

Новый подход к изучению оптических иллюзий в школе

С. Б. Рыжиков^{1*} Ю. В. Рыжикова²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 05.06.2019; Подписана в печать 27.06.2019)

Действующий ФГОС большое внимание уделяет межпредметному обучению. Авторы считают наиболее эффективным подход, когда выбирается интересная для учащихся проблема, которая рассматривается с точки зрения различных дисциплин. В статье иллюстрируется применение указанного подхода на примере рассмотрения проблемы человеческого зрения. Изучение феномена зрения требует объединение усилий математиков, физиков, физиологов, психологов и др. специалистов. Целью обучения должно быть не перечисление большого числа иллюзий, а выявление причин их появления. До учеников нужно донести мысль, что наше зрение обладает уникальными возможностями, а иллюзии — это побочные следствия проявления этих способностей.

PACS: 01.40.Fk; 42.66.Si; 02.70.-c УДК: 535.1

Ключевые слова: межпредметное обучение, оптика, оптические иллюзии.

ВВЕДЕНИЕ

Действующий ФГОС основного общего образования большое внимание уделяет межпредметному обучению. Межпредметное обучение связано со следующими сложностями:

1. нужно использовать материалы из различных областей знания, при этом требуется согласование фактов, чтобы избежать эклектики;
2. учитель должен владеть материалом из различных областей знания, но каждый учитель-предметник хорошо знает, прежде всего, свой предмет и поиск информации по другим предметам требует больших временных затрат;
3. изучаемые материалы должны относиться не к далекому прошлому, а к современному состоянию науки и быть получены из достоверных источников.

Преодоление этих сложностей авторы видят в том, чтобы строить обучение «от проблемы», т.е. выбирать актуальные проблемы, требующие усилия специалистов различных областей знания. Необходимую для учителей информацию можно получать из научно-популярной и учебной литературы.

Рассмотрим для примера проблему зрительных иллюзий. Зрительные иллюзии представляют интерес, как для физики, так и для других наук, поэтому им уделялось большое внимание в популярной литературе по физике, например, в хорошо известной «Занимательной физике» Я. И. Перельмана [1],

первое издание которой вышло в 1913 г. Зрительным иллюзиям посвящено много книг [1–4], однако, этим книгам присущ существенный недостаток — в них описываются и классифицируются многочисленные иллюзии, но не обсуждаются причины возникновения иллюзий. Заметим, что многие способности зрения были обнаружены совсем недавно, и не описаны в популярной литературе.

Чтобы восполнить этот пробел, авторы написали для школьников, студентов и учителей книгу [5], которая доступна для бесплатного скачивания на сайте общества им. А. Г. Столетова *stoletov.org* (вкладка «библиотека»). Авторы не ставили целью привести как можно больше иллюзий, основное внимание уделено причинам их возникновения.

В основе рассмотрения проблемы зрения положен тезис, что зрение человека обладает удивительными способностями, которые помогали ему выжить в прошлом, и полезны в настоящем, а зрительные иллюзии являются не недостатком зрения, а побочным результатом этих способностей.

Книга [5] была написана с расчетом, чтобы быть понятной даже ученикам среднего школьного возраста. Рассмотрим в общих чертах удивительные способности нашего зрения и остановимся на том, какие иллюзии при этом могут возникать.

Способность переворачивать изображение. В [5] даны основы строения глаза. Если школьники уже изучали оптику, то им можно показать ход лучей в глазу. При этом возникает проблема, что изображение в глазу получается перевернутым. Если школьники еще не изучали оптики, то с помощью обычной лупы можно продемонстрировать, что действительное изображение перевернуто. Стоит обратить внимание, что ход лучей в глазу построил еще Кеплер, и это вызвало сильное недоумение: как же в этом случае мы умудряемся видеть мир прямым?

*E-mail: sbr@physics.msu.ru

Опыт показывает, что многие школьники из разных источников знают об опытах американского психолога Джорджа Стреттона с переворачивающими очками, показавшего, что наш мозг умеет переворачивать изображение, которое зрачок формирует на сетчатке. Подробнее эти эксперименты описаны в [5].

