

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Методические указания

**к лабораторной работе № 12
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2010

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Методические указания

к лабораторной работе № 12
по дисциплине «Физика»

Уфа 2010

Составители: Э.В. Сагитова, О.Г. Ряхова

УДК
ББК

Определение ускорения свободного падения: Методические указания к лабораторной работе № 12 дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Э.В. Сагитова, О.Г. Ряхова – Уфа, 2010. – 15 с.

Посвящена определению ускорения силы тяжести при свободном падении тела. Приводится теория метода, описание установки, порядок выполнения работы.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доцент Осипов В.С.,
канд. физ.-мат. наук, доцент Якупов Э.З.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2010

Составители: САГИТОВА Эмма Вагизовна,
РЯХОВА Ольга Григорьевна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 12
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2010. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cug.
Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.
Тираж 300 экз. Заказ №
ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12.

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета	4
2.2. Силы инерции при ускоренном произвольном движении системы отсчета	7
3. Экспериментальная часть.....	13
3.1. Описание лабораторной установки	13
3.2. Требования к технике безопасности	13
3.3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	14
4. Контрольные вопросы	15
Список литературы	15

Лабораторная работа № 12

Определение ускорения свободного падения

1. Цель работы

Определение ускорения свободного падения тела.

2. Теоретическая часть

Ускорение свободного падения (или ускорение силы тяжести) – ускорение, сообщаемое свободной материальной точке силой тяжести. Такое ускорение имело бы любое тело при падении на Землю с небольшой высоты в безвоздушном пространстве. Как и сила тяжести, ускорение свободного падения зависит от широты места и высоты его над уровнем моря.

Согласно принципу относительности любое движение, в том числе и свободное падение, относительно. Таким образом, характер движения зависит от выбора системы отсчета (СО). СО делятся на инерциальные системы отсчета (ИСО) и неинерциальные системы отсчета (НСО).

ИСО называют СО движущуюся равномерно и прямолинейно относительно неподвижной СО. В этом случае уравнения движения материальной точки относительно движущейся СО совпадают с уравнениями движения материальной точки относительно неподвижной СО, т.е. задаются законами Ньютона.

НСО – это система отсчета, которая движется относительно ИСО с ускорением.

Рассмотрим движение материальной точки относительно НСО.

2.1. Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета

Пусть имеется материальная точка массой m , на которую действует некоторая сила \vec{F} . Выберем неподвижную ИСО K . Если радиус – вектор материальной точки в системе K обозначить \vec{r} , то в инерциальной системе можно записать 2-й закон Ньютона

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}. \quad (2.1)$$

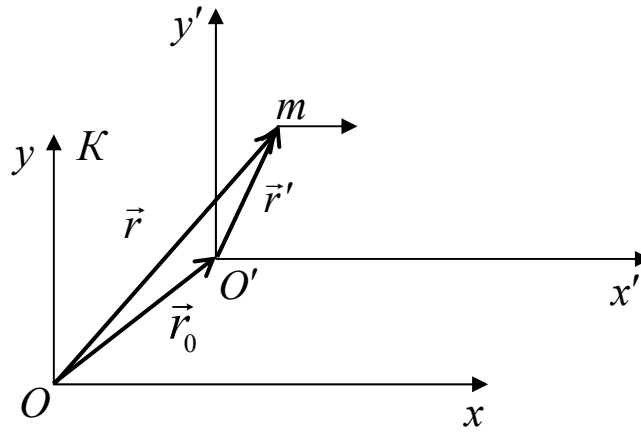


Рис. 2.1

В НСО K' начало координат движется по отношению к системе K по некоторому нелинейному закону $\vec{r}_0(t)$, где \vec{r}_0 – радиус-вектор начала O' в системе K . Из рис. 2.1 видно, что радиусы-векторы материальной точки m в инерциальной (\vec{r}) и неинерциальной (\vec{r}') системах связаны равенством

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_0. \quad (2.2)$$

Продифференцировав дважды это равенство по времени, получим:

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2 \vec{r}'}{dt^2} + \frac{d^2 \vec{r}_0}{dt^2} \text{ или } \vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0. \quad (2.3)$$

Сила \vec{F} , действующая на частицу, не может измениться от того, что мы перейдем в другую систему отсчета, а ускорение, как это видно из (2.3), меняется, т.к. система K' неинерциальна и $\vec{a}_0 \neq 0$. Следовательно, $m \vec{a}' \neq \vec{F}$, т.е. второй закон Ньютона нарушится.

