

МВ и ССО РСФСР

Горьковский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Кафедра экспериментальной физики

Дифракция Фраунгофера

Описание к лабораторной работе

Горький - 1972

ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА

В данной работе изучается дифракция на следующих объектах: 1) на одной щели, 2) на двух щелях, 3) на решетке и на нескольких щелях. Наблюдения и измерения производятся при помощи гониометра-оптического прибора, предназначенного для измерения углов с большой точностью. Основные части гониометра: коллиматор, зрительная труба и микроскоп с отсчетным микрометром. /Подробное описание гониометра дано в приложении/.

Оптическая схема гониометра изображена на рис. 1

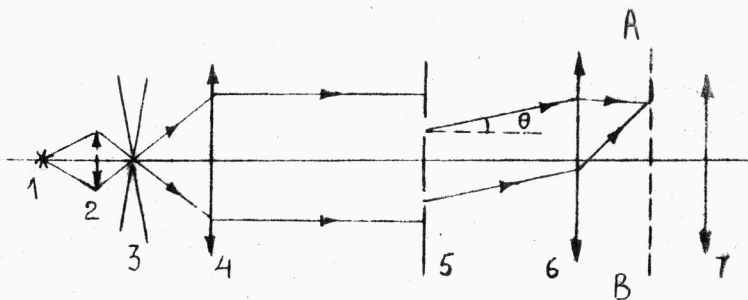


Рис. 1

Здесь 1-лампочка, 2-конденсор, 3-щель коллиматора, 4-линза коллиматора, 5-непрозрачный экран со щелями, 6-объектив зрительной трубы, 7-окуляр зрительной трубы. Свет от лампочки 1 собирается на щели 3 при помощи конденсора 2. Щель расположена в фокусной плоскости линзы коллиматора и, следовательно, каждая точка щели дает после коллиматора параллельный пучок света. Если в фокусной плоскости непрозрачный экран с отверстиями, то в фокусной плоскости

Ав объективе зрительной трубы получится дифракционная картина Фраунгофера которую можно увидеть с помощью окуляра этой трубы.

При помощи гониометра изучают угловое распределение интенсивности дифрагированного света. Углы дифракции измеряются оптическим компенсатором /микроскопом с отсчетным микрометром/.

При дифракции Фраунгофера на щели интенсивность излучения в плоскости Xy , перпендикулярной щели /рис.2/, зависит от угла дифракции θ по закону:

$$Y_{\theta} = Y_0 \frac{\sin^2 \frac{\kappa b \sin \theta}{2}}{\left(\frac{\kappa b \sin \theta}{2}\right)^2} \quad /1/$$

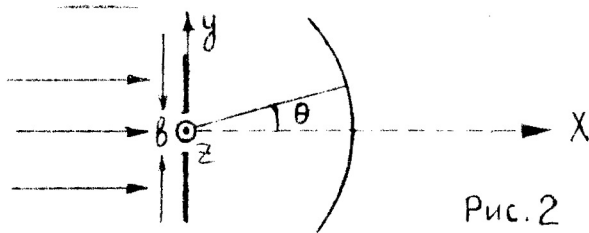


Рис. 2

где Y_0 -интенсивность в направлении $\theta=0$, Y_{θ} -интенсивность в направлении θ , b -ширина щели, κ -волновое число. При дифракции Фраунгофера от решетки с периодом d из N одинаковых щелей ширины b зависимость интенсивности Y_{θ} от угла дифракция θ описывается формулой /2/:

$$Y_{\theta} = Y_0 \frac{\sin^2 \frac{\kappa b \sin \theta}{2}}{\left(\frac{\kappa b \sin \theta}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2 \frac{Nd \kappa \sin \theta}{2}}{\sin^2 \frac{\kappa d \sin \theta}{2}} \quad /2/$$

Рассмотрим влияние размеров источника света на вид дифракционной картины при дифракции на двух щелях. В данной работе источником света служит щель коллиматора. Обозначим ширину этой щели l , а угловой размер ее d /см. рис. 3/

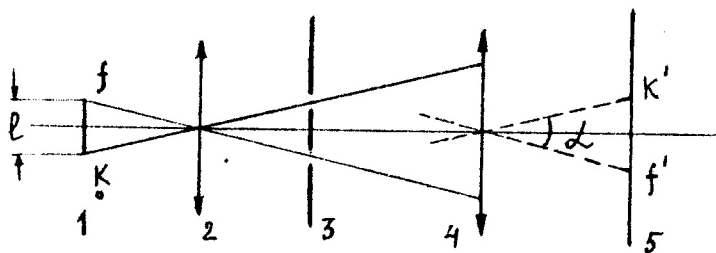


рис. 3

Здесь 1-источник света, 2 -линза коллиматора, 3-экран с двумя щелями. 4-объектив зрительной трубы, 5-фокальная плоскость этого объектива.

