

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.1

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С РАБОТОЙ МОНОХРОМАТОРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ВЕЩЕСТВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с принципом действия и работой монохроматора. Получить градуировочную кривую монохроматора $\lambda = f(\alpha)$ и рассчитать его разрешающую способность. Измерить длины волн характерных линий в спектре цезия, кадмия или натрия.

На выполнение работы отводится два учебных часа.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Необходимое оборудование:

- оптическая скамья;
- монохроматор;
- спектральная лампа с ртутью;
- спектральные лампы с цезием, кадмием или натрием;
- собирающая линза;
- блоки питания спектральных ламп.

Характеристики средств измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность $\Delta_{\text{и}}$
Монохроматор УМ-2	380 – 1000 нм	2 град/дел	–	± 1 град

УКАЗАНИЕ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Монохроматор питается от сети переменного тока напряжением 220 В, а напряжение на спектральных лампах составляет 300 В, что создает опасность поражения электрическим током. Одна из ламп содержит пары ртути. Поэтому при работе на установке необходимо соблюдать следующие меры безопасности.

1. Не разрешается включать установку в отсутствие преподавателя или лаборанта.
2. Запрещается оставлять установку включенной.
3. Перемещать спектральные лампы по оптической скамье можно только при выключенном источнике питания.
4. Строго соблюдать правила включения монохроматора и спектральных ламп.
5. Запрещается работать с ртутной лампой при отсутствии защитного стекла.
6. Выключить монохроматор и спектральные лампы после выполнения измерений.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Дисперсия света

Действие монохроматора основано на использовании явления дисперсии света.

Дисперсией света называется явление, обусловленное зависимостью показателя преломления вещества от длины световой волны. Эту зависимость можно охарактеризовать функцией

$$n = f(\lambda_0), \quad (1)$$

где λ_0 - длина света световой волны в вакууме.

Дисперсией вещества называется производная $dn/d\lambda_0$.

Для всех прозрачных бесцветных веществ функция (1) имеет в видимой части спектра характер, показанный на рис. 1.

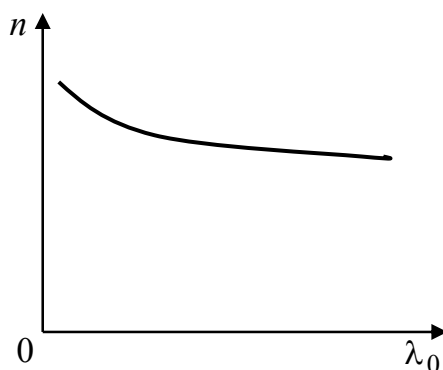


Рис. 1. Зависимость показателя преломления от длины волны

С уменьшением длины волны показатель преломления увеличивается со все возрастающей скоростью, так что дисперсия вещества $dn/d\lambda_0$ отрицательна и растет по модулю с уменьшением λ_0 . Такая дисперсия называется *нормальной*.

Если вещество поглощает часть лучей, то вблизи области поглощения в ходе кривой $n(\lambda_0)$ обнаруживается аномалия (рис. 2). Дисперсия вещества $dn/d\lambda_0$ оказывается положительной. Такой ход зависимости $n(\lambda_0)$ называется *аномальной дисперсией*.

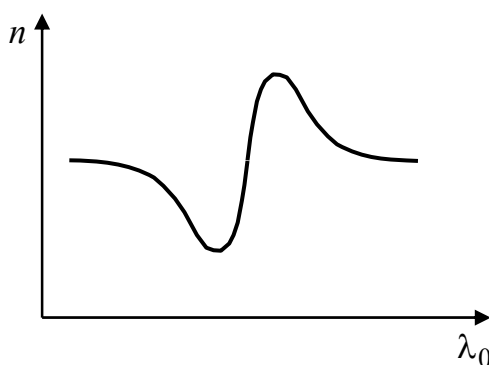


Рис. 2. Зависимость показателя преломления от длины волны в области поглощения

Явление дисперсии по электронной теории объясняется взаимодействием электромагнитного излучения с заряженными частицами вещества, совершающими вынужденные колебания в переменном электромагнитном поле волны.

Характеристика спектральных приборов

Явление дисперсии используется в приборах, предназначенных для разложения сложного света на составляющие и их пространственного разделения по длинам волн.

Основной частью таких приборов являются призмы. Материалы, используемые для изготовления дисперсионных призм должны быть прозрачными в широкой области длин волн, оптически однородными при больших геометрических размерах, изотропными, химически устойчивыми, должны хорошо поддаваться оптической обработке. При выборе материала призм решающую роль играют показатель преломления n и дисперсия вещества $dn/d\lambda$. Так как последняя величина определяет угловую дисперсию спектрального прибора

и его разрешающую способность, желательно иметь большие значения $dn/d\lambda$.

