

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
национальный исследовательский технологический университет

МИСиС

Кафедра Физики

В.А. СТЕПАНОВА

ФИЗИКА.

Механика. Молекулярная физика и термодинамика

Компьютерный лабораторный практикум

Под редакцией профессора Д.Е. Капуткина

Москва 2010

Р е ц е н з е н т

доктор физ. - мат. наук, профессор С.Д.Прокошкин

В лабораторном практикуме приведены описания четырех лабораторных работ с использованием компьютерных моделей (разработанных фирмой ФИЗИКОН) по разделам "Механика. Молекулярная физика и термодинамика". Виртуальные лабораторные работы поставлены таким образом, что соответствуют натурным экспериментам лабораторных работ, выполняемых на базе оборудования фирмы RHYWE. Соответствие работ отражено в их нумерации: лабораторные работы с использованием компьютерных моделей имеют нумерацию с буквой "к". В каждой работе дана методика виртуального эксперимента, содержащая краткое теоретическое введение и описание компьютерной модели.

Содержание работ соответствует учебной программе курса «Физика».

Предназначено для студентов всех специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Введение	5
Лабораторная работа №1-02к. Упругие и неупругие соударения.....	12
Лабораторная работа №1-05к. Свободные колебания (математический маятник).....	19
Лабораторная работа №1-07к. Распределение молекул газа по скоростям (распределение Максвелла).....	24
Лабораторная работа №1-08к. Адиабатический процесс.....	29

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподавание курса общей физики в техническом вузе, наряду с усвоением фундаментальных знаний и законов, подкрепленных натурным лабораторным практикумом, ставит также цель привить студентам навыки и умение моделировать физические процессы и явления. Поэтому комплексный подход в использовании виртуального и натурального лабораторных практикумов по физике является методически обоснованным. Не заменяя традиционные формы обучения, применение компьютерных моделей в физическом практикуме дает новые технологии для процесса обучения. Компьютерные модели являются наглядным представлением экспериментов, достоверно отражают физические законы, а диапазон регулируемых параметров позволяет получать достаточное количество исследуемых состояний.

В настоящий лабораторный практикум вошли описания четырех лабораторных работ с использованием компьютерных моделей (разработанных фирмой ФИЗИКОН), выполняемых студентами 1-ого и 2-ого курсов всех специальностей МИСиС в соответствии с учебными планами по курсу "Физика" по разделам "Механика. Молекулярная физика и термодинамика". Виртуальные лабораторные работы поставлены таким образом, что соответствуют натурным экспериментам лабораторных работ, выполняемых на базе оборудования фирмы RHYWE. Соответствие работ отражено в их нумерации: лабораторные работы с использованием компьютерных моделей имеют нумерацию с буквой "к". Например, лабораторная работа № 1-05к "Свободные колебания (математический маятник)" соответствует лабораторной работе № 1-05 "Математический маятник" в практикуме кафедры физики НИТУ "МИСиС".

Описание каждой работы включает в себя разделы: 1.Цель работы. 2.Методика виртуального эксперимента (с краткой теорией и описанием компьютерных моделей). 3.Порядок выполнения работы. 4.Обработка результатов измерений. 5.Контрольные вопросы для самопроверки. 6.Список литературы.

В некоторых лабораторных работах идея использования компьютерных моделей принадлежит Ю.В.Тихомирову и Б.К. Лаптенкову (фирма "Физикон").

ВВЕДЕНИЕ

Для подготовки и выполнения виртуальных лабораторных работ, в которых используются компьютерные модели, разработанные фирмой «Физикон», необходимо на рабочем столе компьютера дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда её указатель расположен на ярлыке «зелёное дерево» с надписью ФИЗИКА. В открывшемся окне находятся папки с описанием лабораторных работ и сборник компьютерных моделей «ОТКРЫТАЯ ФИЗИКА 1.1».

Открытие папки «ФИЗИКА. Лабораторный практикум с компьютерными моделями», в которой есть описание лабораторных работ с нумерацией №. -..к (например, 2-16к), позволяет подготовиться к лабораторным работам.

Для выполнения лабораторной работы (для запуска виртуальной лабораторной работы) необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда её маркер расположен над эмблемой сборника компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.» на рабочем столе. После этого на экране появится начальная картинка этого сборника, окно которой изображено на рисунке 1.

Далее необходимо выбрать раздел, указанный в лабораторной работе; для этого дважды щелкнете левой кнопкой мыши, установив её маркер над названием раздела, в котором расположена данная модель. В разделе «Электричество и магнетизм» вы увидите картинку, изображено на рисунке 2.

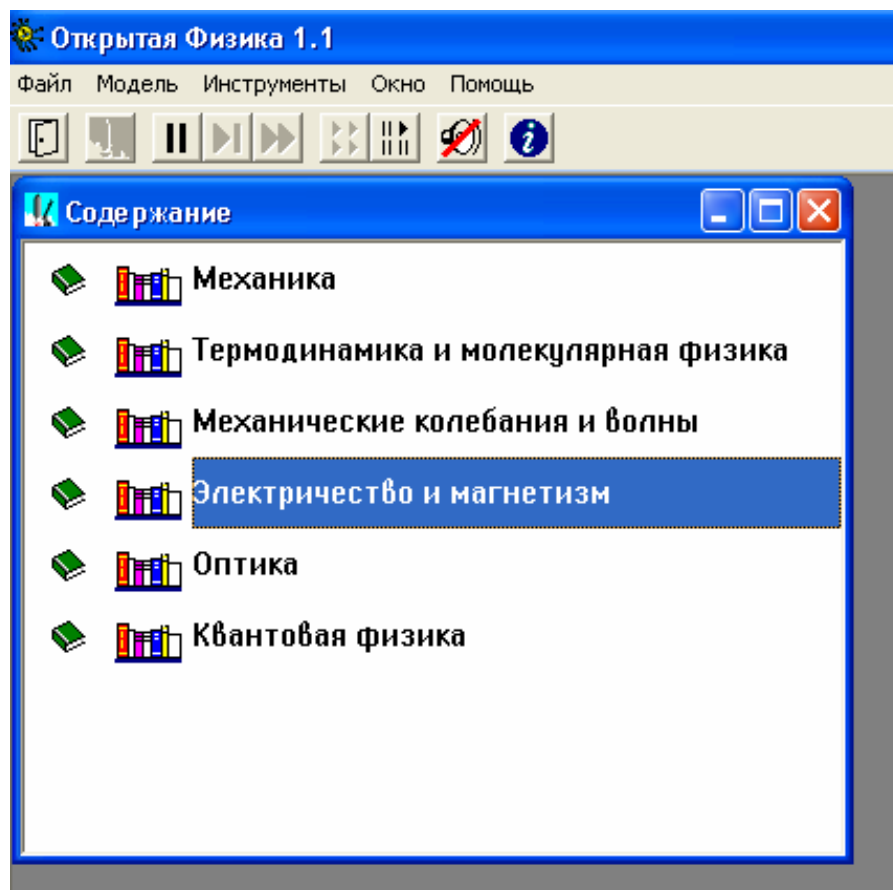


Рис.1. Содержание "Сборника компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.».

