

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 171

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА
НА ЩЕЛИ
ПРИ ПОМОЩИ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

Работу поставили
доцент Авксентьев Ю.И., доцент Белов Д.В.,
доцент Пустовалов Г.Е.

Москва 2012 г.

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ ПРИ ПОМОЩИ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

Целью данной работы является получение и исследование графика распределения интенсивности света в дифракционной картине от одной щели.

ПОГЛОЩЕНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕТА АТОМАМИ

Электроны в атомах могут иметь только строго определенные значения энергии, или, как говорят, могут находиться на строго определенных энергетических уровнях. Для простоты мы будем говорить лишь об одном электроне в атоме. Обычно электрон занимает уровень с наименьшим возможным значением энергии. Такой уровень называется *основным*. На рисунке он условно изображается горизонтальной линией. Уровни с другими значениями энергии изображаются горизонтальными линиями, проведенными над основным и располагающимися тем выше, чем больше энергия, им соответствующая.

Для того чтобы электрон с основного уровня перешел на уровень с большим значением энергии, атом следует возбудить, т.е. сообщить ему вполне определенную порцию энергии, равную разности энергий возбужденного и основного уровней. Эта энергия может быть получена при поглощении атомом кванта света, энергия которого $h\nu$ строго равна разности энергий этих уровней. Атом может получить энергию, достаточную для перехода атома на возбужденный уровень, также при столкновении с другим атомом или с быстро летящим электроном. В таком случае энергия, имеющаяся у этих частиц до столкновения, должна быть не меньше величины $h\nu$; при наличии излишка энергии участвующие в столкновении частицы после столкновения приобретают кинетическую энергию. При получении достаточной порции энергии электроны могут переходить на лежащий выше уровень не только с основного, но и с любого другого уровня.

Переходы с получением энергии извне называются *вынужденными*, или *индуцированными*. В веществе при температуре выше абсолютного нуля всегда имеется некоторое количество возбужденных атомов. Концентрация одинаковых атомов, у которых электрон находится в данный момент на каком-либо уровне, определяет *населенность* (*заселенность*) этого уровня. Возбужденное состояние атома недолговечно. Обычно спустя время порядка 10^{-8} с электрон с возбужденного уровня переходит на какой-либо лежащий ниже уровень (в частности, на основной). Такой переход происходит самопроизвольно

(спонтанно) и сопровождается излучением кванта света с энергией $h\nu$, равной разности энергий этих уровней. Так как кванты испускаются атомами в различные, не связанные между собой моменты времени, и имеют разную поляризацию, то в целом свет, который образуют эти кванты, *некогерентный* и *неполяризованный* (естественный).

Кроме обычных, часто встречающихся уровней со временем жизни электронов на них около 10^{-8} с, атомы могут иметь так называемые *метастабильные* уровни. Время жизни электрона на них значительно больше и может достигать до 10^{-3} с.

Эйнштейн предположил, что кроме самопроизвольных переходов с верхнего уровня на нижний, могут иметь место также и вынужденные, индуцированные. Такие переходы вызываются действием света, имеющего ту же частоту ν , которую имеют кванты света, излучаемые при этом переходе. Сами кванты света, вызывающие эти вынужденные переходы, не поглощаются, а лишь способствуют переходам. Предположение Эйнштейна было необходимо для вывода с квантовой точки зрения формулы Планка для излучения абсолютно черного тела.

Очень важным свойством вынужденного излучения при переходе электрона с верхнего уровня на нижний является то, что получающееся при этом излучение совпадает по направлению, частоте, поляризации и фазе с вызвавшим его излучением. Иными словами, индуцированное излучение *когерентно* с индуцирующим.

Обратим внимание на то, что в результате вынужденного перехода сверху вниз вместо одного кванта света имеется два: индуцирующий и индуцированный. При наличии подходящим образом возбужденных атомов оба этих кванта могут вызывать вынужденные переходы. В результате получится уже четыре кванта. Такой процесс может продолжаться и далее. Таким образом, может возникнуть пучок когерентного излучения, в котором принимают участие большое количество квантов, т.е. пучок когерентного света большой интенсивности. Возможность появления таких пучков привела к созданию *лазеров* - мощных источников направленного монохроматического излучения (слово лазер составлено из первых букв английского названия: *Light Amplification by Stimulation Emission of Radiation*, что означает - усиление света при помощи вынужденного излучения).

В системе, излучающей свет некоторой частоты, наряду с процессом излучения всегда идет конкурирующий с ним процесс поглощения света той же частоты - одни атомы излучают, в то время как другие поглощают. Чем больше населенность N уровня, с которого переходит электрон, тем больше происходит переходов. Чтобы система могла служить источником света, необходимо преобладание процесса излучения

над процессом поглощения. При тепловом способе возбуждения согласно распределению Больцмана населенность N_1 нижних уровней энергии всегда больше населенности N_2 верхних уровней. В этом случае индуцированное поглощение, сопровождающее спонтанное излучение, преобладает над индуцированным излучением. Поэтому тепловые источники света, например, лампы накаливания, испускают лишь некогерентное спонтанное излучение.

Индуцированное излучение будет преобладать над поглощением, если N_2 окажется больше, чем N_1 , т.е. будет создана так называемая *инверсная* населенность уровней. Это возможно лишь при специальных нетепловых способах возбуждения высоких уровней.

Для индуцированного излучения имеются конкурирующие процессы и помимо индуцированного поглощения. Это спонтанное излучение и переходы вообще без излучения, когда энергия перехода идет (вследствие столкновения с другим атомом) непосредственно на увеличение энергии теплового движения атомов. Кроме того, часть излучения уходит из области рабочего вещества (области, где создана инверсная населенность уровней), не вызвав индуцированного излучения. Поэтому для возникновения когерентного индуцированного излучения требуется создание достаточно большой плотности индуцированного излучения в рабочем веществе. Для этого рабочее вещество помещают в резонатор - между зеркалами, частично пропускающими свет. Доля света, проходящего через зеркала наружу, и представляет собой тот когерентный пучок, который можно использовать для каких-либо целей. Часть же излучения, отражаясь от зеркал, многократно проходит через рабочее вещество. Подбирая рабочее вещество, способ возбуждения его атомов и коэффициенты пропускания зеркал, можно добиться плотности излучения, необходимой для получения нарастающего когерентного излучения (в случае импульсных лазеров) или стабильного когерентного излучения (в случае лазеров непрерывного действия).

ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В гелий-неоновом лазере излучение возникает в стеклянной газоразрядной трубке, помещенной, как говорилось выше, между двумя зеркалами и наполненной смесью газов - гелия и неона в определенной пропорции. В трубку впаяны электроды - анод и катод, между которыми создается высоковольтное напряжение, необходимое для возникновения газового разряда. На рис.1 приведено схематическое изображение устройства такого лазера. Разберем принцип его работы.

