

# Лабораторная работа №6

## Градуировка спектрометра.

### Определение длин волн.

#### Оптическая схема и конструкция спектрометра.

Спектрометр представляет собой оптический прибор позволяющий исследовать спектральный состав света.

Простейший призмный спектрометр (Рис.1) состоит из *коллиматорной трубы А* со щелью *S* (*входной* щелью) и объективом  $L_1$ , призмы *P* и *зрительной трубы В* с объективом  $L_2$  и окуляром  $L_3$ . Щель *S* устанавливается в главной фокальной плоскости объектива коллиматора, так что пучок лучей, выходящий из коллиматора, оказывается параллельным. Далее этот световой пучок падает на грань призмы *P*. Поскольку вещество призмы обладает различными показателями преломления для различных длин волн (дисперсия), то свет выходит из призмы разделенным на отдельные монохроматические пучки, различающиеся по направлению (на рис. 1 показано два таких пучка).

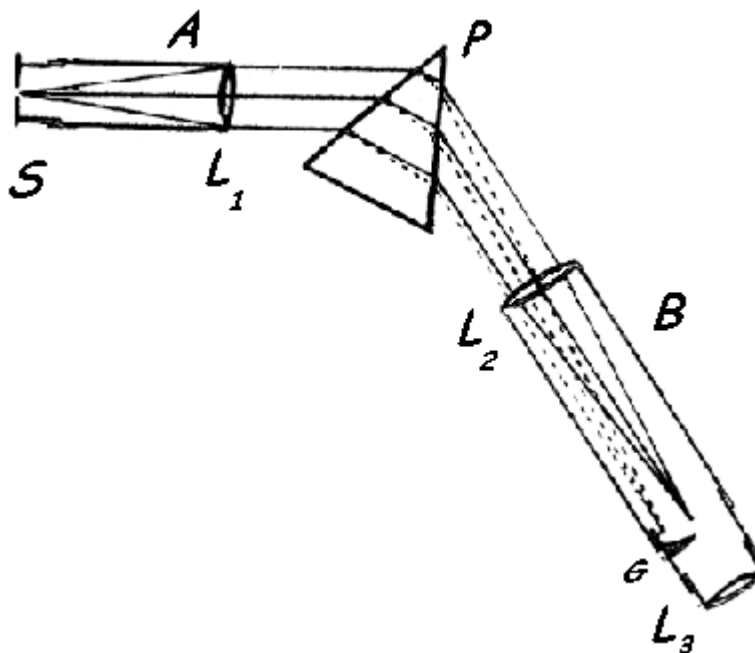


Рис. 1

Каждый из параллельных монохроматических пучков собирается в определенной точке фокальной плоскости объектива зрительной трубы  $L_2$ , что дает ряд цветных линий - изображений щели *S* в лучах соответствующей длины волны. Эти изображения рассматриваются затем с помощью окуляра  $L_3$ , играющего роль лупы.

Для измерения длины волны какой-либо линии спектра нужно определить угол, на который соответствующие лучи отклоняются призмой. Для этого в трубе имеется указатель

**G** - крест нитей или острие. Поворачивая трубу и добиваясь совмещения указателя с интересующей вас линией спектра, можно определить направление лучей данной длины волны.

В нашем спектрометре поворачивается не труба, а призма. Поворот призмы осуществляется с помощью микрометрического винта, головка которого представляет собой барабан с делениями. Отсчет по барабану производится с помощью указателя, скользящего по канавке барабана.

Измерение длин волн требует предварительной градуировки барабана по спектру какого-либо источника с известными длинами волн. Результаты градуировки представляют обычно в виде градуировочной кривой, связывающей отсчеты по барабану с длинами волн.

Описанный выше прибор называется, как уже говорилось, **спектрометром**. Если окулярную часть заменить фотокамерой, то такой прибор позволит фотографировать спектры; в этом случае прибор носит название **спектрографа**. Если вместо окуляра установить в фокальной плоскости линзы вторую (**выходную**) щель, то прибор позволит выделять из спектра отдельные узкие участки или линии, т.е. получать монохроматический свет; такой прибор называется **монохроматором**. Если на выходе монохроматора поставить фотоэлемент, то можно будет измерять интенсивность линий в спектре; в этом случае прибор называется **спектрофотометром**. Если прибор допускает только качественные визуальные наблюдения спектра, без всяких измерений, его называют **спектроскопом**.

