

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ школьников
«Высший пилотаж»

**«Создание оптического устройства с использование шлирен (теневого)-
метода в домашних условиях»**

Проект
Направление «Физика»

Автор работы:
ученик 11 класса,
МБОУ СОШ №28 г. Пензы
им. В. О. Ключевского
Черезов Владислав Константинович

Место выполнения работы:
МБОУ СОШ №28 г. Пензы
им. В. О. Ключевского

Научный руководитель:
Щетинина А.В.

г. Пенза, 2024г.

Содержание

Глава 1. Теоретическая часть	5
1.1. Что такое шлирен эффект, и как он работает	5
1.2. История шлирен-метода.	5
1.3. Значение шлирен-метода для науки.	6
1.4. Теория шлирен-метода.	7
1.5. Оптические принципы и конструкция приборов использующих шлирен-метод.	8
Глава 2. Практическая часть.	11
Список использованной литературы	16

Введение

Как улучшить аэродинамику беспилотника, увеличить КПД винта дрона, или автомобиля или самолёта, уменьшить сопротивление воздуха, понять как ведёт себя газ в воздухе? Объект какой формы вызывает меньше сопротивление среды? Как увидеть невидимое?

Есть метод! Это шлирен или теневой метод.

Визуализация по шлирену широко используется в науке и технике для исследования явлений, происходящих в прозрачных средах. В частности, она зарекомендовала себя как мощный инструмент в фундаментальных исследованиях и оптимизации процессов создания аэродинамических и гидродинамических объектов, а также для изучения поведения плазмы.

Актуальность исследования:

В настоящее время получила огромное развитие малая беспилотная авиация, постоянно совершенствуются самолёты, вертолёты, экранопланы. Для увеличения дальности движения транспорта, увеличения длительности нахождения в воздухе дронов, а также снижения потребления топлива или заряда (повышения КПД) необходимо, чтобы объект имел наименьшее сопротивление воздушной среды, т.е. объект должен создавать наименьшую турбулентность и максимально сохранять ламинарность при движении.

Для всего перечисленного используются оптические системы со шлирен-методом.

Проблема исследования:

Отсутствие приборов для наглядного изучения аэродинамики.

Цель работы:

Создать рабочий прибор использующий шлирен-метод в домашних условиях, не потратив больше 10000 рублей.

Задачи:

- Изучение физических явлений, лежащих в основе шлирен эффекта.
- Выбор схемы прибора, расчет элементов, и размеров.
- Изготовление оптической системы.

Методы:

- Проведение эксперимента
- Обобщение и анализ результатов.

Объект исследования:

Оптическая система визуализации использующая шлирен-метод.

Предмет исследования:

Динамическая среда (воздушная), с изменяющейся плотностью и соответственно преломляющей способностью.

Гипотеза: Прибор, использующий шлирен-метод, можно изготовить в домашних условиях, не прибегая к использованию дорогостоящего оборудования и в бюджете до 10000 рублей.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Что такое шлирен эффект, и как он работает

Оптический прибор на основе шлирен-метода используется для наблюдения за изменениями плотности вещества в газах и жидкостях. С его помощью можно наблюдать многие аэродинамические и тепловые явления. Шлирен метод нашёл своё практическое применение в сфере авиации и при изучении звуковых и ударных волн. Устройство прибора использующего шлирен-метод достаточно простое. Шлирен-метод показывает (выделяет) те лучи света которые были отклонены при прохождении через неоднородную среду газа. Неоднородная среда имеет другой коэффициент преломления и с помощью оптической системы основанной на шлирен-методе становится видна.

1.2. История шлирен-метода.

Шлирен-метод был открыт в 1864 году Августом Тёплером (рис.2), и являлся усовершенствованным теневым методом открытым Леоном Фуко (рис.1) в 1857, который предназначался для настройки геометрии телескопов. Заключался метод Леона в проверке зеркал с помощью наведения на них светового луча. В центр собирающего или рассеющего зеркала ставился прозрачный экран затеняющий прямой луч света но не воздействующий на лучи отражённые от зеркала. Этим методом раньше искали дефекты на зеркалах.



Рис.1. Леон Фуко



Рис.2. Август Тёплер

Август Теплер намеренно дал инструменту броское название: *schlieren* с немецкого – свили – оптические неоднородности в стекле.

1.3. Значение шлирен-метода для науки.