От каждой точки источника на объект дифракции падает плоская волна и создает в фокальной плоскости свою дифракционную картину.

Крайние точки источника K и f создают картины, центры которых K' и f' смещены относительно друг друга на угловое расстояние d /рис. 3/

На рис 4 глгественно изображена зависимость интенсивности от угла дифракции θ /углы θ настолько малы, что $\sin \theta \approx \theta$ /.

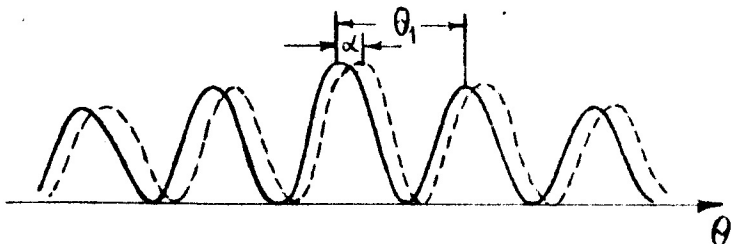


рис. 4

Сплошная кривая относится к картине от одного края источника, пунктирная, которая сдвинута на угол α , к картине от другого края. Чтобы получить распределение интенсивности в дифракционной картине от всего источника, нужно сложить интенсивности в картинах от всех его точек.

Контрастность дифракционных картин характеризуется видимостью V :

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

где I_{\max} — интенсивность в максимуме, I_{\min} — интенсивность в ближайшем к нему минимуме.

Видимость дифракционной картины от двух щелей зависит от углового размера источника d . Если яркость источника одинакова по всей ширине, то при увеличении d первый минимум видимости наступит, когда d станет равно θ_1 — угловому расстоянию между нулевым и первым максимумами. При малых углах

$$\sin \theta_1 \approx \theta_1 = \frac{\lambda}{d}, \quad \alpha = \frac{l}{F};$$

здесь λ — длина световой волны источника, d — расстояние между щелями (рис. 3/), F — фокусное расстояние линзы фотометра.

Условие первого минимума видимости имеет вид

$$l = \theta_1 F = \frac{\lambda}{d} F . \quad /3/$$

Формула /3/ дает возможность определить ширину источника света по найденному опытным путем расстоянию d между щелями, при котором наступает размытие дифракционной картины.

В принципе таким был метод, использованный в 1920г. Майкельсоном для измерения углового расстояния между компонентами двойной звезды Капеллы и диаметра звезды Бетельгейзе.

ЗАДАНИЕ

1. Вывести формулы и построить качественно теоретические графики зависимости интенсивности от $\sin \theta$ для дифракции на одной щели, двух щелях и решетке из 15 щелей, зная что на объект дифракции нормально падает плоская монохроматическая волна.

2. Измерить угловые координаты минимумов интенсивности при дифракции на одной щели и 2-х щелях и координаты главных максимумов при дифракции на решетке.

3. Те же координаты вычислить по формулам /1/ и /2/ необходимые для расчета величины θ и d измерить при помощи компаратора. Сравнить результаты расчета и эксперимента.

4. Наблюдая дифракцию на двух щелях, определить размеры источника света, при которых наступает размытие дифракционной картины и проверить соотношение $\lambda/3$.

5. Наблюдая дифракцию на решетке, выяснить качественно как меняется дифракционная картина при изменении размеров щели, периода дифракционной решетки, угла падения лучей на решетку, длины световой волны. Обратить внимание на распределение цветов при дифракции в белом свете.

6. Выяснить на опыте следующие вопросы:

а. Как влияет длина щели коллиматора на дифракционную картину?

б. Чем определяется вертикальный размер центрального максимума?

7. Какой вид должна иметь зависимость интенсивности от угла в плоскости XZ /рис.2/ при дифракции плоской волны на всех трех объектах? Использовать полученную зависимость для объяснения результатов опыта 6.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.С. Лансберг, "Оптика", гл."дифракция в параллельных лучах", изд. 1957 г.

2. Г.С. Горелик "Колебания и волны", изд. 1959 г.

а) гл. IX "Дифракция" § 3 - Дифракция Фраунгофера на периодической структуре (дифракционные решетки). § 9 - Некоторые важные случаи дифракции Фраунгофера. Решетки из прямоугольных отверстий.