В данной работе используется прибор УМ-2 (универсальный монохроматор, модель 2). Это универсальный прибор, который можно применять и как спектрометр, и как монохроматор. В нашем случае прибор используется как спектрометр. Его конструкция подробно описана в приложении. Ниже приводятся общие указания по юстировке установки со спектрометром, применимые для всех приборов такого типа.

### **Освещение спектрометра.**

Прежде, чем приступать к измерениям, необходимо правильно осветить прибор. Для наблюдений слабых спектральных линий важно получить наибольшую возможную освещенность в спектре. Для этого нужно так установить источник света, чтобы использовать для получения спектра возможно более широкий пучок. Максимальная возможная ширина пучка определяется углом, под которым объектив коллиматора виден из щели (угол  $\omega$  на рис. 2). Следовательно, источник света должен быть установлен на таком

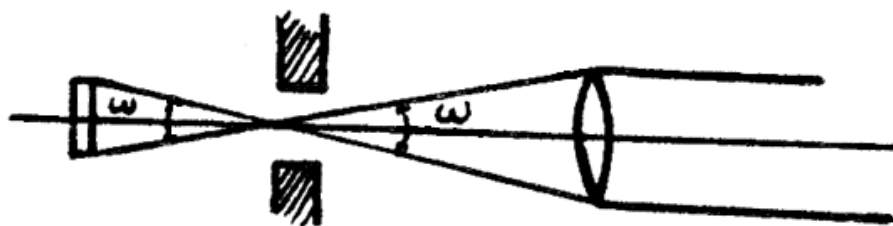


Рис. 2

расстоянии от щели, чтобы свет его полностью заполнял объектив коллиматора, т. е. чтобы раствор конуса лучей от источника был не меньше, чем угол  $\omega$ . Очевидно, что это возможно, только если источник света имеет достаточно большие размеры. Чаще на практике исследуются спектры малых источников. В этом случае между входной щелью и источником помещают линзу (или систему линз) – **конденсор К** (рис. 3). С помощью конденсора изображение источника фокусируется на щель.

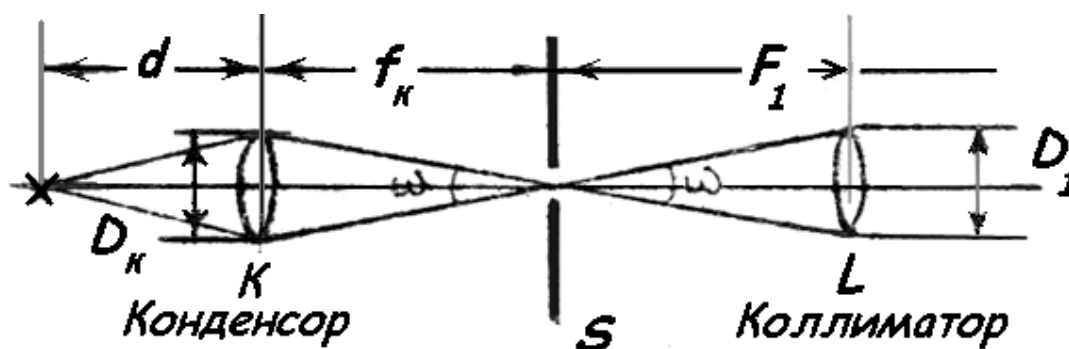


Рис. 3

Положение конденсора определяется тем условием, что объектив коллиматора и конденсор должны быть видимы из щели под одним и тем же углом  $\omega$ . Делать раствор лучей меньше невыгодно, так как уменьшается освещенность изображения линий, больше не только бесполезно (часть лучей не попадает в коллиматор), но и вредно – лучи, не захватываемые объективом, могут отражаться от внутренних стенок спектрометра и давать блики.

Очевидно, что коллиматор может быть хорошо заполнен светом только в том случае, если источник света и конденсор расположены строго на оптической оси коллиматора. Для этого нужно очень тщательно отъюстировать приборы. Источник света и конденсор укреплены на рейтерах, которые могут свободно перемещаться вдоль специального рельса – **оптической скамьи**, и закрепляются в нужном положении винтом. Конструкция рейтеров позволяет перемещать приборы, как по высоте, так и в горизонтальном направлении, поперек скамьи.

