

В задаче не требуется оценка погрешностей.

**Теоретическая справка**

При описании полёта тела в поле силы тяжести часто применяется проецирование используемых векторных величин на горизонтальную и вертикальную оси (Рис. 1). В отсутствии сопротивления воздуха движение тела вдоль горизонтальной оси является равномерным, координата тела по этой оси линейно зависит от времени:

$$x = x_0 + v_{0x}t, \quad (1)$$

где  $x$  – координата тела по горизонтальной оси в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – координата тела в момент времени  $t = 0$ ,  $v_{0x}$  – проекция начальной скорости тела на горизонтальную ось.

Движение тела по вертикальной оси может быть описано квадратичной зависимостью координаты от времени:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad (2)$$

где  $y$  – координата тела на вертикальной оси, направленной вверх, в момент времени  $t$ ,  $y_0$  – координата тела в момент времени  $t = 0$ ,  $v_{0y}$  – проекция начальной скорости тела на вертикальную ось,  $g = 9.8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения тела.

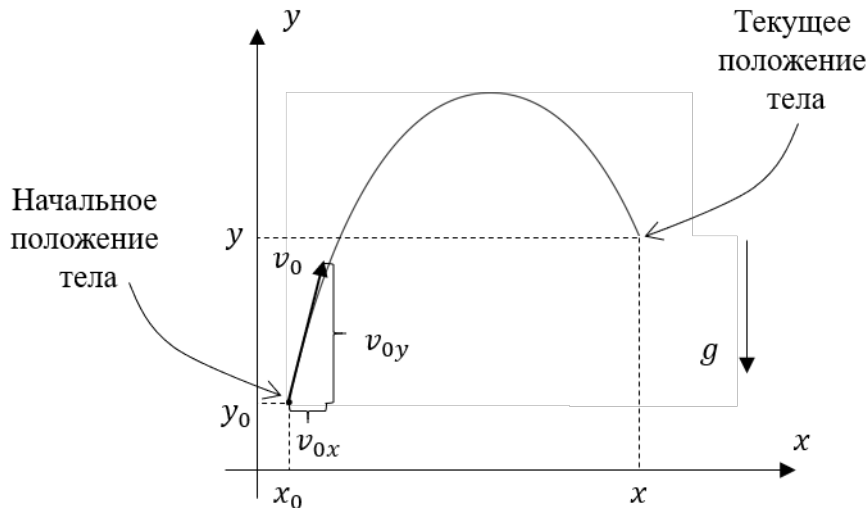


Рис. 1. Полет тела в поле силы тяжести.

В данной задаче предлагается исследовать движение стального шара. Для осуществления запуска шарика с неизменной от одного полёта к другому начальной скоростью в задаче предлагается использовать магнитную пушку (Рис. 2). В исходном положении к магниту прикрепленному к алюминиевому профилю присоединены два металлических шара, один из них будем называть шар-снаряд, другой – промежуточный шар. С другой стороны магнита на профиль кладут еще один шар, называемый бьющим, и слегка подталкивают его в направлении магнита. Бьющий шар ускоряется за счет притяжения

к магниту и ударяет магнит. Импульс бьющего шара передается через магнит и промежуточный шар шару-снаряду. Тот в свою очередь отрывается от конструкции и начинает свой полёт.

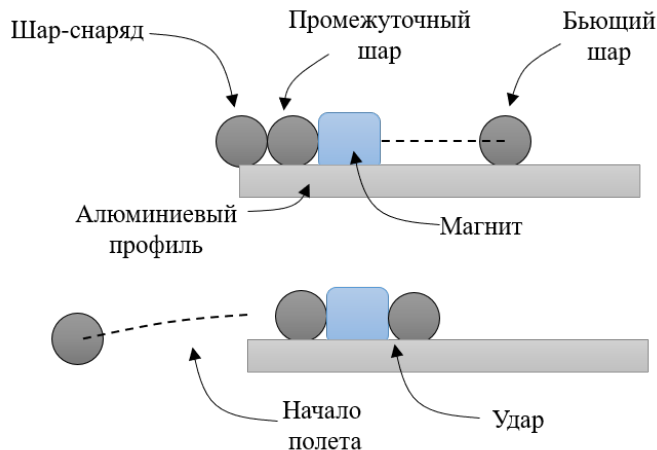


Рис. 2. Устройство магнитной пушки.

### Задание

1. Соберите экспериментальную установку (Рис. 2 и 3). Настройте её так, чтобы выстрелы происходили горизонтально. Опишите предпринятые действия, которые обеспечивают горизонтальность направления начальной скорости шарика. Измерьте зависимость расстояния  $l$ , которое пролетает шар-снаряд до удара о стол, от высоты его запуска  $h$  над уровнем стола. Высоту  $h$  отсчитывайте от плоскости стола до нижней точки шара-снаряда. Постройте график измеренной зависимости.