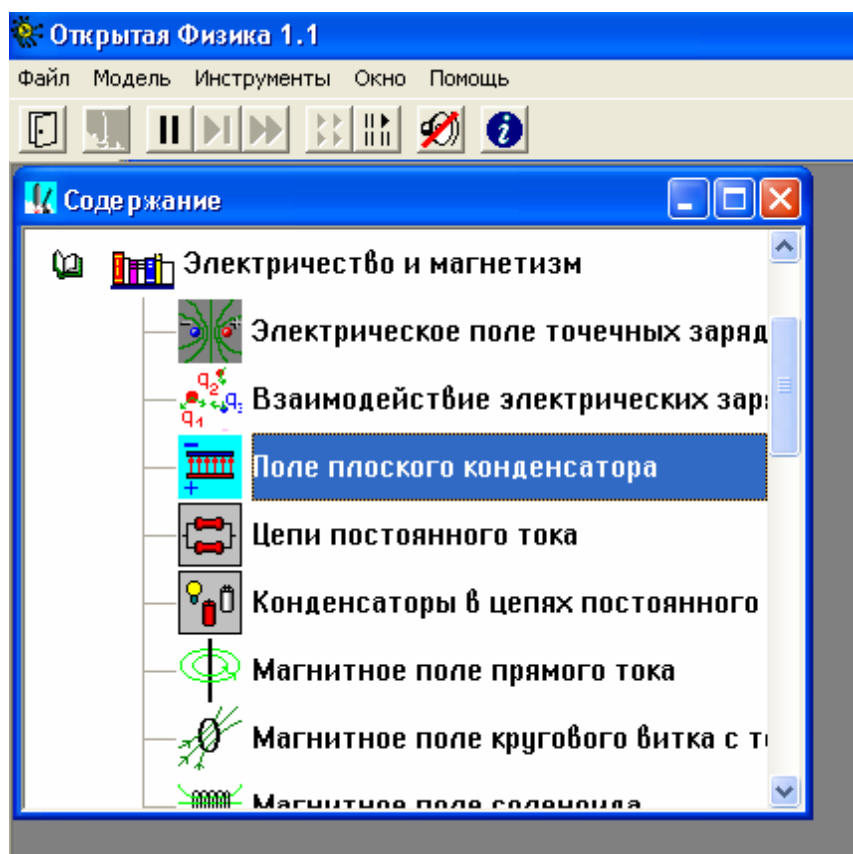


Рис.2. Окно раздела "Электричество и магнетизм" в "Сборнике компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.».

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

Прочитав надписи во внутреннем окне, установите маркер мыши над надписью требуемой компьютерной модели и дважды коротко нажмите левую кнопку мыши. Например, для компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в разделе "Электричество и магнетизм" окно будет выглядеть так:

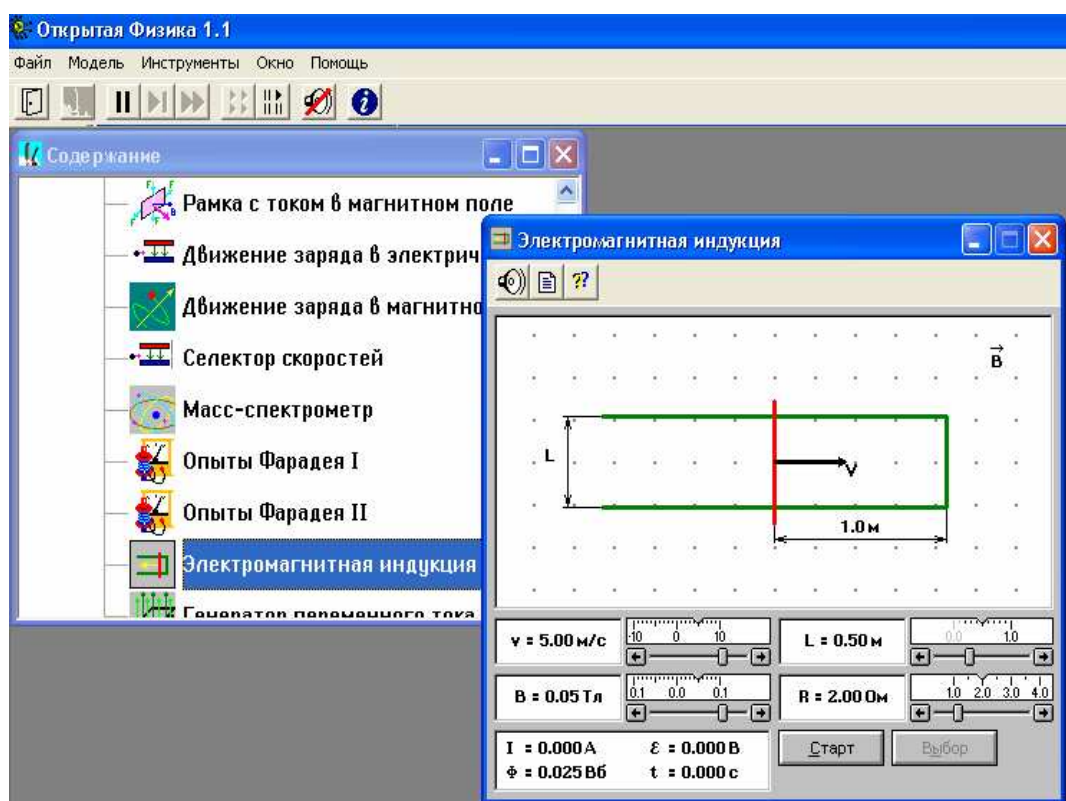


Рис.3. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в разделе "Электричество и магнетизм".

Кнопки сверху картинке (под параметрами панели инструментов) являются служебными. Предназначение каждой кнопки проявляется, когда маркер мыши располагается над ней в течение 1-2 секунд (без нажатия кнопок мыши). Очень важными являются следующие кнопки: кнопка с двумя вертикальными чертами «||», которая служит для остановки эксперимента, и рядом расположенные кнопки – для шага «▶|» и для продолжения «▶▶▶» работы.

В появившемся внутреннем окне компьютерной модели сверху также расположены служебные кнопки. Кнопка с изображением страницы служит для вызова кратких

теоретических сведений из соответствующего раздела курса «Общая физика», которому соответствует компьютерная модель. Перемещать окна можно, зацепив мышью заголовок окна (имеющий синий фон).

