

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников
по политехническим дисциплинам для учащихся 9-11 классов

Физика

Волновые свойства света

Овсянникова Дарья Максимовна,
11 класс, Лицей №1, Пермь

Саввина Марина Витальевна

Пермь. 2022.

Оглавление

Введение.....	3
1.Общее понятие света.....	4
2.Корпускулярная и волновая теории света.....	5
3.Спектральный состав света.....	6
4.Волновые свойства света.....	7
5.Пятно Пуассона.....	14
6.Измерение толщины предметов	15
7. Применение явлений дифракции и интерференции.....	19
Заключение.....	20
Список литературы.....	21

Введение

Целью моей исследовательской работы является изучение и демонстрация волновых свойств света, в частности интерференции и дифракции.

Объектами исследования являются: интерференционные и дифракционные картины, полученные от разных предметов.

Задачи:

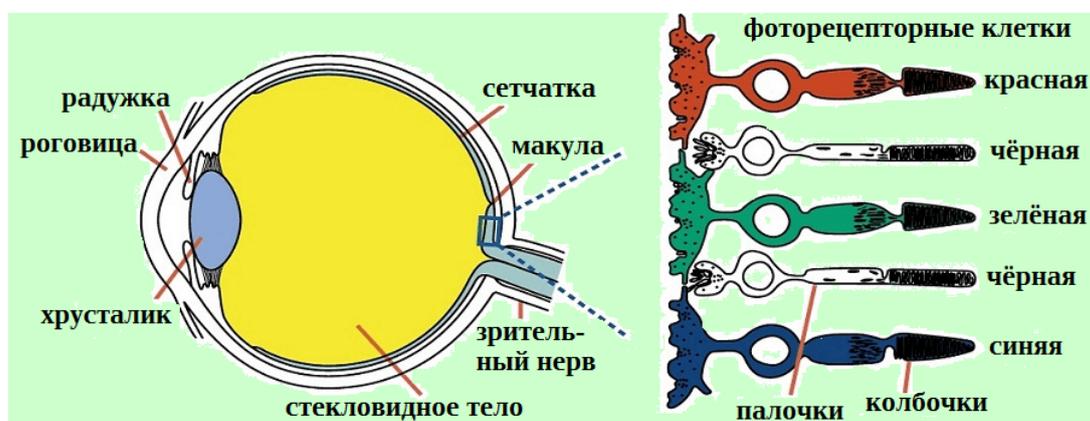
1. Изучение теоретического материала по данной теме.
2. Рассмотрение явлений дифракции и интерференции

Общее понятие света.

Видеть окружающий мир мы можем только потому, что существует свет и человек способен его воспринимать. В свою очередь, восприятие человеком электромагнитного излучения видимого диапазона спектра происходит благодаря тому, что в сетчатке глаза человека располагаются рецепторы, способные реагировать на это излучение.

Сетчатка человеческого глаза имеет два типа светочувствительных клеток: палочки и колбочки. Палочки обладают высокой чувствительностью к свету и функционируют в условиях низкой освещённости, отвечая тем самым за ночное зрение. Однако, спектральная зависимость чувствительности у всех палочек одинакова, поэтому палочки не могут обеспечить способность различать цвета. Соответственно, изображение, получаемое с их помощью, бывает только чёрно-белым.

Колбочки имеют относительно низкую чувствительность к воздействию света и обуславливают механизм дневного зрения, действующий только при высоких уровнях освещённости. В то же время, в отличие от палочек, в сетчатке глаза человека имеется не один, а три типа колбочек, отличающихся друг от друга расположением максимумов их спектральных распределений чувствительности. Вследствие этого колбочки поставляют информацию не только об интенсивности света, но и о его спектральном составе. Благодаря такой информации у человека и возникают цветовые ощущения.



Что же такое свет?

Первые теории о природе света начали формироваться еще в V веке до н. э. Эмпедокл предположил, что всё в мире состоит из четырёх элементов: огня, воздуха, земли и воды. Он считал, что из этих четырёх элементов, богиня Афродита создала человеческий глаз, и зажгла в нём огонь, свечение которого и делало зрение возможным. Для объяснения факта, что тёмной ночью человек видит не так хорошо, как днём, Эмпедокл постулировал взаимодействие между лучами, идущими из глаз и лучами от светящихся источников, таких, как солнце.

