

1.Предмет оптики. Исторический очерк развития оптики. Электромагнитная и квантовая теории света. Принцип Гюйгенса. Законы отражения и преломления.

Оптика – наука о зрительных восприятиях. Раздел оптики, изучающий закономерности распространения света без выяснения его природы, называют геометрической оптикой.

Раздел оптики, изучающий природу оптических явлений назыв. физической оптикой.

История развития оптики. Первые работы были проведены 300 лет до н.э. В них изложены основные законы геометрической оптики, которые являлись результатом наблюдения за оптическими явлениями.

1.

Доньютоновский (14 в. до н.э. – 17в) – развитие геометрической оптики

2. **Период**

Ньютона- Гюйгенса (18-ый век) – зарождение двух теорией света, господство корпускулярной теории света.

3.

Юнга-Френеля (19-ый век – 1905 г.) – развитие волновой теории света
(1905- до наших дней)

4. **Современный**

5. **Новый** (с 1960 г) – создание лазеров

Основные законы геометрической оптики:

1. **Закон прямолинейного распространения света**

Свет в однородной среде распространяется вдоль прямой линии.

2. Закон независимости световых лучей Если в некоторой среде одновременно распространяются два световых луча, то они ведут себя независимо друг от друга.

3. Закон отражения Падающий луч, отраженный луч, перпендикуляр, восстановленный в точку падения, лежат в одной плоскости. При этом угол падения по модулю равен углу отражения. $\alpha = -\beta$

4. Закон преломления Падающий луч, преломленный и нормаль, проведенная к точке падения лежат в одной плоскости. При этом угол падения и угол преломления связаны соотношением. $\sin\alpha/\sin\beta = n$

Современные теории света: 1)

Корпускулярная(Ньютон) – квантовая или фотонная теория; свет представляет собой поток световых частиц «корпускул». Ньютон, объясняя все оптические законы, применял открытые им законы механики. 2) **Волновая(Гюйгенс)** – электромагнитная теория (свет – электромагнитные волны определенной длины волны) Свет обладает квантово-волновым дуализмом: допускает сущ. двух теорий на одно и тоже световое явление. При этом свет больших длин волн в большей степени проявляет волновые св-ва, при малых длинах волн – квантовые св-ва. Основное положение – **принцип Гюйгенса**: каждая точка среды, до которой доходит волновой фронт, является источником вторичных

сферических волн, огибающие к которым представляет собой волновой фронт в последующий момент времени.

2. Источники и приёмники света. Световой поток. Сила света. Освещенность. Яркость источника. Светимость. Интенсивность светового потока.

Источник света – любое тело, излучающее электромагнитные волны в оптическом диапазоне. При различных расчётах часто пользуются идеализированной моделью источника – **точечным источником света** (поперечные размеры d которого малы по сравнению с расстоянием m до места в котором проводится наблюдения $d \leq 0.1m$).

Источники: 1. Первичные (солнце) – излучение благодаря реакции, протекающей внутри него 2. Вторичные (луна) – за счет отражения - естественные – без человека - искусственные – благодаря вмешательству человека.

Св. волны взаимодействуют с телами чаще всего испытывают отражение или поглощение.

Существуют тела или отдельные поверхности, которые отражают или отсеивают полностью. Их называют абсолютно белыми (коэф. отражения $\rho = 1$)

Если поверхность полностью поглощает падающее на них освещение, то их называют абсолютно чёрными. (коэф. отражения $\rho = 0$)

Чтобы оценить величину свет. энергии используются приемники света (основаны на процессах превращения св. энергии в др. виды

энергии, чаще всего в химич., тепловую, электрическую). При этом приемники подразделяют в зависимости от того для какой спектральной области света они предназначены

(ультрафиолетовая, видимая, инфокрасная).

За величину **светового потока** $d\Phi$ принимается световая энергия, переносимая через данную площадку dS за единицу времени. $d\Phi = dW / dt$

Световой поток опред. в люменах [лм]. 1 лм соответствует световому потоку,

распространяющемуся в единице телесного угла, определенного в стерadianах. 1 лм определяется через канделу, которая является единицей силы света источника. 1 кандела [кн] = 1 [лм] / 1 [стер]

За величину **силы света** принимают световой поток, распространяющийся внутри единичного телесного угла, т.е. $I = d\Phi / d\omega$

Световое излучение, идущие от источника света, чаще всего падает на поверхности различных тел. Для характеристики световой энергии падающий на ту или иную поверхность используют

фотометрическую величину, называемую **освещённостью** E . За её величину принимают световой поток, падающий на единицу площади освещаемой поверхности, т.е $E = d\Phi / dS$

Освещенность измеряется в люксах [лк]. 1 [лк] = 1 [лм] / 1 [м²]

1 [лк] = 1 [лм] 1 [м² **Яркость** характеризует непосредственно сам источник света. Выделим на поверхности источника элементарную площадку. Направление излучения составляет с нормалью площадки некоторый угол α . Яркость источника численно равна силе света, излучаемого с единицы площади поверхности источника в направлении

нормали. $B = I/dS$. Ед. измерения яркости – 1 стильб [сб]. $1 [\text{сб}] = 1 [\text{кд}]/[\text{см}^2]$

Светимость характеризует сам источник. $R = d\Phi/dS$ – численно равна св. потоку, который излучается в направлении нормали n с ед площади пов-ти источника. Светимость, как и освещенность, измеряется в люксах [лк] Иногда для расчёта переносимой световой энергии, пользуются понятием **интенсивности светового потока**, который численно равен световому потоку, распространяющемуся через единицу площади в единичном телесном угле. $f = d\Phi/dS \cos\varphi d\omega$

3. Основные энергетические и световые величины и их единицы измерения

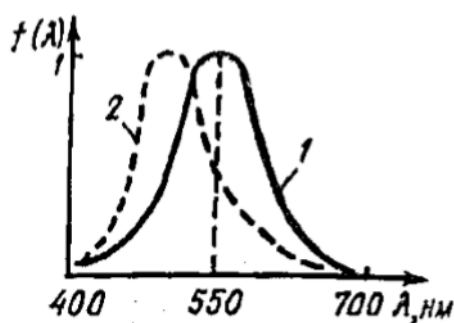
Для оценки энергии излучения и ее действия на приемники излучения, к которым относятся фотоэлектрические устройства, тепловые и фотохимические приемники, а также глаз, используют энергетические и световые величины.

световые величины			энергетические величины		
Наименование	Формула	Единица	Наименование	Формула	Единица
Сила света	$I = d\Phi/d\omega$	Кд	Сила излучения (энергетическая сила света)	$I_e = d\Phi_e/d\omega$	Вт/ср
Световой поток	$\Phi = dW/dt$	Лм	Поток излучения	$\Phi_e = dW_e/dt$	Вт

Освещенность	$E = d\Phi/dS$	Лк	Энергетическая освещенность	$E_e = d\Phi_e/dS$	Вт/м ²
Светимость	$R = d\Phi/dS$	Лм/м ²	Энергетическая светимость	$R_e = d\Phi_e/dS$	Вт/м ²
Яркость	$B = I/dS \cos\varphi$	Кд/м ²	Энергетическая яркость	$B_e = I_e/dS \cos\varphi$	Вт/ср [*] м ²

4. Переход от энергетических единиц к световым. Функция видности. Фотометры (призменный, Люмера-Бродхуна)

Экспериментально энергия излучения определяется различными методами. Они делятся на объективные и субъективные.



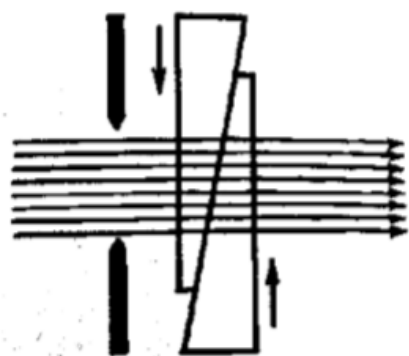
Объективные основаны на применении различных приемников света, в которых происходит превращение световой энергии в другие виды. Субъективные основаны на

оценки световой энергии с помощью зрительного восприятия.

Следует учитывать чувствительность глаза к различным длинам волн.

Различная чувствительность глаза к различным длинам волн определяется функцией видности: 1 — дневное зрение, 2 — сумеречное зрение. При определении световой энергии часто пользуются механическим эквивалентом света, устанавливая связь между механической единицей энергии (Вт) и световой (лм). Для длины волны 550 нм механический эквивалент света $A=0,0016$ Вт/лм (минимальный механический эквивалент света), т.е. 1 лм соответствует поток энергии 0,0016 Вт. Обратная зависимость: $1 \text{ Вт}(\lambda) - 650 f(\lambda) \text{ лм}$.

Фотометры — специальные оптические приборы для фотометрических измерений. Подразделяются на 2 класса:



А) субъективные (визуальные), где приемником излучения является глаз человека. Идея: два различных источника света одного спектрального состава вызывают одинаковое ощущение яркости на

двух различных площадках. Для проведения измерений ослабляют поток более мощного источника. Для ослабления потока можно использовать ослабители переменной толщины. При скольжении клинообразных ослабителей по соприкасающимся поверхностям меняется толщина слоя, через который проходит излучение от более сильного источника. Путем изменения толщины слоя, в котором происходит поглощение, можно добиться необходимой освещенности поверхности площадки. Выравнивая освещенности, учитывая оптические пути, определяют силу света. Более совершенным фотометром является фотометр Люмера-Бродхуна. Основным элементом фотометра является кубик Люмера. Этот кубик состоит из двух прямоугольных призм, соприкасающаяся поверхность одной из которых выполнена так, что средняя часть ее находится в полном оптическом контакте со второй призмой. Кубик освещаются с двух сторон и добиваются одинаковой освещенности экранов, тогда грань призм не видна. Определив расстояние от источников до экранов, можно найти отношение сил света источников.

Б) объективные (наиболее удобные для измерения освещенности), где в основу определения фотометрических величин положены электрические и фотографические методы. Фотографический метод: степень почернения фотопластинки пропорциональна количеству световой энергии, падающей на нее. Электрический метод фотометрических измерений основан на фотоэлектрическом эффекте. Самый простой фотоэлектрический фотометр состоит из фотоэлемента и связанного с ним высокочувствительный гальванометра (проградуированный в люксах, что дает

возможность измерять освещенность).

Преимуществом объективных фотометров является возможность их использования в невидимой области спектра (ультрафиолетовой и инфракрасной), также в видимой. Это позволяет использовать их более широко по сравнению с субъективными фотометрами.

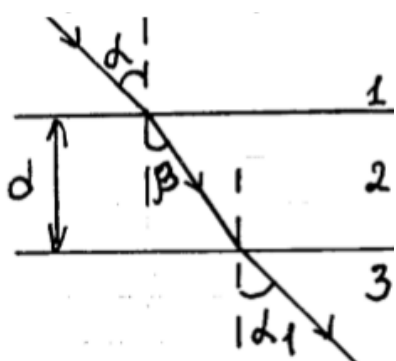
5. Геометрическая оптика. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления света на плоской границе двух и более сред (плоскопараллельная пластинка в воздухе, призма).

Геометрическая оптика изучает закономерности распространения света без учета его природы. Основные понятия геометрической оптики: Световой луч представляет собой направление вдоль которого распространяется свет. Совокупность световых лучей – световой пучок. Точка F , в которой сходятся либо выходят световые лучи, называется фокусом светового пучка. Различают сходящиеся и расходящиеся световые пучки. Существует целый ряд устройств, с помощью которых можно преобразовать световые пучки. Их называют оптическими системами. В неё входят линзы, зеркала и т.д. Оптическое изображение представляет собой картинку, получающаяся в результате действия оптической системы на лучи, излучаемые объектом, и копирует контуры и детали объекта. Изображения, полученные на пересечении лучей идущих от объекта, называют действительным. Изображения, получаемые на пересечении продолжения лучей, в сторону противоположную их распространению, называют мнимыми.

Принцип Ферма: Допустим, что в некоторой однородной среде свет распространяется из точки A в точку B . Процесс распространения света можно представить на основе принципа Гюйгенса. При этом имеет место

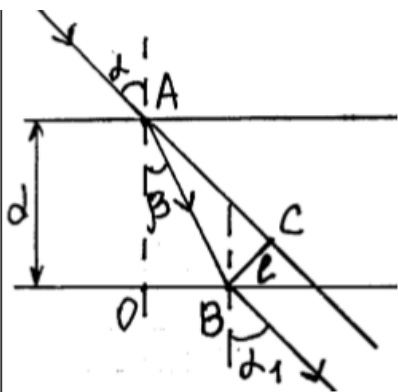
последовательное перемещение огибающей сферической поверхности. Определим время перемещения волнового фронта из А в В. Скорость волны v , тогда радиус вторичной сферической световой волны r_i будет $r_i = v dt = v \tau_i$, где τ_i - время перемещения светового фронта из предыдущего положения к следующему. Полное время

$\tau = \sum \tau_i = \sum \frac{r_i}{v} = \frac{\sum r_i}{v}$ (1), в числителе стоит r , т.к. r - минимальное расстояние между двумя положениями фронта волны. Из (1) $\Rightarrow \sum r_i$ явл. min $\Rightarrow \tau$ - min. Ферма анализируя пришёл к выводу, что свет из одной точки в другую распространяется таким образом, что время его распространения минимально, т.е. распространяется по кратчайшему пути - принцип Ферма.



Отражение и преломление света на плоской границе раздела.

Пусть плоскопараллельная пластина отделяет среды 1 от 3. Луч, идущий из 1 в 3 на каждой границе раздела испытывает преломление. Преломляющие св-ва каждой среды характеризует показатель преломления. Если среда рассматривается относительно вакуума или воздуха, то используется абсолютный показатель преломления. Если среда р/м относительно другой среды то используется относительный показатель преломления. Запишем закон преломления света для каждой поверхности



Плоскопараллельная пластинка в воздухе $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta} \Rightarrow \alpha_1 = \alpha$

α - угол, под которым луч выходит из пластины = углу, под которым луч падает на пластины. Луч, прошедшей через пластину смещается параллельно первоначальному лучу. l – боковое

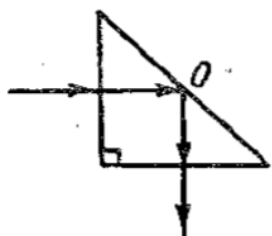
смещение. $l = BC = AB \sin(\alpha - \beta)$. Т.к $AB = \frac{AO}{\cos \beta} = \frac{d}{\cos \beta} \Rightarrow$

$$l = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$

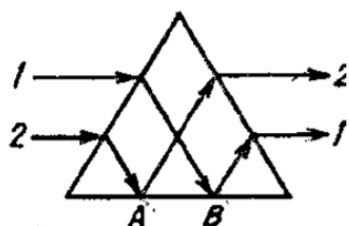
6. Полное внутреннее отражение. Приборы (поворотная призма, оборотная призма).

Волоконная оптика.

Явление полного внутреннего отражения нашло широкое применение. Например:



1) поворотная призма. Используется для поворота луч на 90. В точке О происходит полное внутреннее отражение.



2) Оборотная призма. Позволяет менять местами лучи, которые испытывают полное внутреннее отражение в пунктах А и В.



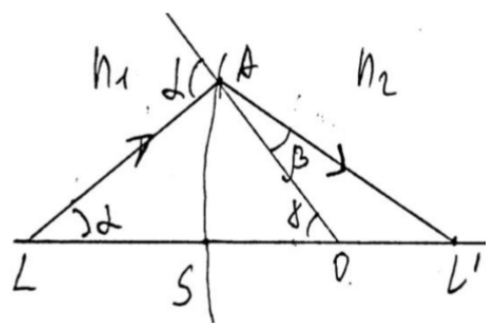
3) Световоды используют для передачи информации при помощи когерентного оптического излучения квантовых генераторов. Световой поток на границе материала световода и оболочки из оптически менее плотного материала отражается, распространяется вдоль волокна, несмотря на его изгибы. Использование световодов позволяет значительно уменьшить потери световой энергии при передаче ее на дальние расстояния, а также передавать свет по криволинейным пути. Есть разные типы световодов.

4) Систему заключенных в трубу и расположенных на определенных расстояниях стеклянных линз, которые служат, для периодической коррекции волнового фронта светового пучка, называют линзовые волноводы.

5) Раздел оптики, в котором рассматривается передача света и изображения по световодам и волноводам оптического диапазона называют волоконной оптикой. В волоконно-оптических деталях световые сигналы распространяются с одной поверхности (торца световода) на другую (выходную) как совокупность элементов изображения, каждый из которых передается по своей световедущей жиле. Диаметр световедущих жил в зависимости от назначения деталей составляет от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Распространение света по световодам, диаметр которых больше длину

волны, происходит по законам геометрической оптики. Если диаметр световода имеет размеры, близкие к длине волны, то свет распространяется в соответствии с законами волновой оптики.

7. Преломление света на сферической поверхности. Сферические зеркала.



Допустим 2 среды (n_1 и n_2) разделены сферической поверхностью. Точка O - центр кривизны сферической поверхности (оптический центр сферической преломляющей поверхности) точка S - полюс поверхности (пересечение поверхности с главной оптической осью). Лучи исходят от источника L , а после преломления приходят в т. L'

$$\frac{LO}{LA} = \frac{\sin \angle LAO}{\sin \gamma} \quad (1); \quad \angle LAO = 180 - \alpha; \quad \sin \angle LAO = \sin(180 - \alpha) = \sin \alpha; \quad \text{т.е.} \quad \frac{LO}{LA} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \quad (2)$$

$$\text{Р/м } \triangle OAL': \angle AOL' = 180 - \gamma; \quad \frac{AL'}{OL'} = \frac{\sin \angle AOL'}{\sin \beta} = \frac{\sin(180 - \gamma)}{\sin \beta} = \frac{\sin \gamma}{\sin \beta} \quad (3)$$

$$(2) * (3): \frac{LO}{LA} * \frac{AL'}{OL'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (4) \quad \text{Т.к.} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{то} \quad \frac{LO}{LA} * \frac{AL'}{OL'} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

(изображение источника L) Линию, проведённую через L , S , O , L' называют главной оптической осью преломляющей сферической поверхности (СПП). Лучи, которые распространяются вблизи этой оси, называют параксиальными. В случае параксиальных лучей $LS \approx LA$, $SL' \approx AL'$. Р/м $\triangle ALO$: на основании теории синусов

$|LS| = d$ - расстояние от поверхности до предмета (точки L) $|SL'| = f$ - расстояние от поверхности до

изображения $SO = R$ - радиус

$$\frac{n_1}{d} - \frac{n_2}{f} = \frac{n_1 - n_2}{R}$$

поверхности. При преобразовании (5)

будем учитывать следующие правила знаков отрезков: будем считать отрезок положительным, если отсчет его от поверхности совпадает с направлением светового луча, отрезок будет отрицательный, если направление отсчета и луча противоположное.

- основное уравнение сферической преломляющей поверхности. (10)

Сферические зеркала

Часть сферической поверхности, которая идеально отражает падающий свет называется сферическим зеркалом. Различают вогнутое, выпуклое и плоское зеркала. На основании основного уравнения сферической преломляющей поверхности можно получить основные закономерности отражения световых лучей, падающих на зеркальную поверхность. Это можно сделать с помощью условия перехода от одних закономерностей к другим. Для этого сопоставим закон преломления и закон отражения $\sin\alpha/\sin\beta = n_2/n_1$ (18); $\alpha = -\beta$ (19) Чтобы перейти от (18) и (19) необходимо допустить что $n_1 = -n_2$ (20) – условие перехода. С учётом (20) преобразуем выражения (10)

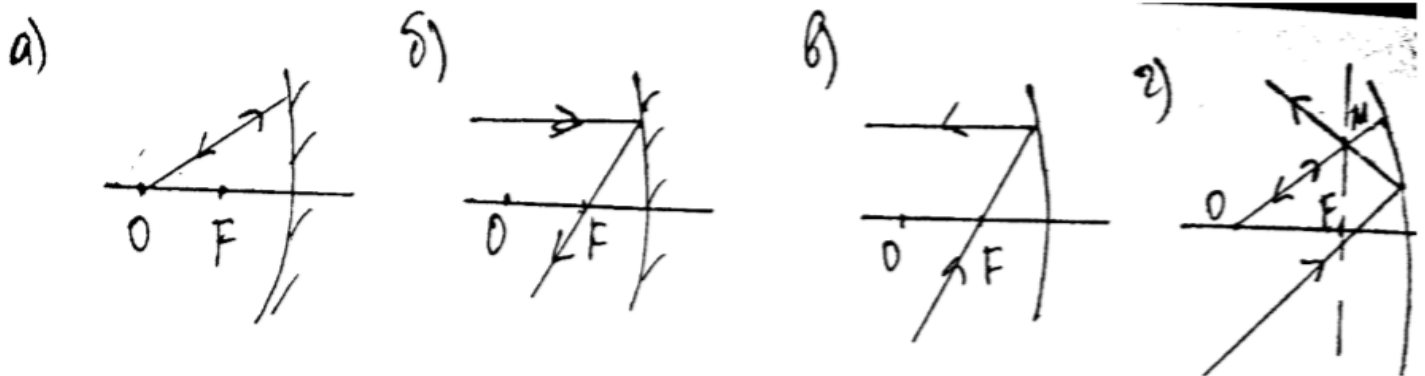
$$\frac{n_1}{d} + \frac{n_1}{f} = \frac{2n_1}{R} \Rightarrow \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad (21) \text{ - общая формула сферического зеркала}$$

8. Основные закономерности построения изображений предметов в оптических системах.

Закономерности: 1. Построение изображения характерных точек (крайних или точек излома)

2. Для построения изображения отдельной точки предмета необходимо построить ход не менее 2х лучей, исходящих из этой точки. Для этого используются лучи, ход которых известен на основании свойств оптической системы.

К таким случаям относятся



а) Луч, по направлению на (через) оптический центр системы

б) Луч, идущий параллельно главной оптической оси

в) Луч, идущий по направлению на (через) фокус

г) Луч, направление которого можно определить на основании свойства параллельного наклонного пучка: 2 луча, падающие на систему параллельным пучком после преломления либо отражения собираются в одной точке, лежащей на фокальной плоскости. В этой точки могут сходиться также их продолжение.

Примеры: 3. Изображение точки считается действительным, если получается на пересечении

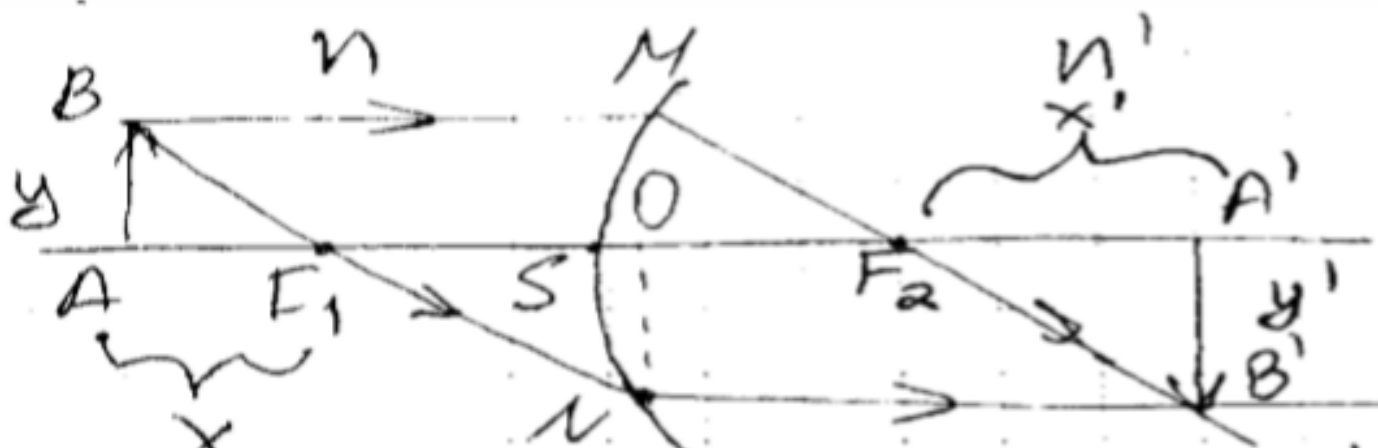
преломленных лучей, и мнимым, если на пересечении их продолжений.

