

Изучение кинематики поступательного движения
(Лабораторный комплекс «Открытая физика»)

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Введение

Целью работы является знакомство с применением физической модели материальной точки, исследование равноускоренного движения материальной точки, экспериментальное определение ускорения свободного падения на поверхности Земли.

1. Краткая теория

Материальная точка (МТ) - это абстрактный объект (модель), не имеющий размеров, но обладающий другими характеристиками реального тела. Положение материальной точки в декартовой системе координат определяется тремя координатами x, y, z .

Движение материальной точки с постоянным ускорением в общем случае описывается системой уравнений

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}, \quad z = z_0 + v_{0z}t + \frac{a_z t^2}{2},$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad v_y = v_{0y} + a_y t, \quad v_z = v_{0z} + a_z t.$$

Здесь

x_0, y_0, z_0 – координаты точки в начальный момент времени $t = 0$.

x, y, z – координаты точки в момент времени t .

v_{0x}, v_{0y}, v_{0z} – проекции скорости на оси декартовой системы координат в начальный момент времени $t = 0$.

v_x, v_y, v_z – проекции скорости на оси декартовой системы координат в момент времени t .

a_x, a_y, a_z – проекции ускорения на оси декартовой системы координат.

При этом

$$a_x = \text{const}, a_y = \text{const}, a_z = \text{const}.$$

Рассмотрим задачу о движении тела, брошенного над поверхностью Земли в отсутствие сил трения и сопротивления, рисунок 1.1. В этом случае уравнения движения имеют вид

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t, \tag{1.1}$$

$$y = y_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}, \tag{1.2}$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \tag{1.3}$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \tag{1.4}$$

Здесь

g – ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

Обозначим

τ - момент времени, в который материальная точка находится в наивысшей точке своей траектории.

При этом $v_y = 0$. Из (1.4) получим

$$\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (1.5)$$

Подставив найденное значение в (1.2), получим

$$y_m = y_0 + \frac{\sin^2 \alpha}{2g} v_0^2. \quad (1.6)$$

График зависимости $y_m = f(v_0)$ должен представлять параболу (рисунок 1.2).

Однако по виду кривой на графике нельзя однозначно утверждать, что экспериментально полученная зависимость действительно соответствует именно закону (1.6).