При обсуждении этого свойства зрения полезно обратить внимание школьников на то, что переворачивание мира происходит на подсознательном уровне и на то, что подобным свойством должно обладать зрение других млекопитающих, птиц, рыб... , иначе зрение было бы бессмысленно. Получается, что «умственных способностей» даже маленьких пескарей достаточно, чтобы успевать переворачивать мир.

Способность видеть объемное (трехмерное) изображение. Даже если школьники еще не знают оптики, им нетрудно сообразить, что изображение на сетчатке глаза двумерное. Объемное видение мира — следующая удивительная способность зрения человека (и животных), без которой получаемая зрительная информация была бы бесполезной. Чтобы увидеть мир объемным, нашему мозгу приходится выполнять огромную работу. Эта работа происходит на подсознательном уровне и потому обычно не осознается нами, а многие зрительные иллюзии являются побочным следствием непрерывного стремления нашего мозга видеть мир трехмерным [5]. Как наш мозг (наше подсознание) формирует глубину изображения? Для определения расстояния до объектов мозг использует различные ориентиры, в том числе эффект перспективы. Это правило легко объяснить школьникам: чем дальше предмет — тем он меньше, параллельные рельсы «сходятся за горизонтом» и др. При этом «обмануть» мозг удается, поставив его в ситуации, далекие от тех, с которыми ему приходится сталкиваться в повседневной жизни.

Рассмотрим для примера иллюзию отрезков (рис. 1, слева).

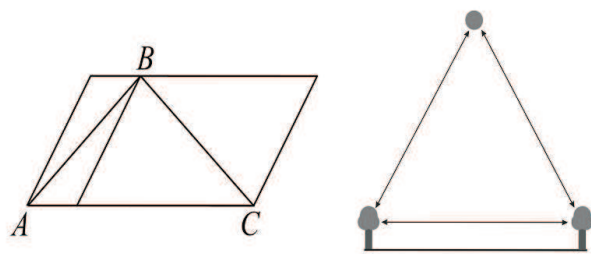


Рис. 1: Иллюзия отрезков

Нам кажется, что отрезок BC больше, чем AB , хотя, приложив линейку, можно убедиться, что они одинаковой длины. Почему мы ошиблись? Наш мозг пытается увидеть рисунок объемным. Если бы перед нами был не параллелограмм, а прямоугольная площадка, на которую мы смотрим немного сбоку, то в реальном объемном мире, то дорожка BC на самом деле была

бы длиннее дорожки AB . Поэтому нужно спросить не «Почему наш мозг ошибся?», а «Ошибся ли он?»

Если, например, на картине нарисованы два дерева и Луна (рис. 1, справа), то как ответить на вопрос: «Одинаковы ли расстояния от дерева до Луны и между деревьями?» Приложив линейку, мы увидим, что длины между деревьями и деревом и Луной равны. Но значит ли это, что правильный ответ на вопрос: «Да. Расстояние между деревьями и расстояние до Луны одинаковы?» Мы прекрасно знаем, что Луна дальше, хотя, нам очень трудно представить насколько дальше. Конечно, параллелограмм и геометрические отрезки — это не реальный мир, но наш мозг приспособлен ориентироваться в объемном мире, и не может каждый раз перестраиваться, когда нам нужно решить геометрическую задачу на плоскости.

Посмотрите на рис. 2. Одинаковы ли длины AB и AC ? С первого взгляда кажется, что AC длиннее AB . Приложив линейку, мы убедимся, что длины одинаковы. Но рисунок — этот не геометрическая фигура. Художник потратил усилия, чтобы мы видели рисунок объемным. А в реальном мире, дорожка AC была бы действительно длиннее дорожки AB . Поэтому для *правильного ответа* нужен *правильный вопрос*: «Одинаковы ли длины отрезков AB и AC на листе бумаги?», или «Одинаковы ли длины *изображенных на рисунке* дорожек AB и AC ?» В первом случае правильный ответ: «Одинаковы», во втором случае: «Художник изобразил дорожку AC длиннее дорожки AB ».