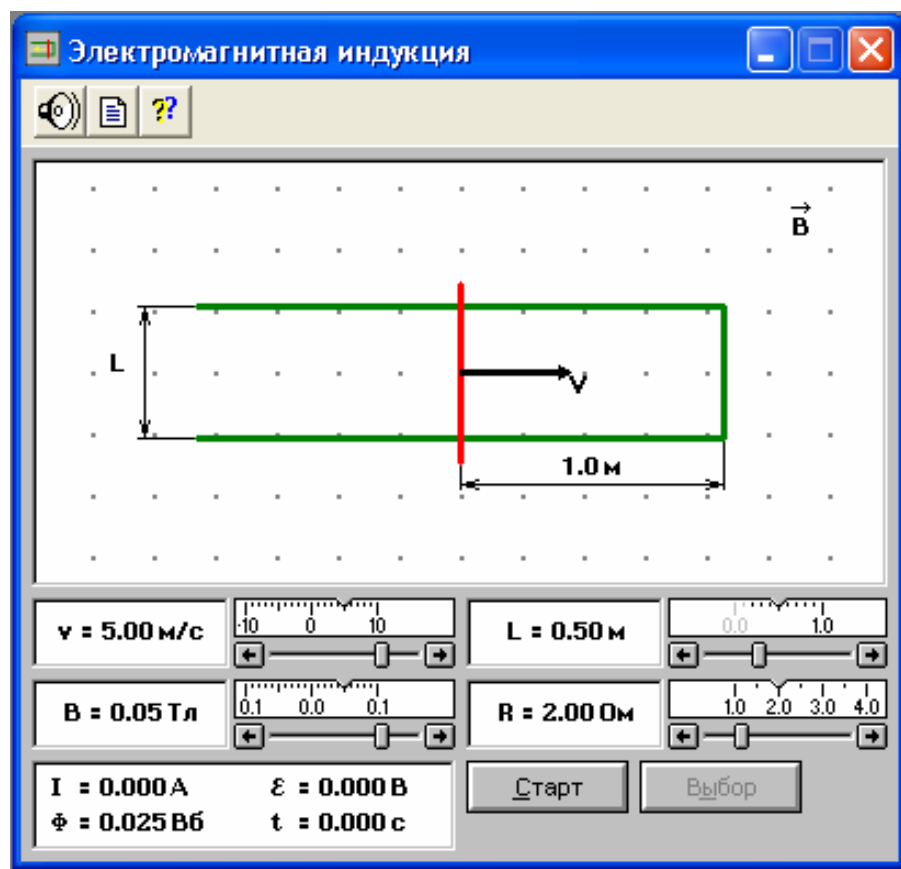


Рис.4. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в режиме "Выбор".

Перед выполнением лабораторной работы **внимательно рассмотрите окно модели, найдите все регуляторы и другие элементы, которые позволяют изменять задаваемые параметры величин для виртуального эксперимента.**

Например, компьютерная модель «Электромагнитная индукция» (рис.4) позволяет устанавливать величину длины перемычки L и её сопротивление R , величину и направление скорости движения перемычки v и индукции магнитного поля B , в котором расположен замкнутый контур. В модели есть две кнопки - "Старт" и "Выбор". При нажатой кнопке "Выбор" задают параметры величин для виртуального эксперимента и при этом в левом нижнем углу окна модели (рис.4) регистрируется величина магнитного потока Φ , пронизывающего замкнутый контур. Нажатие кнопки "Старт" запускает виртуальный эксперимент, в процессе которого в левом нижнем углу окна модели

появляются значения тока I , э.д.с. ε и времени t . По окончании эксперимента магнитный поток равен нулю (рис.5).

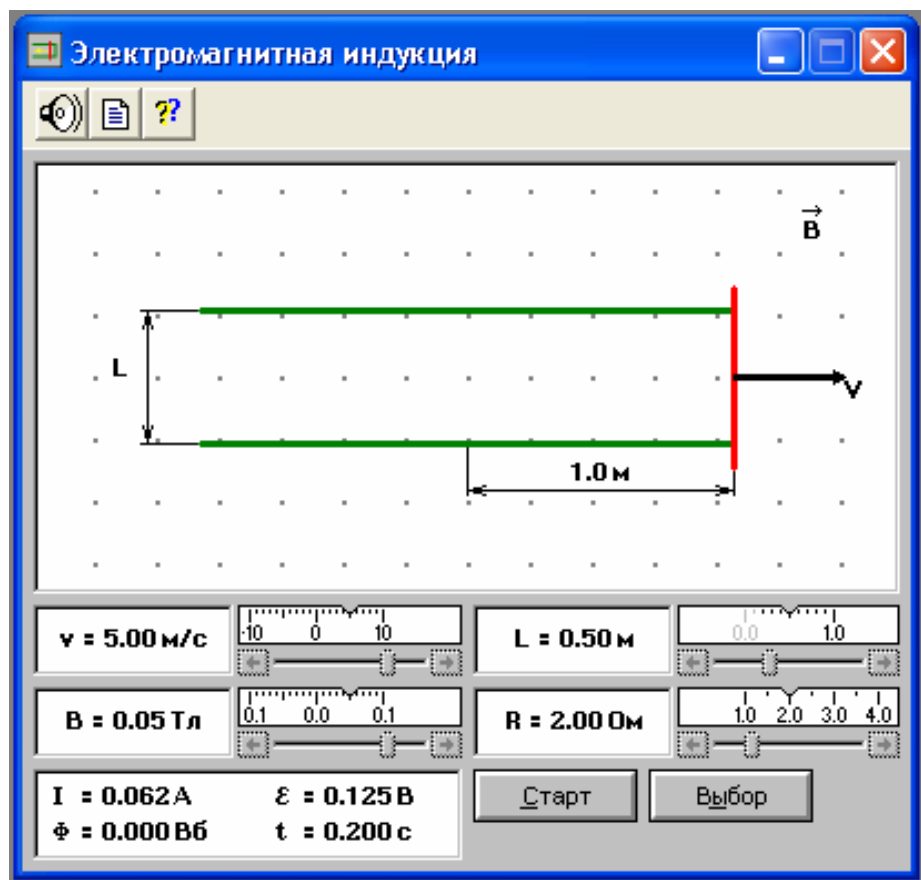


Рис.5. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в режиме "Старт".

После выполнения лабораторной работы необходимо поочередно (начиная с компьютерной модели) закрыть все окна на рабочем столе. Для закрытия окна надо нажать мышью кнопку с крестом в верхнем правом углу данного окна.

При **обработке результатов эксперимента** используют метод определения постоянной величины из графика линейной функции $y = f(x)$ (рис.6) в случае, если постоянная величина k является коэффициентом пропорциональности, т.е. когда

$$y = kx \quad (1)$$

Экспериментальные данные отмечают в виде точек (при однократных измерениях), либо отмечают в виде области возможных значений (при многократных измерениях) в системе координат YOX и проводят прямую с некоторой достоверностью, если точки не лежат точно по прямой, или прямо по экспериментальным точкам, если они укладываются в прямую.

