

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ ПРИ УДАРЕ

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

Для случаев упругого и неупругого ударов шаров предлагается определить коэффициенты восстановления скорости и энергии и проверить закон сохранения импульса в этих условиях.

Оборудование: измерительная установка, набор шаров, пресс-форма, технические весы.

Теория

Удар – совокупность явлений, возникающих при кратковременном приложении к телу внешних сил (например, при взаимодействии с другим движущимся относительно него телом), связанных со значительным изменением его скорости за очень короткий промежуток времени. Для тел, с которыми обычно имеют дело на практике, удар протекает в течение тысячных или даже миллионных долей секунды.

В качестве меры механического взаимодействия тел при ударе вместо ударной силы \vec{F} служит ее импульс за время удара, т. е. величина

$$\int_0^t \vec{F} dt = \vec{F}_{\text{ср}} t,$$

где $\vec{F}_{\text{ср}}$ – средняя сила удара, t – время удара.

Если количество движения за время удара t изменяется на конечную величину $\Delta(m\vec{V})$, то из второго закона динамики получим

$$\vec{F}_{\text{ср}} t = \Delta(m\vec{V}). \quad (1)$$

Измеряя время удара, можно определить из выражения (1) среднюю силу при ударе $\vec{F}_{\text{ср}}$.

Рассеяние механической энергии при ударе характеризуется *коэффициентом восстановления скорости* k_c или *коэффициентом восстановления энергии* $k_э$. Коэффициент восстановления скорости определяется как отношение модуля скорости взаимного удаления центров тяжести тел после удара к модулю скорости их сближения до удара в проекции на общую нормаль к поверхности тел в точке их соприкосновения, эта нормаль называется *линией удара* (nn на рис.1), A, B – *точка контакта*, O_1, O_2 – центры тяжести тел:

$$k_c = \frac{|u_{2n} - u_{1n}|}{|v_{2n} - v_{1n}|}, \quad (2)$$

где v_{1n} и v_{2n} – проекции на линию удара скоростей первого и второго тела до удара; u_{1n} и u_{2n} – проекции скоростей на линию удара тех же тел после удара.

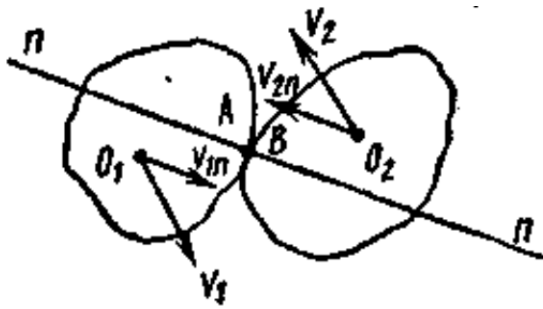


Рис.1.

Коэффициент восстановления энергии k_3 зависит от системы отсчета. Он определяется как отношение суммарной кинетической энергии тел после удара E_k'' к суммарной кинетической энергии тел до удара E_k' :

$$k_3 = E_k'' / E_k'. \quad (3)$$

Величины k_c и k_3 связаны между собой. Величина коэффициентов восстановления зависит от физических свойств материалов соударяющихся тел, от их формы, а также в сильной степени зависит от масс соударяющихся тел. Для *абсолютно упругого удара* $k_3 = 1$, для *абсолютно неупругого удара* $k_3 = 0$, в реальных случаях $0 < k_3 < 1$.

В настоящей работе рассматривается удар шаров, подвешенных в виде маятников, причем один шар до удара покоится ($\vec{v}_2 = 0$). Удар происходит в положении, соответствующем равновесию тел, и является центральным и прямым. Это значит, что при ударе центры тяжести тел лежат на линии удара, а их относительная скорость параллельна линии удара.

Применяя к ударяющимся шарам закон сохранения импульса, можем написать:

для упругого удара

$$m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2; \quad (4a)$$

для абсолютно неупругого удара

$$m_1 \vec{v}_1 = (m_1 + m_2) \vec{u}. \quad (4б)$$

Здесь m_1 , m_2 – массы ударяющихся шаров; \vec{u}_1 , \vec{u}_2 – скорости шаров после упругого удара; \vec{u} – общая скорость шаров после абсолютно неупругого удара.

При прямом центральном ударе, который рассматривается в данной работе, проекции скоростей тел на общую нормаль к их поверхностям в месте соударения совпадают с соответствующими скоростями тел: $v_{1n} = v_1$, $u_{1n} = u_1$ и т.д. Следовательно, выражение (2) для определения коэффициента восстановления скорости k_c переписывается в виде:

$$k_c = \frac{|u_2 - u_1|}{|v_2 - v_1|} \quad (5)$$

Для нахождения коэффициентов восстановления k_c и k_3 необходимы величины скоростей тел до и после соударения, которые можно определить, зная высоту, с которой тела начинают движение до удара, и высоту их

подъема после удара. Без учета потерь энергии на преодоление сил сопротивления на основании закона сохранения энергии получаем:

для опускающегося шара

$$v_1 = \sqrt{2gh_1};$$

для поднимающегося шара

$$u_1 = \sqrt{2gh'_1},$$

$$u_2 = \sqrt{2gh'_2},$$

где v_1 – скорость первого шара до удара, u_1 и u_2 – скорости шаров после соударения, h_1 – высота бросания первого шара, h'_1 и h'_2 – высоты поднятия шаров после соударения.