Дисперсия и разрешающая способность спектральных приборов

Спектральный прибор служит для обнаружения излучения и анализа распределения его по длинам волн. Монохроматическое излучение реального источника, подаваемое в спектральный прибор, регистрируется не в виде узкой линии определенной интенсивности с частотой ω (рис. 3, а), а в виде кривой, представляющей распределение энергии по частотам (рис. 3, б).

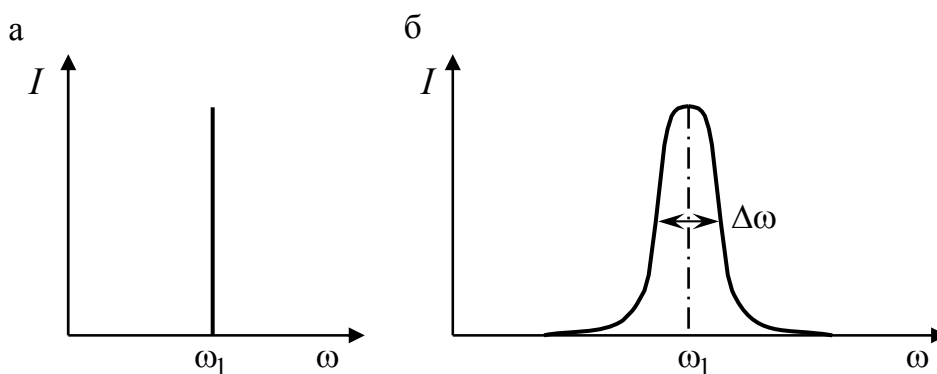


Рис. 3. Интенсивность монохроматического излучения: а – идеального источника; б – реального источника

В зависимости от крутизны кривой интенсивности соседние максимумы длин волн λ_1 и λ_2 могут наблюдаться как два самостоятельных или как один максимум (рис. 4).

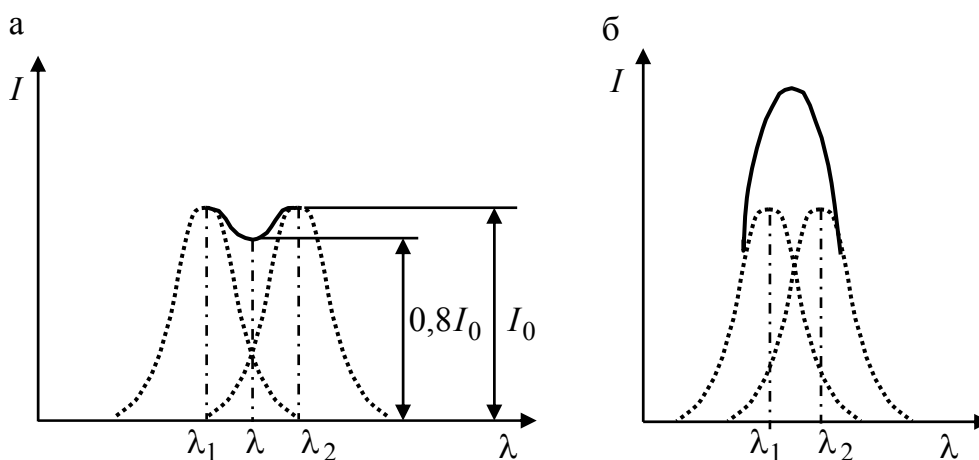


Рис. 4. Условия различимости соседних линий спектра: а – две линии

различимы; б – две линии не различимы

Согласно Рэлю две близлежащие спектральные линии с равными интенсивностями и одинаковыми симметричными контурами разрешимы, если максимум одной длины волны λ_1 совпадает с минимумом другой λ_2 (рис. 4, а). При удовлетворении этого условия интенсивность «провала» между максимумами составляет 80 % интенсивности каждой линии, что является достаточным для отдельного наблюдения линий λ_1 и λ_2 . Нарушение критерия Рэля приводит к наблюдению одной линии вместо двух (рис. 4, б).

Если разность $\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda$, а средняя длина волны, соответствующая центру провала между максимумами λ (рис. 4, а) то в качестве количественной характеристики разрешающей способности спектрального прибора берется отношение

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

Устройство и принцип действия универсального монохроматора УМ-2

Принципиальная оптическая схема универсального монохроматора УМ-2 представлена на рис. 5. Прибор выделяет монохроматические участки спектра в видимой и ближней инфракрасной областях с длинами волн 380...1000 нм.

