

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экспериментальной и общей физики

Лабораторная работа № 4

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ
ПРИ СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ ТЕЛ»**

Лаборатория № 210

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПРИ СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ ТЕЛ

Цель работы: измерение ускорения силы тяжести.

Оборудование: штатив, электромагнит, стальной шарик, электрический секундомер, реле, линейка.

Т е о р и я

Зависимость ускорения силы тяжести от широты местности.

При изучении движения тел относительно земной поверхности нужно иметь в виду, что система отсчета, связанная с Землей, неинерциальна. Ускорение, соответствующее движению по орбите, гораздо меньше, чем ускорение, связанное с суточным вращением Земли. Поэтому с достаточной точностью можно считать, что система отсчета, связанная с Землей, вращается относительно инерциальных систем с постоянной угловой скоростью ω . Следовательно, рассматривая движение тел относительно Земли, нужно вводить центробежную силу инерции

$$f_{ин} = m \cdot \omega^2 \cdot r,$$

где m - масса тела, r - расстояние тела от земной оси (рис. 1).

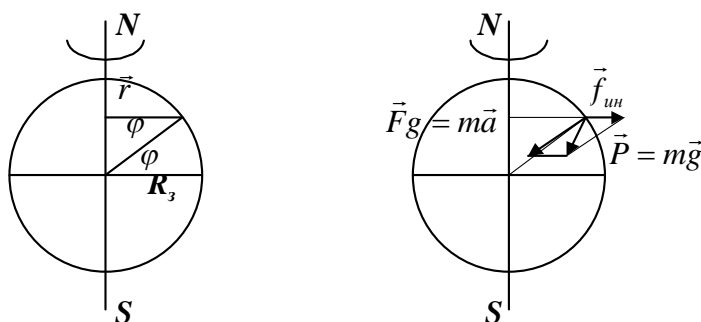


Рис. 1.

Ограничиваясь случаями, когда высота тел над поверхностью Земли невелика, можно положить r равным $R_3 \cos \varphi$ (R_3 - радиус Земли, φ - широта местности). Тогда выражение для центробежной силы инерции примет вид:

$$f_{ин} = m \cdot \omega^2 \cdot R_3 \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Наблюдаемое относительно Земли ускорение свободного падения тел будет обусловлено действием двух сил: \vec{f}_g , с которой тело притягивается Землей, и $\vec{f}_{ин}$. Результирующая этих двух сил: $\vec{P} = \vec{f}_g + \vec{f}_{ин}$ есть сила тяжести. Поскольку сила \vec{P} сообщает телу с массой m ускорение \vec{g} , то справедливо следующее соотношение:

$$\vec{P} = m\vec{g} \quad (2)$$

Отличие силы тяжести \vec{P} от силы притяжения к Земле \vec{f}_g невелико, так как центробежная сила инерции $\vec{f}_{ин}$ значительно меньше, чем $\vec{f}_g = \gamma (M_3 m / R_3^2)$. Так для массы в 1 кг выражение $m \cdot \omega^2 \cdot R_3$ приблизительно равно 0,035 н (ω равна 2π деленным на 86400 сек., R_3 составляет примерно 6400 км), в то время как \vec{f}_g равна приблизительно 9,8 н, т.е. почти в 300 раз больше, чем максимальное значение центробежной силы инерции (наблюдающееся на экваторе).

Угол α между направлениями \vec{f}_g и \vec{P} можно оценить, воспользовавшись теоремой синусов:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} = \frac{f_{ин}}{P} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot R_3 \cdot \cos \varphi}{m \cdot g} \approx \frac{0,035}{9,8} \cos \varphi \approx 0,0035 \cdot \cos \varphi$$

откуда

$$\sin \alpha \approx 0,0035 \sin \varphi \cdot \cos \varphi \approx 0,0018 \sin 2\varphi$$

Синус малого угла можно приближенно заменить значением самого угла

$$\alpha \approx 0,0018 \sin 2\varphi \quad (3)$$

Таким образом, в зависимости от широты φ угол α колеблется в пределах от нуля (на экваторе, где $\varphi=0^\circ$, и на полюсах, где $\varphi = 90^\circ$) до 0,0018 рад. или 6 (на широте 45°). Направление \vec{P} совпадает с направлением нити, натянутой грузом, которое называется направлением отвеса. Сила \vec{f}_g направлена к центру Земли. Следовательно, нить отвеса направлена к центру Земли только на полюсах и на экваторе, отклоняясь на промежуточных широтах на угол, определяемый выражением (3).

Разность $\vec{f}_g - \vec{P}$ равна нулю на полюсах и достигает максимума, равного 0,3% силы \vec{f}_g на экваторе. Из-за сплюснутости земного шара у полюсов сила \vec{f}_g сама по себе несколько варьирует с широтой, будучи на экваторе примерно на 0,2% меньше, чем у полюсов. В итоге ускорение свободного падения g меняется с широтой в пределах от 9,78 м/с² на экваторе до 9,832 м/с² на полюсах. Значение $g = 9,80665$ м/с² принято в качестве нормального (стандартного) значения..

