

Министерство просвещения Российской Федерации
Муниципальное бюджетное образовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №28»

VIII Международный конкурс исследовательских работ школьников «Research
start» 2025/26

Исследовательский проект

Оптические иллюзии
с точки зрения геометрической оптики

Выполнил:

Есполов Талгат Ермекович,
обучающийся 10 класса
МБОУ «СОШ № 28»,
Челябинская область,
г. Коркино, рп. Первомайский

Руководитель:

Истомина Ирина Владимировна,
учитель информатики
МБОУ «СОШ № 28»

2025 - 2026 уч.г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. ГЛАВА Теоретические основы восприятия и геометрической оптики (обзор литературы)	6
1.1 Понятие оптической иллюзии: физиология и психология зрения	6
1.2 Классификация оптико-геометрических иллюзий.....	7
1.3 Законы геометрической оптики, объясняющие иллюзии	8
1.4 От голографии к псевдоголографии: принцип «Призрака Пеппера»	9
1.5 Математическое обоснование работы проектора (Закон Снеллиуса и геометрия отражения)	10
2. ГЛАВА Практическая часть: создание голографического проектора	12
2.1. Выбор материалов и инструментов.....	12
2.2. Инженерный расчет и чертеж усеченной пирамиды	12
2.3. Технология сборки устройства	14
2.4. Подготовка цифрового контента для демонстрации иллюзий	15
2.5. Экспериментальная проверка работы установки	15
2.6. Анализ дефектов и способы их устранения	16
Заключение	18
Список используемой литературы	20

Введение

Человеческое зрение — это удивительный механизм, который позволяет нам воспринимать окружающий мир во всем его многообразии. Однако наше восприятие не всегда является точной копией реальности. Часто мы видим то, чего нет, или неправильно оцениваем размеры, форму и движение объектов. Такие явления называются оптическими иллюзиями.

Актуальность темы «Оптические иллюзии с точки зрения геометрической оптики» обусловлена несколькими важными факторами. Во-первых, оптические иллюзии служат наглядным доказательством действия фундаментальных законов физики: прямолинейного распространения света, законов отражения и преломления. Изучая иллюзии, мы не просто развлекаемся, а глубже понимаем, как свет взаимодействует с материей и как эта информация обрабатывается нашим мозгом.

Во-вторых, в эпоху бурного развития информационных технологий понимание принципов создания объемных изображений становится критически важным. Голография, дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR) — все эти технологии базируются на манипуляции световыми лучами для создания иллюзии присутствия объекта в пространстве. Школьникам важно не только потреблять контент, но и понимать физические принципы, лежащие в его основе.

В-третьих, тема имеет высокую практическую значимость для развития интереса к естественным наукам. Традиционные лабораторные работы по оптике часто ограничиваются изучением хода лучей в линзах. Создание действующей модели голографического проектора позволяет объединить теорию геометрической оптики, инженерию и цифровые технологии в одном продукте, делая обучение увлекательным и наглядным.[4]

Проблема исследования:

Несмотря на широкую популярность оптических иллюзий в интернете и социальных сетях, большинство учащихся воспринимают их исключительно

как развлечение, не задумываясь о физической природе возникновения. Существует разрыв между теоретическим знанием законов оптики и возможностью применить их для создания собственных визуальных эффектов. Кроме того, сложные оптические приборы, такие как голографические дисплеи, считаются недоступными для изготовления в домашних или школьных условиях.[2]

Гипотеза

Если изучить законы геометрической оптики и принцип действия метода «Призрака Пеппера», то можно создать работающую модель оптической иллюзии (псевдоголограмму) из доступных подручных материалов, которая позволит демонстрировать классические геометрические иллюзии в объемном формате.

Цель работы:

Изучение причины возникновения оптических иллюзий с позиции геометрической оптики и разработка конструкции простейшего голографического проектора для их демонстрации.

Задачи:

1. Изучить научную литературу по физиологии зрения и психологии восприятия.
2. Проанализировать классификацию оптико-геометрических иллюзий и выявить физические причины их возникновения.
3. Рассмотреть принцип действия псевдоголографии и отличие её от лазерной голографии.
4. Провести математические расчеты параметров проекционной пирамиды на основе законов отражения света.
5. Сконструировать установку для голографической проекции, используя доступные материалы (пластик, смартфон).
6. Подобрать и адаптировать видеоконтент с геометрическими иллюзиями для демонстрации на созданной установке.