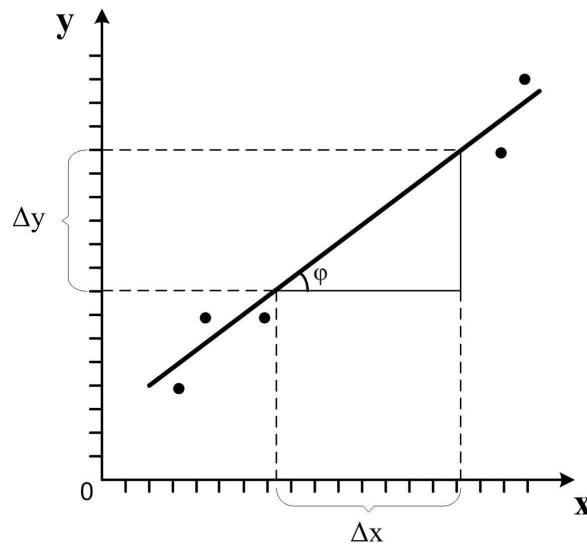


Рис.6. График линейной функции $y = f(x)$.

Далее *отмечают* в средней части этой прямой область, граничные точки которой дают в проекции на оси абсцисс и ординат численные значения интервалов Δx и Δy , по которым вычисляют постоянную величину k по формуле

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2)$$

где $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ - это *отношение приращения функции к соответствующему*

приращению аргумента.

Иногда в литературе такой метод определения постоянной величины k излагают как *метод определения постоянной величины по тангенсу угла наклона линейной функции к оси абсцисс.* Действительно, из рисунка 6 видно, что отношение $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ - это отношение противолежащего катета угла φ к прилежащему катету этого угла, что является тангенсом угла φ , т.е.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (3)$$

При такой методике определения постоянной угол φ также необходимо отмечать в средней части прямой линии.

Для примера рассмотрим лабораторную работу 1-05к, в которой по экспериментальным данным строят график зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от его длины нити $T^2 = f(L)$. Из графика определяют значение

ускорения свободного падения g , используя формулу $g = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$, где $\frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$ -

отношение изменения длины математического маятника к соответствующему изменению квадрата периода колебаний этого маятника.

Лабораторная работа № 1-02к

УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ СОУДАРЕНИЯ

Компьютерная модель «Упругие и неупругие соударения»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Механика»

Цель работы

На компьютерной модели взаимодействия двух тел исследование физических характеристик, сохраняющихся при их столкновениях, и экспериментальное определение зависимости тепловыделения при неупругом столкновении от соотношения масс при разных скоростях.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на законах сохранения импульса и энергии при соударениях двух тел (тележек).

Закон сохранения импульса замкнутой системы двух тел (тележек), массы которых равны m_1 и m_2 , записывается формулой

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \quad (1)$$

где v_{01} и v_{02} - скорости тележек до взаимодействия, а v_1 и v_2 - скорости тележек после взаимодействия.

Суммарная кинетическая энергия этих двух тележек до взаимодействия E_0 и их суммарная кинетическая энергия после взаимодействия E рассчитываются по формулам (2) и (3), соответственно:

$$E_0 = \frac{1}{2}(m_1 v_{01}^2 + m_2 v_{02}^2), \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{2}(m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2), \quad (3)$$

Для *абсолютно упругого удара* выполняются закон сохранения импульса и закон сохранения кинетической энергии.

Для *неупругого удара* закон сохранения импульса выполняется, а закон сохранения кинетической энергии нет: суммарная кинетическая энергия двух тел после соударения ($E' = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$) становится меньше, так как часть суммарной кинетической энергии двух тел до соударения переходит во внутреннюю энергию взаимодействия (в частности, в тепловую энергию Q)

$$Q = E_0 - E'. \quad (4)$$

Учитывая то обстоятельство, что после неупругого удара два тела движутся совместно, с одинаковой скоростью $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = \vec{v}$, в этом случае закон сохранения импульса системы двух тел (тележек) записывается формулой

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}, \quad (5)$$

а тепловая энергия Q вычисляется по формуле

$$Q = \frac{1}{2}[m_1 v_{01}^2 + m_2 v_{02}^2 - (m_1 + m_2)v^2]. \quad (6)$$

Относительная величина тепловой энергии δ - это физическая величина, численно равная отношению тепловой энергии Q, выделившейся при неупругом соударении двух тел к суммарной кинетической энергии этих тел до взаимодействия E_0

$$\delta = \frac{Q}{E_0}, \quad \text{или} \quad \delta = \frac{E_0 - E'}{E_0}. \quad (7)$$

Введем обозначения для рассматриваемой системы двух не упруго соударяющихся тел (тележек), массы которых равны m_1 и m_2 , а их скорости до взаимодействия - v_{01} и v_{02} , соответственно

$$\beta = \frac{v_{02}}{v_{01}}, \quad (8)$$

$$\xi = \frac{m_1}{m_2}. \quad (9)$$

Численное значение относительной величины тепловой энергии δ после ввода обозначений (8) и (9), используя уравнения (3), (5) - (7), после математических преобразований вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{(1 - \beta)^2}{\left(1 + \frac{1}{\xi}\right)(\xi + \beta^2)}. \quad (10)$$

Откройте компьютерную модель «Упругие и неупругие соударения». Внимательно рассмотрите модель, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз).

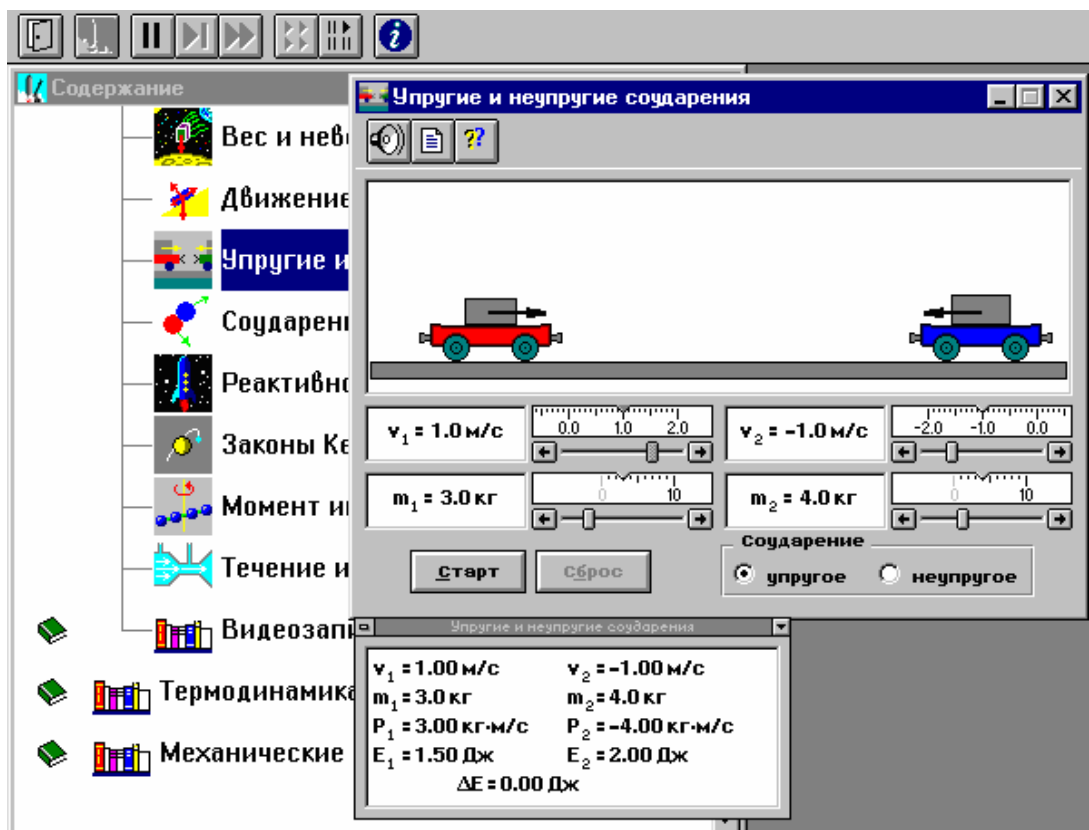


Рис. 7. Окно компьютерной модели «Упругие и неупругие соударения».