Для выпуклого зеркала изображение всегда мнимое $1/d - 1/f = -1/F$

Для вогнутого при $d > F$ изображение действительное, при $d < F$ изображении мнимое. всегда действительный $1/d \pm 1/f = 1/F$

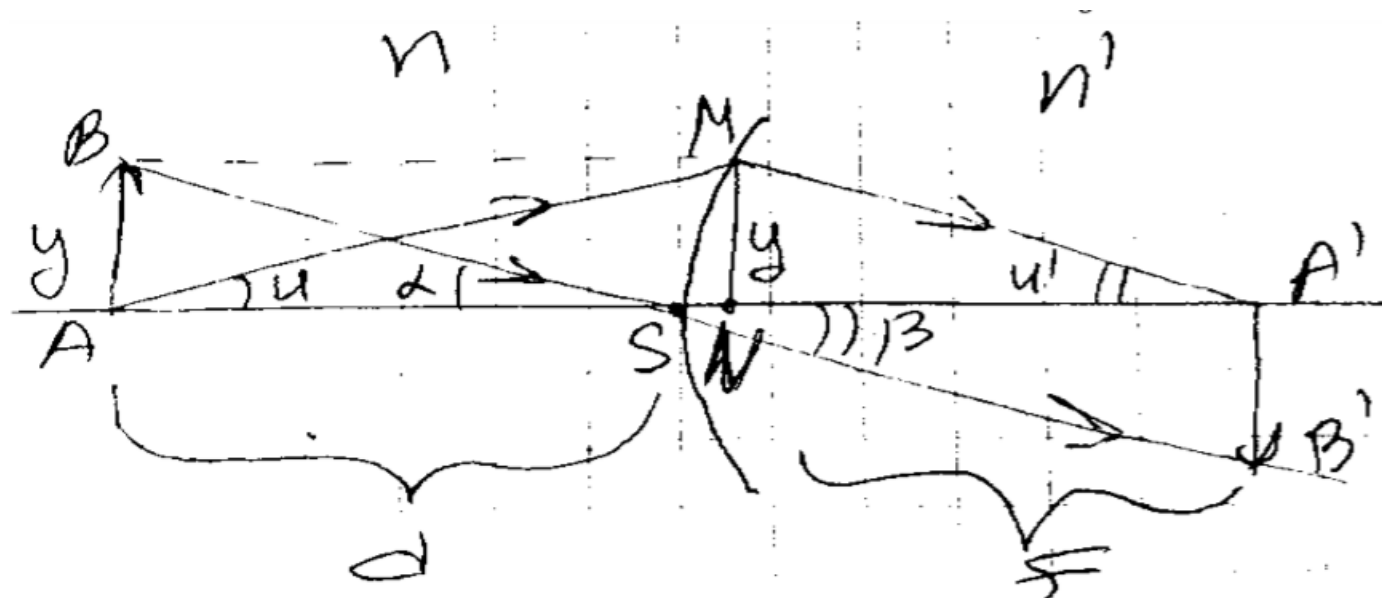
9.Увеличение одной преломляющей сферической поверхности. Теорема Лагранжа-Гельмгольца.

Пусть имеются две среды с показателем преломления n и n' . Эти среды отделены сферической поверхностью. Построим изображение предмета АВ:



Увеличение по определению: $k = y'/y$

Кроме линейного увеличения часто пользуются понятием углового увеличения: $\phi = \tan U' / \tan U$, где



U' и U – апертурные углы падающего и преломленного пучков соот. Для малых углов \tan угла равен самому углу $\rightarrow \phi = U' / U$

Апертурным углом предмета U назыв. угол, под которым виден предмет, помещенный в полюс пов-ти с места положения предмета. Апертурным углом изображения U' назыв. угол, под которым видно изображение.

$y'/y = n/n' = U/U' \rightarrow ynU = y'n'U'$ - инвариант(теорема) Лагранжа-Гельмгольца для параксиальной области.

$y \cdot n \cdot \sin U = y' \cdot n' \cdot \sin U'$ – для больших углов. Из этой теоремы следует, что преобразование данного светового пучка при помощи оптической системы в другой пучок любого наперёд заданного строения невозможен, т.к. эта теорема накладывает ограничение на произвольность построения изображения предмета.

10. Преломление света в линзах. Общая формула линзы. Увеличение тонкой линзы. Оптическая сила линзы.

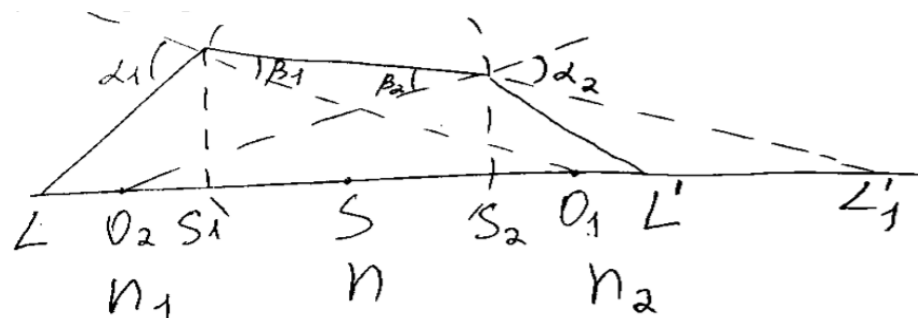
Оптической линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими преломляющимися поверхностями и способное формировать оптические изображения предметов. Для видимой области спектра в качестве оптического материала линз используют стекло, для ультрафиолета – кварц. Линия, проведённая через точки S_1 и S_2 , находящиеся в центрах сферической поверхности, называется главной оптической осью. Линза считается тонкой, если можно считать, что полюсы S_1 и S_2 сливаются в некоторой точке S . Точка S – оптический центр линзы. Особенность оптического центра: луч, проходящий через него, идёт без преломления. Главная оптическая ось проходит не только через оптический центр, но и через центр кривизны оптических плоскостей. Виды: -двояковыпуклая () -

двояковогнутая)_(-плосковыпуклая |) -
плосковогнутая |_(

Общая формула линзы

Пусть имеется тонкая линза с показат.

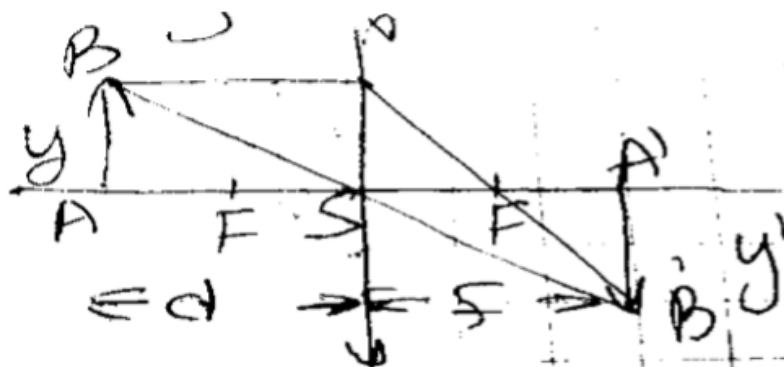
преломления n , ограниченная средами n_1 и n_2 .



$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = (n/n_{cp} - 1) * (1/R_1 - 1/R_2)$$
 –
общая формула
линзы.

$D = 1/F$ – оптическая сила линзы. Измеряется в
диоптриях [дптр]

Одна диоптрия равна
оптич. силе такой линзы, у которых фокус.
расстояние = 1 м. Для собирающих линз $D > 0$, для
рассеивающих $D < 0$.



Увеличение тонкой
линзы

Выразим k через др.
характерные отрезки.
Р/м $\triangle ABS$ и $\triangle A'B'S \Rightarrow$
они подобные $k = y'/y$
– линейное

увеличение A . $AB / A'B' = AS / A'S \rightarrow A'B' / AB = A'S / AS \rightarrow y'/y = f/d$, т.о. $k = f/d$

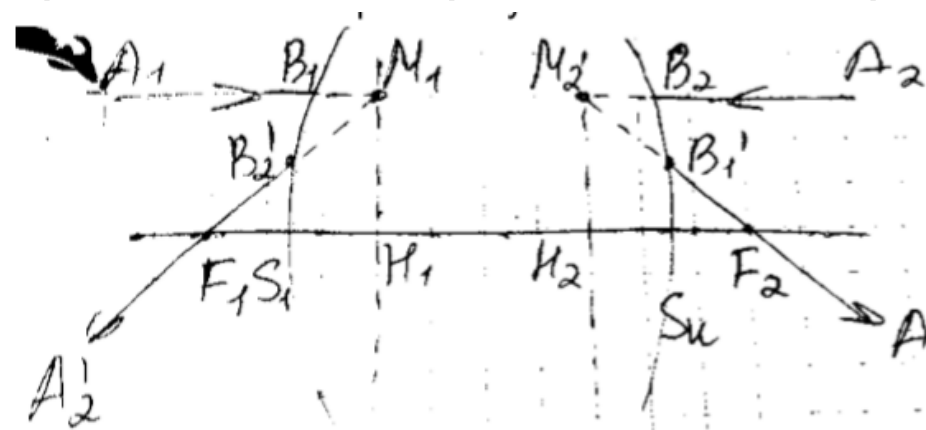
11. Центрированные оптические системы.

Основные понятия и хар-ки. Общая формула.

Сложная центрированная оптическая система.

Примеры.

Оптическая система назыв. центрированной, если центры кривизны всех сферич. преломляющих пов-тей системы лежат на одной линии. Линия, проведённая через оптич. центр кривизны сферич.



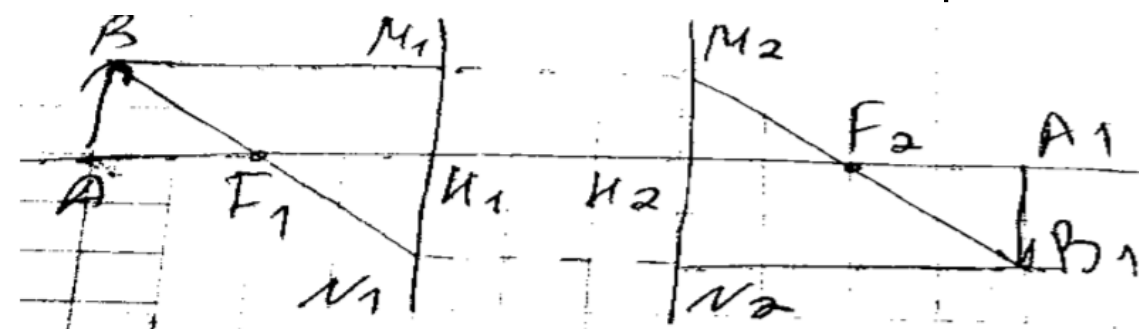
прелом. пов-тей явл. главной оптич. осью системы. Падающие свет. лучи на ц.о.с. испытывают преломления на каждой сферич.

пов-ти. Чтобы рассчитать те или иные хар-ки ц.о.с. необходимо было бы рассматривать преломления на каждой сферич. пов-ти, что явл. сложным процессом. В 18 в. Гаус предложил специальную теорию расчёта ц.о.с. Прежде всего следует отметить, что для ц.о.с. выполняется теорема Лагранжа-Гемгольца

Точка F_2 назыв. **задним главным фокусом** ц.о.с.

Точка F_1 назыв. **передним главным фокусом**

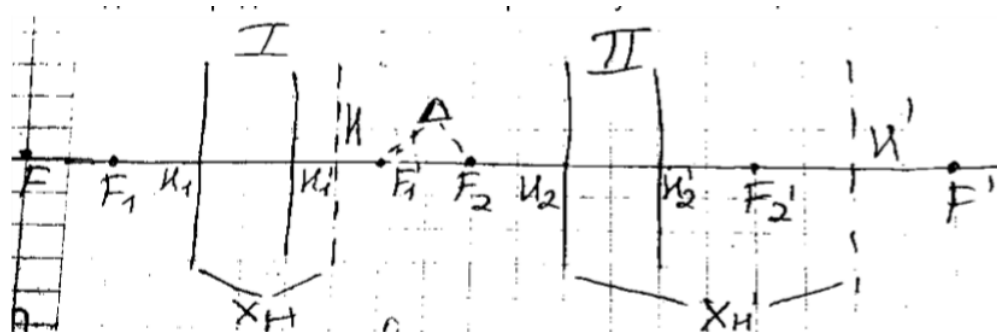
ц.о.с. Плоскости проведенные через точки M_1 и M_2 перпендикулярные глав.оптич. оси. Эти плоскости назыв. **главными плоскостями** ц.о.с. А точки



пересечения с глав. оптич. осями назыв. **главными точками** ц.о.с. (точки $H1$ и $H2$). При таком построении $M1$ и $M2$ будут сопряженными точками, т.е. $M1$ можно считать предметом, а $M2$ – изображением. Расстояние $F1H1$ и $H2F2$ является **фокусным расстоянием** ц.о.с

$N1H1 + M2H2 = N2M2 \rightarrow F1/d + F2/f = 1$ – общая формула ц.о.с.

Сложная центрированная оптическая система
Часто при расчётах заменяют действие двух ц.о.с.



одной. При этом необходимо определить основные характеристики получившейся

ц.о.с.

$F = - (F1F2) / \Delta$ - передний фокус

$F' = (F'1F'2) / \Delta$ - задний фокус

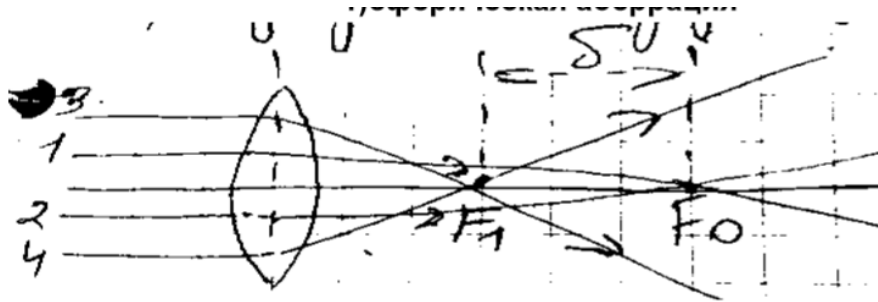
$x_H = F1(F'1 - F2) / \Delta$ и $x_{H'} = F'2(F'1 - F2) / \Delta$ - отрезки, определяющие расстояния главных плоскостей.

13.Аберрации оптических систем
(сферическая(кома), астигматизм, дисторсия, хроматическая аберрация) и методы их ликвидации. Условие ахроматизации системы. Уравнение Петцваля.

Реальные световые потоки не являются

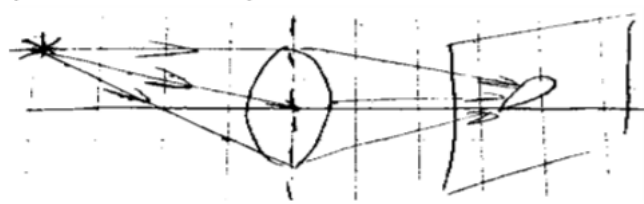
параксиальными, поэтому при прохождении широких световых пучков через оптическую систему наблюдаются различного рода искажения получаемых изображений. Эти искажения называются аберрацией.

Виды аберраций: 1) **сферическая аберрация**



Обусловлено различным преломлением крайних и центральных

лучей широкого пучка. Крайние лучи преломляются сильнее, центральные – слабее. При пересечении крайних лучей 3 и 4 пересекаются в F_1 . Различное



преломление лучей приводит к тому, что фокус размывается → получаем и размытое изображение.

Это называется сферической аберрацией.

Количественной характеристикой её является величина $\delta = F_1 - F_0$. Для собирающей линзы $\delta < 0$, для рассеивающей $\delta > 0$.

Частным случаем сферической аберрации является аберрация Кома. Это аберрация имеет место при падении на линзу широкого расходящегося пучка от источника, находящегося вне оптической оси линзы. В этом случае получается размытое изображение с хвостом. Ликвидация - подбор линз.

2) **астигматизм**

Имеет место при падении на линзу широкого наклонного пучка. В этом случае изображение получается в виде двух взаимно перпендикулярных

линий: сагиттальной и меридиональной. Эти линии пространственно разделены. Количественной характеристикой астигматизма является разность δ . Устраняется конструктивным способом (подбор линз).

3)дисторсия (кривизна поля изображения)

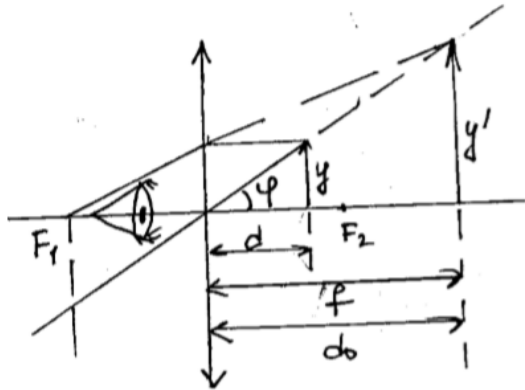
При получении изображения плоских предметов может наблюдаться нарушение геометрического подобия предмета и изображения. Оно проявляется в том, что искривляется плоская поверхность. Этот недостаток называли кривизна поля изображения. Перемещением экрана можно улучшить изображение одних участков и ухудшить других. В некоторых случаях изображение искривляется вследствие того, что световые лучи испытывают различные преломления по разным направлениям. Этот недостаток называют дисторсией. Дисторсия: -подушкообразная; - бочкообразная. Ликвидируют подбором линз.

4)хроматическая абберация

Часто на линзы падают пучки, состоящие из световых волн различной длины волны λ (сложные световые пучки / полихроматические). При пучках различных длин волн, фокус окажется размытым и окрашенным. Это называется хроматическая абберация. Её ликвидируют с помощью ахроматических систем, представляющих собой две линзы: положительные и отрицательные, с разной степенью зависимости показателя преломления n от длины волны λ .

12. Телескопическая оптическая система (лупа, микроскоп, зрительная труба).

а) Лупа или простой микроскоп. Получим изображение предмета,



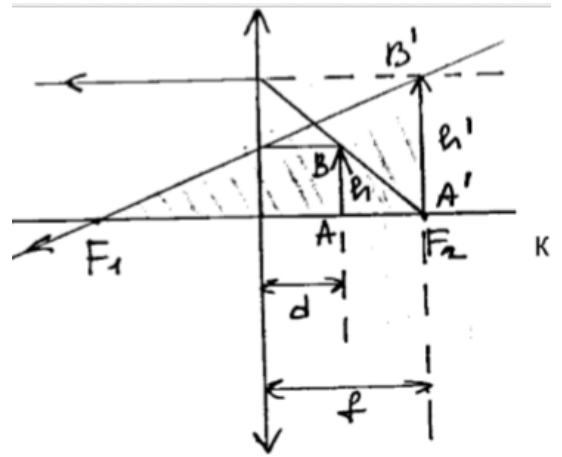
расположенного между фокусом и линзой. При движении АВ к линзе, изображение, оставаясь мнимым тоже приближается к линзе. Предмет

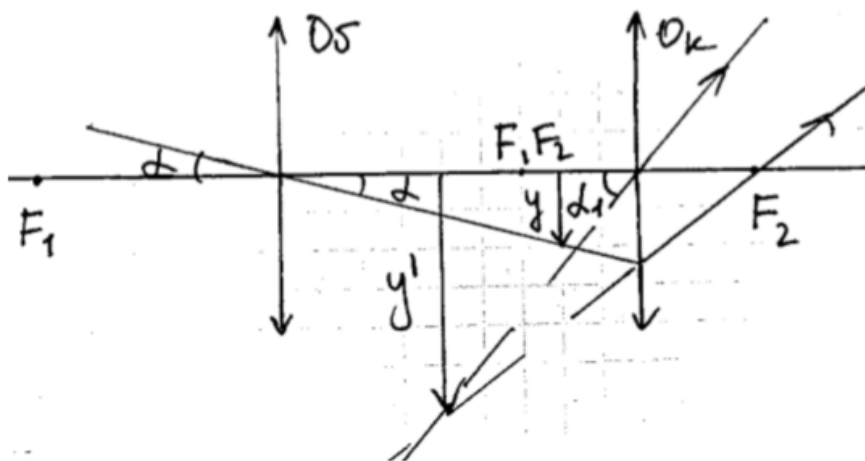
рассматривается на расстоянии лучшего зрения. Независимо от того, где именно находится предмет между линзой и фокусом, вершина изображения всегда находится на F_1B . Для наблюдения предмета через линзу: Объект у находится вблизи фокуса. Тогда: $\tan \varphi = y/d \approx y/F$; $f = d_0$; $\tan \varphi = y'/f \approx y'/d_0$; Отсюда: $k = y'/y = d_0/F$; $\approx y/F = y'd_0$; k – увеличение линзы; d_0 – расстояние наилучшего фокуса; Методика: приблизить глаз к самой линзе, потом передвигать предмет пока он не будет максимально увеличен.

б) Микроскоп
 $k = k_{об} * k_{ок}$; k – увеличение микроскопа; $k_{об}$ – увеличение объектива; $k_{ок}$ – увеличение окуляра;
 $k_{об} = f_1/d_1 \approx f_1/F_1$; $f_1 = F_1 + \Delta$; $k_{об} = (F_1 + \Delta)/F_1$; y' рассмотрим в окуляре в лупу $\Rightarrow k_{ок} = d_0/F_2$

$$k = k_{об} * k_{ок} = (F_1 + \Delta)d_0/F_1F_2 = |F_1 + \Delta \approx \Delta| = \Delta d_0/F_1F_2;$$

в) Зрительная труба



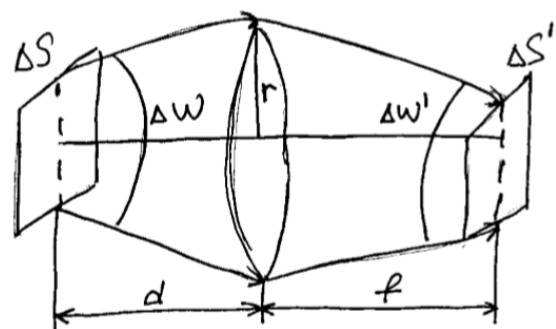


$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{F_1}; \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{y}{F_2}; k = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{y}{F_2} \cdot \frac{F_1}{y} = \frac{F_1}{F_2}$$

14. Световой поток, проходящий через оптическую систему.

Диафрагмы, светосила.