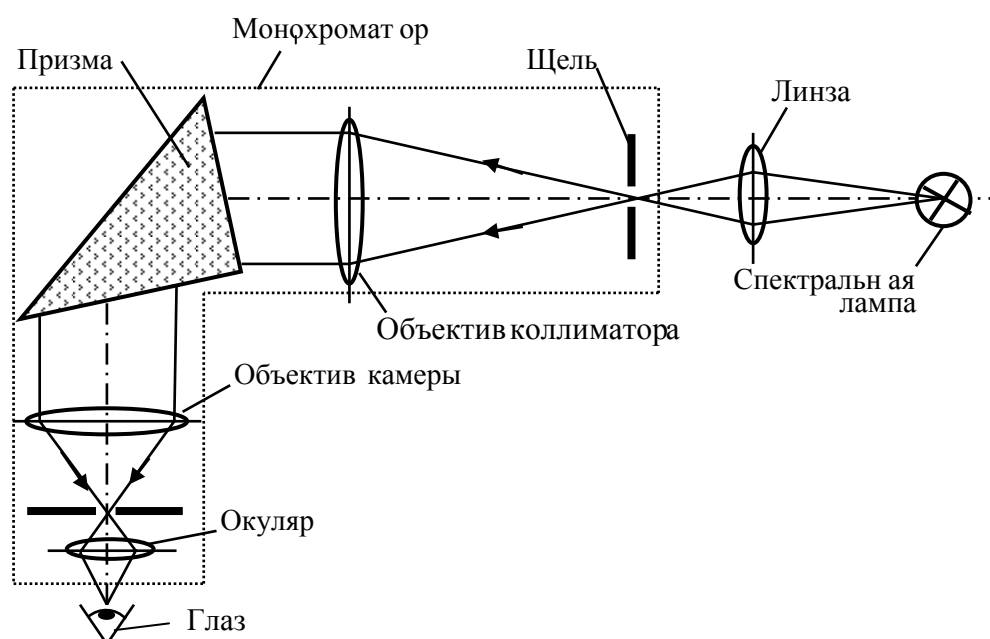


Рис. 5. Принципиальная оптическая схема монохроматора

Свет от источника освещает входную щель, расположенную в фокальной плоскости объектива коллиматора. После объектива параллельный пучок света проходит через диспергирующую систему призм (призму), при помощи которой свет разлагается на спектральные линии. Объектив камеры дает изображение щели в своей фокальной плоскости (воображаемая плоскость) в виде ряда спектральных линий. Наблюдение спектральных линий производится глазом через окуляр.

Внешний вид монохроматора представлен на рис. 6.