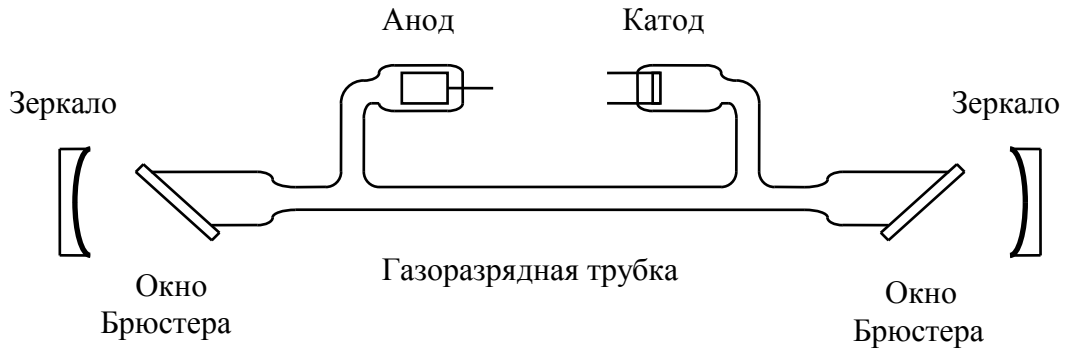


Рис.1

На рис.2 изображены уровни энергии атомов неона Ne и гелия

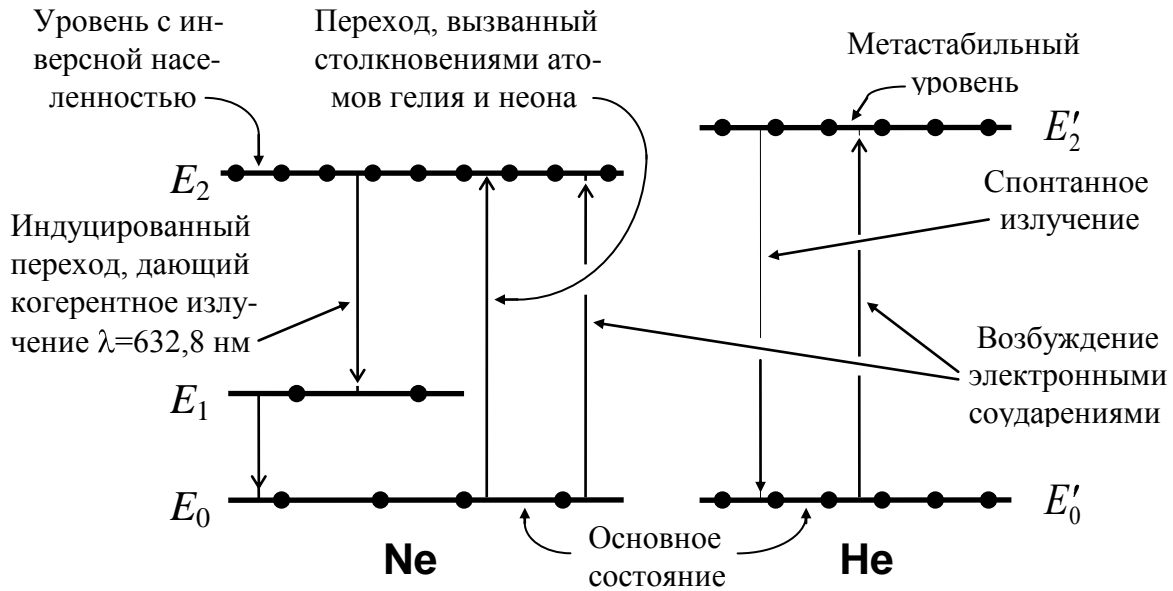


Рис.2

He, переходы между которыми обеспечивают когерентное излучение красной линии в неоновом спектре с длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ (другие уровни не показаны).

Вдоль трубки в газовом разряде имеется поток электронов. При их столкновениях с атомами неона и гелия возбуждаются уровни E_2 неона и E'_2 гелия. Напряжение подобрано так, чтобы другие уровни возбуждались по возможности меньше. Энергия возбуждения уровня E'_2 гелия несколько выше энергии возбуждения уровня E_2 неона. Уровень E'_2 гелия метастабильный - его время жизни много больше времени между столкновениями атомов неона и гелия друг с другом. При таких столк-

новениях атом гелия отдает свою энергию без излучения атому неона, вызывая переход в атоме неона с уровня E_0 на уровень E_2 . В результате столкновений возбуждение уровня E_2 неона происходит настолько часто, что создается инверсия в населенности уровней неона E_1 и E_2 (на рис.2 густота точек отражает относительную населенность). При переходах электронов в атомах неона с уровня E_2 на уровень E_1 и создается индуцированное когерентное излучение.

Достаточная для стабильности плотность излучения обеспечивается многократным прохождением света через рабочее вещество в результате его отражения от слегка вогнутых зеркал, помещенных у концов трубки и пропускающих наружу 1-2% падающего на них света. Зеркала должны быть настроены в резонанс: в расстоянии между ними должно укладываться целое число полуволн индуцированного излучения, т.е. точность их установки должна составлять порядка 10^{-10} м. Лишь в этом случае отраженные от зеркал волны будут иметь одинаковую фазу с падающими на них волнами.

В установлении инверсной населенности уровней E_1 и E_2 заметную роль играют столкновения атомов неона со стенками газоразрядной трубки. Такие столкновения уменьшают населенность уровня E_1 , вызывая переходы с этого уровня на уровень E_0 . Чтобы столкновения со стенками трубки происходили достаточно часто, диаметр трубки не должен быть слишком велик.

Из концов трубки свет выходит через так называемые *окна Брюстера*, представляющие собой плоскопараллельные стеклянные пластинки, расположенные так, что свет, идущий вдоль трубки, падает на них под углом Брюстера. Роль этих окон следующая. Интенсивность света при прохождении через стеклянную пластинку в случае перпендикулярного падения уменьшается примерно на 8% вследствие отражения света от каждой из поверхностей пластинки. Поэтому, если бы окна на торцах трубки были бы ей перпендикулярны, то после пятидесятикратного прохождения света между зеркалами от первоначальной интенсивности осталось бы менее 0,3%, что недостаточно для возникновения стабильного индуцированного излучения. В то же время, если свет падает на стеклянную пластинку под углом Брюстера, то волна, поляризованная так, что вектор напряженности электрического поля этой волны лежит в плоскости падения, вообще не отражается, т.е. волна с такой поляризацией проходит через пластинку без потерь, целиком отражается от зеркала и снова так же без потерь оказывается в разрядном промежутке. То же самое происходит и на другом конце трубки. Таким образом, благодаря окнам Брюстера возможно возникновение стабильного индуцированного излучения, поляризованного в плоскости падения к окнам. Излучения с другой поляризацией, вследствие больших потерь

при прохождении через окна, возникнуть не может. Следовательно, выходящие наружу из лазера пучки света, *поляризованы в одной плоскости*.

Итак, если соблюдены все необходимые условия (размеры трубки, состав газа и его давление, анодное напряжение, юстировка зеркал, коэффициент их отражения, наличие окон Брюстера), то в газоразрядной трубке устанавливается равновесие между числом атомов неона, в которых электроны различными путями попадают на уровень E_2 , и числом атомов, в которых происходят переходы электронов с уровня E_2 на уровень E_1 с испусканием индуцированного излучения. В результате из лазера выходят мощные когерентные в высокой степени монохроматические поляризованные пучки света. Каждый пучок состоит из практически параллельных лучей. Расхождение лучей в нем обусловлено дифракцией на выходных отверстиях трубки. Поэтому угол расхождения имеет порядок $\varphi \sim \lambda/D$, где D - диаметр трубки, λ - длина волны света излучаемого лазером. При диаметре трубки в несколько миллиметров $\varphi \sim 10^{-4}$ рад $\sim 0,006$ градуса.