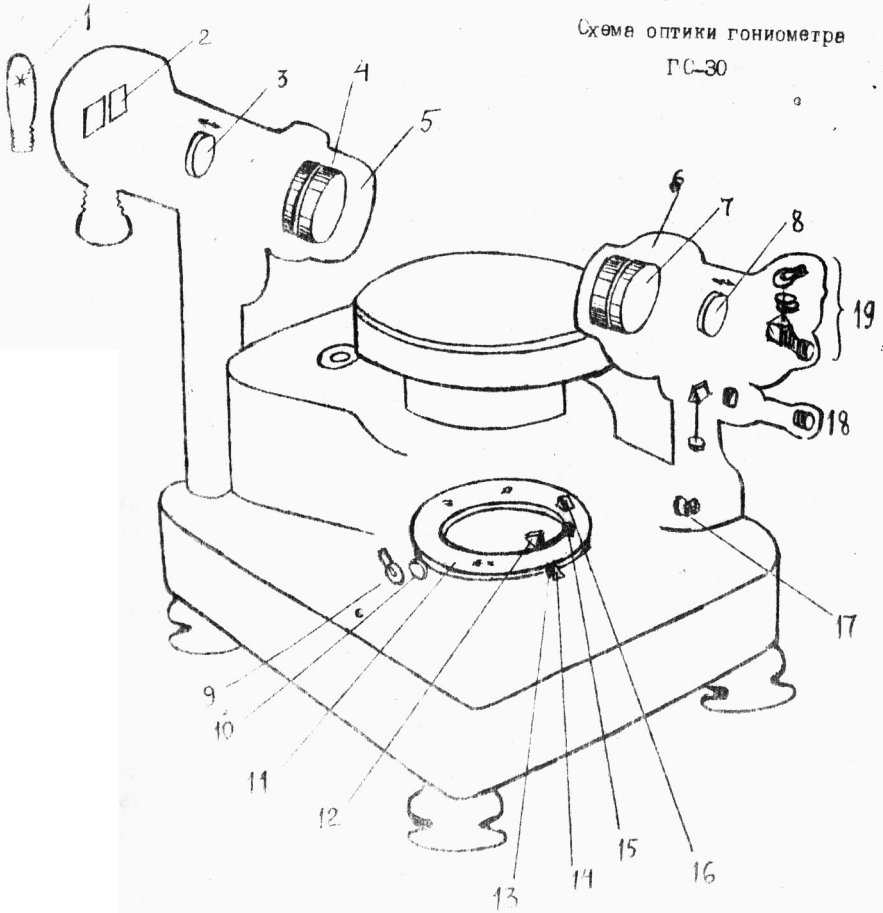
б) гл. X "Статические явления" § 10 (1,2) - Интерференционные и дифракционные явления в случае протяженных источников.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Описание гониометров.

Познакомимся с описанием гониометров 3-х типов: ГС-5, ГС-10, ГС-30, обеспечивающих точность измерения углов соответственно в 5сек, 10сек и 30 сек. На рис.1 приведена схема оптики гониометра ГС-30-самого простого из гониометров. Здесь 5-коллиматор, 6-зрительная труба 11-стеклянный лимб. 18-отсчетный микроскоп. Коллиматор и зрительная труба имеют одинаковые телеобъективы, состоящие из передних компонентов 4 и 7 и фокусирующих линз 3 и 8. В фокальной плоскости объектива коллиматора 5 установлена раздвижная цель 2, освещаемая источником монохроматического света. Лампочка 9 через зеленый светофильтр 10 и призму 12 освещает участок лимба 11. Объективы 13 и 15 проектируют через призмы 14 и 16 изображения штрихов лимба в плоскость сетки 17, совместно с которой их рассматривают через микроскоп 18. На сетке 17 нанесено два ряда штрихов, расположенных один под другим, причем нижний ряд сдвинут относительно верхнего на половину деления. Благодаря этому легко производить отсчет до половины цены деления сетки, т.е. до 30 сек.

Схема оптики гониометра
ГС-30



Гониометр ГС-10 является более точным по сравнению с гониометром ГС-30 угломерным прибором, обеспечивающим точность измерения 10 сек. Уменьшение ошибки измерения достигнуто благодаря двухстороннему отсчету по лимбу и применению отсчетного устройства с оптическим компенсатором. На рис. 2 приведена схема оптики гониометра ГС-10.

Луч света от лампочки 1 через зеленый светофильтр и прямоугольную призму 4 освещает участок стеклянного лимба 3. Лимб разделен на 360° . Каждый градус разделен на три части так, что цена деления лимба равна 20 мин. Штрихи лимба двойные и цифрованы через каждый градус. Объективы 5 проецируют через призмы 2 и 6 освещенные штрихи лимба на его диаметрально противоположный участок. Далее объективы 8 через призмы 7, 12, 10 дают изображение штрихов в плоскости цифремы поля зрения, внесенной на входной грани призмы 10 и через призмы 11 и 14 рассматриваемой в микроскоп 13. между призмами 10 и 10 находится две пары клиньев 9, образующих компенсатор. Принцип действия такого компенсатора поясняется рис. 3 а.

