



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК ВНУТРИ	
И. Н. Данилов	ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА	3

Старшая школа

А. Г. Некрасов	ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА КАРНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ <i>L-MICRO</i>	7
Е. И. Вараксина А. А. Попова	ДИДАКТИЧЕСКИЙ РЕСУРС УЧЕНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЛИПСА»	13

Высшая школа

С. А. Герасимов	ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЗАМКНУТЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ИЛИ КАК ИЗМЕРИТЬ СИЛУ САМОДЕЙСТВИЯ?	22
В. В. Майер	ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ: КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА	30

Компьютер в эксперименте

С. В. Марков	ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ AD9833 ДЛЯ ДЕМОСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ С АДРЕСНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛЕНТАМИ	41
Е. И. Вараксина О. Л. Соколова	ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ПО ФИЗИКЕ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ ПО ИНФОРМАТИКЕ ..	52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	67
ABSTRACTS	68

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акагов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГППИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов,
Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГППИ». Телефон: (341 41) 5-32-29.

E-mail: kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко».

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77-69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 12.05.21. Подписано в печать 15.06.21. Дата выхода в свет: 28.06.21.
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 146. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант знаменитого опыта Г. Герца по поляризации электромагнитных волн (Mayer V V and Varaksina E I 2021 Modern demonstration experiments for H Hertz's experimental study *Eur. J. Phys.* **42** 025201).

УДК 372.853

Е. И. Варакина, О. Л. Соколова
ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС
ПО ФИЗИКЕ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ
ПО ИНФОРМАТИКЕ

Предложено содержание ученического проекта межпредметной направленности по информатике. Результатом продуктивной деятельности учителя и учащихся является цифровой образовательный ресурс, предназначенный для уроков физики по введению и формированию понятия гармонической волны.

Ключевые слова: информатика, физика, учебный проект, цифровой образовательный ресурс, гармоническая волна, *Lazarus*.

В настоящее время в отечественном школьном образовании большое внимание уделяется проектной деятельности. Федеральный государственный стандарт нацеливает на развитие «навыков проектной деятельности, а также самостоятельного применения приобретенных знаний и способов действий при решении различных задач, используя знания одного или нескольких учебных предметов или предметных областей» [1, с. 24–25]. Проекты межпредметной направленности в наибольшей степени обеспечивают практическое применение знаний и умений, получаемых школьниками на уроках.

На кафедре физики и дидактики физики Глазовского государственного педагогического института много лет разрабатываются оригинальные цифровые образовательные ресурсы (ЦОР) по различным темам курса физики, которые могут стать основой ученических проектов по информатике. Такие ресурсы обсуждаются, например, в работах [2, 3]. Рассмотрим содержание учебного проекта, посвященного созданию цифрового образовательного ресурса для изучения гармонической волны.

1. Проблема учебного проекта

Традиционно понятие гармонической волны формируется в школе средствами модельного учебного физического эксперимента, выполняемого с применением волновых машин (рис. 1) разных конструкций [4; 5, с. 234–236].

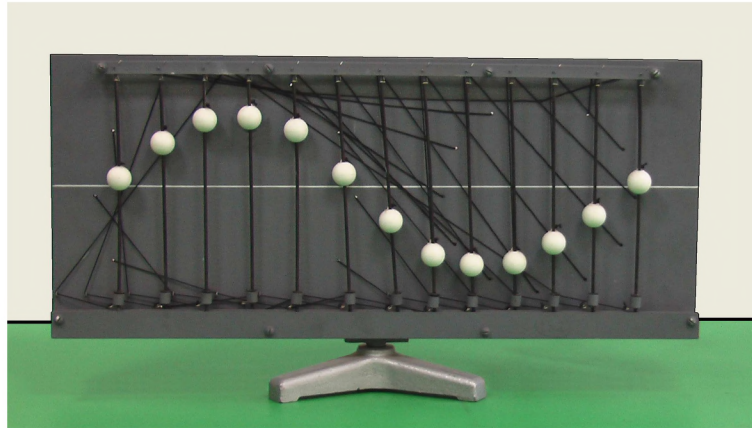


Рис. 1. Волновая машина конструкции Б. С. Зворыкина

В статье [6] предложена серия модельных опытов по исследованию равномерно движущейся по экрану синусоидальной осциллограммы. На вход осциллографа подают напряжение от генератора звуковой частоты и получают синусоидальную осциллограмму, медленно движущуюся слева направо (рис. 2). С помощью нескольких непрозрачных планшетов с узкими прорезями выделяют отдельные точки модели волны и сравнивают колебания в разных точках, когда планшеты неподвижны или движутся. Воспроизведение этой серии опытов показывает, что они удачно дают наглядные образы характеризующих волну понятий. Однако применение устаревшего аналогового осциллографа делает эти опыты недоступными для многих школ.

Современное решение этой проблемы предложено в статье [7], в которой рассмотрена компьютерная программа, позволяющая выполнить «натурный физический эксперимент с компьютерной моделью» [8] бегущей гармонической волны. Однако программа реализована в малоизвестной для учителя и школьников среде *Delphi*, кроме того используемые программные средства выходят за рамки школьного курса информатики. Поэтому создание доступного для воспроизведения и совершенствования приложения является задачей, практически значимой для преподавания информатики, и физики.

