

Лабораторная работа В1.05

ТЕЛО, БРОШЕННОЕ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

Цель работы

Исследование движения тела, брошенного под углом к горизонту.

Задачи

1. Исследовать траекторию тела, брошенного под углом к горизонту.
2. Определить ускорение свободного падения.

Введение

Движение тела в однородном поле силы тяжести при отсутствии других внешних сил и сил сопротивления воздуха является равноускоренным, так как сила тяжести сообщает телу постоянное ускорение $\vec{g}$, направленное вниз. При этом скорость $\vec{v}$ и радиус-вектор тела $\vec{r}$ изменяются в соответствии с уравнениями

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

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

Здесь $\vec{v}_0$ – начальная скорость тела, $\vec{r}_0$ – начальный радиус-вектор тела, t – время движения тела.

Рассмотрим движение тела, брошенного под некоторым углом α к горизонту из начала координат $\vec{r}_0 = 0$ (рис.1). Вдоль горизонтальной оси x тело движется равномерно, проекция скорости на эту ось равна

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad (3)$$

координата

$$x = v_0 t \cos \alpha. \quad (4)$$

Вдоль вертикальной оси y тело движется с постоянным ускорением. Проекция скорости на вертикальную ось, равная

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt, \quad (5)$$

сначала положительная, в средней точке траектории меняет знак на противоположный.

Координата y изменяется по закону

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \quad (6)$$

Высота подъема тела увеличивается, пока вертикальная компонента скорости не уменьшится до нуля. Достигнув максимума, высота уменьшается пока тело не достигнет земли.

Полное время полёта тела можно найти из уравнения (5) или (6)

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}, \quad (7)$$

дальность полёта – из уравнений (4) и (7):

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (8)$$

Исключая из уравнений (4) и (6) время, можно получить уравнение траектории тела:

$$y(x) = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (9)$$

Как следует из уравнения (9), траекторией движения тела, брошенного под углом к горизонту, является парабола.

Из формулы (9) следует также, что зависимость y/x от x

$$y/x = \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x \quad (10)$$

– линейная, с угловым коэффициентом

$$k = \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (11)$$

Зная угловой коэффициент зависимости $y/x = f(x)$, можно определить ускорение свободного падения.

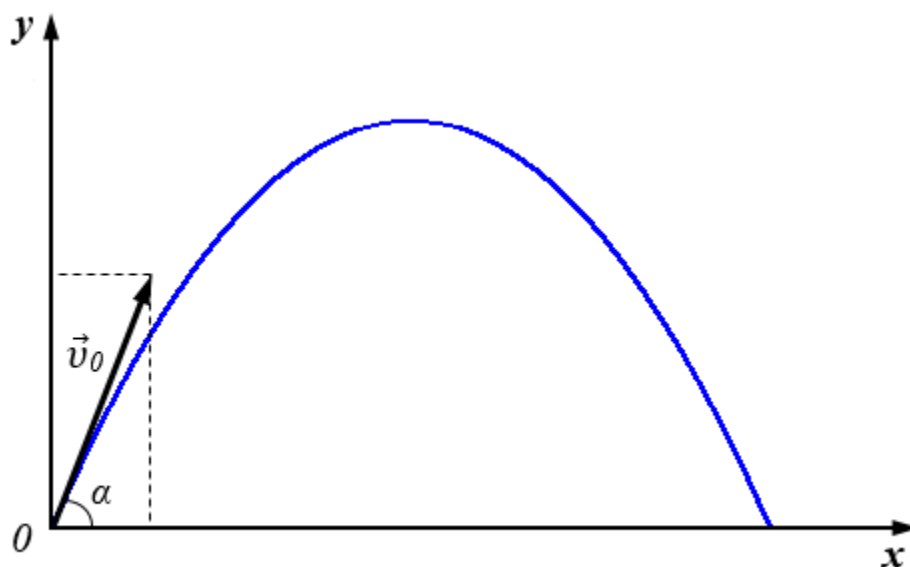


Рис. 1. Траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 2.

В лабораторной работе используется пусковая установка (пушка) 1, из которой вылетает шарик под углом к горизонту. Угол и начальную скорость шарика можно изменять.

Линейка 2, установленная вертикально, позволяет определить высоту траектории шарика y на определённом расстоянии x от места запуска (в рабочем положении указатели находятся в месте пролета шарика, в нерабочем – подняты вверх). Линейку можно перемещать в горизонтальном направлении. 

В конечной точке траектории расположена мишень 3.

