Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ

Методические указания
по выполнению лабораторной работы по физике
для студентов, обучающихся по техническим (550000)
и технологическим (650000) направлениям

Екатеринбург
УрФУ
2011

УДК 537.2:001.891.57(076)

Составитель: О. Е. Кириллов
Научный редактор – доц. канд. физ.-мат. наук А. Г. Волков

Изучение закона сохранения импульса при столкновении: методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. О. Е. Кириллов. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 16 с.

Изложены теория и практическая часть проведения лабораторной работы по изучению закона сохранения импульса при столкновении.

Библиогр.: 2 назв. Рис. 3.

Подготовлено кафедрой физики.

© УрФУ, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Закон сохранения импульса (ЗСИ): для любых двух состояний механической системы импульс системы одинаков, если сумма внешних сил равна нулю:

$$\left(\sum_i m_i \vec{v}_i\right)_1 = \left(\sum_j m_j \vec{v}_j\right)_2; \qquad \sum_k \vec{F}_k^{(e)} = 0. \tag{1}$$

Закон сохранения импульса выполняется при любых столкновениях, если под столкновением понимать практически мгновенный процесс взаимодействия. В данной работе проверяется ЗСИ при упругих столкновениях.

Боек ударного пружинного механизма, ударяя по шайбе 1, называемой далее «биток», (рис. 1), сообщает ей начальный импульс (в положении $Б_0$):

$$\vec{P}_o = m_Б \vec{v}_{0Б}, \tag{2}$$

где $m_Б$ – масса шайбы-«биток»; $\vec{v}_{0Б}$ − начальная скорость шайбы-«биток».

Начальную скорость $\vec{v}_{0Б}$ можно оценить по длине пути L_0, пройденному телом по рабочему полю до остановки при свободном движении. Работа силы трения по определению равна $A_{тр} = -\mu mgL_0$. По теореме об изменении кинетической энергии $A_{тр} = \Delta E_k = 0 - m_Б v_{0Б}^2/2$. Учитывая это, найдем начальную скорость тела $v_{0Б} = \sqrt{2g\mu L_0}$.

Шайба-«биток» до столкновения с шайбой 2, называемой далее «мишень», проходит некоторый путь L_{00} − положение $Б_1$ непосредственно перед столкновением − и имеет скорость

$$v_{1Б} = \sqrt{2g\mu(L_0 - L_{00})}. \tag{2}$$

Таким образом, импульс непосредственно перед столкновением равен

$$\vec{P}_1 = m_Б \vec{v}_{1Б}. \tag{3}$$

После столкновения тела начинают двигаться со скоростями $\vec{v}_{2Б}$ и $\vec{v}_{2M}$ соответственно. Их суммарный импульс

$$\vec{P}_2 = m_Б \vec{v}_{2Б} + m_M \vec{v}_{2M}, \qquad (4)$$

где

$$v_{2Б} = \sqrt{2g\mu L_Б}\ , v_{2M} = \sqrt{2g\mu L_M} \qquad (5)$$

скорости тел после столкновения, $L_Б$, $L_М$ - расстояния, проходимые телами после столкновения.

Путь L_0 при свободном движении шайбы-«битка» (в отсутствие шайбы-«мишени»), а также после соударения $L_Б$ и $L_М$ определяют по изменению координат X и Y крайних точек тел (рис. 2, 3, 4).

$$L_0 = \Delta X_Б = X_Б - X_{0Б};$$
$$L_Б = \sqrt{(\Delta X_Б)^2 + (\Delta Y_Б)^2} = \sqrt{(X_{2Б} - X_{1Б})^2 + (Y_{2Б} - Y_{1Б})^2};$$
$$L_M = \sqrt{(\Delta X_M)^2 + (\Delta Y_M)^2} = \sqrt{(X_{2M} - X_{1M})^2 + (Y_{2M} - Y_{1M})^2}.$$