Целью учебного проекта является разработка компьютерной программы для введения и формирования понятия гармонической волны, удовлетворяющей следующим требованиям: 1) использование доступных программных средств; 2) применение алгоритмиче-

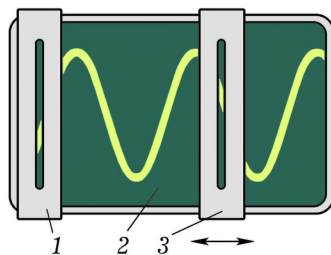


Рис. 2. Модельный эксперимент с использованием аналогового осциллографа и генератора звуковой частоты: 1 — непрозрачный планшет с прорезью, моделирующий источник волны; 2 — экран осциллографа с движущейся синусоидальной осциллограммой; 3 — планшет с прорезью, моделирующий приемник волны

ских конструкций, рассматриваемых в школьных курсах информатики при изучении программирования; 3) наличие текстовых комментариев, повышающих доступность воспроизведения и совершенствования программы.

2. Содержание учебного проекта

Рассмотрим содержание деятельности учителя и школьников, приводящее к достижению практически значимого результата и возможную последовательность решаемых в проекте задач. Это удобно сделать в форме заданий и кратких описаний деятельности исполнителей по их выполнению.

2.1. Математическая и компьютерная модели волны

Задание. Изучите понятие волны, основные физические величины, характеризующие волну, уравнение волны. Сформулируйте образовательную задачу создаваемого цифрового образовательного ресурса. Запишите уравнение волны в форме, наиболее подходящей для решения данной образовательной задачи.

Вариант выполнения. Волна представляет собой процесс распространения колебаний от возбуждающего их источника. Например, упругая волна возбуждается колеблющимся телом, от которого в упругой среде распространяются колебания.

Зависимость колеблющейся величины s от времени t выражается *уравнением колебаний*. Для гармонического колебания это уравнение имеет вид:

$$s = a \sin(\omega t + \varphi),$$

где s — элонгация, a — амплитуда, $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$ — циклическая частота, $\nu = 1/T$ — частота, T — период, φ — начальная фаза колебания.

Пусть от находящегося в начале координат O источника вдоль оси Ox с постоянной скоростью v распространяется гармоническая волна. Колебание в точке оси с координатой x отстает от колебания в начале координат O на время x/v . Поэтому *уравнение гармонической волны*, описывающее колебание в произвольной точке с координатой x , имеет вид:

$$s = a \sin \left(\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi \right).$$

В этой формуле аргумент гармонической функции (синуса) принято называть *фазой*, а величину v — *фазовой скоростью* волны.

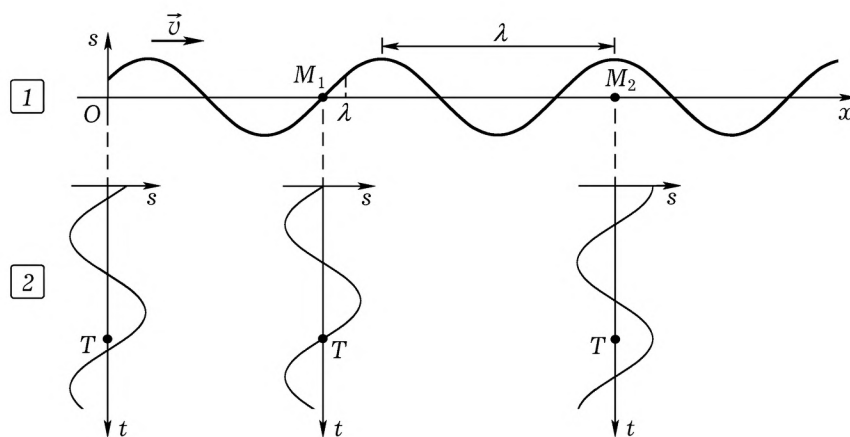


Рис. 3. Математическая модель гармонической волны

Физическая величина $k = \omega/v$ называется *волновым числом*:

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi\nu}{v} = \frac{2\pi}{\lambda},$$

где $\lambda = v/\nu = vT$ — длина волны, то есть расстояние, на которое волна распространяется за период T одного полного колебания. Удобны следующие записи уравнения гармонической волны:

$$s = a \sin(\omega t - kx + \varphi) \quad \text{или} \quad s = a \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi \right).$$

Вторая запись наглядно показывает временную (с периодом T) и пространственную (с периодом λ) периодичность волны. Начальную фазу φ в уравнении волны в дальнейшем можно опустить.

Зафиксируем некоторый момент времени. Тогда согласно записанным уравнениям гармонической волны первое слагаемое аргу-

мента синуса станет постоянной величиной и зависимость колеблющейся величины s от координаты x будет выглядеть так, как показано на рис. 3.1. С течением времени, когда параметр t возрастает, график, изображенный на рис. 3.1, поступательно и равномерно движется слева направо. При этом зависимости колеблющейся величины s от времени t в точках O, M_1, M_2 с фиксированными координатами также являются графиками гармонической функции (рис. 3.2).

Таким образом, синусоида, движущаяся слева направо, является математической моделью гармонической волны. Чтобы создать компьютерную модель, нужно нарисовать синусоиду на экране компьютера согласно уравнению гармонической волны и обеспечить ее перемещение вдоль оси координат с постоянной скоростью. Чтобы задать исходные и изменяемые независимые друг от друга параметры компьютерной модели волны, изучить зависимость одних параметров от других, нужно обратиться к теории и опытам.

