

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ИНСТИТУТ**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
по курсу «Физика»**

Утверждаю
Методическое комиссией ФПО
Пр №__ от __ноября 2010 г.
Пр-ль ком. доц. Мисиров Ш.Ч.

МЕХАНИКА

**Составили: доцент. Зокиров К.К.
доцент. Мирсоатов Р.М.**

ТАШКЕНТ-2010

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Методическое указание содержит 3 лабораторные работы по механике предназначены для студентов бакалавров очной формы обучения. Перед выполнением лабораторных работ необходимо ознакомиться с «Введением», знать устройство и принцип действия измерительных приборов разработанных Польское республики по механике и молекулярной физике.

Настоящие указания состоят из двух частей. В первую часть включены работы по механике и термодинамике, разработанные на кафедре физики Ташкентского автомобильно-дорожного института. Вторая часть содержит работы по механике, разработанные и изготовленные в Польше.

Все работы отличаются от традиционных оригинальными техническими решениями, облегчающими проведение экспериментов и повышающими точность измерений. В частности, для измерения малых промежутков времени используются электронные секундомеры с автоматическим включением и отключением. Данные работы рекомендованы для выполнения хорошо успевающих студентам, так как требуют более вдумчивого подхода и более глубокой теоретической подготовки.

Выполнение лабораторной работы включает предварительную подготовку проведение экспериментов и составление отчета о результатах исследований.

При подготовке к выполнению работы необходимо изучить теоретическое введение, описание лабораторной установки и методы измерений, соблюдать указанный порядок выполнения экспериментальной и расчетной части работы. При проведении экспериментов необходимо строго выполнять все установленные в лаборатории правила техники безопасности.

Отчет о работе должен содержать название, цель работы, краткое описание лабораторной установки и методов измерений и расчетную часть, включающую таблицы измерений, графики, расчет искомых величин и их погрешностей.

Контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы, облегчают подготовку к защите работы. В конце указаний приведен список литературы, рекомендуемой для самостоятельной подготовки к выполнению лабораторных работ.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение каждой лабораторной работы проводится по следующей схеме:

1. Внимательно изучить описание лабораторной работы. Если есть необходимость изучить вопросы данной лабораторной работы в учебных пособиях, предложенных в конце методического указания.
 2. Ознакомиться с приборами и принадлежностями, которые необходимы для проведения работы и приступить к сборке установки в соответствии с описанием.
 3. Провести наблюдение и отсчеты. Все результаты измерений записать в таблицы, которые даны в конце каждой работы.
 4. Обработать результаты измерений: вычислить измеряемую величину. Дать погрешности измерений (Теория погрешностей приводится в методических указаниях « Физические основы классической механики »).
- Для отчета по лабораторной работе необходимо знать:

1. Цель и задачи данного исследования.
2. Метод, используемый в работе для определения той или иной исследуемой величины или какого-либо физического явления.
3. Порядок выполнения работы.
4. Теоретическую часть (определения, вывод формул, единицы измерения, физическое явление и его обоснование).

ЧАСТЬ 1.

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Цель работы

Экспериментально определить ускорение при свободном падении тела в поле тяготения Земли.

Приборы и принадлежности

Установка для исследования свободного падения (рис. I) с автоматической регистрацией времени полета, стальной шарик, линейка.

Теоретическое введение

В поле тяготения Земли на тело массой m действует сила тяжести $P=mg$. Под действием этой силы тело, поднятое над поверхностью Земли и предоставленное самому себе, свободно падает с ускорением свободного падения, g . Вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения зависит от широты местности. Это объясняется нешарообразностью формы Земли и влиянием суточного вращения Земли вокруг своей оси. Как показали расчеты и измерения, зависимость ускорения свободного падения от широты местности выражается формулой:

$$g_{\varphi} = g_0 \cdot \left(1 - \cos^2 \cdot \frac{\varphi}{180}\right), \quad (1)$$

где g_{φ} и g_0 - ускорение свободного падения на географической широте φ и на широте полюса ($\varphi = 90^\circ$) соответственно. Максимальное значение $9,83 \text{ м/с}^2$ g_{φ} имеет на полюсах Земли, а минимальное значение $9,78 \text{ м/с}^2$ - на экваторе, где $\varphi=0$.

