

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физики

**УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ СОУДАРЕНИЯ
Лабораторная работа № 76**

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки

Казань
2013

УДК 53.076
ББК 22.333
С89

С89 Упругие и неупругие соударения. Лабораторная работа № 76: Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех направлений подготовки / Сост. В.И. Сундуков. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. – 9 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения аудиторной и самостоятельной работы студентов всех специальностей.

В работе изложены некоторые вопросы механики, связанные с ударными взаимодействиями тел. Приведено описание лабораторной установки и изложена методика проведения эксперимента.

Рис. 1; табл. 3.

Рецензент
Доцент кафедры автоматики и электротехники
В.С. Дериновский

УДК 53.076
ББК 22.333

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2013

© Сундуков В.И., 2013

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучение упругого и неупругого ударов. Исследование физических характеристик, сохраняющихся при столкновениях.
- Экспериментальное определение зависимости потерь механической энергии при неупругом столкновении от соотношения масс тел.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Особое место в физике занимают два фундаментальных закона сохранения – закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

Импульс. Закон сохранения импульса

Мы будем рассматривать только поступательные движения тел, при котором все точки тела двигаются по одинаковым траекториям. В этом случае тело можно заменить материальной точкой. Для характеристики механического состояния при движении тела (материальной точки) вводится физическая величина – импульс. **Импульс – векторная величина, численно равная произведению массы тела на его скорость:**

$$\vec{p} = m\vec{V} . \quad (1)$$

Согласно второму закону Ньютона

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} . \quad (2)$$

Таким образом, изменение импульса тела может происходить только под действием сил. При рассмотрении системы тел **импульс системы** определяется как векторная сумма импульсов тел, включенных в эту систему. Силы взаимодействия между телами системы называются внутренними. Силы, действующие на тела системы со стороны тел, не включенных в систему, называются внешними. Если внешних сил нет или их действие скомпенсировано, то система называется замкнутой.

В замкнутой системе тел её импульс остаётся неизменным – в этом заключается закон сохранения импульса:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i \vec{V}_i . \quad (3)$$

Закон сохранения импульса принадлежит к числу основных фундаментальных законов, так как связан с однородностью пространства. Это означает, что физические свойства системы и законы её движения не зависят от выбора начала координат инерциальной системы отсчёта.

Энергия. Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи, рассматриваемых в физике. В соответствии с этим вводят различные виды энергии: механиче-

скую, внутреннюю, электромагнитную и т.д. Механическая энергия включает в себя кинетическую и потенциальную. Кинетическая энергия тела обусловлена его движением и определяется формулой:

$$E = \frac{mV^2}{2} . \quad (4)$$

Потенциальная энергия обусловлена взаимодействием тел системы между собой и зависит от взаимного расположения тел. Причём силы взаимодействия должны быть консервативными (или потенциальными). К таким силам относятся, например, силы тяготения и силы упругости. Работа консервативных сил не зависит от траектории движения тел. Единой формулы для потенциальной энергии нет, так как она зависит от вида сил. Полной механической энергией называется величина равная сумме кинетической и потенциальной энергии:

$$E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} . \quad (5)$$

Механическая энергия характеризует способность тела или системы совершать работу и измеряется величиной этой работы. При решении конкретных задач в первую очередь интересуются не самим значением энергии, а изменением энергии.

Полная механическая энергия замкнутой системы остаётся неизменной (сохраняется), если между телами системы действуют только консервативные силы.

Энергия будет изменяться в тех случаях, когда система не будет замкнутой или между телами системы будут действовать неконсервативные силы. Ещё такие силы называют диссипативными. Для незамкнутой системы её механическая энергия может или уменьшаться или увеличиваться, в зависимости от работы внешних сил. Изменение энергии будет численно равно работе внешних сил. В случае замкнутой системы наличие сил трения или сопротивления, которые являются не консервативными, а диссипативными силами, всегда приводит к уменьшению полной механической энергии системы. Механическая энергия теряется, поскольку превращается в процессе работы сил трения во внутреннюю энергию тела. Тела при этом нагреваются. Потери механической энергии будут равны количеству теплоты, приобретенной телом. Закон сохранения энергии связан с однородностью времени. Это свойство времени означает, что законы движения не зависят от выбора начала отсчета времени.

