

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экспериментальной и общей физики

Лабораторная работа № 5

«ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СТОЛКНОВЕНИЯ ТЕЛ»

Лаборатория № 210

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СТОЛКНОВЕНИЯ ТЕЛ

Цель работы: ознакомиться с явлением удара на примере соударения подвешенных на нитях шариков.

Оборудование: измерительная установка, набор шариков, технические часы.

Т е о р и я

В механике под ударом следует понимать кратковременное взаимодействие двух или более тел, возникающих в результате их соприкосновения. При соударении друг с другом они претерпевают деформацию. При этом кинетическая энергия, которой обладают тела перед ударом, частично или полностью переходит в потенциальную энергию упругой деформации и во внутреннюю энергию тел. Существует два предельных вида удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий. *Абсолютно упругим* называется такой удар, при котором механическая энергия тел не переходит в другие, немеханические, виды энергии. *Абсолютно неупругий удар* характеризуется тем, что потенциальная энергия деформации не возникает, кинетическая энергия тел полностью или частично превращается во внутреннюю энергию.

Абсолютно упругих ударов в природе не существует, так как всегда часть энергии затрачивается на необратимую деформацию тел и на увеличение их внутренней энергии. Однако, для некоторых тел, например, стальных шаров потерями механической энергии можно пренебречь.

В настоящей работе рассматривается удар шаров, подвешенных в виде маятников, причем один шар до удара покоится ($v_1 = 0$). Удар происходит в положении, соответствующем равновесию тел, и является *центральной и прямым*. Это значит, что при ударе центры тяжести тел лежат на линии удара, а их относительная скорость параллельна линии удара.

Примеряя к ударяющимся шарам закон сохранения импульса, можно написать: для абсолютно упругого удара -

$$m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (1,а)$$

и для абсолютно неупругого удара -

$$m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_1'' \quad (1,б)$$

Здесь m_1, m_2 - массы шаров, v_1', v_2' - скорости шаров после упругого удара, v_1'' - общая скорость шаров после абсолютного неупругого удара.

Рассмотрим центральный абсолютно упругий удар двух шаров.

Силы, возникающие при деформации шаров, в процессе соударения меняются во времени. Найдем среднюю по времени силу, действующую на один из шаров. По определению средняя сила равна

$$\langle \vec{F} \rangle = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} dt \quad (1)$$

Согласно второму закону динамики $F = dP / dt$, тогда

$$\langle \vec{F} \rangle = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} dP = \frac{\vec{P}_1 - \vec{P}_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta \vec{P}}{\tau} \quad (2)$$

где \vec{P}_0 - импульс шара до удара,

\vec{P}_1 - импульс шара после удара,

$t_1 - t_0 = \tau$ - время соударения.

Модуль средней силы

$$\langle F \rangle = \Delta P / \tau \quad (3)$$

Если первый шар до удара покоился ($P_0 = 0$), то $\Delta P = P_1$. Если массы шаров одинаковы ($m_1 = m_2$), то $\vec{P}_1 = \vec{P}_2$, т.е. второй шар при ударе весь свой импульс передает первому шару и останавливается.

Тогда

$$\langle F \rangle = P_2 / \tau = m_2 v_2 / \tau \quad (4)$$

При известной массе шаров среднюю силу удара $\langle F \rangle$ всегда можно вычислить, зная скорость шара v_2 в момент, непосредственно предшествующий соударению, и время соударения τ .

Скорость шара непосредственно перед ударом v_2 можно определить по углу α отклонения шара от положения равновесия (рис. 1). Шар, отведенный от положения равновесия на угол α , обладает запасом потенциальной энергии $E_n = mgh$. Эта энергия к моменту удара полностью переходит в кинетическую $E_k = mv_2^2/2$, следовательно, $mgh = mv_2^2/2$, отсюда

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

где h - высота подъема шара в крайнем положении.

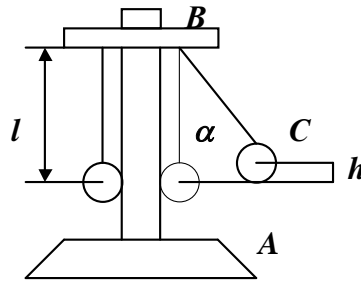


Рис. 1.