Другая теория (которой придерживалось подавляющее большинство древних философов и ученых) рассматривала свет как некие лучи, соединяющие светящееся тело и человеческий глаз. При этом одни из них полагали, что лучи исходят из глаз человека, они как бы ощупывают рассматриваемый предмет. Эта точка зрения имела сначала большое число последователей. Но Примерно в 300 году до н. э. Евклидом был написан труд «Оптика», дошедший до наших дней, в котором он исследовал свойства света. Евклид утверждал, что свет распространяется по прямой линии, он изучал законы отражения света и описал их математически. Он выразил сомнение в том, что зрение является следствием исхождения луча из глаза, задаваясь вопросом: как человек, открыв в ночное время глаза, устремлённые в небо, может моментально увидеть звёзды. Проблема решалась только, если скорость луча света, исходящего из человеческого глаза, была бесконечно большой.

Корпускулярная и волновая теории света

Начиная с 17 века, научные споры о природе света шли между сторонниками волновой и корпускулярной теорий.

Ньютон придерживался так называемой корпускулярной теории света, согласно которой свет – это поток частиц, идущих от источника во все стороны. Согласно же представлениям Гюйгенса, свет – это волны, распространяющиеся в особой, гипотетической среде – эфире, заполняющем все пространство и проникающем внутрь всех тел.

Корпускулярная и волновая теории света поначалу не могли мирно ужиться. В каких-то случаях они приводили к одинаковым результатам, порой опровергали друг друга. Например, на основе корпускулярной теории было трудно объяснить, почему световые пучки, пересекаясь в пространстве, никак не действуют друг на друга. Ведь световые частицы должны сталкиваться и рассеиваться. Волновая же теория это легко объясняла. Волны на поверхности воды, свободно проходят друг сквозь друга, не оказывая взаимного влияния. Однако прямолинейное распространение света, приводящее к образованию за предметами резких теней, трудно объяснить, исходя из волновой теории. По корпускулярной же теории прямолинейное распространение света является просто следствием закона инерции. Обе теории длительное время существовали параллельно. Ни одна из них не могла одержать решающей победы. Лишь авторитет Ньютона заставлял большинство ученых отдавать предпочтение корпускулярной теории.

Такое неопределенное положение относительно природы света длилось до начала 19 века, когда были открыты явления дифракции и интерференции света. Это явления присущи исключительно волновому движению. Такая уверенность особенно окрепла, когда Максвелл во второй половине 19 века, показал, что свет есть частный случай электромагнитных волн. Но в начале 20

века представления о природе света начали коренным образом меняться. Оказалось, что при излучении и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц. Эти два несовместимых друг с другом представления о природе света в 30-х гг. 20 века удалось непротиворечивым образом объединить в новой физической теории – квантовой электродинамике.

Геометрическая оптика. Законы.

Геометрической оптикой называется раздел оптики, в котором изучаются законы распространения света в прозрачных средах на основе представления о световом луче.

Световой луч – линия указывающая направление распространения световой энергии. Основная польза от введения понятия светового луча заключается в том, что поведение лучей в пространстве определяется простыми законами – законами геометрической оптики.

К числу основных законов геометрической оптики относятся:

- 1) Закон прямолинейного распространения света;
- 2) Закон отражения света;
- 3) Закон преломления света;
- 4) Закон независимости световых пучков.

Спектральный состав света

Спектр в физике — распределение значений физической величины (обычно энергии, частоты или массы). Обычно под спектром подразумевается электромагнитный спектр — распределение интенсивности электромагнитного излучения по частотам или по длинам волн.

В научный обиход термин «спектр» ввёл Ньютон в 1671—1672 годах для обозначения многоцветной полосы, похожей на радугу, которая получается при прохождении солнечного луча через треугольную стеклянную призму.

Свет представляет собой электромагнитный спектр - последовательность монохроматических излучений, каждому из которых соответствует определенная длина волны электромагнитного колебания. Оптическая область спектра электромагнитных излучений состоит из трех участков: невидимых ультрафиолетовых излучений (длина волн 10-400 нм), видимых световых излучений (длина волн 400-750 нм), воспринимаемых глазом как свет и невидимых инфракрасных излучений (длина волн 740 нм - 1-2 мм). Световые излучения, воздействуют на глаз и вызывают ощущение цвета, при этом электромагнитные волны (нм) излучения имеют следующие цвета:



Волновые свойства света.

Дисперсия света.