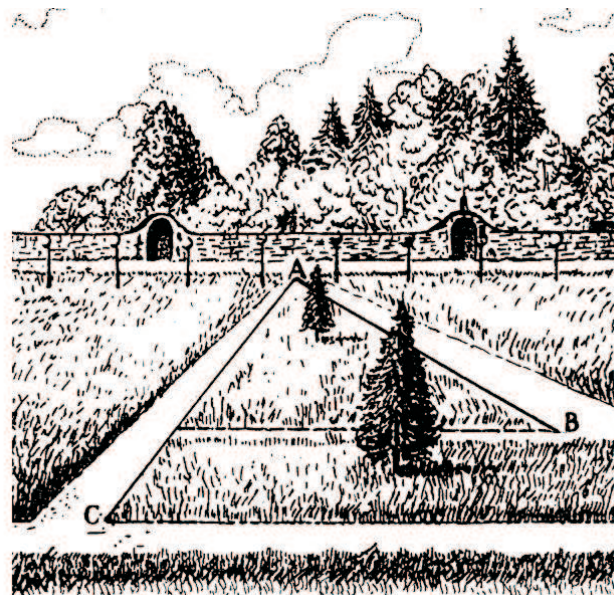


Рис. 2: Иллюзия дорожек

Для превращения плоского изображения на сетчатке в объемное, мозгу приходится использовать представления перспективы, сравнения размеров объектов, их освещенности воссоздания прямых линий. На этом основаны описанные в [5] многочисленные иллюзии.

люзии М. Понцо, Э. Эймса, Дж. Ястрова, В. Вундта, И. Цёлльнера, К. Геринга и др.

Неправильное проецирование трехмерных фигур на плоскость приводит к появлению «невозможных фигур» В [5] приведены классические невозможные фигуры Л. Неккера, Р. Пенроуза, Ч. Кокрана, О. Рутерсварда, М. Эшера и др. Вместе с тем многие «невозможные фигуры» могут быть воспроизведены, правда, они будут выглядеть не так, как можно было подумать с первого взгляда. Современные знания о геометрических проекциях и вычислительные способности компьютеров позволяют создавать на 3D принтерах самые затейливые «невозможные» фигуры.

Еще одна важная способность нашего зрения — единение изображения, получаемые в левом и правом глазу в одно целое (бинокулярное зрение). Школьникам обычно с интересом относятся к сравнению зрения человека и животных. У птиц, рыб, многих млекопитающих глаза направлены не вперед, а в стороны, что позволяет, не поворачивая головы, видеть происходящее не только спереди, но с боков и сзади. Только у приматов и крупных хищников (тигров, львов) глаза направлены вперед. В [5] подробно описано какие эволюционные преимущества дает бинокулярное зрение.

Следующая удивительная способность нашего мозга — в любых очертаниях стремиться распознавать знакомые образы.

Наш мозг справляется с распознаванием образов намного лучше, чем мощные компьютерные программы. На этом основана защита сайты от роботов. Для этого на вход сайта ставится «капча» (от англ. *CAPTCHA — Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart* — полностью автоматизированный публичный тест Тьюринга для различения компьютеров и людей) — необычно написанные буквы и цифры. Человек обычно справляется с «капчей» без труда, а автоматически распознать текст быстро не получается.

Для компьютера неважно, какие объекты он различает. Наше зрение «заточено» для распознавания определенных объектов. В начале 1960-х годов американский психолог Роберт Фентц разработал технику наблюдения отражения от глаза младенцев.

Исследуя поведение младенцев в возрасте от четырех дней (!) до полугода, Фентц выяснил, что дети гораздо дольше смотрят на сложные фигуры, при этом наибольший интерес у них вызывает изображение человеческого лица даже если лицо представлено в стиле «точка, точка, запятая».

Рассматривание предметов человеком кардинально отличается от видеокамеры. Последняя сканирует изображение слева направо, сверху вниз. Человеческий взгляд пытается рассмотреть сначала наиболее важные (с его точки зрения) черты.

Ещё в 1960-х годах советский физиолог Альфред Лукьянович Ярбус (1914–1986) продемонстрировал, что зрачки проделывают достаточно сложную работу, «пробегая» сначала по наиболее важным чертам объек-

та, а затем уже разглядывая второстепенные. Причём вся эта работа происходит на подсознательном уровне. Сознание включается уже на следующем этапе: когда зрительный образ сформирован, и нужно принимать какие-либо решения.

Какую же зрительную информацию наш мозг считает наиболее важной? Точного ответа здесь нет. Наблюдения за движением зрачков показывает, что взгляд больше интересуется углами и сильно искривлённые дуги окружностей, меньшее внимание уделяется прямым линиям.