Оптические приборы на основе шлирен эффекта нашли много применений в современной науке.

Самое широкое применение шлирен эффект нашёл в аэродинамике, с его помощью совершенствуют форму крыльев, винтов, фюзеляжа самолетов, вертолётов, дронов, уменьшая создаваемое ими сопротивление и увеличивая КПД (рис.3).

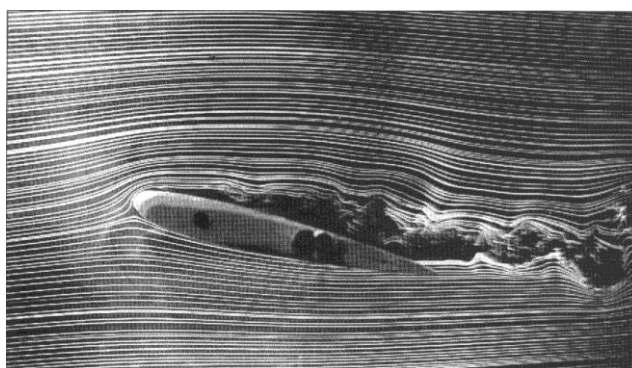


Рис.3. Испытание крыла в аэродинамическом крыле

Данный метод применяется даже в медицине. Самый недавний пример – использование его свойств в создании медицинских масок, вопрос качества которых так остро встал с в начале 2020 года, из-за пандемии COVID-19. При создании медицинской маски оценивался поток выдыхаемого воздуха для снижения передачи вирусов от больного к здоровому (рис.4).



Рис.4. Испытание медицинских масок.

Шлирен-метод нашёл свое место не только в науке, но и в искусстве. Некоторые фотографии используют её для создания удивительных

фотографий, на которых можно наблюдать всю красоту физических явлений (рис. 5).

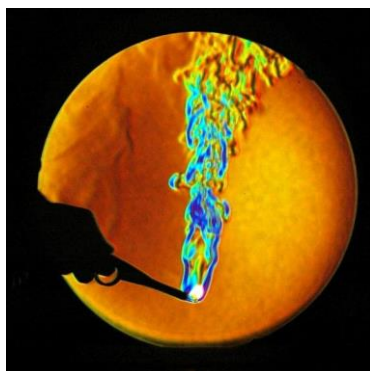
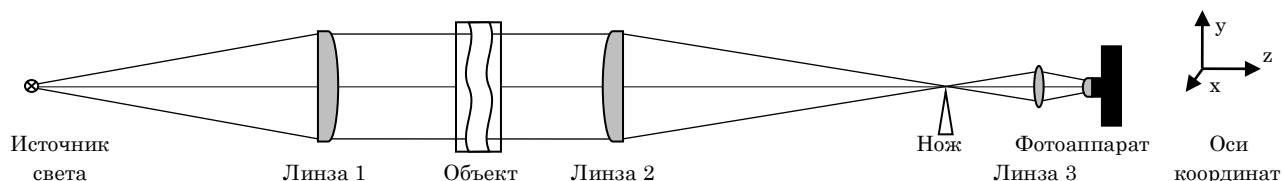


Рис.5. Использование шлирен-метода в искусстве

1.4. Теория шлирен-метода.

Для объяснения метода обрисует световой поток проходящий через исследуемую динамическую среду, имеющую различные коэффициенты преломления и отображающие динамику изменений.

Сх. 1. Один из простейших приборов основанных на шлирен-методе.



Оптические характеристики шлирен-метода вычисляется интегральным уравнением, изучение которого выходит за рамки нашего исследования.

Угол смещения светового луча зависит от градиента (изменения) преломления относительно среды «покоя». Средой «покоя» будем считать неподвижную среду или среду имеющую равномерное однородное течение (ламинарное).

Изменение плотности газа будет приводить к изменению преломления светового луча. Степень (коэффициент) преломления зависит от состава газа, плотности газа и расстояния которое проходит световой луч в исследуемом газе.

Таким образом, перепады давления в воздухе приводят к градиентам показателя преломления, которые отображаются на изображении получаемым шлирен-методом, позволяя визуализировать неравномерное неоднородное течение (турбулентность). Другие явления, которые может отобразить шлирен-метод, это температурное расширение, смешивание различных сред, таких как различные газы, плазма и газ, а также звуковые волны.