В НСО основной закон динамики Ньютона изменится. Вместе с силами \vec{F} , обусловленными воздействиями тел друг на друга, возникнут силы особого рода – силы инерции $\vec{F}_{\text{ин}}$, сообщающие телу ускорение \vec{a}' . Тогда в неинерциальных системах отсчета можно записать

$$m \vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{\text{ин}}. \quad (2.4)$$

Силы инерции обусловлены свойствами той системы отсчета, в которой рассматриваются механические явления и имеют различный вид.

Если K' – система движется поступательно с ускорением a_0 по отношению к K – системе, то сила инерции

$$\vec{F}_{\text{ин}} = -m \vec{a}_0 = \vec{F}_{\text{и}}. \quad (2.5)$$

Составляющая $\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}_0$ возникает не из-за взаимодействия тел, а из-за ускоренного движения системы отсчета. Она называется поступательной силой инерции.

Силы инерции отличаются от настоящих сил, обусловленных взаимодействием, следующим:

1. При переходе от одной НСО к другой движущейся СО силы инерции меняются, а настоящие силы – нет.

2. Силы инерции не подчиняются третьему закону Ньютона. Если на какое-либо тело действует сила инерции, то не существует противодействующей силы, приложенной к другому телу.

3. Силы инерции проявляются только в НСО.

Реальна или фиктивна сила инерции? Смотря что принимать за слово "реальна". С точки зрения ньютоновской механики сила – результат воздействия других тел, в этом случае силы инерции надо рассматривать как фиктивные силы. Но с другой стороны, все взаимодействия осуществляются посредством силовых полей и передаются с конечными скоростями. И на силы инерции можно смотреть как на действия, которым подвергаются тела со стороны каких-либо реальных силовых полей. Эти поля преобразуются при переходе от одной системы координат к другой. Но это не дает основания считать эти силы фиктивными (электрические и магнитные поля тоже преобразуются при переходе от одной системы отсчета к другой, однако мы не сомневаемся в реальности этих полей).

Примеры проявления поступательной силы инерции:

1. Если человек сидит по ходу набирающего скорость поезда, то сила инерции прижимает пассажира к спинке сидения, если человек сидит против хода поезда – то отбрасывается от спинки. Если поезд тормозит, то происходит все наоборот. При резком увеличении скорости во время запуска космического корабля у космонавта возникают перегрузки.

2. Маятник в ускоренно движущемся поезде. Сила инерции стремится отклонить маятник в сторону, противоположную ускорению.

2.2. Силы инерции при ускоренном произвольном движении системы отсчета

Если K' – система вращается с постоянной угловой скоростью $\vec{\omega}$ вокруг оси, неподвижной в K' – системе, то сила инерции

$$\vec{F}_{\text{ин}} = m \omega^2 \vec{r} = \vec{F}_{\text{цб}}. \quad (2.6)$$

Эту силу называют центробежной силой инерции, где \vec{r} – радиус-вектор, перпендикулярный оси вращения и характеризующий положение тела относительно этой оси. Центробежная сила направлена вдоль оси \vec{r} от оси вращения.

Случаи проявления центробежной силы:

1. Пассажир в движущемся автобусе на повороте отклоняется в сторону, противоположную центру поворота.

2. В центрифуге белье или масло прижимается к стенкам центрифуги.

3. Пусть на горизонтально расположенном стержне на нитях висят три одинаковых шарика, причем шарики находятся на разных расстояниях от вертикальной оси, проходящей через середину стержня (рис. 2.2). Будем вращать стержень вокруг вертикальной оси (направление вращения указано стрелкой на рис. 2.2). Центробежные силы отклоняют шарики от оси вращения. Угол отклонения шариков от вертикали тем больше, чем дальше находятся шарики от оси вращения.