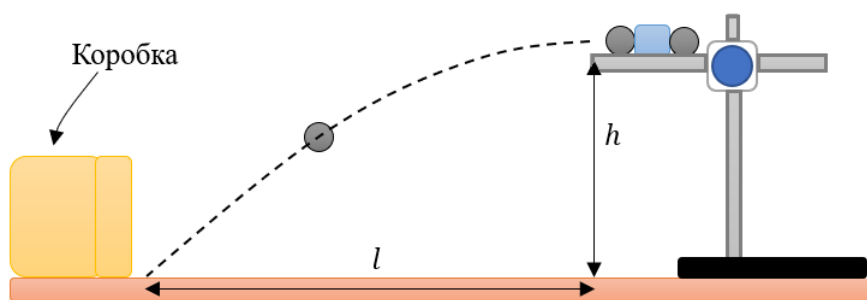


Рис. 3. Экспериментальная установка.

2. Запишите формулы (1) и (2) для исследованного вами случая, поместив начало координат в начальное положение шара-снаряда.
3. Предложите координаты, в которых исследованная в пункте 1 зависимость является линейной функцией. Постройте линеаризованный график исследованной зависимости. Определите его угловой коэффициент.

4. Рассчитайте начальную скорость  $v_0$  полёта шара-снаряда.

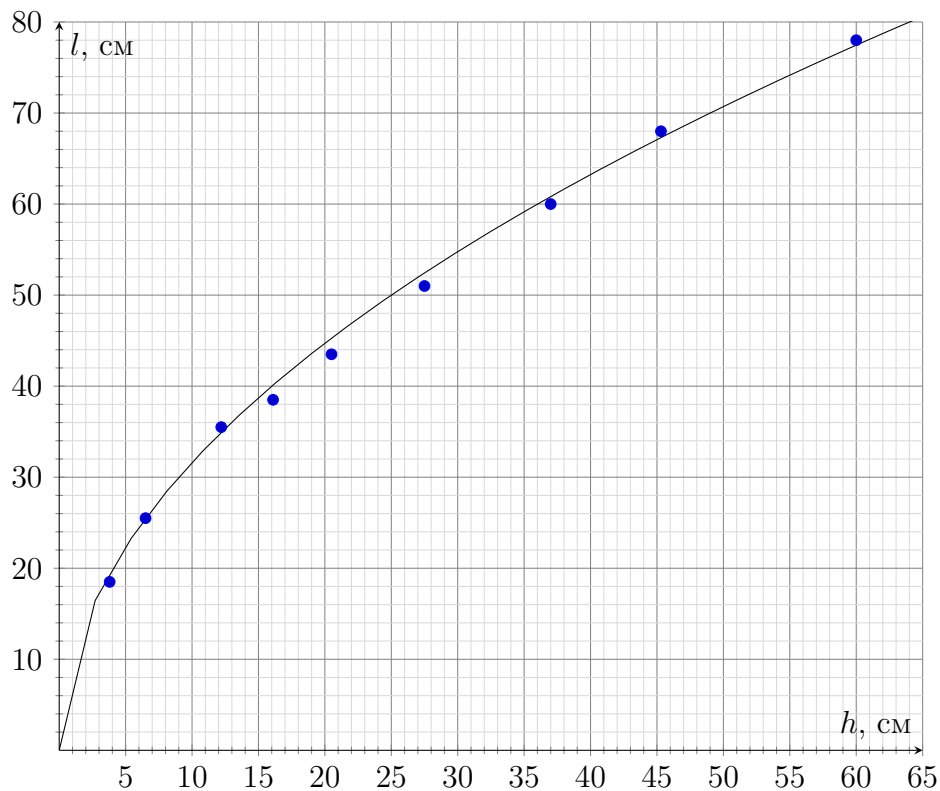
**Оборудование.** Отрезок алюминиевого профиля с прикреплённым магнитом, 4 одинаковых шара в чашке Петри, мерная лента, линейка 50 см, штатив с муфтой, малярный скотч, картонная коробочка, тряпочка (положите тряпочку в коробку для гашения скорости шара).

**Решение**

Соберем установку, показанную на Рис. 3. Направление начальной скорости шарика снаряда после отрыва от промежуточного шара зависит от ориентации в пространстве направляющего профиля. Для того чтобы проверить его горизонтальность положим на него шарик. В случае, когда профиль горизонтален, шарик должен оставаться неподвижным. В противном случае, он начнёт катиться в сторону того конца профиля, который оказался ниже. Высоту установки пушки будем измерять с помощью линейки, расстояние по горизонтали от пушки до точки падения шара будем измерять с помощью мерной ленты. Для этого закрепим ленту с помощью скотча на столе.