1.5. Оптические принципы и конструкция приборов использующих шлирен-метод.

Какие оптические системы способны обнаруживать изменения показателя преломления среды, через которую проходит световой луч. В теневой оптической системе (шлирен-метод) луч света четко фокусируется, а преломленные лучи обнаруживаются с помощью пространственного фильтра.

Это проиллюстрировано на рис. [6а](#), схема линзовой шлирен системы, аналогичной оригинальному прибору Тёплера. Небольшой источник яркого света LS обеспечивает освещение, распространяющееся в направлении z, которое выравнивается линзой L1 и фокусируется линзой L2. Между линзами находится “объект шлирен”, представленный волнистыми линиями. Положительные и отрицательные n-градиенты $\Delta n/\Delta y$ внутри объекта шлирен преломляют световые лучи вверх (пунктирная линия) и вниз (сплошная линия) соответственно. (Углы преломления увеличены на рис. [6а](#) для наглядности, и обычно они настолько малы, что измеряются в угловых секундах, как в астрономии.)

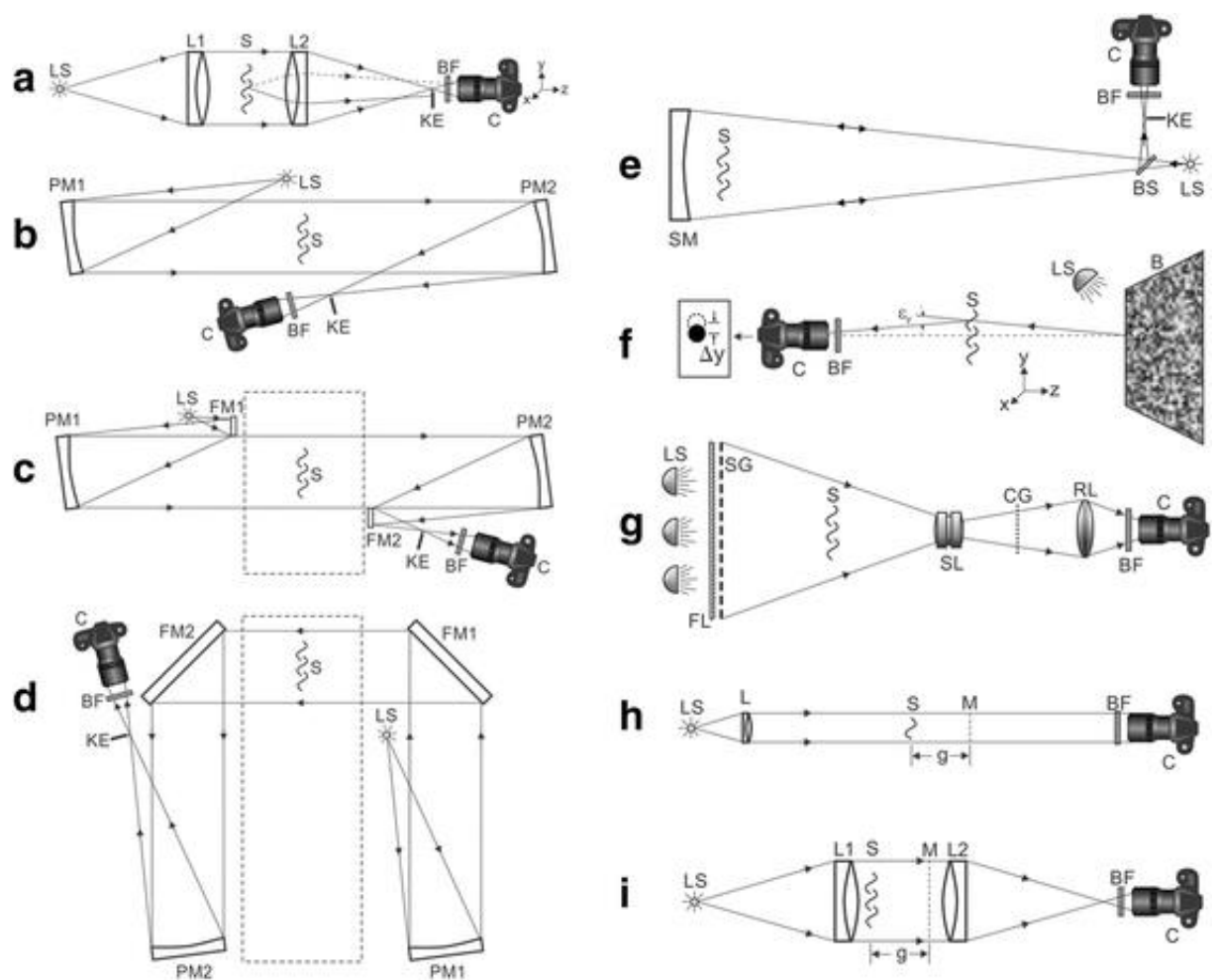


Рис. 6. Схемы различных приборов шлирен-метода

Схемы различных приборов шлирен-метода: система типа линзы Тёплера (a), простая система z-типа (b), системы z-типа с непараллельными пучками шлирена, сложенными (c) и с параллельным пучком, сложенным вдвое (d), однозеркальная, двухпроходная схема шлирена (e), ориентированная на фон система Шлирена (BOS) (f), система фокусировки (линза и решетка) шлирена (g), система прямой теневой графики (h) и система “сфокусированной теневой графики” (i). Отдельные компоненты этих установок подробно описаны в тексте. Список используемых сокращений: В – фон; BF - полосовой фильтр; BS – светоделитель; C- камера; CG – сетка отсечения; FL – линза Френеля; FM1 – складное зеркало 1; FM2 – складное зеркало 2; g – расстояние расфокусировки; KE – острие ножа; L - объектив; LS – источник света; L1 – линза шлирена 1; L2 - линза шлирена 2; M - плоскость фокусировки камеры; PM1 – параболическое зеркало 1; PM2 –