Например, упругая волна распространяется от источника, совершающего колебания с определенной частотой. Скорость бегущей волны в общем случае зависит от свойств среды и от частоты волны. Если дисперсия отсутствует, то есть скорость волны не зависит от частоты, тогда для создания компьютерной модели уравнение волны удобно записать без начальной фазы в виде:

$$s = a \sin 2\pi\nu \left(t - \frac{x}{v} \right).$$

Таким образом, в компьютерной модели гармонической волны необходимо обеспечить независимые изменения трех параметров: амплитуды a , частоты ν и скорости v .

2.2. Среда разработки ЦОР

Задание. Исходя из требований корректного воплощения физических понятий, доступности программного обеспечения и используемых алгоритмических конструкций, выберите и подготовьте наиболее подходящее программное обеспечение для создания цифрового образовательного ресурса для изучения гармонической волны.

Вариант выполнения. Программу для изучения гармонической волны целесообразно создавать в свободно распространяемой среде разработки *Lazarus* на языке программирования *Free Pascal*. Выбор этой среды обусловлен тем, что в настоящее время в образовании предпочтительным является использование свободного программного обеспечения. Кроме того, используемый язык программирования *Free Pascal* прост, изучается в школе, удобен для создания программ, направленных на компьютерное моделирование физических явлений, в частности, построение графиков функций. Интерфейс среды разработки *Lazarus* близок к интерфейсу *Del-*

phi. Среда *Lazarus* позволяет создавать приложения для разных операционных систем. Установка среды *Lazarus* доступна любому учителю и школьнику [9]. Если учитель и обучающиеся имеют опыт программирования на языке *Pascal*, то дополнительные приемы, необходимые для использования среды *Lazarus*, могут быть быстро освоены самостоятельно [10].

2.3. Создание компьютерного приложения

Задание. Спроектируйте приложение, обеспечивающее компьютерное моделирование распространения гармонической волны движущейся синусоидой и исследование понятий волнового движения с помощью непрозрачных планшетов с узкими прорезями, реализованных средствами выбранной среды программирования.

Вариант выполнения. Создание цифрового образовательного ресурса необходимо разбить на этапы, в конце каждого из которых получается определенный законченный результат: 1) при нажатии на кнопку в окне программы на темном фоне начинает равномерно и плавно двигаться контрастная яркая синусоида; 2) при нажатии на кнопку скорость движения синусоиды возрастает или уменьшается, при нажатии на другие компоненты имеется возможность изменять амплитуду, частоту, скорость; 3) перед синусоидой созданы три непрозрачные планшета с прорезями, сквозь которые видна колеблющаяся точка синусоиды; планшеты перемещаются мышью; 4) программа позволяет выбрать название демонстрируемого опыта и показывает соответствующую ему краткую информацию.

2.4. Вариант компьютерного приложения

Задание. С целью обеспечения доступности и воспроизводимости приложения кратко, но полно опишите действия, необходимые для создания приложения любым заинтересованным пользователем.

Вариант выполнения. Если учитель и учащиеся испытали трудности при создании приложения, то полезным может оказаться точное описание возможного варианта действий (табл. 1), которое обеспечит положительный результат их работы. В этом случае проект будет носить обучающий характер.

Результат перечисленных действий приведен на рис. 4. В каждой процедуре указывают команды, которые выполняются при наступлении соответствующего события. Программный код для рассмотренной выше формы дан в табл. 2.

Чтобы любой заинтересованный учитель или школьник мог совершенствовать программу, переменные и команды программного кода снабжают краткими комментариями.

[Таблица 1]

1. Запускают среду программирования *Lazarus*. Создают новый проект, выбирают в главном меню *Проект/Создать проект/Приложение*.
2. Щелкают мышью на любой точке формы (окно *Form1*) и в окне *Инспектор объектов* на вкладке *Свойства* устанавливают параметры: *Caption=Бегающая волна*, *Height=643*, *Width=1284*.
3. С вкладки *Additional* находящегося в верхней части экрана главного меню помещают на форму объект *TImage — Image1*. Устанавливают параметры *Height=453*, *Width=1280* и располагают его посередине формы.
4. Снизу под объектом *Image1* на форме располагают панель (с вкладки *Standard* объект *Panel1*). Свойство *Caption* очищают, свойству *Color* задают параметр *clGray*. Растягивают объект *Panel1* по горизонтали на всю ширину окна (рис. 4).
5. Добавляют поверх панели *Panel1* еще четыре панели *Panel2*, *Panel3*, *Panel4*, *Panel5*. Устанавливают для свойства *Caption* этих объектов параметры: *Изменяемые величины*, *Амплитуда*, *Частота*, *Скорость*. Свойству *Color* определяют значение *clWhite*.
6. Рядом с панелями с вкладки *Common Controls* помещают объекты *UpDown* (*UpDown1*, *UpDown2*, *UpDown3*), как показано на рис. 4.
7. Над кнопками *UpDown* располагают объекты *TLabel (Label1–Label3)*, взятые с вкладки *Standard*. С помощью параметра *Caption* задают начальные значения амплитуды *Caption=100* (в пикселях), частоты *Caption=1* (одно колебание в единицу времени), скорости *Caption=200* (пиксели в единицу времени). В окне *Инспектор объектов* устанавливают параметры *Visible=False*.
8. Справа на *Panel1* помещают две кнопки *Button1*, *Button2* с вкладки *Standard*. Изменяют значение их параметра *Caption: Caption=Пуск!* и *Caption=Cмон!*
9. Сверху над объектом *Image1* на форме располагают панель (с вкладки *Standard* объект *Panel6*). Свойство *Caption* очищают, свойству *Color* задают параметр *clGray*. Растягивают по горизонтали на ширину окна.
10. На панель *Panel6* добавляют *Panel7*, задают параметры *Caption=Справочная информация*, *Color = clWhite*.
11. Под панелью *Panel7* с вкладки *Standard* располагают объект *ComboBox1*. В окне *Инспектор объектов* свойству *DropDownCount* задают значение 12. Удаляют содержимое параметра *Text*.
12. На панель *Panel6* справа добавляют объект *StaticText1* с вкладки *Additional*. Свойству *Font* задают параметры: размер шрифта *Size=9*, цвет *Color=clYellow*, начертание *Style=fsBold*. Растягивают объект по горизонтали и вертикали, удаляют содержимое параметра *Caption*.
13. На форму поверх *Image1* с панели *Additional* помещают три объекта *TShape: Shape1, Shape2, Shape3*, как показано на рис. 4. Свойство *Width=64*.
14. На форму помещают объект *TTimer1* с вкладки *System*. Свойство *Enabled=False*.
15. Создают обработчики следующих событий.
 - 15.1. Создание формы: щелкают мышью по пустому месту на форме и в окне *Инспектор объектов* на вкладке *События* выбирают *OnCreate*, нажимают на появившийся в соответствующей строке знак «...».
 - 15.2. Закрытие формы: аналогично созданию, но выбирают *OnClose*.

