

Лабораторная работа № 4

Проверка закона сохранения импульса при упругом и неупругом ударе

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проверка закона сохранения импульса при упругом и неупругом ударе на примере соударяющихся шаров.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Установка для изучения упругого и неупругого удара шаров, набор шаров (металлические и пластилиновые).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Импульсом тела называют вектор, равный произведению массы тела на его скорость движения:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

Совокупность взаимодействующих между собой тел образует **механическую систему**.

Для замкнутой системы тел установлен **закон сохранения импульса**:

Геометрическая сумма импульсов всех тел, входящих в систему, есть величина постоянная

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_i = \text{const}$$

В данной работе применяется закон сохранения импульса к системе двух соударяющихся тел. Обоснованием этого является следующее.

Удар тел – кратковременное взаимодействие двух и более тел, возникающее в результате их соприкосновения. Величина ударных сил взаимодействия во много раз превосходит величины всех остальных сил,

действующих на тела. Поэтому в процессе удара систему соударяющихся тел можно считать изолированной и применять к ней закон сохранения импульса.

Идеально упругим (абсолютно упругим) называется удар, в результате которого механическая энергия не переходит в другие формы энергии.

При этом происходит переход кинетической энергии в потенциальную энергию деформации, а также обратный переход. Идеально упругому удару соответствует полное восстановление формы соударяющихся тел.

При абсолютно упругом ударе выполняются законы сохранения энергии и импульса.

Абсолютно неупругий удар – столкновение двух тел, в результате которого тела объединяются, двигаясь дальше как единое целое.

При этом выполняется только закон сохранения импульса.

Если направление движения двух соударяющихся шаров в момент их соприкосновения совпадает с прямой, соединяющей центры шаров, то удар называется **центральный**. В данной работе рассматривается именно этот случай.

Вывод формулы для проверки закона сохранения энергии при упругом ударе

Рассмотрим систему из двух шаров (см. рис. 1), подвешенных на нерастяжимых нитях. Отведем правый шар на угол φ от положения равновесия и отпустим его. Возвращаясь в положение равновесия, и обладая в момент, предшествующий удару, скоростью v , он передает импульс неподвижному левому шару.

Согласно **закону сохранения импульса** сумма импульсов двух соударяющихся тел до удара равна сумме импульсов этих тел после удара:

$$m \cdot v = m \cdot u_m + M \cdot u_M \quad (1)$$

где u_m, u_M – скорости шаров после удара.

Закон сохранения энергии при упругом ударе имеет вид

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mu_m^2}{2} + \frac{Mu_M^2}{2} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1), (2), получим

$$u_M = \frac{2mv}{M+m}, \quad u_m = v - \frac{2Mv}{M+m} \quad (3)$$

В данном случае шар m , отведенный от положения равновесия на угол φ , обладает запасом потенциальной энергии

$$E_p = mgh$$

Пользуясь законом сохранения и превращения энергии можно показать, что

$$v = \sqrt{2gh}$$

Из треугольника ABC (**рис.1**) следует

$$h = l(1 - \cos\varphi)$$

Сделав преобразование, имеем

$$h = 2l \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

Подставляя выражение для h в уравнение (3), получим

$$v = 2 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \sqrt{gl} \quad (4)$$

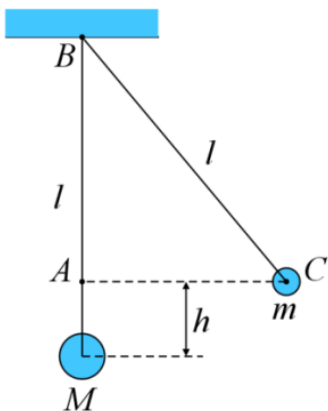


Рис. 1

Аналогично определяются скорости тел после удара u_m и u_M .

После подстановки в уравнение (1) выражений для v , u_m и u_M имеем расчетную формулу для **проверки закона сохранения импульса при абсолютно упругом ударе**

$$m \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = m \cdot \sin \frac{\varphi_m}{2} + M \cdot \sin \frac{\varphi_M}{2}, \quad (5)$$

где φ_m и φ_M – соответственно углы отклонения шаров с массой m и M от положения равновесия после удара шаров.

Если правая часть равенства (5) равна его левой части, то закон сохранения импульса *выполняется*.

Аналогичным образом можно получить расчетную формулу для проверки закона сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе.