Закон сохранения механической энергии и закон сохранения импульса позволяют находить решения механических задач в тех случаях, когда неизвестны действующие силы. Примером такого рода задач является ударное взаимодействие тел.

Ударом (или **столкновением**) принято называть кратковременное взаимодействие тел, в результате которого их скорости испытывают значительные изменения. С ударным взаимодействием тел нередко приходится иметь дело в обыденной жизни, в технике и в физике. Во время столкновения тел между ними действуют кратковременные ударные силы, величины которых, как правило, неизвестны. Поэтому нельзя рассматривать ударное взаимодействие непосредственно с помощью законов Ньютона. Применение законов сохранения энергии и импульса, во многих случаях, позволяет исключить из рассмотрения сам процесс столкновения и получить связь между скоростями тел до и после столкновения, минуя все промежуточные значения этих величин.

В механике часто используются две модели ударного взаимодействия – абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары. **Абсолютно неупругим ударом** называют такое ударное взаимодействие, при котором тела соединяются (слипаются) друг с другом и движутся дальше как одно тело. При абсолютно неупругом ударе механическая энергия не сохраняется. Она частично или полностью переходит во внутреннюю энергию тел, которые при этом нагреваются.

Абсолютно неупругий удар можно продемонстрировать с помощью шаров из пластилина, которые движутся навстречу друг другу. Пусть до столкновения шары движутся по линии, которая проходит через их центры. Такой удар называется **центральной**, поскольку силы взаимодействия тоже будут проходить через центры шаров. Как до удара, так и после, шары двигались, и будут двигаться поступательно. При **нецентральной ударе** сталкивающиеся тела приобретут кроме поступательного движения также и дополнительное вращение.

Если массы шаров m_1 и m_2 , их скорости до удара V_1 и V_2 , то, используя закон сохранения импульса, можно записать:

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = (m_1 + m_2)\vec{V} , \quad (6)$$

где V – скорость движения шаров после удара. Поскольку движения происходит вдоль прямой, то векторы скорости можно заменить их проекциями. Проекции векторов будут равны их величинам с учётом знака. Отрицательное значение скорости будет означать, что другой шар движется в противоположную сторону. Скорость слипшихся шаров после удара найдётся из выражения:

$$V = \frac{m_1V_1 + m_2V_2}{m_1 + m_2} . \quad (7)$$

В случае движения шаров навстречу друг другу, после удара они будут продолжать движение вместе в ту сторону, в которую двигался шар с большим импульсом. Определим, как изменяется кинетическая энергия

шаров при абсолютно неупругом ударе. Так как в процессе соударения шаров между ними действуют силы, зависящие от их скоростей, а не от самих деформаций, то мы имеем дело с диссипативными силами, подобным силам трения, поэтому закон сохранения механической энергии в этом случае не должен соблюдаться. Вследствие деформации происходит уменьшение кинетической энергии, которая переходит во внутреннюю (тепловую) энергию. Это уменьшение можно определить по разности кинетической энергии тел до и после удара:

$$\Delta E = \left(\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} \right) - \frac{(m_1 + m_2) V^2}{2} . \quad (8)$$

Используя выражение (7) после несложных преобразований, получаем:

$$\Delta E = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (V_1 - V_2)^2 \quad (9)$$

Если ударяемое тело было первоначально неподвижно ($V_2 = 0$), то

$$\Delta E = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \frac{m_1 V_1^2}{2} \quad (10)$$

Когда $m_2 \gg m_1$ (масса неподвижного тела очень велика), то $V \ll V_1$ и практически вся кинетическая энергия тела переходит при ударе в другие формы энергии. Следовательно, при ковке металла, когда желательно чтобы ΔE была больше, отношение m_2 / m_1 нужно сделать тоже больше. Поэтому наковальню делают тяжелой, массивной. Аналогично, при клепке какой-либо детали, молоток надо выбирать полегче. При забивании гвоздя или сваи в грунт, молоток (или бабу копра) надо брать потяжелее, чтобы большая часть энергии пошла на перемещение тела.