В данной работе g_{φ} определяется по времени падения шарика с известной высоты. При свободном падении без начальной скорости и без учета сил трения о воздух тело движется равноускоренно по закону

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

где h - расстояние, пройденное телом за время t . Из соотношения (1) следует, что

$$\sqrt{\frac{g}{2}} = \frac{\sqrt{h}}{t}$$

Если измерить время падения шарика с различной высоты и построить график зависимости $\sqrt{h}$ от t , то получим прямую, тангенс угла наклона которой

к оси t будет равна $\sqrt{g/2}$. Определив тангенс угла наклона α по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{g}{2}} = \frac{\sqrt{h_2} - \sqrt{h_1}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

В которой t_1 - время падения шарика с высоты h_1 , а t_2 - с высоты h_2 , и приравняв его $\sqrt{g/2}$, найдем

$$g = 2 \left(\frac{\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}}{t_2 - t_1} \right)^2 \quad (3)$$

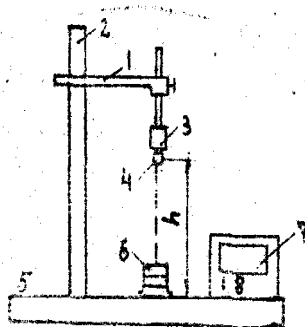


Рис. 1

Описание лабораторной установки

Установка для исследования свободного падения (рис.1) состоит из штатива на котором установлена, перемещающаяся платформа 1.

На платформе 1 укреплен электромагнит 3, удерживающий стальной шарик 4. На столе 5 установлены ловушки 6 для шарика, электронный секундомер 7 и тумблер включений 8. Ловушка предназначена для точной фиксации времени пролета шариком расстояния h . В ловушке установлены источник света и фототранзистор. Падающий в ловушку шарик прерывает световой поток, распространяющийся от лампы к фототранзистору, а последний отключает электронный секундомер. Секундомер включается тумблером, который одновременно отключает питание электромагнита и дает возможность шарiku свободно падать. Высота падения h изменяется путем перемещения электромагнита 3 и измеряется линейкой. Для удобства извлечения шарика из ловушки нижняя часть ловушки сделана подвижной. Устройство автоматической регистрации времени полета шарика обеспечивает погрешность измерения времени 0,01 с, т.е. $\Delta t = 0,01$ с.

Порядок выполнения работы

1. Установить платформу 1 на определенной высоте над ловушкой 6 и добиться, чтобы центр шарика и центр ловушки были расположены вдоль одной прямой. Секундомер установить в нулевое положение.
2. Включить секундомер, измерить время полета и данные $(h_i t_i)$ занести в таблицу измерений.
3. Повторить операции пп. 1 и 2 для пяти разных значений высоты падения h_i . Данные измерений занести в таблицу.
4. Построить график зависимости $\sqrt{h}$ от t .
5. Используя соотношение (2), определить тангенс угла наклона кривой к оси t по графику.
6. По формуле (3) вычислить g . Определить погрешности ускорения свободного падения.
7. Вычислить g_φ по теоретической формуле (1) для широты Харькова ($\varphi = 50^\circ$) и сравнить с найденным экспериментальным значением.

Контрольные вопросы

1. Что называется ускорением свободного падения?
2. Почему ускорение свободного падения зависит от широты местности?
3. По какому закону происходит свободное падение тел?
4. Как определяется ускорение свободного падений в данной работе?

Лабораторная работа №2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОГО И НЕУПРУГОГО УДАРОВ

Цель работы

Определить скорость пули и энергию диссипации при абсолютно неупругом ударе, а также коэффициент восстановления относительной скорости для частично упругого удара.

Приборы и принадлежности

Цилиндрический маятник со шкалой отсчета, наклонная трубка, стальная пуля, линейка.

Теоретическое введение

Ударом называется взаимное изменение состояния движения тел вследствие столкновения. Различают два предельных вида удара - абсолютно упругий и абсолютно неупругий. Удар, при котором механическая энергия тел не переходит в другие вида энергии, называется абсолютно упругим. Законы сохранения механической энергии и импульса для абсолютно упругого удара имеют вид

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}, \quad (4)$$

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2, \quad (5)$$

где m_1 и m_2 - масса первого и второго тел; V_1 и V_2 - скорости первого и второго тел до столкновения; U_1 и U_2 - их скорости после столкновения.

При неупругом ударе кинетическая энергия взаимодействующих тел полностью или частично переходит во внутреннюю энергию. Часть механической энергии, которая переходит в другие вида энергии, называется энергией диссипации (рассеяния).

При неупругом ударе закон сохранения механической энергии не выполняется, а имеет место закон сохранения полной энергии разных видов - механической и внутренней. Закон сохранения импульса выполняется.