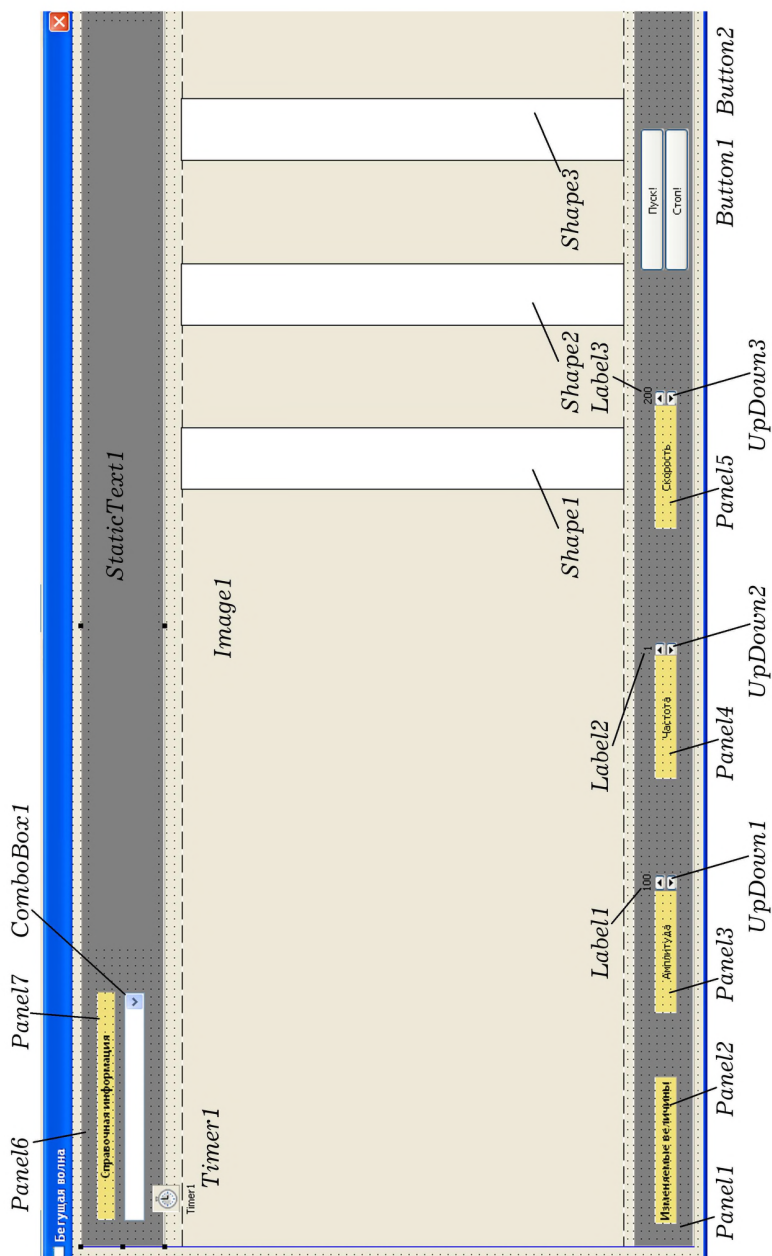


Рис. 4. Форма приложения с компонентами

[Таблица 1]

- 15.3. Одинарное нажатие на кнопки: щелкают мышью на кнопке *Button1* и на вкладке *События* выбирают *OnClick*, нажимают «...», аналогично действуют с кнопкой *Button2*.
- 15.4. Выбор элемента списка: щелкают мышью на списке *ComboBox1* и на вкладке *События* выбирают *OnChange*.
- 15.5. Перемещение планшетов: щелкнув мышью на объекте *Shape1*, на вкладке *События* выбирают *OnMouseMove* и нажимают «...». Для планшетов *Shape2* и *Shape3* определяют событие *OnMouseMove*, выбирая из выпадающего списка *Shape1MouseMove* и нажимая «...».
- 15.6. Нажатия на кнопки *UpDown1*, *UpDown2*, *UpDown3*: поочередно выделяют их щелчком мыши и задают событие *OnClick*.
- 15.7. Запуск таймера: щелкают мышью по таймеру, задают *OnStartTimer*, выбрав из выпадающего списка *FormCreate* и затем нажав на «...». Создают обработчик события *OnTimer*.
16. Сохраняют проект: *Проект/Сохранить проект*. Заменяют содержимое окна *Редактор исходного кода*, вкладка *Unit1* на приведенное ниже (табл. 2). Нажимают на кнопку «Запустить» в главном меню.