В случае нецентрального удара шайба-«биток» продолжит движение под углом α к направлению оси X. При этом $\sin\alpha = \Delta Y_Б / L_Б$; $\cos\alpha = \Delta X_Б / L_Б$. Шайба-«мишень» начнет двигаться под углом β к оси X, причем $\sin\beta = \Delta Y_M / L_M$; $\cos\beta = \Delta X_M / L_M$. Проекции векторов $\vec{P}_1$ импульса (3) до столкновения и $\vec{P}_2$ импульса после столкновения (4) на оси координат X и Y:

$$P_{1X} = m_Б v_{1Б}; \qquad P_{1Y} = 0;$$
$$P_{2X} = \pm m_Б v_{2Б}\cos\alpha + m_M v_{2M}\cos\beta; \qquad P_{2Y} = m_Б v_{2Б}\sin\alpha - m_M v_{2M}\sin\beta.$$

Внимание! Здесь и далее в формулах для проекции импульса на ось X стоит ±. Знак «плюс» берется, если «биток» тяжелее (имеет большую массу), чем «мишень (после столкновения «биток» продолжает двигаться в том же направлении, что и перед столкновением); если же наоборот, то берется знак «минус» (после столкновения «биток» движется в направлении противоположном, чем перед столкновением).

Или с учетом (2, 5):

$$P_{1X} = m_Б\sqrt{2g\mu(L_0 - L_{00})}; \qquad P_{1Y} = 0; \qquad (6)$$
$$P_{2X} = \pm m_Б\sqrt{2g\mu L_Б}\cos\alpha + m_M\sqrt{2g\mu L_M}\cos\beta; \qquad (7)$$
$$P_{2Y} = m_Б\sqrt{2g\mu L_Б}\sin\alpha - m_M\sqrt{2g\mu L_M}\sin\beta. \qquad (8)$$

Согласно закону сохранения импульса (1): $\vec{P}_1 = \vec{P}_2$ или в проекциях:

$$P_{1X} = P_{2X}; \quad P_{1Y} = P_{2Y}. \tag{9}$$

Последние соотношения и проверяются в данной лабораторной работе. Однако непосредственная проверка невозможна вследствие того, что мы не знаем коэффициент трения μ. Но обратите внимание: в (6, 7, 8) коэффициент трения входит как одинаковый и постоянный множитель $\sqrt{2g\mu}$. Введем

$$\widetilde{P} = P / \sqrt{2g\mu} \text{ − квазиимпульс.}$$

Тогда (6, 7, 8), с учетом замены $\cos\alpha$, $\sin\alpha$, $\cos\beta$, $\sin\beta$ будет

$$\widetilde{P}_{1X} = m_Б \sqrt{(L_0 - L_{00})}; \quad \widetilde{P}_{1Y} = 0; \tag{10}$$

$$\widetilde{P}_{2X} = \pm m_Б \frac{|\Delta X_Б|}{\sqrt{L_Б}} + m_M \frac{|\Delta X_M|}{\sqrt{L_M}}; \quad \widetilde{P}_{2Y} = m_Б \frac{|\Delta Y_Б|}{\sqrt{L_Б}} - m_M \frac{|\Delta Y_M|}{\sqrt{L_M}}, \tag{11}$$

а соотношения (9) будут эквивалентны таким же соотношениям, но для квазиимпульса, то есть

$$\widetilde{P}_{1X} = \widetilde{P}_{2X}; \quad \widetilde{P}_{1Y} = \widetilde{P}_{2Y}. \tag{12}$$

Вот именно эти соотношения (12) и проверяются в данной лабораторной работе.

При столкновениях в общем случае не выполняется закон сохранения механической энергии. Поэтому вводится коэффициент восстановления k − отношение энергии после столкновения к энергии до столкновения. В нашем случае кинетическая энергия системы до взаимодействия и после взаимодействия получается:

$$E_{нач} = \frac{m_Б v_{1Б}^2}{2} = \mu m_Б g (L_0 - L_{00});$$

$$E_{конеч} = \frac{m_Б v_{2Б}^2}{2} + \frac{m_M v_{2M}^2}{2} = \mu m_Б g L_Б + \mu m_M g L_M.$$

Таким образом, коэффициент восстановления

$$k = \frac{m_Б L_Б + m_M L_M}{m_Б (L_0 - L_{00})}. \tag{13}$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка состоит из горизонтально расположенного рабочего поля 3 (рис. 1) с нанесенной координатной сеткой, по которому перемещаются взаимодействующие тела 1 – «биток» и 2 – «мишень». Начальную скорость телу 1 в направлении оси *X* сообщает ударный пружинный механизм 4, 5. Перед выстрелом тело 1 фиксируется между направляющими 6.