Будем считать, что световой поток ΔF , излучаемый площадкой ΔS распространяется внутри телесного угла $\Delta \omega$, а

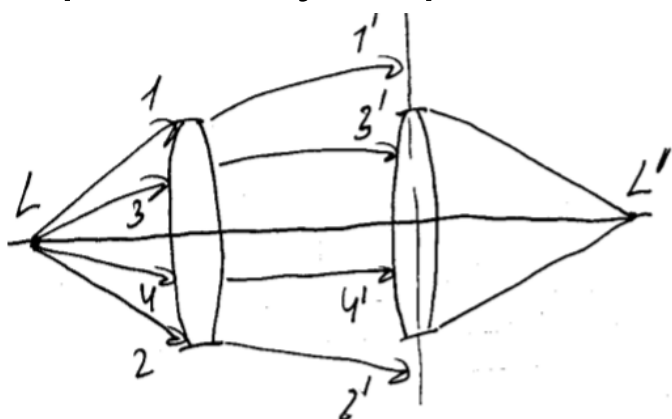


прошедший через линзу $\Delta F'$ распространяется внутри угла $\Delta \omega'$. Яркость площадки определяется формулой: $B = I / \Delta S$; $I = \Delta \Phi / \Delta \omega \rightarrow B = \Delta \Phi / \Delta S \Delta \omega \rightarrow \Delta \Phi = B \Delta \omega \Delta S$ (11). Световой поток, прошедший через линзу, определяется: $\Delta \Phi' = \rho \Delta \Phi$ (12), где ρ -

коэффициент пропускания ($\rho < 1$) $\Rightarrow \Delta \Phi' = \rho B \Delta \omega \Delta S$ (13)

Яркость $B' = I' / \Delta S'$; $I' = \Delta \Phi' / \Delta \omega' \rightarrow B' = \Delta \Phi' / \Delta S' \Delta \omega' \rightarrow \Delta \Phi' = B' \Delta \omega' \Delta S'$ (14)

Из (13) и (14): $B' \Delta \omega' \Delta S' = \rho B \Delta \omega \Delta S$



$= \rho B \Delta \omega \Delta S$ (15) Тогда: $B' = \rho B \Delta \omega / \Delta \omega' \cdot \Delta S / \Delta S'$ (16)

Выясним чему будет равно $\Delta S / \Delta S'$: $\Delta S' / \Delta S = ab' / ab = k^2$ (17), где a и b – поперечные размеры

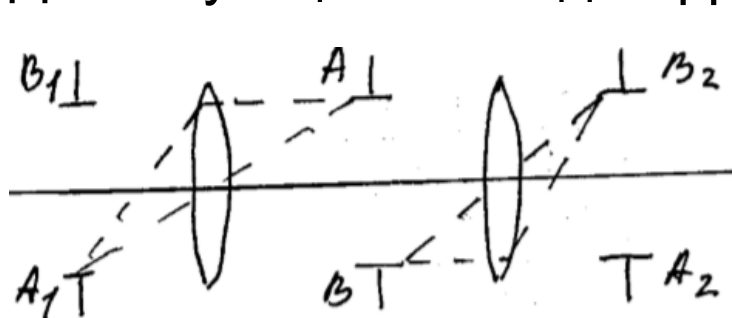
площадки. Определим $\Delta \omega / \Delta \omega' / \Delta \omega = \pi r^2 / d^2$;

$\Delta \omega' = \pi r^2 f^2$; Тогда $\Delta \omega / \Delta \omega' = f^2 / d^2 = k^2$ (18) Из (16),

(17), (18): $B' = \rho B k^2 (1/k^2) = \rho B$; (19) Из (19)

видим, что яркость полученного изображения зависит от яркости предмета и свойств оптической системы, которые заложены в коэффициенте пропускания ρ . В случае отдельной линзы, потери, а следовательно и коэффициент пропускания ρ зависит от коэффициента потерь β . При этом следует учитывать отражения на двух поверхностях линзы.

Тогда $\rho = (1 - \beta)^2$. Реальные оптические системы включают не одну, а несколько линз. При этом проходящий световой поток зависит от различных факторов. Второй линзу можно считать диафрагмой. В сложной оптической системе может быть несколько диафрагм, среди которых выделяют действующую (апертурная) диафрагму. Действующая – это диафрагма, изображение



которой в предыдущих линзах видно под наименьшим апертурным углом с места объекта.

B_1A_1 – входной зрачок B_2A_2 – выходной зрачок AB – действующая диафрагма Построим изображение в предыдущих и последующих линзах. Это изображение называется входным зрачком оптической системы. A_2B_2 –



является изображение действующей диафрагмы и называется выходным зрачком оптической

системы. Часто при расчетах используется понятие апертурные углов предмета и изображения.

Угол с вершины $L(u)$ – апертурный угол предмета

Угол с вершины $L'(u')$ – апертурный угол

изображения Одно из количественных

характеристик полученного изображения является

светосила. $L = (D/F)^2$, где F – фокусное

расстояние, D – оптическая сила В этом случае

освещенность: $E = kL$

15. Глаз как оптическая система.

Глаз по своему строению напоминает фотоаппарат.

Роль объектива выполняет совокупность

преломляющих сред (водянистая жидкость,

хрусталик и стекловидное тело). Хрусталик

представляет собой прозрачное тело, похожее на

двояковыпуклую линзу. Его форма может меняться,

в результате чего изменяется оптическая сила, и

тем самым наведение глаз на разно отдалённые

предметы. Это свойство глаза получила название

аккомодации. Границы расстояний, на которых

возможно аккомодация, носят название дальней и

ближней точек. Для нормального глаза дальняя

точка, который фиксируется без усилий, лежит в

бесконечности, а близкий - на расстоянии от 10 до

22 см в зависимости от возраста. В зрелом

возрасте пределы аккомодации сужаются. Перед

хрусталиком находится радужная оболочка, в

середине которой есть отверстие, что называется

зрачком. На сетевой оболочке получается

изображение предмета. Воспринимается

изображение светочувствительного элементами –

палочками и колбочками. Светочувствительные

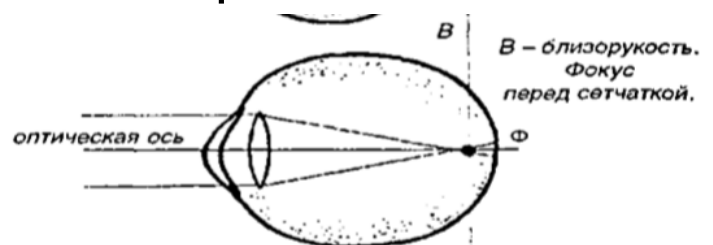
элементы являются окончаниями разветвлений

зрительного нерва,

который входит внутрь

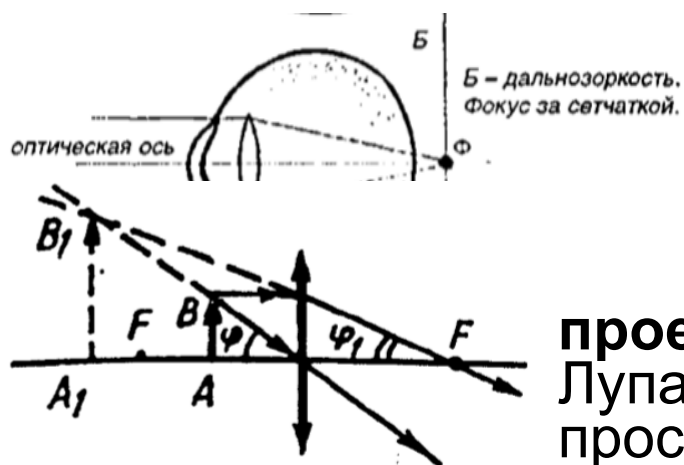
глаза сбоку от его

оптической оси. В месте,



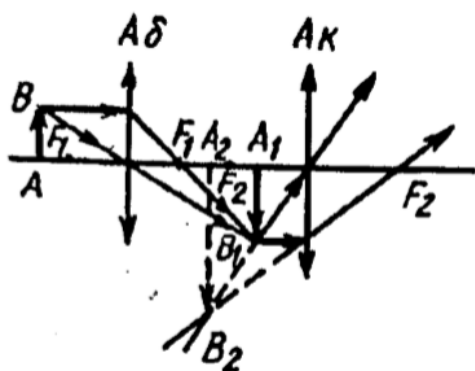
где зрительный нерв входит в глаз, находится так называемая слепое пятно. В этом месте глаз не обладает чувствительностью. Недалеко от слепого пятна находится желтое пятно, покрытое колбочками. Палочки более светочувствительные, но в отличие от колбочек они не распознают цвет. Оптическая система глаза имеет недостатки, при которых четкого изображения на сетчатке может не получиться. Если четкое изображение бесконечно удаленной точки при расслабленной мышце хрусталика получается перед сетчаткой, то глаз является близоруким, если же четкий образ получается за сетчаткой, то глаз называется дальнозорким. Для устранения этих недостатков применяются очки. Если глаз близоруким, применяют рассеивающую линзу, а если дальнозорким, - собирающую. Более серьезные дефекты, например, астигматизм, исправляются при помощи специальных очков с более сложными линзами. Если приближать рассматриваемый предмет к глазу, увеличивается угол зрения, а тем самым и размеры изображения на сетчатке. Это позволяет рассмотреть малые детали. Однако при максимально возможном приближении усиливается напряжение мышцы, которая деформирует хрусталик. Глаз устает. Для нормального глаза оптимальное расстояние для чтения и письма составляет около 25 см. Это расстояние называют расстоянием наилучшего зрения (d_0). Глаз человека обладает способностью приспосабливаться к освещенности, которая меняется в широких пределах. Процесс приспособления глаз к тому или иному уровню яркости света называется адаптацией. При увеличении яркости происходит световая адаптация, при уменьшении - темновая. Прямые солнечные лучи создают освещенность $\sim 10^5$ лк, а в полной темноте глаз различает предметы с

освещенностью 10-6 лк. Глаз способен воспринимает световые потоки в пределах 10-17 - 10-5 Вт. Освещенность объектов влияет также и на разрешающую способность глаза. Эта способность определяется углом разрешения глаза, т.е. углом, под которым виден разрыв между отдельными пунктами. За единицу остроты зрения принимают остроту зрения, которой соответствует угол разрешения глаза в 1'. При слабой освещенности разрешающая способность глаза может быть гораздо хуже, чем 1', и достигает 1°. Улучшение распознавания деталей возможно при помощи оптических систем, которые дают вместе с глазом изображение на сетчатке.

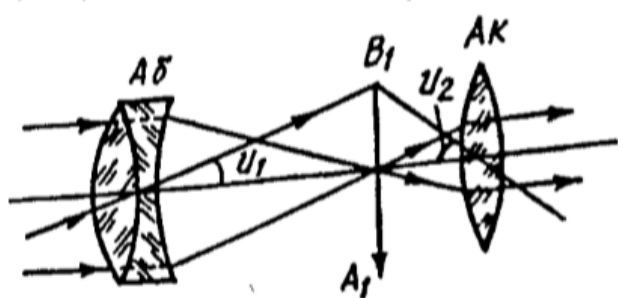


16. Оптические приборы (лупа, микроскоп, телескоп, фотоаппарат, проекционный аппарат)

Лупа представляет собой простую оптическую систему (одна или несколько линз) с небольшим фокусным расстоянием (от 10 см до 1 см). Лупа располагается перед глазом так, чтобы объект АВ находился близко к ее главной фокальной плоскости. В этом случае получается мнимый, прямой, увеличен изображение А1В1 на расстоянии наилучшего зрения ($d_0 = 25$ см) или в бесконечности, т.е. рассматривается глазом без усиления аккомодации. Независимо от способа наблюдения увеличение лупы определяется формулой: $k = d_0/F$.



Микроскоп представляет собой комбинацию двух оптических систем (объектива и окуляра), которые расположены на значительном расстоянии друг от друга. Микроскоп служит для получения больших увеличений. Объект АВ располагается близко около главного фокуса F_1 объектива (Об), который дает увеличенное настоящие изображение A_2B_2 . Его рассматривают через окуляр и получают мнимое увеличенное изображение A_2B_2 на расстоянии наилучшего зрения (d_0). Увеличение, которое дает микроскоп, может быть определена через увеличение объектива и окуляра: $k = k_1 k_2$. Если обозначить через Δ расстояние между задним фокусом объектива



и передним фокусом окуляра, то увеличение микроскопа $k = \Delta d_0 / F_1 F_2$

Для разглядывания деталей удаленных объектов служит подзорная труба (телескоп). Она, как и микроскоп, состоит из объектива и окуляра. Объектив (Об) дает в задней фокальной плоскости обратное уменьшенное изображение (A_1B_1) удаленного предмета, который рассматривается в окуляр (Ок) как в лупу. Для нормального глаза при аккомодации на бесконечность задний фокус объектива должен совпадать с передним фокусом окуляра. Параллельный пучок света после прохождения через трубу, которая установлена на бесконечность, остается параллельным, т.е. подзорная труба является телескопической оптической системой. Увеличение таких систем равно отношению ширины падающего пучка лучей к ширине соответствующего пучка, который выходит, или отношению фокусных расстояний объектива и окуляра: $k = F_1 / F_2$. Для получения увеличенных изображений на

экране с негативов, позитивов, чертежей, текста и др. применяются проекционные аппараты.

Проекционный прибор, который предназначен для проецирования непрозрачных предметов MN1, называется эпископом.

Для проецирования прозрачных объектов (MN) применяются диаскопы. В некоторых приборах скомбинировано оборудование для проецирования прозрачных и непрозрачных тел. Такие приборы получили название эпидиаскопа. Фотоаппарат можно рассматривать как более простой проекционный аппарат, объектив которого дает настоящий изображение предмета в плоскости, где располагается светочувствительная пленка или пластинка.

17. Понятие о когерентности. Явление интерференции.

Распространение волны в среде описывается уравнениями:

$$x_1 = A_1 \cos \omega(t - r_1/v) \quad x_2 = A_2 \cos \omega(t - r_2/v) \quad \text{где } x_1, x_2 -$$

смещение точек среды от положения равновесия; A_1, A_2 - амплитуда колебаний; ω - циклическая (круговая) частота; v - скорость распространения волн; r_1, r_2 - расстояние, которое проходит каждая волна до точки

$$\bar{A}^2 = \frac{1}{t} \int_0^t A^2 dt = \frac{1}{t} \int_0^t (A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)) dt$$

$$\bar{A}^2 = \bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2 + 2\bar{A}_1 \bar{A}_2 * \frac{1}{t} \int_0^t \cos(\varphi_2 - \varphi_1) dt \quad (4)$$

наблюдения за время t .

$$\varphi_1 = \omega(t - r_1/v) \quad \text{и} \quad \varphi_2 = \omega(t - r_2/v) \quad (1)$$

φ_1 и φ_2 - фазы колебания волн. Волны распространяясь в среде, могут накладываться друг на друга, в результате образуется некоторая результирующая волна.

$2A_1 A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$
волной $\sim A_2$, т.е. $W \approx k A_2$

$A^2 = A_1^2 + A_2^2 +$
Энергия переносимая

В случае световой волны вместо энергии чаще используют понятие интенсивности: $I \approx kA^2$

Поскольку при распространении интенсивность I меняется, то используют среднюю интенсивность: $\bar{I} \approx k\bar{A}^2$. Найдём \bar{A}^2

Рассмотрим два частных случая:

2) $\varphi_2 - \varphi_1 = \text{const}$ - когерентные волны $\bar{A}^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ В этом случае результирующая интенсивность $I \neq I_1 + I_2$ и

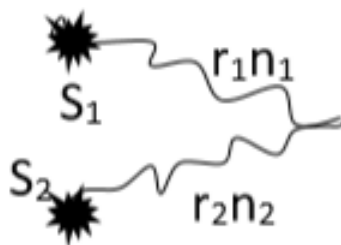
1) $\varphi_2 - \varphi_1 \neq \text{const} = \varphi(t)$, тогда (4):

$$\bar{A}^2 = \bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2 + 2\bar{A}_1 \bar{A}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (5)$$

$$\bar{I}_1 \sim k\bar{A}_1^2 \quad \bar{I}_2 \sim k\bar{A}_2^2, \quad \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$$

(5) преобразуем в $\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$ (6) - обычное суммирование интенсивностей составляющих волн.

говорят, что при наложении волн имеет место их интерференция, то есть результирующая интенсивность не равна обычной сумме составляющих интенсивностей.



Пусть имеется два когерентных источника, находящихся в среде с показателем преломления n_1 и n_2 .

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \left(\frac{r_2 n_2}{\lambda} - \frac{r_1 n_1}{\lambda} \right) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_2 r_2 - n_1 r_1)$$

Тогда в точке В имеет

место двух когерентных волн. Выясним каков будет результат такого наложения. $n = c/v$, где c - скорость света в вакууме

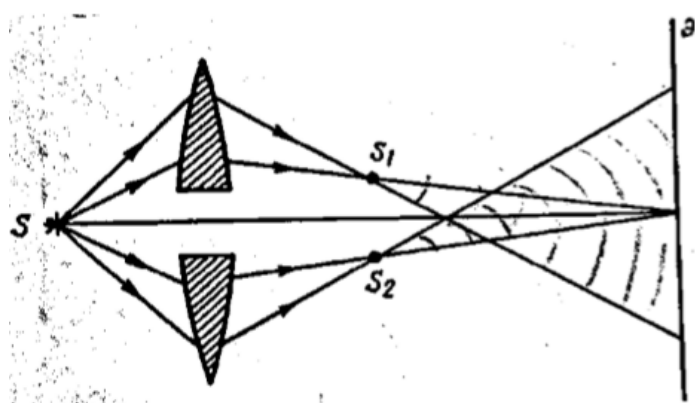
При наложении когерентных волн имеет место интерференция, которая представляет собой чередование максимумов и минимумов интенсивности света. Условие max: $\cos(2\pi\Delta/\lambda) = 1$. k - порядок интерференции.

$2\pi\Delta/\lambda = 2\pi k \rightarrow$ Условие max интенсивности при

интерференции $\Delta = 2k \cdot \lambda/2$ Согласно этому условию max наблюдаются в тех точках для которых разность хода двух лучей составляет четное число полуволн. Целое число k назыв. порядком интерференции или номером интерференционной полосы. Результирующая амплитуда будет минимальной если: $\cos(2\pi\Delta/\lambda) = -1$
 $2\pi\Delta/\lambda = (2k + 1)\pi \rightarrow \Delta = (2k + 1)\lambda/2$ – условие min при интерференции. Согласно этому услов min будет там, где разность хода составляет нечетное число длин полуволн).

18. Способы получения когерентных волн (метод Юнга, бизеркала Френеля, бипризма Френеля, билинза Бийе, зеркало Ллойда).

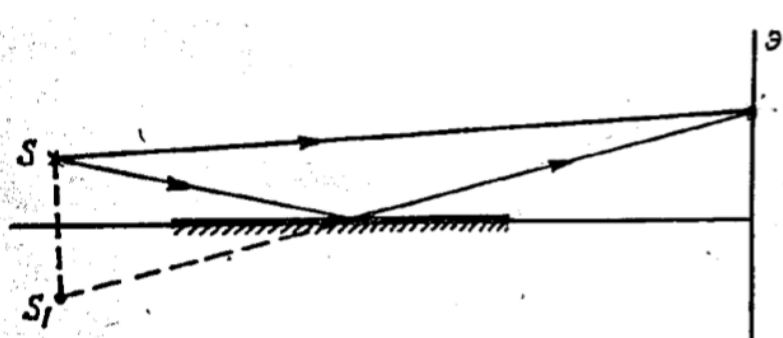
Билинза Бийе



Тонкая сферическая линза разрезается по диаметру и ее половинки разводятся на небольшие расстояния. Образовавшийся промежуток закрывают непрозрачным экраном.

Источник света S помещен на оси симметрии системы на двойном фокусном расстоянии от линзы. Получаем два когерентных источника S_1 и S_2 . В области их перекрытия наблюдается интерференционная картина. В зависимости от расстояния источник от линзы могут получаться мнимое изображение

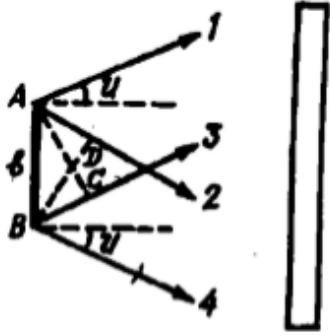
Зеркало Ллойда



Источник света S расположен вблизи зеркала. От него падает на зеркало под углом близким к 90° градусам луч света. Роль

когерентных источников выполняют сам источник S и его изображение в зеркале S_1 . Характерной особенностью интерференционной картины является то, что в центре её всегда будет минимум. Центральные лучи, проходя один геометрический путь имеют разность хода $\lambda/2$. При отражении одного луча от зеркала происходит сдвиг фазы на π , т.е. потеря половины волны.

19. Распределение интенсивности света в интерференцион. картине. Влияние размеров и некогерентности источника на интерференционную картину.



$P.$

Реальные источники света имеют определённый размер и не являются точечными. Выясним, каким образом влияют размеры источника и его некогерентность на получающуюся интерференционную картину.

AB – протяженность источника, $\angle U$ – апертурный угол. В общем случае указанные лучи могут быть некогерентными, поэтому на их пути устанавливают устройство для получения когерентных волн. В этом случае в т. Р будет образовываться интерференционная картина, вид которой зависит от соответствующей разности хода пришедших в т. Р лучей. Считаем, что в т. Р приходят лучи 1, 2, 3, 4. Пусть лучи 1, 2 приходя в т. Р приобретают разность хода ΔA , а лучи 3, 4 – ΔB . При наложении этих пучков возможно:

а) $\Delta A = \Delta B \Rightarrow \text{max}(\text{min})$; Интерференционная картина будет резкой.

б) $\Delta A - \Delta B = \lambda/2$;

max накладывается на min – гасят друг друга. Интерференционная картина будет размытой.



в) Довольно резкая интерф. картина будет при условии: $\Delta A - \Delta B \leq \lambda/4$ (13) Распишем (13). Для этого определим разности хода: $\Delta A = l_2 - l_1$;

$\Delta B = l_4 - l_3$;

$\Delta A - \Delta B = (l_2 - l_1) - (l_4 - l_3) = (l_2 - l_1) + (l_3 - l_4)$;

$\Delta A - \Delta B = (l_2 - l_4) + (l_3 - l_1)$

Из рис: $l_2 - l_4 = AD$; $(l_3 - l_1) = BC$;

$\Delta A - \Delta B = AD + BC$ (15)

Если учесть апертур. угол U , то: $AD = b \sin U$;

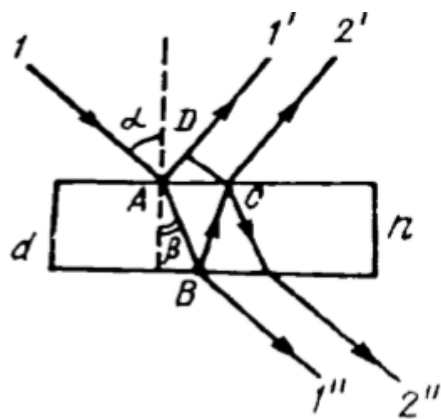
$BC = b \sin U$; $\Delta A - \Delta B = 2b \sin U$ (16) Из (13) и (16):

$2b \sin U \leq \lambda/4$ (17). (17) позволяет определить размер источника и соответствующий апертурный угол U , при котором результирующая интерференционная картина будет достаточно резкой. Выясним, каким образом на интерференционную картину будет влиять некогерентность световых пучков. Её будем оценивать интервалом $\Delta\lambda$ между \max и \min длинами волн для светового пучка. $\min - \lambda$; $\max - \lambda + \Delta\lambda$;

Допустим, что в какой-то момент времени \max m и соседняя $m+1$ расположены как на рис. И это расположение соответствует для какой-то длины λ . Так как световой пучок имеет и другие длины волн ($\lambda + \Delta\lambda$), то аналогичные распределения \max и \min будет иметь место и для последней длины волны. При определённых условиях может оказаться, что совпадут \max m -ый для $\lambda + \Delta\lambda$ и \max $m+1$ для λ . А это означает, что между \max m и $m+1$ будут располагаться \max -ы для промежуточных значений λ . Такое располож. приведёт к тому, что интерференционная картина будет размытой. Для определения порядка интерференции m начиная с того, когда картина размывается.

$(m + 1) \lambda = m(\lambda + \Delta\lambda) \Rightarrow m = \lambda/\Delta\lambda$ (18) Резкая картина при порядке $< m$.

20. Интерференция при отражении и



преломлении света в тонких плёнках и пластинах. Полосы равного наклона.

Пусть есть тонкая пластина с показателем преломления n и толщиной d . На нее падает луч света под $\angle \alpha$. В т. А луч 1 частично отражается в виде луча

1' и частично преломляется под $\angle \beta$. За счет отражения и преломления формируются два луча 1' и 2' в отраженном пучке и лучи 1'' и 2'' в прошедшем пучке. Эти пучки являются попарно когерентными. При их наложении наблюдается интерференционная картина. Р/м по отдельности интерференционную картину для отражен. и прошед. пучков:

а) Отраженный пучок. Найдём оптическую разность хода для 1' и 2': $\Delta = L_2 - L_1$ Для этого построим волновой фронт CD, после которого лучи распространяются синхронно. Отставание друг от друга для этих лучей происходит до фронта CD.

