

## Работа 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

**Цель работы:** Определение ускорения свободного падения по высоте и времени падения пенопластового шарика.

#### Введение

Свободным называется падение тела на Землю при условии действия на него только силы тяжести. При этом ускорение свободного падения для данной местности является постоянной величиной и не зависит от массы падающего тела.

Чтобы измерить ускорение свободного падения, можно измерить высоту и время падения какого-либо тела. Тогда, используя известную формулу  $h = at^2/2$ , получим, что ускорение, с которым падает тело,  $a = 2h/\tau^2$ .

Однако, помимо силы тяжести  $m\vec{g}$  на падающее тело (в работе используется пенопластовый шарик) действуют и другие силы: сила сопротивления воздуха  $\vec{F}_{СОПР}$ , сила Архимеда  $\vec{F}_{АРХ}$ .

Тогда по II-му закону Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{АРХ} + \vec{F}_{СОПР},$$

и ускорение свободного падения

$$\vec{g} = \vec{a} - \left(\vec{F}_{АРХ}/m\right) - \left(\vec{F}_{СОПР}/m\right).$$

В проекции на направление вертикально вниз:

$$g = a + (F_{АРХ}/m) + (F_{СОПР}/m).$$

Величина силы Архимеда равна величине силе тяжести воздуха, вытесненного шариком:

$$F_{АРХ} = \rho g V,$$

где  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха,  $V = \pi d^3/6$  – объем шарика,  $d$  – его диаметр.

Величина силы сопротивления воздуха  $F_{СОПР}$  пропорциональна величине скорости движения шарика. Чем больше высота, с

которой падает шарик, тем больше его средняя скорость и, следовательно, тем больше средняя сила сопротивления воздуха. Но при малых высотах растет относительная погрешность измерения времени падения. Поэтому в данной работе применяют метод экстраполяции графика  $a(h)$  (рис.1.1). Для этого плавно продолжают график до пересечения с осью ординат ( $a$ ).

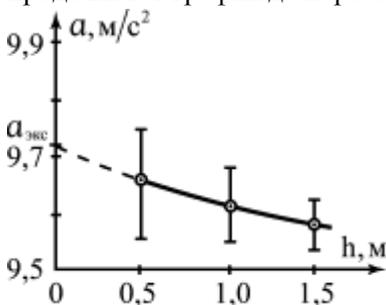


Рис. 1.1

При полученном из графика значении ускорения  $a_{экс}$  можно считать силу сопротивления воздуха равной нулю. Таким образом,

$$g = a_{экс} + a',$$

где  $a' = \rho g V/m$  – ускорение, сообщаемое шарiku силой Архимеда.

Окончательно избавиться от систематических погрешностей такого рода можно уменьшением объёма шарика и увеличением его массы.

В данной работе мы сознательно этого не делаем, чтобы ознакомить учащихся с методами учета систематических погрешностей, а не избавления от них.

### Описание установки

На вертикальной стойке 1, снабженной отсчетной шкалой (рис.1.2), закрепляются верхний держатель с электромагнитом 2 и нижний держатель с контактной пластиной 3. При размыкании цепи, питающей обмотку электромагнита, начинает падать удерживающийся сердечником шарик 4 и одновременно запускается блок отсчета времени миллисекундомера 5. При ударе падающего шарика о контактную пластину блок отсчета времени останавливается, и измеренное секундомером время фиксируется прибором на цифровом табло.

До проведения измерений необходимо ознакомиться с установкой, записать технические характеристики приборов в

таблицу, приведенную ниже. При этом указать пределы измерения, цену деления прибора, класс точности прибора или приборную погрешность, а также необходимые данные режима работы прибора.