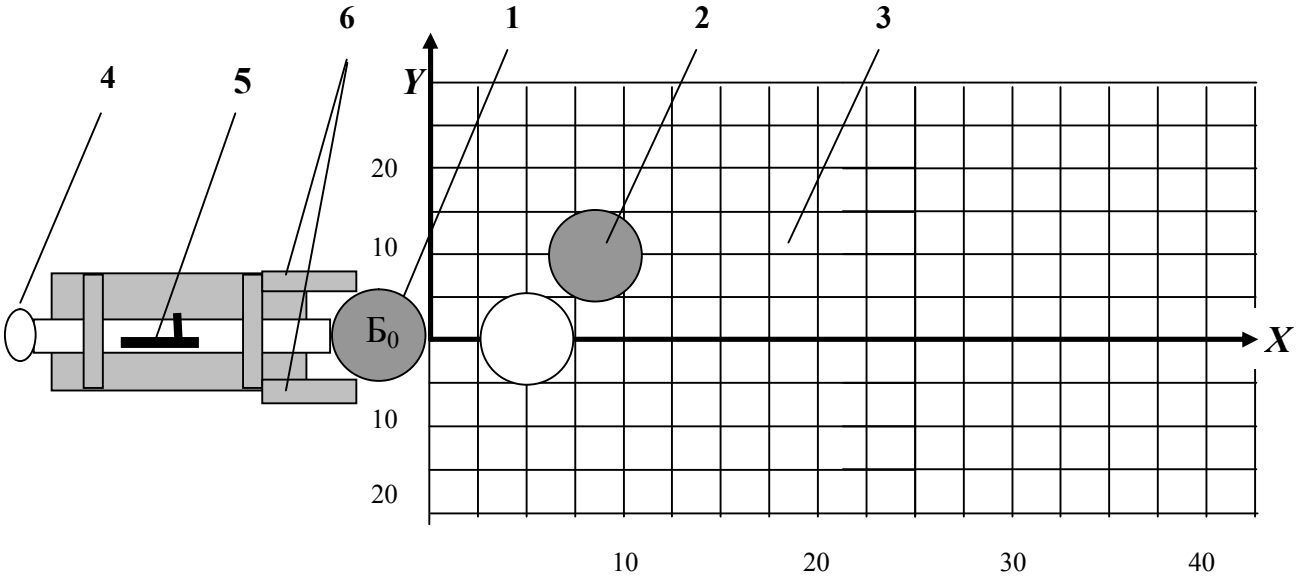

Рис. 1

Цель и задачи лабораторной работы

Задание 1. Сравнение импульсов и энергий до и после взаимодействия при центральном столкновении. Подтверждение закона сохранения импульса.

Задание 2. Сравнение импульсов и энергий до и после взаимодействия при нецентральном столкновении. Подтверждение закона сохранения импульса.

Порядок выполнения работы

Предварительные измерения

1. Измерьте массы шайб m_1, m_2 и m_3 и диаметр шайб.
2. Определите путь L_0 шайбы-«биток» при свободном движении. Для этого взведите пружинный механизм. Шайбу «биток» вставьте в направляющие до упора (положение $Б_0$). Запишите ее начальную координату $X_{0Б}$ (рис. 2). Произведите выстрел и занесите в табл. 1 координату $X_Б$ (рис. 2) крайней точки шайбы. Проведите 10 таких измерений.