Дисперсия света — это совокупность явлений, обусловленных зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света (частотная дисперсия), или, то же самое, зависимостью фазовой скорости света в веществе от частоты (или длины волны).

Один из самых наглядных примеров дисперсии — разложение белого света при прохождении его через призму (опыт Ньютона). Важный вывод, к которому пришел Ньютон, был таков: «Световые пучки, отличающиеся по цвету, отличаются по степени преломляемости» (для них стекло имеет различные показатели преломления). Наиболее сильно преломляются фиолетовые лучи, меньше других — красные.

Примеры:



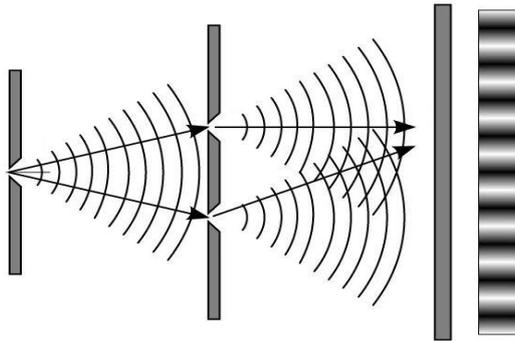


Интерференция света.

Интерференция – способность волн складываться. Перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн. Это явление обычно характеризуется чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности света. Конкретный вид такого распределения интенсивности света в пространстве или на экране, куда падает свет, называется интерференционной картиной.

Впервые явление интерференции было независимо обнаружено Гримальди (для луча, прошедшего через два близких отверстия), Робертом Бойлем и Робертом Гуком (для интерференции в тонких слоях прозрачных сред, таких как мыльные плёнки, тонкие стенки стеклянных шаров, тонкие листки слюды; они наблюдали при этом возникновение разноцветной окраски; при этом Гук заметил и периодическую зависимость цвета от толщины слоя). Гримальди впервые и связал явление интерференции с идеей волновых свойств света, хотя ещё в довольно туманном и неразвитом виде.

В 1801 году Томас Юнг (1773—1829 гг.), введя «принцип суперпозиции», первым дал достаточно детальное и, по сути, не отличающееся от современного объяснение этого явления и ввёл в научный обиход термин «интерференция» (1803). Он также выполнил демонстрационный эксперимент по наблюдению интерференции света, получив интерференцию от двух щелевых источников света (1802); позднее этот опыт Юнга стал классическим.



L – расстояние от щелей до экрана

d – расстояние между двумя щелями

S – расстояние от нулевой полосы до первой яркой полосы

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{S}{L}$$

Интерференция света на 2х щелях

Цель работы: получить интерференционную картину от 2х щелей

Оборудование: лазер, экран, линза, экран, лезвия, кусочек фольги

Ход работы:

- 1) Используя два лезвия безопасной бритвы, провести на фольге двойной разрез.
- 2) Установить оправу с щелями и освещать их лазером так, чтобы обе щели были освещены.
- 3) Наблюдать картину интерференции.
- 4) Вычислить расстояние между полосами.



$d = 0,3 \text{ мм}$

$L = 700 \text{ мм}$

$\lambda = 0,00063 \text{ мм}$

$S = 1,1 \text{ мм}$

Вывод: Волновая природа света вызывает интерференцию световых волн, проходящих через две щели, создавая яркие и темные полосы на экране – результат, которого не должно было бы быть, если бы свет состоял из классических частиц.

Дифракция.

Дифракция – огибание волнами препятствий – присуща любому волновому движению. Волны заметным образом огибают препятствия, если размеры последних сравнимы с длиной волны.

Измерение длины световой волны.

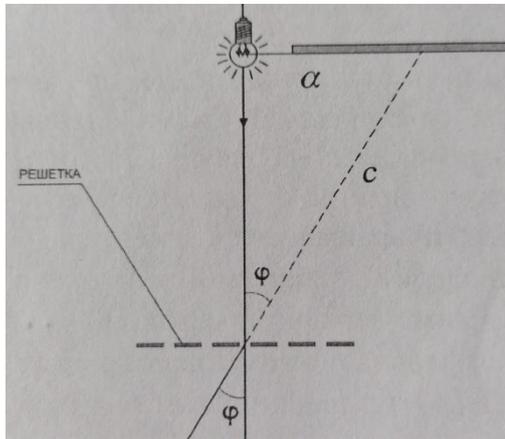
Цель работы: ознакомиться с методом определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

Оборудование: источник электропитания, лазер, ключ, экран, дифракционная решетка, магнитный держатель, планшет.