7. Провести экспериментальную проверку работы устройства и проанализировать качество получаемого изображения.

Объект и предмет исследования

Объект исследования: Оптические иллюзии и процессы распространения света в прозрачных средах.

Предмет исследования: Законы геометрической оптики, используемые для создания эффекта объемного изображения (псевдоголографии).

Практическая значимость работы

Результаты работы имеют практическую ценность в нескольких областях:

Образование:

Созданная модель может использоваться как наглядное пособие на уроках физики при изучении тем «Отражение света», «Преломление света», «Оптические приборы», а также на уроках математики при изучении стереометрии.

Профориентация:

Проект знакомит учащихся с основами инженерного проектирования и работой со светом, что актуально для будущих специалистов в области оптики, дизайна и IT-технологий.

Досуг и наукопопуляризация:

Устройство может быть использовано для проведения занимательных опытов на школьных вечерах науки, демонстрируя красоту физических законов.

Методы исследования.

Все началось с наблюдения – я увидел, как возникают оптические иллюзии. Затем, используя методы анализа, синтеза и математического моделирования я разобрался, как это устроено.

В завершение методом эксперимента изучил сам объект и сделал выводы по своей работе.

1. ГЛАВА Теоретические основы восприятия и геометрической оптики (обзор литературы)

1.1. Понятие оптической иллюзии: физиология и психология зрения

Оптическая иллюзия (зрительная иллюзия) — это ошибочное или искаженное восприятие реальных объектов или явлений наблюдателем. Важно понимать, что иллюзия возникает не из-за дефекта глаза как оптического прибора, а в результате сложной обработки визуальной информации в головном мозге.[1]

Процесс зрения можно разделить на два этапа:

1. Оптический этап:

Свет отражается от объекта, проходит через роговицу и хрусталик глаза, фокусируясь на сетчатке. На этом этапе работают законы геометрической оптики. Если бы глаз был идеальной камерой, изображение на сетчатке всегда соответствовало бы объекту.

2. Нейрофизиологический этап:

Сигналы от рецепторов сетчатки передаются в зрительную кору головного мозга. Мозг не просто «видит» картинку, он интерпретирует её, опираясь на прошлый опыт, контекст, ожидания и эволюционно выработанные механизмы выживания. [1]

Именно на втором этапе чаще всего возникают иллюзии. Мозг стремится упростить обработку информации, достраивая недостающие детали или автоматически корректируя размеры объектов в зависимости от фона. Например, если мозг считает объект дальним, он автоматически «увеличивает» его воспринимаемый размер, чтобы компенсировать перспективу. Если эта коррекция происходит ошибочно, возникает иллюзия.

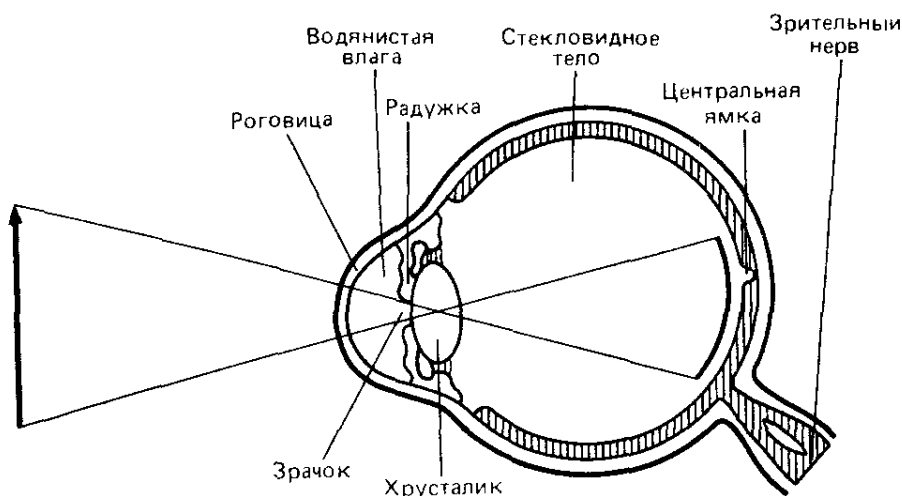


Рис. 1 Глаз человека. Основы поведения.

