**Занятие №5 «Фундаментальные опыты в оптике»**

**Оперативные цели:**

Ученики должны знать (на уровне воспроизведение) имена и биографии ученых, внесших вклад в развитие оптики.

Ученики должны знать и понимать основные фундаментальные опыты в оптике и воспроизводить их в устной речи. Ученики должны знать и понимать и воспроизводить в устной речи основные явление оптики( дисперсия, дифракция, интерференция, поляризация)

Ученики должны уметь проводить компьютерный эксперимент и интерпретировать его результаты в устной и письменной речи

Ученики должны уметь проводить эксперимент, объяснять смысл происходящего в устной речи и предвидеть результат опыта..

План занятия

*План занятия:*

1. Теоретическая часть

* Краткая история развития учения оптики
* Фундаментальные опыты в оптике
* Опыт Ньютона по изучении дисперсии света
* Опыт Гримальди, открытие дифракции света
* Опыт Юнга по наблюдению двухлучевой интерференции
* Опыт Малюса и Брюстера по наблюдению поляризации отраженного света
* Проблема скорости света в физической науке

2. Практическая часть

* + - Дифракция на шаре
    - Поляризация света
    - Полное внутреннее отражение

*Теоретическая часть*

**Краткая история развития оптики**

**Учитель:**

Оптика - учение о природе света, световых явлениях и взаимодействии света с веществом. И почти вся ее история - это история поиска ответа: что такое свет?

Одна из первых теорий света - теория зрительных лучей - была выдвинута греческим философом Платоном около 400 г. до н. э. Данная теория предполагала, что из глаза исходят лучи, которые, встречаясь с предметами, освещают их и создают видимость окружающего мира. Взгляды Платона поддерживали многие ученые древности и, в частности, Евклид (3 в до н. э.), исходя из теории зрительных лучей, основал учение о прямолинейности распространения света, установил закон отражения.

В те же годы были открыты следующие факты:

- прямолинейность распространения света;

- явление отражения света и закон отражения;

- явление преломления света;

- фокусирующее действие вогнутого зеркала.

Древние греки положили начало отрасли оптики, получившей позднее название геометрической.

Наиболее интересной работой по оптике, дошедшей до нас из средневековья, является работа арабского ученого Альгазена. Он занимался изучением отражения света от зеркал, явления преломления и прохождения света в линзах. Альгазен впервые высказал мысль о том, что свет обладает конечной скоростью распространения. Эта гипотеза явилась крупным шагом в понимании природы света.

В эпоху Возрождения было совершено множество различных открытий и изобретений; стал утверждаться экспериментальный метод, как основа изучения и познания окружающего мира. На базе многочисленных опытных фактов в середине XVII века возникают две гипотезы о природе световых явлений:

- корпускулярная, предполагавшая, что свет есть поток частиц, выбрасываемых с большой скоростью светящимися телами;

- волновая, утверждавшая, что свет представляется собой продольные колебательные движения особой светоностной среды - эфира - возбуждаемой колебаниями частиц светящегося тела.

Все дальнейшее развитие учения о свете вплоть до наших дней - это история развития и борьбы этих гипотез, авторами которых были И. Ньютон и Х. Гюйгенс.

**Ученик:**

Основные положения корпускулярной теории Ньютона:

1) Свет состоит из малых частичек вещества, испускаемых во всех направлениях по прямым линиям, или лучам, светящимся телом, например, горящей свечой. Если эти лучи, состоящие из корпускул, попадают в наш глаз, то мы видим их источник

2) Световые корпускулы имеют разные размеры. Самые крупные частицы, попадая в глаз, дают ощущение красного цвета, самые мелкие - фиолетового.

3) Белый цвет - смесь всех цветов.