**Обратите внимание!** Передвигая рейтер конденсора вдоль скамьи, следует каждый раз

закреплять его зажимным винтом, чтобы положение укрепленного на нем прибора было точно определенным.

При юстировке приборов в качестве источника света используется маленькая лампочка накаливания. Ширину входной щели спектрометра при юстировке устанавливают достаточно большой (порядка 1 мм), чтобы в прибор попадало больше света.

Юстировка ведется в следующем порядке.

#### **Установка источника света на оптической оси коллиматора**

Сначала необходимо проверить, что оптическая скамья (рельс) установлена параллельно оси коллиматора. Источник света устанавливают перед щелью коллиматора, его изображение наблюдают, сняв окуляр и поместив глаз за выходной трубой прибора, т.е. смотрят внутрь трубы. С помощью подвижек рейтера устанавливают лампочку так, чтобы ее изображение находилось в центре объектива прибора. Далее передвигают источник света на край оптической скамьи. Если изображение источника осталось в центре объектива, то рельс установлен параллельно оси коллиматора прибора. Если изображение сместилось в поперечном или вертикальном направлении, то, соответственно, нужно изменить положение рельса (для УМ-2 – ослабив винт, крепящий рельс, или изменив высоту незакрепленного конца рельса) и проделать всю операцию сначала. Для спектрометра УМ-2 установка скамьи производится при сборке прибора, и обычно изменять ее положение не требуется. Если, по вашему мнению, все же нужно исправить положение скамьи, обратитесь к преподавателю или к дежурному инженеру. Однако, во всяком случае, нужно тщательно установить источник света так, чтобы нить накала лампочки оказалась на оси коллиматора.

#### **Установка конденсора.**

Для дальнейшей юстировки щель прибора закрывают круглой крышкой, в центре которой имеется метка, указывающая положение оси коллиматора. Источник света ставят на дальний конец скамьи, и с помощью конденсора получают на крышке резкое изображение источника; перемещением конденсора вправо-влево, вверх-вниз добиваются того, чтобы изображение располагалось точно в центре крышки. Обращайте внимание на то, что конденсор должен быть развернут вокруг вертикальной оси так, чтобы его оптическая ось была параллельна оси коллиматора. Если вы тщательно выполнили первый этап юстировки, то оба прибора (конденсор и источник света) окажутся на оси коллиматора. Для проверки этого следует сдвинуть один из приборов вдоль скамьи. (В нашем случае удобнее всего перемещать конденсор, а не источник света, так как он дает резкое изображение источника на крышке при двух различных положениях (в одном случае получается увеличенное, а в другом – уменьшенное изображение). Естественно, что для юстировки удобнее пользоваться

резкими изображениями, а не размытыми световыми пятнами). Очевидно, что при правильном расположении приборов такое передвижение не должно вызывать поперечного смещения изображения. Если же приборы расположены неправильно, то такое смещение будет наблюдаться (это может случиться, если, например, при установке конденсора вы одновременно нарушили юстировку источника света). На рис.4 показан случай