Заметим, что относительно инерциальной, например, гелиоцентрической системы отсчета свободно падающее тело будет двигаться с ускорением не \vec{g} , а \vec{a} , направленным так же, как \vec{f}_n и равным по величине \vec{f}_n / m . Легко видеть (рис. 1), что из равенства для разных тел ускорения g вытекает и равенство ускорений a . Действительно, треугольники, построенные на векторах \vec{f}_g и \vec{P} для разных тел, подобны (углы α и φ для всех тел, находящихся в данной точке земной поверхности будут одинаковыми). Следовательно, отношение \vec{f}_g / \vec{P} , которое совпадает с отношением a / g для всех тел одно и то же, откуда вытекает, что при одинаковых g получаются одинаковыми и a . При небольших высотах падение стального шарика диаметром 2-3 см практически является свободным, так как в этом случае можно сопротивлением воздуха пренебречь и считать ускорение силы тяжести постоянным.

Тогда падение шарика будет происходить по закону равноускоренного движения:

$$H = g \cdot t^2 / 2 \quad (4)$$

где H - высота падения шарика,
 g - ускорение силы тяжести,
 t - время падения шарика.

Из уравнения (4):

$$g = 2 \cdot H / t^2 \quad (5)$$

С помощью уравнения (5), зная высоту и время падения шарика, можно определить ускорение силы тяжести.

О п и с а н и е у с т а н о в к и.

Установка для проведения опыта (рис. 2) состоит из прикрепленной к стене вертикальной штанги **1**, на которой закрепляется электромагнит **2**, служащий для удержания стального шарика **3**. Высоту крепления электромагнита можно менять по всей длине штанги. Напряжение 6В на электромагнит подается от электрического секундомера **4**. В нижней части штанги закреплен рубильник **5**, который автоматически (при ударе шарика) выключает секундомер.

Устанавливая электромагнит на различную высоту вдоль рейки, можно изменять высоту H падения шарика.

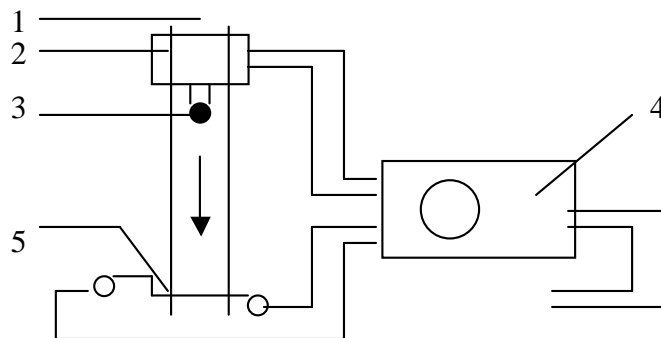


Рис. 2.

И з м е р е н и я

Порядок включения приборов следующий.

1. Замыкают рубильник 5 у основания штанги.
2. Включают секундомер в осветительную сеть 220 В.
3. На электрическом секундомере устанавливают переключатели в положения: “электромагнит” - “вкл.”, “секундомер” - “выкл.”.

После этого подносят стальной шарик к якорю электромагнита для его удержания электромагнитом и измеряют высоту H от нижнего края шарика до площадки рубильника 5.

Переводом переключателя “секундомер” в положение “вкл.” включается секундомер и одновременно обесточивается электромагнит. Падая на площадку рубильника 5, шарик выключает секундомер, по которому определяют время падения t .

Первый раз все включения произвести под наблюдением преподавателя или лаборанта.

З А Д А Н И Е

1. Устанавливая электромагнит на различных высотах, измерьте время падения t для каждой высоты по 3-5 раз.

2. По полученным данным измерений вычислите ускорение силы тяжести по формуле (5).

Все результаты вычислений заносите в таблицу.

Таблица.

$H, \text{м}$	$t, \text{с}$	$g, \text{м/с}^2$	$g_{cp}, \text{м/с}^2$	$\Delta g, \text{м/с}^2$	$\Delta g_{cp}, \text{м/с}^2$	$\Delta g_{cp} / g_{cp} \cdot 100\%$
$H_1 =$						
Среднее значение						
$H_2 =$						
Среднее значение						
$H_3 =$						
Среднее значение						

По формулам:

$$\Delta g_{cp} / g_{cp} = \Delta H / H_{cp} + 2 \cdot \Delta t / t_{cp}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{cp} - t_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta g_{cp} = g_{cp} (\Delta g_{cp} / g_{cp})$$

оцените абсолютную и относительную погрешности косвенного измерения g .

4. Окончательное значение g запишите для каждой высоты в виде:

$$g = g_{cp} \pm \Delta g_{cp}, \quad \text{м/с}^2.$$

Контрольные вопросы

1. Какие системы отсчета называются инерциальными, а какие неинерциальными?
2. Чему равны центробежные силы инерции?
3. Инерциальна ли система отсчета, связанная с Землей?
4. Как влияет вращение Земли на величину ускорения свободного падения?
5. Зависит ли ускорение свободного падения от массы тела?
6. Как зависит ускорение свободного падения от широты местности?

Л и т е р а т у р а

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1, М., 1973.
2. Хайкин С.Э. Физические основы механики. М., 1963.
3. Стрелков С.П. Механика. М., 1965.
4. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. М., 1963.
5. Под ред. Ивероной В.И. Физический практикум, М., 1967.