Из $\triangle ABC$ (рис. 1) следует: $l - h = l \cos \alpha$, откуда $h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2(\alpha/2)$. Подставляя h в уравнение (5) получим

$$v_2 = 2 \sqrt{gl} \cdot \sin^2(\alpha/2). \quad (6)$$

Подобным образом можно записать выражения для скоростей

$$\begin{aligned}
 v_1' &= 2 \sqrt{gl} \cdot \sin^2(\alpha_1'/2), \\
 v_2' &= 2 \sqrt{gl} \cdot \sin^2(\alpha_2'/2), \\
 v_1'' &= 2 \sqrt{gl} \cdot \sin^2(\alpha_1''/2),
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где α_1' , α_2' - углы отклонения шаров после упругого удара, а α_1'' - угол отклонения первого шара после абсолютно неупругого удара.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

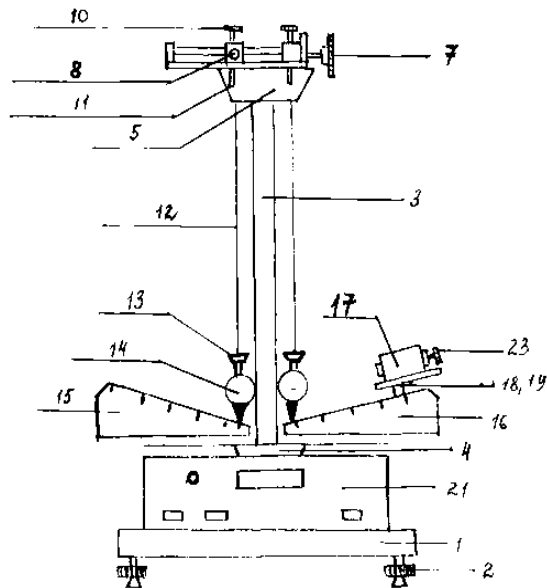


Рис. 2.

Общий вид прибора для исследования столкновения шаров представлен на рис. 2. Основание *1* оснащено регулируемыми ножками *2*, которые позволяют произвести выравнивание прибора. В основании закреплена колонка *3*, к которой прикреплен нижний кронштейн *4* и верхний *5*. На верхнем кронштейне прикреплены кронштейны со стержнями *6* и вороток *7*, служащий для установки расстояния между шарами. На стержнях *6* помещены передвигаемые держатели *8* с втулками *9*, фиксированные при помощи болта *10* и приспособленные к креплению подвесов *11*. Через подвесы *11* проведены провода *12*, подводящие напряжение к подвесам *13*, а через них к шарам *14*. После отвинчивания винтов в подвесах *13* можно установить длину подвески шаров. На нижнем кронштейне закреплены угольники со шкалами *15*, *16*, а на специальных направляющих - электромагнит *17*. После отвинчивания болтов *18*, *19* электромагнит можно передвигать вдоль правой шкалы и фиксировать высоту его установки. Силу электромагнита можно регулировать воротком *23*. Угольники со шкалами также могут передвигаться вдоль нижнего кронштейна. Для изменения их положения надо опустить гайки *2*, подобрать положение угольников, а затем довинтить гайки. К основанию прибора

привинчен микросекундомер **21**, передающий разъем **22** напряжение к шарам и электромагниту.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Гайки подвесов **B** переместить максимально вверх, а затем на подвесы навинтить два произвольно выбранных шара.

2. Вращая воротком **7**, помещенным на верхнем кронштейне, установить такое расстояние между стержнями **6**, чтобы шары соприкасались друг с другом.

3. Опустить болты **10** и переместить держатели **8** в положение, в котором лезвия подвесов **B** будут находиться в одной плоскости с угольниками со шкалами **15, 16**. Затянуть болты **10**.

4. Опустить винты подвесов **A11** и установить такую длину проводов **12**, чтобы на высоте угловых шкал находились только лезвия подвесов **B**, а черточки на шарах находились на одном уровне, затянуть винты подвесов **A**.

5. Произвести корректировку осевой установки шаров. Для этой цели шар, который занял высшее положение, легко вывернуть, доводя до равенства уровней черточек на шарах, и затянуть гайку подвесов **B**. Диапазон возможной корректировки $0 \div 4$ мм.

6. Опустить гайки **20** и таким образом установить угольники **15, 16**, чтобы лезвия подвесов **B** в момент, когда шары занимают положение покоя, показывали на шкалах нуль. Затянуть гайки **20**.

7. Опустить болты **18, 19**. Установить электромагнит на избранном расстоянии от начала шкалы и на такой высоте, чтобы его ось была удлинением черточки на шаре. Затянуть болты **18, 19**.

8. Включить микросекундомер в сеть.

9. Нажать клавишу “СЕТЬ” микросекундомера.

10. Отжать клавишу “ПУСК”.

11. Воротком **23** отрегулировать силу электромагнита, чтобы он удержал шар.

12. Правый шар отодвинуть в сторону электромагнита и заблокировать в этом положении, левый - установить неподвижным в положении покоя.

13. Прочитать значение угла.

14. Нажать клавишу “СБРОС”.

15. Нажать клавишу “ПУСК”.

16. После столкновения шаров наблюдать на какое угловое расстояние α_1' и α_2' или α_1'' отскочат шары. Прочитать продолжительность столкновения шаров.