4) Отражение света от поверхности происходит вследствие отражения корпускул от стенки по закону абсолютно упругого удара

5) Явление преломления света объясняется тем, что корпускулы притягиваются частицами среды. Чем оптически плотнее среда, тем угол преломления меньше угла падения

6) Явление дисперсии света, открытое Ньютоном в 1666 г., он объяснил следующим образом. Каждый цвет уже присутствует в белом свете. Все цвета передаются через межпланетное пространство и атмосферу совместно и дают эффект в виде белого света. Белый свет - смесь разнообразных корпускул - испытывает преломление, пройдя через призму. С точки зрения механической теории, преломления обязано силам со стороны частиц стекла, действующим на световые корпускулы. Эти силы различны для разных корпускул. Они наибольшие для фиолетового и наименьшие для красного цвета. Путь корпускул в призме для каждого цвета будет преломляться по- своему, поэтому белый сложный луч расщепится на цветные составляющие лучи.

7) Ньютон наметил пути объяснения двойного лучепреломления, высказав гипотезу о том, что лучи света обладают "различными сторонами" - особым свойством, обуславливающим их различную преломляемость при прохождении двоякопреломляющего тела.

Корпускулярная теория Ньютона удовлетворительно объяснила многие оптические явления, известные в то время. Ее автор пользовался в научном мире колоссальным авторитетом, и в скоре теория Ньютона приобрела многих сторонников во всех странах.

**Ученик:**

Основные положения волновой теории света Гюйгенса.

1) Свет - это распространение упругих апериодичных импульсов в эфире. Эти импульсы продольны и похожи на импульсы звука в воздухе.

2) Эфир - гипотетическая среда, заполняющая небесное пространство и промежутки между частицами тел. Она невесома, не подчиняется закону всемирного тяготения, обладает большой упругостью.

3) Принцип распространения колебаний эфира таков, что каждая его точка, до которой доходит возбуждение, является центром вторичных волн. Эти волны слабы, и эффект наблюдается только там, где проходит их огибающая поверхность - фронт волны (принцип Гюйгенса)

**Фундаментальные опыты**

**Учитель**: Исаак Ньютон с помощью несложных опытов с призмой продемонстрировал, что разложение света в радугу не обусловлено его окрашиванием веществом призмы.

**Ученик**: **Опыт Ньютона по изучению дисперсии света**

Сэр Исаак Ньютон (1642–1727) сделал фундаментальный вклад в оптику: обнаружил, что белый свет является составным, изобрел телескоп-рефлектор, а также исследовал открытые Гуком кольца, которые появляются на тонких клиньях и излома (теперь их называют кольцами Ньютона), заложил основы физической и геометрической оптики как связного учения. До него оптика представляла собой совокупность разрозненных фактов, датируемых начиная с античности, а также многочисленные и противоречащие друг другу интерпретации экспериментальных наблюдений. Действительно, по сути дела, не было критерия, согласно которому эти интерпретации должны были сравниваться и какие-то из них — признаваться ошибочными.

Во взглядах на природу *цвета* также не было единства. Аристотелевское учение утверждало, что цвета — производные от света и тьмы, смешанных в различных пропорциях. Согласно Декарту различие цветов было связано с различной скоростью вращения корпускул (в некотором роде, с точки зрения квантовой теории, так и есть). Также бытовала точка зрения, что цветовую окраску свету придает предмет, от которого он отражается, а «чистому» свету цветовые характеристики не присущи.

Известный эксперимент Ньютона с разложением белого света на составляющие его компоненты был проведен в 1666 году, когда двадцатитрехлетний Ньютон укрылся от чумы в своем фамильном имени Вульсторп. Открытие дисперсии света запечатлено на многих полотнах

 Ньютон пропустил тонкий луч света, прошедший через прорезь в ширме (на рисунке — через щель в двери), через треугольную призму и увидел, что свет разложился в радужный спектр. При этом получалось, что Красные лучи преломляются сильнее фиолетовых — в этом и была сущность дисперсии. По этой причине современный термин «дисперсия» относится не только к явлению разложения света в спектр, но и к зависимости фазовой скорости света от частоты (или даже от направления волнового вектора). Действительно, угол преломления напрямую зависит от фазовой скорости, поэтому зависимость последней от частоты и приводит к наблюдавшемуся Ньютоном явлению.