[Таблица 2]

```

unit Unit1;
{$mode objfpc}{$H+}
interface
uses
  Classes, SysUtils, LResources, Forms, Controls, Graphics, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls, ComCtrls;
type
{ TForm1 }
TForm1 = class(TForm)
  Button1:TButton; Button2:TButton; ComboBox1:TComboBox;
  Image1:TImage; Label1:TLabel; Label2:TLabel; Label3:TLabel;
  Panel5:TPanel; Panel1:TPanel; Panel2:TPanel;
  Panel3:TPanel; Panel6:TPanel; Panel7:TPanel;
  Panel4:TPanel; Shape1:TShape; Shape2:TShape; Shape3:TShape;
  StaticText1:TStaticText; Timer1:TTimer; UpDown1:TUpDown;
  UpDown2:TUpDown; UpDown3:TUpDown;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
  procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  procedure FormClose(Sender: TObject; var CloseAction:TCloseAction);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure Shape1MouseMove(Sender:TObject; Shift:TShiftState;
  X,Y:Integer); procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  procedure UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
  procedure UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
  procedure UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
private
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  a, v, x, y, xp: integer;
  {a - амплитуда; x, y - координаты точек синусоиды; v -
  скорость; xp - координата смещения планшетов}
  t, nu: real; {t - время; nu - частота}

implementation
{$R *.lfm}
{ TForm1 }

```

[Таблица 2]

```

{-----Создание формы-----}
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
{Начальным значениям переменных присваиваются значения свойства
Caption объектов Label1-Label3 для того, чтобы после нажатия на
кнопку Button2 (Стоп!) значения переменных сохранялись}
a:=StrToInt(Label1.Caption);{Начальное значение амплитуды}
nu:=StrToFloat(Label2.Caption);{Начальное значение частоты}
v:=StrToInt(Label3.Caption); {Начальное значение скорости}
{Параметры планшетов}
Image1.Canvas.Pen.Width:=10;
Shape1.Pen.Color:=clGray; Shape1.Pen.Width:=28;
Shape1.Brush.Style:=bsClear;
Shape2.Pen.Color:=clGray; Shape2.Pen.Width:=28;
Shape2.Brush.Style:=bsClear;
Shape3.Pen.Color:=clGray; Shape3.Pen.Width:=28;
Shape3.Brush.Style:=bsClear;
{Содержание списка}
ComboBox1.Items.Add ('Гармоническая волна');
ComboBox1.Items.Add ('Источник гармонической волны');
ComboBox1.Items.Add ('Колебания в различных точках');
ComboBox1.Items.Add ('Длина гармонической волны');
ComboBox1.Items.Add ('Фазовая скорость гармонической волны');
ComboBox1.Items.Add ('Скорость, длина, период волны');
ComboBox1.Items.Add ('Частота волны');
ComboBox1.Items.Add ('Эффект Доплера');
end;

{-----Нажатие на кнопку "Пуск!"-----}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Timer1.Interval:=10;{Интервал работы таймера в миллисекундах}
Timer1.Enabled:=True;{Включение таймера, начало движения синусоиды}
end;

{-----Нажатие на кнопку "Стоп!"-----}
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Timer1.Interval:=0;{Выключение таймера, остановка синусоиды}
end;

{----- Рисувание синусоиды при работе таймера-----}
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
{Начальные параметры области рисования синусоиды}
Image1.Canvas.Pen.Color:=clBlack; Image1.Canvas.Brush.Color:=clBlack;
Image1.Canvas.FillRect(Image1.Canvas.ClipRect);
Image1.Canvas.Pen.Color:=clYellow; Image1.Canvas.Brush.Color:=clYellow;
{Построение графика синусоиды от левого до правого края окна}
for x:=1 to Image1.Width+10 do{Для каждой координаты x}
begin
{вычисляется координата y}
y:=round(a*sin(2*3.14*nu*(t-x/v)));
Image1.Canvas.LineTo(x,227+y);{Рисование линии, соединяющей две
соседние точки графика синусоиды. Горизонтальной оси соответствует
координата 227 по оси ординат}
end; t:=t+(Timer1.Interval/1000);{Время в секундах}
{Перемещение курсора для рисования смещенной синусоиды}
Image1.Canvas.MoveTo(0,227+round(a*sin(2*3.14*nu*(t-1/v))));
end;

{----- Выбор опыта из списка справочной информации-----}
procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
{Тексты справочной информации, которые выводятся на экран при
выборе соответствующего опыта}
case ComboBox1.ItemIndex of
0: StaticText1.Caption:='Гармоническая волна представляет собой
процесс распространения гармонических колебаний';
1: StaticText1.Caption:='Источником гармонической волны является тело,
совершающее гармоническое колебание';
2: StaticText1.Caption:='Во всех точках, через которые проходит
гармоническая волна, происходят гармонические колебания';
end;
end;