Если удар был абсолютно неупругий, то тела после столкновения движутся с одинаковой скоростью $U = U_1 = U_2$, как одно тело с массой $m = m_1 + m_2$, и закон сохранения импульса имеет вид

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U. \quad (6)$$

Степень упругости удара удобно характеризовать коэффициентом восстановления K относительной скорости движения тел. Этот коэффициент равен отношению абсолютного значения относительной скорости взаимодействующих тел после удара $|U_2 - U_1|$ к абсолютному значению

относительной скорости до удара $|V_2 - V_1|$, и зависит только от упругих свойств соударяющихся тел:

$$K = \frac{|U_2 - U_1|}{|g_2 - g_1|}, \quad (7)$$

При абсолютно упругом ударе $K = 1$, при абсолютно неупругом ударе $K = 0$, во всех остальных случаях ($0 < K < 1$) удар называется частично упругим.

Описание лабораторной установки и методов исследований

Экспериментальная установка представляет собой цилиндрический маятник, подвешенный на четырех длинных нитях, обеспечивающих его отклонение в одной плоскости при центральном ударе пули (рис. 2). Стальная пуля приобретает скорость V , двигаясь под действием силы

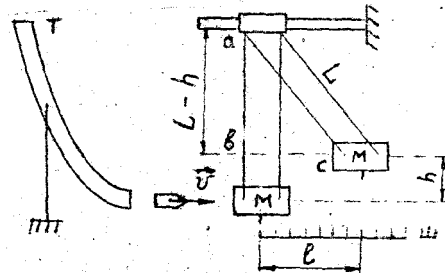


Рис. 2

тяжести внутри трубки T .

При столкновении пули и маятника последний отклоняется, совершая поступательное движение. Перемещение маятника l определяется по шкале III . Цилиндрический маятник с одной стороны полый и заполнен пластилином. При столкновении пули с пластилином совершается абсолютно неупругий удар. Если же цилиндрический маятник подвесить стальным основанием к пуле, то удар при столкновении маятника у пули будет частично упругим.

Рассмотрим абсолютно неупругое столкновение пули и маятника. После такого столкновения маятник вместе с пулей движутся со скоростью U . Отклоняясь, маятник и пуля поднимутся на высоту h , (рис. 2). Кинетическая энергия маятника и пули после удара перейдет в их потенциальную энергию:

$$\frac{(m + M) \cdot U^2}{2} = (m + M) \cdot gh, \quad (8)$$

где m - масса пули, г, $m = 10,4$; M - масса маятника, г, $M = 36,4$. Высоту подъема h можно определить из прямоугольного треугольника abc :

$$L^2 = (L - h)^2 + l^2 \Rightarrow h = L - \sqrt{L^2 - l^2}, \quad (9)$$

где L - длина нити.

Из соотношения (9), зная h , можно найти скорость пули и маятника после абсолютно неупругого удара

$$U = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g(L - \sqrt{L^2 - l^2})}, \quad (10)$$

Скорость пули V в момент удара определяется из закона сохранения импульса

$$mV = (m+M)U, \quad (11)$$

Подставляя значение U в (10), найдем

$$V = \frac{m+M}{m} \sqrt{2g(L - \sqrt{L^2 - l^2})}, \quad (12)$$

При неупругом ударе кинетическая энергия пули переходит, частично, а кинетическую энергию пули и маятника и частично рассеивается:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{(m+M)U^2}{2} + E_g, \quad (13)$$

где E_g - энергия диссипации. Из соотношения (13) следует:

$$E_g = \frac{mV^2}{2} - \frac{(m+M)U^2}{2}, \quad (14)$$

Рассмотрим частично упругий удар. После такого столкновения маятник движется со скоростью U_2 , а пуля - в противоположном направлении со скоростью U_1 . Из закона сохранения импульса $mV = MU_2 - mU_1$ можно определить скорость пули после удара

$$U_1 = \frac{M}{m} \cdot U_2 - U \quad (15)$$

Скорость маятника найдем из закона сохранения энергии после удара, учитывая соотношение (9),

$$\frac{MU_2^2}{2} = Mgh \Rightarrow U_2 = \sqrt{2g(L - \sqrt{L^2 - l^2})}, \quad (16)$$

Скорость пули до удара V не изменится и может быть найдена из соотношения (12).

Коэффициент восстановления относительной скорости (7) определяется из соотношения .

$$K = \frac{|U_2 - U_1|}{|V|}, \quad (17)$$

Следует отметить, что для определения скорости пули в момент удара нельзя воспользоваться равенством кинетической и потенциальной энергии пули, так как часть кинетической энергии рассеивается в результате трения пули о стенки трубки.

