

Ю. В. Тихомиров

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по курсу физики

С КОМПЬЮТЕРНЫМИ МОДЕЛЯМИ

(механика)

*для студентов всех специальностей
всех форм обучения*

МОСКВА - 2010

Ю. В. Тихомиров

Лабораторные работы по курсу физики с компьютерными моделями (механика).

Учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений дневной, вечерней и заочной (дистанционной) форм обучения. М., 2010. 38 с.

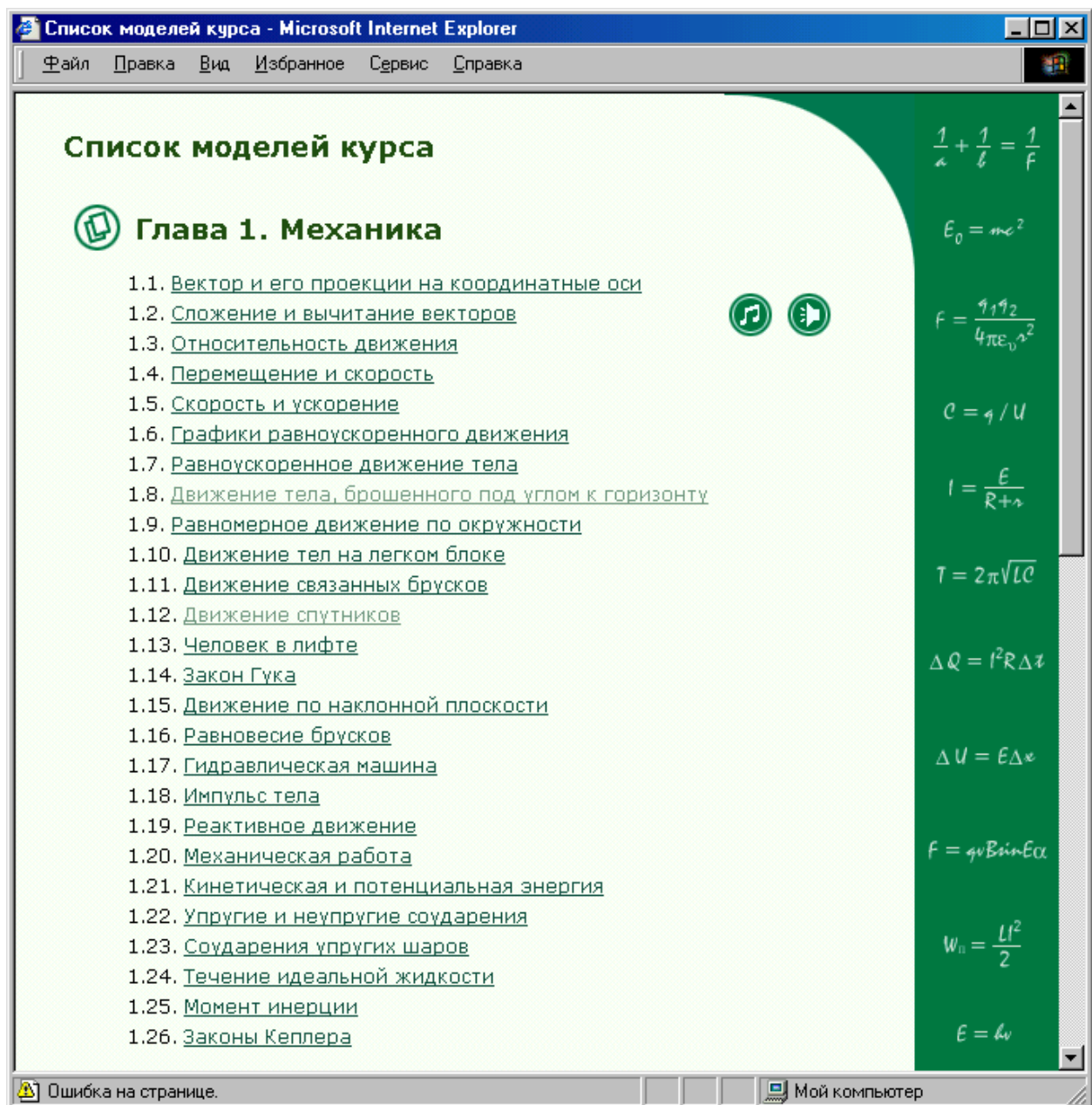
СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	6
ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА для ДОПУСКА к ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	6
ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ.....	7
Раздел 1. МЕХАНИКА.....	9
1_1. ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ.....	9
1_2. ДВИЖЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОЙ СИЛЫ.....	15
1_3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.....	20
1_4. УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ УДАРЫ.....	26
1_5. СОУДАРЕНИЯ УПРУГИХ ШАРОВ.....	32
НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Данный сборник содержит описания к лабораторным работам, в которых используются компьютерные модели из курса «Открытая Физика» версия 2.6, разработанного компанией «Физикон».

Для начала работы необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда ее маркер расположен над эмблемой сборника компьютерных моделей. После этого появится начальная картинка, имеющая следующий вид:



Чтобы просмотреть дальнейшие пункты содержания данного раздела, надо щелкнуть левой кнопкой мыши, установив ее маркер на кнопку со стрелкой вниз, расположенную в правом нижнем углу.

Установите маркер мыши над названием требуемой компьютерной модели и дважды быстро нажмите левую кнопку мыши. Перемещать окна можно, зацепив мышью (нажав и удерживая левую кнопку) заголовок окна (имеющий синий фон). Заккрытие окна осуществляется нажатием кнопки с крестом в правом верхнем углу окна.

ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Для допуска:

- каждый студент предварительно оформляет свой персональный конспект данной ЛР (см. соответствующие требования);
- преподаватель индивидуально проверяет оформление конспекта и задает вопросы по теории, методике измерений, установке и обработке результатов;
- студент отвечает на заданные вопросы (письменно в черновике конспекта или устно);
- преподаватель допускает студента к работе и ставит свою подпись в конспекте студента (графа ДОПУСК в табличке на обложке).

ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Конспект для допуска к ЛР готовится заранее на двойных листах из школьной тетради в клетку (4-5 двойных листов в зависимости от почерка).

Первая страница (обложка):

Допуск	Измерения	Установка	Зачет

Лабораторная работа N__
Название:

Выполнил:
студент группы _____
ФИО _____
Дата выполнения: _____
Дата сдачи: _____

Следующие страницы:

ЧЕРНОВИК (здесь и далее на этой стороне должны быть представлены все расчеты, включая расчетные формулы и подстановку числовых значений)	<u>Цель работы:</u> (переписать полностью из описания). <u>Краткая теория</u> (выписать основные формулы и пояснить каждый символ, входящий в формулу). <u>Экспериментальная установка</u> (нарисовать чертеж и написать наименование деталей). <u>Таблицы</u> (состав таблиц и их количество определить самостоятельно в соответствии с методикой измерений и обработкой их результатов). <u>Оформление отчета</u> (переписать полностью из описания). Этот раздел в описании может иметь и другое название, например, “Обработка результатов и оформление отчета”.
---	---

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ

Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

- Выполнение всех пунктов раздела описания «Оформление отчета» (в черновике представлены все расчеты требуемых величин, заполнены чернилами все таблицы, построены все графики).
- Графики должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже.
- Для всех величин в таблицах должна быть записана соответствующая единица измерения.
- Записаны выводы по каждому графику (см. ниже шаблон).
- Выписан ответ по установленной форме (см. ниже шаблон).
- Записаны выводы по ответу (см. ниже шаблон).

ГРАФИК (требования):

- на миллиметровке или листе в клетку, размер не менее 1/2 тетрадного листа;
- на графике: оси декартовой системы, на концах осей – стрелки, символы величин, единицы измерения, 10^N ;
- на каждой оси – **РАВНОМЕРНЫЙ МАСШТАБ** (риски через равные промежутки, числа через равное количество рисок);
- под или над графиком – полное название графика **СЛОВАМИ**;
- на графике – экспериментальные и теоретические точки ярко;
- форма графика соответствует теоретической зависимости (не ломаная).