Найдём оптический длины путей: $L_1 = AD + \lambda/2$; $L_2 = n(AB + BC)$ Распишем разность хода: (+ $\lambda/2$ получаем за счет того, что в т. А первый луч отражается от более плотной среды, происходит потеря полуволны) $\Delta = L_2 - L_1 = n(AB + BC) - AD - \lambda/2$ (1); $\triangle ABC: AB = BC = \alpha / \cos \beta$ (2); $\triangle ADC: AD = AC \sin \angle ACD = AC \sin \alpha$;

$$AC = 2d \tan \beta \Rightarrow AD = 2d \tan \beta \sin \alpha \quad (3)$$

$$\text{Из (1)-(3): } \Delta = 2dn \cos \beta - 2d \tan \beta \sin \alpha - \lambda/2 \quad (4)$$

$$\text{Согласно закону преломления: } \sin \alpha / \sin \beta = n \Rightarrow \sin \alpha = n \sin \beta \quad (5)$$

$$\text{С учетом (4) и (5): } \Delta = 2dn \cos \beta - 2d \sin \beta \cos \beta \sin \alpha -$$

$$\lambda/2 = (2dn - 2d \sin \beta \sin \beta) / \cos \beta - \lambda/2 = 2dn(1 - \sin^2 \beta) / \cos \beta - \lambda/2 \quad (6)$$

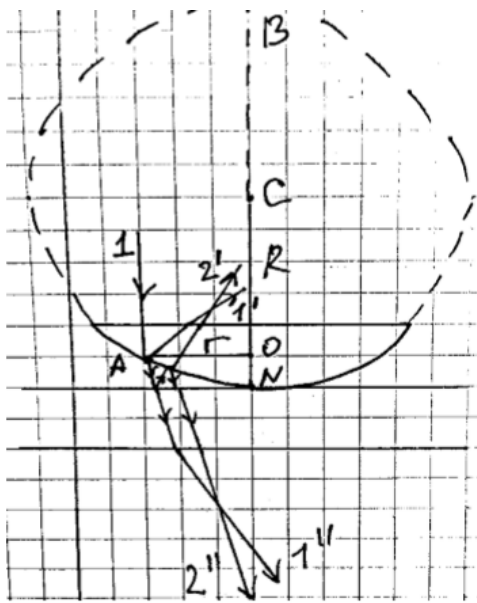
Из (6): $\Delta = 2dn \cos \beta - \lambda/2 \quad (7)$

Мак интерференции будет наблюдаться если:
 $\Delta = 2k * \lambda/2$, т.е. $2dn \cdot \cos \beta - \lambda/2 = 2k * \lambda/2 \Rightarrow 2dn \cos \beta = (2k + 1)\lambda/2 \quad (8)$ - условие max интерференции в отраженных лучах. При min будет четное число длин волн: $\Delta = (2k + 1)\lambda/2 \Rightarrow 2dn \cos \beta - \lambda/2 = (2k + 1)\lambda/2 \Rightarrow 2dn \cos \beta = 2k * \lambda/2 \quad (9)$ - условие min интерференции в отраженных лучах. Из (8) и (9) видим, что порядок интерференции зависит от угла преломления β , который зависит от угла падения α . Отсюда и название «полосы равного наклона».

б) Прошедший пучок: $\Delta = n(BC + CN) - BF; \quad \Delta = 2dn \cos \beta$
 Условие max: $\Delta = 2k * \lambda/2$
 $= 2dn \cos \beta = 2k * \lambda/2 \quad (10)$

Условие min: $\Delta = (2k + 1)\lambda/2 = 2dn \cos \beta = (2k + 1)\lambda/2 \quad (11)$

Сопоставляя полученные выражения (8) -(11) видим, что интерференционные картины в отраженных и прошедших пучках дополняют друг друга или взаимно заменяют. Из рисунка также видно, что лучи 1', 2' и 1'', 2'' параллельны друг другу соответственно. Это означает, что они могут накладываться в бесконечности. То есть говорят, что полосы равного наклона локализованы в бесконечности. Для наблюдения интерференционной картины используют собирающую линзу (глаз). Тогда в фокальной плоскости наблюдаются полосы равного наклона.



21. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона

Особым случаем полос равной толщины являются кольца Ньютона. Интерференционная картина в этом случае имеет вид концентрических колец (светлых и темных). Выясним причину возникновения интерференционной картины. Когерентные пучки,

обуславливающие получение соответствующей картины, формируются за счёт отражения и преломления на поверхности клиновидной полосы. Это полость образуется так: На плоскопараллельную пластинку помещают плосковыпуклую линзу (большой радиус кривизны) таким образом, что выпуклая поверхность линзы контактирует с поверхностью пластинки в некоторой точке N. В этом случае геометрическим местом точек одинаковой толщины являются окружности. Поэтому интерференционные полосы будут иметь вид концентрической окружности с центром в точке соприкосновения линзы и пластинки. Интерференционные полосы можно наблюдать как в отражённом, так и в прошедшем свете. Определим радиусы интерференционных колец r . Для этого рассмотрим выпуклую поверхность линзы с радиусом сферической поверхности R . Отрезок ON – толщина клиновидной полости d . Отрезок AC – радиус сферы R . Отрезок OA – радиус кольца r . Определим разность хода для (отраженного пучка)

$$1' \text{ и } 2'. \quad \Delta = 2d + \lambda/2 \quad (17)$$

Потеря половины длины волны ($\lambda/2$) – при отражении второго луча от поверхности пластинки
 $\triangle ABO \sim \triangle AON$: $ON/OA = OA/OB$ (18)

$$OB = 2R - d \approx 2R \text{ Из (18)}$$

$$d/x = r/2R \rightarrow d = r^2/2R \rightarrow (17)$$

$$\Delta = 2r^2/2R + \lambda/2 = r^2/R + \lambda/2 \quad (18') \text{ max для светлого кольца } \Delta = 2k * \lambda/2 \quad r^2/R + \lambda/2 = 2k * \lambda/2$$

$$r^2 = (2k - 1)R * \lambda/2 \quad \Rightarrow \quad r \text{ св.отр} = \sqrt{(2k - 1)R * \lambda/2} \quad \text{min для темного}$$

$$\text{кольца } \Delta = (2k - 1) \lambda/2$$

$$r^2 = kR \lambda \Rightarrow r_{\text{т.отр}} = \sqrt{kR \lambda} \quad (20)$$

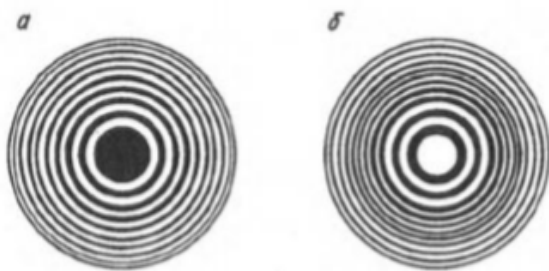
Для прошедшего пучка 1" и 2"

$$\Delta = 2d = r^2/R$$

$$\text{Для max светлое кольцо } r_{\text{св.пр}} = \sqrt{kR \lambda}$$

$$\text{Для min темное кольцо } r_{\text{т.пр}} = \sqrt{(2k - 1)R * \lambda/2}$$

Центр колец в отраженном свете – тёмный, а в прошедшем – светлый.



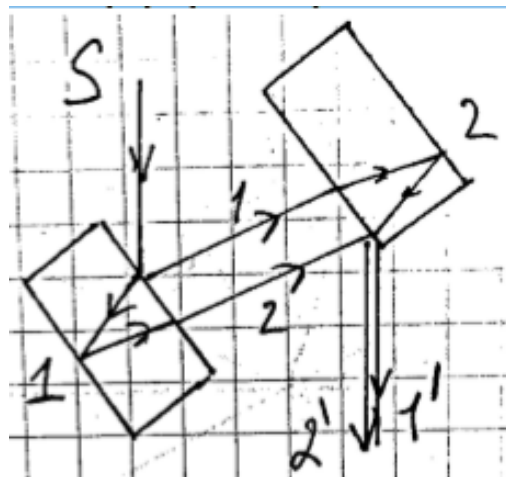
22.Интерферометры (интерферометр Жамена, Майкельсона). Многолучевая интерференция (интерферометр Фабри-Перо, ЛюмераГерке)

Интерферометрами называют оптические

измерительные приборы, действие которых основано на явлении интерференции света.

Интерферометр Жамена

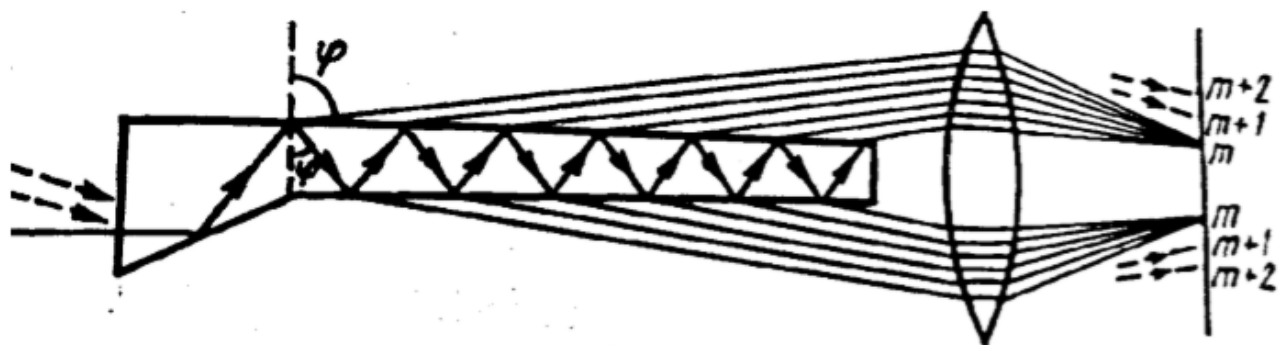
состоит из двух плоскопараллельных пластинок (из стекла, для ультрафиолетовой области спектра – из кварца),



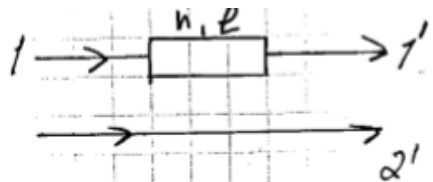
расположенных параллельно друг другу. Луч света от источника S падает на первую пластину, часть лучей отражается от ее передней грани, а часть, которая преломляется, отражается от задней грани и образует два когерентных луча, отражаясь от второй пластины также образует два когерентных луча. Эти лучи образуют интерференционную картину. Разность хода в них равна: $\Delta = 2hn(\cos\beta_1 - \cos\beta_2)$, где h - толщина пластинки; n - показатель преломления пластинок; β_1 и β_2 - углы преломления света в них. Поскольку разность хода Δ зависит от направления падающих лучей, то в интерферометре получаются полосы равного наклона. Для них наблюдения часто используют подзорную трубу с небольшим увеличением.

Интерферометр Люмера-Герке. Он представляет собой плоскопараллельные пластинку из однородного стекла или плавленого кварца. Лучи света от источника направляются на срезанный конец пластинки (или на основу треугольной призмы) так, чтобы на границе раздела луч падал под углом немного меньшим, чем предельный. Пучки света испытывают многократное отражение от поверхностей пластинки и выходят из нее с

примерно одинаковой интенсивностью. Можно получить до 10 - 15 таких пучков с каждой стороны пластинки. В пластинке Люмера - Герке наблюдаются интерференционные полосы очень высокого порядка.



23. Применение интерференции в науке и технике. Просветление оптики, интерференционные зеркала и светофильтры.



1. Для определения малых толщин l Лучи, которые интерферируют. Если на пути луча 1, разместить кювету длиной l , которая заполнена веществом с показателя преломления n , луч 2' проходит в воздухе, то между лучами возникает дополнительная разность хода: $\Delta = nl - l = l(n - 1)$ Изменение разности хода приведет к соответствующему смещению интерференционных полос на величину k : Мах: $\Delta = 2k \lambda / 2 = k\lambda$, $\Rightarrow k\lambda = l(n - 1)$ $l = k\lambda / (n - 1)$ (*) Появление разности хода вызывает сдвиг интерференционной картины на некоторое кол-во полос.

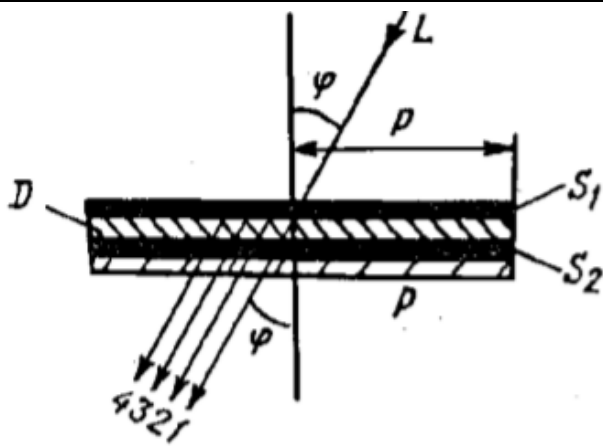
2. Определение показателя преломления $n \rightarrow n = 1 + k\lambda / l$, если известно k , l и λ

3. Определение длины волны $\lambda \rightarrow \lambda = l(n-1) / k$, если известны k , l и n

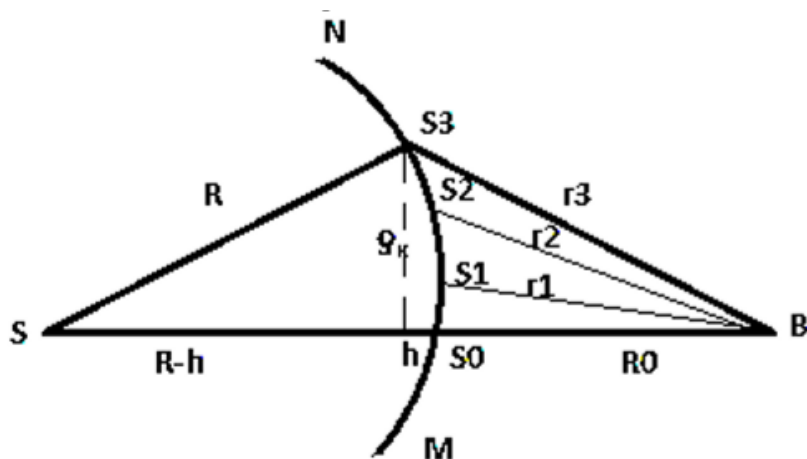
4. Просветление оптики

Используется в оптических приборах для получения качественных изображений предмета. Оптика (линзы) в этих приборах хорошо отполирована и при падении светового пучка, часть его может отражаться и давать блик в виде изображения предмета в отраженных лучах. Для устранения используется явление интерференции.

6. Интерференционные зеркала, светофильтры. Если нужна увеличить коэффициент отражения, используют явление интерференции. интерференционного светофильтра. На стеклянную плоскопараллельных пластинку P путем испарения в вакууме наносятся зеркальные слои $S1$ и $S2$ с высоким коэффициентом отражения и небольшим коэффициентом пропускания, а также прозрачный разделительный слой D . Луч L внутри светофильтра будет многократно отражаться, благодаря чему возникает множество лучей 1, 2, 3, 4, ..., которые при наложении интерферируют. Оптическая толщина разделительного слоя nd равна $\lambda / 2$ или $k\lambda / 4$, где k составляет несколько единиц. Если на интерференционный светофильтр падает излучение с безудержным? спектром, то он выделяет квазимонохроматичное излучение с очень резким максимумом около длины волны максимального пропускания.



24. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Зонная пластинка. Объяснение прямолинейного распространения света согласно волновой теории. Геометрическая оптика как предельный



Основы теории дифракции были заложены Гюйгенсом в 17 веке в трактате о свете: Каждая точка среды, до которой доходит волновой фронт

становится источником вторичных сферических волн, огибающая к которым является волновым фронтом в последующий момент времени. случай волновой оптики. Метод графического сложения амплитуд.

Сущность метода: волновой фронт разбивается на отдельные зоны, т.о., что расстояние от двух соседних зон до точки наблюдения В отличается на $\lambda/2$. Т.е. в нашем случае $BS1 - BS2 = \lambda/2$ и т.д.

Амплитуда от некоторой зоны A_k будет зависеть от:

1) От площади ΔS зоны Френеля 2) От расстояния r_k до точки наблюдения В 3) От угла падения $\square k$

лучей, идущих от k -ой зоны на элементарную площадку в т. В. Площади всех зон Френеля одинаковы, т.е. результирующая амплитуда не зависит от точки входа. Интенсивность света в т. В можно увеличить или уменьшить. Это можно

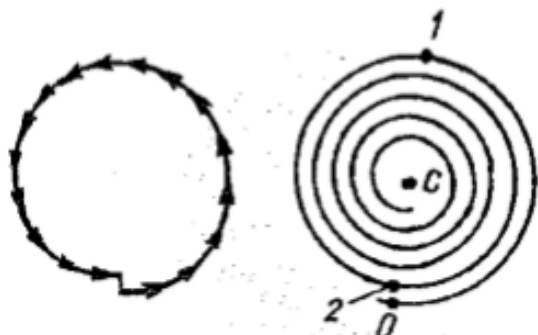
осуществить с помощью зонной пластинки с открытыми чет. или нечет. зонами. Зонная пластина – это экран с прозрачными и непрозрачными кольцами, радиус которых

$$\pi \rho_k^2 = k \frac{\pi R r_0 \lambda}{R + r_0}; \quad \rho_k = \sqrt{k \frac{R r_0 \lambda}{R + r_0}}$$

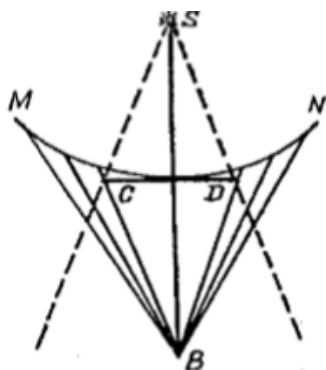
осуществить с помощью зонной пластинки с открытыми чет. или нечет. зонами.

Задачу о распространении света от S до точки наблюдения можно решить методом графического сложения амплитуд (колебаний), обладающих некоторой разностью фаз: Волновая поверхность разбивается на равные по площади кольцевые зоны аналогично зонным Френеля, но более узкие (подзона). Фаза колебаний от этих подзон считается постоянно. Колебания от каждой подзоны показывают в виде вектора, длина которого равна амплитуде колебаний, а угол между вектором и направлением, принимаемым за начало отсчета (ось x) определяет начальную фазу колебания. Амплитуда колебаний уменьшается при переходе от одной зоны к другой: $[0;1] > [1;2]$ Каждое следующие колебание отстает по фазе на одну и ту же величину. Поэтому векторная диаграмма имеет вид ломанной спиралеподобной

линии. Фазы колебаний в т. 0 и 1 отличается на π
 Участок 0-1 – это первая зона Френеля, 1-2 –
 вторая зона Френеля и т.д. Вектор из т. 0 в С будет
 показывать колебания в точке наблюдения
 возбуждаемые всей волновой поверхностью.



25. Дифракция Френеля на круглом отверстии, на круглом экране, на краю полубесконечного экрана. Метод графического сложения амплитуд.

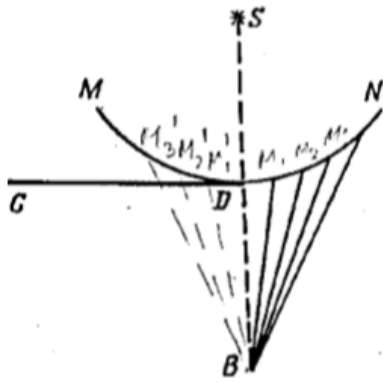


Дифракция на круглом отверстии

Дифракция на круглом экране CD закрывает k зон Френеля. Тогда, на незакрытой части фронта MN от $k+1$ до ∞ : $AB = (Ak+1)/2$. Таким образом в центре геометрической тени экрана всегда будет свет, интенсивность которого будет зависеть от

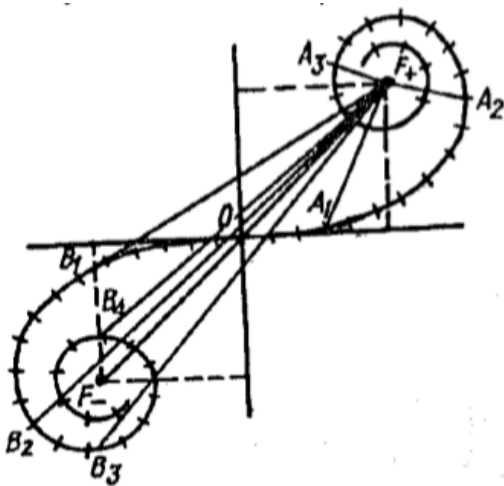
количества закрытых зон Френеля. Если CD очень велико, то $Ak+1$ 2 очень мало и интенсивность в точке В небольшая

Дифракция на краю полубесконечного экрана



В этом случае сферическая волновая поверхность делится на зоны плоскостями, проходящими через S параллельно краю экрана. Расчеты показывают, что площади зон не одинаковые, а относятся как

1:0,41:0,32:0,27:0,23:0,22... Для определения распределения интенсивности используют графический метод сложения амплитуд: так как площади зон не равны, то и кривая более сложная. В начале векторная диаграмма покатая, т.к. сразу площади соседних зон сильно отличаются друг от друга, потом переходит в спираль, её называют спираль Корню. С помощью векторной диаграммы можно найти амплитуду колебания для точек, находящихся на любом расстоянии от края геометрической тени. Для т. В, лежащий на границе геометрической тени, все зоны будут закрыты. Результат всех открытых зон справа будет отрезок OF+.



При смещении т. В в область геометрической тени (или экран передвигаем в право) полуплоскость станет закрывать всё большее число не штрихованных зон.

Результирующая амплитуда будет перемещаться по правой части спирали, проходя последовательно точки A1, A2, A3 (отрезки A1F+, A2F+, A3F+ приближается к полюсу F+).

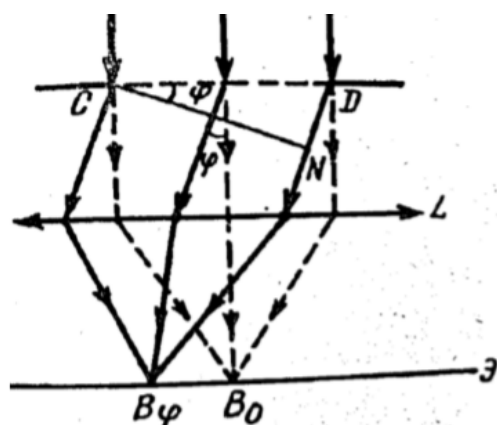
В итоге амплитуда в т. В будет стремиться к 0. При смещении т. В вправо (экран влево) будет открываться всё большее число штрихованных зон. Поэтому амплитуда определяется вектором, соединяющим F+ с

точками B_1, B_2, B_3 , т.е. отрезками $F+B_1, F+B_2, F+B_3$. При полностью открытой волновой поверхности (если полностью убрать экран) амплитуда равна длине отрезка $F+F-$, т.е. будет превышать амплитуду на границе геометрической тени. Если полностью открыть амплитуду $F+F- = I/2$, $OF+ = I/4$

Распределение интенсивности по экрану в зависимости от x -расстояние от края полуплоскости. Интерференционная картина в виде полос

Плюсы внизу- мой коментарий

26. Дифракция Фраунгофера на узкой щели.

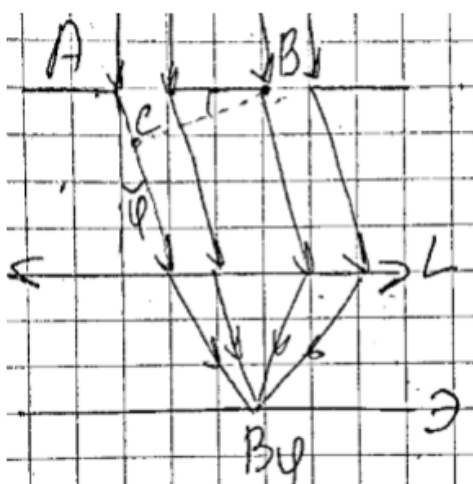


Дифракция от совокупности щелей. Метод графического сложения амплитуд.

