



## 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 ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС  
О. Л. Соколова 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](mailto: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 372.851+372.853

Е. И. Вараксина, А. А. Попова

## ДИДАКТИЧЕСКИЙ РЕСУРС УЧЕНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЛИПСА»

Обоснована необходимость организации проектной деятельности межпредметного характера при изучении математики. Предложены простые задания одного из возможных проектов, посвященных экспериментальному изучению оптических свойств эллипса.

*Ключевые слова:* математика, физика, учебный проект, дидактический ресурс, эллипс.

Федеральный государственный стандарт требует, чтобы при изучении предметной области «Математика и Информатика» были сформированы представления о математике как «универсальном языке науки, позволяющем описывать и изучать реальные процессы и явления», умение «распознавать на чертежах, моделях и в реальном мире геометрические фигуры; применение изученных свойств геометрических фигур и формул для решения геометрических задач и задач с практическим содержанием», умение «моделировать реальные ситуации» [1, с. 15–17]. Выполнить эти требования непросто, так как в бакалавриате [2] будущих учителей математики обучают основам физики по сильно сокращенным программам, а в школе на уроках математики действующие учителя стараются избегать физических задач. Обозначенная проблема может быть решена средствами проектной деятельности межпредметного характера.

### 1. Эллипс в учебнике геометрии

Покажем это на примере эллипса — замкнутой кривой второго порядка, которая изучается в конце 11 класса [3]. Тема «Эллипс» рассматривается в главе «Некоторые сведения из планиметрии», предназначенной для изучения на углубленном уровне и необязательной для базового уровня. В начале темы даны исторические сведения.

«Эллипс, по-видимому, был известен еще в глубокой древности, когда облик геометрии соответствовал дословному переводу ее названия. В те времена основными инструментами для выполнения построений на местности были колья и веревки, позволявшие проводить прямые и окружности, а значит, и выполнять все те построения, которые теперь называют построениями с помощью циркуля и линейки.

Ясно, как с помощью указанных инструментов построить окружность: нужно закрепить один из концов веревки и в натянутом состоянии прочертить вторым концом линию. Напрашивается вопрос: а что получится, если закрепить оба конца

ненатянутой веревки, а затем в натянутом состоянии прочертить линию? Получится эллипс» [3, с. 219–220]. Далее представлено определение эллипса: «множество всех таких точек плоскости, для которых сумма расстояний до двух фиксированных точек постоянна» [3, с. 220].

На основе определения сделан вывод канонического уравнения эллипса, определены понятия фокуса, малой и большой полуосей, директрисы, эксцентриситета эллипса. Параграф занимает примерно 4 страницы учебника. В заключение школьникам предлагается решить три задачи, тексты которых имеют абстрактный характер. Ни в тексте параграфа, ни в задачах не упоминается о практической значимости перечисленных понятий и не говорится, как изученный математический объект позволяет «описывать и изучать реальные процессы и явления».

Обнаруженное обстоятельство определяет актуальность выполнения учебного проекта межпредметного характера, посвященного экспериментальному изучению физических свойств эллипса. Эллиптическая кривая или поверхность рассматривается в курсах физики, прежде всего, при изучении механики и оптики. В настоящей статье предлагается дидактический ресурс проектной деятельности, направленной на совершенствование знаний о практических применениях эллипса, связанных с его оптическими свойствами.

## 2. Дидактический ресурс проектной деятельности

Целью проекта является подготовка фрагмента урока математики, посвященного изучению эллипса. Его целесообразно предложить звену из двух заинтересованных школьников примерно за две недели до урока.

*Задание 1. Рисование эллипса.* Разработайте и реализуйте учебный вариант рассмотренного в школьном курсе геометрии [3] способа построения эллипса с помощью веревки и кольев.

*Задание 2. Вывод уравнения эллипса.* Научитесь быстро и безошибочно выводить уравнение эллипса в канонической форме, пользуясь определением этой кривой и способом ее рисования [3].

*Задание 3. Построение эллипса по точкам.* Выбрав длины большой и малой полуосей и записав уравнение эллипса в канонической форме, вычислите координаты не менее 8 точек эллипса. Постройте эллипс по точкам на миллиметровой бумаге.

*Задание 4. Изготовление источника, дающего узкий пучок света.* Чтобы исследовать распространение света внутри рисованного на бумаге эллипса, необходим специальный источник света, дающий хорошо видимый на листе бумаги пучок. Разработайте и изготовьте источник, дающий такой пучок.