ВЫВОД по ГРАФИКУ (шаблон):

Полученный экспериментально график зависимости _____
название функции словами
от _____ имеет вид (прямой, проходящей через начало координат,
название аргумента
параболы, гиперболы, плавной кривой) и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____.
формула

ОТВЕТ: По результатам измерений и расчетов получено значение _____,
название физической характеристики равно _____ = (_____ $\pm$ _____) $\cdot 10$ — _____.
символ среднее ошибка степень ед. измер.

ВЫВОД по ОТВЕТУ (шаблон):

Полученное экспериментально значение характеристики _____,
полное название словами
равное _____, с точностью до ошибки измерений,
число, единица измерения
составляющей _____, (совпадает, не совпадает) с (табличным
число, единица измерения
теоретическим) значением этой характеристики, равным _____.
число, единица измерения

РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_1. ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Глава 1. Механика» и «Модель 1.8. Движение тела, брошенного под углом к горизонту». Прочитайте краткие теоретические сведения. Подготовьте конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Знакомство с движением объекта, моделью которого является МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА (МТ).
- Исследование движения объекта с постоянным ускорением.
- Экспериментальное определение ускорения свободного падения на поверхности Земли.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА – это абстрактный объект (модель), имеющий бесконечно малые размеры, и обладающий характеристиками реального тела. МТ применяется для анализа движения объектов, размерами которых можно пренебречь в условиях данной задачи. Иногда такие объекты тоже называют «материальная точка» или «частица».

ПОЛОЖЕНИЕ МТ – это расположение МТ относительно тел отсчета в данный момент времени. Математическое описание положения МТ – ее радиус-вектор $\vec{r}$, проведенный из начала системы координат, оси которой проходят через тела отсчета. Проекции радиус-вектора на оси системы координат называют координатами МТ.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ есть изменение положения объекта в пространстве со временем.

ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ – это функция $\vec{r}(t) = \{x(t), y(t), z(t)\}$, описывающая зависимость радиус-вектора (координаты) от времени.

СКОРОСТЬ есть векторная кинематическая характеристика движения, показывающая быстроту и направление движения. Математически

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt}.$$

УСКОРЕНИЕ есть векторная кинематическая характеристика движения, показывающая быстроту и направление изменения скорости. Математически

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}.$$

ТРАЕКТОРИЯ есть геометрическое место точек, которые последовательно проходит МТ при ее движении. В каждой точке вектор скорости направлен по касательной к траектории.

Для движения с постоянным ускорением ($\vec{a} = \text{const}$) закон движения имеет вид:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2},$$

где $\vec{r}_0$ – начальное положение и $\vec{v}_0$ – начальная скорость МТ;

закон скорости: $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$.

При свободном движении тела вблизи поверхности Земли $\vec{a} = \vec{g}_0$ – ускорению свободного падения.

ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ показывает, как быстро меняется величина (модуль вектора) скорости

$$a_t = \frac{d|\vec{v}|}{dt};$$

оно направлено по касательной к траектории.

НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ показывает, как быстро меняется направление вектора скорости. Формула для этой составляющей ускорения имеет вид

$$a_n = \frac{v^2}{R},$$

где R – радиус кривизны траектории. Нормальное ускорение перпендикулярно касательной к траектории в данной точке.

ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ определяется по теореме Пифагора:

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}.$$

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для $y_{\max}$ максимальной высоты подъема тела (в черновике).

УКАЗАНИЯ: Для верхней точки траектории вертикальная проекция скорости равна нулю. Из уравнения $v_y(t_{дв})=0$ выразите $t_{дв}$ и подставьте в формулу для $y(t)$.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

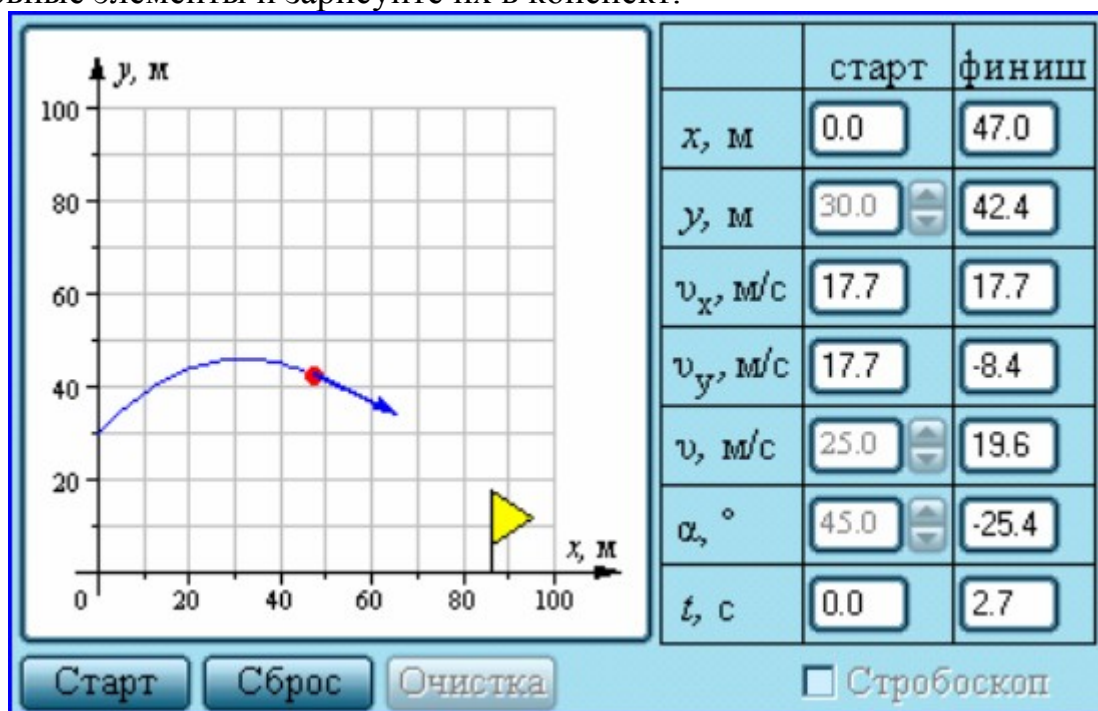


Рис.1. Модель тела, брошенного под углом к горизонту.

Если «Стробоскоп» включен, выключите его, установив маркер мыши на квадрат с меткой и нажав (коротко) на левую кнопку мыши (в этом квадратном окошке должно быть чисто).

Нажмите мышью кнопку «Старт». Обратите внимание, что после нажатия кнопка превратилась в кнопку «Стоп». Внимательно рассмотрите картинку в средней части монитора. Найдите кнопочные регуляторы, задающие высоту бросания $h = y(\text{при } t=0)$, начальную скорость $V_0 = V(\text{при } t=0)$ и угол бросания α . Подведите маркер мыши к регулятору высоты y , нажмите кнопку ВВЕРХ (Δ) или ВНИЗ (∇) и, удерживая левую кнопку мыши на кнопке, получите нужное значение высоты, указанное в табл. 1 для вашей бригады. Тем же методом с помощью кнопок около символа угла бросания α установите значение угла, указанное в табл. 1 (см. ниже) для вашей бригады.

На мониторе щелкните мышью кнопку «Сброс». Нажмите мышью кнопку «Старт». Когда МТ будет около верхней точки траектории (т.е. вертикальная компонента скорости V_y будет очень мала), нажмите мышью кнопку «Стоп». Обратите внимание, что кнопка превратилась в кнопку «Старт» и вы можете продолжить движение тела, добиваясь очень малого значения вертикальной скорости. Если вертикальная скорость стала отрицательной, придется все начинать сначала, нажав кнопку «Сброс». Когда научитесь получать положительное значение, достаточно близкое к 0, тогда можете обратиться к преподавателю.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Приступайте к измерениям на первой траектории.