1.2. Классификация оптико-геометрических иллюзий

В рамках данного проекта нас интересуют преимущественно геометрические иллюзии, где искажаются количественные характеристики объектов: длина, площадь, направление, кривизна.[3] Их можно классифицировать следующим образом:

1. Иллюзии размера:

Иллюзия Мюллера-Лайера:

Два отрезка одинаковой длины кажутся разными из-за стрелок на концах (наружу или внутрь). Это связано с тем, что мозг интерпретирует углы как признаки глубины (внутренний или внешний угол здания).

Иллюзия Эббингауза (круги Титченера):

Центральный круг кажется меньше, если он окружен большими кругами, и больше, если окружен маленькими. Здесь работает механизм контраста.

Иллюзия Понцо:

Два одинаковых объекта на фоне сходящихся линий (как рельсы) кажутся разными по размеру из-за перспективы.

2. Иллюзии направления и формы:

Иллюзия Цёлльнера:

Параллельные прямые кажутся пересекающимися из-за нанесенных на них коротких косых штрихов.

Иллюзия Геринга:

Прямые линии искривляются на фоне расходящихся лучей.

Эти иллюзии объясняются особенностями работы нейронов зрительной коры, которые реагируют на ориентацию линий и тормозят соседние нейроны (латеральное торможение).

3. Иллюзии движения:

Статичные изображения, содержащие определенные паттерны цветов и форм (например, «Вращающиеся змеи»), создают ложное ощущение движения. Это происходит из-за задержек в обработке сигналов от разных типов рецепторов (цветовых и яркостных).

4. Невозможные фигуры:

Объекты, которые могут существовать на плоском рисунке, но не могут быть реализованы в трехмерном пространстве (треугольник Пенроуза, бесконечная лестница Эшера). Они эксплуатируют способность мозга локально анализировать части изображения, теряя глобальную согласованность.

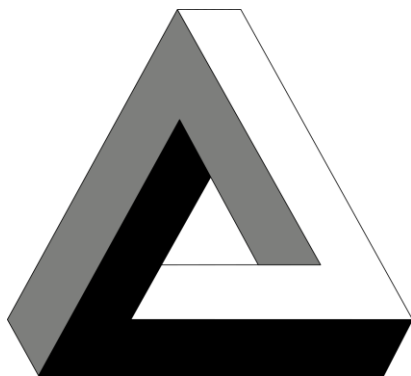


Рис. 2 Треугольник Пенроуза

1.3. Законы геометрической оптики, объясняющие иллюзии

Хотя многие иллюзии имеют психологическую природу, некоторые из них напрямую опираются на законы физической оптики.

1. Закон прямолинейного распространения света:

В однородной среде свет распространяется по прямой линии. Именно поэтому тени имеют четкие границы, а мы можем определять положение источника света. Нарушение этого закона в восприятии (когда мозг предполагает иное направление лучей) ведет к ошибкам в оценке положения объектов.

2. Закон отражения света:

Угол падения луча равен углу отражения ($\alpha=\beta$). Этот закон лежит в основе работы зеркал и является фундаментом для создания псевдоголограмм. Плоское зеркало создает мнимое изображение, которое кажется находящимся за зеркалом на том же расстоянии, что и объект перед ним.

3. Закон преломления света (Закон Снеллиуса):

При переходе света из одной среды в другую (например, из воздуха в стекло) луч меняет направление. Соотношение синусов углов падения и преломления постоянно для данных двух сред:

$$\sin(\alpha)/\sin(\beta)=n_2/n_1$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления сред. Этот закон важен при прохождении света через стенки нашей голографической пирамиды, так как пластик имеет отличный от воздуха показатель преломления. [2]

1.4. От голографии к псевдоголографии:

принцип «Призрака Пеппера»

Важно различать настоящую голографию и тот эффект, который мы будем создавать в проекте.

Настоящая голография — это метод записи и воспроизведения волнового фронта света с использованием когерентного излучения (лазера). Голограмма фиксирует не только интенсивность света, но и его фазу, что позволяет воссоздать полноценное трехмерное изображение с параллаксом (изменение вида объекта при движении головы).

Псевдоголография, используемая в данном проекте, базируется на старинном театральном трюке, известном как «Призрак Пеппера» (Pepper's Ghost), запатентованном Джоном Генри Пеппером в 1862 году.