```

[Таблица 2]

```

3: StaticText1.Caption:='Длина волны - это расстояние между ближайшими
точками, колебания в которых синфазны';
4: StaticText1.Caption:='Фазовая скорость - это скорость, с которой
перемещается точка, соответствующая некоторой фазе волны';
5: StaticText1.Caption:='Секундомером определяют период колебаний в
любой точке, через которую проходит волна. Пользуясь значением длины
волны, полученным ранее, вычисляют фазовую скорость волны';
6: StaticText1.Caption:='Колебания, происходящие в неподвижных
источнике и приемнике, одинаковы по частоте';
7: StaticText1.Caption:='Когда приемник удаляется от источника,
воспринимаемая им частота меньше частоты источника. Когда приемник
приближается к источнику, его частота выше, чем у источника';
end; end;

{-----Перемещение планшета мышью-----}
procedure TForm1.ShapelMouseMove(Sender: TObject; Shift:
TShiftState; X, Y: Integer);
begin
  {Если нажата и удерживается левая кнопка мыши}
  if Shift = [ssLeft] then
    with (Sender as TControl) do begin
      Left:= Left+X-xp; {Движение только вдоль оси X}
      if Left<0 then left:=0; {Планшет не должен выходить}
      if left>1238 then left:=1238;{за границы формы} end;
end;

{Значения переменных a, nu, v для амплитуды, частоты и скорости
фиксируются в свойстве Caption объектов Label1-Label3,
т.к. при щелчке по кнопке "Стоп!" должны сохраняться последние значения
этих величин}
{-----Изменение амплитуды-----}
procedure TForm1.UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  {При нажатии на кнопку ВВЕРХ значение амплитуды увеличивается.
Условие a<200 не позволяет амплитуде выйти за пределы экрана}
  if (Button=btNext) and (a<200) then begin
    Label1.Caption:=IntToStr(a+5); a:=StrToInt(Label1.Caption); end;
  {При нажатии на кнопку ВНИЗ значение амплитуды уменьшается.
Условие a>-200 не позволяет амплитуде выйти за пределы экрана}
  if (Button=btPrev) and (a>-200) then begin
    Label1.Caption:=IntToStr(a-5); a:=StrToInt(Label1.Caption); end;
end;

{-----Изменение частоты-----}
procedure TForm1.UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  {При нажатии на кнопку ВВЕРХ частота увеличивается}
  if (Button=btNext) then begin Label2.Caption:=FloatToStr(nu+0.1);
nu:=StrToFloat(Label2.Caption); end;
  {При нажатии на кнопку ВНИЗ частота уменьшается}
  if (Button=btPrev) and (nu>0.2) then begin
    Label2.Caption:=FloatToStr(nu-0.1); nu:=StrToFloat(Label2.Caption);
end; end;

{-----Изменение скорости-----}
procedure TForm1.UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  {При нажатии на кнопку ВВЕРХ скорость увеличивается}
  if (Button=btNext) then begin Label3.Caption:=IntToStr(v+5);
v:=StrToInt(Label3.Caption); end;
  {При нажатии на кнопку ВНИЗ скорость уменьшается}
  if (Button=btPrev) and (v>10) then begin Label3.Caption:=IntToStr(v-5);
v:=StrToInt(Label3.Caption); end;
end;

{-----Закрытие окна формы-----}
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var CloseAction: TCloseAction);
begin
  Timer1.Enabled:=False;{Остановка таймера}
end;
end.

```

2.5. Методика использования ЦОР

Задание. Разработайте серию опытов с моделью волны, которая позволяет на уроке физики ввести основные понятия, характеризующие гармоническую волну: элонгация, амплитуда, фаза, частота, период, длина и скорость волны; моделировать волновые явления излучения, распространения и эффекта Доплера; выполнить натурные эксперименты с компьютерной моделью волны.

Вариант выполнения. Загружают программу и запускают процесс перемещения по экрану монитора компьютерной модели гармонической волны.

1. Гармоническая волна. Наблюдают синусоиду, движущуюся слева направо по экрану компьютера (экрану мультимедийного проектора). Останавливают синусоиду. Сообщают, что получилась модель моментальной фотографии волны. Она показывает отклонения колеблющихся частиц от положений равновесия вдоль направления распространения волны в некоторый момент времени. Запуская и сразу останавливая синусоиду, показывают, как меняется моментальная фотография. Приводят синусоиду в движение. При помощи планшета с вертикальной прорезью изучают колебания в одной из произвольно выбранных точек. Визуально сравнивая движение точки в прорези планшета с колебаниями груза пружинного маятника, на качественном уровне убеждаются, что колебания в точке происходят по гармоническому закону. Изменяют амплитуду и частоту колебаний и делают вывод, что эти величины характеризуют гармоническую волну.

2. Источник волны. Помещают один из планшетов в крайнее левое положение (рис. 5). Сообщают учащимся, что колебания точки в его прорези моделируют колебания источника волны, от которого волна распространяется слева направо. В следующих опытах оставляют планшет, моделирующий источник, в крайнем левом положении и перемещают только оставшиеся два свободных планшета.