1. На мониторе щелкните мышью кнопку «Сброс».
2. Нажмите мышью кнопку «Старт» и, когда МТ будет в верхней точке траектории (вертикальная компонента скорости V_y будет очень маленькой), нажмите «Стоп». Добейтесь минимального значения вертикальной скорости и запишите результаты измерений координаты $y_{\max}$ в табл. 2, образец которой приведен ниже. Нажмите кнопку «Сброс».
3. Установите начальную скорость движения для следующей траектории, которая указана в таблицах 1 и 2.
4. Проведите измерения $y_{\max}$ по пунктам 1 и 2.
5. Повторите действия по пунктам 3 и 4.

Таблица 1 (не перерисовывать). Начальные параметры траекторий

Номер бригады	Начальная высота h , м	Начальный угол α , град	Номер бригады	Начальная высота h , м	Начальный угол α , град
1	10	60	5	10	45
2	30	60	6	30	45
3	50	60	7	50	45
4	60	60	8	60	45

Таблица 2. Результаты измерений ($h = \underline{\hspace{1cm}}$ м, $\alpha = \underline{\hspace{1cm}}$ град)

Номер измерения	Траект. 1 $v_0 = 15$ м/с		Траект. 2 $v_0 = 17$ м/с		Траект. 3 $v_0 = 19$ м/с		Траект. 4 $v_0 = 22$ м/с		Траект. 5 $v_0 = 25$ м/с	
	y_{MAX}	Δy_{MAX}	y_{MAX}	Δy_{MAX}	y_{MAX}	Δy_{MAX}	y_{MAX}	Δy_{MAX}	y_{MAX}	Δy_{MAX}
1										
2										
3										
4										
5										
$\langle y_{MAX} \rangle$										
Абс. ош.										

Таблица 3. Результаты расчетов

Номер измерения	1	2	3	4	5
v_0 , м/с					
v_0^2 , (м/с) ²					
$\langle y_{MAX} \rangle$, м					
$\sin \alpha$					
$\sin^2 \alpha$					
g , м/с ²					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в таблицу 2 средние значения вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle y_{MAX} \rangle$ и отклонения Δy_{MAX} измеренного значения от среднего.
2. Вычислите и запишите в табл.3 все необходимые характеристики.
3. Постройте график зависимости средних значений вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle y_{MAX} \rangle$ от квадрата начальной скорости.
4. Определите по графику значение ускорения свободного падения g , используя формулу

$$g = \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \frac{\Delta(v_0^2)}{\Delta(y_{MAX})}.$$

5. Вычислите ошибку среднего значения g .

6. Запишите ответ и проанализируйте ответ и график.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение материальной точки.
2. Как определяется положение материальной точки?
3. Дайте определение системы отсчета.
4. Что такое ось системы координат?
5. Что такое декартова система координат?
6. Дайте определение механического движения.
7. Что такое скорость материальной точки?
8. Как математически записывается быстрота изменения какой-либо переменной величины?
9. Дайте определение ускорения МТ.
10. Что такое траектория движения МТ?
11. Что такое закон движения?
12. Запишите закон движения для движения МТ с постоянным ускорением.
13. Запишите закон изменения скорости для движения МТ с постоянным ускорением.
14. Дайте определение пути при произвольном движении МТ.
15. Напишите формулу для вычисления пути при произвольном движении МТ.
16. Дайте определение средней скорости. Напишите формулу для ее вычисления.
17. Дайте определение тангенциального ускорения.
18. Дайте определение нормального ускорения.
19. Напишите формулу для вычисления величины полного ускорения по известным тангенциальному и нормальному ускорениям.
20. Как движется МТ, если ускорение остается все время направленным вдоль скорости?
21. Как движется МТ, если ускорение все время направлено против скорости?
22. Как движется МТ, если ускорение все время остается направленным перпендикулярно скорости?
23. Как движется МТ, если скорость все время направлена вдоль радиус-вектора?
24. Как движется МТ, если скорость все время направлена против радиус-вектора?
25. Как движется МТ, если скорость все время направлена перпендикулярно радиус-вектору?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.1, § 1-3.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_2. ДВИЖЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОЙ СИЛЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Глава 1. Механика» и «Модель 1.15. Движение по наклонной плоскости». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Исследование движения тела под действием постоянной силы.
- Выбор физической и компьютерной моделей для анализа движения тела.
- Экспериментальное определение свойств сил трения покоя и движения.
- Определение массы тела.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ДИНАМИКА – часть механики, изучающая связь движения тела с причинами, которые его вызвали.

ДИНАМИЧЕСКИЕ характеристики – это такие характеристики движения, быстрота изменения которых (производная по времени) равна определенной характеристике внешнего воздействия. Одной из динамических характеристик движения МТ является **ИМПУЛЬС** $\vec{p} = m \vec{v}$.

МАССА m есть количественная характеристика инертности тела.

ИНЕРТНОСТЬ есть свойство тела противиться попыткам изменить его состояние движения.

ДИНАМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ для импульса (иногда его называют «уравнением движения тела» или «вторым законом Ньютона»):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сум}}.$$

Словесная формулировка: «быстрота изменения импульса определяется суммой всех сил, действующих на тело».

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА есть следствие динамического уравнения для импульса тела с постоянной массой имеет вид

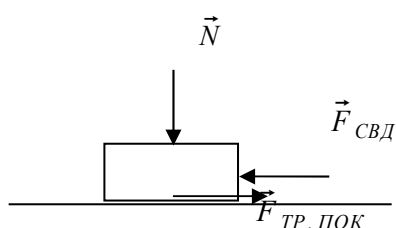
$$m \vec{a} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i.$$

СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ возникает при соприкосновении двух поверхностей тел и наличии движения одной поверхности относительно другой.

СВОЙСТВА силы трения скольжения:

- направлена против скорости,
- не зависит от величины скорости,
- пропорциональна величине силы N , прижимающей по нормали одно тело к поверхности другого $|\vec{F}_{тр}| = kN$.

СИЛА ТРЕНИЯ ПОКОЯ возникает при соприкосновении поверхностей двух тел и наличии составляющей силы, приложенной к одному из тел, направленной вдоль поверхностей и стремящейся вызвать движение (СВД) данного тела вдоль поверхности другого.



Не изображены сила тяжести и сила реакции опоры (подумайте, где каждая приложена и как направлена)

СВОЙСТВА силы трения покоя:

- направлена против составляющей силы СВД,
- равна (до определенного порога) по величине составляющей силы СВД,
- имеет максимальное значение.

Максимальное значение силы трения покоя пропорционально величине силы N , сжимающей поверхности по нормали $|\vec{F}_{тр. пок}^{max}| = kN$.

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для нормированного ускорения кубика (a/g) в данной ЛР и для ускорения свободного падения на большой высоте h над поверхностью Земли.

УКАЗАНИЯ: Выпишите формулу для второго закона Ньютона. Подставьте в нее все реальные силы, действующие на кубик. Спроектируйте полученное векторное уравнение на вертикальную и горизонтальную оси. Решите систему уравнений и, разделив слева и справа на mg , найдите нормированное ускорение.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

1. Внимательно рассмотрите рис.1, найдите все регуляторы и другие основные элементы.
2. Щелкните мышью кнопку «Сброс» в нижнем ряду кнопок.
3. Установите с помощью кнопок регуляторов:
 - **угол наклона плоскости, равный нулю,**
 - **значение внешней силы, равное нулю.**

- первое значение коэффициента трения, указанное в табл. 1 для вашей бригады.
4. Зарисуйте поле движения тела с регуляторами соответствующих параметров (укажите, что они регулируют).
 5. Нажимая мышью на кнопку регулятора внешней силы на экране монитора, следите за движением квадрата на оси силы графика силы трения (справа вверху) и за поведением кубика после нажатия кнопки «Старт».