Запустим шар-снаряд. Для удобного определения области падения шара, будем методом последовательных приближений клеить скотч в то место, где падает шар, либо располагать возле этого места торец линейки. «Кучность» места попадания шара при фиксированной высоте пушки достаточно высокая. Приблизительный размер области приземления имеет диаметр сопоставимый с шириной скотча (приблизительно 2 см). Измерим зависимость дальности полета шара-снаряда от высоты его запуска. Построим график исследованной зависимости.

$h$ , см	$l$ , см	$l^2$ , см <sup>2</sup>
3.8	18.5	342
6.5	25.5	650
12.2	35.5	1260
16.1	38.5	1482
20.5	43.5	1892
27.5	51.0	2601
37.0	60.0	3600
45.3	68.0	4624
60.0	78.0	6084

График зависимости  $l$  от  $h$ 

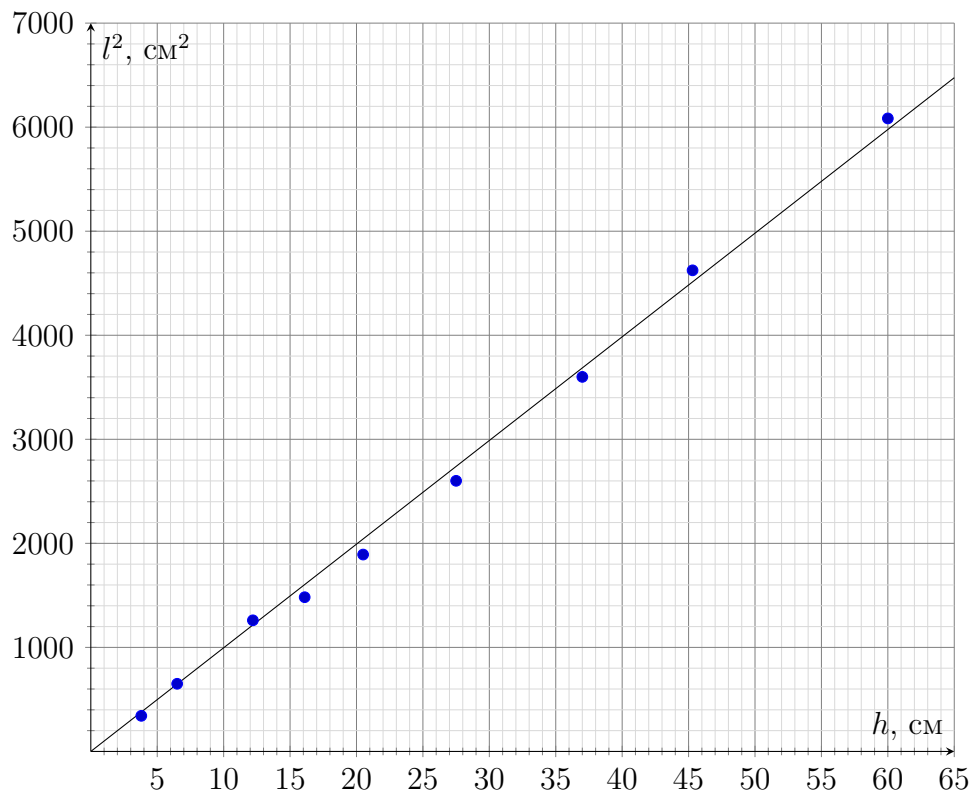
В исследуемом случае начальная скорость шара-снаряда направлена горизонтально. Поместив начало координат в его начальное положение, запишем уравнения (1) и (2):

$$\begin{aligned} x &= v_0 t, \\ y &= -\frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

В момент приземления  $t_{\text{п}}$  координата по горизонтальной оси становится равной  $x = l$ , а по вертикальной оси  $y = -h$ . Тогда исключая из уравнений время полета шара, получим связь между дальностью полета и начальной высотой шара-снаряда:

$$h = \frac{g}{2v_0^2} \cdot l^2. \quad (4)$$

Таким образом, исследованная ранее зависимость должна быть линейной в координатах  $h(l^2)$ . Построим соответствующий график.

График зависимости  $l^2$  от  $h$ 

Видно, что измеренные точки хорошо описываются прямой пропорциональностью. Найдем угловой коэффициент искомого графика:

$$k = \frac{g}{2v_0^2} = (100 \pm 1) \text{ см.} \quad (5)$$

Откуда для начальной скорости снаряда получаем:

$$v_0 = \sqrt{\frac{g}{2k}} = (2.21 \pm 0.02) \text{ м/с.} \quad (6)$$