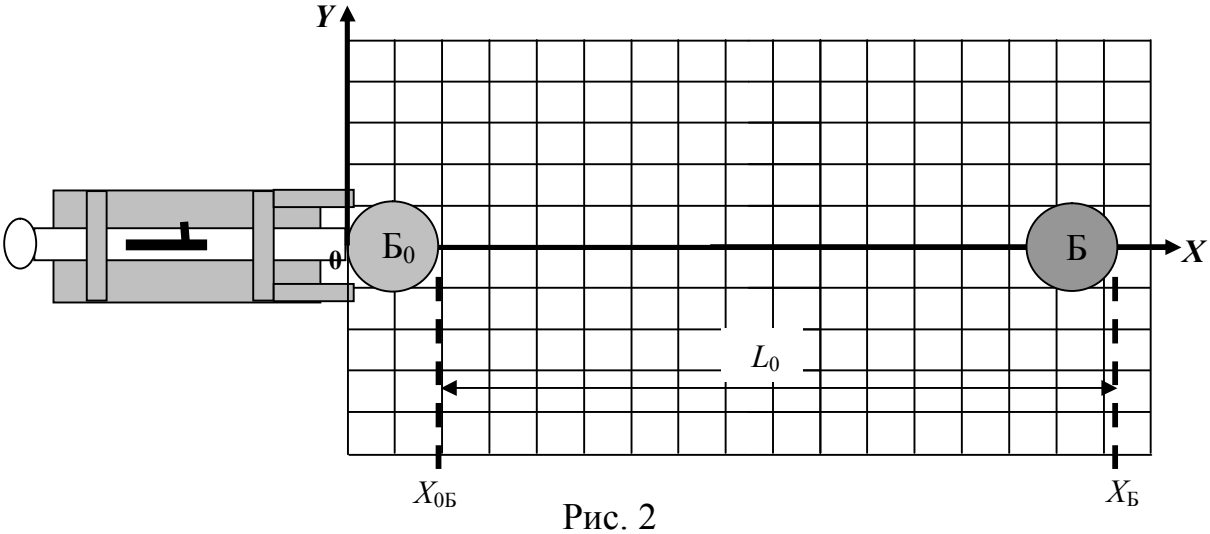

Рис. 2

Задание 1. Центральное столкновение.

Установите шайбу-«биток» в исходное положение ($Б_0$). Шайбу-«мишень» установите в заданное начальное положение $М_1$ на оси X с координатой $X_{1М}$ – рис. 3. Произведите выстрел и занесите в табл. 2 координаты $X_{2Б}$ и $X_{2М}$ шайб после столкновения и разлета. Проведите 10 таких измерений.

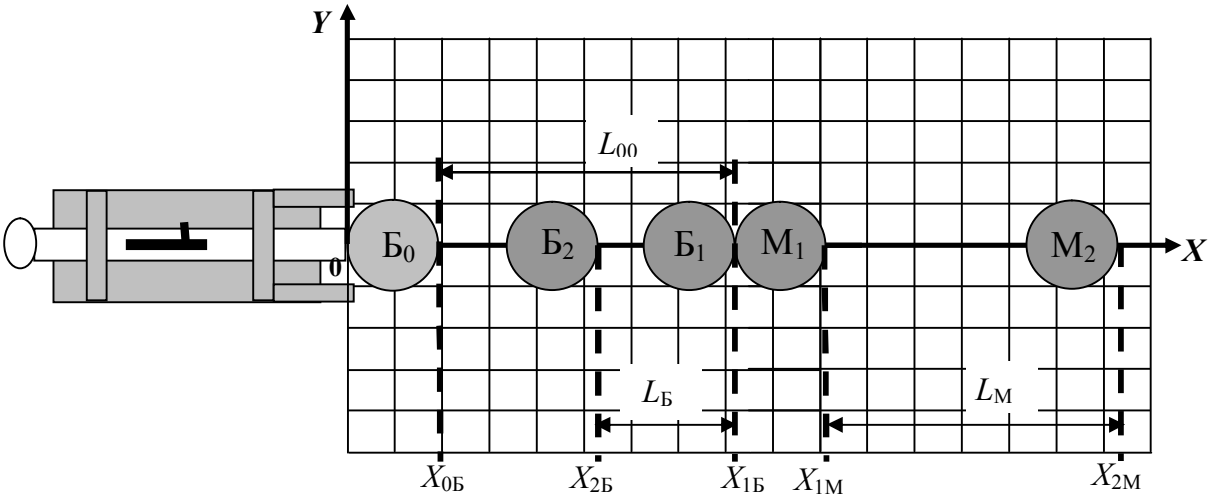

Рис. 3

Задание 2. Нецентральное столкновение.

