных точек вычислите угловой коэффициент k

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta(\tau^2)},$$

заполнив для шарика массой m_1 таблицу 2. Для шариков массами m_2 и m_3 заполните аналогичные таблицы. При заполнении таблиц обратите внимание на единицы

измерения.

Для каждого шарика вычислите среднее значение углового коэффициента $\langle k \rangle$ и его случайную погрешность Δk . Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 2. Вычисление углового коэффициента зависимости $h(\tau^2)$ для шарика массой m_1

Пары точек i-j	$\Delta h_{ij},$ м	$\Delta(\tau_{ij}^2),$ с ²	$k_{ij},$ м/с ²	$k_{ij} - \langle k \rangle,$ м/с ²	$(k_{ij} - \langle k \rangle)^2,$ (м/с ²) ²
			$\langle k \rangle =$		$\sum_{ij} (k_{ij} - \langle k \rangle)^2 =$

4. Для каждого шарика вычислите ускорение свободного падения g и его абсолютную погрешность Δg :

$$g = 2\langle k \rangle, \quad (5)$$

$$\delta g = \delta k = \frac{\Delta k}{\langle k \rangle},$$

$$\Delta g = \delta g \cdot g.$$

Таблица 3. Угловые коэффициенты зависимостей $h(\tau^2)$ и значения ускорения свободного падения, вычисленные по результатам измерений для шариков разной массы

	$m_1 = \dots \dots \dots$ Г	$m_2 = \dots \dots \dots$ Г	$m_3 = \dots \dots \dots$ Г
$\langle k \rangle \pm \Delta k, \text{ см/мс}^2$			
$g \pm \Delta g, \text{ м/с}^2$			

5. Сравните полученные значения ускорения свободного падения между собой. Вычислите итоговое среднее значение по результатам, полученным для 3-х шариков, и погрешность $\Delta\langle g \rangle$ по данным таблицы 3; запишите окончательный результат. Поскольку результаты измерений для различных шаров можно считать равноточными, для вычисления погрешности используйте формулу

$$\Delta\langle g \rangle = \frac{\sqrt{\sum (\Delta g_i)^2}}{3}$$

Дополнительное задание.

Установив на панели параметров эксперимента массу первого шарика m_1 и высоту 100 см, проведите эксперимент. С помощью кнопки «Отобразить график» получите на экране график зависимости $h(t)$ для шарика массой m_1 , падающего с высоты 100 см (подобный изображенному на рисунке 4). По полученному графику $h(t)$ оцените долю механической энергии, теряемую шариком после каждого удара о мишень.



Рис. 4. Зависимость высоты шарика над горизонтальной поверхностью от времени

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют свободным падением? Запишите кинематические уравнения движения свободно падающего тела.
2. Как зависит скорость падающего шарика от времени и пройденного пути?
3. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?
4. Почему в уравнении (5) для нахождения ускорения свободного падения угловой коэффициент зависимости $h(\tau^2)$ необходимо удвоить?

Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: учебное пособие для втузов. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2014. 719 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 т. 19-е изд., стер. СПб.: Лань, 2025. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. 432 с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики: учебное пособие для физических специальностей вузов: в 5 т. 6-е изд., стер. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. Т. 1: Механика. 560 с.
4. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – 61 с.