В этой модели можно с помощью движков изменять величину скорости до соударения и массу каждой тележки; с помощью метки выбирать виды соударения. При работе с этой моделью обязательно использование кнопок «Старт», «Сброс» и «Стоп». В

отдельном окошке модели фиксируются значения параметров системы в любой момент времени (при нажатии кнопки «Стоп»).

Порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Исследование абсолютно упругого удара.

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Упругие и неупругие соударения».
2. Установите метку "Упругое (соударение)".
3. Установите значение массы первой тележки m_1 и её начальную скорость V_{01} , указанные в таблице 1 для вашего варианта. Для массы второй тележки выберите минимальное значение, а её начальную скорость установите равной $V_{02} = -V_{01}$.
4. Нажмите мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора. Следите за движением тележек, остановив движение после первого столкновения кнопкой «СТОП». Запишите в таблицу 2 результаты измерений величин скоростей тележек v_1 и v_2 после столкновения (эти значения фиксируются в отдельном окошке модели в момент времени остановки виртуального эксперимента).
5. Нажмите кнопку «Сброс». Измените на 1 кг значение массы второй тележки и повторите измерения согласно п.4.
6. Увеличивая на 1 кг массу второй тележки, повторите измерения (п.4 и п.5) ещё три раза.

Таблица 1.

Значения исходных характеристик для экспериментов (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_1 , кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v_{01} , м/с	1	2	-2	-1	1	2	-1	-2	1	2

Таблица 2.

Результаты измерений и расчетов для абсолютно упругого удара.

Номер измерения	$m_1 = \text{--- кг}, \quad V_{01} = -V_{02} = \text{--- м/с}$				
	m_2 , кг	V_1 , м/с	V_2 , м/с	E_0 , Дж	E , Дж
1	1				
2	2				
3	3				
4	4				
5	5				

Эксперимент 2. Исследование абсолютно неупругого удара.

- Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Упругие и неупругие соударения».
- Установите метку "Неупругое (соударение)".
- Нажмите кнопку "Сброс".
- Установите значение массы первой тележки m_1 и ее начальную скорость V_{01} , указанные в таблице 1 для вашего варианта. Для массы второй тележки выберите минимальное значение, а её начальную скорость установите равной $V_{02} = -V_{01}$.
- Нажмите мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора. Следите за движением тележек, остановив движение после первого столкновения кнопкой «СТОП». Запишите в таблицу 3 результаты измерений величин скоростей тележек $v_1 = v_2 = v$ после столкновения (эти значения фиксируются в отдельном окошке модели в момент времени остановки виртуального эксперимента).
- Нажмите кнопку «Сброс». Измените на 1 кг значение массы второй тележки и повторите измерения согласно п.5.
- Увеличивая на 1 кг массу второй тележки, повторите измерения (п.5 и п.6) ещё три раза.

Результаты измерений и расчетов для абсолютно неупругого удара.

Номер измерения	$m_1 = \text{---кг}, \quad V_{01} = -V_{02} = \text{---м/с}$							
	$m_2,$ кг	$V,$ м/с	$E_0,$ Дж	$E,$ Дж	$\delta_{\text{ИЗМ}}$	$\delta_{\text{РАСЧ}}$	β	ξ
1	1						-1	
2	2						-1	
3	3						-1	
4	4						-1	
5	5						-1	

Обработка результатов измерений

Эксперимент 1.

1. Вычислите суммарную кинетическую энергию тележек до (E_0) и после (E) удара и запишите в таблицу 2 для пяти измерений.
2. Проанализируйте полученные результаты.

Эксперимент 2.

1. Вычислите суммарную кинетическую энергию шаров до (E_0) и после (E') удара и запишите в таблицу 3 для пяти измерений.
2. Вычислите относительную величину тепловой энергии по формуле (7) $\delta_{\text{изм.}}$ и по формуле (10) $\delta_{\text{расч.}}$ и запишите в таблицу 3 для пяти измерений.
3. Вычислите по формуле (9) величину отношения масс взаимодействующих тел

$$\xi = \frac{m_1}{m_2}.$$

4. Постройте график зависимости относительного значения тепловой энергии δ от отношения $\frac{\xi}{(1 + \xi)^2}$ при $\beta = -1$.

5. Проанализируйте график и полученные результаты.

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 1.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба», 2007.

Дополнительный

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1: Физматлит, 2006.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение абсолютно упругого удара и абсолютно неупругого удара. При каком ударе систему двух соударяющихся тел можно считать замкнутой?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса, запишите его математическое выражение и поясните физический смысл величин, в него входящих.
3. Чем определяется кинетическая энергия? Изменится ли кинетическая энергия тела при изменении направления вектора его скорости?
4. Почему при абсолютно неупругом ударе не выполняется закон сохранения кинетической энергии?
5. Задача. Шарик массой m_1 со скоростью v_1 налетает на покоящийся шарик массой m_2 . Считая удар центральным и абсолютно упругим, определите скорости шаров u_1 и u_2 после удара.

Лабораторная работа № 1-05к

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ (МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК)

Компьютерная модель «Свободные колебания (маятник)»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Механические колебания и волны»

Цель работы

На компьютерной модели, описывающей гармонические колебания, подтверждение закономерностей свободных колебаний и экспериментальное определение ускорения свободного падения.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на решении дифференциального уравнения *гармонического колебания* (движение, при котором координата тела меняется со временем по закону синуса или косинуса)

$$x = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда (максимальное значение параметра), ω_0 - циклическая частота собственных колебаний, $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – фаза колебания, φ_0 – начальная фаза (значение аргумента косинуса при $t = 0$).

Период гармонического колебания T - это промежуток времени, в течение которого фаза колебания получает приращение 2π . В компьютерной модели T - это время, за которое точка на графике $\varphi = f(t)$ (рис. 1) возвращается в положение, соответствующее первоначальному углу отклонения шарика.

Математический маятник – это материальная точка, подвешенная на идеальной (невесомой и нерастяжимой) нити. В компьютерной модели математический маятник – это шарик, подвешенный на (невесомой и нерастяжимой) нити длиной L .

Период колебаний математического маятника вычисляется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (2)$$

где L – это длина маятника, g – ускорение свободного падения.