Здесь A_1 и A_2 — две точных клина с одинаковыми малыми углами α , установленные на расстоянии l друг от друга основаниями в противоположные стороны. K — прямоугольная призма с длиной со шпалой, соединенная с клином A_2 и перемещающаяся вместе с ним. Плоскость этой шпалы совпадает с изображением делений лимба гониометра, которое идет на показании по шкале объектива. Если A_1 неподвижна, а клин A_2 будет перемещаться в заданном направлении, то ход луча будет, как на рис. 3 б.

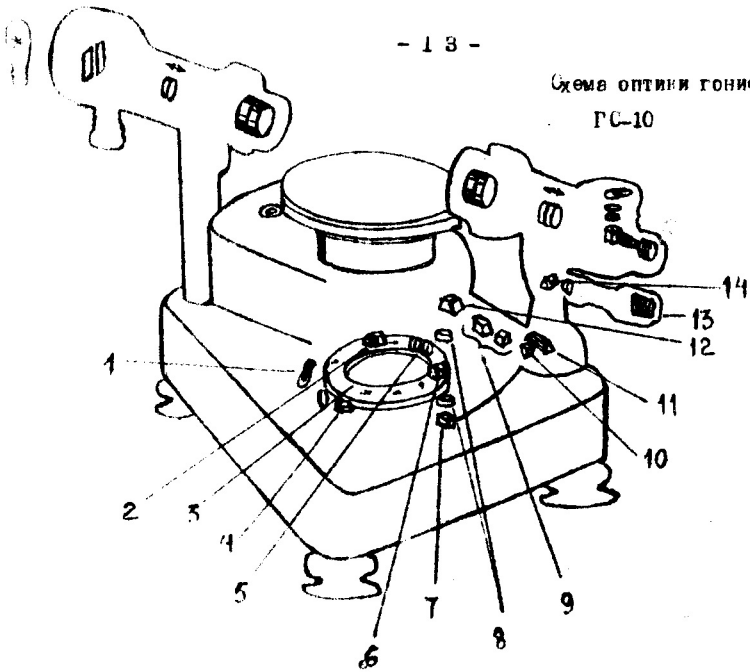


Рис. 2

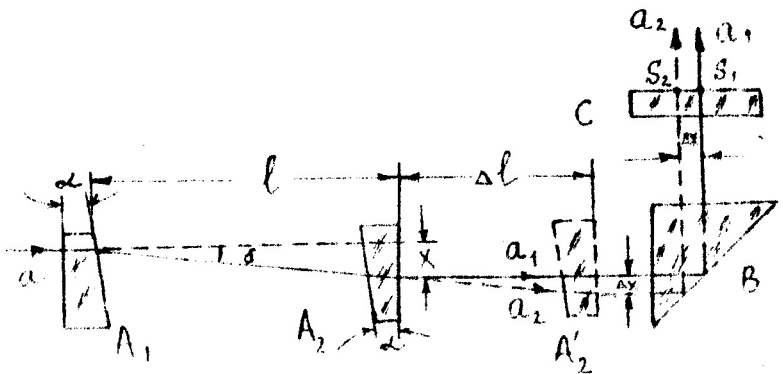


Рис. 3а

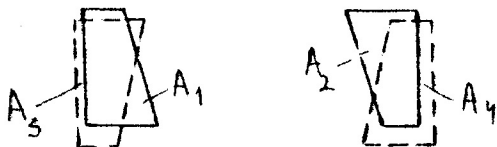


рис. 3 б

пучке, пройдя через клинья A_1 и A_2 луч a_1 остается параллельным своему прежнему направлению, но оказывается смещенным на величину $x = l\delta$, где δ — угол отклонения луча одним клином. При перемещении клина A_2 на отрезок Δl в положение A'_2 луч a пойдет по направлению a_2 , а изображение штриха лимба в плоскости пластинки C сместится из положения S_1 в положение S_2 , причем

$$S_1, S_2 = \Delta x = \delta \Delta l.$$

Компенсатор рассчитывают так, чтобы при величине Δx , равной расстоянию между изображениями двух соседних штрихов лимба, на отрезке Δl перемещения шкалы C укладывалось заданное число N ее делений. Если P_1 — цена деления лимба, то цена деления шкалы $P_2 = \frac{P_1}{N}$. Изображение штрихов лимба, а также подвижную шкалу C рассматривают с помощью одного отсчетного микроскопа. В отсчетных устройствах гониометров ГС-5 и ГС-10 в поле зрения окуляра одновременно проектируются два диаметрально-противоположных участка лимба. При этом вместо одиночных клиньев A_1 и A_2 используют две пары клиньев $A_1 A_3$ и $A_2 A_4$. Клинья A_3 и A_4 установлены над клиньями A_1 и A_2 также в другую сторону, показаны пунктиром. Пучок лучей,