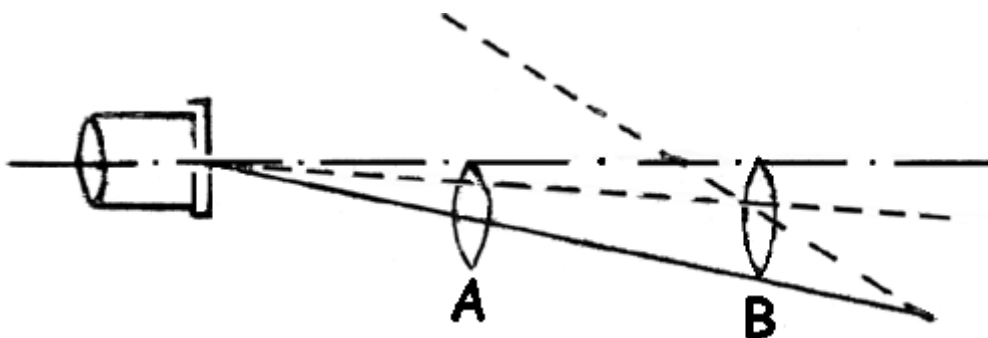


Рис.4

неправильной установки приборов. При перемещении конденсора по скамье, т.е. вдоль направления оптической оси коллиматора (показано штрих пунктиром) из положения А в положение В изображение источника смещается в сторону от центра крышки. Из рисунка видно, что если передвинуть источник так, чтобы изображение вновь оказалось на центре крышки, то его положение будет ближе к правильному положению, чем раньше. Вновь перемещая конденсор в положение А, мы снова обнаружим смещение изображения, но теперь оно будет уже меньше. Нетрудно убедиться, что теперь следует добиваться совпадения изображения с меткой на крышке перемещением конденсора. Повторяя эту операцию несколько раз можно добиться полного совпадения центров конденсора и источника с оптической осью коллиматора. (В математике такой метод называется *методом последовательных приближений* или *итерационным* методом). После этого следует снять крышку со щели и установить конденсор так, чтобы получить на щели резкое увеличенное изображение источника.

#### Заполнение коллиматора.

Для проверки заполнения оптики прибора светом следует снять окуляр и посмотреть внутрь спектрометра, поместив глаз приблизительно в главном фокусе объектива трубы. В центре объектива будет видно приблизительно круглое, равномерно освещенное световое пятно - освещенный участок объектива. Цвет этого пятна будет определяться тем, на месте какой линии спектра оказался ваш глаз (Подумайте, почему вы в этом случае не видите спектра?) Если конденсор и источник установлены на конце скамьи, как указано выше, то это пятно не будет заполнять весь объектив. Тогда надо придвинуть конденсор несколько ближе к щели, соответственно передвинув источник так, чтобы вновь получить на щели

резкое изображение источника, и опять проверить заполнение объектива. Так нужно поступать до тех пор, пока объектив целиком не заполнится светом. Ближе придвигать конденсор не нужно – это не увеличит освещенности линий, но может создать блики.

Найденное положение конденсора является окончательным. При дальнейшей работе вам придется заменять источник другим и вновь устанавливать его на оптической оси прибора на нужном расстоянии от конденсора, но конденсор при этом трогать не следует. При уже установленном конденсоре установка источника не представляет труда.

При работе с невидимым (инфракрасным или ультрафиолетовым) излучением нужное положение конденсора находят расчетом. Выведите сами, пользуясь рисунком 3, формулы для расстояний  $f$  и  $d$  от конденсора до щели и до источника. Проверьте по этой формуле правильность выполненной вами установки.

Для приборов УМ-2 фокусное расстояние объектива коллиматора  $F_1=28\text{см}$ , его диаметр  $D_1=4,6\text{см}$ . Фокусное расстояние конденсора и его диаметр определите сами.

На приборе УМ-2 столик с призмой покрыт защитным кожухом. После юстировки прибора, когда и источник света, и конденсор будут установлены, можно, с разрешения преподавателя или дежурного инженера и в его присутствии, снять защитный кожух, чтобы проследить, как свет проходит внутри прибора. Для этого между призмой и трубой коллиматора осторожно вставляют листок белой бумаги. На бумаге должно быть видно яркое круглое пятно, равномерно освещенное. Если пятно не круглое или освещенность неравномерна, значит, установка приборов проведена неправильно. Вставив точно так же листок бумаги между призмой и выходной трубой, вы сможете увидеть прохождение света после призмы.

**Внимание! Не дотрагивайтесь руками до столика и, тем более, до призмы. Старайтесь также, чтобы влага от вашего дыхания не попадала на поверхность призмы. Снимайте и ставьте на место кожух очень осторожно, без резких движений и грубых толчков.**

#### **Фокусировка трубы**

Всякая зрительная труба должна иметь двойную фокусировку: окуляр должен перемещаться относительно указателя (фокусировка по глазам наблюдателя), а указатель должен перемещаться относительно объектива, чтобы можно было совместить его плоскость с плоскостью изображения.

В приборе УМ-2 указатель смонтирован в одном патрубке с окуляром. Окуляр можно перемещать, фокусируя его на указатель. А весь патрубок вставляют в трубу и закрепляют в нужном положении. Поскольку фокусное расстояние объектива зависит от длины волны (*хроматическая аберрация*), для каждой спектральной линии нужно было бы находить свое

положение патрубков. В приборе УМ-2 точная фокусировка линий спектра производится перемещением не патрубков, а объектива коллиматора.