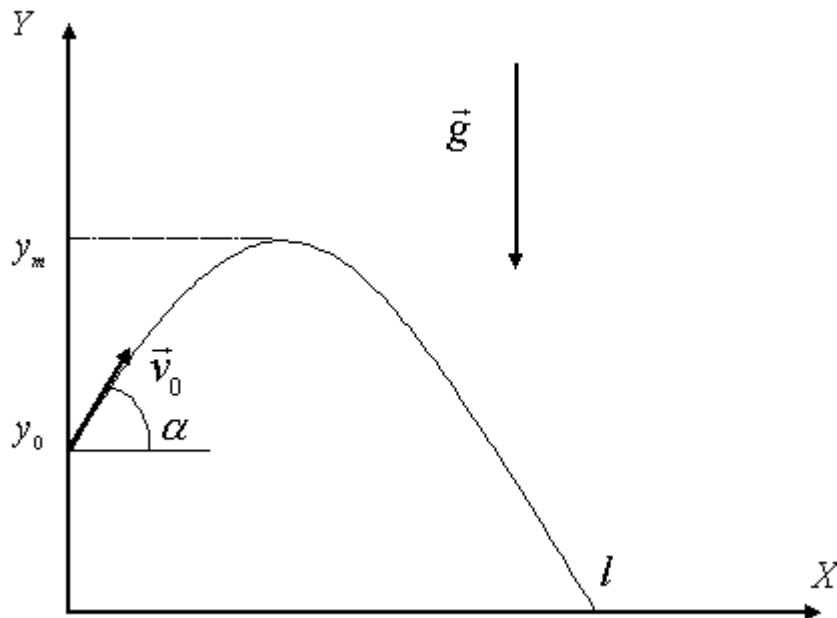


Рисунок 1.1 – Траектория движения материальной точки

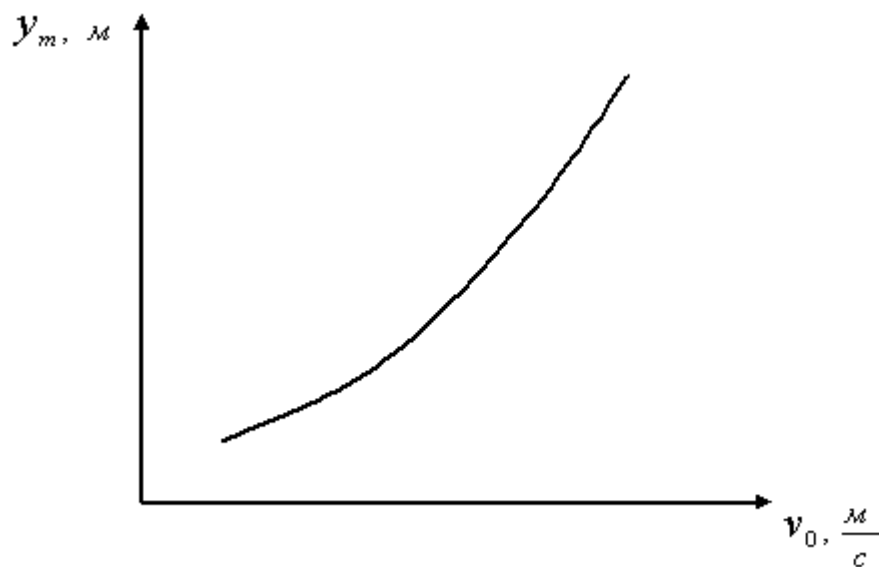


Рисунок 1.2 – График зависимости максимальной высоты материальной точки от начальной скорости

Сделаем замену

$$y = y_m, x = v_0^2,$$

$$k = \frac{\sin^2 \alpha}{2g}.$$

Запишем

$$y = y_0 + kx. \quad (1.8)$$

График линеаризованной функции (1.8) должен быть прямой линией, что легко проверить.

Угловым коэффициентом графика на рисунке 1.3 можно найти по формуле

$$k = \frac{\Delta(y_m)}{\Delta(v_0^2)}. \quad (1.9)$$

Из (1.7) - (1.9), получим формулу для вычисления ускорения свободного падения

$$g = \frac{\sin^2 \alpha}{2k}. \quad (1.10)$$

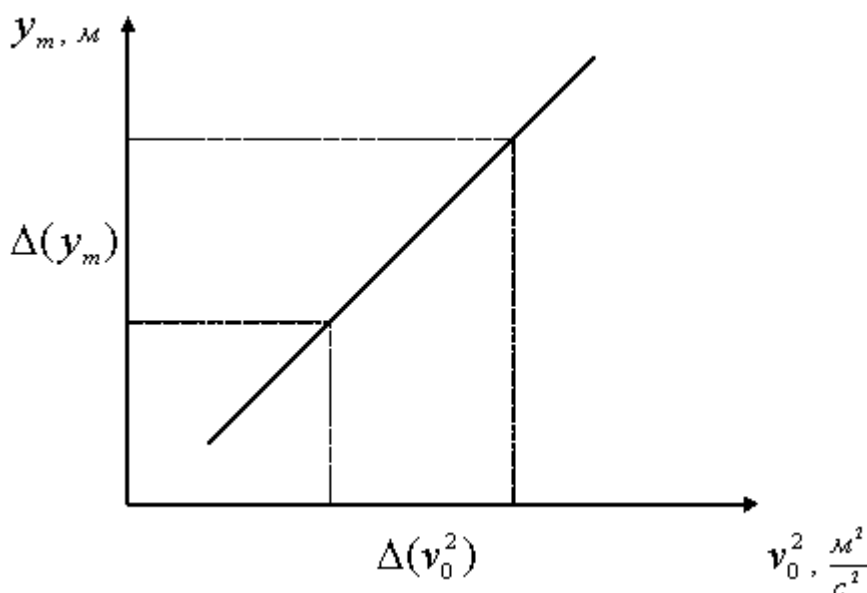


Рисунок 1.3 – Линеаризованный график

2. Методика измерений

2.1. На рабочем столе монитора найдите ярлык программы «Открытая Физика1.1». Щелкните по ярлыку курсором мыши и запустите программу.