Пусть на некоторую узкую щель, шириной b падает параллельный пучок света.

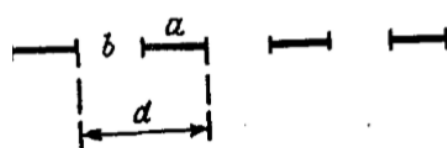
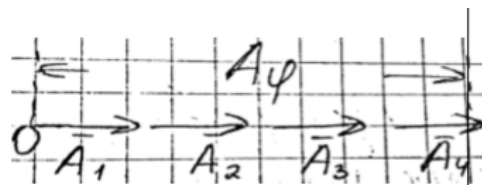
Дифракция в параллельных пучках называется **дифракцией Фраунгофера**.

В определённый момент времени t волновой фронт достигает площади щели и занимает положение CD . При прохождении через узкую щель наблюдается



дифракция падающих световых

лучей. $\angle \varphi$ - угол дифракции. Т.к. после щели лучи также идут параллельно друг другу, то для



наблюдения дифракционной картины на пути лучей помещают собирающую линзу L. Тогда в её фокальной плоскости на экране можно наблюдать дифракционную картину. Лучи, не изменяющие своего направления (пунктиры), падают 0-ой порядок (0-ой max B_0). А лучи, распространяемые под углом $\angle \varphi$ дают max B_φ . Выясним при каких условиях будет наблюдаться дифракционные max-мы. Для этого волновой фронт CD разбивают на зоны Френеля в виде узких полосок одинаковой ширины и параллельных краям щели.

Результирующая амплитуда A_φ определяется как векторная сумма амплитуд от отдельных зон $A_\varphi = \sum_i A_i$ а)

$\varphi=0 \Rightarrow \Delta\varphi_k=0$. Векторная диаграмма имеет вид: В этом случае наблюдается так называемый центральный (нулевой) max B_0 .

б) $\Delta\varphi=2\pi$ ($2n\pi$) Наблюдаем min дифракции: $\Delta\varphi_k=2\pi=2\pi b \sin\varphi / \lambda \Rightarrow b \sin\varphi=\lambda$. В общем случае, тогда $\Delta\varphi_k=2n\pi$; $b \sin\varphi=2\pi*\lambda / 2$ - условие min дифракции на узкой щели

в) $\Delta\varphi_k=\pi$ [$(2n+1)\pi$]. $b \sin\varphi=(2n+1) \lambda / 2$ - условие max дифракции на узкой щели. Совокупность узких щелей шириной b, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости и на одинаковом расстоянии a называется **дифракционной решеткой**

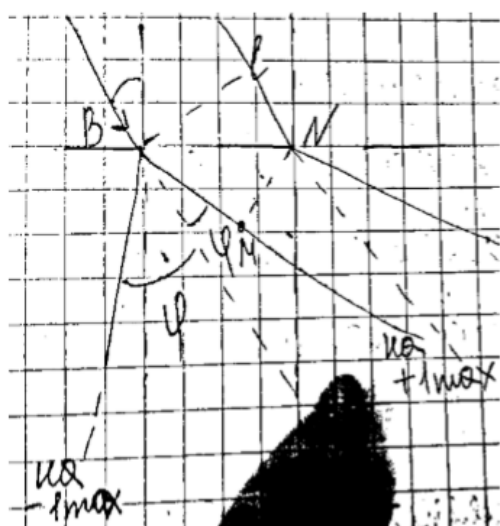
$d=a+b$ - постоянная (период) дифракционной решетки.

В дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных пучков света, идущих от щелей решетки при её освещении. $\Delta S=\Delta$ - разность хода двух лучей

Определим разность хода Δ от двух соседних точек решетки, отстоящих друг от друга на период. Учитывая, что ВС - волновой фронт прошедших лучей, то $\Delta = AC$. Р/м $\triangle ABC$: Условие max для прозрачной дифракционной решетки при нормальном падении световых лучей: $\Delta = d \sin \varphi$; $\Delta = 2k \lambda / 2 = k\lambda \Rightarrow d \sin \varphi = k\lambda$ (9), где k - порядок дифракции (max-ов) Если период d неодинаков по всей ширине, то между max-ов появляются другие max-мы (духи). Положение главных max-ов зависит от длины волны. Поэтому при белом свете все max-мы кроме центрального раскладываются в спектр. Т.о. дифракционная решетка является спектральным прибором.

27. Амплитудные и фазовые дифракционные решётки. Основные характеристики дифракционной решетки как спектрального прибора. Метод графического сложения амплитуд. Влияние размеров источника на дифракционную картину.

Совокупность узких щелей шириной b , расположенных параллельно друг другу в одной плоскости и на одинаковом расстоянии a называется дифракционной решеткой $d = a + b$ - постоянная (период) дифракционной решетки.



Основные характеристики дифракционной решетки:

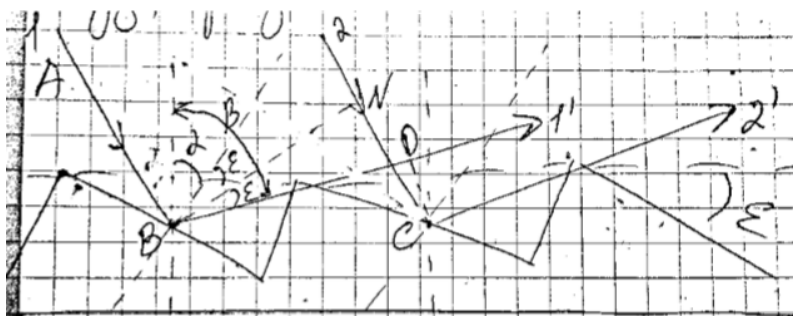
- * D_φ или Dl - угловая или линейная дисперсия;
 - * R - разрешающая способность.
- Угловую дисперсию определяют как угловое расстояние между

направлениями нормали к волновой поверхности для двух спектральных линий, отличающиеся на 1 \AA (1 ангстрем – 10^{-8} см) Или дисперсия характеризует скорость изменения угла отклонения при изменении длины волны λ : $D \varphi = d\varphi / d\lambda$ (10), где $d\varphi$ - угол между лучами с длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$.

$R = kN$ - разрешающая способность будет зависеть от порядка дифракция и количество штрихов на всей ширине решётки.

Амплитудная, при прохождении света возникает периодическое изменение амплитуды падающей волны в направлении перпендикулярном щелям решетки. Для этих решеток распространения интенсивности пропорционально $1/k^2$ ($I_m \sim 1/k^2$), т.е. значительная часть энергии сосредоточена в спектре 0-ого порядка и быстро убывает при переходе к более высоким порядкам.

Изменить распределение энергии по спектрам можно путем введения дополнительной разности хода в пределах...



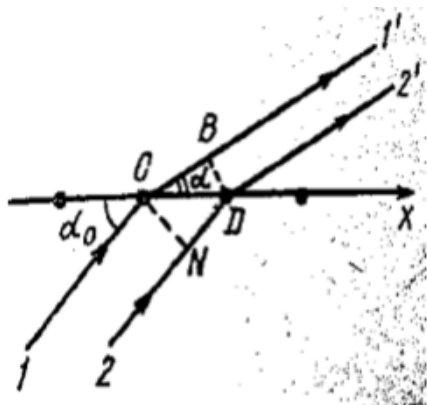
С этой целью решетку гравировать так, что каждый штрих имеет профиль, благодаря чему при отражении

или при прохождении света, возникает дополнительная разность хода от одного края до другого. Т.о., подбором профиля штриха можно сконцентрировать энергию в спектре требуемого порядка, ослабляя остальные, включая 0-ой. Эти решётки называются фазовыми, т.к. они могут

менять фазу волны. Реальные решетки как правило и амплитудные, и фазовые. ε - угол наклона рабочей грани штриха к поверхности решетки BN - волновой фронт CD - волновой фронт отраженного луча α - угол падения Лучи 1,2 и 1',2' являются когерентными, поэтому они интерферируют, и интерференционная картина является дифракционным спектром. Определим разность хода: $BC=d$ - постоянная отраж. решетки; $\beta=d+2\varepsilon$ Определим разность хода для 1' и 2': Из $\triangle NBC$: $NC=BC\sin \angle DBC = d\sin\beta$. Из $\triangle BDC$: $BD=BC\sin\angle BCD = d\sin\beta$. Тогда $\Delta = d(\sin\beta - \sin\alpha)$; max: $\Delta = 2k*\lambda/2 = k\lambda \Rightarrow d(\sin\beta - \sin\alpha) = k\lambda$ (23) - уравнение отражения дифракционной решетки

28. Дифракция света на пространственных решётках (линейная, двумерная плоская и объемная дифракционные решетки).

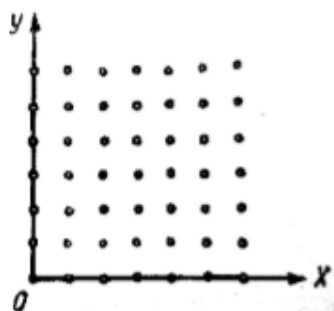
Дифракция света на ультразвуковых волнах. Понятие о голографии.



1. Линейная решетка представляет собой совокупность центров дифракции расположенных вдоль некоторой линии. α и α_0 – дополнительные углы к углам падения и дифракции для упрощения расчётов Лучи 1 и 2 испытывают дифракцию,

образуя 1' и 2'. CN – волновой фронт падающих лучей. BD – волновой фронт дифрагированных лучей. Определим разность хода Δ для 1' и 2': $\Delta = BC - ND$ (1) $CD = d$. Из $\triangle BCD$: $BC = d\cos\alpha$, $\triangle NCD$: $ND = d\cos\alpha_0 \Rightarrow \Delta = d(\cos\alpha - \cos\alpha_0)$ (2). max: $\Delta = 2k*\lambda/2 = k\lambda \Rightarrow d(\cos\alpha - \cos\alpha_0) = k\lambda$ (3) - уравнение одномерной линейной решётки. Оно определяет

положение главных max-ов на линейной решетке. При угле $\alpha = \pi/2$ соотв. свет. Полоса 0-го порядка.



2. Двумерная (плоскостная) дифракционная решетка - совокупность центров, расположенных в некоторой плоскости. Ее можно

$$\begin{cases} d(\cos \alpha - \cos \alpha_0) = k_1 \lambda \\ d(\cos \beta - \cos \beta_0) = k_2 \lambda \end{cases}$$

рассматривать как систему двух линейных решеток по оси X и Y. Допустим, что падающие лучи системой OX составляет $\angle \alpha_0$, а системой OY составляет $\angle \beta_0$. А после дифракции соответственно α и β . Максимумы дифракции расположены в точках пересечения двух систем.

Дифракция света на ультразвуковых волнах.

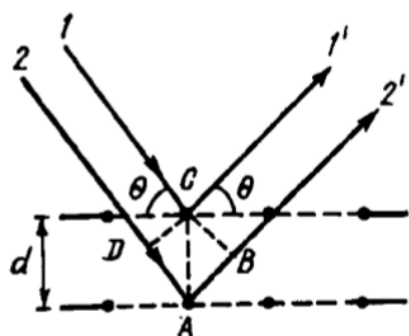
Существуют разные способы создания объёмных дифракционных решеток, одним из которых является применение ультразвуковых волн. Если через сосуд с изотропной жидкостью пропускать ультразвуковые волны, то вследствие отражения волны от верхнего возникает обратная волна, которая накладывается на предыдущую волну. Образуется стоячая волна. В ней есть узлы и пучности, что приводит к формированию областей сжатия и растяжения. Жидкость становится неоднородной и может играть роль пространственной дифракционной решетки. Если направить пучок световых лучей на такую жидкость, будет наблюдаться дифракция. В качестве источника звуковой волны, используют кварцевый генератор.

Понятие о голографии

Обычно оптические системы дают плоское изображение. Но если использовать дифракционную решетку, то можно получить объемное. Голография представляет собой метод безлинзового получения оптических объемных

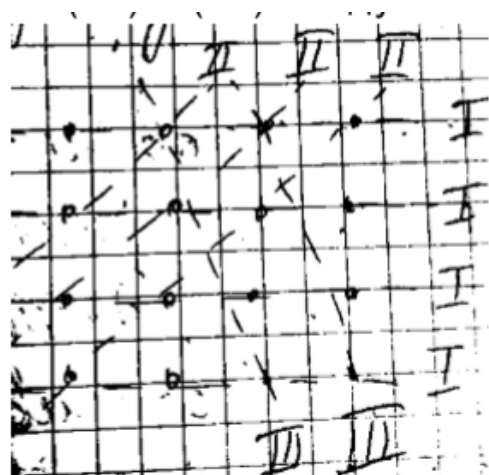
изображений объектов путем так называемого восстановления волновой поверхности. Голографический метод получения изображений требует таких источников света, которые имеют высокую степень временной и пространственной когерентности. Такими источниками являются лазеры. В связи с этим дальнейшее развитие голография получила после изобретения в 1960 г. квантовых генераторов. Существуют различные типы голограмм: голограммы сфокусированного изображения, Фраунгофера, Фурье, Френеля и др. Структура голограммы зависит от способов формирования предметной и опорной волн и записи интерференционной картины.

29. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах. Формула ВульфаБрегга. Области применения.



Если использовать рентгеновские лучи, для которых d порядка λ , то можно наблюдать дифракцию.

Вульф и Брегг предложили метод расчёта этой дифракции на кристаллах. Сущность этого метода: Дифракция рассматривается как результат отражения лучей от параллельных кристаллографических плоскостей. Это отражение, в отличие от обычного, осуществляется только при



условиях, соответствующих интерференционным максимумам лучей, отраженных от разных плоскостей. Абсолютный показатель преломления рентгеновских лучей $n = 1$. Возникающие в ходе отражения лучи 1/и 2/ являются

когерентными и накладываясь образуют интерференционную картину, которую можно рассматривать как интерференционный спектр. CD – волновой фронт падающей волны. CB – волновой фронт отраженной волны. Разность хода $\Delta = DA + AB$ (17) θ – угол скольжения (вводится для удобства расчетов) $\Delta DCA:DA = AC \sin \theta = d \sin \theta$ $\Delta ACB:AB = AC \sin \theta = d \sin \theta$ $\Delta = 2d \sin \theta$ (18) Условие max: $2k * \lambda/2 = k\lambda$ (19) Из (16) и (17) следует: $2d \sin \theta = k\lambda$ (20) – формула Вульфа-Брегга.

Эти плоскости (их положения) характеризуются индексами Миллера. Для объемной структуры – 3 индекса (x, y, z). Для плоской структуры – 2 индекса (x, y). Индекс Миллера обозначает величину обратную отрезкам, отсекаемым на межатомном расстоянии. Для плоскости I индексы Миллера $(0, 1, 0)$. Для плоскости II индексы Миллера $(1, 1, 0)$. Для плоскости III индексы Миллера ... (сложно считаются). Каждая система слоев (плоскостей) имеет свои max-ы дифракции, однако заметную интенсивность имеют лишь те max-ы, которые получаются от слоев, достаточно густо населённых атомами.

Полученная формула нашла широкое

применение: а) Исследование спектрального состава рентгеновского излучения (рентгеновская спектроскопия). На основании (20) можно определить λ неизвестного рентгеновского излучения. Если медленно поворачивать кристалл, то зная порядок дифракции можно найти λ . Метод получил название «метод вращающего кристалла». б) Для изучения структуры кристалла

(рентгенограмма). Наблюдая рентгеновский спектр можно определить постоянные кристалла и изучать тип решетки, число атомов и т.д. Этот метод можно применять для поликристаллических веществ. Из порошка рисуются образцы.

30. Дифракционная природа изображения. Разрешающая способность оптических приборов.

1)

Допустим, что на пути пучка света встречаются преграды виде щели CD. В результате дифракции и интерференции получаем чередование max-ов и min-ов. Пусть φ – угол дифракции и указывает направление на первый min. Тогда применяем условие min-а: $b \sin \varphi = k \lambda$ (9). Т.к. 1-ый min при $k=1$, то $b \sin \varphi = \lambda$ (10) $\sin \varphi = \lambda / b$ (11). Если φ мал, то $\varphi \approx \lambda / b$ (12) Следствия: а) если $b \rightarrow \infty$, то $\varphi \rightarrow 0$ при условии, что среда однородная (прямолинейное распространение света). б) если $\lambda \rightarrow \infty$, то $\varphi \rightarrow 0$ (приближение коротких волн). 2) Если на пути светового пучка круглое отверстие диаметром D. В этом случае можно показать, что в соответствии условия min-а вводится поправочный коэффициент 1,22. $\sin \varphi = 1,22 \lambda / D$ (13) $\varphi = \arcsin (1,22 \lambda / D)$ (14) Если экспериментально провести измерение световой энергии max-а, то окажется, что в нулевом max-е сосредоточено 84% светового потока. В первом max-е – 1,74%. Во втором max-е – 0,41%. Сопоставляя полученные значения видно, что основная энергия идёт в 0-ом max-е. Аналогично и для линзы в оправе. Линза, преобразовывая световой поток, дает изображение

предмета, который состоит из изображения его отдельных точек. А каждую отдельную точку можно рассматривать как нулевой порядок max-а дифракция светового пачка, исходящего из соответствующей точки предмета. Таким образом самая совершенная линза не может дать идеальное оптическое изображение. А изображение получается путём слияния нулевых порядков max-а дифракции. И угловой размер этих max-ов уменьшается по мере увеличения диаметра диафрагмы. Пусть имеется некоторый предмет с крайними точками А и В. Из этих точек выходят световые лучи, формирующие изображение предмета. Обозначим $d\psi$ наименьшее угловое расстояние между двумя точками, при котором они разрешаются оптическим прибором (критерий Реле). Величина $1/d\psi$ называется разрешающей способностью прибора.

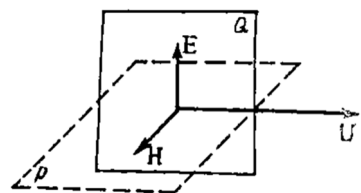
R

$$= 1/d\psi(15)$$

Найдём разрешающую способность объектива зрительной трубы или фотоаппарата при фотографировании удалённых предметов. В этом случае можно использовать формулу (14): $d\psi = d\varphi = 1,22 \lambda / D$ (16). $R = D / 1,22\lambda$ – для разрешающей способности объектива. Разрешающая способность объектива тем больше, чем больше его диаметр. Зная угловое расстояние $d\psi$ можно оценить разрешающую способность прибора.

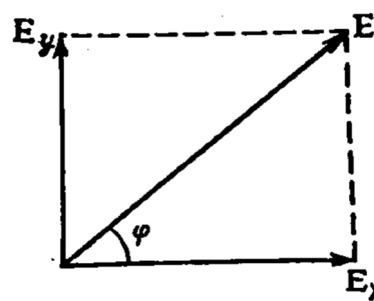
31. Естественный и поляризованный свет. Степень поляризации. Эллиптическая и круговая поляризации. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса.

Согласно электромагнитной теории свет рассматривается как электромагнитная волна. Она характеризуется параметрами \vec{E} , \vec{H} , \vec{V} . Световой пучок вкл. в себя совокупность световых волн и может оказаться, что эти волны имеют различное направление вектора \vec{E} . Такой световой пучок наз. **естественным светом**. Может оказаться, что в таком пучке присутствуют только лучи с определенным направлением. Такой световой пучок наз. **поляризованным**.



Плоскость, проведенная через \vec{E} и \vec{V} – Q назыв. **плоскостью колебаний**.

Плоскость, проведенная через \vec{H} и \vec{V} – P наз. **плоскостью поляризации**. Т.к. они \perp , то задают одну из плоскостей.



Р/м варианты поляризации: а) $\text{tg } \varphi = \mp \frac{A_1}{A_2} = \text{const}$ (1). Из (1) \Rightarrow

резльтирующий вектор \vec{E} будет совершать колебания вдоль некот.

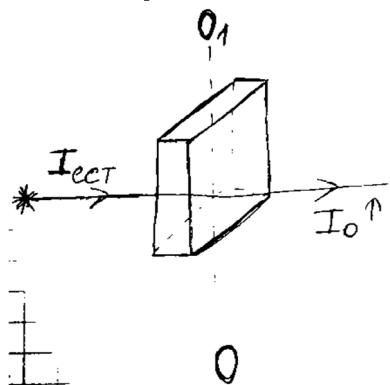
линии, т.к. $\delta = \text{const}$, будет наблюдаться **линейно поляризованный или плоско поляризованный свет**.

б) $\delta = \mp \frac{\pi}{2}$. При $A_1 = A_2$ следует: $\text{tg } \varphi = \text{tg } \omega t$ (2). Т.е. результирующий вектор совершает

колебания так, что его конец описывает круг. Наблюдается свет **круговой поляризации**. Если $A_1 \neq A_2$ – **эллиптическая поляризация**. **Плоско поляризованный** свет можно получить из **естественного** с помощью прибора (**поляризатор**). Количественно частичный свет характеризуется **степенью**

поляризации $P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} (3)$. Если свет

поляризован, то $I_{min} = 0$, а $P = 1$.



Пусть на пути естественного пучка света расположен некот. кристалл, вырезанный так, что его плоскость паралл-на одному из направлений кристаллич. решетки, называемому **осью**. И направим пучок света

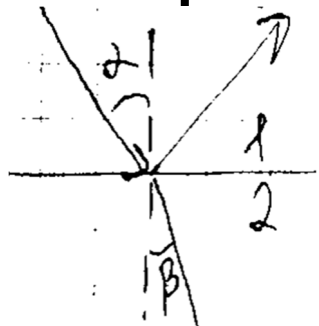
перпендикулярно поверхности кристалла. Интенсивность поляризованного пучка отлич. от падающего: $I_0 = 0,5I_{ест.}$ (4)

Вышедшей пучок света поляризован и направление \vec{E} совпадает с осью OO_1 кристалла. Если на пути вышедшего поляризованного света поместить второй кристалл с осью $O'O'_1$, то поворачивая последний можно изучить свойства падающего на него пучка.

Первый кристалл называют **поляризатор**. Второй – **анализатор**. Интенсивность вышедшего из 2-ого кристалла пучка может быть определена из **закона**

Малюса: $I = I_0 \cos^2 \varphi$ (6), где φ - угол между осью поляризатора и анализатора (OO_1 и $O'O'_1$).

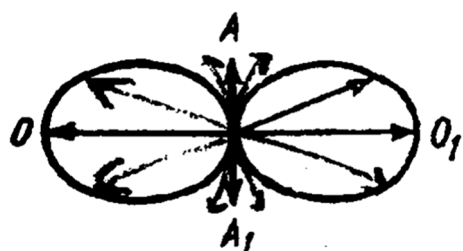
32. Поляризация света при отражении и преломлении на границе раздела однородных и изотропных сред. Закон Брюстера и его объяснение с использованием электромагнитной теории Максвелла.



Если на пути отраженных и преломленных лучей установить анализатор и исследовать поляризацию света, то можно определить в какой степени и в какой плоскости

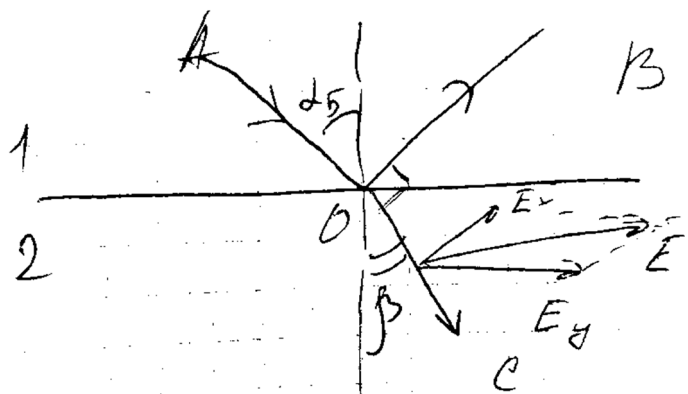
поляризованы отраженный и преломленный лучи. Оказалось, что **степень поляризации лучей зависит от угла падения** этих лучей на границе раздела этих лучей. При некотором угле (**угол Брюстера**): **отраженный луч полностью поляризован**, а преломленный - **так** поляризован. Закон Брюстера: $\operatorname{tg} \alpha_{\text{Б}} = n_{21}$ (1)

Отраженный и преломленный лучи поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях. Отраженный луч \perp плоскости падения. Преломленный луч лежит на плоскости.