*Задание 5. Отражение от касательной к эллипсу.* Исследуйте отражение узкого пучка света, проходящего через один из фокусов эллипса, от зеркала, расположенного по касательной к эллипсу в произвольной точке.

*Задание 6. Закон отражения.* Докажите, что при отражении от эллиптического зеркала луча света, прошедшего через фокус, выполняется закон отражения света.

*Задание 7. Изображение фокуса в плоском зеркале.* Докажите, что мнимое изображение одного из фокусов в зеркале, расположенном по касательной к эллипсу, лежит на продолжении луча, идущего из другого фокуса.

### 3. Вариант выполнения заданий

Предложенные задания кажутся очень простыми. Однако их реализация на практике требует применения и, следовательно, развития, многих теоретических и экспериментальных умений. Покажем это, рассмотрев возможные варианты выполнения заданий.

**Задание 1. Рисование эллипса.** Использование колец и веревки не является удобным для учебного варианта способа построения эллипса. Необходимо подобрать доступное оборудование, обеспечивающее построение эллипса на ученическом столе и последующую быструю и надежную демонстрацию процесса построения и его результата всему классу. Если чертить эллипс на бумаге, то вместо колец подойдут английские булавки, в качестве веревки удобно взять прочную толстую нить темного цвета, изготовив из нее замкнутую петлю, а для рисования подобрать яркий маркер. Чтобы иглы прочно держались в листе бумаги и оставались в вертикальном положении при натяжении петли, под лист бумаги нужно подложить несколько слоев упругого материала.

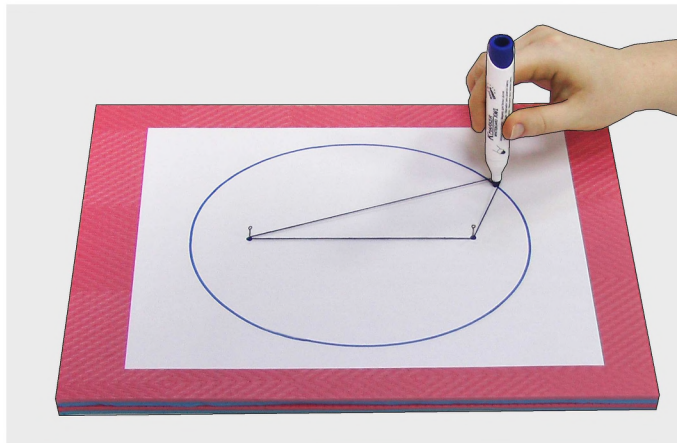


Рис. 1

В нашем опыте применяются два сложенных вместе листа изолона шириной примерно 30 см, длиной 40 см и толщиной 1 см

каждый. На них располагают белый лист бумаги формата А4. Маркером отмечают фокусы эллипса на расстоянии 15 см друг от друга и втыкают в них английские булавки. Из прочной нити изготавливают петлю длиной 38 см и накидывают ее на булавки. Натягивают петлю корпусом маркера вблизи выступающей части его стержня и проводят контур эллипса, не отрывая маркер от поверхности листа (рис. 1).

**Задание 2. Вывод уравнения эллипса.** На листе бумаги от руки рисуют эллипс, обозначают его фокусы  $F_1$  и  $F_2$ , находят середину  $O$  отрезка  $F_1F_2$  и строят декартову систему координат  $xOy$  с центром в точке  $O$  с осью  $x$ , проходящей через фокусы (рис. 2).