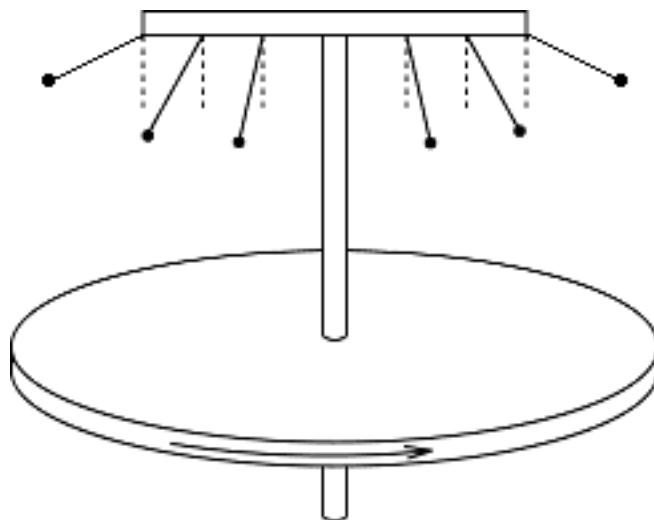


Рис. 2.2

На тело, движущееся поступательно со скоростью \vec{v} во вращающейся СО, кроме центробежной силы инерции действует еще одна сила инерции, называемая силой Кориолиса

$$\vec{F}_k = 2m [\vec{v}, \vec{\omega}]. \quad (2.7)$$

Вектор \vec{F}_k перпендикулярен векторам скорости \vec{v} тела и угловой скорости вращения $\vec{\omega}$ системы отсчета. Его направление определяется правилом правого винта.

Случаи проявления кориолисовой силы:

1. Пусть имеется покоящийся диск и вдоль радиуса диска движется шарик с постоянной скоростью v (рис. 2.3). Начнем вращать диск с угловой скоростью $\vec{\omega}$. Возникает сила Кориолиса $F_k = 2m [\vec{v}_{отн}, \vec{\omega}]$, которая перпендикулярна вектору \vec{v} и вектору $\vec{\omega}$. Под действием этой силы шарик будет двигаться по дуге в плоскости диска.

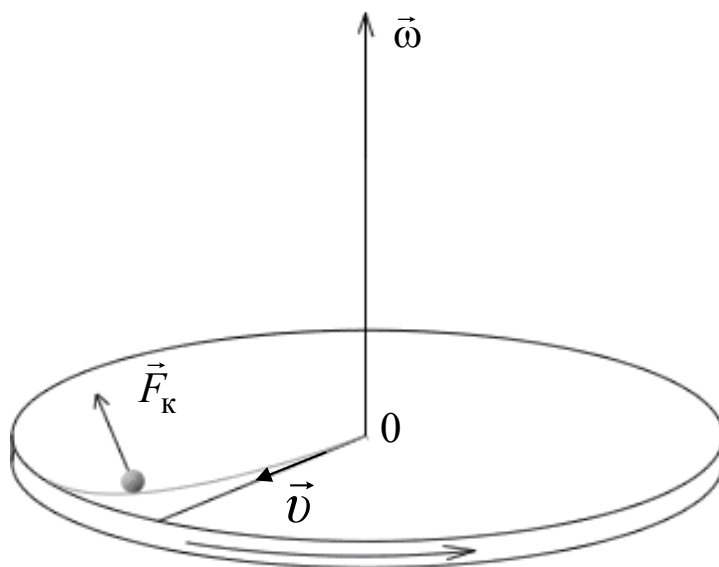


Рис. 2.3

2. Если человек в северном полушарии движется к полюсу по меридиану, то кориолисова сила будет отклонять его на восток. По этой же причине правые берега рек в северном полушарии обмываются быстрее, чем левые (реки текут на север).

3. Падающее тело отклоняется кориолисовой силой от направления отвеса к востоку и экватору (в северном полушарии).

Раскрывая содержание $\vec{F}_{ин}$ в формуле (2.4), основной закон динамики для НСО можно записать в виде

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{ин} + \vec{F}_{цб} + \vec{F}_k. \quad (2.8)$$

При изучении движения тел относительно земной поверхности нужно иметь в виду, что СО, связанная с Землей, неинерциальна. Земной шар совершает сложное движение: вращается вокруг своей оси (суточное вращение) и движется по орбите вокруг Солнца (годовое вращение).