Как известно из теории дифракции, интенсивность света, испускаемого некогерентными источниками света (например, лампами накаливания), равна сумме интенсивностей отдельных излучателей: $I_0 = Na^2$, где N - число излучающих атомов, a - амплитуда колебаний в волне, испускаемой отдельным атомом. В лазерном излучении, когда излучаемые всеми атомами волны имеют одинаковые фазы, поляризацию и направление, т.е. когерентны между собой, суммарная амплитуда колебаний $A = Na$, а интенсивность света $I_1 = N^2 a^2$. Таким образом, $I_1/I_0 = N$, т.е. в N раз больше, чем в случае некогерентного источника при том же числе излучающих атомов. Так как число излучающих атомов очень велико, то становится понятным, что интенсивность света от лазеров во много раз превышает интенсивность света от обычных источников.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ

Из теории дифракции известно, что положение максимумов и минимумов в дифракционной картине определяется условиями:

$$b \sin \varphi = \pm n \lambda \quad - \text{условие минимумов,} \quad (1)$$

$$b \sin \varphi = \pm(2n+1) \frac{\lambda}{2} \quad - \text{условие максимумов,} \quad (2)$$

где φ - угол между перпендикуляром к плоскости щели и направлением на максимум или минимум. Знаки плюс и минус соответствуют положительным или отрицательным значением угла φ , n - целое число. С дру-

гой стороны, число n представляет собой также и номер максимума, считая от центра. Центральному максимуму, положение которого не укладывается в формулу (2), приписывается нулевой номер. Число $2n+1$ определяет число открытых зон в щели.

В данной работе на щель падает параллельный пучок монохроматического света. Расстояние L от щели до экрана: на котором получается дифракционная картина, велико по сравнению с размерами самой картины. Поэтому $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$. Учитывая это, из условий (1) и (2) для положения минимумов и максимумов на экране можно получить формулы:

$$x_{\min} = n \lambda \frac{L}{b} \quad - \text{положение минимумов}, \quad (3)$$

$$x_{\max} = (2n+1) \lambda \frac{L}{2b} \quad - \text{положение максимумов}. \quad (4)$$

Здесь x_{\min} и x_{\max} - расстояние от центра дифракционной картины до соответствующего минимума или максимума.

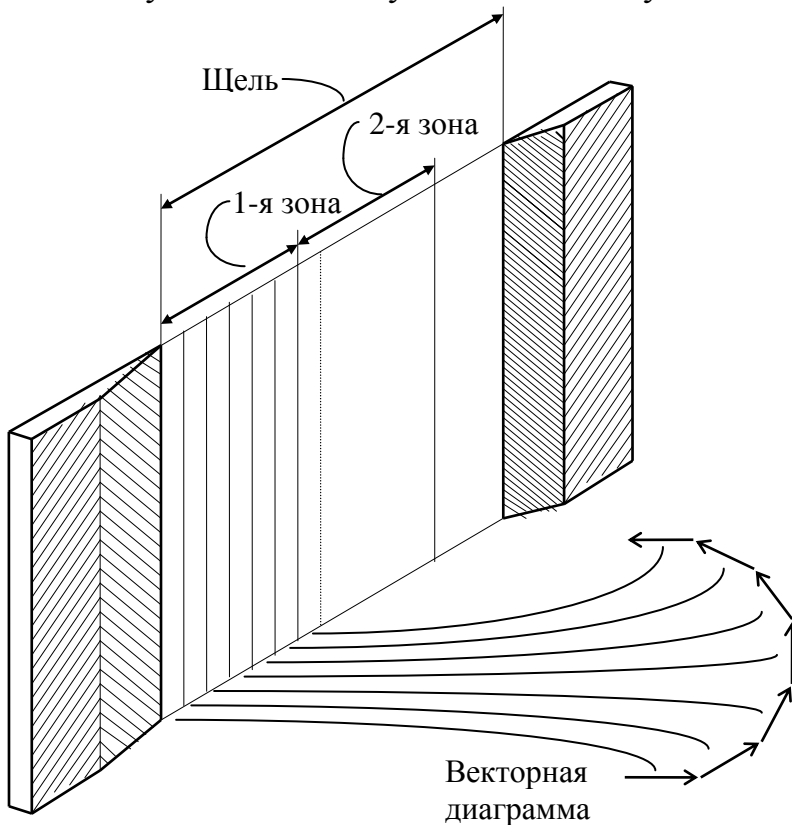


Рис.3

Для установления соотношений между интенсивностями в максимумах дифракционной картины обратимся к методу векторных диаграмм. Разобьем зону Френеля, построенную в плоскости щели, на ряд узких полосок одинаковой ширины (рис.3).

На векторной диаграмме каждой из этих полосок соответствует вектор, изображающий амплитуду колебаний.

На экран в центр ди-

фракционной картины колебания от всех полосок приходят в одной фазе. На векторной диаграмме векторы, изображающие эти колебания, одинаковы по модулю и имеют одно и то же направление. Сумма их может быть представлена в виде прямой линии, длина которой равна амплитуде A_0 колебаний в центральном максимуме (рис.4,а). В точку наблюдения, несколько уда-

ленную от центра дифракционной картины, колебания приходят с одинаковым запаздыванием по фазе относительно друг друга. Поэтому векторы, изображающие такие колебания, повернуты друг к другу на один и тот же угол (см. в частности, рис.3). Если ширину полосок устремить к нулю, то цепочка из векторов превращается в плавную кривую, представляющую собой дугу окружности длины A_0 . Амплитуда колебаний в этой точке изображается замыкающей \vec{A} этой дуги (рис.4,б).

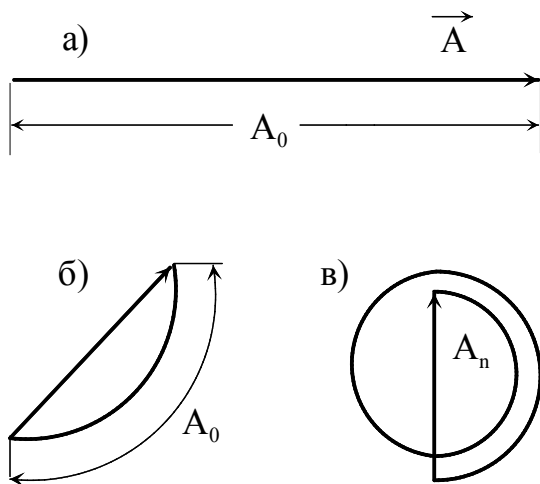


Рис. 4

Если для точки наблюдения выполняется условие n -го максимума и, следовательно, открыто нечетное число зон Френеля, то колебания от крайних полосок в точку наблюдения приходят в противоположных фазах. В этом случае направления начала и конца дуги должны иметь противоположные направления, а сама кривая должна состоять из стольких полуокружностей, сколько открыто зон. Амплитуда A_n результирующего колебания

изображается диаметром этих полуокружностей (рис.4,в). Так как полная длина всей закрученной на $2n+1$ полуоборотов кривой равна A_0 , то на каждый из полуоборотов приходится $\frac{A_0}{2n+1}$. Диаметр A_n связан с длиной полуокружности соотношением

$$\frac{\pi}{2} A_n = \frac{A_0}{2n+1}. \quad (5)$$

Таким образом, отношение амплитуды колебаний в центральном максимуме к амплитуде колебаний в n -ом максимуме

$$\frac{A_0}{A_n} = (2n+1) \frac{\pi}{2}, \quad (6)$$

а отношение интенсивностей в них

$$\frac{I_0}{I_n} = \left(\frac{A_0}{A_n} \right)^2 = \left(\frac{2n+1}{2} \pi \right)^2. \quad (7)$$

Отсюда легко получить отношение интенсивностей в максимумах с номерами n и n' , Здесь n и n' не равны нулю :

$$\frac{I_n}{I_{n'}} = \left(\frac{2n'+1}{2n+1} \right)^2. \quad (8)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Общий вид установки показан на рис. 5. На оптической скамье размещены: *гелий-неоновый лазер*, служащий источником когерентного поляризованного монохроматического света с длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$, *щель*, на которой происходит дифракция и *экран*, на котором наблюдается дифракция.