Помимо разложения света в спектр, которое могло интерпретироваться и как *окрашивание* солнечного света призмой, Ньютон показал, что, если собрать цветные лучи в одну точку, в ней снова будет наблюдаться ахроматический, белый цвет (см. рис. выше). Этим он раз и навсегда пресек обсуждение точки зрения об окрашивании падающего света «цветными» предметами. Также полученные результаты окончательно сформировали современный взгляд на природу цвета большинства предметов: последний либо связан с излучением самого тела (возникающим в силу его нагретости, протекающей в нем фотохимической реакции и т.п.), либо с  выделением определенных компонент из падающего света при его отражении от предмета или прохождении сквозь него. Последний механизм окрашивает небо в голубой цвет, создает радужный окрас неба на закате (так называемое рэлеевское рассеяние), обусловливает цвета драгоценных камней (фильтрация при прохождении света сквозь них) и золота (отражение), а также кристаллических срезов и тонких пленок (интерференция). Конечно, известны и другие явления воздействия падающего света на спектр исходящего от предмета излучения: люминесценция, генерация высших гармоник, комбинационное рассеяние и т.д. В этих случаях вторичное излучение тела сложнее зависит от спектральной интенсивности падающего света.

Интересно, что Ньютон придерживался точки зрения, что свет состоит из маленьких корпускул, которым присуще внутреннее свойство — цвет. От количества корпускул данного цвета и зависит спектральная интенсивность. Эта, *корпускулярная теория света* просуществовала до XIX века, несмотря на наличие явлений, в нее не укладывающихся (интерференция, дифракция). Пожалуй, тут сыграл роль не только авторитет Ньютона, но и неподготовленность математики времен Ньютона к восприятию волновых концепций. Сам Ньютон основал вместе с Лейбницем математический анализ и дифференциальное исчисление, однако представления об описывающих распространение волн дифференциальных уравнениях в частных производных и преобразованиях Фурье, с помощью которых эти уравнения решаются, появились только в XIX веке. Наконец, XVII век был проникнут идеями механицизма, во многом насажденными успехами ньютоновской механики. Поэтому представить прямолинейное распространение лучей из корпускул было гораздо проще, чем распространение волн по прямой — даже здравый смысл говорит о том, что волны распространяются во всех направлениях.

Важно, тем не менее, что Ньютон не только наблюдал явление дисперсии, но и предложил ее строгое математическое описание. Тем самым он обрисовал логический путь зарождающейся физики: наблюдение (*эксперимент*) – качественное описание (*гипотеза*) – математическая *теория*явления – новые предсказания или теоретические выводы – новые эксперименты. Именно такая модель исследования явлений определила дальнейшее развитие физики, отклонившееся от чисто философского пути умозрительных, хотя, возможно, справедливых, заключений.

**Учитель**: Итальянский ученый Франческо Гримальди впервые обнаружил, что свет обладает возможностью заходить в область геометрической тени, более того, очертания самой тени при этом размываются, и вблизи ее границы возникают темные и светлые полосы радужной окраски. Аналогичные опыты в монохроматическом свете по схеме Гримальди провел Ньютон.

**Ученик**: **Опыт Гримальди, открытие дифракции света**

Понятия о дифракции претерпели существенные изменения за время развития оптики. Сейчас слово *«дифракция»*означает *перераспределение световой энергии в пространстве (интерференцию) вторичных источников света*. При этом в отличие от случая собственно интерференции обычно предполагается, что число этих источников *бесконечно*(или очень велико). В силу *принципа Гюйгенса–Френеля* вторичным источником сферических волн является любая точка на фронте волны, зафиксированном в определенный момент времени. Например, дифракция нормально падающего параллельного когерентного пучка на щели есть не что иное, как интерференция вторичных волн, исходящих из всех точек этой щели. Результат такой дифракции — дифракционную картину — вы можете увидеть на рисунке ниже (источник света — лазер, круглая щель).

Тем не менее, дифракцией также называют явления огибания светом препятствий (выходом в область геометрической тени) и уширения пучков конечной апертуры (ширины).