Установите шайбу-«биток» в исходное положение. Шайбу-«мишень» установите в одном из закрашенных кругов (задает преподаватель). Запишите начальные координаты крайних точек обоих шайб (рис. 4): $X_{1Б}$; $Y_{1Б}$; $X_{1М}$; $Y_{1М}$. Произведите выстрел и занесите в табл. 3 координаты крайних точек тел после столкновения: $X_{2Б}$; $Y_{2Б}$; $X_{2М}$; $Y_{2М}$. Проведите 10 таких измерений.

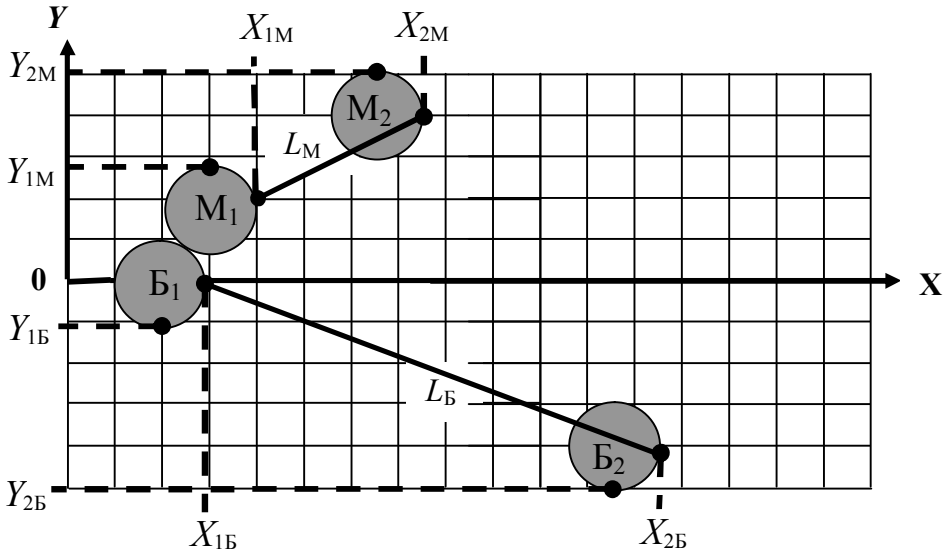

Рис. 4

Методика обработки измерений

1. Используя результаты табл. 1, рассчитайте $L_0 = X_Б - X_{0Б}$ для каждого выстрела, среднее значение $<L_0>$ и погрешность ΔL_0.
2. Используя результаты табл. 2, рассчитайте средние значения $<X_{2Б}>$, $<X_{2М}>$ и их погрешности $\Delta X_{2Б}$, $\Delta X_{2М}$; рассчитайте средние пути «битка» $<L_Б>$ и «мишени» $<L_М>$ после столкновения, а также их погрешности $\Delta L_Б$, $\Delta L_М$. Далее рассчитайте квазиимпульсы до столкновения $\widetilde{P}_{1X}$ и после столкновения $\widetilde{P}_{2X}$, а также их погрешности $\Delta\widetilde{P}_{1X}$, $\Delta\widetilde{P}_{2X}$. ***Обратите внимание:*** при расчете $\widetilde{P}_{2X}$ берется “+”, если $X_{2Б} > X_{1Б}$ и берется “−“, если $X_{2Б} < X_{1Б}$.
3. Сделайте выводы о совпадении квазиимпульсов при центральном столкновении.
4. Рассчитайте коэффициент восстановления (13) при центральном столкновении.
5. Используя результаты табл. 3, рассчитайте средние значения $<X_{2Б}>$, $<X_{2М}>$, $<Y_{2Б}>$, $<Y_{2М}>$ и их погрешности $\Delta Y_{2Б}$, $\Delta Y_{2М}$, $\Delta X_{2Б}$, $\Delta X_{2М}$; рассчитайте средние пути «битка» $<L_Б>$ и «мишени» $<L_М>$ после столкновения, а также их погрешности $\Delta L_Б$, $\Delta L_М$. Далее рассчитайте квазиимпульсы до столкновения $\widetilde{P}_{1X}$ и после столкновения $\widetilde{P}_{2X}$, а также их погрешности $\Delta\widetilde{P}_{1X}$, $\Delta\widetilde{P}_{2X}$. ***Обратите внимание:*** при расчете $\widetilde{P}_{2X}$ берется “+”, если $X_{2Б} > X_{1Б}$ и берется “−“, если $X_{2Б} < X_{1Б}$.
6. Сделайте выводы о совпадении квазиимпульсов при нецентральном столкновении.
7. Рассчитайте коэффициент восстановления (13) при нецентральном столкновении.