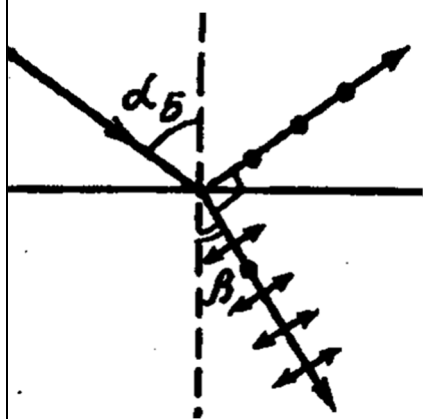
Полярная диаграмма: AA_1 – направление электронов. AO_1 – направление преимущественно его излучения.

Пусть падающий луч произвольной поляризации. Разложим его на две составляющие: E_x - \parallel отраженному лучу ОВ. E_y - \perp плоскости падения.



Используя полярную диаграмму видим, что направление колебаний E_x будет \parallel ОВ, \Rightarrow такой электрон будет

преимущественно излучать \perp ОВ и ОС. Электроны, колеблющиеся под действием E_y , будут излучать как вдоль ОВ, так и вдоль ОС. Т.о. вдоль отраженного луча ОВ будут распространяться вторичные волны только с \perp направлением колебаний. Вдоль ОС будут распространяться и \perp , и \parallel плоскости падения.



Иногда требуется определить степень поляризации.

Формулы Френеля:

$$I_{\perp} = 0,5 I_{\Pi} \left(\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right)^2$$

$$I_{\parallel} = 0,5 I_{\Pi} \left(\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \right)^2, \quad \text{где } I_{\Pi(\text{пэ})} -$$

интенсивность падающего света.

Для падения под углом Брюстера:

$$\alpha = \alpha_B; \quad \alpha + \beta = 90^\circ; \quad \operatorname{tg}(\alpha + \beta) = \operatorname{tg}90^\circ = \infty \Rightarrow$$

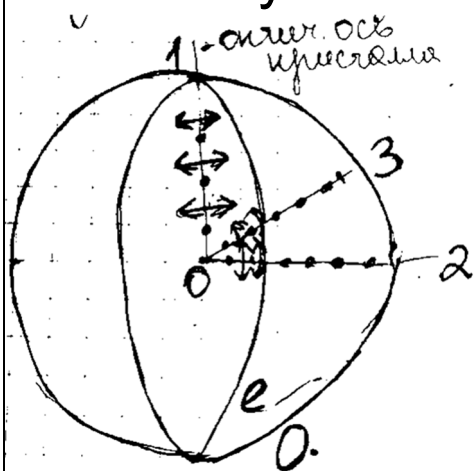
$$I_{\parallel} = 0; \quad \beta = 90^\circ - \alpha:$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = n \quad \text{Т.е. } \operatorname{tg} \alpha_B = n.$$

33. Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Дихроизм. Положительные и отрицательные кристаллы.

При распространении света в анизотропных средах наблюдается ряд характерных оптических явлений: 1) двойное лучепреломление 2) параметрическая генерация.

При распространении светового луча в некоторых кристаллах он разбивается на **2 луча**. Один из них подчиняется закону преломления - **обыкновенный луч**, а второй не подчиняется - **необыкновенный луч**. Они явл. **поляризованными по взаимно перпендикулярных плоскостях**. Физ. смысл обыкновенного и необыкновенного лучей существует только в самом кристалле. После выхода из кристалла они не отличимы. В кристаллах существует определённое направление, вдоль кот. не происходит двойного лучепреломления. Это направление наз. **оптической осью кристалла**. Плоскость, проведённая через падающий луч и оптическую ось наз. **главным сечением**.



Если с помощью анализатора исследовать поляризацию O и e лучей, то **плоскость в O луче перпендикулярна главному сечению кристалла**, а в e луче

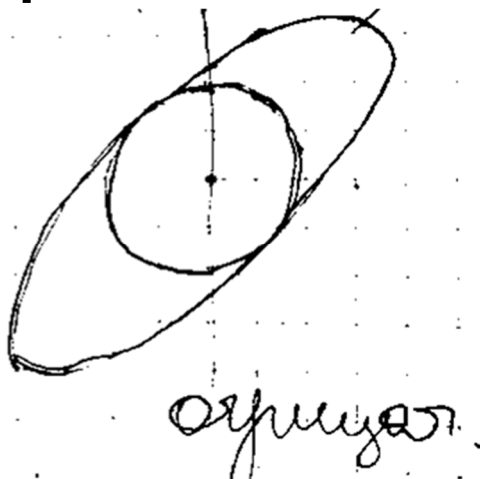
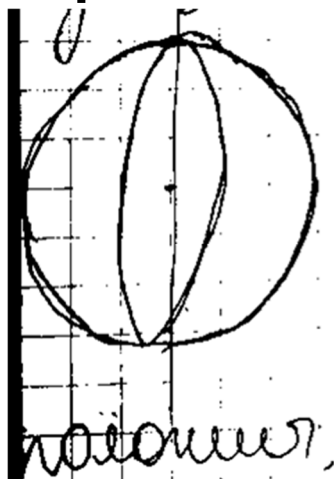
параллельна главному сечению кристалла.

Кроме указанных различий для O и e лучей характерно: а) различное поглощение лучей кристаллом (**дихроизм**). б) O и e обладают разными скоростями распространения.

На рисунке изображаются следующим образом:

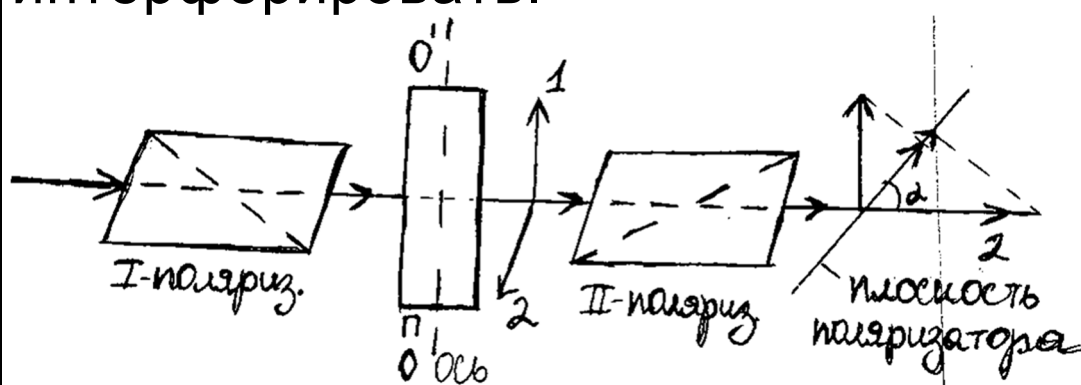
$$\nu_0 \neq \nu_e ; \nu_0 = \frac{c}{n_0} ; \nu_e = \frac{c}{n_e}$$

Колебания, соответствующие **обыкновенному** лучу, изображены **точками**. При любом направлении обыкновенного луча (1,2,3) вектор E образует с оптической осью прямой угол. И ν_0 будет одинаково по всем направлениям (сфера). Колебания **e луча** в главном сечении изображается **стрелочками** и образуют с оптической осью различные углы α . Различают **положительные** и **отрицательные кристаллы**.



34. Интерференция плоскополяризованных волн. Искусственная оптическая анизотропия (метод упругих деформаций, метод электрического поля (эффект Керра), метод магнитного поля).

При наложении двух когерентных волн, **поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях, никакой интерференционной картины не будет!** Она возможна только тогда, когда колебания идут в одном направлении. Это можно сделать, пропуская эти лучи через **поляризатор**, установленный так, чтобы его плоскость поляризации не совпадает ни с одной плоскостью поляризованных лучей. Возникающие при втором лучепреломлении два луча при определенном условии могут быть когерентными. Накладываясь, они будут интерферировать.



После прохождения I линейно поляризованный свет попадает на плоскопараллельную пластинку П. В результате двойного лучепреломления возникают обычный и необычный лучи, которые будут распространяться в направлении падения с

разными скоростями. Когерентные волны, которые выходят из кристаллической пластинки, поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях.

Для того, чтобы свести два колебания в одну плоскость, после пластинки ставиться еще одна призма (II поляризатор), с которой выходит два когерентных луча. Они распространяются в одном направлении и поляризованы в одной плоскости. При этом создаются условия, необходимые для осуществления интерференции таких волн. Разница в скорости распространения волн приводит к возникновению некоторой разницы фаз между двумя когерентными волнами. Вид интерференционной картины будет зависеть от размеров (толщины) и свойств оптической пластинки. Разность фаз когерентных лучей зависит от разности хода:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \quad (1); \quad \Delta = dn_0 - dn_e = d(n_0 - n_e) \quad (2); \quad =>$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} (n_0 - n_e) \quad (3)$$

анизотропную.

Существуют различные методы получения оптически анизотропных сред:

1) Метод упругих деформаций.

В 19 в. Зейбек и Брюстер установили, что твёрдый изотропный образец в результате сжатия превращается в оптически

анизотропный.

Образец вырезают так:



Его сжимают вертикально.

Разность показателей преломления обычного и необычного лучей:

$n_o - n_e = k\sigma$ (4), где σ - коэф. упругого напряжения, k - коэф. пропорциональности.

Разность фаз: $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda} (n_o - n_e) = c\sigma l$ (5), где c - оптическая константа, l - толщина образца.

В случае интерференции поляризованных лучей в белом свете окрашивание разных участков будет зависеть от распределения напряжения внутри тела. Поэтому штучное двойное лучепреломление используется для изучения деформации в прозрачных вещах. Такой метод исследования деформации получил название фотоупругости.

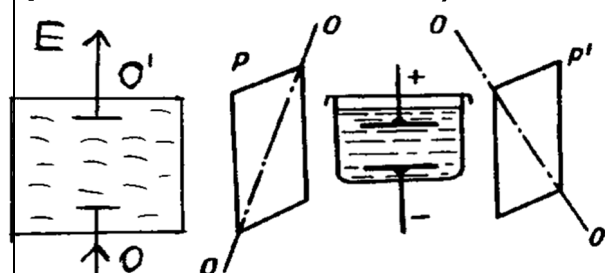
Метод применяется при разработке способа исследования различных конструкций.

2) Метод электрического поля (Метод Керра).

Используется в лазерной технике.

В 19 в. Джон Керр установил, что изотропная жидкость под действием электрического поля становится анизотропной (**эффект Керра**). Это происходит мгновенно (10^{-12} с.).

Разность показателей преломления: $n_o - n_e = B\lambda E^2$ (6), где B - постоянная Керра (зависит от рода вещества), E - напряженность поля.



Разность хода:

$$\Delta = (n_o - n_e)l = B\lambda l E^2$$

Разность фаз:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_0 - n_e)l = 2\pi B l E^2$$

Электрическое поле ориентирует молекулы вещества, которые обладают дипольным моментом, и индуцирует дипольный момент в молекулах, которые не имеют собственного дипольного момента. В результате этого показатели преломления становятся разными и возникает двойное лучепреломление. При отсутствии электрического поля молекулы ориентированы хаотично, поэтому жидкость не будет анизотропной.

4) Метод магнитного поля.

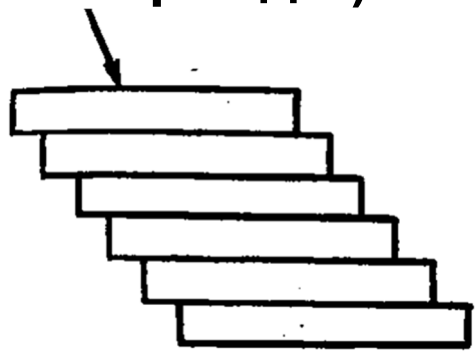
В 1907 г. Катон и Мутон показали, что изотропное вещество под действием приложенного магнитного поля становится анизотропным в результате определенной ориентации магнит. моментов молекул (эффект Катона-Мутона).

Для наблюдения этого эффекта прозрачное вещество размещают между полюсами большого электромагнита и пропускают через него луч монохроматич. света, который линейно поляризован в плоскости, что составляет с направлением магнитного поля угол 45° . Этот луч, который проходит через вещество, которое стало в магнитном поле анизотропным, превращается в эллиптически поляризованное, потому что он делится на два луча (обычный и необычный) с разными показателями преломления (n_0 и n_e). Лучи распространяются под очень малым углом один к одному. Поэтому для наблюдения эффекта Катона-Мутона требуются достаточно мощные магнитные поля.

$$n_e - n_0 = C\lambda H^2$$

Разность фаз при этом $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)l = 2\pi ClB^2$, где C - постоянн. Катона-Мутона.

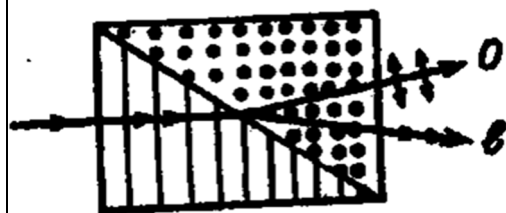
35. Поляризационные приборы (стопа Столетова, призма Волластона, призма Николя, призма Фуко, дихроичные пластинки, поляроиды).



1) Стопа Столетова (стос) представляет собой набор прозрачных плоских пластин, которые устанавливаются под некоторым углом к падающему свету.

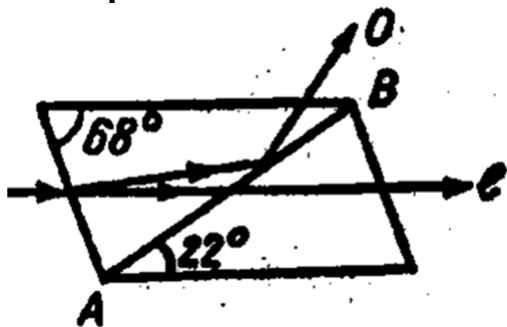
Степень поляризации увеличивается при каждом преломлении.

2) Призма Волластона состоит из двух прямоугольных призм из исландского шпата.



Призмы размещаются таким образом, что их оптические оси взаимно перпендикулярны.

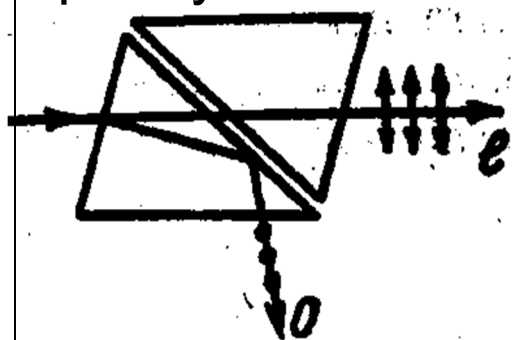
Благодаря этому удастся значительно увеличить расхождение лучей, а значит, выделить лучи с определёнными направлениями колебаний вектора E .



3) Призма Николя состоит из двух прямоугольных призм из исландского шпата, которые склеенный канадским бальзамом.

Призма размещается т.о., что обычный луч падает на границу исландский шпат - канадский бальзам под

углом, равным или большим, чем граничный. Поэтому обычный луч на этой границе испытывает полное внутреннее отражение и не идёт в другую призму.



4) Призма Фуко имеет такое же строение, как и николь, но вместо канадского бальзама - тонкий слой воздуха. Благодаря этому призма может использоваться

для ультрафиолетовых лучей. Полное внутреннее отражение от плоскости разреза в призме Фуко осуществляется под меньшими углами, потому что показатель преломления воздуха меньше, чем n_o и n_e .

Рассмотрим приспособления, которые основаны на применении **дихроизма**. Во многих кристаллах поглощение света зависит от направления электрического вектора в световой волне. Это явление также используется для получения линейно поляризованного света. **Пластика** из турмалина может быть поляризатором. Плоско поляризованный свет, который проходит через турмалин, окрашивается в жёлто-зелёный цвет. Это значительно объясняет использование кристаллов турмалина в качестве поляризационного приспособления.

Часто применяют поляризационные плёнки, которые получили название **поляроид**. Они представляют собой плёнку из целлулоиды или другого прозрачного материала, на которую нанесены тонким слоем определённым образом

ориентированные микроскопические кристаллики сильно дихроичного вещества.

36. Вращение плоскости поляризации. Поляриметры и их применение.

В 1811 г. Арго обнаружил, что некоторые вещества способны поворачивать плоскость поляризации проходящего через них света. Такие вещества называют **оптически активными**. Их делят на **два класса**:

1) **правовращающие (положительные)**. Они поворачивают плоскость поляризации по часовой стрелке, если смотреть навстречу идущему лучу.
 $\varphi > 0$

2) **левоповорачивающие (отрицательные)**. Они поворачивают плоскость поляризации против часовой стрелки, если смотреть навстречу идущему лучу.
 $\varphi < 0$

Для твёрдых тел и прозрачных жидкостей **угол поворота** пропорционален их длине, т.е. $\varphi = \alpha \cdot l$ (1), где l -толщина вещества, а α -удельное вращение (зависит от свойств вещества и λ).

В основе теории вращения плоскости поляризации лежит гипотеза Френеля, согласно которой **скорость распространения света в активных веществах разная для лучей, поляризованных по правому и левому кругу. Теория Френеля не объясняла зависимости скорости распространения света, а также показателя преломления от характера поляризации**

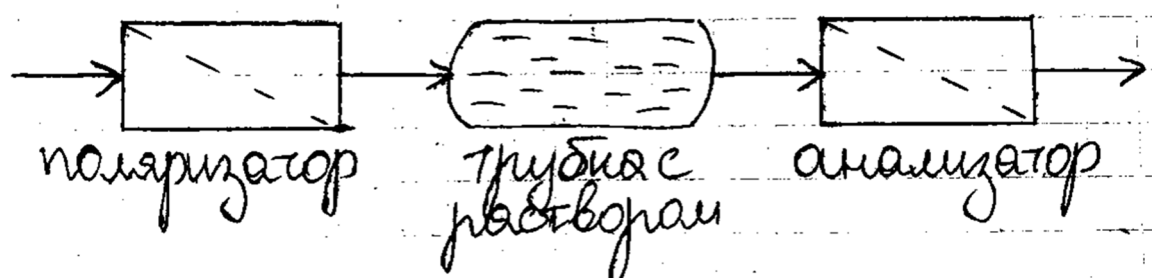
света. Нужно было узнать причины зависимости скорости распространения правого и левого лучей в активных веществах. 1846-м году Фарадей обнаружил вращение плоскости поляризации в оптически неактивных веществах в магнитном поле. Это явление получило название **эффекта Фарадея**. $\varphi = \beta l B$, где β - постоянная Верде (магнитная постоянная) (зависит от рода вещества, его физического состояния).

Объяснение:

Под действием магнитного поля электроны, входящие в состав атомов и молекул, испытывают прецессию, в результате которой скорость распространения волн, поляризованных по и против часовой стрелки, будет разной. Следовательно, изменится оптическая разность хода, что приводит к дополнительному вращению.

Измеряя угол поворота плоскости поляризации, можно решать ряд практических задач, в частности, определить концентрацию оптически активных растворов. Приборы, при помощи которых измеряют угол поворота плоскости поляризации, получили название **поляриметры**.

Поляриметр, который используется для определения концентрации сахара в растворе, называют сахарометром.



37. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта. Закон Бера. Коэффициент поглощения. Спектры поглощения и их виды. Цвет тел. Светофильтры

Коэф. пропорциональности α называют **коэф. поглощения**. Он зависит от рода вещества и падающей длины волны.

Пусть имеется некоторая среда, толщиной слоя l . На него падает свет и выходит

интенсивностью I . $\ln I - \ln I_0 = \alpha l$; $\ln \frac{I}{I_0} = -\alpha l \Rightarrow$

$I = I_0 e^{-\alpha l}$ – **закон Бугера-Ламберта**.

Интенсивность света уменьшается по экспоненциальному закону. В случае раствора α зависит не только от рода вещества и λ , но и от концентрации c : $\alpha = \alpha_1 c$ – **закон Бера**.

Этот закон выполняется при малых концентрациях. При росте концентрации вещества закон нарушается. Это связано с тем, что при увеличении концентрации c увеличивается количество растворённого вещества и уменьшается расстояние между частицами, увеличивая тем самым силы их взаимодействия. При **увеличении интенсивности закон Бугера-Ламберта тоже перестает выполняться**. Коэф. поглощения становится функцией интенсивности света, имеет место его нелинейное поглощение.

Цвет тел. При распространении света в веществах имеет место его поглощение. Обычно поглощение носит селективный характер, это значит, что свет разных длин волн поглощается по-разному.

Поскольку длина волны обозначает цвет света, то, значит, лучи разных цветов поглощаются по-разному. **Цветными прозрачными** являются тела, которые селективно поглощают свет в пределах видимых лучей. Тела, которые слабо поглощают свет всех длин волн видимого спектра, являются **прозрачными неокрашенными**.

Спектры поглощения и их виды. Оптические спектры делятся на **спектры излучения (эмиссионные)** и **спектры поглощения (абсорбционные)**. Спектры излучения получают от источников света при разложении их излучения по длинам волн спектральными приборами. Эти спектры обычно характеризуются функцией $f(\lambda)$, которая определяет распределение энергии света в зависимости от λ . Спектры поглощения обычно получают при прохождении света через вещества. **Линейчатые** спектры состоят из отдельных спектральных линий, которые соответствуют дискретным значениям длин волн λ . **Полосатые** спектры имеют вид отдельных полос, каждая из которых охватывает некоторый интервал λ . **Безостановочные** спектры охватывают широкий интервал длин волн. При измерениях отдельная спектральная линия не соответствует строго определенному значению λ , а всегда имеет конечную ширину $\Delta\lambda$.

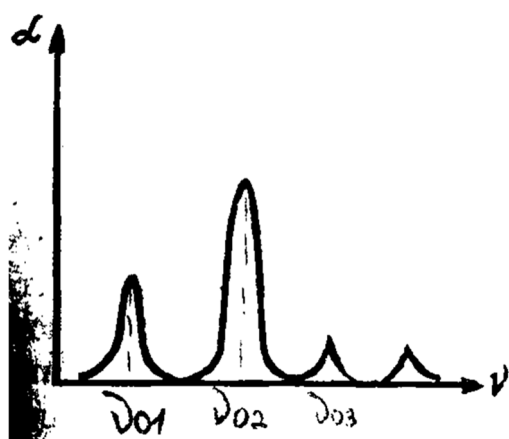
Светофильтрами называют приборы, которые изменяют спектральный состав и энергию оптического излучения, которое падает на них. Светофильтр **нейтральный**, когда его оптическая плотность в определённой спектральной области не зависит от длины волны. Фильтры, оптическая плотность которых зависит от длины волны,

называются **селективными**. Селективные светофильтры дают возможность выделять определённую спектральную область.

38. Механизмы поглощения света диэлектриками и металлами.

Графическое представление поглощения света различного диэлектрика:

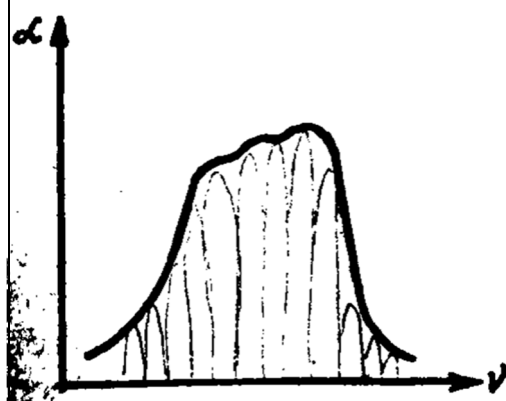
а) Одноатомный газ (диэлектрик):



$\nu_{01}, \nu_{02}, \nu_{03}$ — собственные частоты колебания.

