

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Лабораторная работа № 3-07

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ  
РЕШЕТОК**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по курсу «Общая физика» по теме «Оптика»  
для студентов всех специальностей

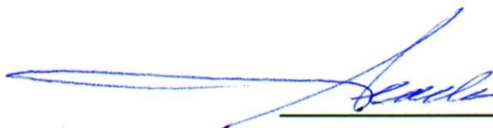
Томск 2016

УДК 53.072:681.3

Исследование прозрачных дифракционных решеток: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу "Общая физика" по теме «Оптика» для студентов всех специальностей. – Томск. Изд. ТПУ, 2016.-25 с.

Составитель: Т.Н. Мельникова

Зав. кафедрой ОФ  
кандидат физ.-мат. наук,

  
А.М. Лидер

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

**Цель работы:** Ознакомиться с принципом действия прозрачной дифракционной решетки. Определить длины волн в спектре атомов ртути. Рассчитать основные характеристики решетки: период  $d$ , число штрихов  $N$ , дисперсию  $D$  и разрешающую способность  $R$ .

**Приборы и принадлежности:** источник света – ртутная лампа, блок питания для ртутной лампы, набор дифракционных решеток с различными параметрами, гониометр ГС–5 или ГС.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

**Дифракцией света** называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени. Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется **дифракционная картина** – система чередующихся светлых и темных колец. Если препятствие имеет линейный характер (щель, нить, край экрана), то на экране возникает система параллельных дифракционных полос.

Наиболее четкие дифракционные картины наблюдаются в тех случаях, когда размеры препятствий оказываются сравнимыми с длиной волны света.

Простейшее объяснение дифракции основано на **принципе Гюйгенса-Френеля** (рис. 1), в соответствии с которым каждая точка волнового фронта, т.е. каждая точка, до которой доходит световая «волна» является источником вторичных сферических волн.

Огибающая этих вторичных волн в каждый последующий момент времени является новым **фронтом волны**. Результирующее колебание в любой точке пространства рассчитывается как результат интерференции вторичных волн, излучаемых всей волновой поверхностью.

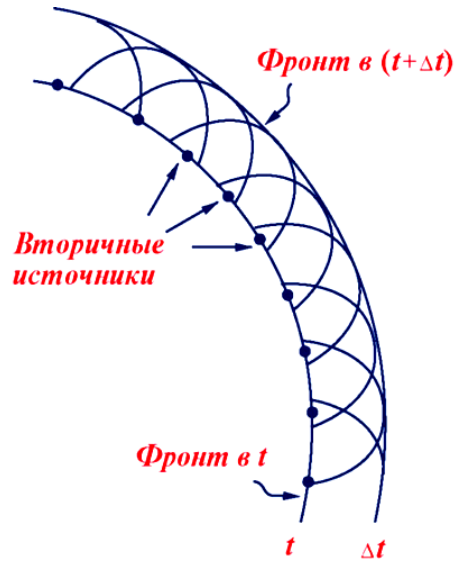


Рис. 1

Иллюстрация принципа Гюйгенса

Различают два случая дифракции света – дифракцию Френеля, или дифракцию в сходящихся лучах, и дифракцию Фраунгофера, или дифракцию в параллельных лучах.

**Дифракция Френеля** — дифракционная картина, которая наблюдается на небольшом расстоянии от препятствия, по условиям, когда основной вклад в интерференционную картину дают границы экрана.

Характер дифракции зависит от значения безразмерного параметра, называемого **параметром дифракции**  $\frac{b^2}{L\lambda}$ :

$$\frac{b^2}{L\lambda} \begin{cases} \ll 1 & \text{– дифракция Фраунгофера,} \\ \approx 1 & \text{– дифракция Френеля,} \\ \gg 1 & \text{– свет распространяется по законам геометрической оптики,} \end{cases}$$

где  $b$  – размер препятствия,  $\lambda$  – длина световой волны,  $L$  – расстояние от препятствия до экрана наблюдения.

Для практики наиболее интересен случай дифракции света, когда препятствие оставляет открытой лишь малую часть 1-й зоны Френеля. Этот случай реализуется (как сказано выше) при условии

$$m = \frac{b^2}{L\lambda} \ll 1 \quad \text{или} \quad b^2 \ll L\lambda,$$

т. е. дифракционную картину от препятствий небольшого размера следует в этом случае наблюдать на очень больших расстояниях.

Например, если  $R = 1$  мм,  $\lambda = 550$  нм (зеленый свет), то расстояние  $L$  до плоскости наблюдения должно быть значительно больше 2 метров (т. е. минимум 10 метров или больше). Лучи, проведенные в далекую точку наблюдения от различных элементов волнового фронта, практически можно считать параллельными. Этот случай дифракции так и называется – **дифракция плоских световых волн, дифракция в параллельных лучах** или **дифракция Фраунгофера** – по имени немецкого физика И. Фраунгофера, современника Френеля. Если на пути лучей за препятствием поставить собирающую линзу, то параллельный пучок лучей, дифрагировавший на препятствии под углом  $\theta$ , соберется в некоторой точке фокальной плоскости (рис. 2).

Следовательно, **любая точка в фокальной плоскости линзы эквивалентна бесконечно удаленной точке в отсутствие линзы.**

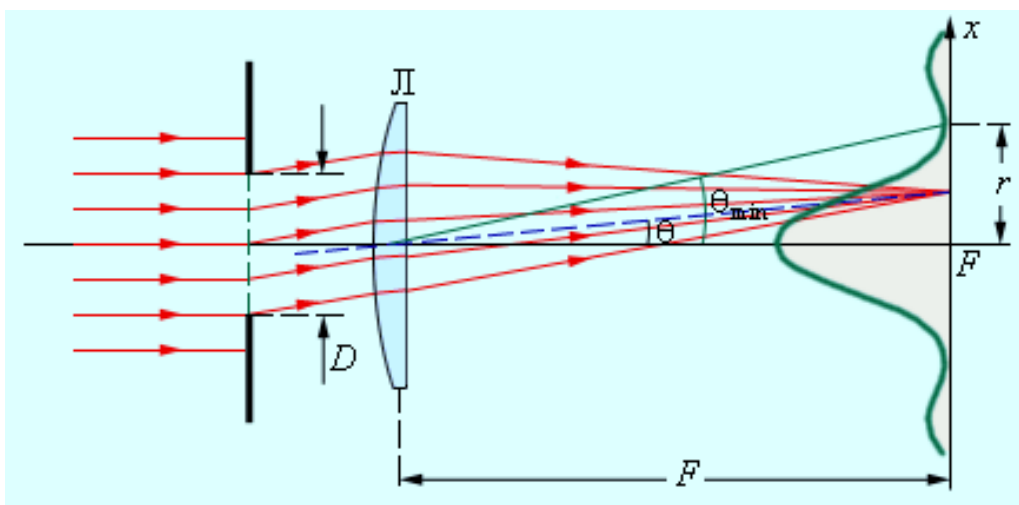


Рис. 2. Дифракция в параллельных лучах. Кривая – распределение интенсивности в фокальной плоскости (масштаб по оси  $x$  сильно увеличен).