Центростремительное ускорение, соответствующее движению Земли по орбите (годовое вращение), гораздо меньше, чем центростремительное ускорение, связанное с суточным вращением Земли. Поэтому с достаточной точностью можно считать, что СО, связанная с Землей, вращается относительно инерциальных систем с постоянной угловой скоростью суточного ($t = 86400$ с) вращения Земли

$$\omega = \frac{2\pi}{86400} = 0,7292 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}.$$

Если не учитывать вращение Земли, то тело, лежащее на ее поверхности, следует рассматривать как покоящееся, сумма действующих на это тело сил равнялась бы тогда нулю. На самом же деле любое тело на поверхности Земли, лежащее на географической широте φ (рис. 2.2), движется около оси земного шара, т.е. по кругу радиуса

$$r = R_3 \cos \varphi$$

(R_3 – радиус Земли, рассматриваемой в первом приближении в виде шара), с угловой скоростью ω . Следовательно, сумма сил, действующих на тело, отлична от нуля, равна

$$F_{цб} = m \omega^2 R_3 \cos \varphi. \quad (2.9)$$

Сила $F_{цб}$ направлена перпендикулярно земной оси, это центробежная сила инерции.

Следует помнить, что центробежные силы, как и всякие силы инерции, существуют лишь в ускоренно движущихся (вращающихся) СО и исчезают при переходе к ИСО.

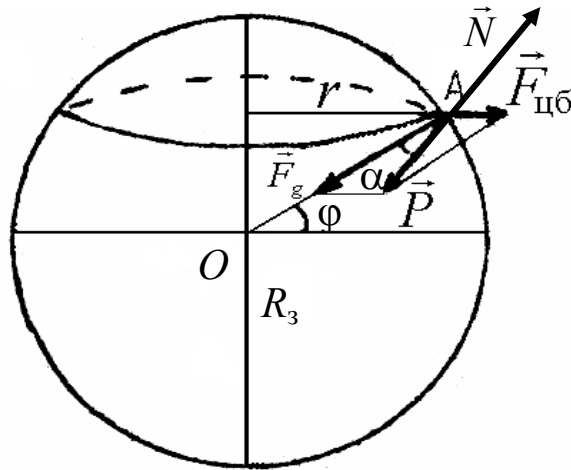


Рис. 2.4

Наблюдаемое относительно Земли ускорение свободного падения тел \vec{g} будет обусловлено действием двух сил: \vec{F}_g , с которой тело притягивается Землей (сила гравитационного притяжения Земли), и $\vec{F}_{цб}$ (рис. 2.4). Результирующая этих двух сил

$$\vec{P} = \vec{F}_g + \vec{F}_{цб}$$

есть сила тяжести

$$\vec{P} = m \vec{g}. \quad (2.10)$$

Отличие силы тяжести \vec{P} от силы притяжения к Земле \vec{F}_g невелико, т.к. центробежная сила инерции значительно меньше, чем \vec{F}_g . Так, для массы в 1 кг $F_{цб} = m\omega^2 R_3 \approx 0,035$ Н, в то время как $F_g = 9,8$ Н, т.е. почти в 300 раз больше, чем максимальное значение центробежной силы инерции (наблюдающееся на экваторе).

На полюсах ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) $\vec{F}_{цб} = 0$, а на экваторе ($\varphi = 0$) $\vec{F}_{цб} = m\omega^2 \vec{R}_3$.

Угол α между направлением \vec{F}_g и \vec{P} можно оценить, воспользовавшись теоремой синусов

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} = \frac{F_{цб}}{P} = \frac{m\omega^2 R_3 \cos \varphi}{mg},$$

заменяя синус малого угла приближенно значением самого угла, получим

$$\alpha \approx 0,0018 \sin 2\varphi.$$

Таким образом, в зависимости от географической широты φ угол α колеблется в пределах от 0 (на экваторе, где $\varphi = 0$ и на полюсах, где $\varphi = 90^\circ$) до 0,018 рад или $6'$ (на широте 45°).

Следовательно, во всех точках земной поверхности, за исключением полюсов, сила тяжести тела меньше силы его гравитационного притяжения к Земле. Так, на экваторе $F_g - P = 0,003F_g$. Кроме того, везде, кроме полюсов и экватора, вектор \vec{P} не перпендикулярен поверхности Земли. Вследствие суточного вращения Земли сила тяжести тела максимальна на полюсах, где она равна силе тяготения, и минимальна на экваторе.