параболическое зеркало 2; RL – ретрансляционная линза; S – объект шлирена (плазма); SG – сетка источника; SL – линза шлирена; SM – сферическое зеркало; x, y, z – декартовы координаты; Δy – смещение луча в направлении y ; ε_y – угол преломления в направлении y

Этап обнаружения происходит в фокусе луча на рис. [6а](#), где острый непрозрачный край (лезвие бритвы или лезвие ножа KE) блокирует примерно половину светового луча. Видно, что луч, преломленный вверх, не попадает в фокус и не попадает на острие ножа, поэтому он продолжает освещать точку на сенсоре камеры С. Преломленный вниз луч блокируется лезвием ножа, создавая соответствующую темную точку на сенсоре камеры. Обобщая все лучи в световом пучке, в камере формируется изображение по шлирен-методу, где особенности объекта S представлены светлыми и темными зонами на однородном сером фоне.

Таким образом прибор шлирена «отрезает» часть преломленных лучей с помощью лезвия ножа, проявляя динамическое возмущение (турбулентность) среды или различных сред в оттенках серого. Шлирена делает видимым то, что в противном случае было бы невидимым.

Глава 2. Практическая часть.

Первое что нужно сделать, оценить технические возможности и выбрать оптическую схему прибора, который можно собрать в домашних условиях. Разобрать её строение и принцип работы. В выборе схемы мы опирались на возможность интернет магазинов.

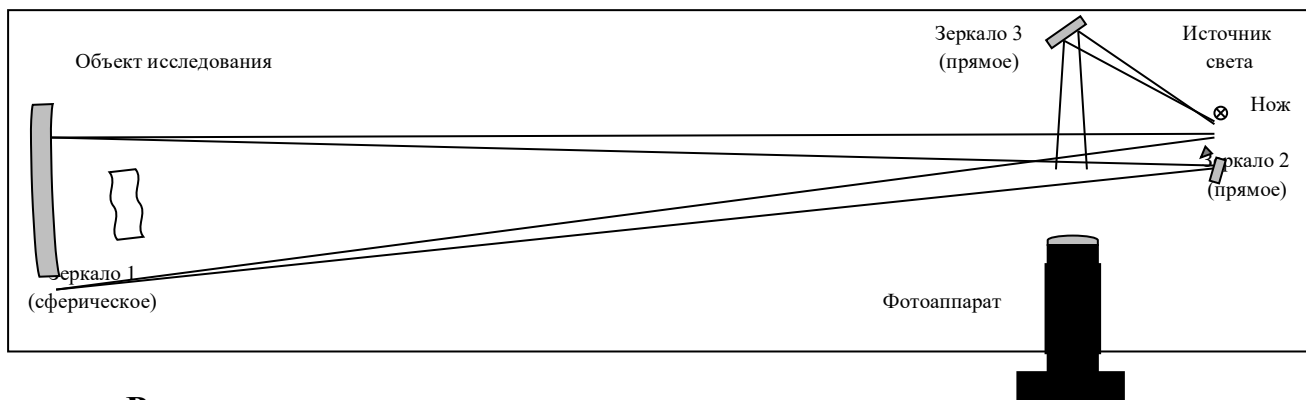
Была выбрана однозеркальная двухпроходная схема с модификацией в виде несколько сдвинутого отраженного луча света в связи с трудностями приобретения светоделителя с заданными свойствами. Из плюсов этой схемы необходимо указать то, что световой луч дважды проходит через объект, следовательно, значительно увеличивается контрастность получаемого изображения.

