

Д.В.КРЕОПАЛОВ, М.Л. ПОЗДЫШЕВ

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

Методические указания к лабораторной работе М106 по курсу общей физики

Цель работы – изучение прямолинейного движения тела под действием силы тяжести, экспериментальное исследование зависимости высоты падения от времени падения, вычисление ускорения свободного падения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Гравитационное поле Земли в области пространства много меньшего по размеру чем земной шар можно считать однородным. На тело массой m в любой точке этой области действует постоянная сила тяжести $F = mg$, где g - ускорение свободного падения, направленная к центру Земли. На широте Москвы на уровне моря $g = 9,8152 \text{ м/с}^2$.

Если считать Землю шаром радиусом $R \approx 6371 \text{ км}$, то на небольшое тело массой m со стороны Земли действует сила гравитации $F = GMm/(R+h)^2$, где $m = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ – масса Земли, $G = (6,673 \pm 0,003) \cdot 10^{-11} \text{ нм}^2/\text{кг}^2$ – гравитационная постоянная, h - высота над поверхностью Земли. Приравняв силу тяжести и силу гравитации можно получить теоретическое выражение для ускорения свободного падения g на поверхности Земли (на уровне моря)

$$g = GM/R^2 = 9,816 \text{ м/с}^2$$

На самом деле Земля не является идеальным шаром. В хорошем приближении Земля – эллипсоид, у которого малая полуось – полярный радиус равен – 6356863 м, а большая полуось – экваториальный радиус - 6378245 м.

Таким образом, Земля немного сплюснута вдоль оси вращения. В основном поэтому g меняется от $9,83 \text{ м/с}^2$ на полюсах до $9,78 \text{ м/с}^2$ на экваторе.

Еще одна причина уменьшения измеренного значения g на экваторе связана с вращением земли вокруг своей оси. Так как тело массы m движется вместе с Землей по окружности с радиусом равным расстоянию до оси вращения, то часть силы тяжести составляет центростремительную силу $F = m\omega^2 R_0$, R_0 - расстояние до оси вращения, ω - угловая скорость вращения.

Таким образом, если бы Земля вращалась очень быстро, то при некоторой угловой скорости на экваторе было бы состояние невесомости.

В данной работе исследуется падение стального шарика диаметром 19мм (3/4 дюйма) с заданной высоты под действием силы тяжести.

Уравнение, описывающее свободное падение тела в однородном поле силы тяжести – это второй закон Ньютона. В проекции на ось, направленную вниз, оно имеет вид

$$m d^2h/dt^2 = mg \tag{1},$$

где $h(t)$ - путь, пройденный телом при падении,

t – время падения.

С учетом начальных условий $dh(0)/dt=0$, $h(0)=0$,

решение уравнения имеет вид

$$h(t)=gt^2/2$$

(2)

График зависимости $h(t)$ - парабола (рис.1)

