Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва» в г. Белово

Кафедра горного дела и техносферной безопасности

**ИЗУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНО УПРУГОГО УДАРА ШАРОВ**

Методические указания для выполнения

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Составитель: С.В. Белов

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 6 от 18.02.2020

Рекомендованы к печати

методическим советом филиала

КузГТУ в г. Белово

Протокол № 8 от 25.03.2020

Электронная копия находится в методическом кабинете филиала КузГТУ в г. Белово

### 

*Белово 2020*

### ИЗУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНО УПРУГОГО УДАРА ШАРОВ

### **1. Цель работы**: а) изучить способ определения скорости тел до и после удара на основе законов сохранения; б) убедиться в выполнении третьего закона Ньютона при упругом ударе тел.

**2. Подготовка к работе:** прочитать в учебниках [1] 9, 27-28 , [2] 3.4, 5.1, 5.2. и [3]  6, 9, 13,15.

Для выполнения работы студент должен знать: а) законы Ньютона; б) законы сохранения импульса и энергии; в) применение законов сохранения импульса и энергии для расчета скоростей при центральном упругом ударе; г) понятие неупругого удара, потери энергии при неупругом соударении; д) коэффициент восстановления.

# **3. Выполнение работы**

**3.1. Описание лабораторной установки**

Установка для изучения ударов шаров (рис. 1) представляет собой основание 1, которое располагается строго горизонтально с помощью регулировочных винтов 2. На основании смонтирована стойка 3 с двумя кронштейнами: верхним 4 и нижним 5. На верхнем кронштейне укреплены подвески 6, к которым на нитях подвешены шары 7. На нижнем кронштейне закреплен электромагнит 8 и две шкалы 9 для измерения углов отклонения шаров. Подвески устанавливаются так, чтобы в положении равновесия шары лишь слегка касались друг друга. При этом указатели положения шаров должны находиться над нулевыми делениями шкал, которые можно смещать относительно кронштейна 5. Центральности удара добиваются путем перемещения подвесок нитей вдоль стержней, на которых они укреплены.

Время упругого удара шаров измеряется с помощью микросекундомера.



Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения упругого удара шаров:

1 – основание; 2 – регулировочный винт; 3 – стойка; 4, 5 – верхний и нижний кронштейны; 6 – подвески; 7 – шары; 8 – электромагнит; 9 – шкала.

**3.2. Методика измерений и расчёта**

Удар называется центральным, если скорости тел до и после удара направлены вдоль прямой, соединяющей их центры масс. Различают два предельных вида удара: неупругий и абсолютно упругий.

*Неупругим* называется такой удар, в результате которого в телах остается остаточная деформация, а после удара тела движутся вместе с одинаковой скоростью, например, удар пластилиновых шаров. При неупругом ударе закон сохранения механической энергии не выполняется, часть механической энергии переходит во внутреннюю, за счет этой энергии совершается работа деформации.

Если после удара деформации тел исчезают, а тела расходятся, то удар является упругим. Удар называется *абсолютно упругим*, если после удара тела полностью восстанавливают свою первоначальную форму, то есть в телах не остается никакой остаточной деформации. Другими словами, при абсолютно упругом ударе механическая энергия соударяющихся тел не переходит в другие виды энергии, она сохраняется.

Если на рис. 1 правый шар меньшей массы  отвести от положения равновесия на угол  и отпустить его, то проходя через положение равновесия со скоростью  этот шар столкнется с неподвижным шаром массой .

Покажем, что зная массы и скорости шаров перед ударом, можно рассчитать их скорости после удара при абсолютно упругом ударе тел.

**3.2.1. Методика расчета скорости шаров**



Так как удар – это кратковременный процесс, то изменением импульса системы тел «шар массой  – шар массой » под действием внешних сил (силы тяжести, силы натяжения нити) за время удара можно пренебречь и считать, что выполняется закон сохранения импульса

. (1)

В проекции на ось  закон coхранения импульса запишется так:

. (2)

Согласно закону сохранения механической энергии

. (3)

Если в уравнениях (2) и (3) перенести влево члены с индексом «1», а вправо с индексом «2», затем разделить одно уравнение на другое, то, применив метод подстановки получим следующие выражения для теоретического значения скоростей шаров после удара:

 (4)

**3.2.2.** **Расчет скоростей шаров после упругого удара по результатам экспериментальных измерений**

Покажем, что, зная максимальный угол отклонения шара от положения равновесия до и после удара, можно определить скорость его в момент прохождения положения равновесия, то есть перед ударом, а также непосредственно после удара.

Пусть шар массой  подвешен на нити длиной  и отклонен от положения равновесия на угол  (рис. 3). После удара нить с шаром массой  отклоняется на угол , а нить с шаром массой  – на угол . Найдем связь угла отклонения нити и скорости шара в положении равновесия (рис. 3).

Примем потенциальную энергию  шара в положении равновесия равной нулю. При отклонении нити на угол α центр масс шара поднимается на высоту *h* и потенциальная энергия принимает значение *Wph* = *mgh*, где *h* находится из геометрических соотношений:

,

,

т.е. .



Кинетическая энергия в этом положении равна нулю *Wкh* = 0, а в положении равновесия 

При переходе из крайнего правого положения в положение равновесия действуют только консервативные силы, поэтому механическая энергия на высоте *h* равна механической энергии в положении равновесия:

.

