

# Лабораторная работа №2

## Свободное падение

Свободным падением называют движение при наличии только гравитационных сил. Ускорение при этом не зависит от массы и сорта ускоряемых частиц. Это главное отличие гравитационных сил от всех других. Свободное падение в поле земного тяготения можно считать равноускоренным для перемещений, много меньших радиуса Земли.

**Цель работы:** проверка равноускоренности и измерение ускорения свободного падения.

### 1 Описание метода

Стальной шарик удерживается электромагнитом на  $10 \div 20$  см выше верхнего фотодатчика (рис 1).

Магнит отключают кнопкой "Пуск", электронный секундомер измеряет время полёта шарика  $t$  между датчиками. От опыта к опыту расстояния пролёта шарика  $S$  меняются перемещением нижнего датчика. Верхний датчик остаётся на месте, что обеспечивает постоянство начальной скорости  $v_0$  при пролёте верхнего датчика. При равноускоренном движении зависимость  $S$  от  $t$  описывается квадратичной параболой:

$$S = v_0 t + \frac{gt^2}{2}. \quad (1)$$

Отклонение же от равноускоренного движения проявится дополнительными слагаемыми в правой стороне равенства, пропорциональными  $t^3$ ,  $t^4$ ,  $t^5$  и т.д.

Заметить искажение параболы или убедиться в его отсутствии проще. Удобнее рассмотреть зависимость средней скорости  $u = s/t$  от времени. Для равноускоренного движения

$$u = v_0 + \frac{gt}{2} \quad (2)$$

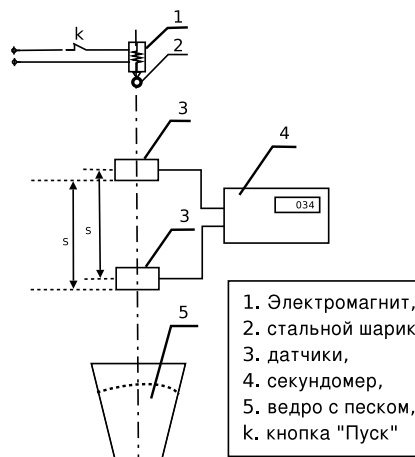


Рис. 1: Схема установки

график зависимости  $u(t)$  — прямая, тангенс угла наклона которой равен  $g/2$ .

Отклонение от равноускоренного движения проявится слагаемыми, пропорциональными  $t^2, t^3, \dots$  в выражении средней скорости, а значит, в отступлении графика  $u(t)$  от прямой.

Полностью избавиться от негравитационных сил нельзя. Но достаточно, чтобы они были пренебрежимо малы в сравнении с силой тяжести  $mg$ .

Силы, связанные с остаточной намагниченностью шарика и сердечника магнита, быстро убывают с расстоянием:  $\sim 1/R^3$ . Зазора в  $10 \div 20$  см достаточно, чтобы пренебречь ими на участке между датчиками.

Сила сопротивления воздуха оценивается в наших условиях как

$$f \simeq 0.6r^2\rho_0v^2 \quad (3)$$

где  $r$  — радиус, а  $v$  — скорость шарика, плотность воздуха  $\rho_0 \simeq 1.3 \text{ кг/м}^3$ . Для предлагаемых стальных шариков при  $S \leq 2$  м,  $f \ll mg$ .

Отметим, что при изменении  $S$  от 0.2 до 2 м указанные силы меняются во много раз при почти неизменной гравитационной силе. Поэтому экспериментально установленное постоянство ускорения гарантирует малость добавочных сил. Наоборот, заметные отступления от равноускоренного движения означают существенный вклад негравитационных сил, и падение нельзя считать свободным.

## 2 Измерение и обработка

Измерение времени пролёта для каждого из трех шариков проводится для шести расстояний: 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 м. Секундомер тумблером на задней стенке включается на измерения времени в миллисекундах. Шарик поднимают трубой к электромагниту, минуя верхний датчик. Он должен висеть неподвижно без перекоса. Кнопкой "Пуск" освобождают шарик. Запоминаем показания секундомера и повторяем опыт с тем же шариком при том же  $S$ . Если показания повторились, то вносим их в таблицу. Если нет (возможен случайный сбой в последнем разряде), проводим опыт в третий раз и заносим совпадающие показания. Так, при том же  $S$  поступаем со вторым и третьим шариками.

По приведённому образцу заранее заготовьте таблицу (таб. 1) и сразу жз вносите в неё результаты измерений и расчётов.

По табличным данным на одном листе миллиметровой бумаги нанесите точки на график  $u$  от  $t$  для каждого шарика отдельно. Если они хорошо ложатся на одну прямую (свою для каждого шарика), то падение равноускоренное, а удвоенный наклон этой прямой есть искомое ускорение  $g$ . Для проведения прямой используйте прозрачную линейку: все точки должны быть как можно ближе к краю линейки и примерно поровну точек выше и ниже края. Масштаб по осям выберите сообразуясь с табличными данными, чтобы наклон не сильно отличался от 1 ( $45^\circ$ ), а точки можно было наносить без сложного пересчёта. Для удобства измерения наклона прямые должны пересекать ось  $u$  и достаточно простираться вправо. Точки для каждого шарика наносите своим цветом или значком: крестик, треугольник, кружок — чтобы избежать путаницы.

Промежуточные расчёты проводятся с тремя значащими цифрами, вычисленное по наклону значение  $g$  для каждого шарика, округлённое до двух цифр, записывается на листе с графиком. Здесь же приведите отношение наибольшей разницы ускорений к их среднему ускорению  $\Delta g_{max}/g$ , округлённое до одной значащей цифры.

Отчёт включает номер и название работы, дату выполнения, необходимые вам записи и формулы, таблицу и графики, фамилии выполняющих работу. Для зачёта нужно разобраться в методе определения ускорения и быть готовым к ответу на предложенные вопросы.

### 3 Вопросы

1. Предполагая ускорение постоянным, найдите его по  $S_1$ ,  $S_2$  и  $t_2$ . Как, используя этот результат, проверить равноускоренность движения? Найдите число арифметических операций, необходимых для полной проверки по шести опытам.
2. Каково относительное изменение ускорения свободного падения на пути  $h$  по вертикали? Оставьте в ответе лишь первую степень  $h/R$ , где  $R$  — радиус Земли. При каком  $h$  это изменение равно 0.002?
3. Каково ускорение шарика радиуса  $r$ , плотности  $\rho$  скорости  $v$  с учётом сопротивления воздуха? Найдите установившуюся скорость, при которой сопротивление воздуха уравнивает силу тяже-

сти. Оцените её для стальных шариков с  $r_1 = 1$  см и  $r_2 = 0.1$  см,  $\rho = 7.8$  г/см<sup>3</sup>

4. Почему, комок земли падает быстро, а пыль оседает долго?
5. Почему состояние невесомости на борту орбитальной станции свидетельствует о независимости ускорения свободного падения массы и состава тел?

	шарики					
	большой		средний		маленький	
$S$ [см]	$t$ [мс]	$v$ [см/с]	$t$ [мс]	$v$ [см/с]	$t$ [мс]	$v$ [см/с]
20						
40						
80						
120						
160						
200	521*	384*				

Таблица 1: \* цифры условные!