**Прозрачная дифракционная решетка** представляет собой совокупность большого числа параллельных, очень близко расположенных друг к другу щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Такую решетку можно получить, если на стеклянную пластину делительной машиной нанести ряд параллельных штрихов, оставив неповрежденными узкие полоски стекла. Царапины рассеивают свет и непрозрачны, неповрежденные участки стекла играют роль щелей.

Если через  $a$  обозначить ширину щели, а через  $b$  – ширину непрозрачного промежутка, то величину  $d = a + b$  называют **периодом** или **постоянной дифракционной решетки**.

Пусть на дифракционную решетку (1), имеющую  $N$  – штрихов, падает **нормально** к ее поверхности плоская монохроматическая волна с длиной волны  $\lambda$  (рис. 3).

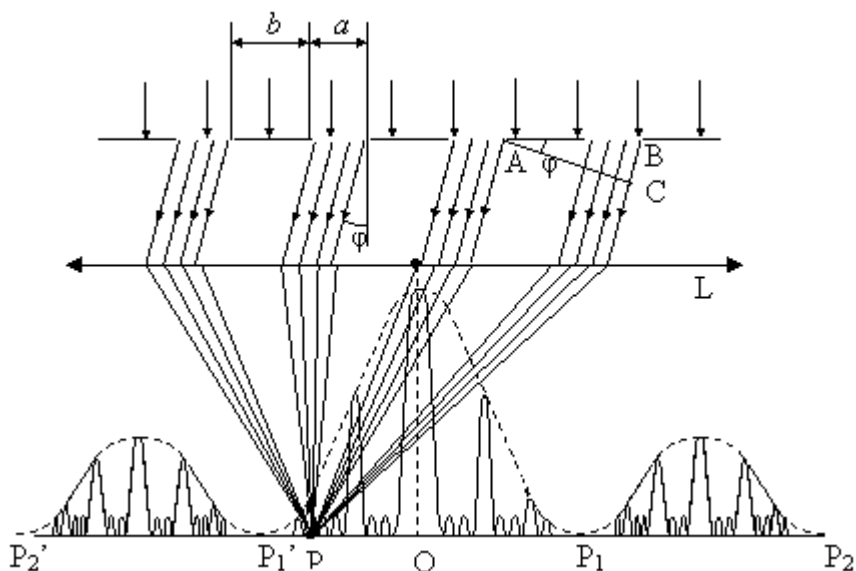


Рис. 3. Дифракция света на одномерной решетке.

Решеткой она разбивается на  $N$  вторичных волн, которые *по принципу Гюйгенса-Френеля* когерентны и могут интерферировать. Чтобы наблюдать дифракционную картину, надо линзой ( $L$ ) свести эти волны в определенные точки экрана, расположенного в фокальной плоскости линзы. При этом следует учесть, что основная часть излучения распространяется в первоначальном направлении и собирается линзой в ее главном фокусе  $O$ , но в результате дифракции часть лучей отклоняется от первоначального направления, например на угол  $\varphi$ , и собирается линзой в побочных фокусах.

Результат интерференции определяется разностью фаз  $\delta$  или разностью хода  $\Delta$  складываемых колебаний.

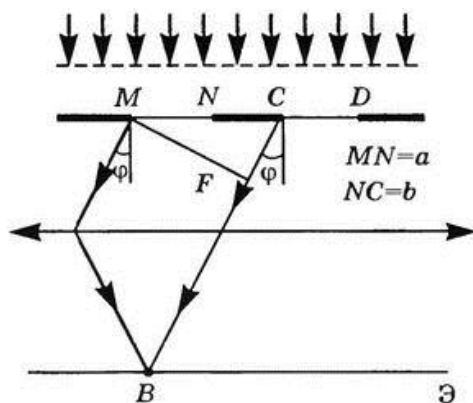


Рис. 4

Как видно из рис. 4, разность хода  $\Delta$  (расстояние  $FC$ ) от соседних щелей равна

$$FC = MC \sin \varphi \quad \text{или} \quad \Delta = d \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол дифракции. Зная разность хода, можно найти разность фаз из тех направлений, для которых в разности хода укладывается целое число волн  $\Delta = k\lambda$  возникают максимумы интенсивности, которые называют **главными** и тогда основная формула для дифракционной решетки имеет вид

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (1)$$

где  $k$  – принимает значения:  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ , и называется **порядком максимума**.

Интенсивность  $I$  главных максимумов можно рассчитать, пользуясь векторным методом сложения амплитуд.

Обозначим через  $\vec{a}_i$  – вектор амплитуды колебания, идущего от  $i$ -ой щели, в соответствующую точку экрана. Тогда вектор результирующей амплитуды  $\vec{A}$  в этой точке найдем по принципу суперпозиции колебаний, т. е.

$$\vec{A} = \sum_{i=1}^N \vec{a}_i.$$

На векторной диаграмме (рис. 5) каждый следующий вектор повернут относительно предыдущего на один и тот же угол  $\delta$ , равный разности фаз колебаний, возбуждаемых соседними щелями. Графически результирующая амплитуда определится вектором  $\vec{A}$ , который является замыкающим ломаной линии, образованной векторами  $\vec{a}_i$ .