### **Установка ширины щели.**

Ширина щели обусловлена требованием, чтобы линии в спектре были возможно более узкими, но не потеряли яркости. Если щель широкая, спектральная линия видна в объектив как геометрическое изображение щели в цвете, соответствующем выбранной линии. При постепенном сужении щели наблюдаемые линии сначала сужаются, не меняя яркости, а, начиная с некоторого предела, их ширина перестает изменяться или даже увеличивается, зато яркость быстро падает. Это происходит потому, что наблюдается уже не геометрическое изображение щели, а дифракционная картина, образующаяся при дифракции пучка света на щели. Ширина щели, соответствующая этому пределу, называется нормальной шириной щели. Работать следует при нормальной ширине щели. Слишком широкая щель делает линии широкими, но не увеличивает их освещенности: большой световой поток, проходящий через щель, распределяется на большую площадь линии. При слишком узкой щели световой поток делается очень малым, а линии не могут стать уже определенной конечной ширины, определяемой дефектами оптики, а также дифракцией световых волн.

Ширина щели регулируется с помощью микрометрического винта (одно деление шкалы соответствует изменению ширины щели на 0,01мм). Предварительно следует раскрыть щель на миллиметр или несколько менее (наблюдая и оценивая ширину на глаз). Затем, рассматривая изображение спектральных линий, медленно вращать винт, закрывая щель, пока линии спектра не перестанут сужаться, оставаясь достаточно яркими. Это положение и соответствует нормальной ширине щели. Для определения нормальной ширины щели нужно очень медленно и осторожно, наблюдая картинку в окуляр, сужать щель до тех пор, пока изображения линий не исчезнут. Затем медленно открывать щель до момента появления линий. Записать деления барабана микрометрического винта. Открыть щель до нормальной ширины. Записать деления барабана.

### **Задача работы**

Задачей настоящей работы является градуировка спектрометра и измерение длин волн спектра какого-либо газа. Источником с известными длинами волн служит ртутная лампа. (Лампу включает дежурный инженер).

Для градуировки нужно поочередно совмещать каждую линию с указателем, уточняя каждый раз фокусировку, и отсчитывать углы поворота призмы по барабану. По этим данным строится график – градуировочная кривая спектрометра.

После того, как спектрометр отградуирован, ртутная лампа заменяется лампой,

наполненной газом (смену лампы производит дежурный инженер). Следует измерить длины волн всех линий спектра лампы, отмечая их цвет и интенсивность («сильная», «средняя», «слабая»). По этим данным нарисовать спектр газа. Сравнить полученные длины волн с табличными и определить, каким газом наполнена лампа.

Таблицы линий для газов: водорода, гелия, криптона, неона и ртути приведены в приложении 2..

### **Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с прибором УМ-2.

---

2. Установить лампу и конденсор в положение, обеспечивающее заполнение коллиматора светом. Сравнить их положения с теоретическим расчетом. **Показать результаты юстировки преподавателю.**

3. Установить и сфокусировать окуляр. Определить и записать нулевое положение микрометрического винта щели. Установить «нормальную» ширину щели. **Результат юстировки показать преподавателю.**

4. Отградуировать спектрометр.

---

5. Заменить (с помощью дежурного инженера) ртутную лампу на лампу, наполненную газом. Определить длины волн и интенсивности линий спектра газа. Сравнить полученные данные с табличными, определить газ, наполняющий лампу. Нарисовать спектр, отмечая цвет линий.

### **Содержание отчета.**

Отчет должен содержать:

1. Оптическую схему установки.

---

2. Результаты юстировки: расстояния между щелью, конденсором и источником, нулевое положение винта щели и «нормальную» ширину щели. Теоретический расчет этих величин.

3. Записи отсчетов положения линий и их характеристику по цвету и интенсивности.

4. Градуировочный график спектрометра.

---

5. Результаты определения длин волн линий спектра газа, сравнение с табличными данными и рисунок этого спектра.



