

Задача 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Цель задачи: В задаче изучается закон сохранения импульса на примере соударения шаров.

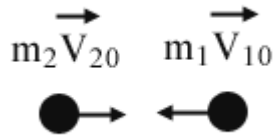
Дополнительная теория: ***«Соударение шаров»***

Абсолютно упругим называется такой удар, при котором механическая энергия тел не переходит в другие, немеханические виды энергии. При таком ударе кинетическая энергия переходит полностью или частично в потенциальную энергию упругой деформации. Затем тела возвращаются к первоначальной форме, отталкивая друг друга. В итоге потенциальная энергия упругой деформации снова переходит в кинетическую энергию и тела разлетаются со скоростями, величина и направление которых определяются двумя условиями: сохранением полной энергии и сохранением полного импульса системы тел.

Абсолютно неупругий удар характеризуется тем, что потенциальной энергии деформации не возникает. Кинетическая энергия тел полностью или частично превращается во внутреннюю энергию. После удара столкнувшиеся тела либо движутся с одинаковой скоростью, либо покоятся. При абсолютно неупругом ударе выполняется лишь закон сохранения импульса; закон сохранения механической энергии не выполняется, так как механическая энергия частично переходит в тепловую.

Удар называется центральным, если шары до удара движутся вдоль прямой, проходящей через их центры.

1. Рассмотрим абсолютно неупругий удар. Пусть массы шаров m_1 и m_2 , а скорости до удара $\vec{V}_{10}$ и $\vec{V}_{20}$:



После соударения шары движутся со скоростью, которую можно найти, учитывая, что по закону сохранения суммарный импульс шаров после удара должен быть равен суммарному импульсу до удара

$$m_1 \vec{V}_{10} + m_2 \vec{V}_{20} = (m_1 + m_2) \vec{V}.$$

Откуда

$$\vec{V} = \frac{m_1 \vec{V}_{10} + m_2 \vec{V}_{20}}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

В случае, когда один шар до столкновения покоился ($\vec{V}_{20} = 0$), получаем

$$\vec{V} = \frac{m_1 \vec{V}_{10}}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

2. Абсолютно упругий удар. Обозначим массы шаров m_1 и m_2 , скорости шаров до удара $\vec{V}_{10}$ и $\vec{V}_{20}$, скорости шаров после удара $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$.

Удар центральный. По закону сохранения импульса

$$m_1 \vec{V}_{10} + m_2 \vec{V}_{20} = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 \quad (3)$$

По закону сохранения энергии

$$\frac{m_1 V_{10}^2}{2} + \frac{m_2 V_{20}^2}{2} = \frac{m_1 \vec{V}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{V}_2^2}{2} \quad (4)$$

Уравнение (3) преобразуем

$$m(\vec{V}_{10} - \vec{V}_1) = m_2(\vec{V}_2 - \vec{V}_{20}) \quad (5)$$

Учитывая, что $A^2 - B^2 = (A - B)(A + B)$, уравнение (4) приводим к виду

$$m_1(V_{10} - V_1)(V_{10} + V_1) = m_2(V_2 - V_{20})(V_2 + V_{20}) \quad (6)$$

Из (5) и (6) получаем

$$\vec{V}_{10} + \vec{V}_1 = \vec{V}_2 + \vec{V}_{20} \quad (7)$$

Умножая (7) на m_2 , и вычитая результат из (5), а затем умножая (7) на m_2 и складывая с (5), получим векторы скоростей шаров после удара

$$\vec{V}_1 = \frac{2m_2\vec{V}_{20} + (m_1 - m_2)\vec{V}_{10}}{m_1 + m_2}. \quad (8)$$

$$\vec{V}_2 = \frac{2m_1\vec{V}_{10} + (m_2 - m_1)\vec{V}_{20}}{m_2 + m_1} \quad (9)$$

Для частного случая, когда $V_{20} = 0$, получаем

$$\vec{V}_1 = \frac{(m_1 - m_2)\vec{V}_{10}}{m_1 + m_2}, \quad (10)$$

$$\vec{V}_2 = \frac{2m_1\vec{V}_{10}}{m_1 + m_2} \quad (11)$$

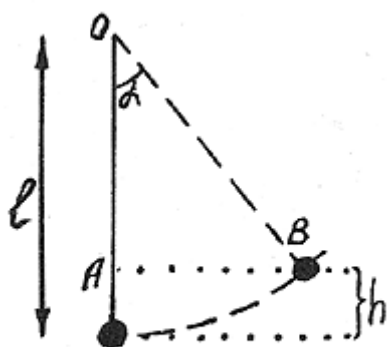


Рис.1

Как следует из формул (10) и (11), второй шар после удара движется в ту же сторону, куда двигался первый шар до удара. Поведение первого шара зависит от соотношения масс. Рассмотрим следующие случаи:

1. $m_1 > m_2$ Первый шар продолжает двигаться в том же направлении, что и до удара, но с меньшей скоростью; при этом $V_2 > V_1$
2. $m_1 < m_2$. Первый шар отскакивает обратно. При этом $V_2 < V_{10}$.
3. $m_1 = m_2$. В этом случае $V_1 = V_{20} = 0$, $V_2 = V_{10}$, т.е. шары равной массы при ударе

обмениваются скоростями.