2.2. Выберите: «Механика», «Свободное падение тел».

2.3. Внимательно рассмотрите окно эксперимента (Рис. 2.1), найдите все регуляторы и другие основные элементы. Кнопки вверху картинки являются служебными. Назначение каждой кнопки можно узнать, если расположить курсор мыши над кнопкой течение 1-2 секунд (без нажатия кнопок мыши).

2.4. Во внутреннем окне «Свободное падение тел» сверху также расположены служебные кнопки. Кнопка с изображением страницы служит для вызова теоретических сведений. Ознакомьтесь с содержанием данного раздела.

2.5. Можно перемещать окна, зацепив (нажав и удерживая левую кнопку) мышью заголовки окна (имеющий синий фон). Закрытие окон обеспечивается нажатием кнопки «X» в правом верхнем углу внутреннего окна.

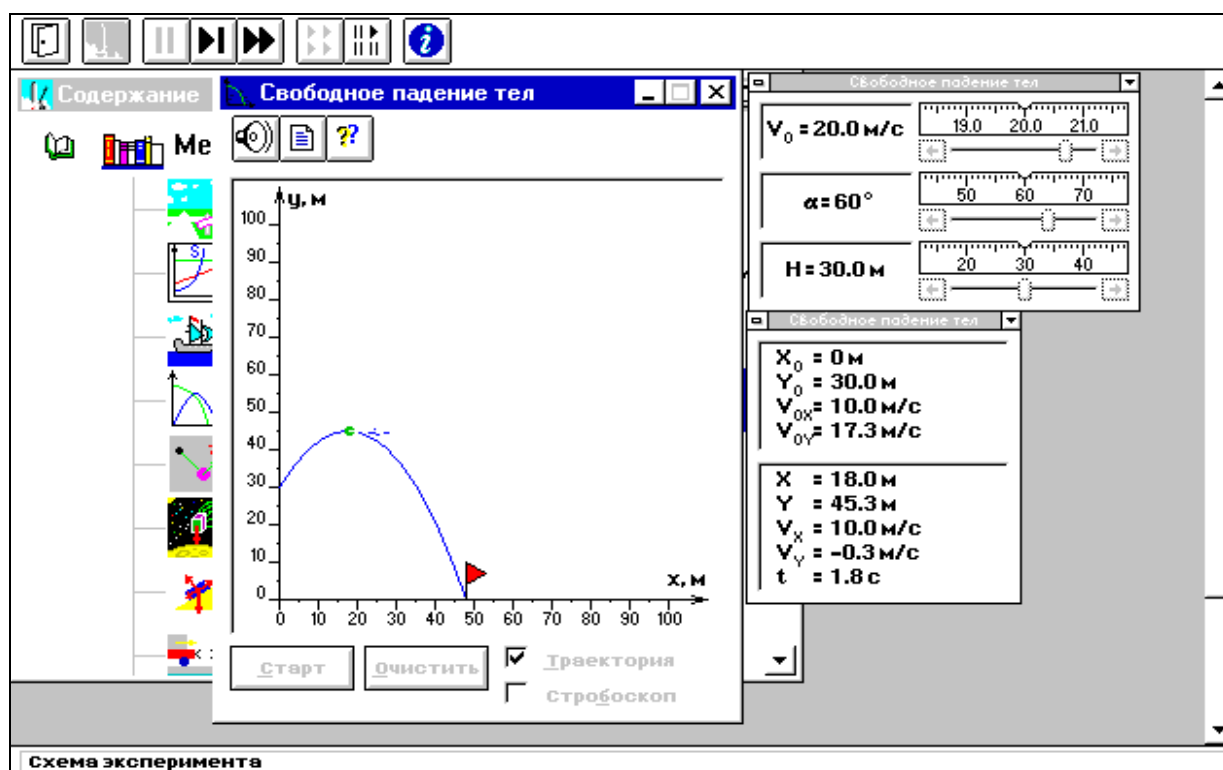


Рисунок 2.1 – Окно эксперимента

2.6. Включите опцию «Траектория», поместив курсор мыши в окошечко и щелкнув левой кнопкой мыши для появления «птички». Выключите опцию «Стробоскоп», удалив «птичку» из окошечка, щелкнув левой кнопкой мыши.