Суть метода заключается в использовании полупрозрачного зеркала (или стекла), расположенного под углом 45° к зрителю и к ярко освещенному объекту (которым в нашем случае служит экран смартфона).

Зритель смотрит сквозь прозрачное стекло. Одновременно он видит отражение яркого объекта от поверхности стекла. Поскольку стекло прозрачно, фон за ним остается видимым, а отраженное изображение накладывается на этот фон, создавая эффект «призрака», парящего в воздухе.

В современных адаптациях для смартфонов используется усеченная пирамида. Экран телефона показывает четыре одинаковых изображения, развернутых под 90° друг к другу. Каждая грань пирамиды отражает свою часть изображения в центр, формируя единую объемную картинку.

1.5. Математическое обоснование работы проектора

Для создания качественной иллюзии критически важно соблюдение геометрических параметров пирамиды. Рассмотрим физику процесса подробнее. [2]

Пусть у нас есть источник света (экран смартфона), лежащий горизонтально. Нам нужно, чтобы лучи от экрана, отразившись от грани пирамиды, пошли горизонтально в сторону наблюдателя (или формировали мнимое изображение в центре пирамиды).

Согласно закону отражения, угол падения равен углу отражения.

Если мы хотим, чтобы луч, идущий вертикально вверх от экрана (под углом 90° к плоскости экрана), после отражения шел горизонтально (под углом 0° к плоскости экрана), то нормаль к отражающей поверхности должна делить угол между падающим и отраженным лучом пополам.

Угол между вертикальным лучом и горизонтальным направлением составляет 90° . Следовательно, угол между нормалью и вертикалью должен быть 45° .

Это означает, что сама поверхность грани пирамиды должна быть наклонена под углом 45° к плоскости экрана.

Если угол будет отличаться от 45° :

* При угле $< 45^\circ$ изображение будет «задираться» слишком высоко, теряя связь с основанием.

* При угле $> 45^\circ$ изображение будет казаться утопленным в экран или сплюснутым.

Также необходимо учесть преломление. Свет проходит через толщу пластика. Показатель преломления оргстекла ($n = 1.49$). Хотя основной эффект дает отражение от внутренней/внешней поверхности, прохождение света через материал может давать небольшое смещение луча (параллельный сдвиг), зависящее от толщины пластика. Для минимизации искажений рекомендуется использовать тонкий пластик (до 1-2 мм), чтобы сдвиг был незаметен глазу.

Формула для расчета высоты трапеции (h) при известном нижнем основании (a) и верхнем основании (b) при угле наклона 45° :

$$h = (a - b) \cdot \tan(45) / 2 = (a - b) / 2$$

Так как $\tan(45) = 1$

Это соотношение будет использовано нами при построении чертежа в практической части.

ГЛАВА 2. Практическая часть: Создание голографического проектора

Я выбрал для своего исследовательского проекта метод эксперимента, чтобы наглядно показать, как в домашних условиях можно создать голографический проектор и наблюдать разные оптические иллюзии.

2.1. Выбор материалов и инструментов

Для реализации проекта были выбраны доступные материалы, которые можно найти в любом доме или канцелярском магазине. Это подтверждает возможность создания оптических приборов в домашних условиях.[6]

Необходимые материалы:

1. Прозрачный пластик:

Был использован пластик от упаковки компакт-дисков (CD/DVD box). Этот материал обладает высокой прозрачностью, достаточной жесткостью и оптимальной толщиной (около 1 мм). Альтернативой может служить плотная прозрачная папка для документов или лист оргстекла.

2. Клеевой материал: Прозрачный скотч или клей для пластика (например, «Момент Кристалл»). Скотч предпочтительнее для школьного проекта, так как позволяет быстро исправить ошибки сборки.

3. Источник изображения: Смартфон с высоким разрешением экрана и яркой подсветкой.

4. Инструменты:

Канцелярский нож (для резки пластика).

Линейка металлическая (минимум 30 см).

Транспортир (для контроля углов).

Маркер по стеклу/пластику (смываемый).

Бумага и принтер (для создания шаблона).