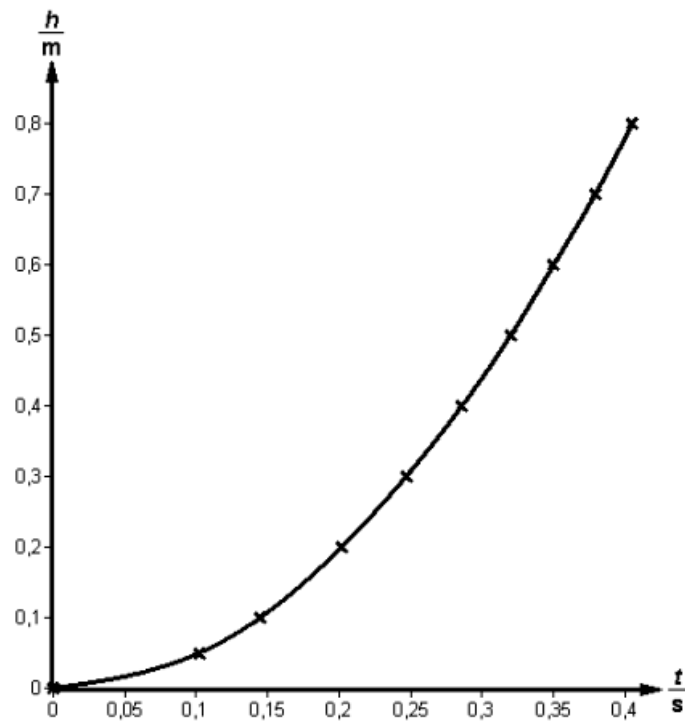


Рис.1

Убедиться в этом можно, построив график $h(t^2)$ - (рис.2) он будет линейным.

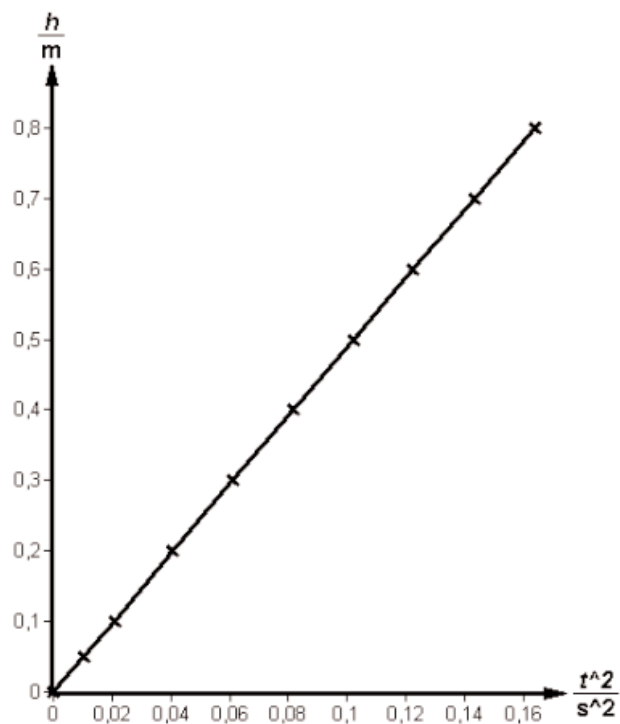


Рис.2

Тангенс угла наклона этого графика равен $g/2$ в соответствии с уравнением (2).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Соберите установку, изображенную на рис.3. Подключите выход «Start/Stop» (желтое и белое гнезда) универсального счетчика к верхней части, где будет закреплён шарик. Выход «Stop» (желтое и белое гнезда) к нижней части с приемной чашечкой.

ВНИМАНИЕ! Не втыкать провода в красные гнезда «+5V», чтобы не замкнуть их накоротко.