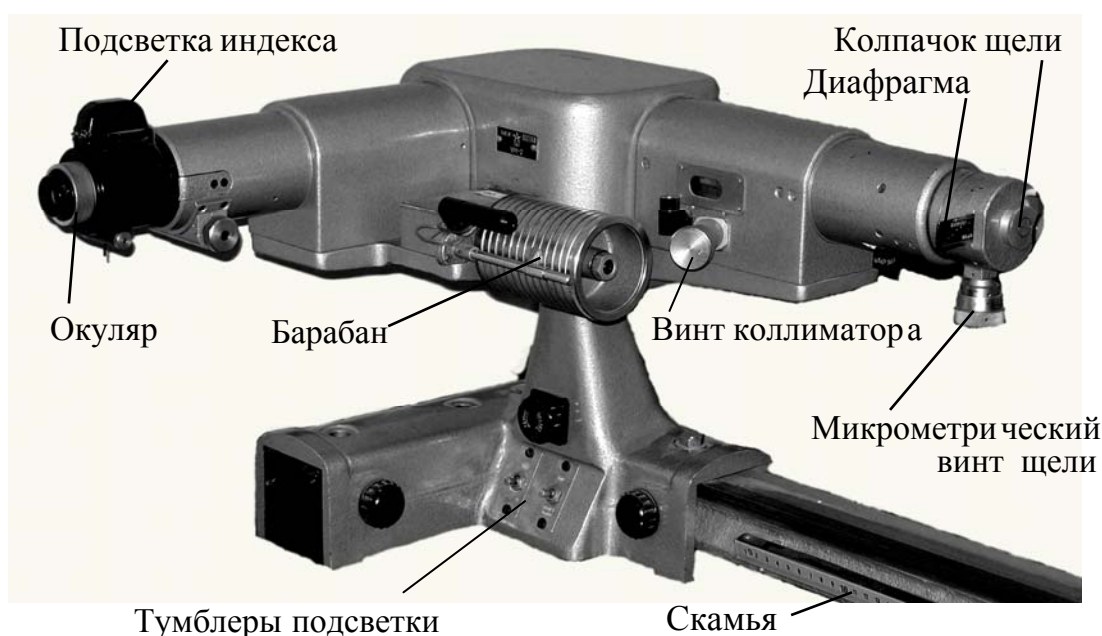


Рис. 6. Внешний вид монохроматора

Монохроматор укреплен на оптической скамье, на которой также установлены спектральная лампа и собирающая линза. Объектив коллиматора, диспергирующая призма, объектив камеры и окуляр размещены внутри корпуса прибора. Ширина входной щели регулируется микрометрическим винтом, а ее длина устанавливается выдвинутой диафрагмой в виде пластины.

В фокальной плоскости объектива камеры имеется индекс в виде треугольника, который подсвечивается лампочкой на тубусе окуляра. Индекс виден через окуляр и служит для определения положения

ния спектральных линий. Вращая окуляр, получают резкое изображение индекса.

На корпусе монохроматора расположен винт коллиматора, который служит для фокусировки коллиматора, обеспечивая резкое изображение спектральных линий.

Поворот диспергирующей призмы осуществляется вращением барабана, который имеет спиральную шкалу с цифровыми делениями от 0 до 3500 град. Шкала имеет оцифровку 0, 50, 100, 150 град и т.д. Цена малого деления шкалы составляет 2 град. При повороте барабана на одно деление (2 град.) диспергирующая призма поворачивается на угол 20 секунд. При повороте барабана поворачивается диспергирующая призма и происходит перемещение спектра таким образом, что можно установить в поле зрения окуляра любую спектральную линию и совместить ее с индексом.

Перед использованием монохроматора необходимо провести его градуировку, чтобы выразить показания шкалы барабана α в длинах волн λ .

Для градуировки шкалы в данной работе используется спектральная лампа с ртутью. Расположение характерных линий в спектре ртути показано на рис. 7, а их длины волн, цвет и интенсивность приведены в табл. 2.

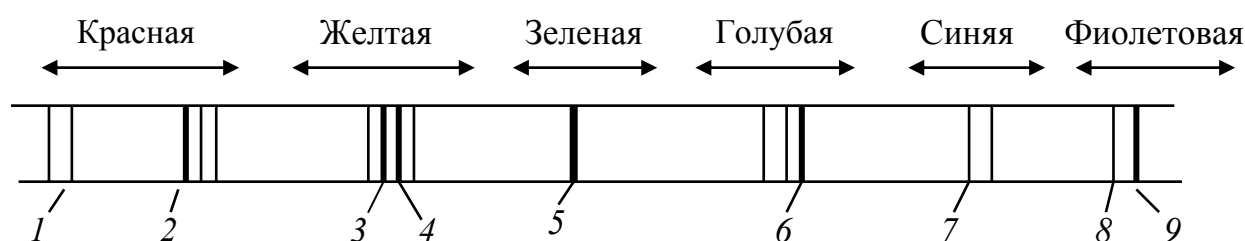


Рис. 7. Спектр ртути

Таблица 2

Номер линии	Цвет линии	λ , нм	I	$\alpha_{\text{пр}}$, град	$\alpha_{\text{обр}}$, град	α , град
1	красный	690,75	25			
2	красный	623,44	24			
3	желтый	578,97	100			
4	желтый	576,96	100			
5	зеленый	546,07	320			
6	голубой	491,61	100			
7	синий	435,83	400			
8	фиолетовый	407,78	100			
9	фиолетовый	404,66	180			

Порядок выполнения работы

1. Спектральную лампу с ртутью установить на оптическую скамью на расстоянии около 0,5 м от входного окна щели монохроматора. На блоке питания ртутной лампы (рис. 8) включить тумблеры «Сеть», «Лампа ДРШ» и нажать кнопку «Пуск». При этом будет подано питание на монохроматор и начнется разряд в ртутной лампе. Наибольшей яркости свечение паров ртути в лампе достигает через 1...3 минуты.



Рис. 8. Блок питания спектральной лампы с ртутью

2. На оптическую скамью между входным окном щели монохроматора и спектральной лампой установить линзу. На входное окно щели надеть колпачок и, передвигая линзу вдоль скамьи, получить резкое изображение разряда лампы в центре колпачка.

3. Снять колпачок со щели, включить на монохроматоре тумблеры подсветки (рис. 6).