Ход работы.

1) Собрать установку по приложенной схеме.

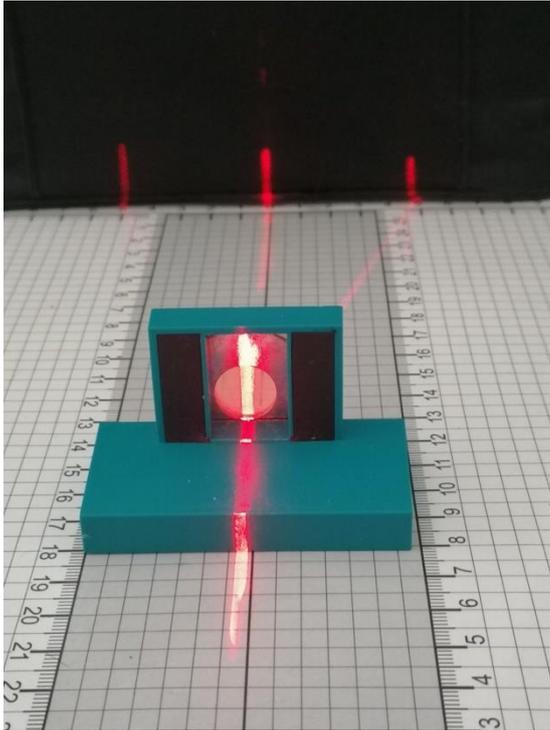
- 2) Включить лазер и наблюдать дифракционную картину.
- 3) Измерить расстояния a , b , c . Найти $\sin\alpha$.
- 4) По формуле найти длину световой волны красного света.
- 5) Вычислить длину волны синего света.
- 6) Сравнить полученные результаты.



- По данной схеме располагаем дифракционную решетку, лазер и экран, включаем лазер.

Дифракционная решетка - пластина из прозрачного материала (в данном случае стекло), на поверхности которой нанесено большое число параллельных равностоящих непрозрачных штрихов. Основным параметром решетки является ее период d , равный расстоянию между серединами соседних щелей.

Проходя через дифракционную решетку, луч лазера создает дифракционную картину (в данном эксперименте мы наблюдаем дифракционные спектры первого порядка).



Используя формулу для определения положения дифракционного максимума, вычисляем длину волны λ

$$d \sin a = k \lambda$$

$$d = 0,002 \text{ мм}$$

$$a = 50 \text{ мм}$$

$$b = 145 \text{ мм}$$

$$c = \sqrt{145^2 + 50^2} = 153,37862$$

$$\sin a = \frac{50}{153,37862} = 0,325991$$

$$a = 19^\circ$$

$$k = 1 \text{ (спектр первого порядка)}$$

Полученные значения подставляем в формулу:

$$\lambda = \frac{d \sin a}{k}$$

$$\lambda = 651 \text{ нм (данное значение соответствует оранжевому свету).}$$

Определение максимального порядка k для разных дифракционных решеток.

Цель: экспериментально и теоретически определить максимальный порядок разных дифракционных решеток.

Оборудование: 3 дифракционные решетки с разным периодом, лазер(650нм), магнитный держатель, экран.

Ход работы:

1. Рассчитать максимальный порядок по формуле.
2. Собрать установку, наблюдать и посчитать дифракционные спектры.

1) Решетка 500штрих/мм

$\sin\alpha=1$ (при максимальном порядке)

$d= 0,002$

$\lambda=650\text{нм}$

По формуле находим k :

$$d\sin\alpha = k\lambda$$

$k= 3,07$



2) Решетка 300штрих/мм

$\sin\alpha=1$ (при максимальном порядке)

$d= 0,003$

$\lambda=650\text{нм}$

По формуле находим k :

$$d\sin\alpha = k\lambda$$

$k= 4,6$



3) Решетка 600штрих/мм

$\sin\alpha=1$ (при максимальном порядке)

$d= 0,0017$

$\lambda=650\text{нм}$

По формуле находим k :

$$d\sin\alpha = k\lambda$$

$k= 2,6$



Вывод: Найден максимальный порядок разных дифракционных решеток 2-я способами.

Пятно Пуассона.

Пятно Араго-Пуассона - это яркое пятно, возникающее за непрозрачным телом, освещенным направленным пучком света, в его области геометрической тени.