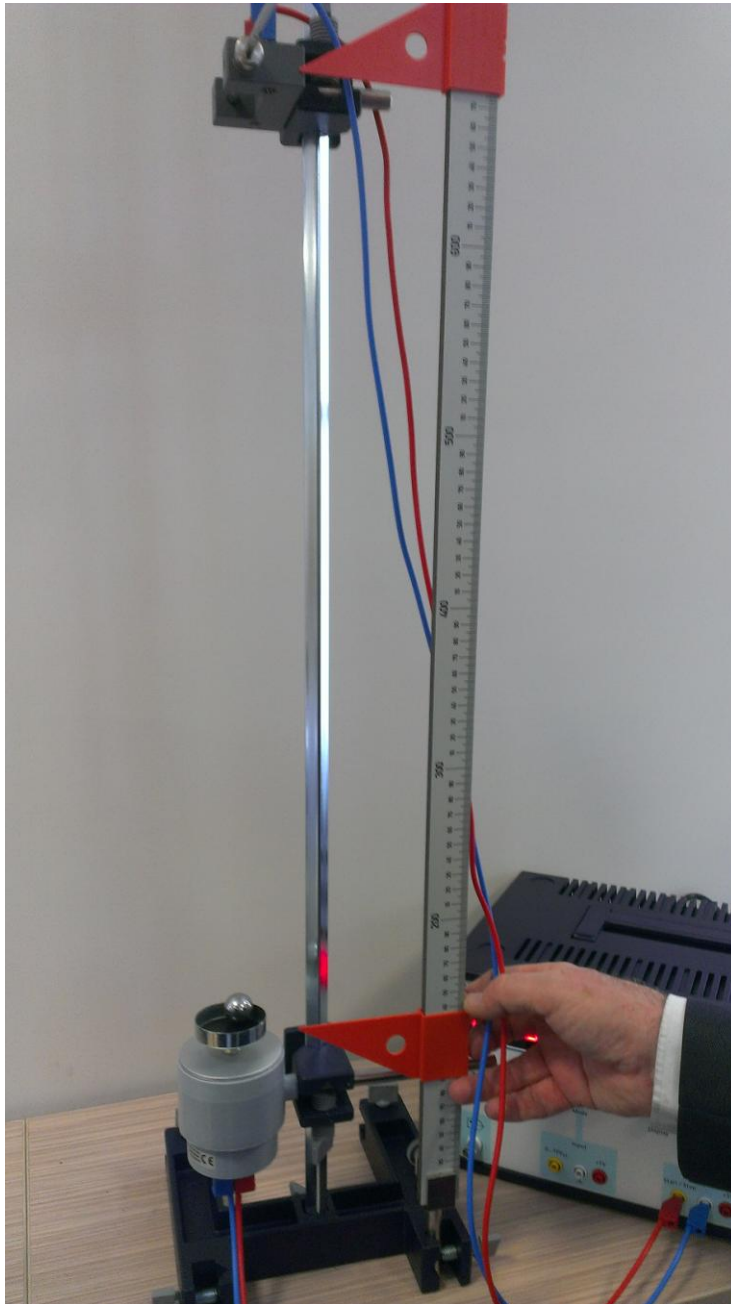


Рис.3

Включите счетчик рис.4 (выключатель находится на задней панели счетчика), установите режим «Timer» (Время) с помощью кнопки «Function», кнопкой «Trigger» выберите двухимпульсный режим, кнопкой «Set» выберите «Digits» и кнопками «+» и «-» установите количество цифр после запятой на дисплее (достаточно одной). Время на дисплее будет отображаться в миллисекундах.