Порядок выполнения работы

1. Установить маятник горизонтально, повернув его пластином к трубке. Заметить на шкале начальное положение маятника.

2. Измерить длину нити L .

3. Опустить пулю острым концом в верхнее отверстие трубки и определить по шкале перемещение маятника l после абсолютно неупругого удара. Данные занести в таблицу. Опыт проделать пять раз и найти среднее значение отклонения.

4. По формулам (10), (12), (14) вычислить скорость пули в момент удара и энергию диссипации. Определить погрешности.

5. Развернуть маятник на 180° и установить его в горизонтальном положении. Заметить на шкале начальное положение маятника.

6. Опустить пулю тупым концом в верхнее отверстие трубки и определить по шкале перемещение маятника l после частично упругого удара. Данные занести в таблицу. Опыт проделать пять раз и найти среднее значение отклонения.

7. По формулам (15)-(17) определить скорости пули и маятника после частично упругого удара, а также коэффициент восстановления относительной скорости K . Найти погрешности K .

Контрольные вопросы и задания

1. Какое взаимодействие называется ударом?

2. Какой удар называется абсолютно упругим, абсолютно неупругим, частично упругим? Какие законы выполняются при этих ударах?

3. Что называется коэффициентом восстановления?

4. Получите из законов сохранения энергии и импульса скорость пули в момент удара и энергию диссипации при абсолютно неупругом ударе.

5. Получите соотношения для определения скорости пули и маятника после частично упругого удара.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЧАСТИЧНО УПРУГОГО УДАРА НА ПРИМЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ШАРОВ

Цель работы

Определить коэффициент восстановления относительной скорости и энергию диссипации при частично упругом соударении двух шаров.

Приборы и принадлежности

Лабораторная установка (рис. 3), линейка.

Теоретическое введение

В теоретическом введении к работе «Экспериментальное изучение неупругого и упругого ударов» даны основные сведения о всех разновидностях ударов и о коэффициенте Восстановления относительной скорости. При частично упругом соударении двух шаров, когда их скорости в момент удара равны и после удара равны друг другу по величине и противоположны по направлению, коэффициент восстановления можно определить по формуле

$$K = \frac{|U_2 - U_1|}{|V_2 - V_1|},$$

где U - скорость шара после удара, $U_1 = -U_2 = U$ - скорость шара в момент удара: $V_1 = -V_2 = V$.

Учитывая это можно записать

$$K = \frac{|U|}{|V|}, \quad (18)$$

Коэффициент восстановления зависит только от материала соударяющихся шаров. Величину K проще всего определить при центральном ударе шаров равной массы. Пусть два одинаковых шара висят на нитях равной длины l (рис. 3). Если оба шара отклонить на одинаковые углы α_0 и отпустить, то скорости их в момент соударения будут одинаковы. Нетрудно рассчитать величину этой скорости V , учитывая, что потенциальная энергия поднятого на высоту h шара перейдет в его кинетическую энергию

$$mgh = \frac{m\vartheta^2}{2}, \quad (19)$$

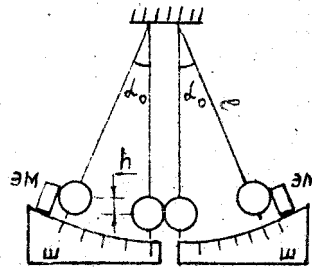


Рис. 3

В данном опыте проще измерить не высоту подъема h , а угол α_0 , на который был отклонен шар. Из рис. 3 следует, что

$$h = l - l \cos \alpha_0 = 2l \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}; \quad (20)$$

Если угол отклонения шаров достаточно мал, то можно принять

$$\sin^2 \frac{\alpha_0}{2} \approx \left(\frac{\alpha_0}{2}\right)^2.$$

Поэтому

$$h = 2l \left(\frac{\alpha_0}{2}\right)^2.$$

Учитывая это, найдем V из соотношения (19):

$$\vartheta = \sqrt{2gh} = \sqrt{\frac{4gl \cdot \alpha_0^2}{4}} = \alpha_0 \sqrt{gl}. \quad (21)$$

По аналогии можно определить и скорость шаров после удара, измерив величину угла α , на который отклонится любой из шаров после удара, т.е.

$$U = \alpha \cdot \sqrt{gl}. \quad (22)$$

Подставляя значение U (22) и V (21), в соотношение (16), найдем коэффициент восстановления скорости

$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}; \quad (23)$$

где α_1 - угол отклонения после первого соударения. Если α_1 -

незначительно отличается от начального угла α_0 , целесообразно измерить величину угла после нескольких соударений (2-5). В этом случае формула для коэффициента восстановления изменится.