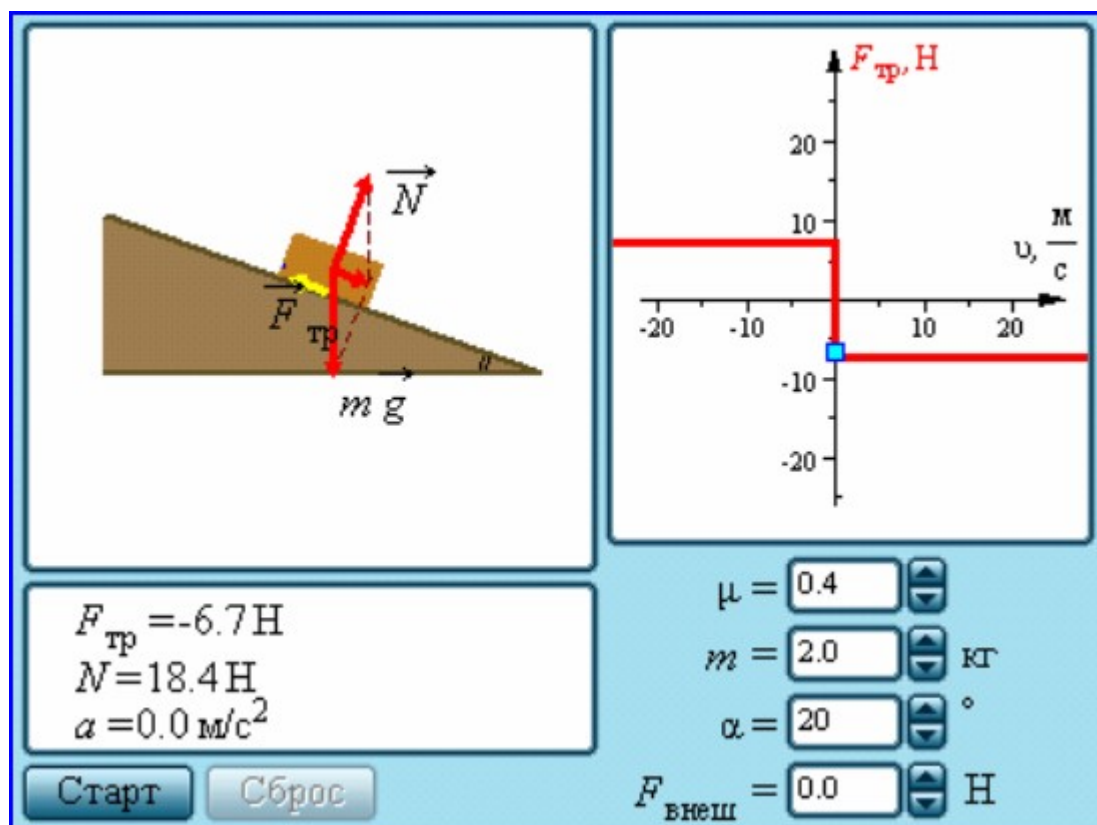


Рис.1. Модель тела, движущегося под действием постоянных сил.

Потренируйтесь, устанавливая новое значение внешней силы после завершения движения кубика и нажатия кнопки «Старт».

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Проверьте, что угол наклона плоскости, равен нулю,
2. Нажмите «Старт» и наблюдайте поведение кубика. Величину силы трения и ускорения определяйте по таблице внизу слева экрана. Результаты изме-

рений силы трения и ускорения записывайте в табл. 2, образец которой приведен ниже.

3. Нажав кнопку «Сброс», увеличьте значение внешней силы на 1 Н и повторите измерения в соответствии с п.2.
4. Повторите измерения для трех других коэффициентов трения, значения которых указаны в табл. 1.

Таблица 1 (не перерисовывать). Значения коэффициентов трения покоя

Номер бригады	m , кг	μ_1	μ_2	μ_3	Номер бригады	m , кг	μ_1	μ_2	μ_3
1	2.0	0.1	0.2	0.3	5	2.4	0	0.1	0.2
2	2.1	0.1	0.2	0.3	6	2.5	0	0.1	0.2
3	2.2	0.1	0.2	0.3	7	2.6	0	0.1	0.2
4	2.3	0	0.1	0.2	8	2.7	0	0.1	0.2

Таблица 2. Результаты измерений $m = \underline{\hspace{2cm}}$ кг

(количество измерений и строк – 10)

Номер измерения	$\mu_1 =$			$\mu_2 =$			$\mu_3 =$		
	F , Н	$F_{\text{ТР}}$, Н	a , м/с ²	F , Н	$F_{\text{ТР}}$, Н	a , м/с ²	F , Н	$F_{\text{ТР}}$, Н	a , м/с ²
1									
2									
...									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Постройте на одном чертеже графики зависимости силы трения от внешней силы и ускорения от внешней силы.
2. По наклону графика $a = f(F)$ определите значение m , используя формулу

$$m = \frac{\Delta F}{\Delta a}.$$

3. Вычислите среднее значение m и абсолютную ошибку среднего значения m .

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что изучает динамика?
2. Дайте определение динамической характеристики движения.
3. Что такое динамическое уравнение?
4. Что такое масса?
5. Что такое инертность?
6. Дайте определение импульса.
7. Сформулируйте свойство аддитивности импульса.
8. Напишите динамическое уравнение для импульса.
9. Что такое сила?
10. Сформулируйте принцип суперпозиции сил.
11. Что такое взаимодействие?
12. Сформулируйте третий закон Ньютона.
13. Сформулируйте условия, при которых ускорение прямо пропорционально силе.
14. Запишите формулу второго закона Ньютона при условии, что массу m можно считать постоянной.
15. Напишите формулу для вычисления скорости тела по заданной силе.
16. Напишите формулу для определения закона движения тела по заданной силе.
17. При каких условиях возникает сила трения скольжения?
18. Как направлена сила трения скольжения?
19. Напишите соотношение, определяющее величину силы трения скольжения.
20. Сформулируйте условия, при которых возникает сила трения покоя.
21. Как направлена сила трения покоя?
22. Чему равна величина силы трения покоя?
23. Напишите формулу, определяющую максимальное значение силы трения покоя.
24. Запишите формулу закона всемирного тяготения.
25. Запишите выражение для силы тяжести.
26. Выведите формулу для ускорения свободного падения на поверхности Земли g_0 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.2, §§ 5-8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Глава 2. Механические колебания и волны» и «Модель 2.3. Математический маятник», потом «Модель 2.2. Колебания груза на пружине». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Исследование движения тела под действием квазиупругой силы.
- Выбор физических моделей для анализа движения тел.
- Экспериментальное определение зависимости частоты колебаний от параметров системы.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

КОЛЕБАНИЕ – периодически повторяющееся движения тела.

ПЕРИОД T – минимальное время, через которое движение полностью повторяется.

ГАРМОНИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ – движение, при котором координата тела меняется со временем по закону синуса или косинуса:

$$x(t) = x_m \cos(\omega_0 t + \phi_0) .$$

Основными характеристиками гармонических колебаний являются:

АМПЛИТУДА x_m – максимальное значение смещения (координаты) x .

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА собственных колебаний (символ ω_0) есть характеристика колебаний, в 2π раз большая обычной или линейной частоты $\nu = 1/T$ (ν – число полных колебаний за единицу времени).

ФАЗА ($\omega_0 t + \phi_0$) – значение аргумента косинуса.

НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА ϕ_0 – значение аргумента косинуса при $t = 0$.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных гармонических колебаний:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 ,$$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных затухающих колебаний

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 ,$$

где β – коэффициент затухания.

Его решением является произведение двух функций

$$X(t) = X_m e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \phi_0) .$$

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК (ММ) и ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК (ПМ) – это МОДЕЛИ объектов, в которых могут происходить гармонические колебания.

ММ – это материальная точка, подвешенная на идеальной (невесомой и нерастяжимой) нити.

ПМ – это материальная точка, прикрепленная к идеальной (невесомой и подчиняющейся закону Гука) пружине. Формулы для ω_0 в этих системах выпишите из конспекта или учебника.

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для циклической частоты свободных колебаний кубика на пружине, лежащего на горизонтальной абсолютно гладкой поверхности.

УКАЗАНИЯ: Выпишите формулу для второго закона Ньютона. Подставьте в нее все реальные силы, действующие на кубик. Спроектируйте полученное векторное уравнение на вертикальную и горизонтальную оси. Проведя тождественные преобразования, получите уравнение, похожее на дифференциальное уравнение свободных колебаний. Константу, являющуюся множителем перед x , приравняйте к квадрату циклической частоты, откуда получите ω .

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите модели колебательных систем, представленные на рисунках 1 и 2. Найдите все регулировки, позволяющие изменять параметры систем.