Если бы Земля была правильным шаром со сферически симметричным распределением вещества в нем, то \vec{F}_g должна была бы быть одной и той же на полюсе и на экваторе. В действительности на экваторе \vec{F}_g меньше, чем на полюсе. Это объясняется сплюснутостью Земли, обусловленной действием центробежных сил. Точки экватора отстоят от центра Земли дальше, чем полюсы. Поэтому они притягиваются к центру Земли слабее, чем такие же точки на полюсе.

Ускорение свободного падения g меняется с широтой в пределах от $9,780 \text{ м/с}^2$ на экваторе до $9,832 \text{ м/с}^2$ на полюсах. На широте 45° оно равно $9,80665 \text{ м/с}^2$ и называется «нормальным» ускорением.

Ускорение свободного падения g является основной величиной, используемой в гравиметрии – науке о земном поле силы тяжести и его связи с фигурой Земли, ее внутренним строением и строением земной коры. Изучение гравитационного поля Земли позволяет решить многие задачи геодезии и геофизики. Поскольку аномалии силы тяжести вызываются неравномерным распределением масс в земной коре, по характеру гравитационного поля можно судить о наличии изменений плотностей в районе исследования; так, возможно обнаружить различные геологические структуры и залежи полезных ископаемых. Периодические изменения g позволяют судить о приливных явлениях в твердой оболочке Земли, что в свою очередь дает возможность сделать выводы об упругих свойствах Земли.

Воспользовавшись уравнением (2.10) и пренебрегая влиянием суточного вращения Земли, найдем

$$g = \frac{P}{m} = \gamma \frac{M_3}{R^2} = \gamma \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}, \quad (2.11)$$

где R_3 – радиус поверхности Земли, h – расстояние от центра тяжести тела до поверхности Земли.

Из (2.11) следует, что:

а) ускорение свободно падающего тела не зависит от массы, размеров и других характеристик тела, поэтому все тела свободно падают (в отсутствии сил сопротивления среды) с одинаковыми ускорениями;

б) при удалении от поверхности Земли ускорение свободно падающего тела изменяется по закону

$$\frac{g_0}{g} = \left(\frac{R}{R_3}\right)^2 = \left(\frac{R_3 + h}{R_3}\right)^2 = \left(1 + \frac{h}{R_3}\right)^2,$$

где g и g_0 – ускорения тела при его свободном падении соответственно на высоте h и у поверхности Земли.

Вблизи поверхности Земли $h \ll R_3$ и

$$\frac{g_0}{g} \approx 1 + \frac{2h}{R_3},$$

т.е. с подъемом на 1 км ускорение силы тяжести уменьшается приблизительно на 0,03%.

Измерить ускорение свободного падения можно при помощи:

а) математического маятника;

б) оборотного маятника, для которого возможно измерить приведенную длину l и период T , а затем определить g из соотношения

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

в) наблюдением свободного падения тел, при котором путь h , пройденный телом за время t , связан с g соотношением

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

В данной работе использован последний метод определения g .