После первого соударения $K = \alpha_1 / \alpha_0$;

После второго соударения $K = \alpha_2 / \alpha_1$;

После третьего соударения $K = \alpha_3 / \alpha_2$;

После любого n соударения $K = \alpha_n / \alpha_{n-1}$;

Перемножив все эти равенства, получим

$$K^n = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\alpha_3}{\alpha_2} \dots \frac{\alpha_n}{\alpha_{n-1}} = \frac{\alpha_n}{\alpha_0},$$

Откуда

$$K = \sqrt[n]{\frac{\alpha_n}{\alpha_0}}. \quad (24)$$

Частично упругий удар сопровождается, как известно, диссипацией (рассеянием) энергии: часть механической энергии переходит в другие виды энергии - энергию остаточной деформации и внутреннюю (тепловую) энергию. Энергию диссипации Eg одного шара, относящуюся к одному соударению, можно выразить через коэффициент восстановления K . Для этого запишем закон сохранения энергии для, частично упругого удара двух одинаковых шаров:

$$\frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} = \frac{mU_1^2}{2} + \frac{mU_2^2}{2} + 2Eg.$$

Учитывая, что $|V_1| = |V_2| = |V|$, $|U_1| = |U_2| = |U|$,

получим

$$mV^2 = mU^2 + 2Eg.$$

Откуда

$$Eg = \frac{mV^2}{2} \left(1 - \frac{U^2}{V^2}\right).$$

Учитывая (18), (21), имеем

$$Eg = \frac{m\alpha_0^2 \cdot \lg}{2} (1 - K^2). \quad (25)$$

Описание лабораторной установки

На лабораторной установке (рис. 3) два стальных шара расположены на бифилярных подвесах, что обеспечивает их взаимодействие в одной плоскости. Шары удерживаются в отклоненном положении двумя электромагнитами (ЭМ), обмотки которых подключаются к источнику питания одним выключателем. Электромагниты могут перемещаться, их положение фиксируется винтами. Углы отклонения шаров от положения равновесия отсчитываются по шкалам *III* в градусах. При отключении питания электромагнитов шары начинают двигаться друг к другу под действием силы тяжести.

Порядок выполнения работы

1. Установить электромагниты так, чтобы шары были отклонены на одинаковый угол α_0 . Включить питание электромагнитов и отклонить шары так, чтобы они удерживались электромагнитами при натянутой нити. Измерить длину нити l .

2. Выключателем отключить питание электромагнитов и определить угол отклонения α_n после нескольких соударений ($n = 2 - 5$). Записать в таблицу измерений угол α_n отклонения шаров после последнего соударения и число соударений. Повторить опыт четыре раза и найти среднее значение α_n .

3. Прodelать операции, указанные в пп. 1, 2 пять раз для разных значений начальных углов отклонения α_0 . Данные занести в таблицу.

4. Рассчитать по формуле (24) коэффициенты восстановления скорости K для всех заданных начальных углов отклонения. Найти среднее значение K и погрешности метода его измерения.

5. Для всех значений начального угла отклонения, при которых определялся K , посчитать энергию диссипации по формуле (25). Найти погрешности.

6. Рассчитать скорость V шара в момент удара при всех значениях начального угла α_0 по формуле (21).

7. По полученным данным, построить зависимость $Eg(V)$.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется коэффициентом восстановления относительной скорости при ударе? Как он определяется в данной работе и от чего зависит?

2. Какие законы динамики выполняются при абсолютно упругом и неупругом ударах?

3. Что называется энергией диссипации?

4. Получите соотношение для определения энергии диссипации.

Содержание

1.	Работа № 1. Исследование свободного падения	6
2.	Работа № 2. Экспериментальное изучение упругого и неупругого ударов.....	10
3.	Работа № 3. Исследование закономерностей частично упругого удара на примере взаимодействия шаров.....	14

Литература

1. И.В. Савельев «Курс общей физики» ТГ 1-3. «Наука» 1989-1992 г.
2. С. Калашников «Электричество»
3. Т.И. Трофимова « Курс общей физики» М. «Высшая школа» 1990 г.
4. Д.В. Сивухин «Общий курс физики» ТГ 1-5, М. «Наука» 1977-1990 г.
5. А.А. Детлаф, Б.И. Яворский «Курс физики» М. «Высшая школа» 1989 г.