Дифракция была открыта Франческо Мария Гримальди (1618–1663) в 1666 году — и именно он ввел этот термин в физику (Ньютон, впоследствии изучавший опыты Гримальди, называл ее *инфлекцией*, т.е. искривлением лучей). Гримальди использовал тонкий пучок света, прошедший в темную комнату через щель. Данный пучок представлял из себя конус, поскольку солнце не является точечным источником света, а также в силу конечной ширины щели. На пути этого конуса Гримальди поставил деревянную жердь и наблюдал отбрасываемую ей тень. Оказалось, что, во-первых, тень была несколько меньше рассчитанных им предполагаемых геометрических размеров, а во-вторых, что у краев тени наблюдались несколько радужных полос. Последние были едва различимы, однако их цветовая окраска говорила в пользу негеометрического характера распространения света. Действительно, лучи разных длин волн должны были распространяться по различным траекториям.

Исаак Ньютон продолжил исследования Гримальди, изучая дифракцию монохроматического света. Оказалось, что ширина дифракционных полос в красном свете больше, чем ширина в фиолетовом. Ньютон, как упоминалось ранее, предполагал, что причина этому — некоторое взаимодействие между корпускулами света, зависящее от их цвета. Корпускулярная концепция была еще одной из причин, почему Ньютон воспринимал дифракцию как отклонение траекторий частиц (лучей света). Гримальди же придерживался волнового подхода к распространению света

Учитель: Значение опыта Юнга трудно переоценить: он открыл дверь в волновую оптику как область физики, обладающую предсказательной силой.

**Ученик: опыт Юнга по наблюдению двухлучевой интерференции**

Английский ученый Томас Юнг (1773–1829; *Юнг —*общепринятое русскоязычное произношение, но правильнее было бы называть его *Young*, Янгом) в самом начале XIX века поставил классический эксперимент, который сейчас входит в любой школьный учебник по физике. Приверженец волновой теории света, он пытался обнаружить закономерно следовавшее из нее явление интерференции. Последнее сводится к сложению нескольких световых волн в фазе или противофазе, приводящему к увеличению или уменьшению суммарной амплитуды колебаний, соответственно. Чтобы это действительно происходило, колебания волн должны происходить согласованно, или, как говорят, *когерентно*. Действительно, разность фаз между двумя колебаниями *отличающихся частот* меняется со временем, причем в случае световых волн, для которых частота http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image002.png, малейшее отличие частот приводит к практически случайной разности фаз. Как же создать два сигнала с одинаковой частотой? Ответ прост: нужно использовать *один* источник света, а потом выделить из фронта излучаемых им волн два сегмента. Эти сегменты по Гюйгенсу являются полноценными источниками вторичных волн *с одинаковой частотой*. Наконец, проще всего наблюдать *двухлучевую* интерференцию, поскольку добавление других волн накапливает погрешности в их когерентности и вносит дополнительную случайность в разность фаз.

Схема эксперимента проста: монохроматический свет от источника http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image003.png падал на непрозрачную ширму с тонкой щелью http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image004.png, затем — на такую же ширму с двумя щелями http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image005.png и http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image006.png, после чего направлялся на экран http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image007.png (см. рис. ниже). На экране наблюдались интерференционные полосы, что было недопустимо в случае корпускулярной теории — более того, при симметричном расположении источника и щелей светлая полоса наблюдалась точно посередине между щелями, что было недопустимо в случае движения корпускул.

Рассмотрим простую модель данного явления, считая, что первая щель находится примерно посередине между щелями http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image009.png, а расстояние http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image010.png от щелей до экрана гораздо больше расстояния http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image011.png между ними (см. рис. ниже).