2.7. Найдите регуляторы с движками, задающие высоту h , начальную скорость v_0 и угол бросания α . Подведите курсор мыши к движку регулятора высоты, нажмите и, удерживая левую кнопку мыши, двигайте мышь вправо. Движок регулятора будет двигаться за курсором. Тем же методом «зацепив мышью и двигая движок регулятора» или щелкая курсором по стрелке на движке, установите значения угла бросания, начальной скорости.

2.8. Нажмите курсором кнопку «Старт». Внимательно рассмотрите траекторию движения.

2.9. Нажмите курсором кнопку «Очистить».

2.10. Измените значения высоты, начальной скорости и угла бросания.

2.11. Нажмите курсором кнопку «Старт».

2.12. Нажмите курсором кнопку «Очистить».

2.13. Щелкните курсором кнопку «||» в верхнем ряду кнопок.

2.14. Нажмите курсором кнопку «Старт».

2.15. Нажимайте курсором несколько раз кнопку «▶|» до тех пор, пока МТ не окажется в верхней точке траектории. При этом значение проекции скорости v_y на вертикальную ось должно быть минимальным: $v_y \approx 0$.

2.16. Нажмите курсором кнопку «Очистить» и повторите процесс движения МТ, нажав кнопку «Старт» и затем последовательно нажимая кнопку «▶|».

3. Задание

3.1. На компьютерной модели исследовать поступательное движение материальной точки в однородном поле тяжести Земли.

3.2. Определить ускорение свободного падения.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Установите начальное значение угла и высоты в соответствии с данными таблицы 4.1.

4.2. Установите начальную скорость движения для Траектории 1 (Табл. 4.2).

4.3. Щелкните курсором кнопку «Очистить» затем кнопку «||», если обозначение этой кнопки выделено **черным** цветом.

4.4. Щелкните курсором кнопку «Старт». Последовательно щелкайте курсором несколько раз кнопку «▶|», наблюдая за движением МТ. В момент, когда МТ будет в верхней точке траектории ($v_y \approx 0$), запишите значение координаты y_m в соответствующую строку таблицы 4.2.

4.5. Повторите измерения пп. 4.3 – 4.4 еще 4 раза.

4.6. Установите начальную скорость движения для Траектории 2 (Табл. 4.2).

4.7. Выполните измерения . 4.3 - 4.5.

4.8. Выполните аналогичные измерения для Траекторий 3, 4, 5 до заполнения таблицы 4.2.

4.9. После окончания работы выйдите из программы «Открытая физика».

4.10. Вычислите и запишите в таблицу 4.2 средние значения координаты точки максимального подъема $\langle y_m \rangle$

$$\langle y_m \rangle = \frac{\sum_{i=1}^5 (y_m)_i}{5}.$$

4.10. Предъявите преподавателю заполненную таблицу с экспериментальными данными.

4.11. Для каждой траектории рассчитайте случайную абсолютную погрешность $\sigma_{случ}(y_m)$, систематическую абсолютную погрешность $\sigma_{сист}(y_m)$, суммарную абсолютную погрешность $\sigma(y_m)$ по формулам:

$$S(y_m) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_{mi} - \langle y_m \rangle)^2},$$

$$\sigma_{случ}(y_m) = w(\alpha, n) S(y_m),$$

$$\sigma_{сист}(y_m) = \langle y_m \rangle \varepsilon_{сист}(y_m),$$

$$\sigma(y_m) = \sqrt{\sigma_{случ}^2(y_m) + \sigma_{сист}^2(y_m)}.$$

Здесь

$S(y_m)$ - стандартная погрешность измерения координаты,

$w(\alpha, n)$ - коэффициент Стьюдента,

$\alpha = 0,9$ - доверительная вероятность,

$n = 5$ - число многократных измерений данной серии измерений.