У школьников большой интерес вызывает возможность приложения полученных знаний к повседневному миру, объяснению явлений других областей знаний (ФГОС это называет межпредметными связями).

Феномен зрения позволяет по-новому взглянуть на произведения искусства. Особенности рассматривания человеческого лица мы обязаны известному эффекту картины Леонардо да Винчи «Джоконда». Кроме многочисленных художественных достоинств, картина имеет особую таинственность — это загадочная улыбка Джоконды, которую отмечают все смотрящие на неё. Что же загадочного в этой улыбке?

Одно из объяснений загадки Джоконды кроется в особенности нашего зрения. Вначале наш взгляд осматривает картину в целом, и лишь затем рассматривает детали. На самом деле улыбки нет — края губ не растянуты. Но едва заметные ямочки на щеках, их формы изображены так, как будто женщина улыбается. При первом взгляде, когда глаз осмотрел общие контуры, наш мозг посчитал, что женщина улыбается. Но затем, когда мы рассмотрели детали, мозг распознает, что улыбки нет. В этом и загадочность этой исчезающей улыбки. Зрители увидели на портрете улыбку, и она тотчас исчезла. Если перевести взгляд на задний план картины или вовсе на другой объект, а затем снова на Джоконду, то она опять улыбнется своей загадочной исчезающей улыбкой.

Подобный эффект исчезающей улыбки есть еще на одной картине Леонардо да Винчи «портрет незнакомки».

Наше зрение способно на подсознательном уровне выискивать образы с учетом возможной маскировки. На этом свойстве зрения основана иллюзия Маха — искусственное завышение контрастности объекта. Оно необходимо человеку (и животным), чтобы в сумерках различать тени хищников и др. знакомых объектов, которые могут представлять опасность. В [5] приведены и иллюзии, основанные на том, что наше зрение приспособилось «дорисовывать» видимые контуры до знакомых образов. Это было важно для выживания, поскольку хищники могут прятаться в кустах...

Еще одна удивительная способность нашего зрения — различать цвета. Восприятие цвета субъективно, цвет объекта зависит от освещения и от того, какие цвета окружают объект. Это объясняется тем, что для зрения важно не сколько знать цвет предмета, сколько выделить предмет из фона. В [5] приведено множество

иллюзий восприятия цвета.

Школьников гораздо больше привлекают новости переднего края науки, чем знания прошлых веков. Поэтому в [5] приведено много данных о том, что еще изучено недостаточно хорошо. Например, в [5] подробно описаны движения зрачков. Здесь еще много загадок. В результате не очень понятного механизма на время быстрого скачка зрачков (саккады) чувствительность сетчатки резко падает, то есть во время скачка взгляда между точками фиксации зрительная информация в мозг не поступает. Поэтому контуры объектов не смазываются. До сих пор непонятно, как именно контролируется направление и амплитуда движения глаз при саккадах.

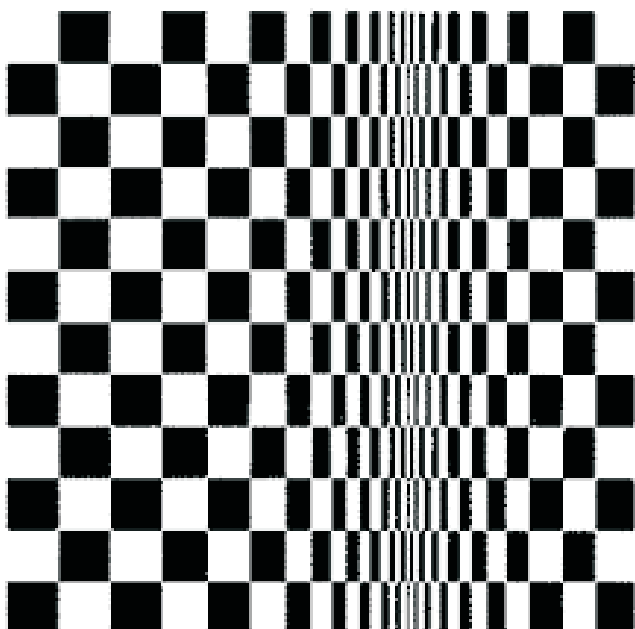


Рис. 3: Бриджит Райли. Движущиеся квадраты (1961)