Определение ударной силы взаимодействия шаров

Кратковременную ударную силу взаимодействия шаров можно опреде-

лить из второго закона Ньютона. Выразим ускорение через $a = \frac{dv}{dt}$, тогда

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

Переходя к рассматриваемому случаю, имеем

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{m \cdot v_m - M \cdot v_M}{\Delta t},$$

где Δt – продолжительность удара;

v_m и v_M – скорости шаров до удара.

Так как $v_M = 0$, то **ударная сила** взаимодействия шаров

$$F = \frac{m \cdot v_m}{\Delta t} \tag{6}$$

Определение коэффициента восстановления кинетической энергии

Примем E_{K1} и E_{K2} за значения кинетических энергий до и после удара.

Тогда отношение $K = \frac{E_{K2}}{E_{K1}}$ есть **коэффициент восстановления** кинетической энергии.

Для определения K в уравнение (2) подставим значение скорости из (4).

После преобразования получим

$$K = \frac{E_{K2}}{E_{K1}} = \frac{m \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) + M \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_M}{2}\right)}{m \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, \quad (7)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка (**рис.2**) представляет собой два маятника равной длины l с равными (в общем случае) массами в виде шаров (**рис.2**).

Конструктивно установка состоит из основания 1, оснащенного регулируемыми ножками, которые позволяют произвести выравнивание прибора, колонки 2, несущей подвески шаров 3.

Бифиллярный подвес 4, несущий шар, может перемещаться, изменяя тем самым межцентровое расстояние.

Электромагнит 5, удерживающий шар, можно передвигать вдоль правой шкалы 6 и фиксировать высоту установки. Силу электромагнита можно регулировать воротком 7.

К установке подключен *микросекундомер*, измеряющий время удара и передающий через напряжение к шарам магнита.

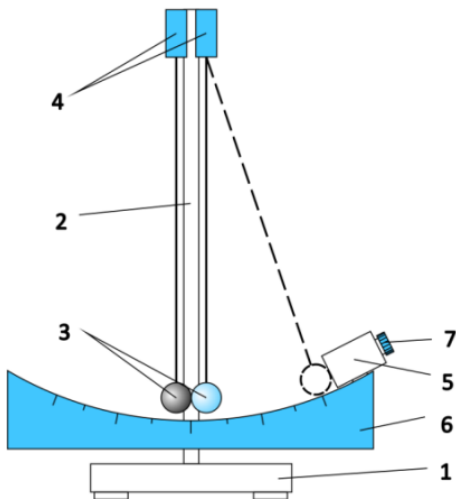


Рис. 2. Схема установки

ХОД РАБОТЫ

1. Измерить массы двух испытуемых стальных шаров.
2. После детального ознакомления с приборами, воротком 5 привести шары в соприкосновение.
3. Произвести установку шаров на одной линии с электромагнитом.
4. Привести установку в готовность, включить секундомер.
5. Привести правый шар с массой m в соприкосновение с электромагнитом и замерить по шкале угол φ – угол отклонения шара от положения равновесия.
6. Отключением электромагнита (отжать клавишу «ПУСК») произвести удар шаров и зафиксировать максимальное отклонение после удара для малого (угол φ_m) и большого шара (угол φ_M).
7. Полученные данные записать в **Таблицу 1**.
8. По измеренным значениям проверить равенство (5).
9. Повторить п. 1–7 с парами шаров из другого материала (пластилин).
10. Полученные данные записать в **Таблицу 2**.
11. Произвести проверку закона сохранения импульса при неупругом ударе на шарах из пластилина (повторить пункты 1 – 6).
12. Рассчитать ударную силу взаимодействия F с помощью формулы (6) для упругого и неупругого удара.
13. Определить коэффициент восстановления K .
14. Найти относительную погрешность результатов без учета сил трения при упругом ударе.
15. Сделать выводы.

Таблица 1

Сталь							
№	φ	φ_m	φ_M	$\Delta t, c$	$v, \frac{M}{c}$	F, H	K
1							
2							
3							
Среднее							

Таблица 2

Пластлин				
№	φ	φ_m	φ_M	$v, \frac{M}{c}$
1				
2				
3				
Среднее				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение импульса тела.
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Какая система называется замкнутой?
4. Дайте определение кинетической и потенциальной энергии.
5. Сформулируйте закон сохранения энергии.
6. Какой удар называется абсолютно упругим?
7. Какой удар называется абсолютно неупругим?
8. Дать физический смысл коэффициента восстановления системы.
9. Вывести расчетную формулу для проверки закона сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе.
10. Вывести формулу скорости $V = \sqrt{2gh}$, которой шар обладает в самой нижней точке своей траектории (**рис.1**).