4. Вращая барабан, перевести указатель барабана на первую треть шкалы. Наблюдая в окуляр, вращать кольцо окуляра до получения резкого изображения индекса (в дальнейшем кольцо больше не вращать!).

Затем, вращая винт коллиматора и регулируя микрометрическим винтом ширину щели, получить резкое изображение спектральных линий.

5. Прокручивая барабан, посмотреть спектр ртути и найти характерные линии спектра, выделенные на рис. 7 и в табл. 2.

Внимание! При наблюдении линий спектра рекомендуется уменьшать ширину щели для ярких линий и увеличивать для слабых, а также проводить дополнительно наводку на резкость линий, лежащих в разных частях спектра.

6. Измерить угол на шкале барабана для всех линий, указанных в табл. 2. Измерение углов $\alpha_{\text{пр}}$ провести сначала в прямом направлении, начиная вращать барабан от красной линии, а затем в обратном направлении $\alpha_{\text{обр}}$, вращая барабан от фиолетовой линии. Поскольку барабан имеет люфт, вращать его следует строго в одном направлении. Начинать измерения в прямом и обратном направлениях следует смещаясь за крайние линии (красная и фиолетовая соответственно) не менее, чем на 20 градусов. Измеренные значения записать в табл. 2.

7. В таблице 3 в каждой цветовой области преподаватель задает по два значения угла α_1 и α_2 .

Таблица 3

Номер измерения	Цвет линии	α_1 , град	α_2 , град	λ_1 , нм	λ_2 , нм	R
1	красный					
2	желтый					
3	зеленый					
4	голубой					
5	синий					
6	фиолетовый					

Внимание! Табл. 2 и 3 с результатами измерений подписать у преподавателя, ведущего занятие в лаборатории.

8. Выключить два тумблера на монохроматоре, закрыть колпачком входное отверстие щели. На блоке питания ртутной лампы (рис. 8) выключить тумблеры «Лампа ДРШ», «Сеть».

Обработка результатов измерений

1. По данным табл. 2 вычислить среднее значение угла барабана

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{обр}}}{2}.$$

2. На миллиметровой бумаге размером не менее 200 x 300 мм² построить график зависимости длины волны от угла поворота барабана

$$\lambda = f(\alpha).$$

Градуировочный график должен иметь вид плавной кривой без перегибов. Все 9 точек должны лежать на этой кривой.

3. По заданным углам α_1 и α_2 в табл. 3 с помощью градуировочной кривой монохроматора $\lambda = f(\alpha)$ найти значения длин волн λ_1 , λ_2 для шести цветных областей спектра заданного вещества и занести их в табл. 3.

4. Рассчитать оценочное значение разрешающей способности монохроматора для различных цветных областей спектра по формуле

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)}.$$

Результаты занести в табл. 3.

Результатом работы являются:

1. График $\lambda = f(\alpha)$ градуировки монохроматора на миллиметровой бумаге.

2. Оценочное значение разрешающей способности монохроматора для различных цветных областей спектра

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. График зависимости $\lambda = f(\alpha)$.

2. Заполненные табл. 2 и 3, подписанные преподавателем, проводившим занятие в лаборатории.

3. Пример расчета оценочного значения разрешающей способности монохроматора для одной из цветных областей спектра.

4. Результат работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется на двойном листе (или, при необходимости, нескольких листах) из тетради в клетку.

Рекомендуемое расположение материалов в отчете смотрите в прил. 1.

Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия света? Что такое дисперсия вещества?

Литература: [1, 8.10]; [2, § 185, 186]; [3, § 142].

2. Что называется фазовой скоростью электромагнитной волны и от чего она зависит?

Литература: [1, 8.7]; [2, § 185, 186]; [3, § 143].

3. Что такое нормальная и аномальная дисперсия вещества?

Литература: [1, 8.10]; [2, § 185, 186]; [3, § 142 – 144].

4. Как объясняется явление дисперсии света электронной теорией?

Литература: [2, § 186, 187].

4. Как определяется разрешающая способность монохроматора? Критерий Рэлея для раздельного наблюдения двух линий.

Литература: [Метод. указ. к данной работе].

5. В чем заключается принцип действия и назначение основных узлов монохроматора?

Литература: [Метод. указ. к данной работе].

6. Что такое градуировка монохроматора и как она проводится?

Литература: [Метод. указ. к данной работе].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Платунов Е.С., Самолетов В.А., Буравой С.Е.** Физика. Т.3. Электродинамика: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006.– 406 с.

2. **Трофимова Т.И.** Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 542 с.

3. **Савельев И.В.** Курс общей физики. В 3 тт. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 13-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 500 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91065>