По всем вопросам обращайтесь к лаборанту или преподавателю.

Рекомендуемая форма отчёта

Титульный лист

УрФУ
кафедра физики

ОТЧЕТ
по лабораторной работе
Изучение закона сохранения импульса при столкновении

Студент(ка) _____.

Группа _____.

Дата _____.

На внутренних страницах:

1. Цель работы
Изучение закона сохранения импульса при столкновениях: центральном и нецентральном.
2. Расчетные формулы.
Центральное столкновение, квазиимпульсы до и после столкновения

$$\widetilde{P}_{1X} = m_Б \sqrt{(L_0 - L_{00})}\,; \qquad \widetilde{P}_{2X} = \pm m_Б \sqrt{L_Б} + m_М \sqrt{L_М}\,.$$

Нецентральное столкновение, квазиимпульсы до и после столкновения

$$\widetilde{P}_{1X} = m_Б \sqrt{(L_0 - L_{00})}\,;$$

$$\widetilde{P}_{2X} = \pm m_Б \frac{|\Delta X_Б|}{\sqrt{L_Б}} + m_М \frac{|\Delta X_М|}{\sqrt{L_М}}\,; \qquad \widetilde{P}_{2Y} = m_Б \frac{|\Delta Y_Б|}{\sqrt{L_Б}} - m_М \frac{|\Delta Y_М|}{\sqrt{L_М}}\,.$$

Коэффициент восстановления

$$k = \frac{m_Б L_Б + m_М L_М}{m_Б (L_0 - L_{00})}\,.$$

3. Принципиальная схема установки. Установка № ...

4. Средства измерений и их характеристики.
Весы аналитические: c =
Штангенциркуль: c =
Измерительное поле: c =

5. Результаты измерений.
Задание 1. Центральное столкновение.
$m_Б$ = …… ; $m_М$ = …… ; d = …… ; $X_{0Б}$ = ... ;

п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_Б$										
L_0										

$$<L_0> = \ldots ; \quad S_{<L_0>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(<L_0> - L_{0,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots ; \quad \Delta L_0 = t_{p;n} S_{<Lo>} = \ldots ;$$

$X_{1М}$ = …… ; $X_{1Б} = X_{1М} - d$ = ……; $L_{00} = X_{1Б} - X_{0Б}$ = ……;

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_{2Б}$										
$X_{2М}$										

$$<X_{2Б}> = \ldots ; \quad S_{<X>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(<X_{2Б}> - X_{2Б,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots ; \quad \Delta X_{2Б} = t_{p;n} S_{<X>} = \ldots ;$$

$$<X_{2М}> = \ldots ; \quad S_{<X>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(<X_{2М}> - X_{2М,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots ; \quad \Delta X_{2М} = t_{p;n} S_{<X>} = \ldots .$$

Пути, пройденные шайбами после столкновения, и их погрешности

$$<L_Б> = \left|<X_{2Б}> - <X_{1Б}>\right| = \ldots\ldots\ldots ; \qquad \Delta L_Б = \Delta X_{2Б} = \ldots\ldots\ldots ;$$
$$<L_М> = \left|<X_{2М}> - <X_{1М}>\right| = \ldots\ldots\ldots ; \qquad \Delta L_М = \Delta X_{2М} = \ldots\ldots .$$