Совсем недавно был обнаружен ещё один тип движений зрачков, о существовании которого раньше не подозревали. Наши зрачки постоянно испытывают мелкое дрожание. Дрожат они очень быстро — от 20 до 150 раз в секунду, гораздо быстрее, чем происходят скачки (саккады) при рассматривании объектов. Но при этом амплитуда дрожания очень мала, гораздо меньше, чем у саккад, она составляет менее од-

ной десятой градуса. Эти мелкие дрожания называют *тремор* (от лат. *tremor* — дрожание). Физиологическое значение тремора зрачков неясно.

Еще одна удивительная способность нашего зрения — это превращение набора изображений в непрерывное движение. Без этой способности нашего зрения были бы невозможны мультипликация, кино, компьютерные видеоролики. С мультипликацией связано много иллюзий [5].

Большую группу иллюзий составляют так называемые «движущиеся картины». Казалось бы картины на бумаге (а не компьютерные анимации) не могут двигаться. Но еще в 1960-ые годы английская художница Бриджит Райли создала большое число «движущихся» картин. На рис. 3 представлена одна из них.

Школьники с большим интересом рассматривают эти картины и выдвигают гипотезы о причинах видимого движения неподвижных фигур. В [5] подробно описаны возможные причины возникновения иллюзии движения.

Кроме того, в [5] приведены данные о том, что наше зрение корректирует положение предметов, и мы видим быстро движущийся предмет не там, где он попал в поле зрения глаза, а там, где он будет примерно через десятую долю секунды, т.е. когда мозг завершит распознавание образа, и мы будем уже сознательно реагировать на событие [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассматривая зрение человека с позиций геометрии, оптики, физиологии, психологии, школьники узнают об удивительных возможностях нашей зрительной системы, которая ежесекундно (на самом деле много раз в секунду) собирает информацию об окружающем мире, распознаёт знакомые образы, представляет их в цвете и объёме, соединяет изображения, получаемые правым и левым глазами, улавливает движение предметов и даже успевает рассчитать их движение на десятую долю секунды. Важно подчеркнуть, что всё это происходит на подсознательном уровне.

При выполнении данной работы часть вопросов, относящихся к математическому моделированию изучаемых процессов и объектов, решалась при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00723 а.

- [1] Перельман Я.И. Занимательная физика. Книга 2. М.: АСТ, 2002.
- [2] Демидов В.Е. Как мы видим то, что видим. М.: Знание, 1979.
- [3] Грегори Р. Разумный глаз. М.: УРСС, 2003. 240 с.
- [4] Раков Д.Л., Печейкина Ю.А. Парадоксальный мир невозможных фигур и оптических иллюзий. М.: ЛЕ-

- НАНД, 2017.
- [5] Рыжиков С.Б., Рыжикова Ю.В. Загадочные и удивительные способности зрения: учебное пособие. М.: Делу время, 2018.
- [6] Чангизи М. Революция в зрении. М.: АСТ, 2014.

A new approach to the study of optical illusions in school

S. B. Ryzhikov^{1,a}, Yu. V. Ryzhikova²

¹*Department of general physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

²*Department of optics, spectroscopy and nanosystems physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

E-mail: ^asbr@physics.msu.ru

The current FGES pays great attention to interdisciplinary training. The authors consider the most effective approach when selecting an interesting problem for students, which is seen from the perspective of different disciplines. The article illustrates the application of this approach on the example of considering the problem of human vision. The study of the phenomenon of vision requires the integration of knowledge of mathematicians, physicists, physiologists, psychologists and other specialists. The purpose of training is to be no transfer of a large number of illusions, and to identify the causes of their appearance. It is necessary to convey to students the idea that our vision has unique capabilities, and illusions are side effects of the manifestation of these abilities.

PACS: 01.40.Fk; 42.66.Si; 02.70.-c

Keywords: interdisciplinary studies, optics, optical illusion.

Received 05 June 2019.

Сведения об авторах

1. Рыжиков Сергей Борисович — доктор педагогических наук, канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-14-89, e-mail: sbr@physics.msu.ru.
2. Рыжикова Юлия Владимировна — канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-57-40, e-mail: ryzhikovaju@physics.msu.ru.