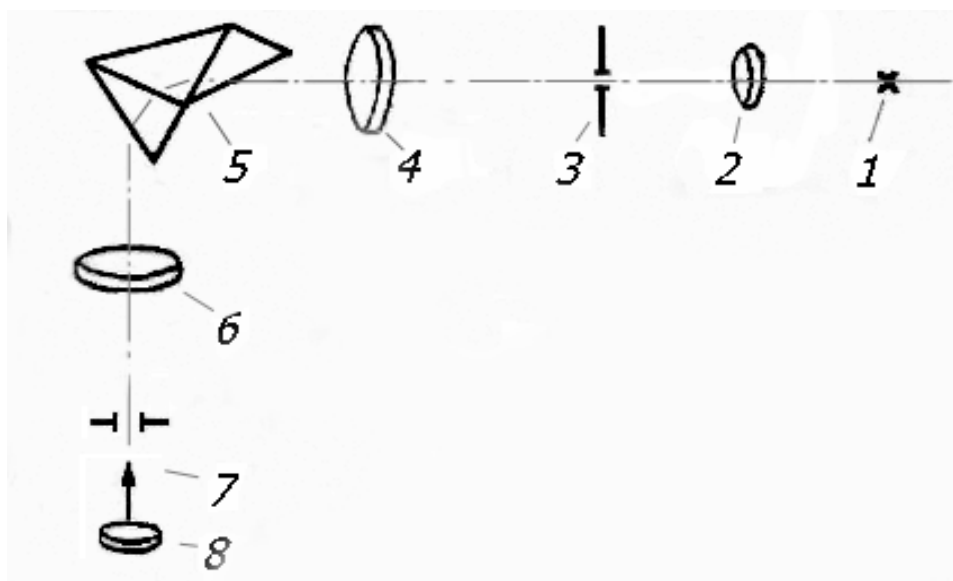
## Приложение 1 ОПИСАНИЕ СПЕКТРОМЕТРА УМ-2

Универсальный монохроматор УМ-2 предназначен для различных спектральных исследований и решения ряда аналитических задач.

Монохроматор выделяет монохроматические участки спектра в видимой и ближней инфракрасной областях.

### Оптическая схема и принцип действия.

Оптическая схема монохроматора показана на **рис.6**. Свет через входную щель попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком проходит диспергирующую призму. Под углом 90 к падающему пучку света помещается выходная труба монохроматора.



**Рис. 6**

**1.** – источник света, **2** – конденсор, **3** – входная щель, **4** – объектив коллиматора, **5** – диспергирующая призма, **6** – объектив зрительной трубы, **7** – указатель, **8** – окуляр.