Было важно все рассчитать до изготовления установки. Каждый компонент прибора должен находится в определённом месте, на определенном расстоянии от других, и под определённым наклоном, и чем точнее это будет рассчитано, тем четче будет результат. Например, мы во время работы столкнулись с проблемой плохой фокусировки изображения. Пришлось заменить собирающую линзу с широкоугольным объективом, на телескопический объектив бес собирающей линзы.

Элементная база:

1. Источник света (фонарик телефона), обеспечивающий равномерный по спектру и достаточно интенсивный точечный свет;
2. Зеркало 1 (D114F900 Newtonian) отражатель для астрономического телескопа сферическое, размер линзы 114 мм, фокусное расстояние 900 мм;
3. Нож;
4. Зеркало 2 прямое;
5. Зеркало 3 прямое;
6. Фотоаппарат с объективом F70-300 мм f4-5.6 с возможностью макросъёмки (которая и использовалась).

Сх. 2.



Расчеты

В соответствии с фокусным расстоянием зеркала 900 мм, расстояние между источником света, ножом и зеркалом (2) $900 \text{ мм} \times 2 = 1800 \text{ мм}$. Расстояние между ножом (фокус отраженных лучей) – зеркалом 2 – матрицей фотоаппарата 500 мм.

Сборка

Установку мы решили делать из алюминия. Этот материал довольно прочный, лёгкий в обработке, и продается практически в любом строительном магазине. Из инструментов у нас были ножовка, электрическая дрель со сверлами на 3, 4 и 6 мм, напильник, натфель, несколько кусков наждачной бумаги разной степени зернистости, молоток, керн, и большой кусок ДСП, который выступал в качестве опоры при пилении и сверлении. Все это как мне кажется есть почти у каждого, так что в итоговую цену проекта инструменты засчитаны не будут. Из нескольких алюминиевых уголков, профилей и балок мы сделали основу для нашего прибора, на которую в последствии мы разместили все элементы. Она должна была быть прочной, чтобы компоненты устройства не двигались относительно друг друга, это могло повлиять на качество получаемого изображения, и в то же время я хотел, чтобы установка была разборная, это сильно упростило бы её транспортировку. Была сделана схема, и собрана конструкция, на сборку ушло около 30 часов.



Рис. 7. Создание оптического устройства с использованием шлирен (теневого) метода

Получение изображений

В итоге нами был получен ряд изображений (рис.8,9).

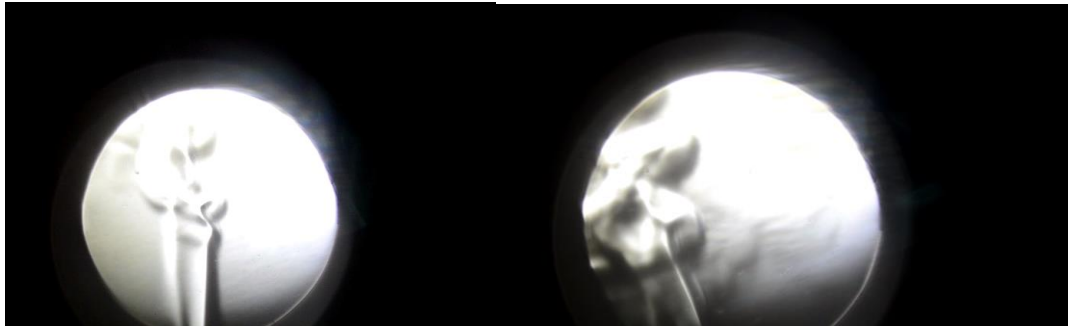


Рис. 8. Свеча.