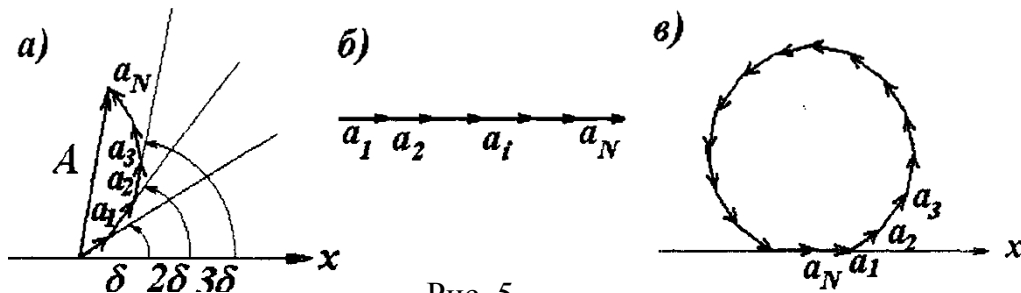


Рис. 5

Очевидно, что вектор  $\vec{A}$  достигает своего максимального значения, когда все векторы  $\vec{a}_i$  расположены вдоль одной прямой (рис. 5б). Это имеет место, если

$$\delta = 2k\pi, \quad (2)$$

где  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Так как ширина щелей одинакова, то модули векторов  $\vec{a}_i$  равны по величине и для малых углов дифракции не зависят от  $\varphi$ . Тогда величина вектора  $\vec{A}$  будет равна

$$A = Na.$$

Известно, что интенсивность  $I$  света пропорциональна квадрату амплитуды  $I \sim A^2$ . Отсюда получается, что интенсивность главных максимумов равна

$$I = I_0 N^2,$$

где  $I_0$  – интенсивность, создаваемая одной щелью в направлении  $\varphi$ .

Вектор  $\vec{A}$  становится равным нулю всякий раз, когда ломаная линия, образованная векторами  $\vec{a}_i$ , превращается в замкнутую кривую (рис.5в), т. е. когда последний из векторов  $\vec{a}_N$  располагается в том же направлении, что и первый  $\vec{a}_1$ . Так как вектор  $\vec{a}_N$  составляет с осью  $ox$  угол  $N\delta$ , то он будет параллелен оси  $ox$ , при условии  $N\delta = 2k\pi$ ,  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ .

Таким образом, мы получаем условие образования минимумов

$$\delta = 2k \frac{\pi}{N} \quad (3)$$

Так как при этом условии  $A = 0$ , то и интенсивность в минимумах равна нулю  $I = 0$ .

Минимумы образуются, когда  $\delta$  удовлетворяет условию (3), кроме случаев, когда  $k = 0, N, 2N, 3N, \dots$ , так как тогда условие (3) переходит в условие максимумов (2). Из сопоставления этих условий вытекает, что минимумы располагаются в  $(N - 1)$  раз чаще, чем максимумы. Очевидно, между двумя соседними минимумами должно образоваться еще по одному максимуму. Эти максимумы значительно слабее главных максимумов, поэтому они называются *вторичными*.

На рис. 6 показано распределение освещенности в фокальной плоскости линзы, как функция разности фаз. При увеличении числа интерферирующих волн главные максимумы становятся резче, между ними располагается все большее и большее число слабых вторичных максимумов. При большом  $N$  вторичные максимумы практически сливаются и дают лишь слабый фон между главными максимумами. Вся интерференционная картина имеет вид узких светлых полос, разделенных темными широкими промежутками.

Как видно из рис. 6, с увеличением порядка величина главных максимумов снижается. Это происходит из-за того, что в боковых направлениях щели посылают меньше света.



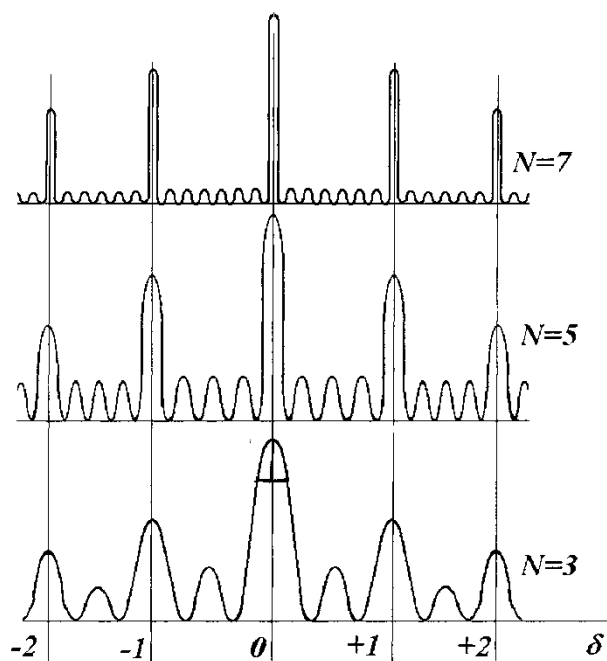


Рис. 6

Из формулы (1) следует, что если решетка освещается белым светом, то произойдет разложение его в спектр. Действительно, при заданном значении  $k$  максимумы для разных длин волн  $\lambda$  получаются под разными углами  $\varphi$ . При  $\varphi = 0$  возникает максимум нулевого порядка для всех длин волн, который представляет собой изображение щели в виде полосы белого света. По обе стороны от него будут располагаться спектры соответствующих порядков. В каждом спектре максимумы более коротких длин волн находятся ближе к нулевому максимуму. Максимумы для более длинных волн – дальше от него. На этом основано использование дифракционных решеток в спектроскопии для разложения света в спектр и измерения длины волны.

Основными характеристиками дифракционной решетки, определяющими качество спектра, являются **дисперсия** (угловая или линейная) и **разрешающая способность**.

**Угловая дисперсия**  $D_\varphi$  определяет угловое расстояние  $d\varphi$  между спектральными линиями  $\lambda$  и  $\lambda + d\lambda$ , т. е.

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (4)$$

Эта величина выражается в  $rad/nm$  и определяет ширину спектра. Выражение  $D_\varphi$  можно получить, если продифференцировать выражение (1) по  $\lambda$  при  $k = const$

$$D_\varphi = \frac{k}{d \cos \varphi}. \quad (5)$$

**Линейная дисперсия**  $D_e$  определяет линейное расстояние  $dl$  в фокальной плоскости линзы между линиями спектра  $\lambda$  и  $\lambda + d\lambda$ , т. е.