Вдоль экрана по направляющей рейке, снабженной миллиметровой шкалой, перемещается *фотоэлемент*, служащий для измерения распределения интенсивности света в дифракционной картине. Перемещение фотоэлемента может производиться как вручную, так и электродви-

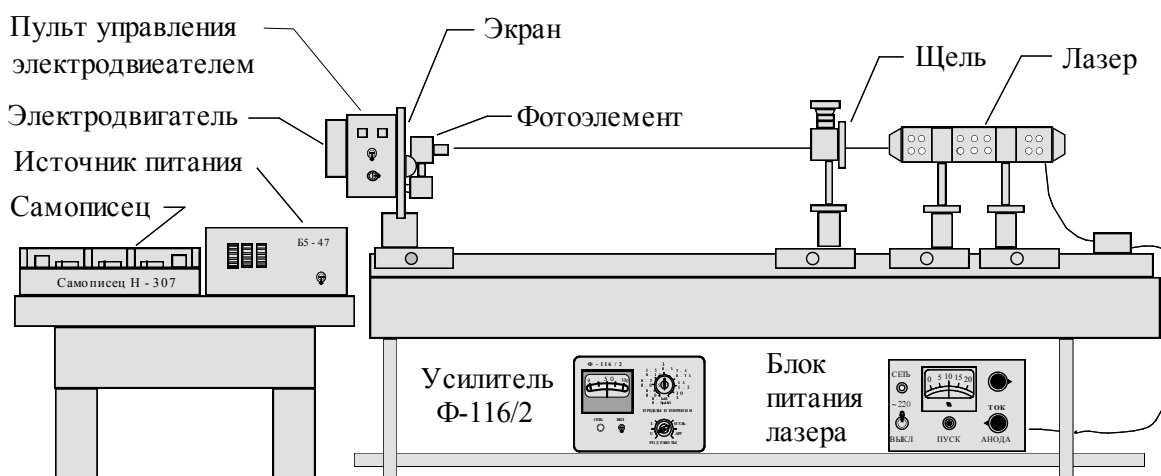


Рис. 5

гателем. *Пульт управления электродвигателем* и *электродвигатель* размещаются сзади экрана.

Под действием света, падающего на фотоэлемент, на его выводах возникает напряжение. Величина напряжения пропорциональна интенсивности света, но имеет, однако, очень маленькую величину (порядка 10^{-4} В) и требует усиления. После усиления стоящим на полке под оптической скамьей фотоэлектрическим *усилителем ФЭУ (Ф-116/2)* напряжение попадет на *вход блока Y двухкоординатного самописца*. В результате *перо* самописца устанавливается в положение, при кото-

ром координата Y пера пропорциональна логарифму интенсивности света. Вдоль экрана за фотоэлементом натянута *реохорд* - проволока с большим сопротивлением. Между концами реохорда приложено постоянное напряжение от *источника питания Б5-47*, который располагается рядом с самописцем. С задней стороны фотоэлемента имеется контакт, который при движении фотоэлемента скользит вдоль реохорда. При этом меняется напряжение между контактом и одним из концов реохорда. Это напряжение подается на вход блока X самописца. В результате координата X пера самописца определяется положением фотоэлемента, а координата Y - логарифмом интенсивности падающего на фотоэлемент света в данном месте дифракционной картины. При этом в процессе непрерывного изменения этих напряжений перо на листе бумаги, лежащем на столике самописца, вычерчивает график зависимости $Ln I(X)$.

ВКЛЮЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

Лазер, щель и ограничители движения фотоэлемента установлены заранее, их расположение согласовано друг с другом. Их положение менять нельзя. Включение проводится под руководством лаборанта.

Лазер и фотоэлектрический усилитель следует включить в первую очередь, так как для устойчивой работы они требуют длительного прогрева.

Лазер. Блок питания лазера расположен на полке под лазером. Шнур питания блока подключается к сети $\sim 220 В$. Передняя панель блока изображена на рис. 6.

1. Включают выключатель блока. При этом загорается лампочка **СЕТЬ**.

2. Выждав примерно половину минуты (время, необходимое для прогрева анода газоразрядной трубки лазера), несколько раз нажимают кнопку **ПУСК**. Обычно лазер загорается после первого нажатия.

3. Если лазер не загорелся, то поворачивают на небольшой угол по часовой стрелке ручку **УСТАНОВКА НАЧАЛЬНОГО ТОКА** и снова нажимают кнопку **ПУСК**. Эти действия следует повторять до тех пор, пока лазер не загорится.

Внимание! Излучение лазера опасно для зрения. Ни в коем случае нельзя заглядывать в выходное отверстие лазера!

4. Выжидают еще минуту и поворотом ручки *РЕГУЛИРОВКА СИЛЫ ТОКА* устанавливают стрелку электроизмерительного прибора, показывающего *ТОК АНОДА*, на среднее деление шкалы 7,5.

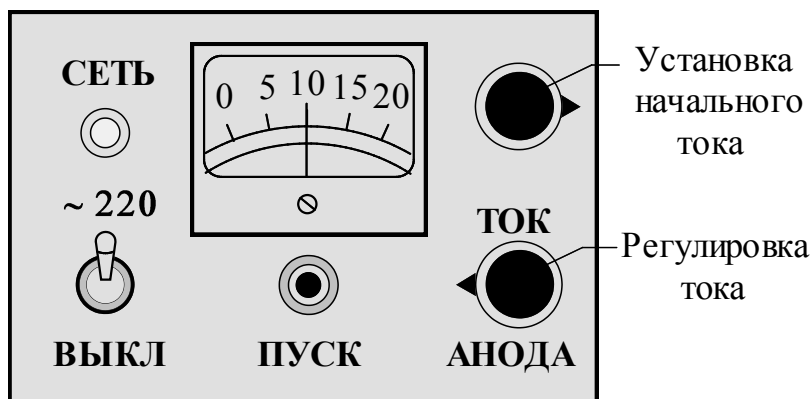


Рис. 6

Щель. Положение щели на оптической скамье определяется штрихом на рейтере, который должен указывать на деление 2700 скамьи. Ширина щели фиксирована. Нижний край барабана должен находиться на четвертом делении. Деление 10 барабана должно совпадать с вертикальной чертой на трубке (рис.7). Со щели снимают крышку и кладут ее на оптическую скамью рядом со щелью.

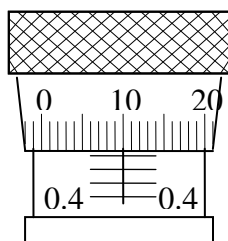


Рис.7

Фотоэлектрический усилитель $\Phi 116/2$ ($\Phi Э У$).

Передняя панель усилителя показана на рис.8.