Зарисуйте в конспект математический и пружинный маятники, укажите векторы всех сил. Запишите законы, которым подчиняются указанные силы.

Подготовьте таблицы, которые будут заполняться в процессе измерений.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1

1. Выберите «Модель 2.3. Математический маятник». Установите с помощью кнопок регуляторов максимальную длину нити L и значения коэффициента затухания и начального угла, указанные в табл. 1 для вашей бригады.
2. Нажимая мышью на кнопку «Старт», следите за движением точки на графиках угла и скорости и за поведением маятника.
3. Потренируйтесь, останавливая движение кнопкой «Стоп» (например, в максимуме смещения) и запуская далее кнопкой «Старт». Выберите число полных колебаний $N = 3-5$ и измеряйте их продолжительность Δt (как разность $t_2 - t_1$ из таблицы на экране).
4. Приступайте к измерениям длительности Δt для N (3-5) полных колебаний, начиная с максимальной длины (130 см) нити маятника и уменьшая ее каждый раз на 5 см (до минимальной длины 90 см). Длину нити L и результаты измерений длительности Δt записывайте в табл. 2, образец которой приведен ниже.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

1. Выберите «Модель 2.2. Колебания груза на пружине».
2. Установите массу груза, значение коэффициента затухания и начальное смещение, указанные в табл. 1 для вашей бригады.
3. Проведите измерения, аналогичные эксперименту 1, увеличивая коэффициент жесткости k каждый раз на 1 Н/м, записывая результаты в табл.3.

Таблица 1 (в конспект не перерисовывать). **Значения параметров для первого и второго эксперимента.**

Номер бригады	b , кг/с	φ_0 , град	X_0 , см	m , кг	Номер бригады	b , кг/с	φ_0 , град	X_0 , см	m , кг
1	0.8	20	10	0.5	5	0.08	14	7	0.7
2	0.6	18	9	0.6	6	0.07	16	8	0.8
3	0.4	16	8	0.7	7	0.06	18	9	0.9
4	0.2	14	7	0.8	8	0.05	20	10	1.0

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов для математич. маятника

Номер измерения	$N =$			
	L , м	Δt , с	T , с	T^2 , с ²
1	1,3			
2	1,25			
...				
g , м/с ²				

Таблица 3. Результаты измерений и расчетов для пружинного маятника

Номер измерения	$N =$				
	$k, \text{Н/м}$	$\Delta t, \text{с}$	$T, \text{с}$	$\omega, 1/\text{с}$	$\omega^2, 1/\text{с}^2$
1	5				
2	6				
...					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите требуемые величины и заполните таблицы 2 и 3.
2. Постройте графики зависимости:
 - квадрата периода колебаний от длины нити ММ,
 - квадрата циклической частоты колебаний от жесткости пружины ПМ.
3. По наклону графика $T^2 = f(L)$ определите значение g , используя формулу

$$g = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}.$$

4. Оцените абсолютную ошибку определения g .
5. По наклону графика $\omega^2 = f(k)$ определите значение m , используя формулу

$$m = \frac{\Delta k}{\Delta(\omega^2)}.$$

6. Оцените абсолютную ошибку определения m .
7. Проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое колебание?
2. Дайте определение периода колебаний.
3. Дайте определение частоты колебаний.
4. Дайте определение гармонических колебаний.
5. Запишите закон зависимости от времени характеристики A , совершающей гармоническое колебательное изменение.
6. Запишите закон движения МТ, совершающей гармонические колебания.
7. Дайте определение амплитуды гармонических колебаний.
8. Дайте определение фазы гармонических колебаний.

9. Дайте определение начальной фазы гармонических колебаний.
10. Напишите уравнение связи частоты и периода гармонических колебаний.
11. Напишите уравнение связи частоты и циклической частоты гармонических колебаний.
12. Напишите формулу зависимости скорости МТ от времени при гармонических колебаниях.
13. Напишите уравнения связи амплитуды скорости и амплитуды смещения при гармонических колебаниях МТ.
14. Напишите формулу зависимости ускорения МТ от времени при гармонических колебаниях.
15. Напишите уравнения связи амплитуды скорости и амплитуды ускорения при гармонических колебаниях МТ.
16. Напишите уравнения связи амплитуды смещения и амплитуды ускорения при гармонических колебаниях МТ.
17. Напишите дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний МТ.
18. Напишите дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний МТ.
19. Что определяет коэффициент затухания?
20. Дайте определение математического маятника.
21. Запишите формулу циклической частоты свободных колебаний математического маятника.
22. Дайте определение пружинного маятника.
23. Запишите формулу циклической частоты свободных колебаний пружинного маятника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.18, §§ 140-148.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_4. УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ УДАРЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Глава 1. Механика» и «Модель 1.22. Упругие и неупругие соударения». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Выбор физических моделей для анализа взаимодействия двух тел.
- Исследование физических характеристик, сохраняющихся при столкновениях.
- Экспериментальное определение зависимости тепловыделения при неупругом столкновении от соотношения масс при разных скоростях.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

СТОЛКНОВЕНИЕ (удар, соударение) – модель взаимодействия двух (или более) тел, длительность которого бесконечно мала (практически равна нулю, т.е. которое является мгновенным событием). Применяется для описания реальных взаимодействий, длительностью которых можно пренебречь в условиях данной задачи.

При исследовании столкновений используются динамические характеристики движения, называемые импульсом и кинетической энергией.

ИМПУЛЬСОМ называется динамическая характеристика движения, пропорциональная массе

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

Быстрота изменения импульса определяется суммарной силой, действующей на тело (второй закон Ньютона):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сум}} .$$

КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ называется часть энергии тела, связанная с его движением и равная разности энергии тела и его энергии покоя

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 .$$

При движении тел со скоростями много меньшими скорости света ($v \ll c$) формула кинетической энергии превращается в хорошо известную из школьного курса физики формулу

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

АБСОЛЮТНО УПРУГИЙ УДАР – столкновение двух тел, после которого форма и размеры сталкивающихся тел восстанавливаются полностью до состояния, предшествовавшего столкновению. Суммарные импульс и кинетическая энергия системы из двух таких тел сохраняются (ПОСЛЕ столкновения такие же, какими были ДО столкновения):

$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}; \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}.$$

АБСОЛЮТНО НЕУПРУГИЙ УДАР – столкновение двух тел, после которого форма и размеры тел не восстанавливаются, тела «слипаются» и движутся как одно целое с одной скоростью. Суммарный импульс двух неупруго сталкивающихся тел сохраняется, а кинетическая энергия становится меньше, так как часть энергии переходит в конечном итоге в тепловую:

$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}, \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}} - E_{\text{ТЕПЛ}}.$$

Используя определение импульса и определение абсолютно неупругого удара, преобразуем закон сохранения импульса, спроектировав его на ось OX , вдоль которой движутся тела, в следующее уравнение:

$$(m_1 + m_2) V_X^{\text{ПОСЛЕ}} = m_1 V_{1X}^{\text{ДО}} + m_2 V_{2X}^{\text{ДО}},$$

а закон для кинетической энергии преобразуем в такое уравнение:

$$E_{\text{ТЕПЛ}} = \frac{1}{2} [m_1 (V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2 (V_{2X}^{\text{ДО}})^2 - (m_1 + m_2) (V_X^{\text{ПОСЛЕ}})^2].$$

Помножив и разделив второе уравнение на $(m_1 + m_2)$ и используя первое уравнение, получим:

$$E_{\text{ТЕПЛ}} = \frac{1}{2} [m_1(m_1 + m_2)(V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2(m_1 + m_2)(V_{2X}^{\text{ДО}})^2 - (m_1 V_{1X}^{\text{ДО}} + m_2 V_{2X}^{\text{ДО}})^2] / (m_1 + m_2)$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ δ равна отношению выделившейся тепловой энергии к сумме кинетических энергий тел до столкновения:

$$\delta = \frac{E_{\text{ТЕПЛ}}}{E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}} = \frac{m_1 m_2 (V_{1X}^{\text{ДО}} - V_{2X}^{\text{ДО}})^2}{(m_1 + m_2) [m_1 (V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2 (V_{2X}^{\text{ДО}})^2]} = \frac{(1 - \beta)^2}{(1 + \frac{1}{\zeta}) [\zeta + \beta^2]},$$

где $\beta = \frac{V_{2X}^{\text{ДО}}}{V_{1X}^{\text{ДО}}}$; $\zeta = \frac{m_1}{m_2}$.