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda}.$$

Для малых углов  $d\varphi$  можно  $dl$  определить как

$$dl = F d\varphi,$$

где  $F$  – **фокусное расстояние линзы** (2) (рис.1). Тогда

$$D_l = F D_{\varphi}. \quad (6)$$

Способность решетки разделять близкие спектральные линии  $\lambda_1 = \lambda$  и  $\lambda_2 = \lambda + d\lambda$  определяется не только угловым расстоянием  $d\varphi$  между ними (рис.7), но и их шириной  $\delta\varphi$ . Если дифракционные максимумы размыты и имеют значительную ширину, то даже при сравнительно большом угловом расстоянии между ними, результирующая кривая, возникающая при их наложении не отличима от картины одиночного дифракционного максимума. Следовательно, чем ярче спектральные линии, тем более близкие линии можно увидеть раздельно.

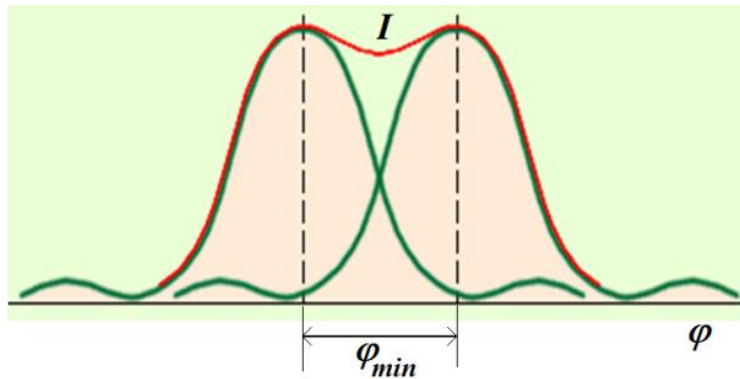


Рис. 7

За меру разрешающей способности принимают величину,

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda}, \quad (7)$$

где  $d\lambda$  – наименьшая разница в длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ,  $\lambda$  – длина волны, равная среднему значению  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Величину  $R$  можно рассчитать из **критерия Рэля**: две близкие спектральные линии считаются разрешенными, если максимум одной из них совпадает с первым минимумом другой (рис.7), т.е.  $d\varphi = d\lambda$ . Из этого равенства можно получить выражение для разрешающей способности решетки

$$R = kN, \quad (8)$$

где  $k$  – порядок максимума,  $N$  – полное число штрихов решетки.

## ОПИСАНИЕ ГОНИОМЕТРА

Работа выполняется на *гониометре* – приборе, предназначенном для точных измерений углов оптическим методом.

Внешний вид гониометра представлен на рис. 8. Он состоит из коллиматора 2, зрительной трубы 1, столика 3, на котором располагается изучаемый объект, отсчетного микроскопа 4 и лимба, скрытого в корпусе. Лимб, столик и корпус прибора могут вращаться вокруг вертикальной оси.

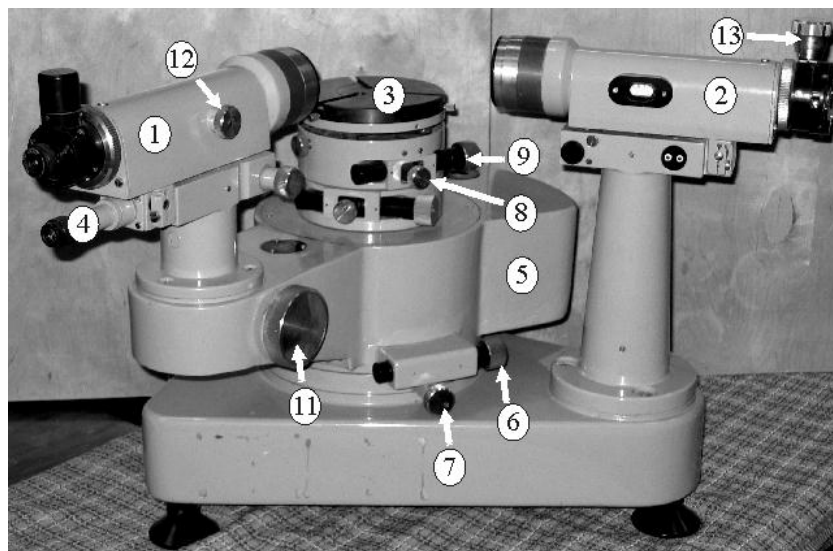


Рис.8.

Внешний вид гониометра ГС-5

Зрительная труба 1 и микроскоп 4, крепятся к подвижному основанию 5. Если винт 7 отпустить, то основание можно легко повернуть рукой на большой угол. При закрученном винте 7 основание 5 можно точно повернуть на небольшой угол вращением микрометрического винта 6. При юстировке гониометра зрительная труба поворачивается относительно неподвижного столика 3. Столик закрепляется винтом 8. Точное вращение столика осуществляется микрометрическим винтом 9 при зажатом винте 8.

***При измерениях нужно закрепить столик, и вращать только зрительную трубу.***

***Коллиматор*** служит для создания параллельного пучка света. Он представляет собой трубу, на одном конце которой имеется объектив, на другом – узкая щель, расположенная в фокальной плоскости объектива. Ширину щели можно регулировать с помощью микрометрического винта.

**Зрительная труба** состоит из объектива и окуляра, с помощью которого рассматривается изображение, полученное в фокальной плоскости объектива. Зрительная труба укреплена на кронштейне – алидаде, которую можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через центр предметного столика. Поворот трубы осуществляется от руки после освобождения зажимного винта. При закреплении винта можно производить тонкое перемещение трубы.

Столик может вращаться самостоятельно, совместно с лимбом при неподвижной зрительной трубе и, наконец, совместно с лимбом и трубой.

Лимб гониометра снабжен шкалой с делениями. Отсчет делений по лимбу производится с помощью отсчетного микроскопа с ценой деления, равной 1". Для этого надо повернуть маховичок 11 настолько, чтобы верхние и нижние двойные штрихи лимба в левой части окна отсчетного микроскопа совместились, как показано на рис. 7.