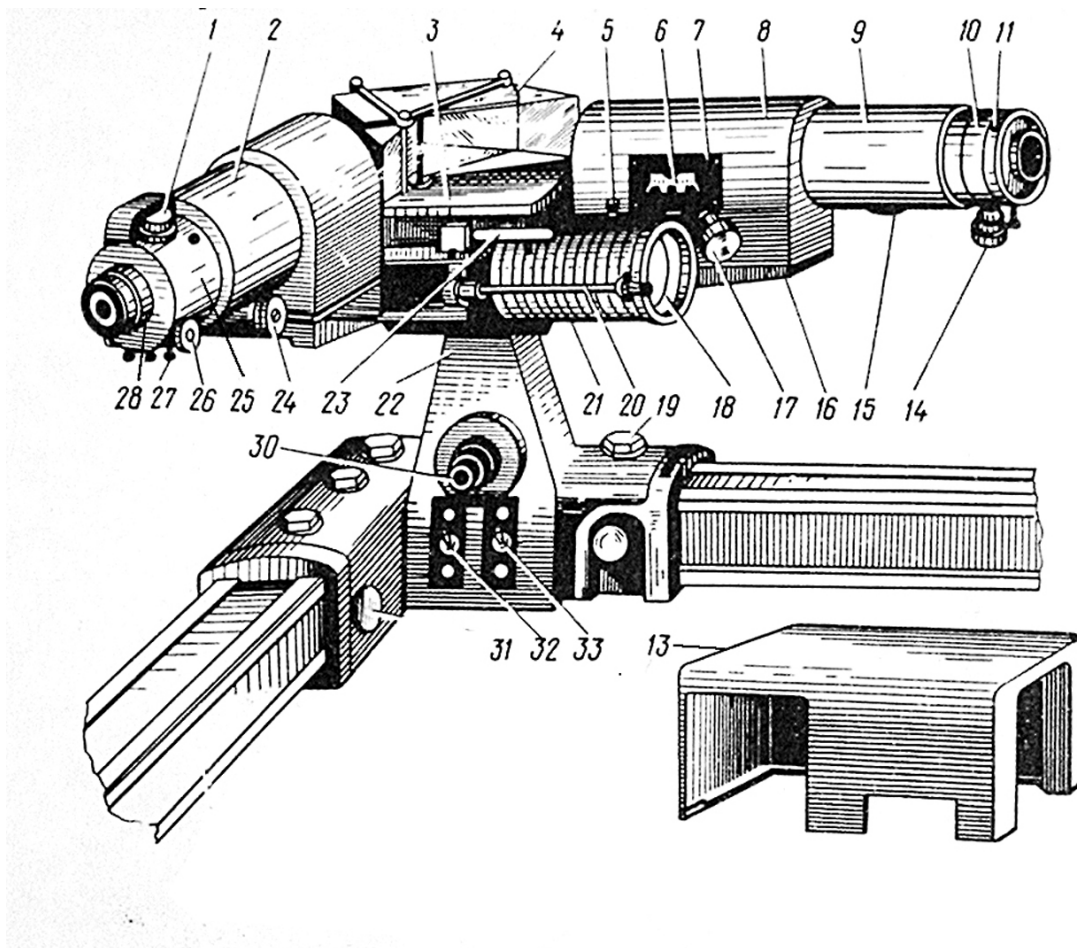
Поворачивая призмный столик на различные углы относительно падающего пучка света, совмещают с указателем, свет различной длины волны, проходящий через призму в минимуме отклонения.

### Конструкция.

Основные части монохроматора (**рис. 7**): коллиматор **9**, призмный столик с поворотным механизмом **3** и выходная труба **2**.

**Коллиматор.** Коллиматор крепится в обойме **8** на плате **16**, которая соединена болтами с основанием прибора.

В качестве входной щели коллиматора применена стандартная симметричная щель **10**, ширина раскрытия щели - от **0** до 4 мм, высота - **15 мм**, цена деления на барабанчике **14** равна **0,01 мм**. На входную щель надета насадка **11** с защитным стеклом. В насадку входит фигурная диафрагма **39**. С помощью большого выреза диафрагмы щель ограничивают по



**Рис.7** высоте; высота щели определяется по шкале с ценой деления **1,2 мм**. Шкала вынесена на правой верхней части диафрагмы. Отсчет снимается против края корпуса щели.

Ножи входной щели установлены в фокальной плоскости объектива коллиматора. Ввиду того, что фокусное расстояние объектива для каждой длины волны изменяется, предусмотрена возможность фокусировки объектива. В обойме имеется окно с миллиметровой шкалой **6** и нониусом **7**, по которой определяется положение объектива коллиматора. Фокусирующее движение объектива производится маховичком **17**. Шкала фокусировки объектива коллиматора освещается лампочкой, закрытой колпачком **5**. Для удобства работы выключатель **33** непосредственно установлен на приборе. В начале работы на шкале **6** выставляется значение **10,0 мм**, в дальнейшем его изменяют при фокусировке спектра на указатель.

В трубе коллиматора, между щелью и объективом, помещен затвор, с помощью которого можно прекратить доступ света в прибор. Движением затвора управляют с помощью рукоятки **15**.

**Призмный столик с поворотным механизмом.** Столик **3** с призмой **4** установлен на нижнем столике с рычагом, получающим движение от микрометрического винта **18** поворотного механизма. Ось вращения механизма собрана на шарикоподшипниках, поэтому

призмный столик перемещается легко и плавно. Призмный столик закрывается защитным кожухом **13** (на рисунке этот кожух снят).

На барабане длин волн **21** поворотного механизма нанесены относительные деления – градусы. Отсчет читается против индекса **20**, скользящего по спиральной канавке. Во время работы шкала и индекс освещаются лампочкой **23**.

---

**Выходная труба.** Лучи света, пройдя диспергирующую призму, попадают в объектив выходной трубы монохроматора, который собирает их в фокальной плоскости.