В задаче величина скорости шара определяется по углу отклонения нити, на которой подвешен шар. Рассмотрим шар массы m , подвешенный в т. О на нити, длиной l (рис.1). Если шар вывести из положения равновесия, отклонив нить на угол α , а затем отпустить, то в нижнем положении шар будет иметь скорость V , величину которой можно найти из закона сохранения энергии

$$mgh = \frac{mV_2^2}{2} \quad (15)$$

Из $\triangle AOB$ найдем $AO = l \cos \alpha$, тогда $h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2(\alpha/2)$. Подставляя h в уравнение (15), получаем

$$V = 2\sqrt{gl} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (16)$$

Порядок выполнения задачи

Приборы и принадлежности: прибор для исследования соударения шаров, микросекундомер, набор шаров.

Конструкция прибора: общий вид прибора для исследования столкновения шаров представлен на рис.2. На основании I закреплена колонка 2 с верхним и нижним кронштейнами. На верхнем кронштейне укреплены стержни 3 и вороток 4, служащий для установки расстояния между шарами. К стержням 3 подвешены шары 5 на проводах, по которым подводится напряжение к шарам.

На нижнем кронштейне закреплены угольники со шкалами 6 и на специальных направляющих - электромагнит 7. Болты 8 позволяют передвигать электромагнит вдоль шкалы и фиксировать его высоту. Силу, с которой электромагнит притягивает шар, можно регулировать воротком 9. Шкалу можно передвигать вдоль нижнего кронштейна, ослабив винт 10.

На основании прибора укреплен микросекундомер 11. На лицевой

панели микросекундомера находятся следующие клавиши:

- 12 - СЕТЬ - выключатель сети. Нажатие этой клавиши вызывает включение питающего напряжения. Визуально это объявляется свечением цифровых индикаторов (высвечивающих цифру ноль);
- 13 - СБРОС - сброс измерителя. Нажатие этой клавиши вызывает сбрасывание показаний секундомера (цифровые индикаторы снова высвечивают цифру ноль);
- 14 - ПУСК - управление электромагнитом. Нажатие этой клавиши отключает электромагнит, а следующее нажатие - включает его.

Подготовка прибора к измерениям: нажать клавишу СЕТЬ. Все индикаторы измерителя показывают цифру ноль. Прибор не нуждается в прогреве. Прибор готов к измерениям.

Порядок измерений:

- на подвесы 15 навинтить два шара таким образом, чтобы их осевые линии находились на одной высоте;
- воротком 4 установить такое расстояние между стержнями, чтобы шары слегка соприкасались друг с другом;
- острия подвесов должны при этом указывать на нули шкал. При необходимости ослабить винт 10, сдвинуть левую шкалу и снова закрутить винт;

- ослабив винт 8, установить нужное положение электромагнита (по указанию преподавателя) и закрепить винт;