Поле в точке http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image013.png экрана есть сумма полей, которые создают вторичные источники вблизи точек http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image005.png и http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image006.png. Поскольку расстояния http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image014.png, http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image015.png, затухание амплитуд этих полей с расстоянием практически не вносит вклада в их интерференцию. На интерференцию влияет только разность хода

http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image016.png

Часть этой разности, относящаяся к распространению волн *левее* ширмы, остается постоянной, поэтому может лишь сдвигать интерференционную картину на экране. Разность же хода правее экрана

http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image017.png

пропорциональна расстоянию http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image018.png от точки http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image013.png до плоскости, относительно которой щели http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image005.png и http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image006.png симметричны друг другу. Светлым полосам соответствует разность хода http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image019.png, http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image020.png, поэтому для соседних светлых полос разность http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image021.png различается на длину волны http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image022.png. Отсюда полосы имеют равную ширину, а расстояние между ними

http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image023.png

Для расстояний http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image024.png, http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image025.png мы получаем http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image026.png, т.е. полосы должны быть вполне различимыми. С другой стороны, размеры самих щелей должны быть достаточно малыми по сравнению с http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image011.png, иначе дифракция света на каждой из них размоет интерференционные полосы. Это будет происходить, потому что вторичные волны от источников *в различных точках одной щели* будут приходить в точку наблюдения с различными фазами и деструктивно интерферировать. Чтобы избежать дифракционных эффектов, *дифракционная разность хода* должна быть гораздо меньше длины волны:

http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image027.png

где http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image028.png — ширина щели. Чтобы на экране наблюдалось http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image029.png четких полос, необходимо, чтобы это условие выполнялось для http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image030.png, откуда мы получаем, что ширина щелей должна быть

http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image031.png

Через малые щели проходит мало световой энергии, что делает полосы очень тусклыми и поэтому с трудом наблюдаемыми.

В случае идеально симметрично расположенных щелей http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image032.png, и на оси симметрии (http://novmysl.finam.ru/Optics/Young_image033.png) лежит *светлая* полоса — аналог дифракционного пятна Араго–Пуассона. Это прямо противоречит корпускулярной модели Ньютона, возникновение полос в которой вообще сложно объяснить.

Аналог опыта Юнга *с электронами* был поставлен в середине XX века и показал справедливость основных представлений об интерференции. Сам же термин «интерференция» был предложен Томасом Юнгом (1803). Несмотря на то, что интерференционные эффекты наблюдались и до Юнга (кольца Ньютона, дифракционное окрашивание границ тени и др.), только Юнг смог дать им правильное описание. Он же впервые объяснил цветную окраску тонких пленок, в частности, колец Ньютона.

**Учитель:** Открытие Малюса и Брюстера являлось крайне важным для понимания явления поляризации света.

**Ученик: Опыт Малюса и Брюстера по наблюдению поляризации отраженного света**

Этьен Луи Малюс (1775–1812) занимался исследованиями двулучепреломления света в кристаллах исландского шпата, известного еще со времен Эразма Бартолина (1669). Однажды, наблюдая из окна своего дома в Париже лучи заходящего солнца, отраженные в окнах Люксембургского собора, он заметил, что после прохождения через кристалл исландского шпата эти лучи существенно теряют свою интенсивность. Яркость других предметов не менялась при прохождении через исландский шпат — предметы только раздваивались из-за двойного лучепреломления. Довольно долго занимавшийся изучением поляризации света Малюс сразу же сделал вывод о том, что свет, отраженный от окон собора, является (частично) поляризованным. Действительно, яркость отраженного от окон собора света изменялась при изменении ориентации кристалла исландского шпата, как наблюдал еще Гюйгенс в своих опытах по поляризации.

Явление поляризации света при отражении свойственно только диэлектрическим отражающим поверхностям — стеклу, воде, различным пластмассам и др. — но не свойственно проводникам. В частности, свет, отраженный от металлического зеркального слоя, сохраняет свою поляризацию.

Малюс получил два фундаментальных результата, касающихся поляризации: во-первых, это закон, носящий его имя, а во-вторых, это так называемый *угол поляризации* (угол Малюса–Брюстера). Закон Малюса описывает наблюдаемую интенсивность линейно поляризованного света, прошедшего через идеальный поляризатор, равна

http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image002.png

где http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image003.png — интенсивность падающего света, http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image004.png — угол между плоскостью поляризатора и плоскостью поляризации падающего света. Идеальный поляризатор — это система, которая пропускает одну из двух поляризаций падающего на него света без изменений, а перпендикулярную ей полностью поглощает. Такой прибор можно построить из кристалла исландского шпата, поставив непрозрачный экран на пути одного из двух лучей внутри него. На усовершенствовании данного принципа построена так называемая призма Н*и*коля (*николь*, 1820), повсеместно используемая в оптике.