Квазиимпульсы до и после столкновения и их погрешности

$$<\widetilde{P}_{1X}> = m_Б \sqrt{<L_0> - L_{00}} = \ldots\ldots ;$$

$$\delta\widetilde{P}_{1X} = \frac{\Delta L_0}{2(L_0 - L_{00})} = \ldots ; \qquad \Delta\widetilde{P}_{1X} = \delta\widetilde{P}_{1X} \cdot < \widetilde{P}_{1X} > = \ldots .$$

$$< \widetilde{P}_{2X} > = \pm m_Б \sqrt{< L_Б >} + m_M \sqrt{< L_M >} = \ldots\ldots;$$

$$\delta\widetilde{P}_{2X} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L_Б}{2L_Б}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_M}{2L_M}\right)^2} = \ldots\ldots ; \quad \Delta\widetilde{P}_{2X} = \delta\widetilde{P}_{2X} \cdot < \widetilde{P}_{2X} > = \ldots .$$

Квазиимпульс до столкновения

$$\widetilde{P}_{1X} = < \widetilde{P}_{1X} > \pm \Delta\widetilde{P}_{1X} = \ldots \pm \ldots , \; p = 0{,}95;$$

Квазиимпульс после столкновения

$$\widetilde{P}_{2X} = < \widetilde{P}_{2X} > \pm \Delta\widetilde{P}_{2X} = \ldots \pm \ldots , \; p = 0{,}95;$$

Коэффициент восстановления

$$k = \frac{m_Б L_Б + m_M L_M}{m_Б (L_0 - L_{00})} = \ldots ;$$

Выводы.

Задание 2. Нецентральное столкновение.

$X_{1Б} = \ldots$; $Y_{1Б} = \ldots$; $X_{1M} = \ldots$; $Y_{1M} = \ldots$; $L_{00} = X_{1Б} - X_{0Б} = \ldots$;

п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_{2Б}$										
$Y_{2Б}$										
$X_{2М}$										
$Y_{2М}$										

$$<X_{2Б}> = \ldots ; \quad S_{<X>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(< X_{2Б} > - X_{2Б,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots ; \quad \Delta X_{2Б} = t_{p;n} S_{<X>} = \ldots ;$$

$$<Y_{2Б}> = \ldots ; \quad S_{<Y>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(< Y_{2Б} > - Y_{2Б,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots ; \quad \Delta Y_{2Б} = t_{p;n} S_{<Y>} = \ldots ;$$

$<X_{2М}> = \ldots$; $S_{<X>} = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(< X_{2M} > - X_{2M,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots$; $\Delta X_{2М} = t_{p;n} S_{<X>} = \ldots$;

$<Y_{2М}> = \ldots$; $S_{<Y>} = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(< Y_{2M} > - Y_{2M,i}\right)^2}{n(n-1)}} = \ldots$; $\Delta Y_{2М} = t_{p;n} S_{<Y>} = \ldots$;

Изменение координат шайб после столкновения

$\Delta X_{Б} =< X_{2Б} > - < X_{1Б} > = \ldots\ldots$; $\Delta Y_{Б} =< Y_{2Б} > - < Y_{1Б} > = \ldots\ldots\ldots\ldots$;
$\Delta X_{М} =< X_{2М} > - < X_{1М} > = \ldots\ldots$; $\Delta Y_{М} =< Y_{2М} > - < Y_{1М} > = \ldots\ldots\ldots$;

Пути, пройденные шайбами после столкновения, и их погрешности

$L_{Б} = \sqrt{(\Delta X_{Б})^2 + (\Delta Y_{Б})^2} = \ldots\ldots$; $L_{М} = \sqrt{(\Delta X_{М})^2 + (\Delta Y_{М})^2} = \ldots\ldots\ldots$;

$$\Delta L_{Б} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_{Б}}{L_{Б}} \Delta X_{2Б}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y_{Б}}{L_{Б}} \Delta Y_{2Б}\right)^2} = \ldots\ldots ;$$

$$\Delta L_{М} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_{М}}{L_{М}} \Delta X_{2М}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y_{М}}{L_{М}} \Delta Y_{2М}\right)^2} = \ldots\ldots ;$$

Квазиимпульсы до и после столкновения и их погрешности

$< \widetilde{P}_{1X} >= m_{Б}\sqrt{(L_0 - L_{00})} = \ldots\ldots$;