образующий изображение одного участка лимба проходит через клинья A_1 и A_2 , а пучок лучей, дающих изображение противоположного участка лимба—через клинья A_3 и A_4 . Перемещение пары клиньев A_2, A_4 вызывает смещение в противоположные стороны изображений обоих участков, что позволяет, перемещая клинья, совместить изображения штрихов лимбе.

Вид поля зрения отсчетного микроскопа прибора показан на рис 4а.

175°16'03"

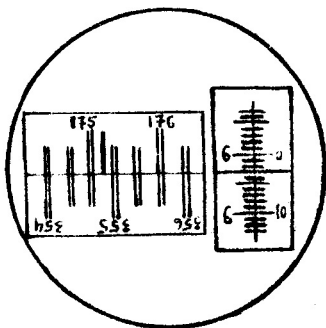


рис. 4а

В левом окошке видны две горизонтальных шкалы, представляющие собой прямое и обратное изображения противоположных участков лимба и вертикальный индекс, а в правом окошке—вертикальная шкала /шкала С на рис 3а/и горизонтальный индекс.

В верхней части рис 4 б показаны прямое и обратное изображение диаметрально-противоположных участков лимба, видимые в микроскоп. Вертикальный индекс расположен там, где совпадают прямое и обратное изображения диаметрально противоположных точек a и a_1 .

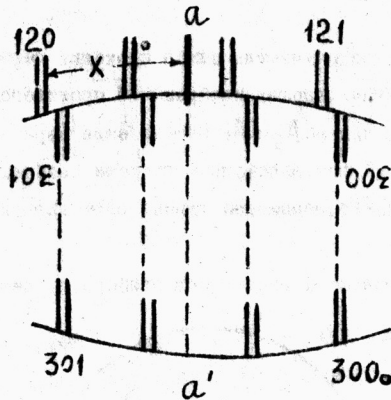


Рис. 48

Ближайший к индексу левый оцифрованный не перевернутый штрих показывает целое число градусов измеряемого угла поворота димба.

Прямое и обратное изображения диаметрально противоположных штрихов находятся на одинаковом расстоянии от вертикального индекса. Если рис 46 соответствует нулевому положению шкалы компенсатора, то доля градуса, которую нужно измерить равна x . Когда x равно целому числу десятков минут, то деления прямой и обратной шкалы будут совпадать. Здесь возможны два случая, изображенные на рис. 5.

а/ риска находится на n делениях / угол $120^\circ 40'$

б/ риска находится посередине интервала между делениями / угол $120^\circ 30'$

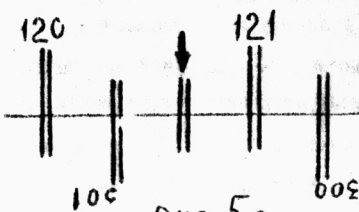


Рис. 5а

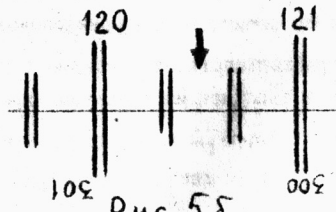


Рис. 5б

в обоих случаях число десятков минут в X равно числу интервалов, заключенных между верхним оцифрованным штрихом, который соответствует отсчитанному числу градусов, и нижним оцифрованным штрихом, диаметрально противоположным ему.

Если X не равно целому числу десятков минут, то для определения единиц минут и секунд пользуются компенсатором. С помощью компенсатора перемещают обе шкалы настолько, чтобы штрихи верхней и нижней шкал совпали. После этого делают отсчет числа градусов и десятков минут, как описано выше. Указатель шкалы компенсатора покажет число единиц минут и секунд, измеряющих угол, который был скомпенсирован.

Отсчет по шкале компенсатора нужно прибавить к отсчету по шкале лимба, выполненному после компенсации.

Гониометр ГС-5 по своей оптической схеме и конструкции аналогичен гониометру ГС-10, но у него увеличены примерно в 1,5 раза диаметр лимба и фокусные расстояния телеобъектива и зрительной трубы, поэтому он является наиболее точным.