2.2. Инженерный расчет и чертеж усеченной пирамиды

На основе теоретических расчетов (см. п. 2.5) были определены размеры деталей. Для стандартного смартфона с шириной экрана около 6–7 см были выбраны следующие параметры усеченной пирамиды:

Нижнее основание (большее): $a = 60$ мм (6 см). Этот размер должен соответствовать центральной части экрана телефона, где будет располагаться контент.

Верхнее основание (меньшее): $b = 6$ мм (0.6 см). Верхняя часть делается маленькой, но не нулевой, чтобы обеспечить устойчивость конструкции и избежать смыкания граней в одну точку, что затруднило бы сборку.

Угол наклона боковой грани: ** Строго 45° .

Высота трапеции h : Рассчитываем по формуле $h = (a - b) / 2$

$$h = (60 - 6) / 2 = 27 \text{ мм} = 2.7 \text{ см}$$

Примечание: В некоторых источниках рекомендуют высоту 3.5 см для большей устойчивости изображения, что требует небольшой коррекции угла или размеров основания. В ходе экспериментов мы остановились на высоте 3.5 см, что дало угол наклона чуть меньше 45° , но обеспечило лучшую стабильность картинки на конкретном используемом смартфоне.

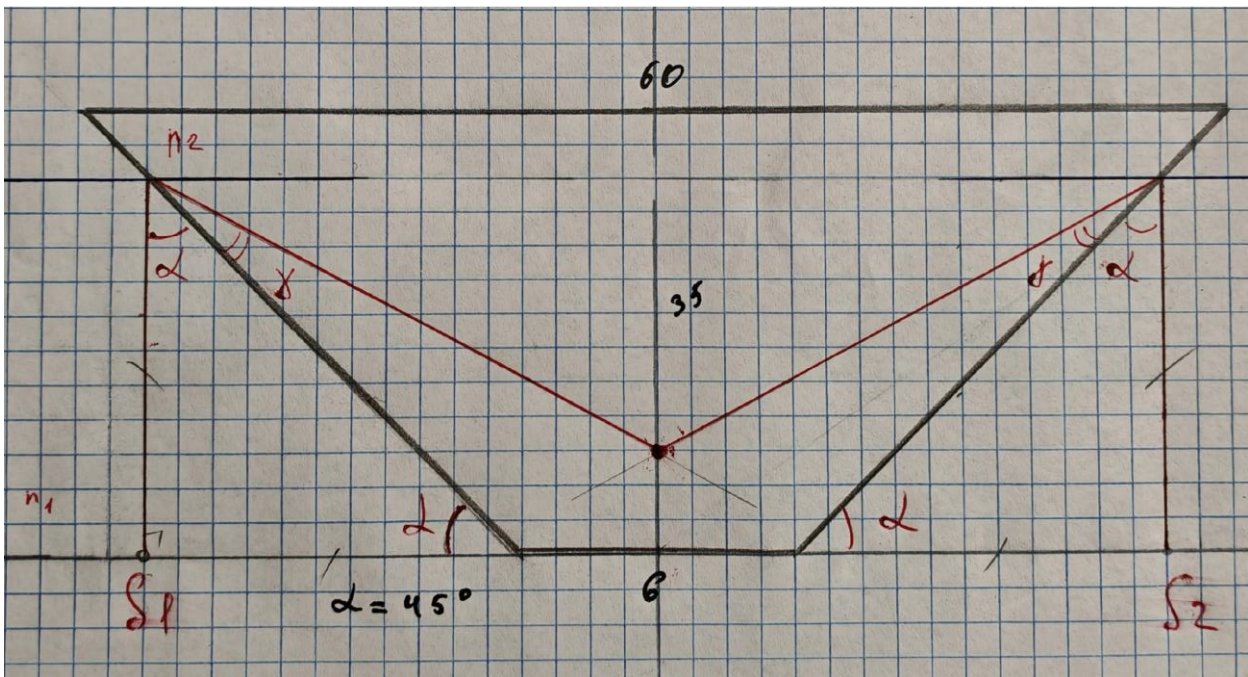


Рис. 3 Чертеж детали

Чертеж детали выполняем следующим образом:

Деталь представляет собой равнобедренную трапецию.