Откройте компьютерную модель «Свободные колебания (маятник)». Внимательно рассмотрите модель, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз).

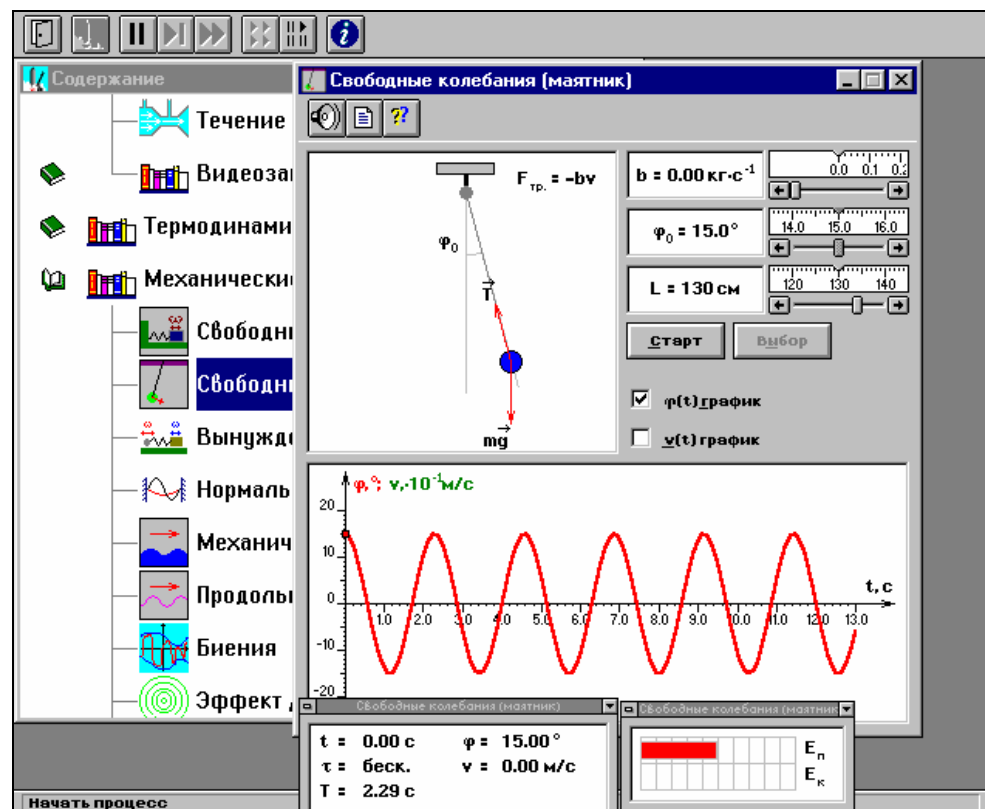


Рис. 8. Окно компьютерной модели «Свободные колебания (маятник)».

В этой модели можно с помощью движков изменять величину начального угла отклонения φ_0 и длину маятника L ; с помощью метки выбирать виды графиков. При работе с этой моделью обязательно использование кнопок «Старт», «Стоп» и «Выбор» в модели. Ознакомьтесь с графиком модели при установке разных меток – "φ(t) график" и "v(t) график".

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Свободные колебания (маятник)». Установите метку " $\varphi(t)$ график".
2. Нажмите кнопку «Выбор».
3. Установите с помощью движков регуляторов значение коэффициента затухания $b = 0$ кг/с, максимальную длину нити L и значение начального угла φ_0 , указанное в таблице 1 для вашего варианта.
4. Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ», следите за движением точки на графике зависимости угла отклонения φ от времени и за поведением маятника. Потренируйтесь, останавливая движение кнопкой «СТОП» (например, в максимуме смещения точки от положения равновесия) и запуская далее кнопкой «СТАРТ». Выберите число полных колебаний $N = 3$ или 5 и измеряйте их продолжительность Δt (как разность $(t_2 - t_1)$ из таблицы на экране, где t_1 и t_2 - значение времени t в момент начала и конца отсчета колебаний; возможно брать $t_1 = 0$).
5. Приступайте к измерениям (по пунктам 2 – 4) длительности Δt для N полных колебаний, начиная с максимальной длины (150 см) нити маятника и уменьшая ее каждый раз на 10 см (до минимальной длины 90 см). Длину нити L и результаты измерений длительности Δt записывайте в таблицу 2.

Таблица 1.

Значения начального угла отклонения (не перерисовывать).

Вариант Значения φ_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_0 , град	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Результаты измерений (количество измерений и строк – 9)

Номер измерения	N =			
	L, м	Δt , с	T, с	T^2 , с ²
1	1,5			
2	1,4			
3	1,3			
4	1,2			
...				
g , м/с ²				

Обработка результатов измерений

1. Вычислите период колебаний по формуле ($T = \frac{\Delta t}{N}$), квадрат периода и заполните таблицу 2 .
2. Постройте график зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от его длины нити $T^2 = f(L)$.
3. Из графика $T^2 = f(L)$ определите значение ускорения свободного падения g , используя формулу $g = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$, где $\frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$ - отношение изменения длины математического маятника к соответствующему изменению квадрата периода колебаний этого маятника. Оцените ошибку определения g .
4. Проанализируйте график. Запишите ответ, сравнив его с табличным значением.

Библиографический список*Основной*

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 1.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.

Дополнительный

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. М.: Физматлит, 2006.

Контрольные вопросы

1. Что называют колебаниями; механическими колебаниями; свободными колебаниями?
2. Приведите примеры свободных колебаний.
3. Нарисуйте на одном листе графики двух гармонических колебаний одинаковой частоты, разность фаз которых составляет π .
4. Амплитуда гармонического колебания увеличилась в два раза. Как при этом изменяются период колебания и максимальная скорость?
5. Задача. Два математических маятника, длины которых отличаются на $\Delta l = 16\text{см}$, совершают за одно и тоже время один $N_1 = 10$ колебаний, а другой - $N_2 = 30$ колебаний. Определить длины маятников.

Лабораторная работа № 1-07к

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛ ГАЗА ПО СКОРОСТЯМ (РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА)

Компьютерная модель «Распределение Максвелла»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Термодинамика и молекулярная физика»

Цель работы

На компьютерной модели, описывающей поведение молекул идеального газа, но с подтверждением распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям и определением массы молекул в данной модели.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель закона распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям, которая описывается функцией распределения молекул по величине скорости

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2. \quad (1)$$

Скорость, при которой функция распределения молекул по величине скорости $F(v)$ имеет максимум, называется **наиболее вероятной скоростью** $v_{вер}$ и вычисляется по формуле

$$v_{вер} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \quad (2)$$

где k - постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура газа, m – масса газа. В компьютерной модели $v_{вер}$ имеет обозначение $v_{наивер}$.

Откройте компьютерную модель «Распределение Максвелла». Внимательно рассмотрите модель, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз). В этой модели можно не только изменять с помощью движков величину скорости, численное значение которой выводится в правом нижнем углу окна модели, но и менять температуру (Т), увеличивая или уменьшая ее численное значение с помощью стрелочек. При работе с этой моделью обязательно использование кнопок «||», «▶▶» вверху окна и кнопок «Старт» и «Выбор» в модели.