Поскольку при установке непосредственно измеряются углы, на которые отскакивают шары после удара, и угол бросания, скорость шаров будем определять из соотношений

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_{бр}}{2};$$

$$u_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}; \quad (6)$$

$$u_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2};$$

где l – расстояние от точки подвеса до центра тяжести шаров, $\alpha_{бр}$ – угол бросания, α_1 и α_2 – углы отскока первого и второго шаров.

Описание установки

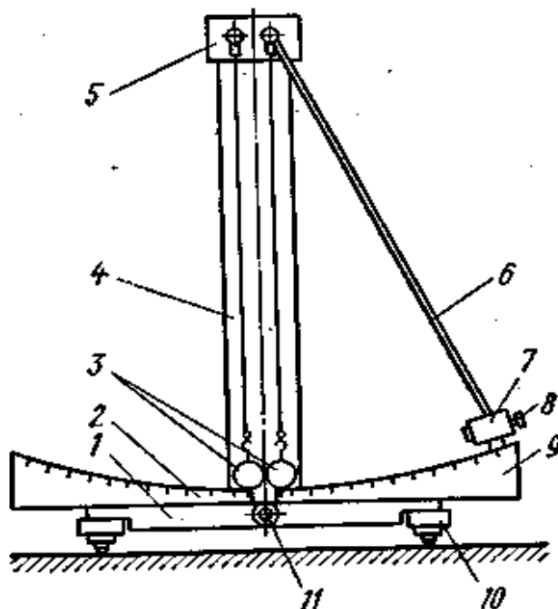


Рис. 2.

Конструктивно установка представляет собой основание 1 (рис.2) на трех регулируемых винтах 10, служащих для выверки ее по уровню. На основании смонтирована стойка 4, несущая подвески 5 шаров 3 и штангу 6, на которой крепится электромагнит 7.

Бифилярный подвес, несущий левый шар, можно перемещать в горизонтальном направлении, изменяя тем самым межцентровое расстояние.

Для отсчета положения шаров имеются две шкалы, проградуированные в градусной мере. Правая шкала 9 установлена так, что указатель положения правого шара в положении равновесия располагается над нулевой отметкой шкалы. Левая шкала 2 может перемещаться. При изменении межцентрового расстояния

		Ср.														
		1														
		...														
		5														
		Ср.														
		1														
	...															
	5															
	Ср.															
	1															
	...															
	5															
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1																
...																
5																
Ср.																
1							</									

$$u_2 = \frac{m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{u}_1}{m_2}, \quad (7a)$$

а для неупругого

$$\vec{u} = \frac{m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2}. \quad (7б)$$

4. Вычислите скорости \vec{u}_2 и \vec{u} по углу отскока шаров по формулам (6):

для упругого удара

$$u_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2},$$

а для неупругого

$$u = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2},$$

где α - общий угол отскока первого и второго шаров после неупругого удара.

5. Сравните теоретические и экспериментальные значения скоростей \vec{u}_2 и \vec{u} , определив:

$$\varepsilon_{u_2} = \frac{|u_{2 \text{экспер}} - u_{2 \text{теор}}|}{u_{2 \text{теор}}} \cdot 100 \%,$$

$$\varepsilon_u = \frac{|u_{\text{экспер}} - u_{\text{теор}}|}{u_{\text{теор}}} \cdot 100 \%.$$

6. Результаты вычислений внесите в табл. 2.

Таблица 2.

№	v_1 , м/с	u_1 , м/с	$u_{2 \text{экспер}}$, м/с по (6)	$u_{2 \text{теор}}$, м/с по (7а)	ε_{u_2} , %	$u_{\text{экспер}}$, м/с по (6)	$u_{\text{теор}}$, м/с по (7б)	ε_u , %
1								
2								
3								
4								
5								

7. Считая удар абсолютно упругим, из закона сохранения энергии и закона сохранения импульса для \vec{u}_1 и \vec{u}_2 получим:

$$\vec{u}_1 = \frac{(m_1 - m_2) \vec{v}_1}{m_1 + m_2}; \quad \vec{u}_2 = \frac{2m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

8. Вычислите \vec{u}_1 и \vec{u}_2 по формулам (6) и (8). Сравните полученные значения. Результаты расчетов внесите в табл. 3.

Таблица 3.

№	v_1 , м/с	$u_{1 \text{экспер}}$, м/с по (6)	$u_{1 \text{теор}}$, м/с по (8)	ε_{u_1} , %	$u_{2 \text{экспер}}$, м/с по (6)	$u_{2 \text{теор}}$, м/с по (8)	ε_{u_2} , %
1							

2							
3							
4							
5							

Контрольные вопросы:

1. Что называется импульсом силы и импульсом материальной точки?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Изменяется ли импульс материальной точки, которая движется равномерно по окружности?
4. Какое явление называется ударом?
5. В чем состоит существенное различие между упругим и неупругим ударами? Какой удар называют абсолютно упругим?
6. Какими величинами характеризуется рассеяние механической энергии при ударе?
7. Докажите справедливость формул (8).

Литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики.Т.1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. - М.: Наука, 1973.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. – М.: Наука., 1996.
3. Лабораторный практикум по физике /Под ред. А.С. Ахматова. – М.: Высш. шк., 1980.