3. Экспериментальная часть

3.1. Описание лабораторной установки

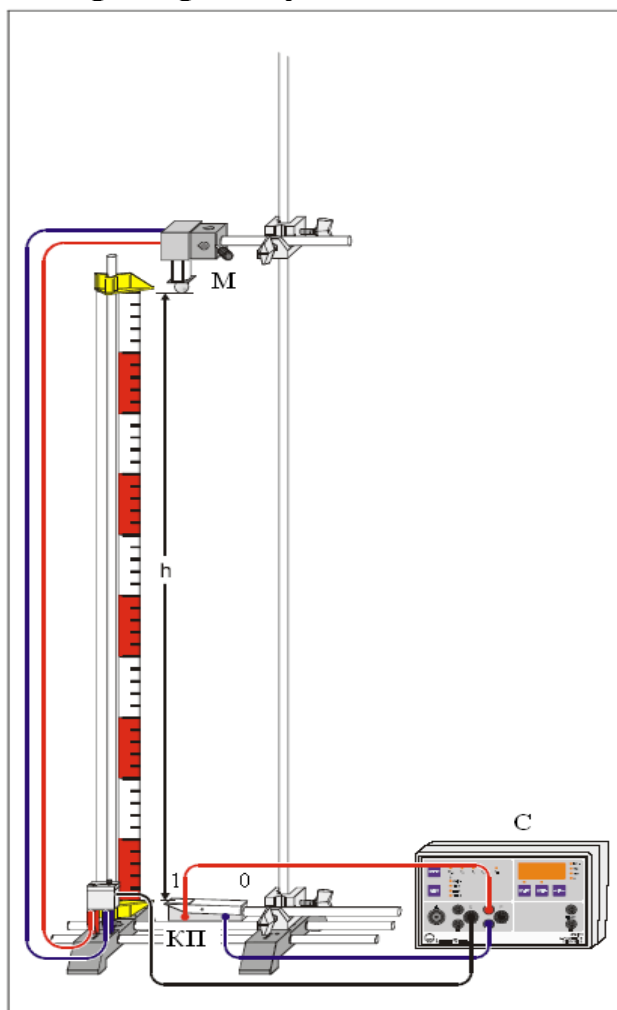


Рис. 3.1

Экспериментальная установка

Установка для проведения опыта состоит из рейки длиной $h=1$ м с делениями. Электромагнит (М) служит для удержания стального шарика. Вдоль рейки может перемещаться ползунок с контактной поверхностью (КП) автоматически (при ударе шарика) выключающей секундомер С. Устанавливая КП на различную высоту вдоль рейки (рис. 3.1), можно изменять высоту падения h шарика. Таким образом, определяя время падения шарика с различных высот, можно опытным путем найти ускорение свободного падения g .

3.2. Требования к технике безопасности

Для питания экспериментальной установки используется бытовая электросеть 220 В. Подсоединение установки к сети

осуществляется проводом с двухполюсной вилкой. Все токоведущие части установки закрыты, что исключает их случайное касание. Вся установка заземлена.

При выполнении работы необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием.
2. Проверить заземление установки и исправность токоведущих проводов, о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.
3. Не загромождать рабочее место посторонними предметами.
4. Не оставлять без присмотра работающую лабораторную установку.
5. По окончании работы, отключить выключателем питание установки, вынуть вилку из розетки и привести в порядок рабочее место.

3.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомьтесь с установкой и порядком выполнения работы.

Порядок выполнения работы:

- а) установить электромагнит M на некоторой произвольной высоте h ;
 - б) включить электросекундомер C в сеть;
 - в) установить на электросекундомере C функцию t_E нажатием кнопки $MODE$;
 - г) установить контактную поверхность в положение 1 (см. рис. 3.1);
 - д) нажать кнопку $START$ на электросекундомере C ;
 - е) закрепить шарик на электромагните M ;
 - ж) перевести контактную поверхность КП в положение 0 (после чего шарик приходит в состояние свободного падения);
 - з) при ударе о КП шарик приводит ее в положение 1;
 - и) снять показания с секундомера;
 - к) вернуть систему в исходное состояние.
2. Повторить измерения еще 4 раза.
 3. Установить электромагнит на 3 различных значениях высоты падения h и измерить время падения шарика. При каждом значении высоты опыт повторить 5 раз.
 4. По полученным результатам измерений вычислить ускорение свободного падения g .
 5. Результаты измерений внести в таблицу.

6. Вычислить абсолютную и относительную погрешности определения g .

7. Окончательный результат записать в виде

$$g_{\text{ист}} = (g_{\text{ср}} \pm \Delta g) \text{ м с}^{-2}.$$

Таблица

№ измерения	h , м	t , с	t^2 , с ²	g , м/с ²	Δg , м/с ²	$g_{\text{ист}}$, м/с ²

4. Контрольные вопросы

1. Какое движение называется свободным падением?
2. Что такое ускорение?
3. Какие системы отсчета называются инерциальными и какие – неинерциальными?
4. Как проявляются силы инерции?
5. Почему ускорение свободного падения не одинаково в различных точках земной поверхности?
6. Почему два небольших диска одинакового диаметра (картонный и металлический) падают в воздухе с различными ускорениями?
7. Зависит ли g от размеров тела?
8. Почему ускорение, соответствующее движению Земли по орбите значительно меньше ускорения, связанного с суточным вращением?

Список литературы

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. Механика. К.1.-М.:Астрель АСТ, 2004.
2. Трофимова, Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007.
3. Курс физики. Учебник для вузов. Т.1. (под редакцией В.Н. Лазовского). – Спб.: Издательство «Лань», 2000.