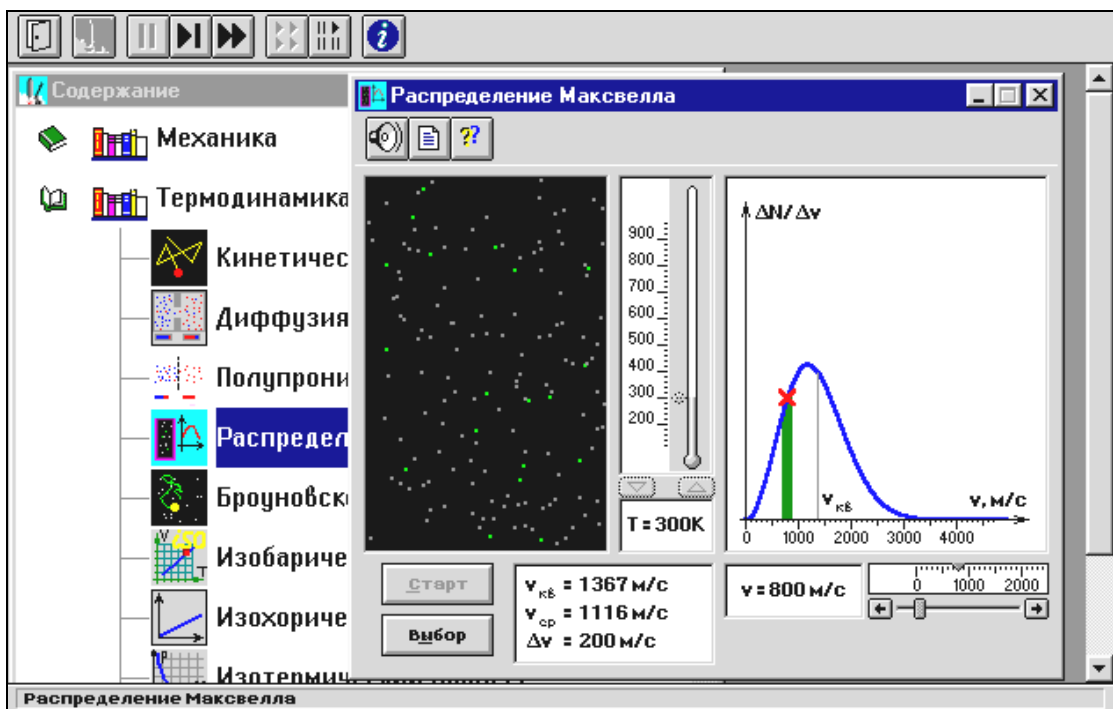


Рис. 9. Окно компьютерной модели "Распределение Максвелла" в режиме "Стоп".

Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне: частицы компьютерной модели (молекулы идеального газа) абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100, и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» вверху) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости v (то есть имеющие скорости от v до $v + \Delta v$). Для продолжения

наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «▶▶». Значение Δv , указанное на экране, постоянно для данной модели.

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент "Распределение Максвелла".
2. Запишите в тетрадь значение Δv , указанное на экране.
3. Нажмите «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в таблице 1 для вашего варианта. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.
4. Установите значение скорости v выделенной группы молекул газа равное минимальному значению, указанному в таблице 2.
5. Нажатием кнопки «Старт» запустите процесс движения молекул газа.
6. Нажмите кнопку «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN_1 , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в таблицу 2.
7. Нажмите кнопку «▶▶» и через 10 или 20 секунд (для этого достаточно сосчитать до 10 или 20) получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «||»). Подсчитайте количество ΔN_2 частиц с той же заданной скоростью. Результат запишите в таблицу 2.
8. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости через одинаковые интервалы времени движения (10 или 20 секунд) и результаты запишите в таблицу 2.
9. Нажмите кнопку «Выбор». Измените скорость до следующего значения, указанного в таблице 2. Повторите действия и измерения согласно пунктам 4 - 8.
10. Проведите измерения для каждой скорости, указанной в таблице 2.
11. Установите (как в п. 3) значение второй температуры T_2 из таблицы 1. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.

12. Повторите измерения по пунктам 4 - 10, записывая результат в таблицу 3, составив ее аналогично таблице 2.

Таблица 1.

Значения термодинамической температуры (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_1, \text{К}$	160	180	200	260	280	300	360	400	460	500
$T_2, \text{К}$	700	720	740	760	780	800	840	860	900	960

Таблица 2.

Результаты измерений при температуре $T_1 = \text{К}$.

$v, \text{км/с}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
ΔN_1							
ΔN_2							
ΔN_3							
$\Delta N_{\text{ср}}$							
$\Delta N_{\text{ср}}/\Delta v$							

Обработка результатов измерений

1. Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц $\Delta N_{\text{ср}}$, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до $v + \Delta v$, и величину отношения ($\Delta N_{\text{ср}}/\Delta v$).

2. Постройте на одном рисунке для двух температур графики экспериментальных зависимостей отношения ($\Delta N_{\text{ср}}/\Delta v$) от скорости $\frac{\Delta N_{\text{ср}}}{\Delta v} = f(v)$.

3. Для каждой температуры по графику определите экспериментальное значение наиболее вероятной скорости молекул $v_{\text{вер}}$.

4. Постройте график зависимости квадрата вероятной скорости от температуры $v_{\text{вер}}^2 = f(T)$.

5. По этому графику рассчитайте значение массы молекулы газа по формуле

$$m = 2k \frac{\Delta T}{\Delta(v_{\text{вер}}^2)}, \quad \text{где} \quad \left(\frac{\Delta T}{\Delta(v_{\text{вер}}^2)} \right) - \text{это отношение приращения термодинамической}$$

температуры газа к соответствующему приращению квадрата наиболее вероятной скорости молекул этого газа.

6 . Используя табличные значения, выберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы.

7. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Табличные значения массы молекул газа

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы, $\times 10^{-27}$ кг	3,32	6,64	33,2	46,5	53,12

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 1.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба», 2007.

Дополнительный

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1: Физматлит, 2006.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение идеального газа; перечислите основные положения идеального газа.

2. Используя основное уравнение молекулярно - кинетической теории и уравнение состояния идеального газа, выведите зависимость скорости молекул газа от термодинамической температуры газа.

3. Используя закон распределения молекул газа по скоростям, получите формулу вычисления наиболее вероятной скорости $v_{вер}$.

4. Задача. При какой температуре (в К) средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/с?

Лабораторная работа № 1-08к

АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Компьютерная модель «Адиабатический процесс»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Термодинамика и молекулярная физика»

Цель работы

На компьютерной модели, описывающей адиабатический процесс в идеальном газе, подтверждение взаимосвязи параметров состояния идеального газа при адиабатическом процессе; определение показателя адиабаты и количества степеней свободы молекул газа.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на уравнении Пуассона для *адиабатического процесса* (*процесс протекает без теплообмена с внешней средой*)

$$PV^\gamma = const, \quad (1)$$

где P и V - давление и объем идеального газа, γ - показатель адиабаты, определяемый формулой

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma, \quad (2)$$

где C_p и C_v - это теплоемкость газа при постоянном давлении и постоянном объеме, соответственно.