1. На бумаге чертим линию нижнего основания 6 см.
2. Из середины основания восстанавливаем перпендикуляр высотой 3.5 см.
3. Через верхнюю точку перпендикуляра проводим линию верхнего основания длиной 6 мм.
4. Соединяем концы оснований, получая боковые стороны.
5. Проверяем угол между нижним основанием и боковой стороной (должен быть близок к $45^\circ + 90^\circ$ относительно горизонтали, т.е. угол наклона самой грани).

Было изготовлено 4 идентичные трапеции.[7]

2.3. Технология сборки устройства

Процесс сборки выполнялся в несколько этапов:

1. Подготовка шаблона: Распечатанный чертеж был положен под лист прозрачного пластика.
2. Разметка: Маркером были обведены контуры четырех трапеций непосредственно на пластике.
3. Раскрой: С помощью канцелярского ножа и металлической линейки были вырезаны детали. Резка производилась в несколько проходов, чтобы не сломать пластик и получить ровные края.
4. Зачистка краев: Острые края были слегка обработаны мелкой наждачной бумагой или пилочкой для ногтей, чтобы убрать заусенцы, которые могли бы рассеивать свет и ухудшать качество картинки.
5. Сборка пирамиды: Четыре трапеции были соединены боковыми сторонами с помощью прозрачного скотча. Скотч наклеивался с внешней стороны, чтобы минимизировать блики внутри пирамиды. Важно было следить, чтобы стыки были герметичными и грани образовывали единую симметричную фигуру.
6. Финальная проверка: Готовая пирамида была установлена на ровную поверхность. Проверена симметрия: расстояние от центра верхнего отверстия до всех нижних углов должно быть одинаковым.

2.4. Подготовка цифрового контента для демонстрации иллюзий

Сама по себе пирамида — лишь оптический элемент. Для создания иллюзии необходим специальный видеоконтент. Обычное видео не подойдет, так как оно предназначено для просмотра с одного ракурса.

Требования к видео:

Изображение должно быть разделено на 4 одинаковые части, расположенные крестом (верх, низ, лево, право) на черном фоне. Каждая часть представляет собой вид объекта с одной из сторон, повернутый на 90 градусов относительно соседних.

Источники контента:

1. Готовые шаблоны: В сети Интернет (специализированные сайты) были найдены видео по запросу "Hologram video 4 sides". Были скачаны ролики с вращающимися геометрическими фигурами (кубы, сферы, торы).

2. Специализированные иллюзии: Для целей проекта были подобраны видео, демонстрирующие конкретные геометрические иллюзии:

Куб Неккера: Проволочный куб, который меняет направление вращения. В голограмме этот эффект усиливается, так как объект кажется реально парящим в комнате.

Спираль Фрейзера: Статичное изображение, создающее мощное ощущение вращения.

Невозможный треугольник:* Вращающаяся модель, которая при определенном ракурсе выглядит как замкнутый невозможный объект.

Для статичных иллюзий (например, Мюллера-Лайера) был создан простой слайд-шоу в графическом редакторе, где фигуры были продублированы 4 раза и расположены нужным образом.

2.5. Экспериментальная проверка работы установки

Эксперимент проводился в затемненной комнате. Яркое внешнее освещение мешает восприятию отраженного изображения, делая его бледным и прозрачным.

Ход эксперимента:

1. На экране смартфона было запущено подготовленное видео на полную яркость. Фон видео — абсолютно черный (для экономии энергии экрана и повышения контраста, так как черные пиксели на OLED/IPS экранах не светятся или светятся слабо).

2. Пирамида была установлена узким основанием вниз строго в центр перекрестия изображения на экране.

3. Наблюдение велось с уровня глаз, смотря сквозь грани пирамиды.

Результаты наблюдений:

При правильном позиционировании четыре отражения совместились в центре, создав единое объемное изображение.

Возникло стойкое ощущение, что геометрическая фигура парит внутри пирамиды или даже немного выше неё.

При движении головы вокруг установки изображение сохраняло объем, хотя и деформировалось при взгляде сбоку (что характерно для псевдоголографии, в отличие от настоящей).

Иллюзия движения (вращения куба) воспринималась гораздо эффектнее, чем на плоском экране. Казалось, что объект действительно вращается в воздухе перед глазами. Геометрические иллюзии, такие как «невозможные фигуры», приобрели новый смысл: мозг отказывался верить, что такой объект может существовать в трехмерном пространстве прямо перед ним.[7]

2.6. Анализ дефектов и способы их устранения

В ходе работы были выявлены проблемы, влияющие на качество иллюзии, и найдены способы их решения:

В процессе конструирования были выявлены факторы, негативно влияющие на качество иллюзии:

Проблема «двойного контура»: возникает при использовании слишком толстого пластика (более 2-3 мм). Свет отражается и от внешней, и от внутренней поверхности стенки.