Спектр наблюдается с помощью окуляра. Окуляр укреплен в патрубке **25**, вставленном в трубу **2**. При юстировке установки патрубков вынимают, освободив маховичок **24**.

В патрубке смонтирован также указатель, служащий для фиксации положения спектральной линии. Наводка окуляра на указатель производится вращением кольца **28**. При установке патрубка на приборе указатель оказывается приблизительно в фокальной плоскости объектива трубы. Точная дальнейшая фокусировка производится для каждой спектральной линии маховичком **17**. Указатель освещается лампочкой через сменные светофильтры в револьверной оправе **1**; таким образом, при работе в любой области спектра указатель может быть освещен светом той же длины волны. Для регулировки освещения указателя на приборе установлен реостат **30** с выключателем **32**.

**Плато монохроматора** с обоймами и поворотным механизмом укреплено на основании **22**. Рельс, служащий для ориентировки осветительной системы, крепится в гнезде основания монохроматора болтом **19**. Установка рельса в одной вертикальной плоскости с оптической осью коллиматора производится при сборке прибора винтами, закрываемыми крышками **31**.

**Таблицы спектральных линий**

Интенсивность дана в относительных единицах, причем у каждого из приведенных элементов шкала своя: в ней интенсивность наиболее “ярких” линий принята за 1000 ед.

<i>Спектральные линии ртути</i>		
Название линии	Длина волны Å	Интенсивность (отн.ед.)
Красная 1	7082	125
Красная 2	6907	125
Красная 3	6234	15
Красная 4	6123	15
Желтая 1	5794	1000
Желтая 2	5770	200
Зеленая	5461	2000
Голубая	4916	50
Синяя	4358	500
Фиолетовая 1	4078	150
Фиолетовая 2	4047	300

<i>Спектральные линии неона</i>			
Длина волны Å	Интенсивность	Длина волны Å	Интенсивность
7032.41	1000	5881.90	1000
6929.47	1000	5852.49	2000
6598.95	1000	5400.56	2000
6506.53	1000	5341.09	1000
6402.24	2000	4957.03	1000
6382.99	1000	4884.92	1000
6334.43	1000	4827.34	1000
6266.50	1000	4752.73	1000
6217.28	1000	4715.34	1500
6163.06	1000	4712.00	1000
6143.06	1000	4708.85	1200
6074.34	1000	4704.40	1500
6030.00	1000	4537.75	1000

<i>Спектральные линии гелия</i>			
Длина волны в Å	Интенсивность	Длина волны Å	Интенсивность
7065.71	1000	5015.68	100
6678.15	100	4685.75	300
6560.00	100	4471.48	400
5875.87	3000	3888.65	
5875.62	1000		

<i>Спектральные линии водорода</i>		
Название линии	Длина волны Å	Интенсивность (отн.ед.)
H <sub>α</sub>	6562.85	2000
H <sub>α</sub>	6562.73	1000
H <sub>β</sub>	4861.33	500
H <sub>γ</sub>	4340.47	200
H <sub>δ</sub>	4101.74	100

<i>Спектральные линии криптона</i>			
Длина волны в Å	Интенсивность	Длина волны Å	Интенсивность
6456.29	200	4577.20	300
6420.18	300	4556.61	800
5992.22	200	4523.14	200
5870.91	300	4502.35	400
5690.35	200	4489.88	600
5681.89	400	4475.00	400
5570.28	2000	4463.68	800
5562.22	500	4453.91	800
5468.17	200	4436.81	600
5333.41	500	4431.67	600
5308.66	200	4399.96	500
5208.32	500	4386.54	200
5143.05	600	4376.12	300
5125.73	400	4369.69	800
5086.52	250	4362.64	200
5022.40	200	4355.47	500
4945.59	300	4319.57	3000
4846.60	700	4318.55	1000
4832.07	800	4317.81	400
4825.18	300	4300.49	500
4811.76	300	4292.92	200
4762.43	1000	4273.97	600
4739.00	3000	4125.12	1000
4694.44	200	4098.72	250
4680.41	500	4088.33	250
4658.86	2000	4065.11	500
4633.88	800	4057.01	300
4619.15	1000	3920.14	300
4615.28	500	3741.69	200