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для относительной величины тепловой энергии в пределе:

$$1) m_1 = m_2, \text{ и } 2) V_{2X}^{\text{ДО}} = -V_{1X}^{\text{ДО}}.$$

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рис.1, зарисуйте необходимое в конспект.

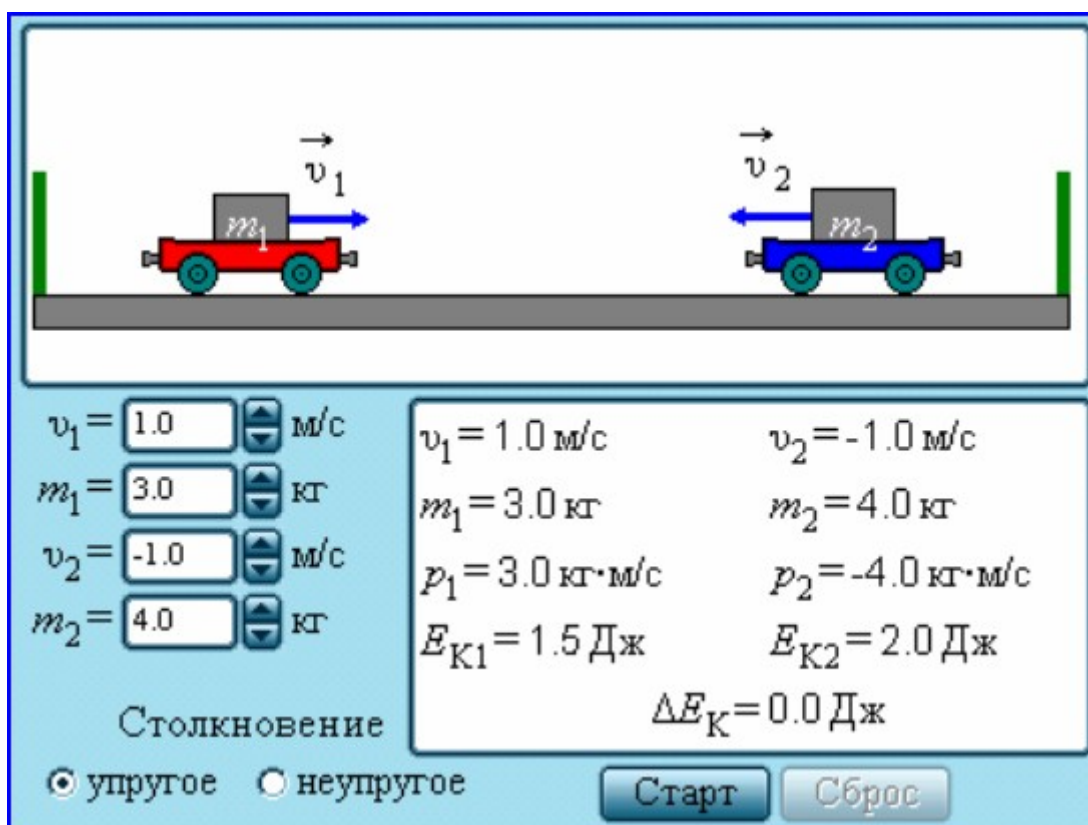


Рис.1. Модель столкновения двух тел.

Подготовьте таблицы и получите у преподавателя допуск.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Исследование абсолютно упругого удара

1. Включите кнопку «упругое» слева внизу. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, значение массы первой тележки m_1 и ее начальную скорость $V_{1X}^{до}$, указанные в табл. 1 для вашей бригады.
2. Для массы второй тележки выберите минимальное значение. Ее начальную скорость выберите равной $V_{2X}^{до} = - V_{1X}^{до}$.
3. Нажимая мышью на кнопку «Старт» на экране монитора, следите за движением тележек, останавливая движение после первого столкновения кнопкой «Стоп».
4. Результаты измерений необходимых величин записывайте в табл. 2, образец которой приведен ниже.
5. Измените на 1 кг значение массы второй тележки и повторите измерения, начиная с п.3.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Исследование абсолютно неупругого удара

1. Нажмите кнопку «неупругое» справа внизу.
2. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, значение масс тележек и их начальные скорости, указанные в табл. 1 для вашей бригады.
3. Проведите измерения, как в п.3 эксперимента 1.
4. Результаты запишите в таблицу 3, образец которой приведен ниже.
5. Установите одинаковые массы двух тележек и начальную скорость первой по табл.1. Меняя начальную скорость второй тележки, проведите измерения, как в п.3 эксперимента 1, записывая результаты в табл.4.

Таблица 1 (не перерисовывать). Значения характеристик.

Номер бригады	m_1 , кг	$V_{1X}^{до}$, м/с
1	1	1
2	2	2
3	3	1
4	4	2

Номер бригады	m_1 , кг	$V_{1X}^{до}$, м/с
5	5	1
6	6	2
7	7	1
8	8	2

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов для абсолютно упругого удара (количество измерений и строк – 10)

Номер измерения	$m_1 = \underline{\hspace{1cm}}, V_{1X}^{ДО} = - V_{2X}^{ДО} = \underline{\hspace{1cm}}$				
	m_2 , кг	$V_{1X}^{ПОСЛЕ}$, м/с	$V_{2X}^{ПОСЛЕ}$, м/с	$E_K^{ДО}$, Дж	$E_K^{ПОСЛЕ}$, Дж
1	1				
2	2				
...					

Таблица 3. Результаты измерений и расчетов для абсолютно неупругого удара (количество измерений и строк – 10)

Номер измерения	$m_1 = \underline{\hspace{1cm}}, V_{1X}^{ДО} = - V_{2X}^{ДО} = \underline{\hspace{1cm}}$							
	m_2 , кг	$V_X^{ПОСЛЕ}$, м/с	$E_K^{ДО}$, Дж	$E_K^{ПОСЛЕ}$, Дж	$\delta_{ИЗМ}$	$\delta_{РАСЧ}$	β	ξ
1	1						-1	
2	2						-1	
...							-1	

Таблица 4. Результаты измерений и расчетов для абсолютно неупругого удара (количество измерений и строк – 11)

Номер измерения	$m_2 = m_1 = \underline{\hspace{1cm}}, V_{1X}^{ДО} = \underline{\hspace{1cm}}$							
	$V_{2X}^{ДО}$, м/с	$V_X^{ПОСЛЕ}$, м/с	$E_K^{ДО}$, Дж	$E_K^{ПОСЛЕ}$, Дж	$\delta_{ИЗМ}$	$\delta_{РАСЧ}$	β	ξ
1	0							1
2	-0,2							1
...								1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите требуемые величины и заполните табл. 2, 3, 4.
2. Постройте графики зависимостей относительного значения тепловой энергии δ

а) от отношения $\frac{\xi}{(1+\xi)^2}$ при $\beta = -1$ и

б) от отношения $\frac{(1-\beta)^2}{1+\beta^2}$ при $\xi = 1$.