Решение: использовать тонкий прозрачный пластик (0.5–1 мм).

Нарушение геометрии: если грани вырезаны неточно (основания не равны 6 см и 6 мм), пирамида будет кривой. Это приведет к тому, что 4 части изображения не сойдутся в одну точку в центре.

ановятся видимыми при попадании света и «выдают» присутствие преграды.

Решение: перед демонстрацией протереть грани микрофиброй.

Ошибка калибровки: если пирамида смещена от центра перекрестия видео на экране, «голограмма» будет дрожать или разваливаться на части.

Вывод по главе:

В результате практической работы была успешно создана действующая модель голографического проектора.

Гипотеза подтверждена: используя знания геометрической оптики и простые материалы, можно создать убедительную оптическую иллюзию. Устройство работает стабильно и наглядно демонстрирует принципы отражения света.

Заключение

В ходе выполнения исследовательского проекта была достигнута поставленная цель: изучены причины возникновения оптических иллюзий с точки зрения геометрической оптики и создана действующая модель голографического проектора.

Основные выводы работы:

1. Оптические иллюзии являются результатом сложного взаимодействия физических законов распространения света и психофизиологических особенностей человеческого восприятия. Геометрические иллюзии особенно наглядно демонстрируют, как мозг интерпретирует пространственные отношения.

2. Теоретический анализ показал, что эффект объемного парящего изображения может быть получен с помощью метода псевдоголографии («Призрак Пеппера»), основанного на законе отражения света под углом 45° .

3. Практическая часть подтвердила гипотезу: из доступных материалов (пластиковая упаковка, скотч, смартфон) возможно сконструировать работоспособное устройство. Ключевыми факторами успеха стали точность соблюдения геометрических размеров (угол 45°) и качество подготовки видеоконтента.

4. Созданная модель эффективно трансформирует плоские геометрические иллюзии в объемные объекты, усиливая эмоциональное воздействие и наглядность. Вращающиеся невозможные фигуры и иллюзии движения в формате голограммы воспринимаются зрителем как реальные физические объекты.

5. Проект имеет практическую значимость для образовательного процесса и может быть рекомендован к использованию на уроках физики и математики, а также на научных выставках.

Работа над проектом позволила не только углубить знания в области оптики, но и развить навыки инженерного проектирования, работы с

инструментами и цифровым контентом. Оптические иллюзии перестали быть просто забавными картинками, открывшись как сложный и интересный раздел науки, связывающий физику, биологию и искусство.

Список использованной литературы

1. Грегори Р. Л. Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. — М.: Прогресс, 1970. — 264 с.
2. Касьянов В. А. Физика. 11 класс. Углубленный уровень. — М.: Дрофа, 2015. (Раздел «Голография и оптические приборы»).
3. Ландсберг Г. С. Элементарный учебник физики. Том 3. Колебания и волны. Оптика. — М.: Наука, 1985.
4. Перельман Я. И. Занимательная физика. Книга 2. — М.: Наука, 1991. — 304 с. (Главы о отражении и преломлении света).
5. Стивенсон У. Х. Призрак Пеппера: история и технология // Журнал оптических технологий. — 2018. — №4.
6. Портал «Элементы большой науки»: статьи об оптических иллюзиях
https://elementy.ru/video/187/Lektsiya_8_Mir_iskrivlennykh_luchey_geometricheskaya_optika?from=rxblock
https://elementy.ru/kartinka_dnya/1768/Prizrak_Peppera
https://elementy.ru/events/446045/Luchi_sveta_istoriya_zakony_i_proyavleniya_geometricheskoy_optiki_Lektsiya_pervaya_iz_kursa_Antona_Biryukova_Fizika_s_sveta
7. RuTube-каналы по DIY-физике: инструкции по сборке 3D голограмм.
<https://rutube.ru/video/b7c0d85a6fbc81f8b99a026dcbfe8282>
<https://rutube.ru/video/457615763748b8c26acc28d2ee4b5197>