Для измерения угла поворота зрительной трубы используется отсчетное устройство, состоящее из лимба 10, оптического микрометра и микроскопа 4. Поле зрения отсчетного микроскопа представлено на рис. 9.

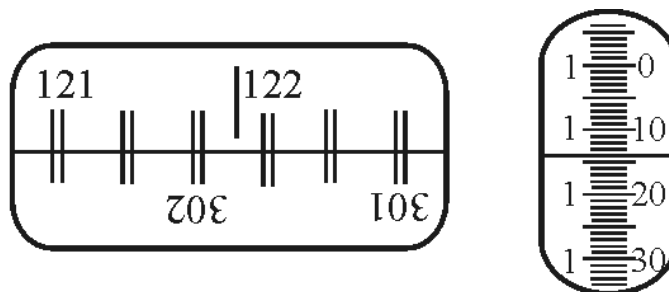


Рис.9.

Поле зрения отсчетного микроскопа

В левом окне видны изображения диаметрально противоположенных участков лимба и вертикальный индекс. Цена деления лимба 20'. Лимб жестко связан с неподвижным основанием. Поэтому при повороте зрительной трубы отсчеты по лимбу меняются.

В правом окне видно изображение шкалы оптического микрометра. Перемещение шкалы на 600 делений смещает верхнее изображение штрихов лимба относительно нижнего на 10'. Поэтому цена деления шкалы равна  $10'/600 = 1''$ .

Чтобы снять отсчет по лимбу, необходимо повернуть маховичок 11 оптического микрометра настолько, чтобы верхние и нижние изображения штрихов лимба в левом окне точно совместились (как показано на рис.9).

Число градусов будет равно *ближайшей левой* от вертикального

индекса цифре (в показанном примере это  $121^\circ$ ).

Число десятков минут равно *числу интервалов*, заключенных между верхним оцифрованным двойным штрихом, который соответствует отсчитанному числу градусов, и нижним двойным штрихом, отличающимся от верхнего на  $180^\circ$ . В показанном примере между  $121^\circ$  и  $301^\circ$  располагается пять интервалов, следовательно, число десятков минут равно 5.

Число единиц минут отсчитывается по вертикальной шкале в правом окне по левому ряду чисел (в примере оно равно 1), а число секунд – по той же шкале по правому ряду чисел (равно 14). Таким образом, положение, показанное на рис.7, соответствует отсчету  $121^\circ 51' 14''$ .

Окуляр зрительной трубы снабжен автоколлимационным устройством, позволяющим установить ось зрительной трубы строго перпендикулярно к интересующей нас плоскости, например к плоскости решетки. Принцип действия этого устройства очевиден из рис.8. Лампочка 5 освещает прозрачный крест на пластине 6. Прошедшие через него лучи отражаются от диагональной грани стеклянного кубика 7, проходят через объектив 8, зрительной трубы 4 и, отразившись от некоторой плоской поверхности, например от дифракционной решетки 3, возвращаются в трубу, образуя в фокальной плоскости 9 объектива изображение светлого креста. Если плоскость поверхности перпендикулярна к оси трубы, то изображение этого креста совместится с визирным крестом, расположенным в плоскости 9.

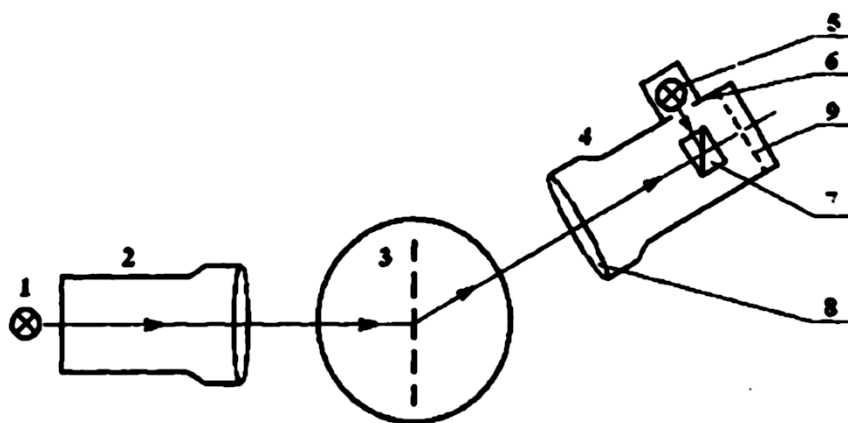


Рис. 10

1 - источник света; 2 - коллиматор; 3 - решетка; 4 - зрительная труба; 5, 6, 7 - автоколлимационное устройство; 8 - объектив зрительной трубы; 9 - фокальная плоскость объектива.

Работа также может выполнена на гониометре-спектрометре, описание которого приведено ниже.

Гониометр-спектрометр (рис. 11) является оптическим контрольно-измерительным прибором лабораторного типа высокой точности, который позволяет, в частности, производить измерения углов дифракции спектральных линий в видимой области спектра, полученного с помощью дифракционной решетки.



Рис. 11

Спектрометр-гониометр состоит из следующих основных компонентов: коллиматорной трубки, окулярной трубки, призмного столика и дисковой шкалы. Коллиматорная трубка жестко укреплена на основании, в то время как дисковая шкала, призмный столик и окулярная трубка могут поворачиваться независимо вокруг оси основания.

Коллиматорная трубка, как упоминалось выше, жестко прикреплена к основанию и имеет щель на свободном конце, то есть который обращен в сторону, противоположную призмному столику. Ширина и высота щели может регулироваться при помощи винта регулировки ширины щели и подвижной заслонки. Ослабив регулировочный винт коллиматора, можно передвигать трубку, на которой установлена щель, вдоль коллиматорной трубки, изменяя длину коллиматора. Линза установлена на другом конце коллиматорной трубки (фокусное расстояние коллиматорной линзы  $f = 160$  мм). Расстояние между линзой и щелью можно регулировать относительно фокусного расстояния коллиматорной линзы.

Решетка должна помещаться на столике. Столик фиксируется в определенном положении, при помощи юстировочного винта. Как и коллиматорная трубка, окулярная трубка имеет три точки крепления.

При установке трубок необходимо, чтобы боковые точки крепления вошли в углубления на стенках трубок.