1. Включают удлинитель, стоящий на столе за самописцем.
2. Перед включением $\Phi Э У$ переключатель рода работ должен указывать на метку *U* -это означает, что прибор включен для измерения напряжения.
3. Включают $\Phi Э У$ в сеть выключателем *ВКЛ* – загорается лампочка *СЕТЬ*.

4. Переключатель *ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ* устанавливают на деление 0.75 mV .

Прибор *готов к работе* по прошествии 30 минут.

Вход *ФЭУ* с помощью кабеля подключен непосредственно к фотоэлементу. Напряжение с выхода *ФЭУ* через электрический фильтр, подается на вход *У* самописца.

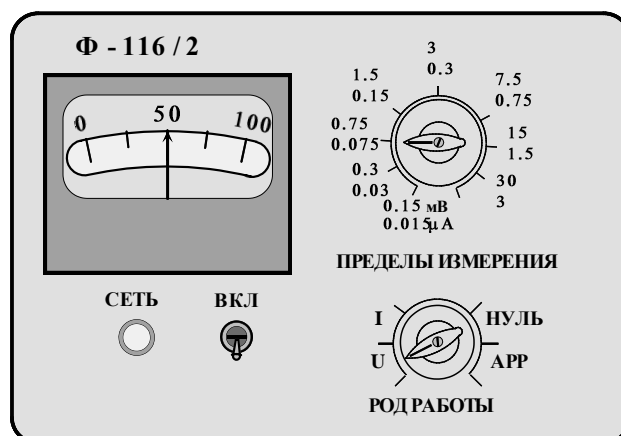


Рис. 8

Фотоэлемент изображен на рис.9.

1. Щель фотоэлемента закрыта шапочкой, которую на определенных этапах работы нужно снимать и класть в коробочку, стоящую рядом с самописцем.

2. Положение фотоэлемента определяется делением шкалы рейки, на которое показывает левый край корпуса фотоэлемента. Чтобы в темноте видеть деления шкалы, включают лампочку подсветки шкалы (лампочка горит после включения пульта управления электродвигателем).

3. Движение фотоэлемента вдоль рейки возможно как вручную, так и при помощи ходового винта, вращаемого электродвигателем.

4. Если головка сочленения ходового винта с фотоэлементом стоит клювиком вдоль винта, то фотоэлемент свободно перемещается вручную от одного упора до другого.

5. Сочленение фотоэлемента с ходовым винтом осуществляется поворотом головки клювиком вверх против часовой стрелки. Это сочленение нужно *делать очень осторожно*. Если при этом обнаруживается сопротивление повороту головки, фотоэлемент следует подвинуть вручную приблизительно на $0,5\text{ мм}$. и попытаться снова повернуть головку.

6. Чтобы график уместился на листе бумаги, движение фотоэлемента должно происходить между упорами в пределах *от 120-го до 390-го деления шкалы рейки*.

7. При движении с помощью электродвигателя фотоэлемент, дойдя до правого или левого упора, останавливается автоматически – срабатывают концевые выключатели.

8. Вдоль экрана позади фотоэлемента натянут *реохорд*, по которому скользит *контакт*, расположенный на задней стенке корпуса фотоэлемента. К концам реохорда прикладывается напряжение 1.4 V от блока питания *Б5-47*. Напряжение между контактом и одним из концов реохорда при помощи кабеля подается на *вход X* самописца.

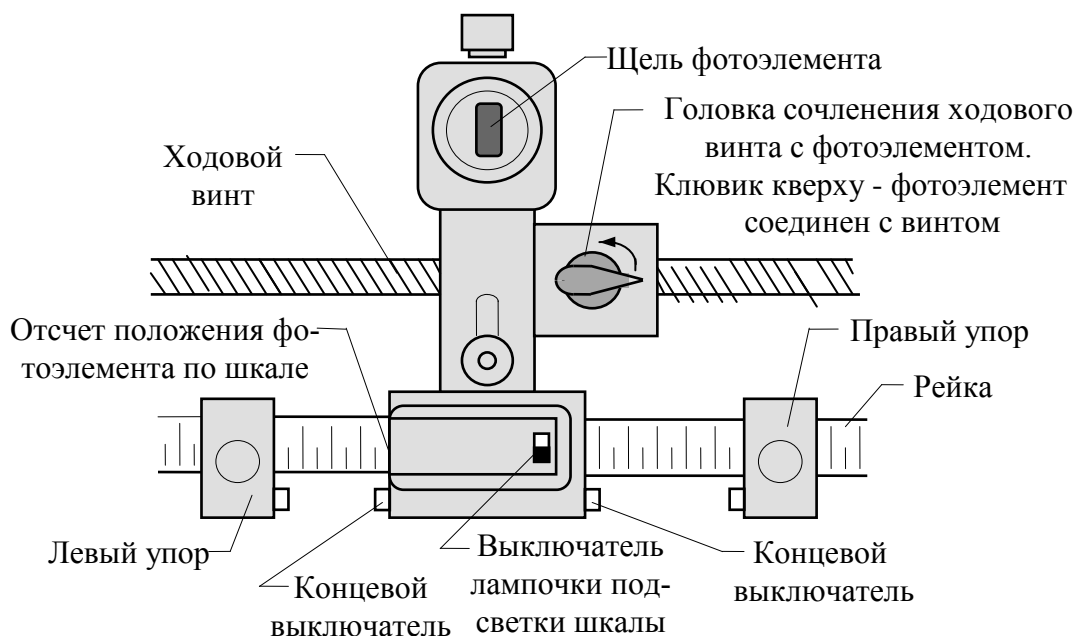


Рис.9

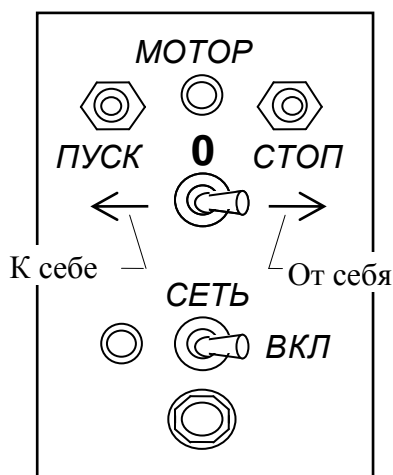


Рис. 10

Пульт управления электродвигателем (передняя панель пульта показана на рис. 10).

1. Выключателем *СЕТЬ* включают пульт управления электродвигателем. Должна загореться лампочка слева от выключателя. При этом могут быть включены (см. рисунок 9) лампочка подсветки шкалы, вдоль которой движется фотоэлемент, и электродвигатель.

2. Отсоединив фотоэлемент от ходового винта, как показано на рис. 9 (если он ранее был соединен с винтом), пододвигают фотоэлемент вплотную к левому упору (к себе). Это *положение фотоэлемента является исходным* для дальнейшей работы.