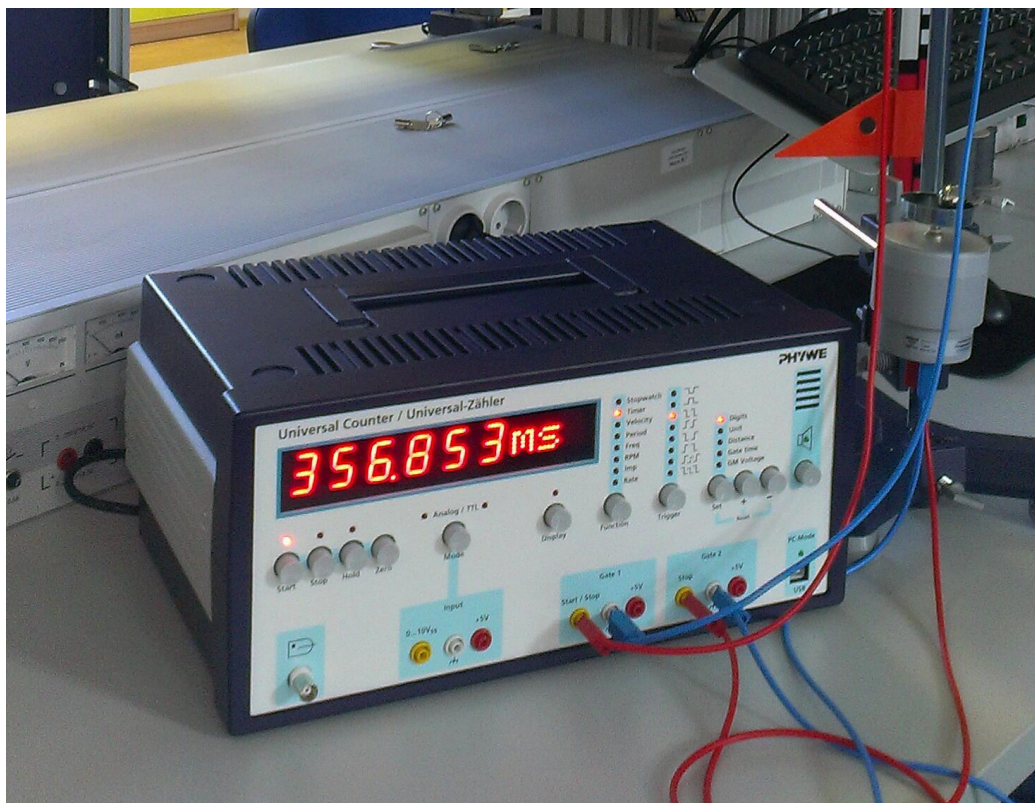


Рис.4

Установите шарик в верхний датчик (Start), зажав его с помощью тросика, и закрепите тросик с помощью винта. **Поднимите нижнюю чашечку**, разомкнув контакты нижнего датчика (Stop). Нажмите на кнопку сброса (Zero), а затем на кнопку пуска (Start). Установка готова к работе.

Если ослабить винт крепления тросика, шарик будет падать и разорвет цепь верхнего датчика. Начнется отсчет времени. Когда шарик упадет на чашечку, он замкнет цепь нижнего датчика и отсчет закончится (датчики срабатывают от электрических импульсов, возникающих при резком изменении сопротивления цепи). Счетчик покажет время падения t (ms) с высоты h .

Задание

1. Установите шарик на определенной высоте h от нижней чашечки. Учтите размер шарика. Измерьте 5-7 раз время свободного падения t . Вычислите ускорение свободного падения $g=2h/t^2$, подставив среднее время $t_{\text{ср}}$.

Убедитесь, что полученное значение примерно (с точностью 5-10%), совпадает с табличным (если это не так, то прежде чем двигаться дальше, необходимо разобраться в причине расхождений).

Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1.

h= t_{cp}= g=

№	1	2	3	4	5	6	7
t							

Определите абсолютную- Δg и относительную -ε погрешности g

$$\Delta g = \sqrt{\left(\left(\frac{2}{t^2} \right)^2 \Delta h^2 + \left(\frac{4h}{t^3} \right)^2 \Delta t^2 \right)} \quad , t=t_{cp} \quad (3)$$

ε=Δg/g, Δh=0,5мм,

$$\Delta t = t_{\alpha,f} \sqrt{\frac{\sum (t_{cp} - t_i)^2}{n(n-1)}} \quad , \quad (4)$$

n-число измерений, t_{α,f} - коэффициент Стьюдента, для n=7 и доверительной вероятности P=0,9 , t_{α,f}=1,943 .

2. Проведите измерение времени падения для 9-12 различных значений высоты.

Каждое измерение повторите три раза. Данные занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

h									
t									
t _{cp}									
g									
v									

Найдите погрешность Δt по формуле (4) для минимальной и максимальной высоты.

Для n=3 и P=0,9 t_{α,f}=2,92 . По формуле (3) найдите Δg для этих высот.

Полученный результат сравните с Δt и Δg, вычисленные в 1 задании, сделайте выводы.

Постройте графики зависимости h(t) (рис.1), h(t²) (рис.2). Постройте график зависимости g(h) (рис.3) с учетом погрешности Δg. Определите g_{cp} .

Запишите результат в виде g=g_{cp} ± Δg , значение Δg возьмите из 1 задания.