Окулярная трубка установлена на консоли, которая вращается вокруг оси основания и может фиксироваться в определенных положениях при помощи бокового регулировочного винта. С другого конца трубки, направленного к призменному столику, находится линза с фокусным расстоянием  $f = 160$  мм, а на другом конце регулируемое смотровое окошко со встроенной шкалой с делениями 0-100. После фиксации окулярной трубки в надлежащем положении, можно выполнять тонкую регулировку окулярной трубки при помощи юстировочного винта.

Верньер, предназначенный для измерений угла на дисковой шкале с точностью до минуты, крепится на окулярной трубке. Увеличительное стекло облегчает чтение данных измерений.

Диск отградуирован от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  и может вращаться вокруг оси основания прибора. Он может быть зафиксирован в любом положении при помощи стопорного винта.

### ЗАДАНИЕ

1. Для решетки с известным периодом ( $d = 0,01$  мм) определите длины волн для всех линий ртутного спектра.
2. По известным длинам волн в спектре атомов ртути, определенным в предыдущем пункте, найдите период  $d$  для второй решетки.
3. По данным, полученным в пунктах 1 и 2, постройте дисперсионные кривые (зависимость угла дифракции  $\varphi$  от длины волны  $\lambda$ ). По наклону этих кривых определите дисперсию решеток для всех порядков спектра.
4. Оцените разрешающую способность решеток.
5. Сделайте выводы о том, от чего зависят угловая дисперсия и разрешающая способность решетки.

### РЕКОМЕНДАЦИИ

#### ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Включите гониометр в сеть.
2. Включите ртутную лампу. Для этого с помощью сетевого шнура подключите к сети блок питания лампы. Включите тумблер «Вкл».
3. **При работе на гониометре ГС-5** установите зрительную трубку на бесконечность. Для этого фокусирующим винтом совместите в окошке сбоку метку "0" на подвижной шкале с меткой " $\infty$ " на

неподвижной шкале. Включите подсветку окуляра. Вращая глазную линзу окуляра, получите резкое изображение визирного креста.

4. Настройте коллиматор так, чтобы входная щель находилась в фокальной плоскости объектива. Найдите изображение входной щели и с помощью винта получите ее резкое изображение.
5. Совместите оптические оси коллиматора и зрительной трубы. Для этого уменьшите высоту входной щели, вдвинув диафрагму, расположенную непосредственно перед щелью так, чтобы высота изображения щели стала равной половине поля зрения. Изменяя наклон коллиматора винтом, добейтесь того, чтобы горизонтальная нить визирного креста разделяла щель пополам. Установите ширину входной щели ( $0,2 \div 0,15$ ) мм.
6. Поместите на столик гониометра дифракционную решетку с известным периодом так, чтобы ее плоскость была перпендикулярна оси коллиматора, закрепите ее прижимным винтом. Установите на глаз столик горизонтально.
7. Отпустите зажимный винт и, поворачивая рукой алидаду вместе со зрительной трубой, найдите белое изображение щели и просмотрите спектры всех порядков. Совместите центры всех спектральных линий с горизонтальной линией визирного креста.
8. Юстировку прибора можно считать законченной, если при повороте зрительной трубы центры всех линий будут оставаться приблизительно на одном уровне с горизонтальной линией визирного креста. После этого высоту входной щели увеличьте максимально (уберите диафрагму).
9. Приступайте к измерению углов дифракции. Перемещайте зрительную трубу вправо от центрального максимума и визирную нить окуляра совмещайте последовательно с центрами фиолетовой, голубой, зеленой и двумя желтыми линиями, сначала для 1-го, потом 2-го и 3-го порядков. Угловое положение каждой линии  $\varphi'_k$  определите по отсчетному микроскопу. Для этого зажмите винт 29 алидады и микрометрическим винтом 31 наведите перекрестие окуляра зрительной трубы точно в центр линии.
10. Перемещайте зрительную трубку влево от центрального максимума и таким же способом, как и в пункте 8, определите угловое положение  $\varphi''_k$  всех спектральных линий, расположенных влево от центральной полосы.



11. Измерив  $\varphi'_k$  и  $\varphi''_k$ , определите угол дифракции  $\varphi_k = \frac{|\varphi'_k - \varphi''_k|}{2}$  для всех линий спектра. По формуле (1) найдите длины волн для каждой спектральной линии, рассчитайте среднее значение. Данные занесите в таблицу 1.

$d = 0,01$  мм

Таблица 1

Линия спектра	Порядок спектра, $k$	Положение трубы		Угол дифракции, $\varphi_k$	$\lambda$ , нм	$\lambda_{\text{ср}}$ , нм
		$\varphi'_k$ слева	$\varphi''_k$ справа			
Фиолетовая	1					
	2					
	3					
Голубая	1					
	2					
	3					
Зеленая	1					
	2					
	3					
Желтая 1	1					
	2					
	3					
Желтая 2	1					
	2					
	3					

12. Установите на столике гониометра дифракционную решетку с неизвестным периодом и проведите все операции, описанные в пунктах (6 - 11). Данная решетка позволяет наблюдать два дифракционных порядка. Данные занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Линия спектра	Порядок спектра, $k$	Положение трубы		Угол дифракции, $\varphi_k$	$d$ , мм/дел	$d_{\text{ср}}$ , мм/дел
		$\varphi'_k$ слева	$\varphi''_k$ справа			
Фиолетовая	1					
	2					
Голубая	1					
	2					
Зеленая	1					

	2					
Желтая 1	1					
	2					
Желтая 2	1					
	2					

13. По формуле (1) найдите период решетки для каждой спектральной линии, рассчитайте среднее значение. Данные занесите в таблицу 1.
14. Постройте графики зависимости угла дифракции  $\varphi$  от длины волны  $\lambda$  для обеих решеток. По наклону  $\frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}$  прямых определите угловые дисперсии  $D_\varphi$  решеток. (Так как размерность угловой дисперсии рад/м, то значения углов переведите в радианы). Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 3

	$d_1 = 0,01$ мм/дел			$d_2 = \underline{\hspace{2cm}}$	
	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 1$	$k = 2$
$D_\varphi$ , рад/нм					
$R$					

15. Рассчитайте по формуле (8) разрешающую способность обеих решеток. Для этого измерьте линейкой длину решетки и по известному значению периода, рассчитайте число штрихов  $N$ . Результаты занесите в таблицу 3.
16. Оцените погрешность измерения длин волн спектральных линий для решетки с заданным периодом.
17. По результатам измерений сделайте выводы.
- При работе на гониометре ГС** настройте коллиматор так, чтобы входная щель находилась в фокальной плоскости объектива. Найдите изображение входной щели и с помощью винта получите ее резкое изображение.
  - Поместите на столик гониометра дифракционную решетку с известным периодом так, чтобы ее плоскость была перпендикулярна оси коллиматора.
  - Установите визирную линию на центральный максимум. Отградуированный диск поверните таким образом, чтобы данный максимум соответствовал положению, при котором коллиматор и зрительная труба располагались на одной оси.