Устройство николя предельно просто: две прямоугольные призмы из исландского шпата с оптической осью *AB*, склеены своими катетами с помощью канадского бальзама, имеющего показатель преломления больше, чем у исландского шпата. Угловые параметры николя подбираются таким образом, что после двулучепреломления обыкновенный луч (красный на рисунке выше) испытывает полное внутреннее отражение от границы «шпат-канадский бальзам». Необыкновенный луч, составляющий с этой границей больший угол, проходит в слой бальзама, а из него — во вторую призму. В итоге для необыкновенного луча с поляризацией в плоскости рисунка николь выглядит как плоскопараллельная пластина, а для луча, поляризованного перпендикулярно этой плоскости — как зеркало.

*Квадрат* косинуса, входящий в закон Малюса, говорит о том, что интенсивность света *не является вектором*: ее нельзя получить, проецируя некоторый вектор на плоскость поляризатора. В этом случае косинус был бы в первой степени. Действительно, интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды колебаний, а амплитуда поперечных колебаний является вектором. Здесь, однако, надо отметить, что сам Малюс твердо стоял на позициях ньютоновской корпускулярной теории, поэтому так не рассуждал.

Закон Малюса также демонстрирует некоторую «конверсию» различных состояний поляризации друг в друга: несмотря на то, что состояний линейной поляризации может быть бесконечное множество (они параметризуются углом http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image004.png), при наблюдении через поляризатор все эти состояния сводятся к двум независимым — параллельно и перпендикулярно оси поляризатора. Этот факт стал одной из идейных основ квантовой механики. Действительно, состояния системы http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image006.png в квантовой механике задаются векторами единичной длины, а вероятность обнаружить такую систему в состоянии http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image007.png равна

http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image008.png

где http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image004.png — угол между *векторами состояний* http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image006.png и http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image007.png, а http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image009.png — скалярное произведение векторов. Пример: если спин электрона поляризован вдоль оси http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image010.png, то существует вероятность, равная http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image011.png, обнаружить его поляризованным вдоль оси http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image012.png и ровно такая же вероятность — против оси http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image012.png. Интересно, что угол http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image004.png между соответствующими *состояниями* электрона равен http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image013.png, при том что угол между осями ровно в два раза больше. Этот факт связан с тем, что спин электрона равен http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image011.png (см. раздел «Квантовая теория и физика элементарных частиц»).

Второе фундаментальное открытие Малюса заключалось в том, что если свет падает под определенным углом к диэлектрику, то отраженный свет оказывается полностью поляризованным перпендикулярно плоскости падения. Он измерял данный угол для различных веществ и по началу пришел к ошибочному выводу, что угол поляризации не зависит от вещества. Более тщательный анализ был проведен в 1812 году английским ученым Дэвидом Брюстером (1781–1868), который связал угол поляризации с показателем преломления вещества:

http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image015.png

где http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image016.png — отношение показателей преломления двух сред. В честь Брюстера также обычно называют и угол поляризации http://novmysl.finam.ru/Optics/Malouse_image017.png. Брюстер также отметил, что при данном угле падения отраженный и преломленный лучи образуют прямой угол. На рисунке ниже изображено отражение луча света, падающего под углом Брюстера: на каждом из трех лучей схематически изображены плоскости колебаний вектора электрического поля — в плоскости рисунка и/или перпендикулярно ей.

Преломленный луч содержит обе поляризации, хотя оказывается частично поляризованным. Важно также, что закон Брюстера справедлив и для отражения от аморфных тел, таких как стекло, а также от жидкостей.

Явление поляризующего отражения широко используется в оптике, когда необходимо избежать потерь интенсивности на входе света в прозрачный диэлектрик. В этом случае свет, поляризованный *в плоскости падения*, направляется на границу раздела под углом Брюстера — при этом отраженный луч *вообще отсутствует*. Также эффекты поляризации отраженного света, открытые Малюсом и Брюстером, используются в фотографии.