Вблизи каждой частоты коэффициент поглощения резко возрастает. Спектр поглощения носит **линейчатый характер**. По виду спектра можно определить количество молекул, входящих в газ и характер типа колебаний атомов молекул.

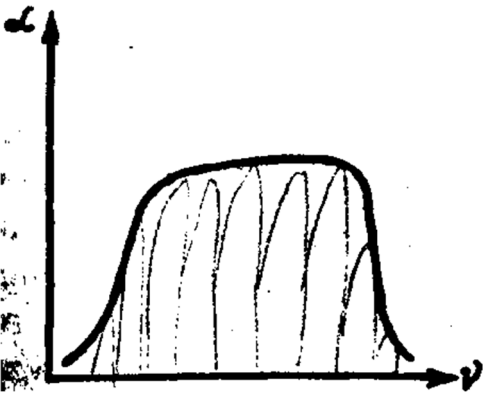
б) Многоатомные молекулы (газ).



Внутри молекул находятся атомы с близкими собственными частотами. Среди каждой частоты есть резкое возрастание

коэффициента поглощения. Структура этих полос зависит от внутренней структуры молекул. Поэтому

можно изучать внутреннюю структуру вещества по их спектрам. Это наз. **абсорбционным структурным анализом.**



в) Жидкости и твёрдые диэлектрики.

Расстояние между частицами очень мало, следовательно, их собственные частоты близки по значению. Полосы поглощения для них являются довольно широкими. Внутри полосы коэф. поглощения практически одинаков, а за пределами равен 0. И говорят, что **спектр жидких и твёрдых диэлектриков является сплошным.**

Металлы

В газообразном состоянии металлы по своим свойствам подобны диэлектрикам. Поэтому процесс поглощения носит **резонансный характер.** В компенсированном состоянии в металлах довольно много свободных электронов. Волна, прошедшая внутри металла, поглощается им. **Эффективность поглощения** зависит от его проводимости. В идеальном проводнике потеря на тепло минимальна. И поглощение практически равно 0. Свет полностью отражается. Т.е. **чем выше коэффициент электропроводности, тем выше коэффициент отражения света.** **Закономерности абсорбции света** в основном определяются свойствами атома или молекулы,

которые поглощают свет. Однако окружающие молекулы могут значительно влиять на эти процессы. Влияние окружающей среды иногда радикально меняет абсорбционную способность атомов жидких и твёрдых тел. Под воздействием полей окружающих молекул сильно меняется поведение электронов, которые определяют оптические свойства атомов.

39. Рассеяние света и его виды. Молекулярное рассеяние света. Закон Релея. Цвет неба и зари.

Одним из явлений, сопровождающихся процессом распространения света в среде, является рассеяние света. Процесс состоит в том, что меняется направление распространения световых волн. Оно обусловлено вынужденными колебаниями атомов среды, вызываемых распространением световых волн.

Мандельштам считал, что рассеяние света наблюдается чаще в оптически неоднородных средах. В которых n меняется от точки к точке.

Закономерности рассеяния света зависят от размеров неоднородности d .

Виды рассеяния:

а) $d \sim 0,1 - 0,2 \lambda$ - явление Цындаля. Это явление можно наблюдать при прохождении пучка света через слой воздуха, в котором есть мелкие частицы дыма, или через сосуд с молочной водой. Если такую среду осветлять пучком белого света, то при наблюдении сбоку оно будет казаться голубым. В свете, который прошел через толстый слой мутной среды, среда будет казаться красной. Релей

показал, что интенсив. рассеяния света в стороны
обратно пропорциональна λ^4 .

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} -$$

закон Релея. При рассеянии естественного света в
общем случае интенсивность рассеяния света под
произвольным углом определяется: $I_\theta = I_{\frac{\pi}{2}}(1 +$

$\cos^2 \theta)$ (1). б) Неоднородность $d > 0,05\lambda$. Закон
Релея нарушается: $I \sim \frac{1}{\lambda^2}$. Рассеянный свет части
поляризованный. в) $d > \lambda$. Наблюдается эффект Ми,
при котором интенсивность рассеяния света
вперёд больше интенсивности рассеяния назад. г)
 $d \gg \lambda$. Все длины волн падающего света
рассеивается одинаково. Это объясняет белый
цвет облаков. При большой плотности рассеяния
частиц возможно многократное рассеяния.

Молекулярное рассеяние света

Наблюдения показывают, что **свет рассеивается
не только мутными средами, но и
чистыми/прозрачными**. Релей пришел к выводу,
что рассеивание света вызывается не побочными
частицами, а молекулами самой среды. Поэтому
рассеивание называют **молекулярным**.

Причины оптической неоднородности: а)
флуктуации плотности молекул (отклонение
плотности от среднего значения в
пределах малых объемов). б) **флуктуация
ориентации молекул**. Указанные флуктуации
повышаются с повышением температуры. Они
становятся наибольшими в газах в **критическом
состоянии**. Поэтому в этом состоянии рассеяние
резко возрастает. Оно получило название
критическая опалесценция.

40. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсии. Методы исследования дисперсии света (скрещенных призм, крюков Рождественского).

Физическое явление, обусловленное зависимостью показателя преломления от длины волны, называют **дисперсией света**. Для количественной характеристики дисперсии света вводят понятие дисперсии вещества \bar{d} . Пусть некоторая λ_1 соответствует n_1 ; λ_2 соответствует n_2 :

$$\bar{d} = \frac{n_2 - n_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \quad (1); \quad \bar{d} = \frac{dn}{d\lambda} \quad (2) - \text{для малых.}$$

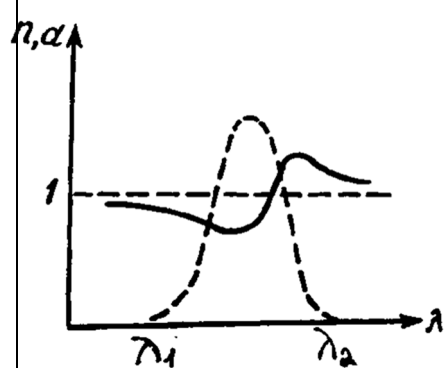
Графически:



а) Дисперсию, проведённую на рисунке, называют **нормальной**.

Для неё: $\bar{d} = \frac{dn}{d\lambda} < 0 \quad (3)$

Т.е. n увеличивается с уменьшением λ .

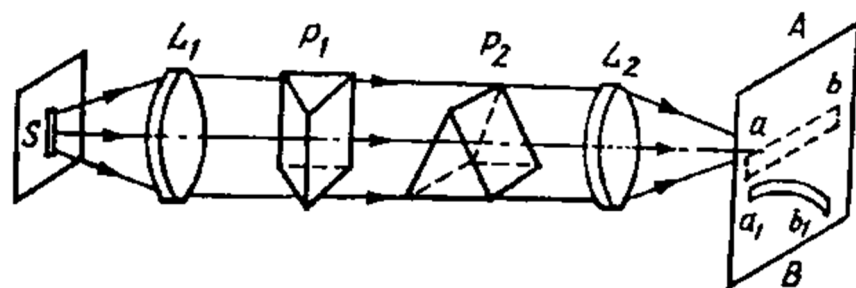


б) Для некоторых сложных веществ n изменяется т. о., что, $\overline{d} = \frac{dn}{d\lambda} > 0$ (4), т.е. n **увеличивается с ростом λ** . В данном случае на участке в интервале $[\lambda_1, \lambda_2]$ имеет

место **аномальная дисперсия**, так как выполняется условие (6).

Методы исследования дисперсии света:

1) Метод скрещенных призм:



Сложный пучок света проходит через вертикальную щель S и при

помощи линзы L_1 направляется на вертикальную призму P_1 , после чего падает на горизонтальную призму P_2 . С помощью линзы L_2 лучи направляются на экран A . При действии только одной призмы P_1 на экране получили бы спектральную полосу ab . Благодаря действию призмы P_2 каждый луч отклоняется вниз тем больше, чем больше показатель преломления призмы P_2 . В результате получается спектр в виде полосы a_1b_1 . Окончательная форма и размещение спектра определяются величиной дисперсии двух призм.

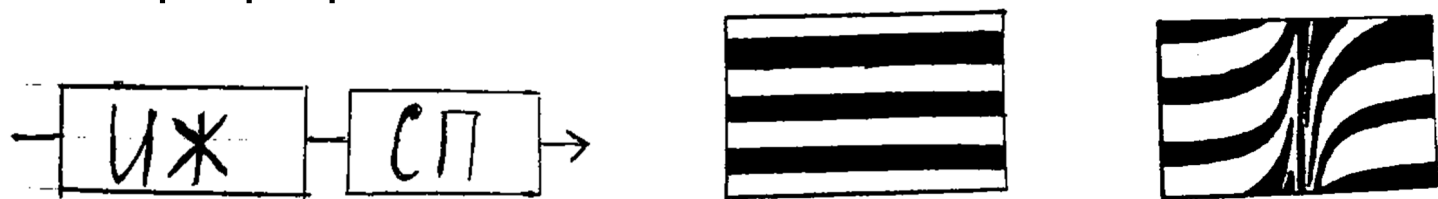
Леру наблюдал преломления света в призме, которая была заполнена парами йода. Он обнаружил, что синие лучи сильнее преломляются

меньше, чем красные. **Аномальный** **ходе** **дисперсии** **света** **можно** **видеть** **при** **помощи** **призм** **и** **в** **некоторых** **веществах**, например в растворе фуксина.

Немецкий физик Кундт в 1871-м году выполнил исследования аномальной дисперсии методом скрещенных призм и пришел к выводу, что **аномальная дисперсия тесно связана с поглощением света**. Аномальная дисперсия света имеет место в спектральной области, где тело поглощают свет.

2) Метод крюков Рождественского:

Метод скрещенных призм был уточнен русским физиком Рождественским. Он при исследовании аномальной дисперсии в парах натрия использовал интерферометр Жамена в сочетании с дифракционной решеткой. Вместо дифракционной решетки можно использовать призмный спектрограф.



Через интерферометр пропускается свет от источника безостановочного спектра. Интерференционная картина получается в виде **горизонтальных полос**, которые при помощи линзы проецируются на щель спектрографа. Спектрограф размещается так, чтобы щель его была перпендикулярна полосам интерференции. На

пути лучей в интерферометре размещаются две одинаковые кюветы, в одной из которых находятся пары натрия. В результате действия двух приборов наблюдается **искривление интерференционных полос**. При этом образуются так называемые **крюки**. Этот метод исследования аномальной дисперсии получил название **метода Крюков Рождественского**. Для увеличения точности измерений Рождественский на пути одного луча размещал вещество, дисперсия которого нужно было исследовать, а на пути другого - стеклянную пластинку. Это давало возможность **менять наклонение интерференционной полосы**. По **расположению вершины крюка можно определить $\frac{dn}{d\lambda}$** , это значит **дисперсию вещества в области длины волны λ** . Если менять толщину стеклянной пластинки, будет меняться **расположение крюка относительно шкалы длины волны λ** , что дает возможность исследовать аномальную дисперсию вещества в разных областях спектра.

41. Основы электронной теории дисперсии света

Световая волна, проходящая в ту или иную среду, воздействует на электроны, связанные с атомами. При таком воздействии происходит смещение электрона относительно положения равновесия. Это влияние сказывается на величине показателя преломления и диэлектрической проницаемости среды.

Общий случай: $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ $n = \sqrt{\epsilon}$ (1).

Световая волна, действуя на электроны, вызывает их вынужденные колебания, которые образуют вторичные волны.

Наложение первичной вторичных волн приводит к **образованию новой волны**, амплитуда и фаза которой \neq амплитуде и фазе первичной волны. И характеристики волны после прохождения вещества изменяются.

Электрическое поле световой волны определяется: $E = E_0 \cos \omega t$ (2)

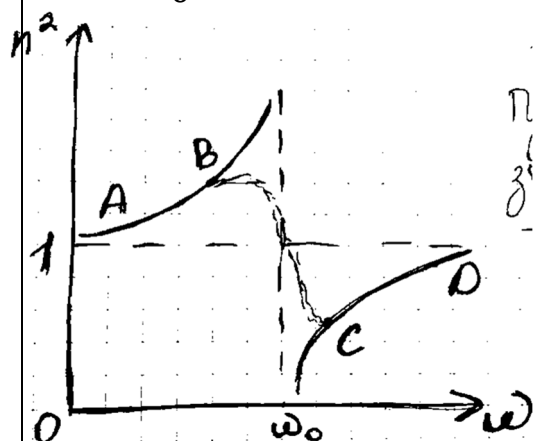
Силы, действующие на электроны: 1) **электрическая сила (вынуждающая)** $F_{эл} = -eE = -eE_0 \cos \omega t$; $\omega = 2\pi\nu$; Под действием этой силы электрон смещается из положения равновесия и возникает вторая сила.

2) **Квазиупругая сила**, которая стремится вернуть электрон в прежнее положение. $F_{упр} = -kx$ (3);

$k = m\omega_0^2$; Т.о. результирующая сила в векторном виде: $\vec{F} = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{упр}$

От величины сдвига (смещения) x будет зависеть и величина электрической проницаемости ε .

Из (1), где $n = \sqrt{\varepsilon}$ (4), а из теории электричества: $\varepsilon = 1 - \frac{n_0 ex}{\varepsilon_0 E}$ (5) $n^2 = 1 - \frac{n_0 ex}{\varepsilon_0 E}$ (6) $n^2 = 1 - \frac{n_0 e^2}{m\varepsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2)}$ (7)



1) АВ и CD: $\frac{dn}{d\lambda} < 0 \Rightarrow$ с увеличением частоты показатель преломления увеличится. Здесь имеем

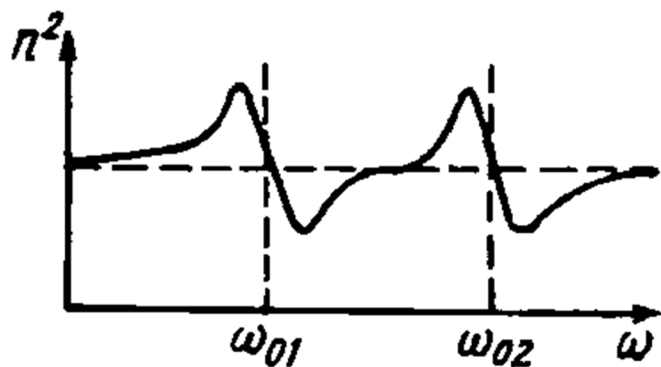
нормальную дисперсию. 2) ВС: с

ростом ω : $n \downarrow \Rightarrow \frac{dn}{d\lambda} > 0$.

Условие **аномальной дисперсии.** Если

вещество сложное, то **участков аномальной**

дисперсии может быть много. И для каждого участка есть своя собственная частота, возле которой имеет место аномальная дисперсия.



42. Применение дисперсии. Дисперсионные спектральные приборы (спектроскоп, спектрограф, монохроматор, полихроматор).

Явление нормальной дисперсии света лежит в основе действия призмных спектральных приборов. Эти приборы используются для изучения спектров излучения и поглощения разных веществ. Определение распределения энергии излучения по спектру выполняется при помощи **спектрофотометров**. Спектральный прибор для фотографической регистрации спектра носит название **спектрографа**. **Спектроскоп** позволяет визуально наблюдать спектр излучения или поглощения. **Монохроматор** позволяет получать в спектре очень узкий интервал длин волн.

Спектральные приборы отличаются также и по области спектра, для которой они предназначены. Для изучения спектров в видимой и инфракрасной областях линзы и призмы делают из стекла, в ультрафиолетовой - из кварца.

Величина пространственного разделения изображений входной щели определяется **дисперсией спектрального прибора**. **Угловая дисперсия D_δ** характеризует изменение угла отклонения δ параллельного пучка света призмой при изменении длины волны: $D_\delta = \frac{d\delta}{d\lambda}$

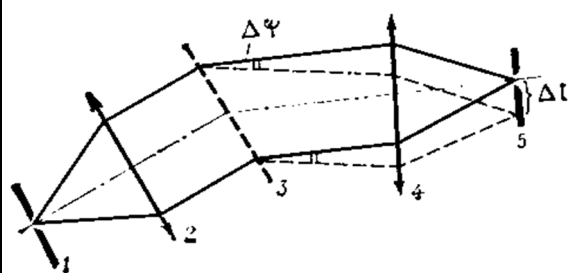
Кроме угловой дисперсии используют также **линейную дисперсию** D_l , которая зависит от фокусного расстояния F_2 камерного объектива: $D_l = D_\delta F_2$

На самом деле каждый **спектральный прибор и приемник излучения искажают спектр.**

Явление аномальной дисперсии света используется при изучении разных атомных процессов, измерении ряда атомных характеристик.

Спектроскоп

Спектроскоп - оптический прибор, предназначенный для визуального наблюдения видимого спектра излучения (380-760 нм). Он позволяет быстро провести спектральный анализ вещества. Находит широкое применение в различных областях промышленности, в частности для химического анализа металлов и сплавов используются стилоскопы.



Монохроматор

Монохроматор —
спектральный оптико-
механический прибор,

предназначенный для выделения
монохроматического излучения. Принцип работы
основан на дисперсии света.

43. Скорость света. Фазовая и групповая скорости. Эффект Вавилова-Черенкова.

Скорость света в вакууме носит универсальный характер. Это объясняется тем, что она определяет граничную скорость распространения любых взаимодействий и сигналов, любых силовых полей независимо от их физической природы. Эта скорость одинаковая во всех системах отсчета и обусловлена структурой пространства и времени. **Скорость света в среде зависит от оптических свойств этой среды**, в том числе от показателя преломления n , разного для разных частот излучения.

Фазовая и групповая скорости. Допустим, в некоторой среде распространяется волна. В общем случае этот процесс описывается: $y = A \sin \omega(t - \frac{x}{v})$

$$(1) \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow y = A \sin \frac{2\pi}{T} (t - \frac{x}{v}) \quad (2) \quad \textbf{Фазовая}$$

скорость - это скорость распространения волновой поверхности отдельной волны с фиксированной фазой $\varphi = const$. $\varphi = \frac{2\pi}{T} (t - \frac{x}{v})$ (3)

Фазовая скорость в среде с показателем преломления n :

$v = \frac{c}{n}$. Строго монохроматических волн не бывает, поэтому при распространении света в прозрачной среде в результате интерференции первичных и вторичных волн в среде распространяется сложный **импульс**, ограниченный во времени и

пространстве. Скорость распространения волнового пакета обозначают U и она отличается от фазовой скорости любого из составляющих волн монохроматических волн.

Эта скорость волнового пакета является скоростью распространения энергии, разносимой этим пакетом. Ее и называют **групповой скоростью**.

Релей установил **связь между групповой и фазовой скоростями**:

$$U = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda} \quad (4) \text{ - формула Релея.}$$

Эффект Вавилова-Черенкова

В 1934 г. Вавилов предложил своим аспирантам провести исследование люминесценции веществ под воздействием радиоактивного излучения. В результате было обнаружено новое излучение, которое предположительно связывали с движением быстрых электронов в жидкости, создаваемых гамма-излучением и бетта-излучением. В последствии такого рода **излучение** получило название **Вавилова-Черенкова**.

44. Эффект Доплера в оптике. Лабораторное подтверждение эффекта Доплера.

Из волнового движения известно, что частота волны излучения некоторых источников изменяются при регистрации волны приемником, при наличии относительного движения между приемником и источником.

Эффект Доплера заключается в изменении воспринимаемой частоты колебаний, при относительном перемещении источника и приёмника волн. Для световых волн не существует особой среды являющейся носителем электромагнитных волн. При приближении приемника к источнику у нас верхние знаки, частота больше ($\nu > \nu_0$). При удалении нижние знаки ($\nu < \nu_0$). Это изменение частоты называется **продольным эффектом Доплера**. **Поперечный эффект Доплера** заключается в уменьшении воспринимаемой приемником частоты, когда вектор относительной скорости направлен перпендикулярно к прямой проходящей через приемник и источник. Для звуковых волн поперечного эффекта Доплера не существует. При этом изменение частоты происходит следующим образом:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Для изменения относительной частоты при поперечном эффекте значительно меньше чем в продольном.

Изучая Спектр звёзд ученые обратили внимание на наличие красного свечения этих спектров. Сущность свечения заключалась в следующем: небесные светила удаляется от наблюдателя, то есть имеет место удаление источника от приёмника. Увеличение длины волны λ и приводит к красному свечению.

В лабораторных условиях долгое время невозможно было осуществить эксперимент. Затруднения были в том, что необходимо было создать такие условия, чтобы скорость относительного движения приемника и источника были сопоставимы.

С 1900 - 1907 г Белополюский и Голицын поставили опыты с помощью которых удалось подтвердить эффект Доплера. Основной частью опытов были 2 полупрозрачных зеркала, установленные параллельно друг другу. Причем эти зеркала двигались в разные стороны с небольшой скоростью.

45. Понятие о нелинейной оптике. Нелинейные эффекты (нелинейное отражение света, самофокусировка, оптические гармоники, многофотонные процессы)

Световые волны обычных источников света характеризуются величиной напряженности электрического поля E , которое воздействует на электроны в веществе. Оптические характеристики среды в этом случае и характер большинства

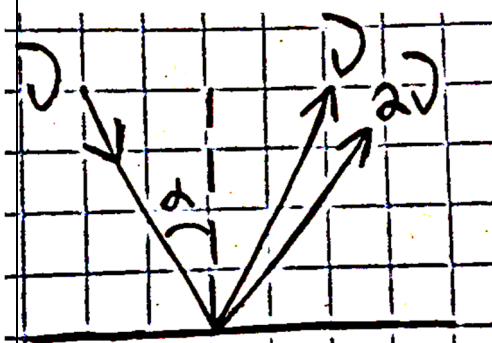
оптических явлений не зависят от интенсивности света. Распространение световых волн описывается линейными дифференциальными уравнениями. Такая оптика называется **линейной**.

Рассмотрим некоторые явления нелинейной оптики:

1) Нелинейное отражение света

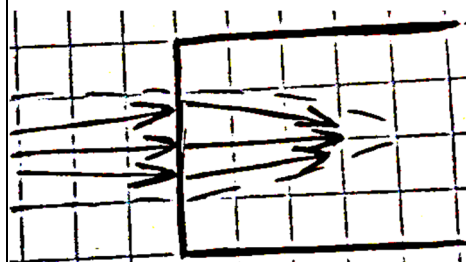
При отражении мощных световых пучков не выполняется обычный закон отражения. В отраженном пучке кроме волн с частотой ν , присутствуют волны с кратными

частотами $2\nu, 3\nu \dots$



2) Самофокусировка светового пучка

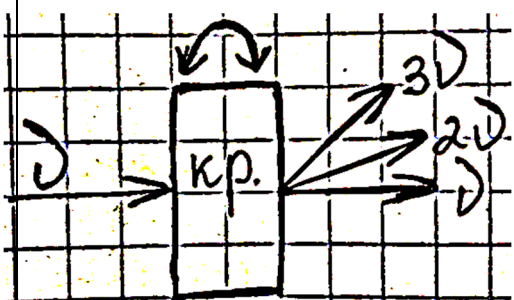
При больших напряженностях преломление увеличивается с увеличением напряжения, то есть $n_2 > 0$. Это приводит к тому, что световые лучи расходятся, свет пучка стремится выйти из области оптически более плотной среды в оптически менее плотную. В таких случаях при определении α возможно полное внутреннее отражение, в результате которой лучи опять направляются к оси пучка, то есть происходит самофокусировка.



3) Оптические гармоники

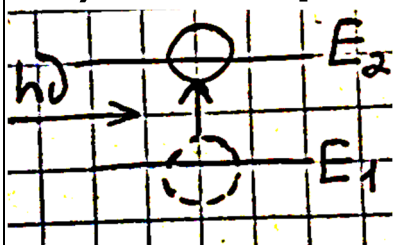
При рассеянии лазерного луча некоторой средой (жидкостью, кристаллом), кроме луча с частотой ν падающего излучения,

наблюдается рассеянный свет с световой волной кратной ν ($2\nu, 3\nu$ и тд).