Рис. Кубик льда

Исследование пламени свечи с помощью шлирен-метода представляет собой увлекательное сочетание физики и визуального искусства. Шлирен-

метод, основанный на изменении пути светового луча в результате неравномерности плотности среды, позволяет захватывать мельчайшие детали движения газов, возникающих в результате горения воска.

При включении светового источника и размещении оптической системы вблизи пламени, мы наблюдаем впечатляющие хроматические картины, отражающие процессы конвекции и диффузии, происходящие в непосредственной близости от свечи. В этом контексте пламя, слегка колеблющееся на ветру, становится живым организмом, изменяющим свою форму и направление.

Анализируя полученные изображения, можно выявить зависимости между температурой, составом горючего и поведением пламени. Обсуждая эти аспекты, мы погружаемся в мир термодинамики, химических реакций и аэродинамики. Полученные данные не только обогащают наши знания о базовых физико-химических процессах, но и открывают новые горизонты для применения в разработке эффективных систем безопасного сгорания и управления огнем.

Заключение

Нам удалось собрать оптический прибор, использующий шлирен-метод. Всего на создание камеры у нас ушло около 7000 рублей, и 36 часов работы, таким образом, мы уложились в бюджет нашего исследования. Работу можно было бы сделать за меньший период времени, имея больше профессиональных знаний и навыков. При создании прибора можно было бы сэкономить на материалах, но снизив качество продукта, что нас не устраивало. Помимо нужного прибора я получил опыт создания конструкций и обработки металла. Качество полученного результата меня приятно удивило. Прибор позволяет получить четкие изображения и достаточно эргономичен.

Эта работа показывает, что визуализация шлирен-методом является относительно доступным инструментом изучения физики, в том числе проведения фундаментальных исследований, а также инструментом оптимизации аэродинамических объектов, таких как винт, крыло самолёта или дрона и многих других.

Список использованной литературы

1. Белобородова О.Л., Князев Б.А., Матвеев А.Н., Черкасский В.С.. Использование шлирен-метода для диагностики тонких плазменных слоев, Аннотации докладов XXVI Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу.
2. Васильев Л. А. Теневые методы. — М. : Наука, 1968.
3. Валюс Н. А. Шлирен-метод — статья из Большой советской энциклопедии.
4. Кузнецов А. А. Оптимизация шлирен-метода с двухсекционным фотодетектором // Журнал «Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики», № 4-5, 2012 г. Дата обращения: 5 сентября 2014. Архивировано 16 сентября 2016 года.
5. Скорнякова Н.М. Применение теневого фонового метода. Труды X Юбилейной Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков», М.: Изд. МЭИ, 2009,
6. В. Хауф, У. Григуль Оптические методы в теплопередаче. Под ред. проф. В. Я. Лихушина. — М. : Мир, 1973.

Рецензия на работу
«Создание оптического устройства с использование шлирен (теневого)- метода в
домашних условиях»
ученика 11 «А» класса
Муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения
средней общеобразовательной школы № 28 г. Пензы
им. В.О.Ключевского

Черезова Владислава Константиновича

В исследовательской работе представлено обоснование темы, указана актуальность исследования, практическая значимость, определены цели и задачи, объект и предмет исследования, обозначены особенности анализируемого материала, описаны методы его анализа, выдвинута гипотеза по обозначенной проблеме.

В ходе выполнения работы обучающийся рассмотрел в первой главе теоретические основы данного вопроса: что такое шлирен- эффект и как он работает, историю шлирен-метода, значение шлирен-метода для науки, оптические принципы и конструкцию приборов, использующих шлирен-метод.

В практической части на основе полученных знаний для исследования ученик оценил технические возможности и выбрал оптическую схему прибора, Разобрался с её строение и принципом работы. Создал рабочий прибор, использующий шлирен-метод в домашних условиях. С помощью этого прибора было получено ряд изображений: пламени свечи и кубик льда.

Оформление работы соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к работам на конкурс исследовательских и проектных работ школьников.

Работа заслуживает положительной оценки и может быть представлена на второй этап для публичной защиты.

Научный руководитель :



Щетина А.В.
Учитель физики, первой категории
МБОУ СОШ № 28 г. Пензы
им. В. О. Ключевского