4. Приступайте к измерению углов дифракции. Перемещайте зрительную трубу влево от центрального максимума и визирную нить окуляра совмещайте последовательно с центрами фиолетовой, голубой, зеленой и желтой линиями, сначала для 1-го, потом 2-го и 3-го порядков. Затем определите угловое положение  $\varphi_k''$  всех спектральных линий, расположенных справа от центральной полосы.
5. Используя отградуированный диск, измерьте положение линий  $\varphi_k'$  с левой стороны от центрального максимума. Измерения угла на дисковой шкале проводится с точностью до минуты. Увеличительное стекло облегчает чтение данных измерений.
6. Положение линий справа для удобства записать как  $\varphi_k'' = \pi - \varphi$ , где  $\varphi$  – угол отклонения линии справа.
7. Измерив  $\varphi_k'$  и  $\varphi_k''$ , определите угол дифракции как  $\varphi_k = \frac{|\varphi_k' + \varphi_k''|}{2}$  для всех линий спектра.
8. Далее выполнить все действия в соответствии с п. 13-17.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Кем была создана первая дифракционная решетка? Что она собой представляла?
2. Какие типы дифракционных решеток существуют?
3. Назовите принципиальные отличия между решетками в проходящем и отраженном свете.
4. Как изготавливается стеклянная дифракционная решетка?
5. Чем отличаются амплитудная и фазовая решетки?
6. Назовите основные методы исследования качества дифракционных решеток.
7. Как соотносится дифракционный спектр и дисперсионный?
8. Как подсчитать максимальное число дифракционных максимумов?
9. Как зависит расстояние между главными максимумами от периода дифракционной решетки?
10. Как интенсивность света в главных максимумах зависит от общего количества штрихов в решетке?
11. Как изменится дифракционная картина, если закрыть половину решетки?
12. Почему дифракционная решетка является дисперсионным прибором и как с ее помощью можно изучать сложные спектры?

13. Свет какой спектральной линии решетки диспергирует сильнее – фиолетовый или красный? Сравните спектр, полученный с помощью дифракционной решетки и стеклянной призмы.
14. Объясните, как происходит дифракция на одиночной щели. Какие происходят изменения в дифракционной картине при увеличении числа щелей? Как происходит перераспределение потока световых волн на дифракционной решетке?
15. Дайте обоснование условию главных максимумов, условию главных минимумов, условию дополнительных максимумов.
16. Какими способами можно определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки? Перечислите эти способы и приведите примеры.
17. Почему край спектра нулевого порядка при освещении немонахроматическим светом имеет цветную окраску?
18. При каком способе измерений расстояния между максимумами погрешность определения длины волны наименьшая?
19. Как изменится дифракционная картина, если на решетку направить световые лучи под углом падения, отличным от нормального?
20. Почему использование дифракционной решетки в спектральных измерениях предпочтительнее, чем применение одиночной щели?
21. Что называют угловой дисперсией?
22. Какую величину называют разрешающей способностью дифракционной решетки, что она характеризует и от каких параметров решетки зависит? Какие дифракционные решетки можно использовать для изучения кристаллической структуры кристаллов?
23. Почему спектральный анализ удобнее проводить с помощью гониометра? Как устроен этот прибор? Для чего он предназначен? Почему совокупность гониометра и дифракционной решетки называется гониометром-спектрометром?
24. Объясните способы изучения неизвестных спектров с помощью гониометра-спектрометра.
25. Какая процедура называется градуированием гониометра-спектрометра?
26. Как отразится на характере линейчатого спектра, даваемого решеткой, увеличение ее угловой дисперсии и разрешающей способности?

## ГЛОССАРИЙ

1. **Алидада** — приспособление для измерения углов (вращающаяся часть) в астрономических, геодезических и физических угломерных инструментах — таких, как астролябия, секстант и теодолит.

Роль алидады выполняют специальные оптические системы — отсчётные устройства. Алидада вращается вокруг своей оси относительно неподвижного лимба вместе с верхней частью прибора; при этом отсчёт по горизонтальному кругу изменяется. Если закрепить зажимной винт и открепить лимб, то алидада будет вращаться вместе с лимбом и отсчёт изменяться не будет.

2. **Верньер** — в измерительной технике устаревшее название нониуса. Пьер Верньер — французский учёный и изобретатель.

3. **Гониометр** — прибор для точных измерений углов. Гониометр состоит из коллиматора, зрительной трубы, предметного столика, лимба и оптического отсчетного устройства, смонтированного внутри подвижного основания — алидады. Все элементы установлены на массивном основании. Алидада вместе со зрительной трубой может поворачиваться вокруг оси прибора (вручную, при опущенном стопорном винте, и плавно, с помощью винта б при зажатом винте 7).

4. **Дисперсия решётки** (угловая) — отношение  $D = \Delta\varphi/\Delta\lambda$ . Выражение для  $D_\varphi$  можно получить, если продифференцировать формулу дифракционной решётки

$$D_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} = \frac{k}{d \cos\varphi}.$$

Таким образом, угловая дисперсия увеличивается с уменьшением периода решётки  $d$  и возрастанием порядка спектра  $k$ . Угловая дисперсия определяет, на какой угол расходятся лучи, длины волн которых отличаются на 1 Ангстрем.

5. **Дисперсия решётки** (линейная) — отношение  $D_l = dL/d\lambda$ . Выражение для  $D_l$  можно получить, если продифференцировать формулу дифракционной решётки

$$D_l = \frac{dL}{d\lambda} = \frac{fd\varphi}{d\lambda} = fD_\varphi,$$

где  $f$  — фокусное расстояние проецирующей линзы.