$\delta\widetilde{P}_{1X} = \dfrac{\Delta L_0}{2(L_0 - L_{00})} = \ldots\ldots$; $\Delta\widetilde{P}_{1X} = \delta\widetilde{P}_{1X} \cdot < \widetilde{P}_{1X} > = \ldots\ldots$;

$$< \widetilde{P}_{2X} >= \pm m_{Б}\frac{|\Delta X_{Б}|}{\sqrt{L_{Б}}} + m_{М}\frac{|\Delta X_{М}|}{\sqrt{L_{М}}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots ;$$

$$< \widetilde{P}_{2Y} >= m_{Б}\frac{|\Delta Y_{Б}|}{\sqrt{L_{Б}}} - m_{М}\frac{|\Delta Y_{М}|}{\sqrt{L_{М}}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots ;$$

$$\Delta\widetilde{P}_{2X} = \sqrt{\frac{(m_{Б}\Delta X_{2Б})^2}{L_{Б}} + \frac{(m_{Б}\Delta X_{Б}\Delta L_{Б})^2}{4L_{Б}^3} + \frac{(m_{М}\Delta X_{2М})^2}{L_{М}} + \frac{(m_{М}\Delta X_{М}\Delta L_{М})^2}{4L_{М}^3}} = \ldots\ldots ;$$

$$\Delta\widetilde{P}_{2Y} = \sqrt{\frac{(m_{Б}\Delta Y_{2Б})^2}{L_{Б}} + \frac{(m_{Б}\Delta Y_{Б}\Delta L_{Б})^2}{4L_{Б}^3} + \frac{(m_{М}\Delta Y_{2М})^2}{L_{М}} + \frac{(m_{М}\Delta Y_{М}\Delta L_{М})^2}{4L_{М}^3}} = \ldots\ldots\ldots ;$$

Квазиимпульс до столкновения

$$\widetilde{P}_{1X} = <\widetilde{P}_{1X}> \pm \Delta\widetilde{P}_{1X} = \ldots\ldots. \pm \ldots\ldots\ , \quad p = 0{,}95;$$

Квазиимпульс после столкновения

$$\widetilde{P}_{2X} = <\widetilde{P}_{2X}> \pm \Delta\widetilde{P}_{2X} = \ldots\ldots. \pm \ldots\ldots\ , \quad p = 0{,}95;$$
$$\widetilde{P}_{2Y} = <\widetilde{P}_{2Y}> \pm \Delta\widetilde{P}_{2Y} = \ldots\ldots. \pm \ldots\ldots\ , \quad p = 0{,}95;$$

Коэффициент восстановления

$$k = \frac{m_Б L_Б + m_М L_М}{m_Б (L_0 - L_{00})} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как записывают и когда справедлив ЗСИ?
2. Как записывают закон сохранения механической энергии (ЗСМЭ) при упругом центральном ударе двух тел?
3. В каких ударах выполняются: а) ЗСМЭ; б) ЗСИ; в) оба закона?
4. Почему соударяющиеся шайбы можно считать замкнутой системой?
5. Какие прямые измерения необходимо сделать в работе для проверки выполнения ЗСИ?
6. От каких величин зависит: а) скорость ударяющего тела; б) импульс и скорость тел после неупругого удара?
7. Какой удар называется центральным?
8. Какой удар называется нецентральным?
9. От чего зависит направление движения тел после нецентрального удара?

---

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. I. Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. − М. : Наука , 1982. − 280 с.
2. Механика и молекулярная физика: учебное пособие к выполнению лабораторных работ/ В.К. Герасимов, С.Н. Клыков, С.И. Морозов [и др.]; под ред. А.Е. Гришкевича. – Челябинск : ЮУрГУ, 2005. – 95 с.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ

Составитель: **Кириллов** Олег Евгеньевич

Редактор *Н. В. Рощина*

Компьютерный набор *авторский*

Подписано в печать 28.02.2011. Формат 60x84 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 0,93.
Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, Мира, 19
rio@mail.ustu.ru

Ризография НИЧ УрФУ
620002, Екатеринбург, Мира, 19