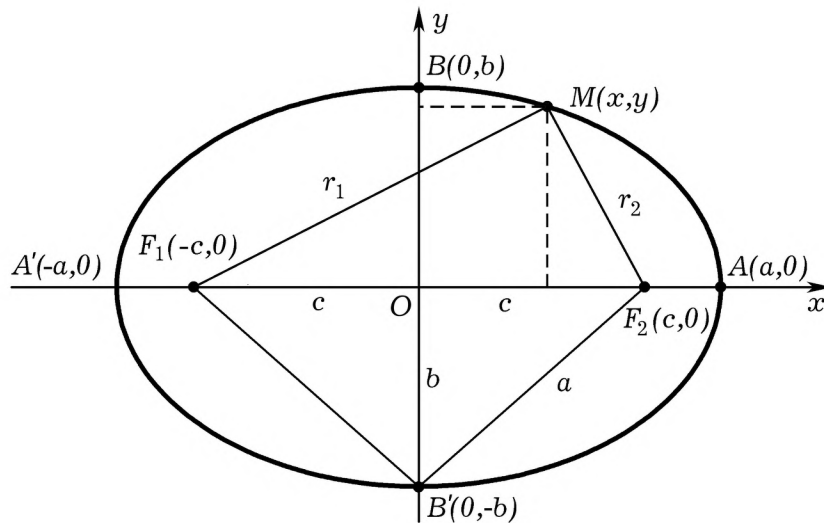


Рис. 2

В этой системе обозначают координаты фокусов  $F_1$  и  $F_2$ , точек пересечения эллипса с осями координат  $A$ ,  $A'$ ,  $B$ ,  $B'$  и произвольной точки  $M$  эллипса. Для удобства обозначают длины отрезков  $F_1M = r_1$ ,  $F_2M = r_2$  и  $OF_1 = OF_2 = c$ . Замечают, что по построению эллипса с помощью петли, накинутой на точки фокуса:  $r_1 + r_2 + 2c = 2(a + c)$ . Отсюда  $r_1 + r_2 = 2a$  или по теореме Пифагора:

$$\sqrt{(c+x)^2 + y^2} + \sqrt{(c-x)^2 + y^2} = 2a. \quad (1)$$

Переносит второй корень вправо и, возводя это равенство в квадрат, получают:

$$\underline{c^2} + 2cx + \underline{x^2} + \underline{y^2} = 4a^2 - 4a\sqrt{(c-x)^2 + y^2} + \underline{c^2} - 2cx + \underline{x^2} + \underline{y^2}.$$

После приведения подобных членов и сокращения на 4 имеют:

$$a\sqrt{(c-x)^2 + y^2} = a^2 - cx.$$

Возведение этого равенства в квадрат дает:

$$a^2x^2 - 2a^2cx + a^2c^2 + a^2y^2 = a^4 - 2a^2cx + c^2x^2.$$

Так как по построению эллипса с помощью петли гипотенуза прямоугольного треугольника  $OF_2B'$  равна  $a$ , то  $a^2 - c^2 = b^2$ , и из предыдущего равенства получают:

$$b^2x^2 + a^2y^2 = a^2b^2.$$

Разделив это выражение на  $a^2b^2$ , приходят к уравнению эллипса в канонической форме:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (2)$$

**Задание 3. Построение эллипса по точкам.** Сначала определяют характерные размеры будущего эллипса. Для этого выбирают наиболее доступный лист бумаги, на котором будет выполняться построение, и измеряют его длину и ширину. Исходя из полученных значений, выбирают большую и малую полуоси такого эллипса, который вместится на указанный лист. Например, если используется стандартный лист бумаги формата А4 размером 21 см на 30 см, тогда большую полуось эллипса удобно взять несколько меньшей половины длины листа  $a = 14$  см, а малую полуось — несколько меньшей половины его ширины, то есть  $b = 9$  см. Уравнение эллипса в канонической форме (2) записывают для конкретных значений длин большой и малой полуосей, выраженных в миллиметрах:

$$\frac{x^2}{196} + \frac{y^2}{81} = 1. \quad (3)$$

Переписывают это уравнение в виде функциональной зависимости  $y = y(x)$ :

$$y = \pm 9\sqrt{1 - \frac{x^2}{196}}. \quad (4)$$

Строят график этой функции и убеждаются, что получившаяся кривая является эллипсом (рис. 3).

**Задание 4. Изготовление источника, дающего узкий пучок света.** В опыте необходим узкий световой пучок, след которого на поверхности бумаги отчетливо виден на большом расстоянии. Очевидна идея использовать лазерную указку. Однако опыты показывают, что непросто подобрать удобное для демонстрации положение указки, при котором след пучка на бумаге можно будет наблюдать на отрезке длиной хотя бы 20 см. Учащиеся приходят к выводу, что