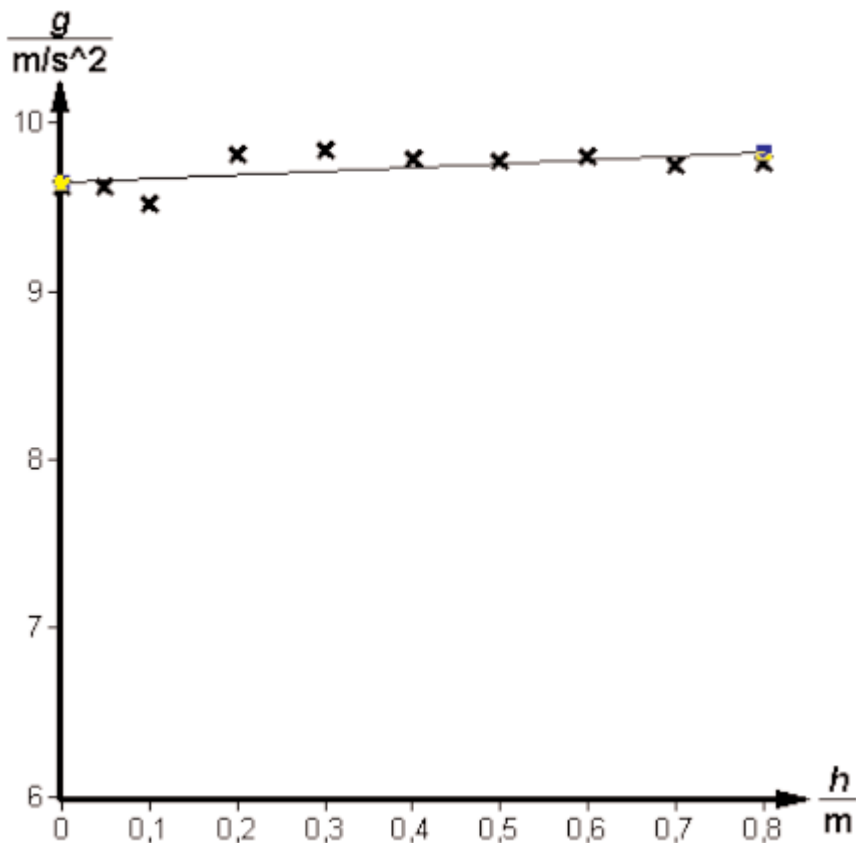


Рис.5

Вычислите конечную скорость падения по формуле

$$v = 2h/t.$$

(5)

Постройте графики $v(h)$ и $v(h^{1/2})$. Объясните полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Какие случайные и систематические погрешности могут быть в данной работе?
2. В этой работе не учитывается сопротивление воздуха. Как этот факт повлияет на результат вычисления g ?
3. Выведите формулы (3) и (5).
4. В первом приближении Земля имеет форму шара слегка сплюснутого по оси вращения. Где ускорение свободного падения будет большим: на полюсах или на экваторе?
5. Как влияет вращение Земли на измерение величины ускорения свободного падения?
6. На какой высоте от поверхности Земли ускорение свободного падения уменьшится на 1%?

7. Из автомата Калашникова выстрелили горизонтально. Что раньше упадет на землю – пуля или горизонтально выпавшая гильза (сопротивлением воздуха пренебречь)?
8. Почему в воздухе быстрее падают тела с большей массой?
9. Какой опыт продемонстрировали американские астронавты с целью доказательства своего нахождения на Луне?
10. Сколько бы длились земные сутки, если бы на экваторе тела находились в состоянии невесомости?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иродов И.Е. Механика. Основные законы, М.; СПб.: Физматлит, 2000.
2. Савельев И.А. Курс общей физики: Кн.1: Механика. М.: Наука, 1998.
3. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Т.1: Механика. М.: Наука, 1989.