

Работа 1.6

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ СОУДАРЕНИЕ ШАРОВ

Оборудование: лабораторная установка, электронный секундомер, линейка, весы, набор шаров.

Введение

Часто на практике приходится сталкиваться с движением совокупности взаимодействующих тел. Такую совокупность называют *механической системой* (это любой механизм, машина, Земля и ее спутник, любое тело, которое можно рассматривать как совокупность частиц).

Силы, действующие между телами системы, называются *внутренними* для данной системы, а действующие на тела данной системы со стороны тел, не входящих в систему, - *внешними*.

Система тел, взаимодействующих только друг с другом, а не с другими телами, называется *замкнутой*.

Наряду со скоростью $\vec{v}$, являющейся кинематической характеристикой движения материальной точки, вводят связанную с ней динамическую характеристику $\vec{p}$ - импульс: $\vec{p} = m\vec{v}$. Импульс - величина векторная, ее направление совпадает с направлением скорости движения.

Импульсом механической системы называют векторную сумму импульсов всех тел (материальных точек), входящих в нее:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \sum \vec{p}_i.$$

Импульс замкнутой механической системы не изменяется, т.е. остается постоянным во времени, каково бы ни было взаимодействие тел системы: $\sum \vec{p}_i = \text{const}$, если $\sum \vec{F}_i = 0$ ($\sum \vec{F}_i$ - результирующая всех внешних сил, действующих на систему). В этом утверждении заключена суть *закона сохранения импульса* - одного из фундаментальных законов физики.

К основным законам физики относится также *закон сохранения механической энергии*. Он формулируется так: полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, остается постоянной:

$$E = E_k + E_n = \text{const},$$

где E , E_k , E_n - соответственно полная, кинетическая и потенциальная энергии механической системы.

Консервативными называют такие силы, работа которых на замкнутом пути равна нулю. Силы консервативны в том случае, если в системе нет перехода механического движения в другие формы движения материи или превращения других форм движения в механические. Примерами консервативных сил являются силы тяготения, упругости, взаимодействия неподвижных электрических зарядов и т.д. Этому условию не удовлетворяют силы трения. Они всегда направлены противоположно скорости движения, и работа их на замкнутом пути отлична от нуля.

Если в замкнутой системе наряду с консервативными действуют неконсервативные силы, то полная механическая энергия системы не сохраняется.

Законы сохранения энергии и импульса весьма удобны при изучении процессов столкновения тел, когда характер действующих при столкновении сил неизвестен.

Ударом называют кратковременное взаимодействие соприкасающихся тел, приводящее к значительному изменению состояния движения. Выделяют два предельных вида удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий.

Абсолютно упругим называют удар, после которого возникшие в телах деформации полностью исчезают. При таком ударе механическая энергия тел не переходит в другие (немеханические) виды энергии.

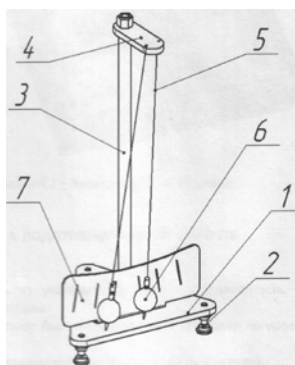
Абсолютно неупругим принято считать удар, после которого возникшие в телах деформации полностью сохраняются. Кинетическая энергия тел при этом частично или полностью превращается во внутреннюю. После этого удара сталкивающиеся тела либо движутся с одинаковой скоростью, либо покоятся.

В природе абсолютно упругих ударов тел не существует. Всегда наблюдается в той или иной степени переход механической энергии сталкивающихся тел во внутреннюю энергию. Количественно этот переход можно охарактеризовать с помощью коэффициента восстановления механической энергии, который определяется как отношение механической энергии тел после взаимодействия (E_1) к механической энергии их до взаимодействия (E):

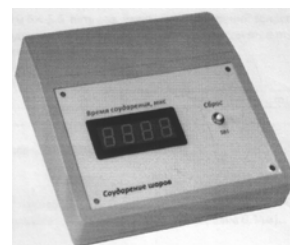
$$K = E_1/E.$$

Описание установки

Установка представляет собой основание 1, опирающееся на ножки регулируемой высоты 2. На основании закреплен вертикальный стержень 3. На вершине стержня закреплена пластина, к которой на токопроводящих нитях 5 подвешены шары 6. На основании в плоскости отклонения шаров закреплена пластина с угломерной шкалой 7.



Для отсчета времени соударения шаров используется электронный секундомер. На лицевой панели секундомера размещены индикатор времени соударения, кнопка SB1 «Сброс».



На задней панели секундомера размещены тумблер включения сети, плавкий предохранитель 0,5 А, разъем для подключения к лабораторной установке.

Порядок выполнения работы

1. Убедитесь в том, что лабораторная установка подключена к секундомеру.
2. Подключите секундомер к однофазной сети переменного тока 220В.
3. Включите питание секундомера тумблером на задней панели.
4. Отклоните один из шаров на заданный угол α_0 и удерживайте его.
5. Нажмите кнопку "Сброс" на панели электронного секундомера.
6. Отпустите удерживаемый шар. По шкале отметьте углы отклонения шаров β_1 и β_2 после соударения. Опыт повторите 3-5 раз и найдите их средние значения $\langle \beta_1 \rangle$ и $\langle \beta_2 \rangle$.
7. По электронному секундомеру определите время первого соударения Δt . Среднее время соударения $\langle t \rangle$ определите как среднеарифметическое Δt_i , т.е

$$\langle t \rangle = \frac{\sum \Delta t_i}{N},$$

где N - число попыток опыта с одинаковыми начальными параметрами эксперимента. Следует исключать значения Δt_i , с заведомо большим отклонением от среднего.