Дипольный момент, который возникает при взаимодействии световой волны с молекулами вещества, имеет составные, которые соответствуют колебаниям с частотами, кратными частоте падающей световой волны.

4) Многофотонные процессы



При обычных интенсивностях в элементарном акте взаимодействия света с веществом поглощается только один фотон, энергия которого совпадает с разностью значений энергий соответственных энергетических состояний атомов или молекул: $h\nu = E_2 - E_1$

При большой интенсивности света могут поглощаться два и более фотонов. В этом случае происходит поглощение света не только частотой

$$\nu = (E_2 - E_1) / h$$

46. Астрономические методы измерения скорости света (метод спутников Юпитера, метод звездных аберраций).

Первая попытка вычислить скорость света была сделана в 1607 г Галиллеем. Два наблюдателя должны были отмерять промежуток времени, за который свет проходил расстояние между ими туда и обратно. Попытка Галилея была неудачной. Он пришел к выводу, что скорость света очень высокая.

Позже был разработан ряд методов для измерения скорости света. Все эти методы разделяются на астрономические и лабораторные.

Астрономические методы:

Метод спутников Юпитера (метод Ремера)

Датский астрonom Ремер в 1676 вычислил скорость света по измерению промежутков времени между двумя последовательными затмениями спутника Юпитера.

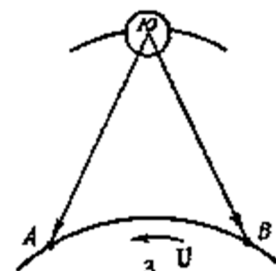


Рис. 10.1.

Когда Земля движется в пункте траектории А (рис 10.1) от Юпитера, то свету необходимо догнать Земля, и промежуток времени T_a - промежуток времени между двумя последовательными затмениями больше чем настоящий промежуток времени T_0 : $T_A = T_0 + \Delta t$
Где Δt - дополнительное время, обусловленное тем, что пункт А перемещается в результате движения Земли со скоростью v

Так как $\Delta t = \frac{vT_0}{c}$, то $T_A = T_0 + \frac{vT_0}{c}$ (2)

При наблюдениях из пункта В будем иметь: $T_B = T_0 - \frac{vT_0}{c}$ (3)

Из (2) и (3) $c = \frac{T_A + T_B}{T_A - T_B} \cdot v$ (4) $c = 215000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Метод звездных aberrаций (метод Брэдли)

Английский астроном Брэдли в 1728 вычислил скорость света в результате наблюдения за аберацией света звезд.

С помощью телескопа длиной OF наблюдают за положением S . Телескоп движется со скоростью Земли v .

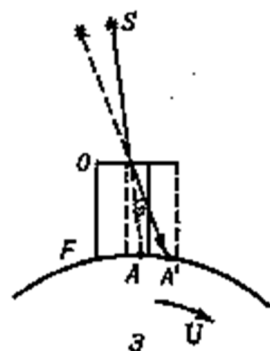


Рис. 10.2.

Спустя времени t , телескоп занимает другое положение. Свет от S достигает телескопа и проходит OF за некоторое время T . Если бы телескоп не смещался, луч перемещался в точку A . Это направление соответствует истинному направлению S .

Телескоп сместился с ним сместится луч. Внутри его и проходит в точку A' . Наблюдателю кажется, что звезда сместится в S_1 из-за звездных аббераций

$$\tan \varphi = \frac{AA'}{OF} = \frac{vt}{ct} = \frac{v}{c} \quad (5) \text{ Измерив } \varphi, \text{ определим } c:$$

$$c = 308000 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

47. Лабораторные методы измерения скорости света (метод зубчатого колеса, метод вращающегося зеркала, метод вращающейся призмы)

Первая попытка вычислить скорость света была сделана в 1607 г Галиллеем. Два наблюдателя должны были отмерять промежуток времени, за который свет проходил расстояние между ими туда и обратно. Попытка Галилея была неудачной. Он пришел к выводу, что скорость света очень высокая.

Метод зубчатого колеса (метод Физо, 1849). В 1849 Физо впервые определил скорость света в лабораторных условиях.

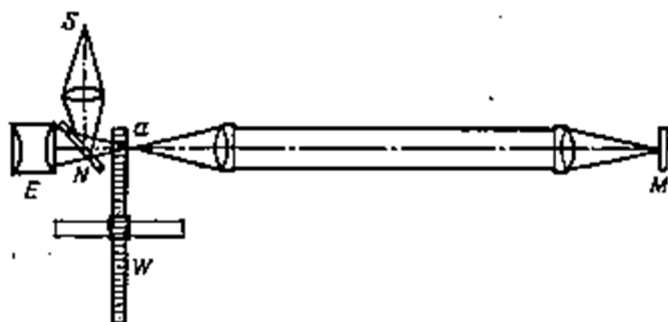


Рис. 10.3.

Пучок света от источника S, отражается полупрозрачном зеркале N, периодически

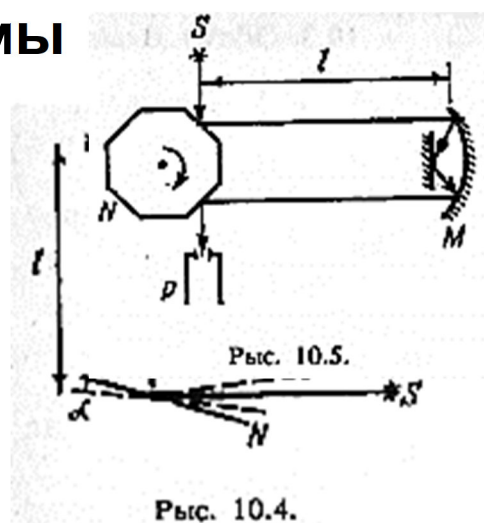
прерывался колесом W, проходил расстояние примерно равное 8 километрам и снова возвращался к колесу. Когда при этом свет попадал на зуб колеса, то свет не достигал наблюдателя, а если попадало в промежуток между зубцами, то свет можно было наблюдать через окуляр E. При вращении колеса за время Δt , на протяжении которого свет идет от зеркала M и назад, зубчатое колесо успевает повернуться на некоторый угол. Когда при этом

просвет между зубцами замениться ближайшим зубцом, отраженный свет будет задержан.

Метод вращающегося зеркала (метод Фуко, 1862). В 1862 г французский физик Фуко реализовал идею французского ученого Арго, чтобы использовать вместо зубчатого колеса зеркало, которое быстро крутится. Свет от источника S падает на зеркало N . Отраженный луч идет от него до вогнутого зеркала M после чего возвращается обратно к N и S . По величине сдвига SS' вычисляют угол α , а зная скорость вращения зеркала N , можно вычислить время на протяжении которого зеркало повернулось на угол α . За это время свет дважды проходит расстояние l .

Метод вращающейся призмы (метод Макельсона).

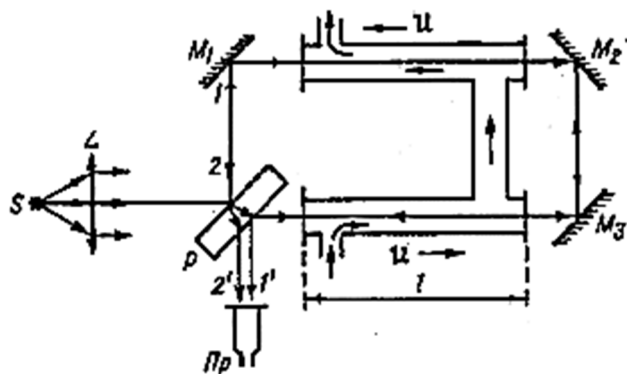
Дальнейшее уточнение метода Фуко оживил американский физик Майкельсон в 1926 г. Его установка была расположена между двумя горными вершинами ($l=35,4$ км). Свет от источника S падал на восьмигранную призму N . Скорость вращения призмы была подобрана таким образом, чтобы за время Δt , пока свет пройдет l дважды, она успела повернуться $1/8$ оборота.



48. Опыт Физо

В 1851г Физо провел исследование чтобы узнать, втягивается ли светоносный эфир телами при их движении. Под эфиром понимали особую среду, которая заполняет все всемирное пространство и пронизывает все тела. Выявление движения тел относительно эфира привело бы к появлению абсолютной системы отсчета, относительно которой можно было бы рассмотреть движение всех других систем. Возможны были три варианта взаимодействия эфира с телами: 1) Эфир совершенно не изменяется телами, которые двигаются. 2) Эфир втягивается телами при их движении частично и имеет скорость, равную αv , v — скорость света относительно абсолютной системы; α — коэффициент втягивания ($\alpha < 1$). 3) Эфир полностью втягивается телом при его движении, например, Землей.

Схема исследования Физо:



От S лучи падают на собирающую линзу которая направляет на плоскопараллельную пластинку P . За счёт отражения и преломления на ней возникают

когерентные лучи 1 и 2. 1- M_3 , 2- M_1 . После отражения от зеркал 1 и 2 - M_2 , оба отражается 1- M_1 , 2 - M_3 . В итоге оба снова приходили на пластинку Р отражались и преломлялись и выходили $1^1, 2^1$, которые падали в приёмник Пр. На путях этих лучей установили П-образную трубку с длиной плеча l . В трубке два отверстия: через одно прокачивают воду со скоростью u . Луч 2 распространяется в двух трубах за против течения воды, а луч 1 – по течению. При неподвижной воде 1 и 2 проходят путь l за одинаковое количество времени. Рассматриваются 2 стоячей воды и потока воды. При переходе от первого состояния ко второму изменения условия распространения 1 и 2, что привело к дополнительной разности хода этих лучей что вызвало смещение интерференционной картины на некоторое число полос k .

49. Опыт Майкельсона.

Практически до конца 19 века многие ученые верили в существование всемирного эфира. В 1881г. Майкельсон провел знаменитое исследование, при помощи которого он хотел вычислить движение Земли относительно эфира. Для этой цели он решил использовать не механические, а оптические явления, в частности интерференцию света. В основу исследования Майкельсона были положены следующие идеи: Пусть Земля движется относительно эфира со скоростью v , а скорость распространения света в эфире равна c . Время прохождения светом некоторого отрезка длиной l должно зависеть от размещения этого отрезка относительно направления движения Земли в эфире. Время прохождения света отражается l должно зависеть от расположения этого отрезка относительно направления v .

Пучок света от источника S подает на полупрозрачное зеркало A , размещенное под углом в 45° к лучу SO . В результате отражения и преломления возникают два луча, которые падали на зеркала Z_1 и Z_2 , после чего снова возвращались к A и линзы L . На экране \mathcal{E} можно было наблюдать интерференционную картину. Вся установка расположена так, что вектор скорости v , перпендикулярен l_2 и параллелен l_1 . Расстояния l_1 и l_2 не равны друг другу. Если повернуть установку на 90° относительно ее первоначального положения, то лучи, которые идут от зеркал Z_1 и Z_2 ,

так же повернутся относительно эфира на 90° . Неизменность интерференционной картины, которая наблюдалась при повороте установки на 90° , заставляла считать скорость движения Земли относительно эфира равной нулю. Попытки вычислить движение Земли относительно эфира потерпела неудачу, так как данное движение никак не влияло на распространение света. Скорость света, согласно с формулами, приведенными выше и учитывая, что $v = 0$, по всем направлениям остается постоянной и равной c . Отрицательный результат опыта Майкельсона оказался в противопоставлении с гипотезой о существовании всемирного эфира. Было сделано несколько попыток объяснить такой результат, при этом считали, что всемирный эфир существует, но все пояснения оказались безосновательными.

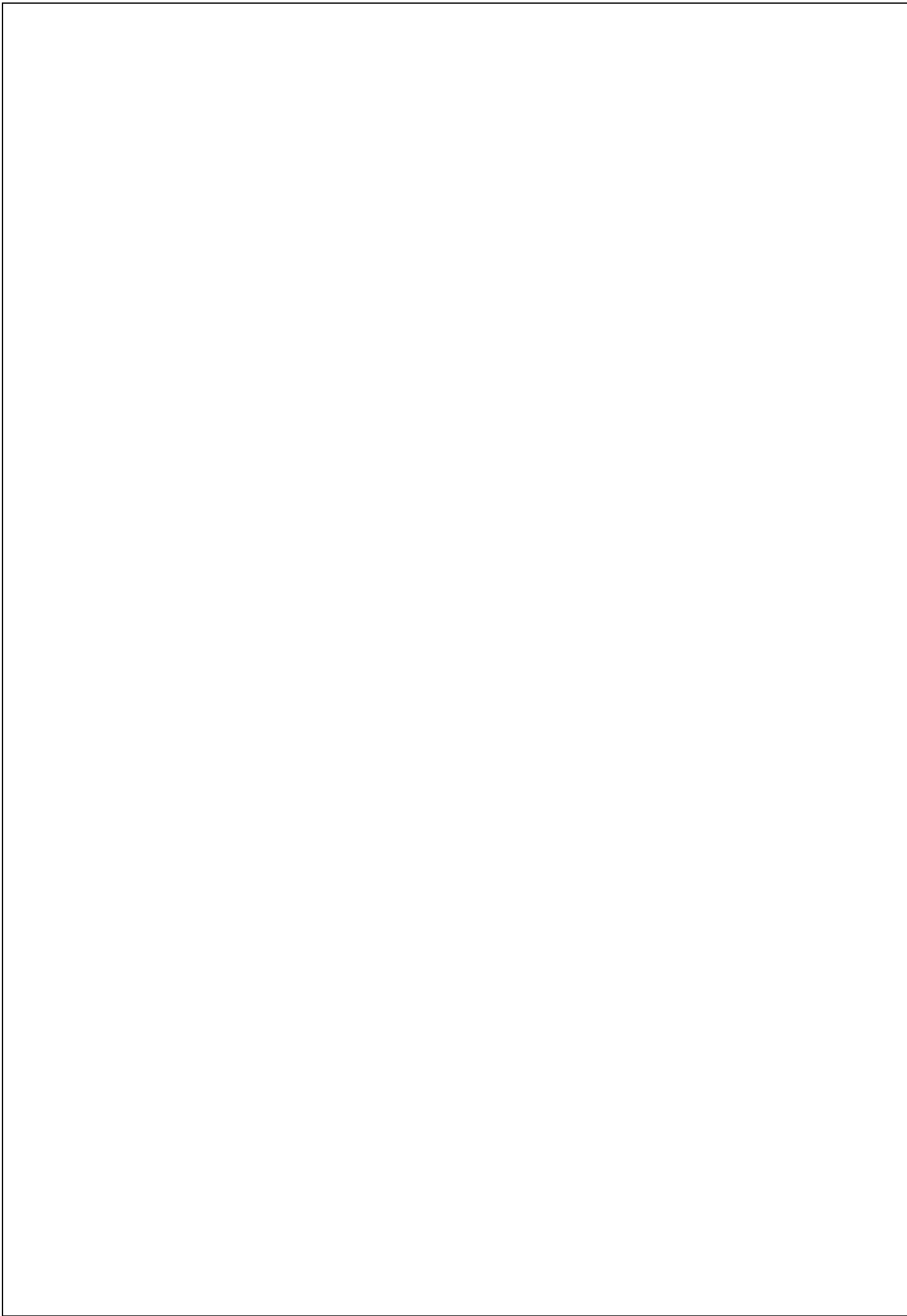
Обоснование этому дал Эйнштейн в 1905г, проанализировав результаты сделал выводы:

1) $v = 0, t_1 = t_2 = t_3$

Тем самым был сформулирован общий принцип теории относительности все электромагнитные явления в различных интерференции системе протекают одинаково

2) $t_2 = \frac{l}{c+v}$ скорость движения физического объекта должна была превышать скорость света в вакууме, но поскольку $v = 0$, Эйнштейн делает вывод: с явлением максимум возможной скорости движения физического объекта

- постоянства скорости света



50. Оптические явления в природе (атмосферная рефракция, миражи, радуга, галло, венцы, мерцание синий цвет неба и красный цвет зари, сумерки (белые ночи).

Атмосферная рефракция. Миражи. Под рефракцией понимают преломление света, это значит изменение направления световых лучей при изменении показателя преломления n среды, через которую проходят лучи. Чаще всего этот термин используют при описании распространения оптического выпрямления в среде, в которой показатель преломления n плавно изменяется от точки к точке. В результате возникает безостановочное изменение направления световых лучей, которое получило название **атмосферной рефракции**. **Мираж** - оптическое явление, состоящее в том, что кроме предметов в их истинном положении видны их мнимые изображения; при мираже предметы, скрытые за горизонтом, становятся видимыми; это результат искривления световых лучей в неравномерно нагретых слоях воздуха. **Радуга.** Радуга представляет собой разноцветную дугу на небе и наблюдается, когда Солнце освещает заслон дождя, который размещается на противоположной стороне от него. Иногда наблюдают сразу две радуги. Радуга возникает, благодаря преломления солнечных лучей в дождевых каплях. **Эффект Гало.**

Гало возникает в результате преломления и отражения солнечного света в ледяных кристаллах, которые суспензированы в воздухе (перистые облака). При этом вокруг Солнца наблюдаются светлые круги, дуги, столбы, пятна. В местах пересечения разных кругов получаются пятна с большей яркостью, которые иногда называют «мнимое Солнце». **Венцы.** Они представляют собой одно или несколько окрашенных колец вокруг Солнца или Месяца. Они могут наблюдаться и около других источников света. Венцы обусловлены дифракцией солнечных лучей на водных капельках тонких прозрачных облаков. **Мерцание.** Нерегулярное изменение интенсивности выпрямления космических тел (звёзд) носит название мерцание. Мерцание звёзд является результатом быстрого изменения яркости и цвета, которое обусловлено рассеянием выпрямления на оптических неоднородностях межзвёздного и межпланетного сред. **Голубой цвет неба и красный цвет зори.** Голубой цвет неба объясняется молекулярным рассеянием солнечного цвета. Благодаря хаотическому движению молекул в атмосфере возникают места разряжения и сгущения воздуха, которые и рассеивают солнечный свет. При восходе или на заходе прямой солнечный свет, который прошёл через значительную толщину атмосферы должен быть красно – оранжевым,

синие лучи будут рассеяны в сторону. **Сумерки (белые ночи)**. Благодаря рассеянию света атмосферой после захода Солнца на поверхности Земли не получается полная темнота. Период плавного перехода от дневного света до наступления ночи получил название сумерки. Белая ночь – это явление, когда вечерние сумерки плавно переходят в утренние, минуя ночь, т.е. период минимальной освещенности земной поверхности.

1. Предмет оптики. Исторический очерк развития оптики. Электро-магнитная и квантовая теории света. Принцип Гюйгенса. Законы отражения и преломления.

2. Источники и приёмники света. Световой поток. Сила света. Освещенность. Яркость источника. Светимость. Интенсивность светового потока.

3. Основные энергетические и световые величины и их единицы измерения.

4. Переход от энергетических единиц к световым. Функция видности. Фотометры (призменный, Люмера-Бродхуна).

5. Геометрическая оптика. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления света на плоской границе двух и более сред (плоскопараллельная пластинка в воздухе, призма).

6. Полное внутреннее отражение. Приборы (поворотная призма, обратная призма). Волоконная оптика.

7. Преломление света на сферической поверхности. Сферические зеркала.

- 8.** Основные закономерности построения изображений предметов в оптических системах.
- 9.** Увеличение одной преломляющей сферической поверхности. Теорема Лагранжа-Гельмгольца.
- 10.** Преломление света в линзах. Общая формула линзы. Увеличение тонкой линзы. Оптическая сила линзы.
- 11.** Центрированные оптические системы. Основные понятия и характеристики. Общая формула. Сложная центрированная оптическая система. Примеры.
- 12.** Телескопическая оптическая система (лупа, микроскоп, зрительная труба).
- 13.** Аберрации оптических систем (сферическая(кома), астигматизм, дисторсия, хроматическая аберрация) и методы их ликвидации. Условие ахроматизации системы. Уравнение Петцваля.
- 14.** Световой поток, проходящий через оптическую систему. Диа-фрагмы, светосила.
- 15.** Глаз как оптическая система.
- 16.** Оптические приборы (лупа, микроскоп, телескоп, фотоаппарат, проекционный аппарат).
- 17.** Понятие о когерентности. Явление интерференции.
- 18.** Способы получения когерентных волн (метод Юнга, бизеркала Френеля, бипризма Френеля, билинза Бийе, зеркало Ллойда).
- 19.** Распределение интенсивности света в интерференционной картине. Влияние размеров и

немонохроматичности источника на интерференционную картину.

20. Интерференция при отражении и преломлении света в тонких плёнках и пластинах. Полосы равного наклона.

21. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.

22. Интерферометры (интерферометр Жамена, Майкельсона). Многолучевая интерференция (интерферометр Фабри-Перо, Люмера-Герке).

23. Применение интерференции в науке и технике. Просветление оптики, интерференционные зеркала и светофильтры.

24. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Зонная пластинка. Объяснение прямолинейного распространения света согласно волновой теории. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Метод графического сложения амплитуд.

25. Дифракция Френеля на круглом отверстии, на круглом экране, на краю полубесконечного экрана. Метод графического сложения амплитуд.

26. Дифракция Фраунгофера на узкой щели. Дифракция от совокупности щелей. Метод графического сложения амплитуд.

27. Амплитудные и фазовые дифракционные решётки. Основные характеристики дифракционной решетки как спектрального прибора. Метод графического сложения амплитуд. Влияние размеров источника на дифракционную картину.

28. Дифракция света на пространственных решётках (линейная, двумерная плоская и объемная дифракционные решетки). Дифракция света на ультразвуковых волнах. Понятие о голографии.

- 29.** Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах. Формула Вульфа-Брегга. Области применения.
- 30.** Дифракционная природа изображения. Разрешающая способность оптических приборов.
- 31.** Естественный и поляризованный свет. Степень поляризации. Эллиптическая и круговая поляризации. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса.
- 32.** Поляризация света при отражении и преломлении на границе раздела однородных и изотропных сред. Закон Брюстера и его объяснение с использованием электромагнитной теории Максвелла.
- 33.** Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Дихроизм. Положительные и отрицательные кристаллы.
- 34.** Интерференция плоскополяризованных волн. Искусственная оптическая анизотропия (метод упругих деформаций, метод электрического поля (эффект Керра), метод магнитного поля).
- 35.** Поляризационные приборы (стопа Столетова, призма Волластона, призма Николя, призма Фуко, дихроичные пластинки, поляроиды).
- 36.** Вращение плоскости поляризации. Поляриметры и их применение.
- 37.** Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта. Закон Бера. Коэффициент поглощения. Спектры поглощения и их виды. Цвет тел.
- 38.** Механизмы поглощения света диэлектриками и металлами.
- 39.** Рассеяние света и его виды. Молекулярное рассеяние света. Закон Релея. Цвет неба и зари.

- 40.** Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсии. Ме-тоды исследования дисперсии света (скрещенных призм, крюков Рож-дественского).
- 41.** Основы электронной теории дисперсии света.
- 42.** Применение дисперсии. Дисперсионные спектральные приборы (спектроскоп, спектрограф, монохроматор, полихроматор).
- 43.** Скорость света. Фазовая и групповая скорости. Эффект Вавило-ва-Черенкова.
- 44.** Эффект Доплера в оптике. Лабораторное подтверждение эффек-та Доплера.
- 45.** Понятие о нелинейной оптике. Нелинейные эффекты (нелиней-ное отражение света, самофокусировка, оптические гармоники, много-фотонные процессы).
- 46.** Астрономические методы измерения скорости света (метод спутников Юпитера, метод звездных aberrаций).
- 47.** Лабораторные методы измерения скорости света (метод зубчато-го колеса, метод вращающегося зеркала, метод вращающейся призмы).
- 48.** Опыт Физо.
- 49.** Опыт Майкельсона.
- 50.** Оптические явления в природе (атмосферная рефракция, миражи, радуга, гал