*Проблема скорости света в физической науке*

**Ученик:** Первая половина XVII века характеризовалась организационным становлением науки. В это время появляются первые научные журналы, образуются научные общества и академии. От ученых – членов этих академий – требовалось в первую очередь решение актуальных практических задач.

Вопрос о том, конечна или бесконечно велика скорость света, начал широко обсуждаться именно в этот период времени. С одной стороны, это было связано с развитием оптики и попытками выяснить природу света, а с другой стороны – со стремлением к решению физических проблем путем постановки количественных экспериментов. В 1638 г. Г. Галлей в книге «Беседы и математические доказательства .... » устами своих героев обсудил этот вопрос и предложил схему эксперимента для определения скорости света. На практике опыт, проведенный по схеме Галлея, не дал определенных результатов, однако Галлей, будучи сторонником представлений о конечности скорости света, справедливо указал, что при усовершенствовании методики проведения опыта его исход может оказаться другим. Значительным событием в истории физики стала теоретическая дискуссия между П. Ферма и Р. Декартом (а также его последователями) о скорости света, приведшая Ферма к выдвижению «принципа наименьшего времени» для описания распространения света. Ясно, что с помощью экспериментальной техники XVII в. измерение скорости света в земных условиях было невозможно. Поэтому совершенно естественно, что доказательство конечности света и первая оценка ее величины были получены в астрономии. Автором этого доказательства и был датский ученый Олаф Ремер.

Оле (Олаф) Рёмер исследовал источник небольшой апериодичности наблюдающихся затмений спутника Юпитера Ио для задач навигации: по этим затмениям было бы легко синхронизировать часы на кораблях в открытом море. Рёмер сделал неожиданное предположение: апериодическая добавка к временному промежутку между ближайшими затмениями связана с конечностью скорости света. За время между затмениями расстояние от Юпитера до Земли успевает измениться, поэтому свет затрачивает уже большее время на его преодоление. В итоге Рёмер вычислил значение скорости света, равное 220000км/с, которое с учетом точности имеющихся в конце XVII века астрономических данных было близко к истинному. Распространение света попало в сферу интересов физики и приобрело количественную характеристику — скорость.

Опыт Физо

С помощью техники быстро вращающегося колеса, между зубьями которого при правильной синхронизации проходили падающий и отраженный лучи, Ипполит Физо смог обнаружить эффекты запаздывания в земных условиях. Измеренная скорость света составила 313000км/с.

*Практическая часть.*

(демонстрации учеников)

1. Перед тем как нам продемонстрируют данный опыт, давайте вспомним, что называется явлением дифракции?
   * Дифракция на шаре
2. Что такое поляризация света? Объясните суть увиденной демонстрации.
   * Поляризация света
3. Прокомментируйте увиденную демонстрацию и объясните суть явления
   * Полное внутреннее отражение

Лабораторная работа

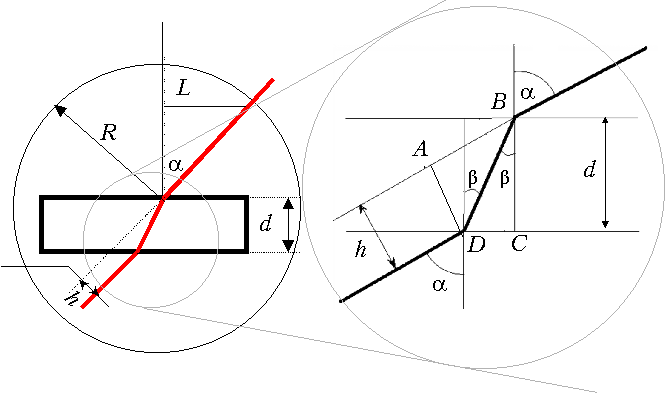
«Исследование зависимости величины отклонения светового луча плоскопараллельной пластинкой от угла падения луча»

*Цель работы*: исследовать зависимость отклонения светового луча плоскопараллельной пластинкой от угла падения луча экспериментально и теоретически путём компьютерного моделирования; сравнить результаты, сделать вывод.