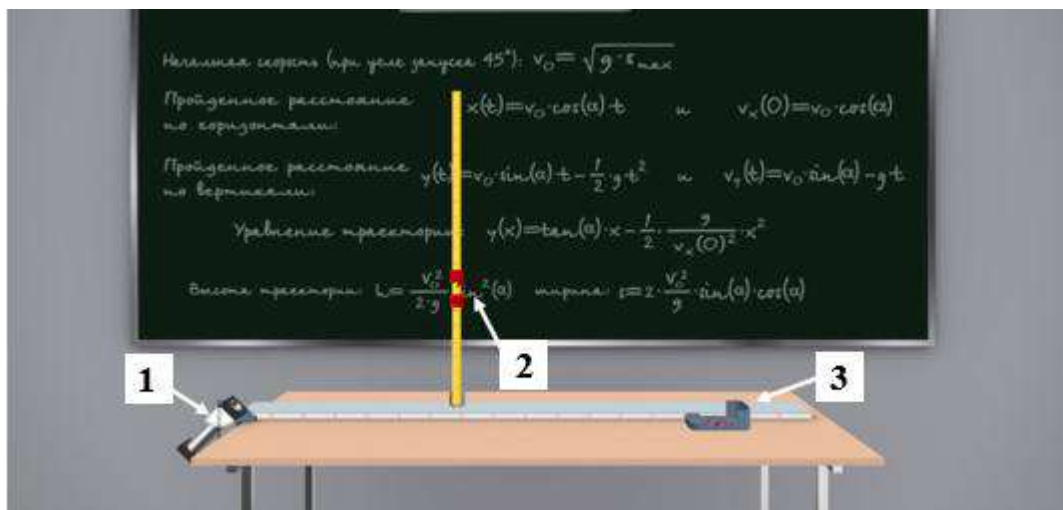


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки. 1 – пушка, 2 – линейка, 3 – мишень

Порядок проведения эксперимента

1. Запустите программу виртуальной лабораторной работы «Тело, брошенное под углом к горизонту». Нажмите кнопку «Начать эксперимент».
2. На панели параметров эксперимента (рис. 3) установите указанные преподавателем параметры: угол запуска α и начальную скорость тела (шарика) v_0 .

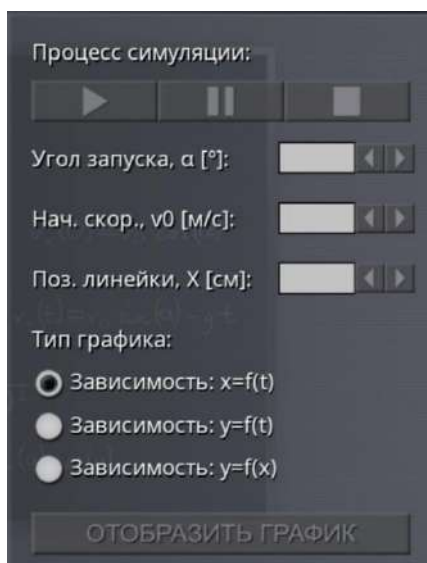


Рис. 3. Панель параметров эксперимента

- Установите крайнее левое рабочее положение линейки
- Произведите запуск шарика.
- Передвиньте линейку на 10 см вправо.
- Повторяйте пункты 4–5, пока линейка не окажется в правом нерабочем состоянии или будет достигнуто ее крайнее положение.
- Получите файл результатов измерений `data_sheet.csv`, в котором отображаются значения положения линейки x и высота траектории y . Полученные данные занесите в таблицу 1.
- Включите отображение графика. Запуская симуляцию, убедитесь, что зависимость $x(t)$ линейная, а зависимости $y(t)$, $y(x)$ - параболические.

Таблица 1. Результаты эксперимента

$\alpha = \dots\dots$, $v_0 = \dots\dots$			
№	x , см	y , см	y/x
1	10		
2	20		
...	30		

Обработка результатов

- Заполните последний столбец таблицы 1.
- Постройте график зависимости $y / x = f(x)$. Убедитесь, что зависимость линейная.
- Используя таблицу 2, методом парных точек найдите угловой коэффициент этой зависимости k , вычислите его среднее значение $\langle k \rangle$ и погрешность Δk .
- Используя формулу (11), по найденному значению k вычислите ускорение свободного падения

$$g = 2kv_0^2 \cos^2 \alpha . \quad (12)$$

Таблица 2. Определение углового коэффициента зависимости $y / x = f(x)$ методом парных точек

Пары точек i-j	Δx_{ij} , см	$\Delta(y / x)_{ij}$	$k_{ij} = \frac{\Delta(y / x)_{ij}}{\Delta x_{ij}}$, см ⁻¹	$k_{ij} - \langle k \rangle$, см ⁻¹	$(k_{ij} - \langle k \rangle)^2$, см ⁻²
			$\langle k \rangle =$		$\sum (k_{ij} - \langle k \rangle)^2 =$

5. Вычислите погрешность g по формуле

$$\delta g = \sqrt{2(\delta v_0)^2 + (\delta k)^2 + (\sin 2\alpha \delta \alpha)^2}, \quad (13)$$

$$\Delta g = g \delta g,$$

где относительные погрешности равны $\delta v_0 = \frac{\Delta v_0}{v_0}$, $\delta k = \frac{\Delta k}{k}$, $\delta \alpha = \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$, считая, что

$$\Delta v_0 = 0,05, \quad \Delta \alpha = 3^\circ.$$

6. Запишите окончательный результат в стандартном виде.

Контрольные вопросы

1. В чём основное отличие в уравнениях движения тела в однородном поле силы тяжести по вертикальной и горизонтальной оси?
2. Как движется тело, брошенное под углом к горизонту?
3. При каком угле подъёма ствола пушки дальность полета шарика будет максимальной, если начальная скорость шарика неизменна?
4. При каком угле подъёма ствола пушки высота траектории будет максимальной при заданной начальной скорости шарика?

Литература

1. Детлаф А. А. Курс физики: учебное пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2014. 719с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах / И. В. Савельев. 19-е изд., стер. СПб.: Лань, 2025. Том 1: Механика. Молекулярная физика. 500 с.
3. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – 61 с.