3. Распространение колебаний в волне. С помощью одного из оставшихся планшетов демонстрируют, что колебания происходят во всех точках, через которые проходит волна. Эти колебания в общем случае отличаются от колебаний источника по фазе. Расположив планшет вблизи источника, обнаруживают, что колебания в выбранной точке отстают по фазе от колебаний источника, то есть светящаяся точка проходит через положение равновесия и крайние положения несколько позже, чем точка, моделирующая источник.

4. Длина гармонической волны. Один планшет располагают в произвольной точке, а второй — рядом с ним. Наблюдают, что колебания в их прорезях несколько отличаются по фазе. Отодви-

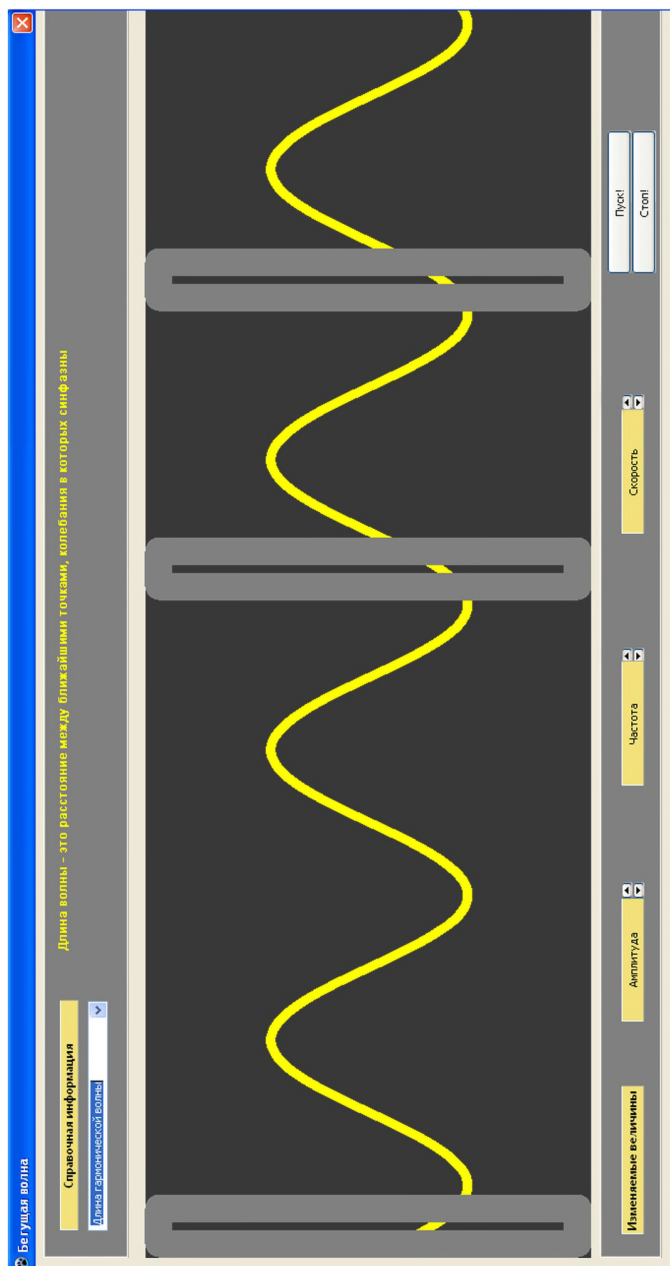


Рис. 5. Окно работающей программы

гают второй планшет от первого до тех пор, пока колебания в их прорезях не станут синфазными. Вводят понятие длины волны как расстояния между ближайшими точками, колебания в которых синфазны. Линейкой измеряют длину волны λ . Приближая второй планшет к первому, обнаруживают точки, колебания в которых происходят в противофазе. Измеряя линейкой расстояние между планшетами, убеждаются, что оно равно половине длины волны.

5. Фазовая скорость гармонической волны. Один из планшетов перемещают вдоль направления распространения модели волны с такой скоростью, чтобы колеблющаяся точка в прорези стала неподвижной. Это означает, что фаза колебания оказывается постоянной в системе отсчета, связанной с движущимся планшетом. Секундомером измеряют время t перемещения планшета на известное, измеренное линейкой расстояние l и вычисляют фазовую скорость волны по формуле: $v = l/t$. Затем определяют скорость движения по экрану «впадины», «горба», точки с нулевой элонгацией и получают значения фазовой скорости волны, совпадающие в пределах погрешности измерений.

6. Связь между фазовой скоростью, длиной и частотой волны. Наблюдают колебания светящейся точки в прорези неподвижного планшета. Секундомером измерив время 10 полных колебаний, вычисляют их период T и частоту ν . По формуле $v = \lambda/T$ или $v = \lambda\nu$ вычисляют фазовую скорость волны, подставив в нее найденные в эксперименте значения. Убеждаются, что полученная величина фазовой скорости совпадает с ранее измеренной. Увеличивают и уменьшают частоту волны и наблюдают, что при неизменной скорости распространения длина волны соответственно уменьшается и увеличивается. При постоянной частоте изменяют скорость волны и обнаруживают, что рост и снижение скорости распространения волны приводят соответственно к увеличению и уменьшению длины волны.

7. Частота волны в системах отсчета, связанных с источником и приемником. Измеряют секундомером период колебаний источника и период колебаний светящейся точки в прорези другого неподвижного планшета, моделирующего приемник. Вычисляют соответствующие частоты и убеждаются, что они одинаковы. Отсюда следует, что неподвижный относительно источника приемник воспринимает частоту принимаемой им волны, равной частоте источника.