Самописец Н-307 (рис.11). *Перед началом работы* кнопки и ручки, расположенные на панелях самописца, должны находиться в следующих положениях (на рисунке нажатые кнопки показаны темными; если кнопки нажаты, а должны быть отжаты, на них надо *нажать еще раз*):

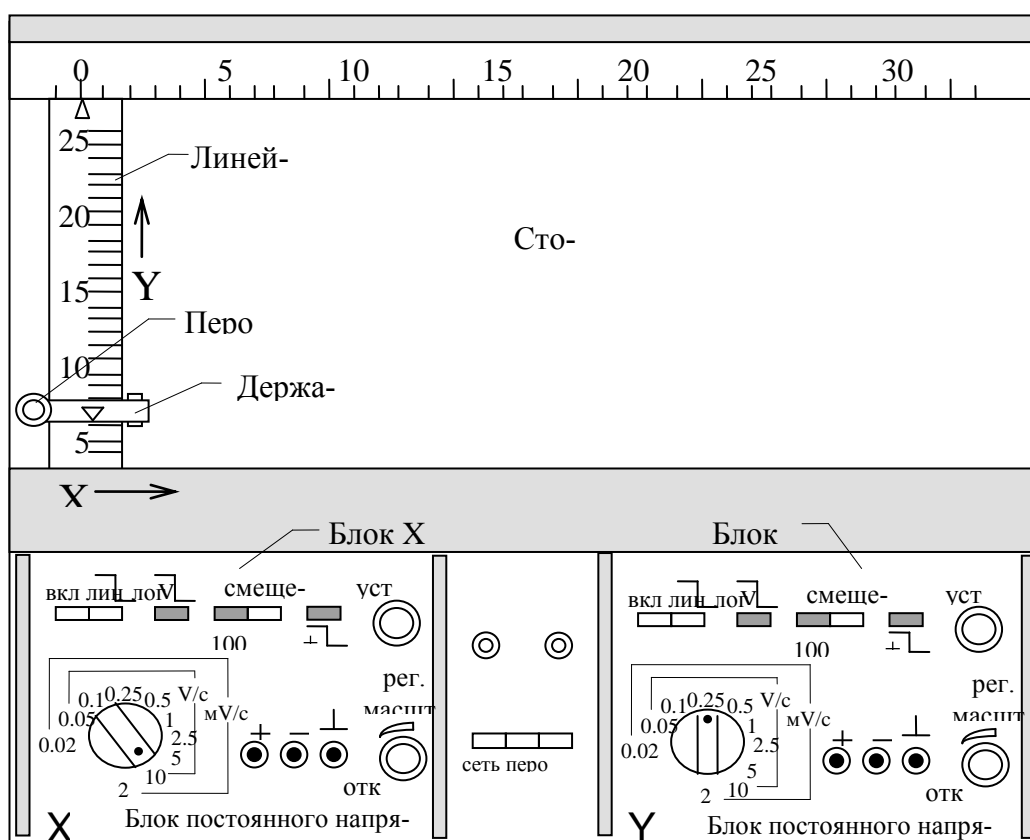


Рис.11

Средняя панель :

кнопки *сеть, перо, диагр.* - *отжаты.*

Панель блока X:

- а) кнопка *вкл* - *отжата,*
- б) масштаб регистрации (*лин*) - кнопка *отжата,*
- в) чувствительность (*mV*) - кнопка *нажата,*
- г) смещение *100%* (*100*) - кнопка *нажата,*
- д) знак смещения (*-*) - кнопка *нажата,*

- е) пределы измерений - *ручка* в положении *10*,
- ж) установка нуля "0" - *ручка* используется при выполнении задачи,
- з) регулировка масштаба - *ручка* используется при выполнении задачи.

Панель блока Y:

- а) кнопка *вкл* - *отжата*,
- б) масштаб регистрации (*лог*) - кнопка *нажата*,
- в) чувствительность (*mV*) - кнопка *нажата*,
- г) смещение *100%* (*100*) и *200%* (*200*) - кнопки *отжаты*,
- д) знак смещения (-) - кнопка *отжата*,
- е) пределы измерений - *ручка* в положении *2.5*,
- з) установка нуля "0" - *ручка* не используется при выполнении задачи,
- ж) регулировка масштаба - *ручка* не используется при выполнении задачи (повернута до щелчка против часовой стрелки).

1. Проверив положение ручек и кнопок самописца, нажимают кнопку *СЕТЬ*. Должна загореться левая лампочка на средней панели самописца.

2. На *столик* самописца помещают лист *бумаги* формата *A3*. Пропустив лист под вертикальную линейку и расположив его по возможности посередине столика, нажимают клавишу *ДИАГР*. Загорается правая лампочка на средней панели. Подаваемый на столик электростатический заряд плотно притягивает бумагу к столику.

3. Вдоль столика в горизонтальном направлении *X* перемещается

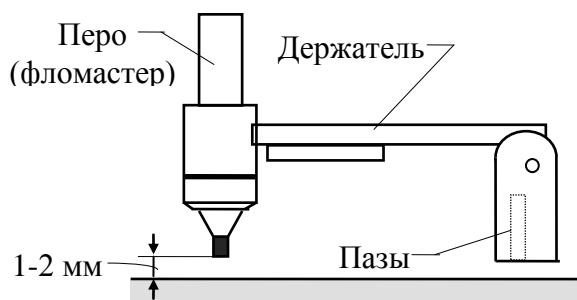


Рис.12

линейка с кареткой. Каретка в свою очередь перемещается вдоль этой линейки в вертикальном направлении *Y*.

На выступы каретки (справа от линейки) надеваются пазы подвижной части держате

ля пера (пера представляет собой укороченный фломастер). С него снимают защитный колпачок и вставляют в держатель так, чтобы из держателя высовывалась только его коническая часть (рис.12). Конец пера должен отстоять от листа бумаги на *1-2 мм*. Колпачок помещают в коробочку.

Установка пера производится под руководством лаборанта.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Верхний свет в лаборатории должен быть выключен. Свет от настольных ламп, стоящих на столе вблизи лазера, не должен быть направлен в сторону экрана, на котором наблюдается дифракция.

2. Нажимают кнопки *ВКЛ* в блоках *X* и *Y* самописца.

3. Фотоэлемент, отсоединенный от ходового винта, должен находиться вплотную к левому упору. Кнопка *ПЕРО* должна быть отжата.

Щель перед лазером должна быть закрыта крышкой, а с щели фотоэлемента снята шапочка.

4. Осторожным вращением головки *УСТ"0"*, находящейся в блоке *X* самописца, устанавливают линейку так, чтобы треугольник на ней указывал на нулевое деление верхней шкалы.

Придвигают фотоэлемент вплотную к правому упору. Осторожным вращением головки *РЕГ. МАСШТ* в блоке *X* самописца, устанавливают линейку на *35-ое* деление верхней шкалы.

5. Возвращают фотоэлемент к левому упору.

6. Осторожным вращением винта *УСТАНОВКА НУЛЯ*, находящимся сзади (справа) *ФЭУ* (см. рис.8), устанавливают нижний край держателя пера на отметку *0,5 см.* по вертикальной шкале. Вращение винта против часовой стрелки поднимает перо (и наоборот).

7. Нажимают кнопку *ПЕРО* на средней панели самописца и, перемещая вручную фотоэлемент вдоль рейки от одного упора до другого, прописывают прямую линию. Повторным нажатием на кнопку *ПЕРО* поднимают перо над бумагой, вручную возвращают фотоэлемент к левому упору *и осторожно соединяют его с ходовым винтом.* При обработке результатов измерений высоты дифракционных максимумов отсчитываются от этой прямой.

8. Снимают крышку с щели перед лазером. Устанавливают переключатель *ПУСК 0 СТОП* в направлении правой стрелки, что соответствует движению фотоэлемента от левого упора к правому. Нажатием на кнопку *ПЕРО* опускают перо на бумагу. Нажимают кнопку *ПУСК* на две-три секунды – загорается лампочка *МОТОР*, электродвигатель начинает вращать ходовой винт, а перо прописывать максимумы и минимумы дифракционной картины. Продолжительность записи около 6 минут. По прошествии этого времени фотоэлемент, дойдя до правого упора, автоматически останавливается. После этого поднимают

перо, нажав соответствующую кнопку, *и отсоединяют фотоэлемент от ходового винта.*

9. При движении по рейке фотоэлемент перемещается на расстояние 270 мм в то время, как перо выписывает дифракционную картину, ширина которой составляет около 350 мм . Чтобы установить масштаб дифракционной картины в направлении оси X , поступают следующим образом.