*Приборы и материалы*: лазер, плоскопараллельная пластинка, линейка, транспортир, миллиметровая бумага, компьютер *IBM PC*, программа *Excel*, программа *Word*.

Теория: расчёт смещения луча *h*теор.

Из представленной схемы эксперимента ясны обозначения всех входящих в расчётную формулу величин.

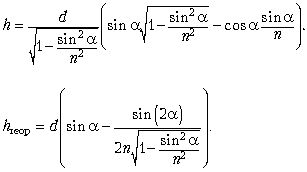


Из http://fiz.1september.ru/2007/08/delta-T.jpg*DBC*: http://fiz.1september.ru/2007/08/14-06.gif.

*h* = *AD* = *DB*sin(http://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg – http://fiz.1september.ru/2007/08/beta.jpg).

http://fiz.1september.ru/2007/08/14-07.gif

sin(http://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg – http://fiz.1september.ru/2007/08/beta.jpg) = sinhttp://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg • coshttp://fiz.1september.ru/2007/08/beta.jpg – coshttp://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg • sinhttp://fiz.1september.ru/2007/08/beta.jpg;



[Очевидно, что при http://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg http://fiz.1september.ru/2007/08/strelka.gif 90° *h*теор http://fiz.1september.ru/2007/08/strelka.gif *d*. – *Ред*.]

Экспериментальные значения:

http://fiz.1september.ru/2007/08/14-09.gif*d* = 20 мм, *R* = 50 мм, *n* = 1,43.

*Ход работы*

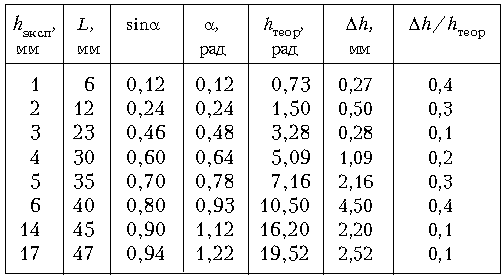
1. На прочный лист-планшет приклеивают миллиметровую бумагу. В центре планшета чертят окружность радиусом *R*, центр окружности помечают карандашом. Прикладывают к краю планшета лазер так, чтобы луч проходил через центр окружности и намеченную на окружности точку (задают удобное значение *L*), «прочерчивая» яркий красный след на бумаге. Помечают карандашом точку пересечения луча с окружностью.

2. Не меняя положения лазера, накладывают на планшет плоскопараллельную пластинку так, чтобы её край проходил через центр окружности. Помечают карандашом вторую точку пересечения луча с окружностью. Выключают лазер.

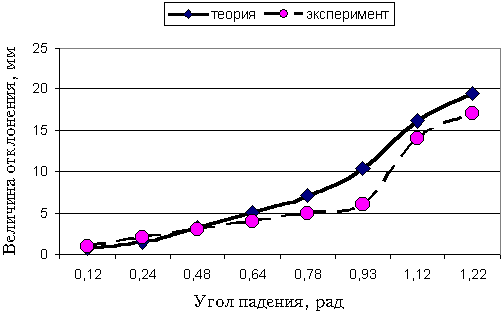
3. Измеряют расстояние *h*эксп между точками (или точнее: чертят входящий и выходящий лучи и измеряют кратчайшее расстояние между ними).

4. Рассчитывают c помощью компьютерного моделирования теоретические значения *h*теор, вычисляют http://fiz.1september.ru/2007/08/delta-T.jpg*h* = *h*эксп и *h*теор, строят графики зависимостей *h*эксп, *h*теор и http://fiz.1september.ru/2007/08/delta-T.jpg*h/h*теор от http://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg[наверное, лучше было бы от sinhttp://fiz.1september.ru/2007/08/alfa.jpg. – *Ред*.]

Результаты измерений



Зависимость величины отклонения от угла падения



ВЫВОД. При увеличении угла падения смещение луча относительно падающего увеличивается, в пределе приближаясь к толщине пластинки.