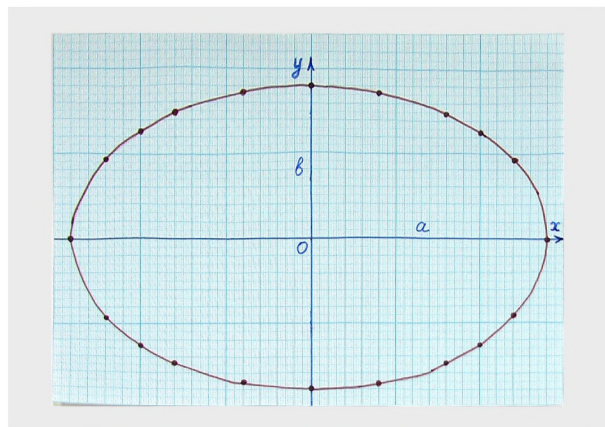


Рис. 3



Рис. 4

пучок горизонтально ориентированной указки должен быть узким только по горизонтали, а по вертикали его нужно расширить. Для этой цели подойдет цилиндрическая линза, если закрепить ее перед отверстием, из которого выходит параллельный пучок лазерного излучения.

Учитель, знакомый с современной техникой учебного физического эксперимента, может подсказать школьникам конструкцию



насадки на лазерную указку [4, с. 137]. Для изготовления насадки используют отрезок резинового шланга, внутренний диаметр которого равен или несколько меньше диаметра указки. По диаметру этого отрезка пробковым сверлом делают круглые отверстия и вставляют в них стеклянную палочку или трубку небольшого диаметра. Например, подойдет отрезок резинового шланга внешним диаметром 17 мм, внутренним 11 мм, длиной 20 мм и стеклянная палочка диаметром 4 мм и длиной 30–40 мм. Получившуюся насадку надевают на лазерную указку и убеждаются, что она позволяет получить нужный результат (рис. 4).

**Задание 5. Отражение от касательной к эллипсу.** Для исследования отражения подбирают небольшой кусочек зеркала и закрепляют его вертикально на подходящем держателе. Например, используют зеркало длиной 30–40 мм и шириной 10–15 мм. Двусторонним скотчем закрепляют его вертикально к небольшой пластинке изолона. Чтобы расположить зеркало по касательной, внимательно изучают отражение эллиптической кривой в нем. Если отражение выглядит симметричным относительно центра зеркала, значит точка касания находится примерно посередине зеркала. Направляют пучок света так, чтобы он проходил через один из фокусов и падал на зеркало в точке касания с эллиптической кривой. Убеждаются, что отраженный пучок проходит через второй фокус. Перемещают зеркало в другую точку эллипса и обнаруживают, что и в этом случае отраженный пучок проходит через второй фокус (рис. 5).

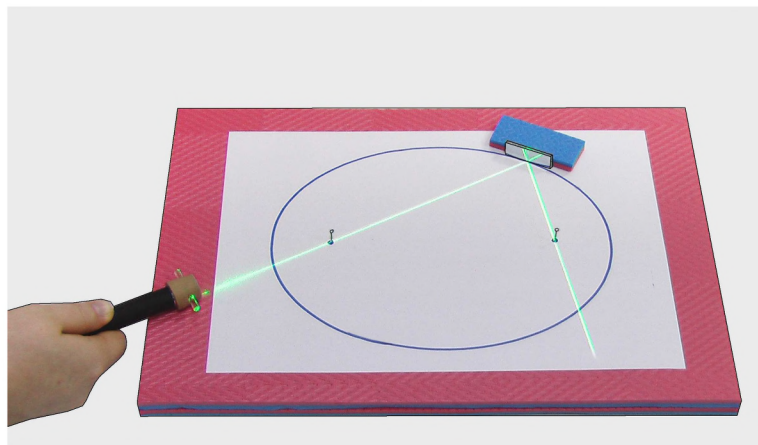


Рис. 5

**Задание 6. Закон отражения.** Вначале убеждаются, что луч света, прошедший через фокус эллиптического зеркала, после отражения идет через второй фокус зеркала. Для этого берут хорошо

отполированную стальную линейку и, изгибая ее, прикладывают к нарисованному на бумаге эллипсу так, чтобы получилось зеркало в форме части эллиптического цилиндра. Учащиеся обнаруживают, что узкий световой пучок, прошедший через один фокус зеркала, после отражения от его эллиптической поверхности, проходит через второй фокус.