Существование пятна Араго-Пуассона легко объяснить на основании принципа Гюйгенса-Френеля. Предположим, что на круглый непрозрачный диск падает плоская волна, параллельная оси диска. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля, точки на краю диска можно рассматривать как источники вторичных волн, причём все они будут когерентны. Все эти волны пройдут одинаковое расстояние от края диска до любой точки на его оси. В результате они придут в эту точку в одинаковой фазе и усилятся, создавая яркое пятнышко.

Многие ученые 17-го и 18-го веков, например Исаак Ньютон , отвергли теоретико-волновое рассмотрение света, как это описал, например, Христиан Гюйгенс около 1650 года. Они без изменений предположили, что свет - это явление частицы, траектории которого можно описать чисто механически. Ученые в то время еще не знали, что свет можно полностью описать только в том случае, если за основу взять квантово-механический дуализм волна-частица. Чтобы приблизиться к теоретическим причинам различных необъяснимых оптических наблюдений, в 1818 году Французская Академия наук объявила конкурс. 30-летний инженер Огюстен-Жан Френель принял участие в этом конкурсе с новой работой по волновой теории света. Жюри, в которое также входил Симеон Дени Пуассон, возглавил Франсуа Араго. Другими членами жюри были математик Пьер Симон де Лаплас и два физика Жан-Батист Био и Жозеф Луи Гей-Люссак . Пуассон изучил работу, представленную Френелем, но также убедился в корпускулярной природе света, прочитав ее. С помощью простого мысленного эксперимента он попытался опровергнуть справедливость теории Френеля: согласно его соображениям, основанным на теории, свет должен обнаруживаться в центре тени за круглым освещенным объектом, поскольку свет со всей круглой кромки препятствия в соответствии с теорией, поскольку Волна будет конструктивно вмешиваться туда. Поскольку опыт показал, что это явно не так, идеи Френеля также были бы абсурдными. При этом Пуассон сознательно выступал против волновой природы света, как это уже было описано Христианом Гюйгенсом. Однако Араго решил провести этот эксперимент в очень точных условиях и фактически смог доказать существование такого светового пятна, прикрепив

металлический диск диаметром два миллиметра к стеклянной пластине с воском и осветив его. Это стало сильным и убедительным аргументом в пользу предсказанной волновой природы света, и, к огорчению Пуассона, Френель в конце концов выиграл соревнование.

Получение Пятна Пуассона

Цель: получить пятно Пуассона

Оборудование: штатив, металлический диск, экран, лазер

Ход работы:

- 1.Собрать установку
- 2.Наблюдать пятно Пуассона



Вывод: самая яркая часть тени действительно в середине, если эта тень круглого или сферического объекта.

Измерение толщины предметов

Цель работы: получить дифракционные картины на разных предметах и определить их толщину.

В работе используются лазерная указка, волос, линейка, нити.

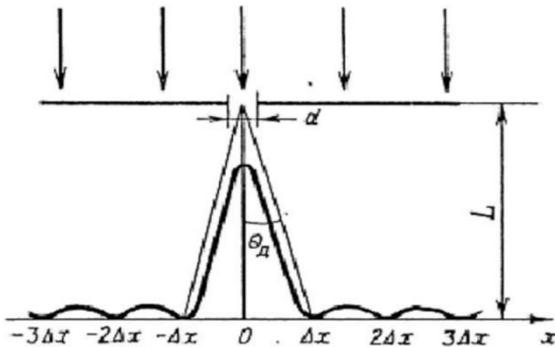
Приближение геометрической оптики применимо лишь если характерный размер освещаемых объектов d много больше размера 1-й зоны Френеля. При приближении размеров объектов к размеру зон Френеля отклонения от законов геометрической оптики, приводящие к возникновению дифракции, проявляются сильнее. Согласно принципам геометрической оптики за непрозрачным объектом должна находиться резкая геометрическая тень. В случае волновой оптики вместо резкой тени получается сложное распределение интенсивности, называемое дифракционной картиной.

Для простоты обратимся к результатам дифракции Фраунгофера на щели. Такая дифракционная картина состоит из центрального максимума и побочных

минимумов меньшей интенсивности (рис.1). Положением минимум такой картины в приближении малых углов описывается следующим соотношением:

$$m\Delta x = m\lambda \frac{L}{d}$$

где $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ – номер минимума, L – расстояние от щели до экрана, λ – длина волны лазера, Δx – расстояние между минимумами, d – толщина предмета. Точно так же (за исключением области вблизи $x = 0$) выглядит дифракционная картина от волоса (или тонкой проволоки).