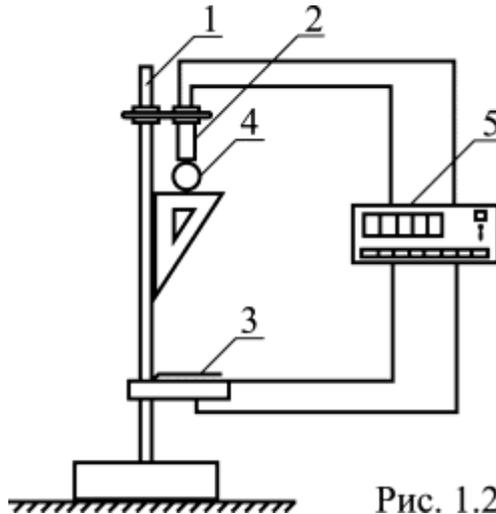


Рис. 1.2

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Миллисекундомер	
Стойка с отсчетной шкалой	
Шарик	
Электромагнит	
Источник питания	

**Задание 1.** Определение ускорения падения шарика

1. Закрепите на стойке верхний и нижний держатели таким образом, чтобы разность измеренных координат  $z_1'$  нижнего конца шарика и  $z_1''$  составила  $0,5\text{ м}$ . Определение координат провести не менее двух раз.

2. Измерьте по миллисекундомеру время  $\tau$  падения шарика с высоты  $h = |z'' - z'|$ , Результаты запишите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – 1.3 (нужно подготовить три таблицы).

№ измерения	$z'', \text{см}$	$z', \text{см}$	$h, \text{см}$	$\tau, \text{мс}$	$a, \text{м/с}^2$
1			/		/
2					
3					
Среднее значение $\pm$ погрешность					

3. Измерения п.п. 1 и 2 выполните также для высот  $h_2 = 1,0 \text{ м}$  и  $h_3 = 1,5 \text{ м}$ . Результаты запишите в таблицы 1.2. и 1.3.

4. На левой странице лабораторного журнала выполните необходимые расчеты и заполните таблицы 1.1. – 1.3. полностью.

Расчетные формулы

$$\langle z \rangle = \frac{z_{\text{МАКС}} + z_{\text{МИН}}}{2}; \Delta z = \frac{z_{\text{МАКС}} - z_{\text{МИН}}}{2}; \text{или } \Delta z_{\text{ПРИБОРН}};$$

$$\langle h \rangle = | \langle z'' \rangle - \langle z' \rangle |; \Delta h = \sqrt{(\Delta z')^2 + (\Delta z'')^2} = \Delta z \sqrt{2};$$

$$\langle \tau \rangle = \frac{\tau_{\text{МАКС}} + \tau_{\text{МИН}}}{2}; \Delta \tau = \frac{\tau_{\text{МАКС}} - \tau_{\text{МИН}}}{2} \text{ или } \Delta \tau_{\text{ПРИБОРН}};$$

$$\langle a \rangle = 2 \langle h \rangle / \langle \tau \rangle^2; \Delta a = \langle a \rangle \sqrt{E_h^2 + (2E_\tau)^2}.$$

**Задание 2.** Учет систематических погрешностей.

1. Проанализируйте полученные значения  $a$  в зависимости от  $h$ .

2. Постройте график зависимости  $a(h)$  и, экстраполируя кривую до пересечения с осью ординат, найдите значение  $a_{\text{ЭКС}}$ .

3. Рассчитайте ускорение  $a'$ , обусловленное силой Архимеда. Для этого предварительно взвесьте шарик на весах и измерьте штангенциркулем его диаметр три раза в разных сечениях.

4. Определите ускорение свободного падения. Напишите заключение к работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Укажите причины появления систематических погрешностей в определении  $g$  методом, предложенным в работе. Какова причина, обуславливающая наибольший вклад в систематическую погрешность?

2. Назовите источники появления в работе случайных погрешностей.

3. Сравнима ли погрешность измерений времени падения с высоты  $h = 0,5\text{ м}$  с временем  $\tau$  замыкания электрического контакта при ударе шарика о контактную пластинку (рис.1.2)? Время можно грубо оценить по скорости, с которой шарик подлетает к пластинке, и величине зазора  $d \approx 2\text{ мм}$  между полюсами контакта.