Для проверки закона отражения школьники вспоминают его формулировку: «лучи падающий и отраженный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения луча. Угол падения  $\alpha$  равен углу отражения  $\beta$ » [5, с. 197]. Следовательно, в опыте нужно измерять углы падения и отражения света, а для этого необходимо в точке падения провести перпендикуляр к зеркалу. Так как поверхность зеркала кривая, то перпендикуляр в точке падения нужно построить к касательной плоскости, проходящей через эту точку.

Поэтому дальше вместо эллиптического используют плоское зеркало, которое располагают по касательной к эллипсу в точке падения света. Обозначив касательную, падающий и отраженный лучи, в точке падения восстанавливают перпендикуляр к зеркалу. Далее измеряют и сравнивают углы падения и отражения света. Применяя карандаш, линейку, треугольник и транспортир (рис. 6), выполняют эти действия и убеждаются, что в пределах погрешности измерения углы падения и отражения одинаковы.

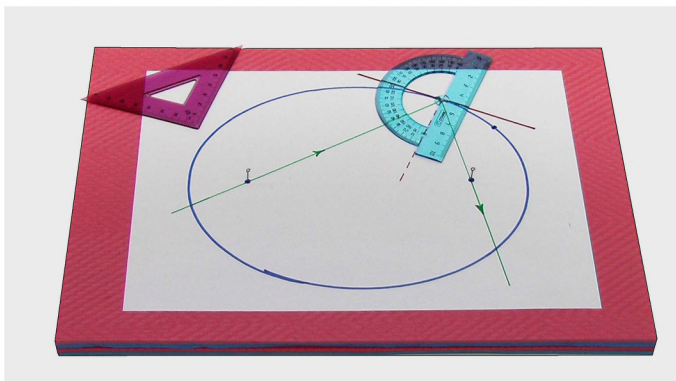


Рис. 6

**Задание 7. Изображение фокуса в плоском зеркале.** В опыте обозначают ход падающего и отраженного пучков и соответствующее им положение зеркала. Вспоминают правила построения изображений в плоском зеркале и выполняют построения. Опускают из одного из фокусов (на рис. 7 из правого) перпендикуляр на прямую, обозначающую положение зеркала. Измеряют расстояние от фокуса до зеркала вдоль этого перпендикуляра и находят мнимое изображение фокуса на продолжении этого перпендикуляра за зеркалом,

отложив от точки их пересечения отрезок, равный измеренному. Рисуют продолжение падающего пучка за зеркалом и убеждаются, что оно проходит через найденное изображение фокуса.

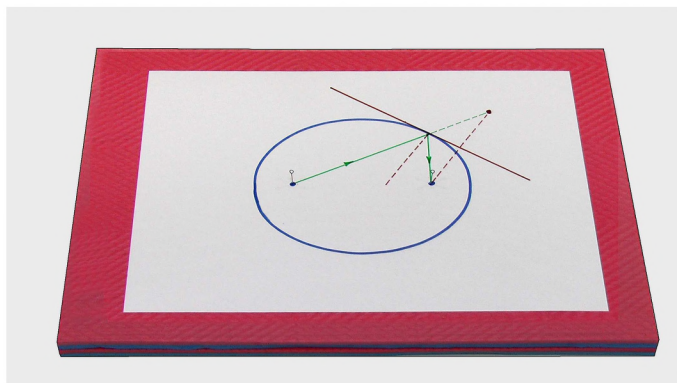


Рис. 7

#### 4. Заключение

В результате выполнения проекта учащиеся делают вывод, что свет, в некоторый момент вышедший по всевозможным направлениям из одного фокуса, после отражения от эллипса одновременно соберется во втором фокусе. В физике это свойство оптических приборов называется *таутохронизмом*. Выполнение подобного проекта с последующей демонстрацией его результатов на уроке, несомненно, будет способствовать формированию представления о математике как универсальном языке науки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования. <https://igos.ru/> (дата обращения: 02.05.2021).
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Уровень высшего образования БАКАЛАВРИАТ Направление подготовки 44.03.05 (с двумя профилями подготовки) <https://igos.ru/> (дата обращения: 02.05.2021).
3. Математика: алгебра и начала математического анализа, геометрия. Геометрия. 10–11 классы: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / [Л.С. Атанасян и др.]. — М.: Просвещение, 2020. — 287 с.
4. Майер В. В. Полное внутреннее отражение света: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 160 с.
5. Перышкин А. В. Физика. 8 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2013. — 237 с.

Глазовский государственный  
педагогический институт

Поступила в редакцию 01.04.21.

## 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.