Упругий удар. Перейдем теперь к удару упругих тел. Ударный процесс таких тел происходит гораздо сложнее. Под действием ударной силы их деформация сначала увеличивается. Она увеличивается до тех пор, пока скорости тел не уравниваются. Затем, за счет упругости материала, начнется восстановление первоначальной формы тел. Также во время удара скорости тел начнут изменяться, и они будут изменяться до тех пор, пока тела не отделятся друг от друга. При абсолютно упругом ударе исходная форма тел восстанавливается полностью. При неупругом ударе, также как и при упругом, возможны случаи центрального и нецентрального соударения. После центрального соударения тела разлетаются поступательно (без вращения). При абсолютно упругом ударе наряду с законом сохранения импульса выполняется закон сохранения механической энергии. Во многих случаях столкновения атомов, молекул и элементарных частиц подчиняются законам абсолютно упругого удара. Простым примером абсолютно

упругого столкновения может быть центральный удар двух бильярдных шаров.

В данной работе соударения тел изучается на компьютерной модели движения тележек. Тележки по рельсам могут двигаться только вдоль прямой и не могут вращаться. Удар при этом получается центральным. Неупругий удар имитируется сцеплением тележек. Сцепное устройство заставляет тележки после удара двигаться вместе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Запустите на компьютере программу «Открытая физика». Выберите «Механика», затем – «Упругие и неупругие соударения». Внимательно рассмотрите рисунок, найдите все регуляторы и другие основные элементы (рис.1).