Столкновение должно быть центральным, т.е. траектория движения шаров после столкновения должна находиться в плоскости движения правого шара до столкновения.

17. Измерения углов отражения α_1' , α_2' или α_1'' и продолжительности столкновения произвести не менее 5 раз и на их основании определить средние значения углов и времени по следующим формулам:

$$\alpha_1' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{1i}' \quad (8)$$

$$\alpha_2' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{2i}' \quad (9)$$

$$\alpha_1'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{1i}'' \quad (10)$$

$$\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (11)$$

где α_1' , α_2' , α_1'' - среднее значение угловых расстояний после столкновения шаров,

τ - среднее значение продолжительности столкновения,

n - количество выполненных измерений,

α_{1i}' , α_{2i}' или α_{1i}'' - значения, полученные в i -ом измерении.

18. При помощи мерной ленты определить длину подвески шаров, как кратчайшее расстояние между стержнем верхнего кронштейна и центром шара. Измерения выполнить с точностью ± 2 мм.

19. По формулам (6) и (7) определить скорости шаров до и после столкновения.

20. На аналитических весах взвесить шары и найти массы шаров вместе с подвесами **B**.

21. Масса подвеса **B** равна 20,5 г.

22. Требуемая точность измерений m_1 и m_2 - 0,1 г.

З А Д А Н И Е

1. Для двух пар металлических шаров, используя формулу (4), определить среднюю силу удара $\langle F \rangle$ при различных углах отклонения α_2 шара от положения равновесия.

Для каждого угла α_2 измерения времени соударения τ провести три раза. Взять не менее пяти значений углов.

Относительную скорость шаров v_2 вычислить по формуле (6).

Результаты измерений записать в таблицу 1.

Таблица 1.

№ п/п	m , кг	l , м	α_2	v_2 , м/с	Δv_2 , м/с	τ_1 , с	τ_2 , с	τ_3 , с	τ_{cp} , с	$\Delta \tau$, с	$\Delta \tau_{cp}$, с	$\langle F \rangle$, Н	$\Delta(\langle F \rangle)$, Н	δ , %
1.														
2.														
3.														
4.														
5.														

$$\Delta m = \dots \text{ кг}, \quad \Delta l = \dots \text{ м}, \quad \Delta \alpha_2 = \dots,$$

$$\frac{\Delta v_2}{v_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta l}{l} + \frac{1}{2} \alpha_2 \cdot \text{ctg} \frac{\alpha_2}{\alpha};$$

$$\Delta v = v_2 (\Delta v_2 / v_2)$$

$$\Delta \tau = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau - \tau_i)^2}{n(n-1)}},$$

$$\frac{\Delta(\langle F \rangle)}{\langle F \rangle} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta v_2}{v} + \frac{\Delta \tau}{\tau}$$

$$\Delta(\langle F \rangle) = \langle F \rangle \cdot \left(\frac{\Delta(\langle F \rangle)}{\langle F \rangle} \right)$$

$$\delta = \frac{\Delta(\langle F \rangle)}{\langle F \rangle} \cdot 100 \%$$

2. Построить графики зависимости модуля средней силы $\langle F \rangle$ от относительной скорости v_2 для каждой пары шаров.

3. Проверить выполнение закона сохранения импульса:

а) для абсолютно упругого удара двух металлических шаров - выражение (1,а)

$$P = P',$$

где P - импульс системы двух шаров до удара,

P' - импульс системы двух шаров после упругого удара.

Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2.

l , м	m_1 , кг	m_2 , кг	α_2	v_2 , м/с	α_{11}'	α_{12}'	α_{13}'	α_1'	v_1' , м/с	α_{21}'	α_{22}'	α_{23}'	α_{2cp}'	v_2' , м/с	P	P'	δ , %

$$\delta = \frac{P - P'}{P} \cdot 100 \%$$

б) для абсолютно неупругого удара двух пластилиновых шаров - выражение (1, б)

$$P = P''$$

где P'' - импульс системы двух шаров после абсолютно неупругого удара.

Результаты измерений записать в таблицу 3.

Таблица 3.

l , М	m_1 , КГ	m_2 , КГ	α_2	v_2 , М/С	α_{11}'	α_{12}'	α_{13}'	α_1''	v_1'' , М/С	P	P''	δ , %

$$\delta = \frac{P - P'}{P} \cdot 100\%$$

Скорости v_1 , v_1' , v_2' и v_1'' вычислять по формулам (6) и (7).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое абсолютно упругий и неупругий удары?
2. Как происходит процесс соударения шаров?
3. Как определяется модуль средней силы при соударении шаров?
4. Сформулируйте закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.
5. Почему к явлению удара можно применить закон сохранения импульса?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1, М., 1973.
2. Хайкин С.Э. Физические основы механики. М.: Наука, 1971.
3. Стрелков С.П. Механика. М.: Наука, 1975.