8. Снимите шары с подвесов и произведите их взвешивание (шары изготовлены из алюминия $m=38$ г и стали $m=104$ г).
9. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1 - Экспериментальные данные

Nexp/n	α_0	β_1	β_2	$\langle \beta_1 \rangle$	$\langle \beta_2 \rangle$	Δt_i	$\langle t \rangle$	m_1	m_2
1									
2									

10. Определите импульс первого шара до столкновения

$$p_{0x} = m_1 \cdot 2\sqrt{gL} \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2},$$

где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения; L - длина подвеса (L измеряется линейкой и равна $0,38 \text{ м}$).

11. Определите импульс системы шаров после столкновения

$$p_{2x} = \pm m_1 \cdot 2\sqrt{gL} \cdot \sin \frac{\langle \beta_1 \rangle}{2} + m_2 \cdot 2\sqrt{gL} \cdot \sin \frac{\langle \beta_2 \rangle}{2}.$$

Первое слагаемое взять со знаком "плюс" в случае, если направление движения первого шара после удара не изменяется, и со знаком "минус" в противоположном случае.

12. Определите кинетическую энергию первого шара до столкновения

$$E_0 = 2m_1gL \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}.$$

13. Определите кинетическую энергию системы шаров после столкновения

$$E_2 = 2m_1gL \cdot \sin^2 \frac{\langle \beta_1 \rangle}{2} + 2m_2gL \cdot \sin^2 \frac{\langle \beta_2 \rangle}{2}.$$

14. Определите коэффициент восстановления кинетической энергии

$$K_2 = \frac{E_2}{E_0}.$$

15. Определите среднее значение силы взаимодействия между шарами во время удара

$$\langle F_2 \rangle = \frac{E_2}{\langle t \rangle}.$$

16. Результаты расчетов занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчетные значения

№п/п	p_{0x}	p_{2x}	E_0	E_2	K_2	$\langle F_2 \rangle$
1						

17. На один из шаров в месте удара прикрепить кусочек пластилина.

18. Отведите один из шаров на заданный угол α_0 и удерживайте его.

19. Отпустите удерживаемый шар. По угломерной шкале произведите отсчет углов отклонения системы шаров β_1 после соударения.

20. Повторите пункты 17-19 три-пять раз. Определите среднее значение $\langle \beta_1 \rangle$.

21. Снимите шары с подвесов, произведите их взвешивание.

22. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3 - Экспериментальные данные

№п/п	α_0	β_1	$\langle \beta_1 \rangle$	m_1	m_2
1					

23. Определите импульс первого шара до столкновения

$$p_{0x} = m_1 \cdot 2\sqrt{gL} \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2}.$$

24. Определите импульс системы шаров после столкновения

$$p_{1x} = (m_1 + m_2) \cdot 2\sqrt{gL} \cdot \sin \frac{\langle \beta_1 \rangle}{2}.$$

25. Определите кинетическую энергию первого шара до столкновения

$$E_0 = 2m_1gL \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}.$$

26. Определите кинетическую энергию системы шаров после столкновения

$$E_1 = 2(m_1 + m_2)gL \cdot \sin^2 \frac{\langle \beta_1 \rangle}{2}.$$

27. Определите коэффициент восстановления кинетической энергии

$$K_1 = \frac{E_1}{E_0}.$$

28. Результаты расчетов занести в таблицу 4.

Таблица 4 · Расчетные значения

№п/п	P_{0x}	P_{1x}	E_0	E_1	K_1
1					

29. Определите относительную погрешность при расчете импульса первого шара до столкновения (пункт 10).

Задание для УИР

Повторите опыты для двух пластилиновых шаров одинаковой массы. Проанализируйте результаты.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под механической системой? системой материальных точек?
2. В чем различие внешних и внутренних сил механической системы? От чего оно зависит?
3. Что называют импульсом механической системы? импульсом силы?
4. Как выражаются второй закон Ньютона через изменение импульса тела (механической системы) и импульс силы, вызывающей это изменение?
5. Как определяется направление изменения импульса тела? системы тел?
6. Опираясь на третий закон Ньютона, докажите, что сумма внутренних сил в замкнутой системе равна нулю.
7. В чем суть закона сохранения импульса? К каким системам он применим? Выведите этот закон и приведите примеры, иллюстрирующие его.
8. Какие силы называют консервативными? Приведите примеры. Почему сила трения скольжения не является консервативной?
9. Какие существуют виды механической энергии? Дайте их определения.
10. Для каких систем тел справедлив закон сохранения механической энергии и как он формулируется? Приведите примеры консервативной системы тел, диссипативной системы.
11. Какой удар называют абсолютно упругим? абсолютно неупругим? При каком ударе механическая энергия тел не изменяется, при каком полностью переходит во внутреннюю? Что показывает коэффициент восстановления энергии?