3. Проанализируйте графики и сделайте выводы.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое удар (столкновение, соударение)?
2. Для какого взаимодействия двух тел можно применять модель столкновения?
3. Чем пренебрегают при построении модели взаимодействия тележек в данной лабораторной работе?
4. Какое столкновение называют абсолютно неупругим?
5. Какое столкновение называют абсолютно упругим?
6. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?
7. Дайте словесную формулировку закона сохранения импульса.
8. Выполняется ли закон сохранения импульса в данной ЛР?
9. Какие силы действуют на каждую свободно катящуюся тележку?
10. При каких условиях сохраняется проекция суммарного импульса системы тел на некоторую ось?
11. Какова модель стенок, с которыми время от времени сталкиваются тележки?
12. Какова модель взаимодействия тележки со стенкой?
13. Дайте определение кинетической энергии.
14. При каком столкновении выполняется закон сохранения кинетической энергии?
15. Дайте словесную формулировку закона сохранения кинетической энергии.
16. Дайте определение потенциальной энергии.
17. Что такое полная механическая энергия?
18. Что такое замкнутая система тел?
19. Что такое изолированная система тел?
20. Являются ли тележки изолированной системой тел?
21. При каком столкновении выделяется тепловая энергия?
22. При каком столкновении форма тел восстанавливается?
23. При каком столкновении форма тел не восстанавливается?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.3, § 15.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_5. СОУДАРЕНИЯ УПРУГИХ ШАРОВ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Глава 1. Механика» и «Модель 1.23. Соударения упругих шаров». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Исследование взаимодействия двух шаров при столкновении и выбор физической модели.
- Исследование физических характеристик, сохраняющихся при соударениях упругих шаров.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

СТОЛКНОВЕНИЕ (удар, соударение) – модель взаимодействия двух (или более) тел, длительность которого бесконечно мала (практически равна нулю, т.е. которое является мгновенным событием). Применяется для описания реальных взаимодействий, длительностью которых можно пренебречь в условиях данной задачи.

При исследовании столкновений используются динамические характеристики движения, называемые импульсом и кинетической энергией.

ИМПУЛЬСОМ называется динамическая характеристика движения, пропорциональная массе

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

Быстрота изменения импульса определяется суммарной силой, действующей на тело (второй закон Ньютона):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сум}} .$$

КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ называется часть энергии тела, связанная с его движением и равная разности энергии тела и его энергии покоя

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 .$$

При движении тел со скоростями много меньшими скорости света

($v \ll c$) формула кинетической энергии превращается в хорошо известную из школьного курса физики формулу

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

АБСОЛЮТНО УПРУГИЙ УДАР – столкновение двух тел, после которого форма и размеры сталкивающихся тел восстанавливаются полностью до состояния, предшествовавшего столкновению. Суммарные импульс и кинетическая энергия системы из двух таких тел сохраняются (ПОСЛЕ столкновения такие же, какими были ДО столкновения):

$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}; \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}.$$

Пусть второй шар до удара покоится. Тогда, используя определение импульса и определение абсолютно упругого удара, преобразуем закон сохранения импульса, спроектировав его на ось OX , вдоль которой движется тело, и ось OY , перпендикулярную OX , в следующее уравнение:

$$m_1 V_{1X}^{\text{ПОСЛЕ}} + m_2 V_{2X}^{\text{ПОСЛЕ}} = m_1 V_1^{\text{ДО}}, \quad m_1 V_{1Y}^{\text{ПОСЛЕ}} + m_2 V_{2Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = 0.$$

Далее изменим обозначения (для сокращения записи):

$$V_{1X}^{\text{ПОСЛЕ}} = V_{1X}; \quad V_{2X}^{\text{ПОСЛЕ}} = V_{2X}; \quad V_{1Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = V_{1Y}; \quad V_{2Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = V_{2Y}; \quad V_1^{\text{ДО}} = V_0.$$

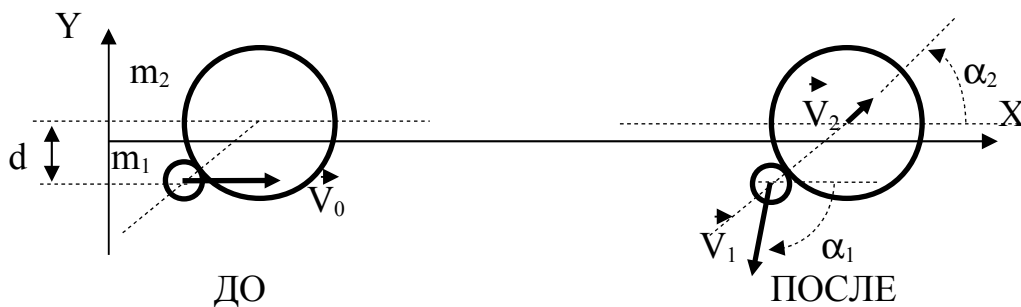


Рис.1. Схематическое изображение процесса столкновения двух шаров

ПРИЦЕЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ d есть расстояние между линией движения первого шара и параллельной ей линией, проходящей через центр второго шара (рис.1). Законы сохранения для кинетической энергии и импульса преобразуем и получим:

$$(V_0^2 - V_1^2) = \frac{m_2}{m_1} V_2^2, \quad (1)$$

$$(V_0 - V_1 \cos \alpha_1) = \frac{m_2}{m_1} V_2 \cos \alpha_2, \quad (2)$$

$$V_1 \sin \alpha_1 = -\frac{m_2}{m_1} V_2 \sin \alpha_2. \quad (3)$$

ЗАДАНИЕ: Выведите формулы 1, 2 и 3.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