Относительную систематическую погрешность измерения y_m принять равной:

$$\varepsilon_{сист}(y_m) = 0,05.$$

Значение погрешностей округлите до одной значащей цифры.

Расчет погрешностей приведите в отчете.

Результаты расчетов погрешностей запишите в таблицу 4.3.

4.12. Постройте график $\langle y_m \rangle = f(v_0)$ с учетом доверительных интервалов $\sigma(y_m)$.

4.13. Рассчитайте абсолютную суммарную погрешность $\sigma(v_0^2)$ как погрешность косвенного измерения квадрата скорости по формулам

$$\sigma(v_0^2) = \sqrt{\left(\frac{\partial v_0^2}{\partial v_0}\right)^2 \sigma^2(v_0)} = \frac{\partial v_0^2}{\partial v_0} \sigma(v_0),$$

$$\sigma(v_0) = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2(v_0) + \sigma_{\text{сист}}^2(v_0)},$$

$$\varepsilon_{\text{сист}}(v_0) = \frac{\sigma_{\text{сист}}(v_0)}{v_0},$$

$$\varepsilon_{\text{сист}}(v_0) = 0,05,$$

$$\sigma_{\text{случ}}(v_0) = 0.$$

Значение погрешностей округлите до одной значащей цифры.

Расчеты погрешностей приведите в отчете.

Результаты вычислений запишите в таблицу 4.4

4.15. Постройте линеаризованный график $\langle y_m \rangle = f(v_0^2)$ с учетом доверительных интервалов $\sigma(v_0^2)$.

4.16. Выберите на линеаризованном графике $\langle y_m \rangle = f(v_0^2)$ две точки. Используя координаты точек, вычислите угловой коэффициент k графика по формуле (1.9). По формуле (1.10) вычислите ускорение свободного падения g . Приведите в отчете вычисления k, g .

Запишите значения углового коэффициента и ускорения в таблицу 4.5.

4.26. Проанализируйте графики и результаты, сформулируйте выводы. Оформите отчет о лабораторной работе.

Таблица 4.1

Начальные параметры траекторий

Номер рабочего места	Начальная высота h , м	Начальный угол α , °	Номер рабочего места	Начальная высота h , м	Начальный угол α , °
1	10	60	7	10	55
2	15	55	8	15	60
3	10	50	9	10	60
4	15	45	10	15	55
5	10	45	11	10	50
6	15	50	12	15	45

Таблица 4.2

Результаты измерений

Номер измерения i	Траектория 1 $v_0 = 15 \text{ м/с}$	Траектория 2 $v_0 = 17 \text{ м/с}$	Траектория 3 $v_0 = 19 \text{ м/с}$	Траектория 4 $v_0 = 22 \text{ м/с}$	Траектория 5 $v_0 = 25 \text{ м/с}$
	$y_m, \text{ м}$	$y_m, \text{ м}$	$y_m, \text{ м}$	$y_m, \text{ м}$	$y_m, \text{ м}$
1					
2					
3					
4					
5					
$\langle y_m \rangle, \text{ м}$					

Таблица 4.3

Расчет погрешностей значений максимальной высоты

Номер измерения	$\langle y_m \rangle, \text{ м}$	$\sigma(y_m)_{\text{случ}}, \text{ м}$	$\sigma(y_m)_{\text{сист}}, \text{ м}$	$\sigma(y_m), \text{ м}$
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 4.4

Расчет погрешностей значений квадрата скорости

Номер измерения i	$v_0, \text{ м/с}$	$v_0^2, \text{ м}^2/\text{с}^2$	$\sigma(v_0^2), \text{ м}^2/\text{с}^2$
1			
2			
3			
4			
5			

Таблица 4.5.

Результаты косвенных измерений

Угловой коэффициент прямой	$k =$
Ускорение свободного падения	$g =$

5. Рекомендуемая литература

5.1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика.- М.: Наука.

5.2. Зеленский В.И. Руководство к лабораторным работам по физике. Методическое пособие. – Ханты-Мансийск, Югорский государственный университет.

5.3. Конспект лекций по физике.