Показатель адиабаты вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{i+2}{i}, \quad (3)$$

в которой i - это число степеней свободы молекул идеального газа.

Откройте компьютерную модель «Адиабатический процесс». Внимательно рассмотрите модель, найдите рисунок элемента, в котором реализуется адиабатический процесс, обратите внимание на его теплоизоляцию. Найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз). В этой модели можно менять температуру (T) газа в объеме под поршнем, увеличивая или уменьшая ее численное значение с помощью стрелочек. При работе с этой моделью обязательно использование кнопок «Старт», «Стоп» и «Выбор» в окне модели.

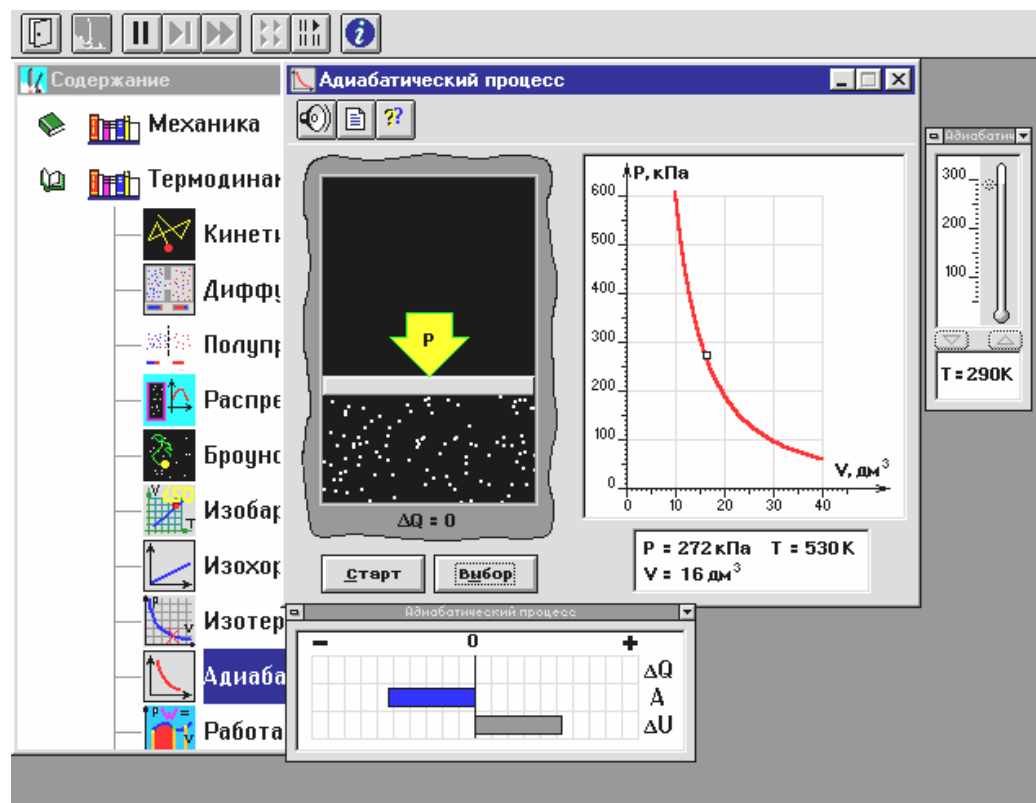


Рис. 10. Окно компьютерной модели " Адиабатический процесс " в режиме "Стоп".

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент "Адиабатический процесс".
2. Нажмите кнопку "ВЫБОР". Установите начальную температуру T_1 газа, указанную в таблице 1 для вашего варианта. После нажатия кнопки "Выбор" автоматически устанавливается численное значение начального объема газа $V_{\text{нач}} = 40 \text{ дм}^3$.
3. Нажмите мышью кнопку «СТАРТ». Наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки (белый квадратик) по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «СТОП»: при этом в окне модели фиксируются численные значения параметров, соответствующих определенному состоянию идеального газа под поршнем. Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».
4. После автоматической остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «СТАРТ». Остановите процесс, нажав кнопку «СТОП», когда квадратик на теоретической адиабате (красная кривая в системе $P = f(V)$) будет находиться вблизи значения объема $V = 15 \text{ дм}^3$. Запишите значения объема, и соответствующие значения температуры и давления в таблицу 2. Нажмите кнопку «СТАРТ» и повторите измерения для других значений объема $V = 20, 25, 30, 35$ и 40 дм^3 , при каждой остановке записывая значения объема, температуры и давления в таблицу 2.
5. Установите новое значение температуры T_2 , взяв его из таблицы 1 для вашего варианта, (задав $V_{\text{нач}} = 40 \text{ дм}^3$). Нажав кнопку «СТАРТ», проведите измерения согласно пункту 4, записывая результаты в таблицу 3, составив ее аналогично таблице 2.

Таблица 1.

Начальные значения термодинамической температуры (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_1, \text{ К}$	50	70	90	110	130	150	170	190	200	220
$T_2, \text{ К}$	230	240	250	260	265	270	280	285	290	300

Результаты измерений при начальной температуре $T_1 =$ К.

T, К						
V, дм ³						
P, кПа						

Обработка результатов измерений

1. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей логарифма давления $\ln P$ от логарифма объема $\ln V$ для обеих адиабат (указав на них начальные температуры) $\ln P = f(\ln V)$.

2. Для каждой адиабаты определите по графику экспериментальное значение показателя адиабаты γ , используя формулу $\gamma = \frac{\Delta(\ln P)}{\Delta(\ln V)}$, где $\frac{\Delta(\ln P)}{\Delta(\ln V)}$ - это отношение приращения функции $\ln P$ к соответствующему приращению аргумента $\ln V$.

3. Вычислите среднее значение показателя γ .

4. Определите число степеней свободы молекулы газа, исследуемого в данной компьютерной модели, используя формулу (3).

5. Подберите распространенный газ, структура молекулы которого близка к наблюдаемой.

6. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 1.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба», 2007.

Дополнительный

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1: Физматлит, 2006.

Контрольные вопросы

1. Какой процесс называют адиабатическим? Запишите первое начало термодинамики для этого процесса и прокомментируйте его.
2. Запишите формулу вычисления внутренней энергии идеального газа.
3. Поясните, при каком процессе - адиабатическом расширении или адиабатическом сжатии - температура газа повышается.
4. Запишите уравнение Пуассона для адиабатного процесса и поясните физический смысл величин, входящих в это уравнение.
5. Дайте определение числа степеней свободы i . Запишите значения числа степеней свободы i для одноатомного, двухатомного и трехатомного газа.
6. Задача. Определите показатель адиабаты для смеси газов, содержащей гелий массой $m_1 = 8$ г и водород массой $m_2 = 2$ г.