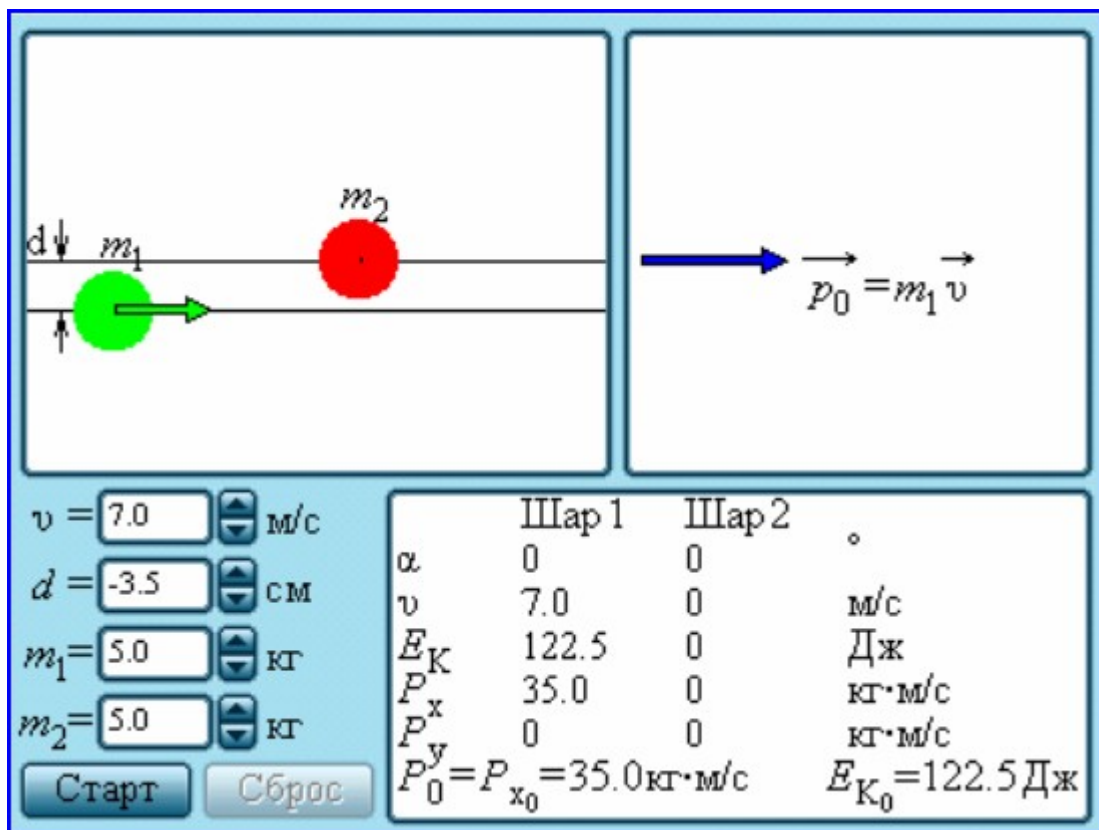


Рис.2. Модель состояния системы до взаимодействия

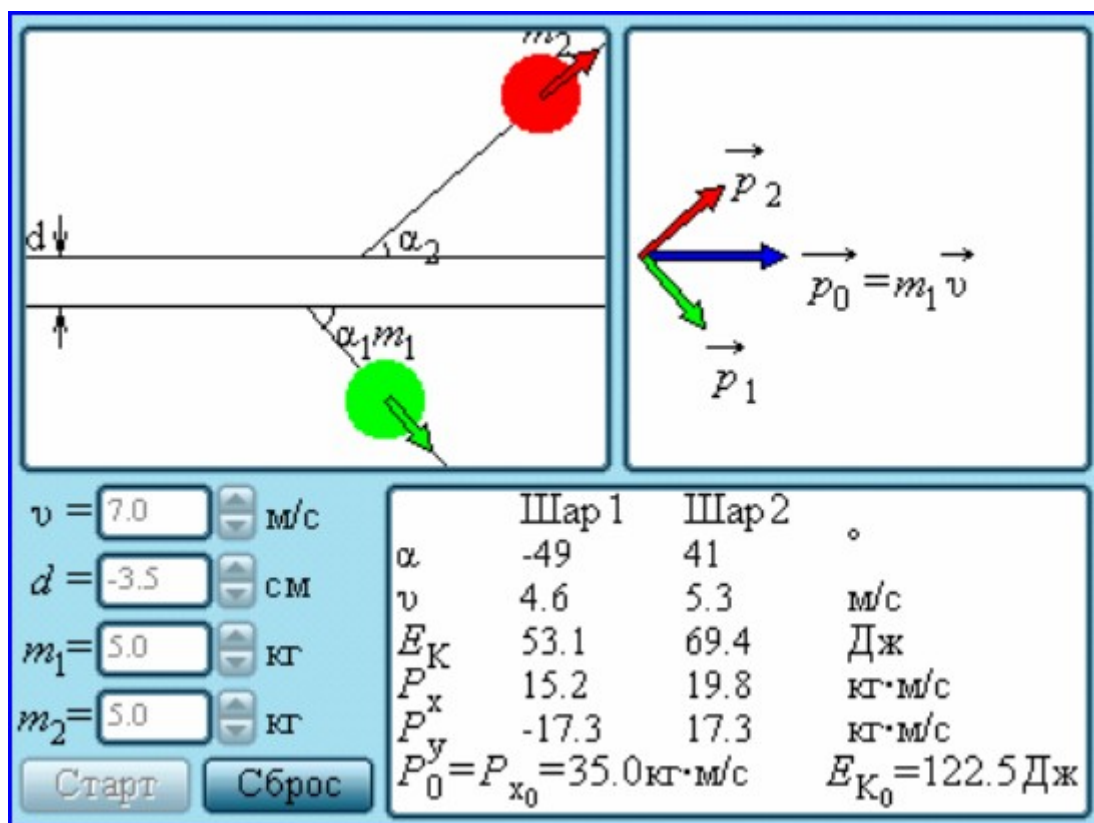


Рис.3. Модель состояния системы после взаимодействия

Рассмотрите рисунки 2 и 3, на которых изображены шары до удара и после удара. Установив прицельное расстояние $d \approx 2R$ (минимальное расстояние, при котором не наблюдается столкновения), определите радиус шаров.

Установив прицельное расстояние $0 < d < 2R$, мышью нажмите кнопку «Старт» внизу экрана и наблюдайте процесс рассеяния при столкновении. Запишите с экрана поле движения и все характеристики тел.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Установите, щелкая мышью кнопки регуляторов, массы шаров и начальную скорость первого шара (первое значение), указанные в табл. 1 для вашей бригады.
2. Прицельное расстояние d выберите равным нулю.
3. Нажимая мышью на кнопку «Старт» на экране монитора, следите за движением шаров. Результаты измерений необходимых величин записывайте в табл. 2, образец которой приведен ниже.

- Измените значение прицельного расстояния d на величину $0,2 \frac{d}{R}$, где R – радиус шара и повторите измерения.
- Когда возможные значения $\frac{d}{R}$ будут исчерпаны, увеличьте начальную скорость первого шара и повторите измерения, начиная с нулевого прицельного расстояния d . Результаты запишите в новую табл. 3, аналогичную табл. 2.

Таблица 1 (не перерисовывать). Массы шаров и начальные скорости

Номер бригады	m_1 , кг	m_2 , кг	V_0 , м/с	V_0 , м/с
1	1	5	4	7
2	2	5	4	7
3	3	5	4	7
4	4	5	4	7

Номер бригады	m_1 , кг	m_2 , кг	V_0 , м/с	V_0 , м/с
5	1	4	6	10
6	2	4	6	10
7	3	4	6	10
8	4	4	6	10

Таблицы 2 и 3. Результаты измерений и расчетов

$m_1 =$ кг, $m_2 =$ кг, $V_0 =$ м/с									
№	$\frac{d}{R}$	V_1 , м/с	V_2 , м/с	α_1 , град	$\sin \alpha_1$	$\cos \alpha_1$	α_2 , град	$\sin \alpha_2$	$\cos \alpha_2$
1	0								
2	0,2								
...									

Таблицы 4 и 5. Результаты расчетов

$m_1 =$ кг, $m_2 =$ кг, $V_0 =$ м/с, $(V_0)^2 =$ (м/с) ²									
№	$\frac{d}{R}$	$V_1 \cos \alpha_1$, м/с	$V_0 - V_1 \cos \alpha_1$, м/с	$V_2 \cos \alpha_2$, м/с	$V_1 \sin \alpha_1$, м/с	$V_2 \sin \alpha_2$, м/с	V_1^2 , (м/с) ²	$V_0^2 - V_1^2$, (м/с) ²	V_2^2 , (м/с) ²
1	0								
2	0,2								
...									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

- Вычислите необходимые величины и заполните табл. 2 и 3.
- Постройте графики зависимостей (на трех рисунках):

- разности квадратов скоростей первого шара до и после удара как функция от квадрата скорости второго шара после удара

$$(V_0^2 - V_1^2) = f(V_2^2),$$

- разности проекций на OX скоростей первого шара до и после удара как функции от проекции на OX скорости второго шара после удара

$$(V_0 - V_1 \cos \alpha_1) = f(V_2 \cos \alpha_2),$$

- проекции на OY скорости первого шара после удара от проекции на OY скорости второго шара после удара $V_1 \sin \alpha_1 = f(V_2 \sin \alpha_2)$.

3. По каждому графику определите отношение масс m_2/m_1 шаров. Вычислите среднее значение этого отношения и абсолютную ошибку среднего.
4. Проанализируйте и сравните измеренные и заданные значения отношения масс.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое удар (столкновение)?
2. Для какого взаимодействия двух тел можно применять модель столкновения?
3. Какая модель применима для описания взаимодействия шаров в данной лабораторной работе?
4. В чем отличие взаимодействия двух билиардных шаров от взаимодействия двух шаров в данной ЛР?
5. Какое столкновение называют абсолютно упругим?
6. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?
7. Сформулируйте основные свойства импульса.
8. Как математически определяется быстрота изменения импульса?
9. Что определяет быстроту изменения импульса?
10. Дайте словесную формулировку закона сохранения импульса.
11. Дайте определение кинетической энергии
12. При каком столкновении выполняется закон сохранения кинетической энергии?
13. Дайте словесную формулировку закона сохранения кинетической энергии.
14. Дайте определение потенциальной энергии.
15. Что такое полная механическая энергия?
16. Что такое замкнутая система тел?
17. Что такое изолированная система тел?

18. При каком столкновении выделяется тепловая энергия?
 19. При каком столкновении форма тел восстанавливается?
 20. Что такое прицельное расстояние (параметр) при столкновении шаров?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.3, §§ 15.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Название	Символ	Значение	Размерность
Гравитационная постоянная	γ или G	$6,67 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	g_0	9,8	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{26}$	$\text{К} \cdot \text{моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \cdot 10^3$	$\text{Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \text{ К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж} \text{ К}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$	кг
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4$	$\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6.62 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$

ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ

для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Символ	Множитель
дека	да	10^1
гекто	г	10^2
кило	к	10^3
мега	М	10^6
гига	Г	10^9
тера	Т	10^{12}

Приставка	Символ	Множитель
деци	д	10^{-1}
санتي	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}