Надевают крышку на щель перед лазером и включают верхний свет. Под действием верхнего освещения перо самописца поднимается вверх, примерно, на середину листа.

Устанавливают фотоэлемент вручную на 200-ое деление, опускают перо, нажав кнопку *ПЕРО*, затем перемещают фотоэлемент вручную на 300-ое деление. Длина прочерченной линии d соответствует расстоянию между положениями фотоэлемента $s = 100\text{ мм}$. *После этого перо поднимают.* Щель фотоэлемента закрывают шапочкой.

10. Так как при обработке результатов измерений используются лишь отношения интенсивностей, то нахождения масштаба по оси Y не требуется.

ВЫКЛЮЧЕНИЕ УСТАНОВКИ

- 1) Отжимают кнопки *ВКЛ* в блоках X и Y .
- 2) Отжимают кнопки *ДИАГ.* и *СЕТЬ* на средней панели.
- 3) Вынимают перо из держателя и кладут его в коробочку.
- 4) Снимают лист бумаги со столика самописца.
- 5) Отключают *ФЭУ* от сети выключателем *ВКЛ*.
- 6) Выключателем *СЕТЬ* отключают пульт управления электродвигателем и ставят переключатель *ПУСК 0 СТОП* в среднее положение.
- 7) Выключают блок питания лазера.

ДАННЫЕ УСТАНОВКИ

Расстояние от щели, на которой происходит дифракция, до фотоэлемента $L = 2.880\text{ м}$.

Длина волны света гелий-неонового лазера $\lambda = 632.8\text{ нм}$.

Расположение нижнего края держателя пера на метке 0.5 см . по вертикальной шкале соответствует напряжению на входе усилителя вертикального отклонения, равному 0.5674 мВ .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Нахождение масштаба по оси X. Миллиметровой линейкой измеряют на графике длину линии d , прочерченную при выполнении пункта 9 предыдущего раздела. Отношение

$$k = \frac{d}{c},$$

является масштабом по оси X. Оно показывает, во сколько раз расстояния в этом направлении на графике больше действительных расстояний на дифракционной картине.

Нахождение ширины щели. Из формулы (3) раздела «Дополнительные сведения о дифракции Фраунгофера на щели» можно найти, что ширина щели равна

$$b = n\lambda \frac{k}{x_{\min}} L.$$

Здесь x_{\min} - расстояние от центра дифракционной картины до минимума с номером n , измеренное на графике; x_{\min} / k - действительное расстояние от центра до этого минимума; L - расстояние от щели, на которой происходит дифракция, до фотоэлемента; λ - длина волны света, излучаемого лазером.

Расстояние x_{\min} находят, измерив на графике расстояние между двумя симметрично расположенными минимумами с одинаковыми номерами и разделив это расстояние на 2. Погрешность будет тем меньше, чем больше расстояние на которое эти минимумы удалены от центра дифракционной картины.

Проверка отношений между интенсивностью в максимумах. Под интенсивностью здесь подразумевается высота максимума измеренная на графике от линии отсчета, выраженная в милливольтгах. Интенсивность центрального дифракционного максимума во много раз превышает интенсивность всех остальных. Чтобы на графике, изображаемом самописцем, центральный максимум не выходил за пределы столика самописца, усиление по оси Y осуществляется не в линейном масштабе, а в логарифмическом. При работе в этом режиме слабые сигналы усиливаются с большим коэффициентом, чем сильные. Эта особенность логарифмического усиления позволяет записать дифракционный спектр, не принимая специальных мер для ослабления центрального максимума. При обработке результатов эксперимента высоты максимумов измеряют линейкой в миллиметрах и заносят во второй столбец таблицы. Если измеренные значения высот максимумов с одинаковыми

номерама справа и слева отличаются друг от друга, то записывают среднее значение.

Для перевода данных из второго столбца в милливольты необходимо воспользоваться результатами предварительно проведенной градуировки. Во время градуировки измерялось отклонение $Y_i \text{ mm}$ пера самописца от линии отсчета и соответствующее этому отклонению напряжение $U_i \text{ mV}$, поданное на вход Y самописца. Результат градуировки представлен в виде графика $\text{Ln} (U_i \text{ mV}) = f (Y_i \text{ mm})$ на рис. 13. При обработке данных по методу наименьших квадратов для коэффициентов A и B в уравнении прямой

$$Y_1 = \text{Ln}(U, \text{ mV}) = A + B * Y (\text{ mm}) \quad (9)$$

получены следующие значения: $A = - 0.5674$, $B = 0.0183$.

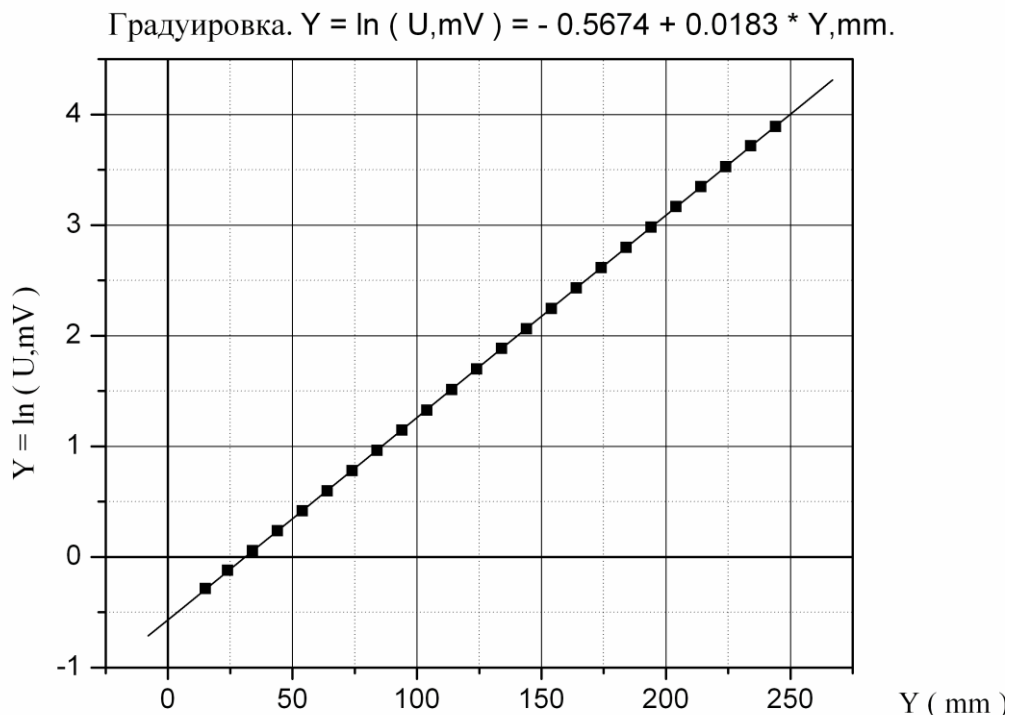


Рис. 13

Для перевода высот максимумов в милливольты необходимо, в первую очередь, подставить в уравнение (9) соответствующие значения их высот Y_n в миллиметрах и с помощью калькулятора вычислить значения напряжений $U_n \text{ mV}$, существовавших в момент прохождения максимумов на входе Y . Затем из полученных значений $U_n \text{ mV}$ необходимо вычесть напряжение $U_0 = 0.5674 \text{ mV}$. Это напряжение существовало на входе самописца в тот момент, когда его перо прописывало линию отсче-

та. Оно определяется уровнем фона, зарегистрированного фотоэлементом, и напряжением раскомпенсации ФЭУ. Результаты вычислений запишите в третий столбец таблицы.