8. Эффект Доплера. Планшет, моделирующий источник волны, как и прежде, находится в крайнем левом положении относительно окна программы. Планшет, моделирующий приемник волны, перемещают вдоль направления распространения волны с небольшой постоянной скоростью, несколько меньшей фазовой. Когда прием-

ник удаляется от источника, частота колебаний светящейся точки в прорези приемника оказывается меньше, чем у источника. Когда приемник приближается к источнику, частота приемника становится выше частоты источника. Обнаруженное в модельном эксперименте явление существует в действительности и называется эффектом Доплера.

3. Заключение

Разработанный в учебном проекте цифровой образовательный ресурс обязательно найдет применение при изучении физики, поскольку понимание сущности волнового движения — необходимое условие успешного освоения механики, электродинамики, оптики и квантовой физики. Открытость программного кода и наличие кратких пояснений и комментариев позволит учителю и школьникам совершенствовать программу и дополнять ее полезными возможностями. Например, школьники могут попытаться воплотить затухание волны, моделирование стоячей волны, дисперсию и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования. <https://fgos.ru/> (дата обращения: 02.05.2021)
2. Майер В. В., Вараксина Е. И., Перминов А. А. Информационные технологии в учебном исследовании дифракции Фраунгофера на щели // *Учебная физика*. — 2020. — № 1. — С. 44–58.
3. Майер В. В., Вараксина Е. И., Наговицына Е. А. Компьютерная программа для исследования прямолинейного движения // *Учебная физика*. — 2013. — № 1. — С. 43–55.
4. Волновая машина. — Министерство просвещения РСФСР, Главучтехпром, 1970. — 8 с.
5. Учебное оборудование для кабинетов физики общеобразовательных учреждений / Ю. И. Дик, Ю. С. Песоцкий, Г. Г. Никифоров и др.; под ред. Г. Г. Никифорова. — М.: Дрофа, 2005. — 396 с.
6. Майер В. В., Майер Р. В. Самостоятельный эксперимент учащихся с моделью гармонической волны // *Физика в школе*. — 1996. — № 4. — С. 21–23.
7. Майер В. В., Вараксина Е. И., Рудин А. С. Компьютерная модель бегущей гармонической волны // *Учебная физика*. — 2007. — № 1. — С. 31–36.
8. Вараксина Е. И., Майер В. В. Натурный физический эксперимент с компьютерной моделью // *Информатика и образование*. — 2009. — № 2. — С. 124–126.
9. Lazarus. <https://www.lazarus-ide.org/>
10. Алексеев Е. Р., Чесноков О. В., Кучер Т. В. Free Pascal и Lazarus. Учебник по программированию — М.: ALT Linux; Издательский дом ДМК-пресс. — 440 с.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 03.05.21.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Danilov I. N. Electric current inside a galvanic cell. A simple demonstration experiment is described, showing that a current flows inside a loaded galvanic cell in the direction from the negative pole of the source to the positive one. A homemade magnetic needle made of neodymium magnets has been used as a current indicator. *Keywords:* current source, electromotive force, electric current in closed circuit.

Nekrasov A. G. Study of the Carnot cycle using L–micro. The method of conducting a lesson dedicated to studying the Carnot cycle is proposed. The lesson uses the L–micro digital laboratory. *Keywords:* lesson, educational research, Carnot cycle, L–micro laboratory.

Varaksina E. I., Popova A. A. Didactic resource of students' project «Optical properties of ellipse». The necessity of organizing project activity of an interdisciplinary nature when studying mathematics is justified. Simple tasks of one of the possible projects devoted to the experimental study of the optical properties of ellipse are proposed. *Keywords:* mathematics, physics, educational project, didactic resource, ellipse.

Gerashimov S. A. Experiments with unclosed electric current, or how to measure the self–force? The self-force by means of which an unclosed system acts on itself can be found and measured in a usual laboratory. For a system consisting of thin magnetized disk and unclosed conductor, the obtained value of the self-force is several orders of magnitude greater than known value. *Keywords:* magnetic field, electric current, weight, magnetization, unclosed conductor.

Mayer V. V. Elements of the theory of optical devices: lecture notes for undergraduate students. The content of the lecture on the discipline «General and experimental physics. Optics» is presented in a summary form. The lecture is developed for bachelor course of pedagogical university. *Keywords:* optical devices, visual observations, magnifying glass, microscope, telescope, diffraction nature of the image, resolution.

Markov S. V. Infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer for demonstration experiments with addressable LED strips. The paper presents an affordable design of an infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer. The generator is designed for the educational study of electrical vibrations in elements included in the AC circuit, the phenomenon of electro–magnetic induction and self-induction together with address ring LED strips. *Keywords:* AD9833 digital frequency synthesizer, infra–low–frequency alternator, electrical oscillations in AC circuits, electromagnetic induction, self–induction, microcontroller board ArduinoUNO, address LED strip.

Varaksina E. I., Sokolova O. L. Physics digital educational resource in a computer science educational project. The content of interdisciplinary students' project in computer science is proposed. The result of the productive activity of teachers and students is a digital educational resource designed for physics lessons on the introduction and formation of the concept of harmonic wave. *Keywords:* computer science, physics, educational project, digital educational resource, harmonic wave, Lazarus.