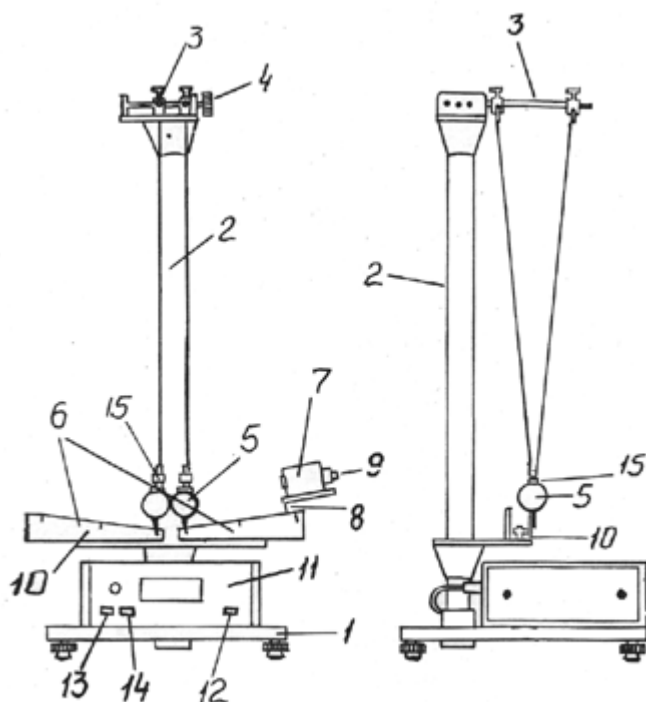


Рис.2

- включить микросекундомер в сеть;
- нажать клавишу СЕТЬ микросекундомера;
- привести правый шар (ему будет соответствовать индекс 1) в соприкосновение со стержнем электромагнита (если электромагнит не притягивает шар, то нажать клавишу ПУСК);
- отрегулировать силу притяжения шара к электромагниту воротком 9. Электромагнит должен удерживать шар;
- правый шар отодвинуть в сторону электромагнита и заблокировать его в этом положении, левый - установить неподвижно. Острие подвеса левого шара должно указывать на ноль шкалы (левому шару будет соответствовать индекс 2);
- записать значение угла α_{10} , на которое указывает острие подвеса правого шара;
- нажать клавишу СБРОС;
- нажать клавишу ПУСК.

После столкновения шаров записать углы α_1 и α_2 , на которые отскочат шары (поскольку следить за двумя шарами одновременно сложно, то сначала проделать десять опытов, записывая α_1 , а затем еще десять опытов при тех же условиях, записывая α_2). При соударениях равных по массе шаров записывать только значения α_{10} и α_2 .

Продолжительность столкновений шаров τ прочесть на цифровом табло и записать. Следить за тем, чтобы столкновение было центральным, т.е. траектория движения после столкновения должна находиться в плоскости движения правого шара до столкновения. Острия подвесов должны двигаться параллельно шкалам, не задевая их и не пересекая их плоскость.

Шары необходимо взвесить.

Все данные измерений занести в таблицу. Определить средние значения α_1 , α_2 и τ .

Таблица

длина подвеса $l =$

масса правого шара $m_1^1 =$

масса левого шара $m_2^1 =$

$m_n = 22$ г.

$m_1 = m_1^1 + m_n$

$m_2 = m_2^1 + m_n$

№ опыта	α_{10}	$\Delta\alpha_{10}$	α_2	$\Delta\alpha_2$	τ	$\Delta\tau$	α_1	$\Delta\alpha_1$
1								
2								
...								
10								
Средние значения								
$V_{\text{эксп}}$	$V_{10} =$		$V_{2\Theta} =$				$V_{1\Theta} =$	
$V_{\text{теор}}$			$V_{2T} =$				$V_{1T} =$	
F								
Импульс до соударения	$P_0 = m_1 V_{10} =$							
Импульс после соударения	$P_1 = m_1 V_1 + m_2 V_2$							

По формуле (13), используя средние значения α , определить скорости шаров и записать в таблицу в графу $V_{\text{эксп}}$.

Расстояние l от точки подвеса до центра шара, входящее в формулу (13), измерить линейкой.

По формулам (10) и (II) и экспериментальному значению V_{10} определить теоретические значения скоростей V_1 и V_2 и записать в таблицу в графу $V_{\text{теор}}$. Значения m_1 и m_2 , входящие в формулы (10) и (II), равны массе шара (m_1^1 и m_2^1) плюс масса подвеса m_n ($m_n = 22$ г). В случае разницы между экспериментальными и теоретическими значениями скоростей объяснить ее причину.

Для левого шара, используя формулу $\vec{P}_2 - \vec{P}_1 = \vec{F}\tau$, подсчитать среднее значение силы, действующей во время соударения. Следует учесть, что левый шар до соударения покоился, следовательно, $P_1 = 0$ и тогда $m_2 V_{2\text{эксп}} = F\tau$,

откуда
$$F = \frac{m_2 V_{2\text{эксп}}}{\tau}$$

Полученное значение силы записать в таблицу.

Подсчитать импульс шаров до соударения и после соударения и записать в таблицу (использовать значения $V_{\text{эксп}}$).

Оценить погрешность определения импульса и занести в таблицу. Рекомендуется проделать следующий комплекс измерений.

1. Для двух стальных шаров одного диаметра.
2. Для двух шаров из пластилина. В этом опыте время τ не измеряется. Расчет теоретического значения скорости производится по формуле (2).
3. Для двух стальных шаров разного диаметра. Шар меньшего диаметра повесить справа.

Для каждого случая составить отдельную таблицу.

Литература

1. Большова К.М., Пустовалов Г.Е. Краткий курс общей физики. Механика, ч.1(2). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. §§ 13, 14, 21, 22, 23.
2. Савельев И.В. Курс физики, т.1 М.: Наука, 1989. §§ 16, 22, 24, 25.