В четвертый и пятый столбцы помещают отношения интенсивностей максимумов найденные экспериментально и вычисленные по зонной теории дифракции на щели. Формулы для них приведены в разделе «Дополнительные сведения о дифракции Фраунгофера на щели». При этом отношения I_0/I_n вычисляются по формуле (7), прочие же отношения - по формуле (8).

Таблица

п, порядковый номер max.	Y, mm	$U_{n, мВ} \sim I_n$ $U_n = U_{mv} - U_{отсчета}$	I_0/I_n , экспер.	I_0/I_n , теорет.
0				
1				
2				
3				
4				
5				

п, порядковый номер max	I_1/I_n , экспер	I_1/I_n , теорет
2		
3		
4		
5		

п, порядковый номер max	I_2/I_n , экспер	I_2/I_n , теорет
3		
4		
5		

п, порядковый номер max	I_3/I_n , экспер	I_3/I_n , теорет
4		
5		

п, порядковый номер max	I_4/I_n , экспер	I_4/I_n , теорет
5		

Приложение

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

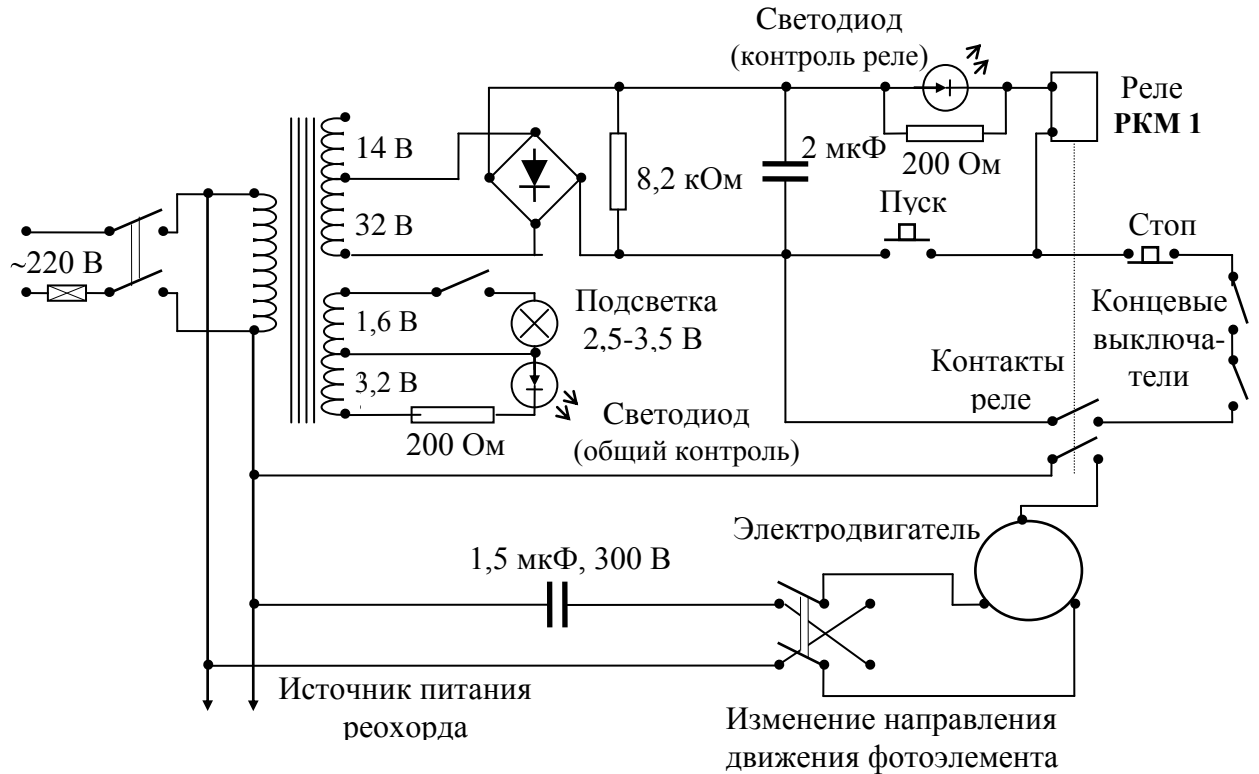
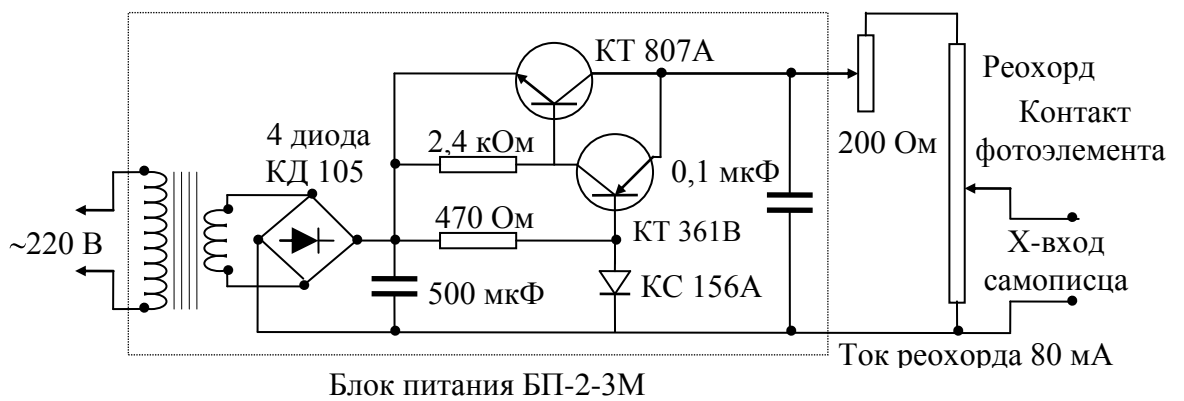


Рис.13

СХЕМА ПИТАНИЯ РЕОХОРДА



Блок питания БП-2-3М

Рис.14

Вопросы для самопроверки

1. Почему интенсивность лазерного излучения на много порядков превышает интенсивность излучения обычных источников света с тем же числом излучающих атомов?
2. Что такое дифракция света?
3. Нарисуйте и прокомментируйте дифракционную схему, используемую в данной задаче.
4. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
5. Методом зон Френеля получите условия максимумов и минимумов в дифракционной картине от отдельной щели в схеме Фраунгофера, а также формулу для расстояния между соседними минимумами.
6. Выведите формулу для соотношения между интенсивностями света в максимумах различных порядков.
7. Почему метод зон Френеля дает строгие формулы для минимумов и приближенные для максимумов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие. В 5 кн. Кн.5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит, 1998.
Глава 5. Физика атомов и молекул.
§ 5.16 Лазеры.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие. В 5 кн. Кн. 4. Волны. Оптика. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит, 1998.
Глава 5. Дифракция света.
§ 5.5 Дифракция Фраунгофера от щели.