Ход работы:

1. Изготовьте штатив для нити.
2. Установите штатив перпендикулярно экрану.
3. Посветите лазером на предмет и получите дифракционную картину.
4. Наблюдать дифракционную картину. Измерить расстояние между минимумами дифракционной картины Δx и расстояние от штатива до экрана.
5. Результаты измерений подставить в формулу и вычислить толщину предмета.
6. Повторить эксперимент на другом предмете.
7. Померить толщину предмета с помощью микрометра.
8. Сравнить полученные результаты.

Картинки, полученные от разных предметов:



Человеческий волос



Кошачий волос



Проволока



Конский волос



Нить

	λ (мм)	m	Δx (мм)	L(мм)	d (мм)	d^* (мм)
Человеческий волос	0,00065	1	15	1725	0,07475	0,065
Кошачий волос	0,00065	1	25	1680	0,04368	0,04
Проволока	0,00065	1	8	1853	0,1506	0,129
Конский волос	0,00065	1	5	1910	0,2484	0,207
Нить	0,00065	1	20	1702	0,059215	0,0525

d^* - результат, полученный с помощью микрометра.

Вывод: Чем меньше диаметр измеряемого предмета, тем лучше дифракционная картина (так как больше расстояния между минимумами дифракционной картины) и вследствие этого точнее полученные результаты.

Применение явлений дифракции и интерференции

Интерферометры – оптические приборы, основанные на явлении интерференции световых волн. Они получили наибольшее распространение как приборы для измерения длин волн спектральных линий и их структуры; для измерения показателя преломления прозрачных сред; в метрологии для абсолютных и относительных измерений длин и перемещений объектов; измерения угловых размеров звезд; для контроля формы и деформации оптических деталей и чистоты металлических поверхностей. Принцип действия основан на пространственном разделении пучка света с целью получения нескольких когерентных лучей, которые проходят различные оптические пути, а затем сводятся вместе и наблюдается результат их интерференции.

Изучение волновых свойств света легло в основу науки – голографии. В данном случае речь идет об особом методе регистрации на фотопластинке волнового фронта излучения, идущего от предмета, и затем восстановления этого фронта для получения мнимого или действительного изображения предмета. Для этого фотографируют интерференционную картину двух частей волны, которые когерентны между собой. Одна часть волны поступает на фотопластинку непосредственно и называется опорной волной, а другая часть направляется для освещения излучаемого объекта и после отражения от него поступает на ту же пластинку. Эту часть волны называют предметной.

Принцип голографии был предложен в 1947 г. Английским физиком Габором. Однако в то время лазеры еще не были изобретены, а получить с помощью тепловых источников неподвижную и контрастную картину интерференции очень трудно. Только лазерное излучение, обладающее большой пространственной и временной когерентностью в сочетании с большой интенсивностью, дало голографии возможность быстро развиваться. В настоящее время голография применяется для записи и хранения большого информационного материала, в кино, телевидении и т.д. сейчас трудно оценить все возможности применения голографии, но несомненно, что она является одним из перспективных методов современной физики.

Заключение

В процессе изучения волновых свойств света, я подробно рассмотрела явления интерференции и дифракции. Проведенные мной эксперименты демонстрируют данные явления и еще раз подтверждают волновую природу света. Стоит отметить, что данные явления широко используются в науке и технике. В настоящее время наша промышленность выпускает спектрографы с дифракционными решетками для спектрального анализа. Детальное изучение интерференции и дифракции легло в основу новой отрасли физики – голографии.

Список литературы

<https://en.wikipedia.org/wiki/Light#References>

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерференция#:~:text=Интерференция%3A%20Интерференция%20\(физика\)%20—%20взаимное,влияния%20одного%20языка%20на%20другой](https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерференция#:~:text=Интерференция%3A%20Интерференция%20(физика)%20—%20взаимное,влияния%20одного%20языка%20на%20другой)

Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. : учеб. для углубленного изучения физики / Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Дифракция>

Физика: учеб. пособие/ В. Л. Прокофьева

https://ru.wikipedia.org/wiki/Двухщелевой_опыт#:~:text=Его%20опыт%20иногда%20называют%20«щели,разделяет%20луч%20при%20помощи%20зеркала