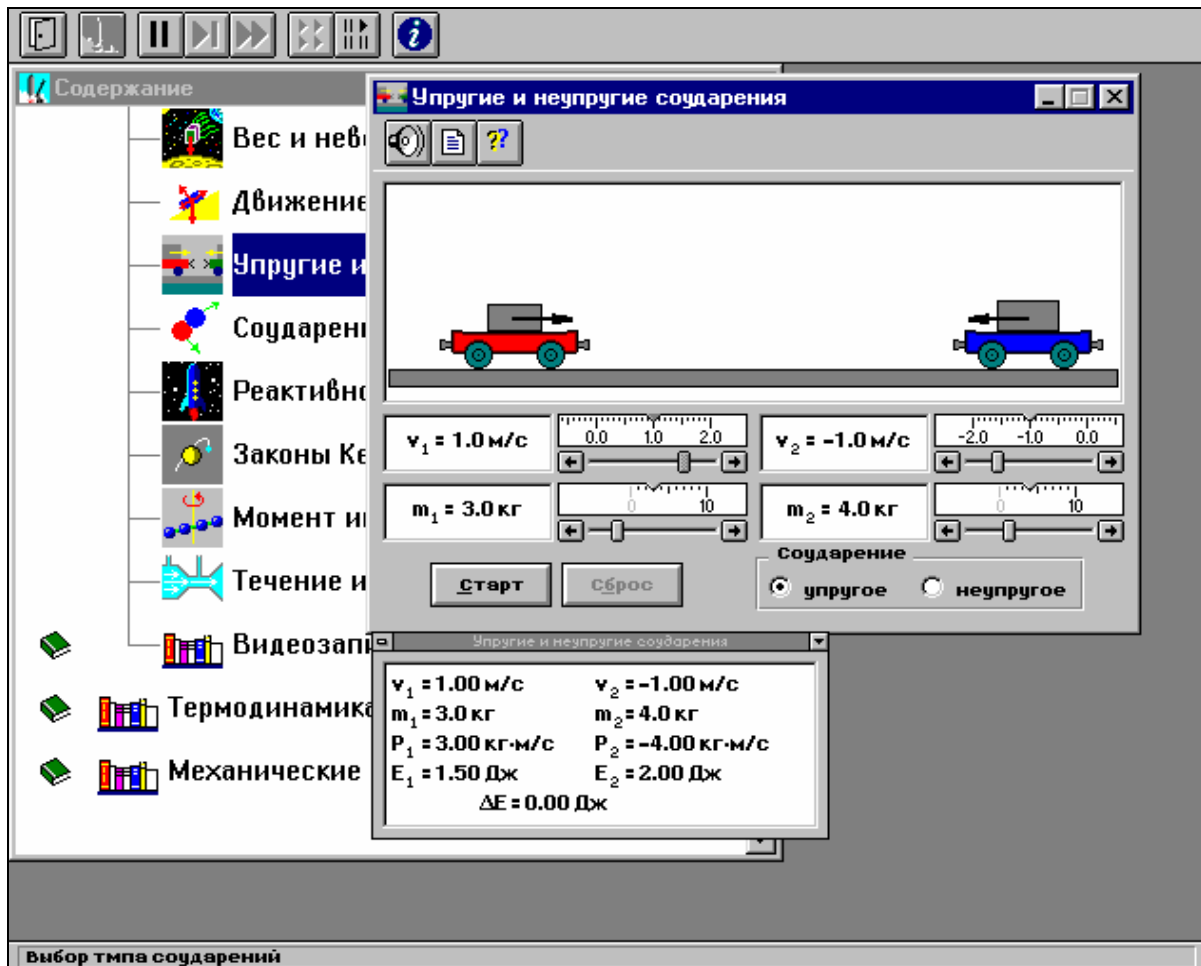


Рис. 1. Вид лабораторной работы на экране компьютера

1. Исследование абсолютно неупругого удара

Нажмите кнопку «Неупругий» справа внизу. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, значение массы первой тележки и её начальную скорость, указанные в табл. 1 для вашего варианта. Скорость второй тележки установите равной нулю. Массу второй тележки установите равной 1 кг. Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора, следите за движением тележек, останавливая движение после первого столкновения кнопкой «СТОП». Результаты измерений необходимых величин записывайте в табл. 2, образец которой приведен ниже. Увеличьте массу второй тележки на 1–2 кг и повторите измерения. Результаты запишите в табл. 2, образец которой приведен ниже.

Таблица 1

Значения параметров эксперимента

Номер варианта	m_1 (кг)	V_1 (м/с)	Номер варианта	m_1 (кг)	V_1 (м/с)
1	2	1	3	4	1
2	2	2	4	4	2

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов для абсолютно неупругого удара

Номер измерения	$m_1=$ $V_1=$		
	m_2	ΔE	$\frac{m_2}{m_1 + m_2}$
<u>1</u>			
<u>2</u>			
...			
<u>5</u>			
<u>6</u>			

2. Исследование абсолютно упругого удара

Включите кнопку «Упругий» справа внизу. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, произвольные начальные значение массы первой и второй тележек m_1 и m_2 и их начальные скорости. Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора, следите за движением тележек, останавливая движение после первого столкновения кнопкой «СТОП». Результаты измерений необходимых величин записывайте в табл. 3, образец которой приведен ниже. Измените массу тележек и их скорости и повторите измерения. Результаты измерений запишите в табл. 3, образец которой приведен ниже. Повторите эксперимент 3 раза.

Таблица 3

Результаты измерений для абсолютно упругого удара

Номер измерения	p_1 до	p_2 до	E_1 до	E_2 до	p_1 после	p_2 после	E_1 после	E_2 после
<u>1</u>								
<u>2</u>								
<u>3</u>								

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Измерьте и вычислите требуемые величины, занесите полученные данные в табл. 2 и 3.
2. Постройте график зависимости потери механической энергии ΔE от отношения $\frac{m_2}{m_1 + m_2}$ и сделайте выводы.
3. Пользуясь табл. 3, проверьте выполнение законов сохранения импульсов и энергии. Покажите расчётами, что сумма импульсов тел и сумма их энергий до и после удара совпадают.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте формулировку закона сохранения импульса.
2. Дайте определение кинетической энергии.
3. Дайте определение потенциальной энергии.
4. Что такое полная механическая энергия.
5. Дайте формулировку закона сохранения энергии.
6. Что такое замкнутая система тел?
7. Что такое удар (столкновение, соударение)?
8. Для какого взаимодействия двух тел можно применять модель удара?
9. Какие столкновения называют абсолютно неупругими, и какие – абсолютно упругими?
10. При каких столкновениях форма тел восстанавливается, и при каких – не восстанавливается?
11. Какие удары называются центральными и нецентральными?
12. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?
13. Когда выполняется закон сохранения механической энергии?
14. При каком столкновении выделяется тепловая энергия?

УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ СОУДАРЕНИЯ
Лабораторная работа № 76

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки

Составитель Сундуков В.И.