6. **Дифракция волн** — явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн при прохождении вблизи препятствий, сопровождающееся

пространственным перераспределением энергии световой волны – интерференцией.

7. **Дифракционная решетка** – оптический прибор, работающий по принципу дифракции света, представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность.

Дифракционная решётка – любая периодическая структура, периодически неоднородная структура, при распространении волн через которую наблюдаются особенности, относящиеся к дифракции.

8. **Дифракция Френеля** – дифракционная картина, которая наблюдается на небольшом расстоянии от препятствия, по условиям, когда основной вклад в интерференционную картину дают границы экрана.

9. **Дифракция Фраунгофера** – случай дифракции, при котором дифракционная картина наблюдается на значительном расстоянии от отверстия или преграды.

10. **Зоны Френеля** – участки, на которые можно разбить поверхность световой (или звуковой) волны для вычисления результатов дифракции света (или звука).

11. **Интенсивность света** – величина, пропорциональная квадрату амплитуды вектора электрической напряжённости световой волны. Это понятие, характеризующее распределение светового потока в пространстве (сила света), по поверхности (освещённость или светимость энергетическая), по спектру и т. д.

12. **Коллиматор** формирует параллельный пучок света. Источник света *S* освещает входную щель 1. Ширина щели регулируется винтом 2. Перемещением одной из линз объектива 3 с помощью винта 14 добиваются того, чтобы щель оказалась в фокальной плоскости объектива. Винтом 13 можно изменить наклон оси коллиматора.

13. **Коллимированный пучок света** – Коллимация — создание тонкого параллельно идущего потока излучения при помощи щелей, через которые он проходит. Коллиматор — устройство для получения параллельных пучков лучей света или частиц.

14. **Лимб** — стеклянный диск с делениями вдоль окружности в виде *двойных штрихов*. Цена деления шкалы 20 угловых минут (20'). Через каждые три деления шкала оцифрована от 0° до 360°. Изображения двойных штрихов диаметрально противоположных участков

освещенного лимба через перископическую систему передаются в оптический микрометр и отсчетный микроскоп. Окуляр микроскопа ОК находится под окуляром зрительной трубы.

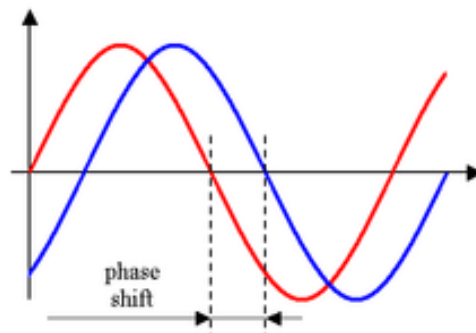
15. **Модуляция** – (размеренность, ритмичность) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).

16. **Период решетки** – расстояние, через которое повторяются штрихи на решётке.

17. **Принцип Гюйгенса-Френеля** – Каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.

$$E = \int_{\sigma} k(\varphi) \frac{a_0}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha) d\sigma.$$

18. **Разность фаз** двух колебаний одинаковой частоты:

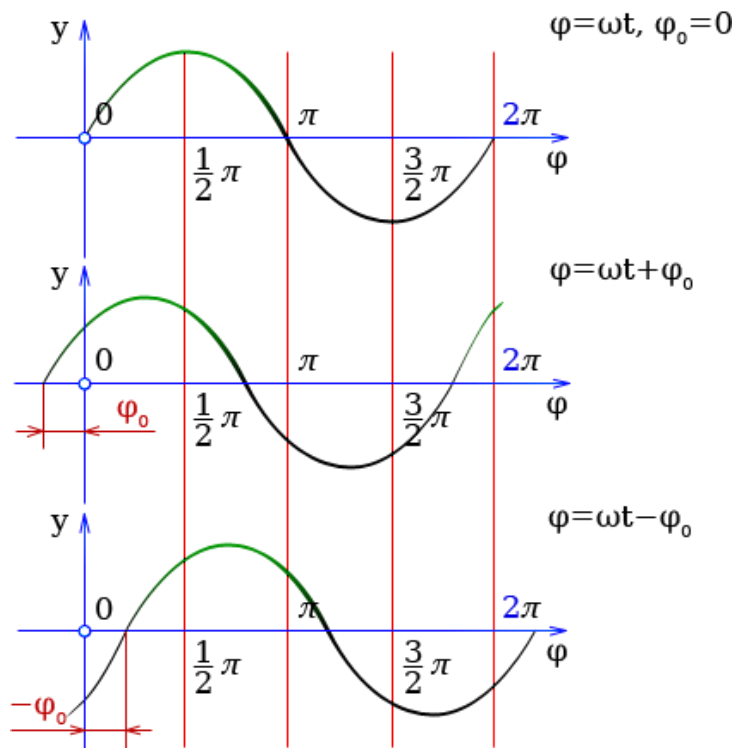


19. **Разрешающая способность** – Разрешающая способность  $R$  измеряется отношением длины волны к наименьшему интервалу длин волн, который ещё может разделить решётка:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN = \frac{W}{\lambda} (\sin \alpha + \sin \beta).$$

19. **Спектрометр** – прибор, в котором измерения и регистрация осуществляются спектральным сканированием и преобразованием оптического излучения в электрические сигналы приемниками излучения.

20. **Фаза колебаний** — аргумент периодически изменяющейся функции, описывающей колебательный или волновой процесс.



21. **Ширина спектральной линии** дифракционного спектра – интервал частот или интервал длин волн, характеризующий спектральные линии в излучениях квантовых систем. Ширина линии измеряется по половине от максимальной интенсивности (Полуширина).

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин Ю.И., Чернов И.П, Крючков Ю.Ю. Физика. Ч.3. Оптика. Квантовая физика: Учебное пособие для технических университетов. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 2005. – 740 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики.– М. : Наука, 1987 г., т. III, параграфы 1-7.
3. Зисман Г. А., Тодес О.М. Курс общей физики.– 1972 г., т. III, гл. IX.
4. Ландсберг Г. С. Оптика.– М.: Фитматгиз, 1970 г., С. 682-701, 704-706.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. т.3. -М.: Высшая школа.