Откуда

 . (5)

Таким образом, определив экспериментально углы отклонения шаров, можно рассчитать их скорости:

 ; (6)

 ; (7)

 . (8)

**3.2.3. Коэффициент восстановления**

Важной характеристикой удара является коэффициент восстановления скорости , равный отношению относительной скорости тел после удара к их относительной скорости перед ударом

. (9)

Но

 и . (10)

Для абсолютно упругого удара (рис. 2) в проекции на ось  выражения (10) запишутся в виде

 т.к. , а .

Тогда

. (11)

Используя выражения (4), получим, что для абсолютно упругого удара .

Для неупругого удара , так как , поэтому .

На практике для всех тел . Если для сталкивающихся тел , то тела являются неупругими, если , то тела – абсолютно упругие. Таким образом, расчет коэффициента восстановления в результате реального удара позволяет оценить, насколько удар близок к абсолютно упругому. Например, если , то с погрешностью 5 % данный удар можно считать абсолютно упругим.

**3.3. Порядок выполнения работы**

**3.3.1. Порядок работы на установке**

1. Убедитесь в правильности настройки установки:

а) шары едва касаются друг друга так, что отклонение одного из них не вызывает смещение другого;

б) центры обоих шаров лежат на одной горизонтальной прямой и в одной плоскости с осью электромагнита;

в) указатели шаров расположены над нулевыми делениями шкал.

1. Включите сетевой шнур установки в сеть и нажмите клавишу “Сеть”. При этом включится электромагнит, который удерживает отклоненный на угол *α*1 правый шар массой *m*1.

3. Нажмите клавишу “Старт” – электромагнит отключается, шар массой *m*1 сталкивается с шаром массой *m*2, время удара фиксируется микросекундомером. Шары после удара разлетаются в разные стороны на углы *β*1 и *β*2, соответственно.

4. Чтобы повторить опыт, нажмите на клавишу “Стоп” для обнуления показаний микросекундомера при этом вновь включится электромагнит.

**3.3.2. Задание 1. Изучение упругого удара шаров и определение коэффициента восстановления *К***

1. Изучить инструкцию к работе и ответить на контрольные вопросы.

2. Измерить длину нити  от оси подвеса до центра масс шара, угол *α*1 (задается преподавателем и одинаков для пяти опытов) отклонения нити в момент времени, когда шар массой *m*1 удерживается электромагнитом.

3. По формуле (6) найти скорость шара , по формулам (4) найти теоретические значения скоростей *u*1*Т* и *u*2*Т* шаров после удара. Результаты расчетов занести в таблицу 1.

 = м; *m*1 = кг; *m*2 = кг.

4. По формулам (7) и (8) вычислить углы отклонения нити *β*1*Т* и *β*2*Т* после удара шаров.

5. Измерить и записать в таблицу углы *β*1*э* и *β*2*э* отклонения нитей после удара шаров и время *τ* их соударения. Найти средние значения  и . Сравнить экспериментальные и теоретические значения углов отклонения нитей и рассчитать их относительное расхождение по формулам

** и **.

Таблица 1

Результаты измерения углов отклонения нитей и вычисления коэффициента восстановления *К*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | *К* |  |  |
| град | град | град | ×10–6 с | м/с | м/с | м/с | град | град | % | % |  | н | Н |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| Средние  значения | |  |  |  |

6. По формулам (7) и (8) рассчитать экспериментальные значения скоростей *u*1*э* и *u*2*э* шаров после удара по измеренным значениям *β*1*э* и *β*2*э*.

Найти коэффициент восстановления *К* по формуле

 .

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Сделать выводы.

**3.3.3. Задание 2. Проверка выполнимости третьего закона Ньютона при упругом ударе шаров**

1. Найти изменение импульсов шаров при ударе в проекции на ось  (рис. 2):

; .

1. Найти среднее значение времени удара .

3. Вычислить среднее значение силы, действующей на каждый из шаров, со стороны другого шара по формулам:

 

Сравнить  и  и сделать вывод.

4. Оценить величину механической энергии, перешедшей в другие виды энергии.



**4. Контрольные вопросы**

1. Что называют ударом?

2. Какой удар называется центральным?

3. Что называют коэффициентом восстановления?

4. Почему можно полагать, что закон сохранения импульса выполняется для удара? Сформулируйте этот закон.

5. Какие силы называются консервативными? Какие из сил, действующих на шарик, консервативные?

6. Какие силы называются диссипативными?

7. Назовите виды механической энергии. Имеют ли кинетическая и потенциальная энергия абсолютное значение?

8. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.

9. Какой удар называют абсолютно упругим? Какие законы сохранения выполняются для абсолютно упругого удара? Запишите эти законы для центрального удара гладких шаров.

10. В какие виды энергии переходит механическая энергия, если коэффициент восстановления *К* < 1?

11. Каким будет удар, если коэффициент восстановления *К* = 0? Найдите скорости тел после этого удара.

12. Примените закон сохранения механической энергии для процесса перехода шарика из крайнего правого положения в положение равновесия.

13. Как найти среднее значение силы при упругом ударе?

**5. Список рекомендуемой литературы**

1. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах/ И.В. Савельев. — 13-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, [б.г.]. — Том 1: Механика. Молекулярная физика — 2019. — 436 с.

URL: <https://e.lanbook.com/book/113944?category=918>

2. Детлаф, А.А. Курс физики: учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 720 с.

3. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов. – Изд. 18-е, испр. – М.: Издат. центр «Академия», 2010. – 560 с.

Составитель

Белов Сергей Викторович

### ИЗУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНО УПРУГОГО УДАРА ШАРОВ

Методические указания для выполнения

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Отпечатано на ризографе.

Тираж экз.

Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. 652644, г. Белово, ул. Ильича 32-а