

ГРАДУИРОВКА МОНОХРОМАТОРА УМ-2.

Цель работы: Ознакомившись устройством монохроматора УМ-2, произвести его юстировку и градуировку.

Приборы: Монохроматор УМ-2 в комплекте с источниками света (ртутной и неоновой лампами).

1. Основные теоретические сведения

Для решения многих научных задач необходимо исследовать спектральный состав излучения, т.е. распределение излучаемой энергии по длинам волн (или частотам). Приборы для получения спектров излучения называются спектральными приборами.

1.1 Принципиальная схема спектрального прибора

Оптическая схема любого спектрального прибора содержит три главных блока: коллиматор, диспергирующая часть и выходное устройство.

Коллиматор К предназначен для получения параллельного пучка света. Простейший коллиматор состоит из собирающей линзы L_1 (коллиматорный объектив) и узкой щели S , установленной в фокальной плоскости линзы (рис.1).

Диспергирующий элемент Д прибора выполняет его основную функцию, т.е. разлагает излучение в спектр. Чаще всего для этой цели применяют призму или дифракционную решетку.

На рис. 1 показан ход лучей в призмном спектральном приборе. Выйдя из коллиматора лучи падают на призму D параллельным пучком. Преломляясь на обеих гранях призмы, лучи разных длин волн выходят из призмы по разным направлениям (отклоняются на разные углы от прежнего направления). На рис.1 показан ход лучей с длинами волн λ_1 и λ_2 .

Выходное устройство содержит собирающую линзу L_2 - выходной объектив. Т.к. все лучи одной длины волны должны выйти из призмы параллельным пучком, то пройдя объектив L_2 , они соберутся в одной точке ее фокальной плоскости **ФП**. Если в фокальной плоскости поместить экран, то вместо одного изображения щели S , мы получим непрерывную или дискретную последовательность изображений щели, образованных лучами различных длин волн ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$).

1.2. В зависимости от способа регистрации спектра спектральный прибор называют спектроскопом, спектрографом или спектрометром.

В **спектроскопе** полученный спектр наблюдается визуально. Для этого выходное устройство прибора комплектуется окуляром. Окуляр устанавливается так, чтобы наблюдатель мог видеть мнимое и увеличенное изо-

бражение спектра, полученного в фокальной плоскости выходного объектива. Для проведения измерений окуляр снабжается указателем.

В **спектрографах** спектр фотографируется. Для этого в фокальной плоскости выходного объектива L_2 устанавливается фотопластинка или фотопленка.

В **спектрометрах** применяется фотоэлектрический способ регистрации. Для этого в фокальной плоскости устанавливается дополнительная щель, а за ней фотоприемник, сигнал с которого записывается с помощью преобразователей светового потока в электрический ток.

1.3 Основные характеристики спектрального прибора

1.3.1 Рабочая область спектра (**дисперсионная область**) определяется тем диапазоном длин волн электромагнитного излучения, спектр которого может быть получен в этом приборе. Существуют спектральные приборы для работы в видимой области, инфракрасном диапазоне и т.п. Если в приборе используется стеклянная призма, то рабочая область прибора ограничивается видимым диапазоном (от $\lambda \approx 380$ нм до $\lambda \approx 800$ нм).

1.3.2. Угловая дисперсия D_φ , прибора характеризует его способность разделять в пространстве лучи с разными длинами волн. Если лучи с разными длинами волн λ_1 и $\lambda_2 = \lambda_1 + d\lambda$, пройдя диспергирующую часть при-

бора, разошлись на угол $d\varphi$ (см. рис.2), то $D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}$, где $d\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$

Угловая дисперсия призмы зависит от преломляющего угла призмы θ , геометрических размеров призмы, и дисперсии материала, из которой она сделана.

1.3.3. Излучения с длинами волн λ_1 и λ_2 создают изображения входной щели коллиматора S в фокальной плоскости линзы L_2 (рис.1). Расстояние между изображениями dl зависит от угла их расхождения $d\varphi$ и фокусного расстояния f выходного объектива L_2 .

Линейной дисперсией D_l прибора называют величину

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda} = f D_\varphi .$$

1.3.4. Разрешающая сила или разрешающая способность A характеризует возможность прибора давать отдельные изображения двух близко расположенных спектральных линий.

Разрешающую способность обычно определяют формулой $A = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$,

где $\delta\lambda$ - предел разрешения - минимальный интервал длин волн, разрешаемых данным спектральным прибором.

1.4 Освещение спектрометра

Прежде, чем приступать к измерениям, необходимо правильно осветить прибор. Для наблюдения слабых спектральных линий важно получить наибольшую освещенность в спектре.

Для этого нужно так установить источник света, чтобы использовать для получения спектра возможно более широкий пучок. Максимально возможная ширина пучка определяется углом, под которым объектив коллиматора виден из щели (угол φ на рис. 4).

Величина этого угла характеризует светосилу прибора. Обычно ее выражают в виде отношения диаметра объектива к его фокусному расстоянию.

Для полного использования светосилы прибора источник света должен быть установлен на таком расстоянии от щели, чтобы свет его полностью заполнял объектив коллиматора, т.е. чтобы раствор конуса лучей от источника был не меньше, чем угол φ . Ставить источник ближе к щели не следует, т.к. лучи, захватываемые объективом, могут отражаться от внутренних стенок спектрометра и давать блики, мешающие наблюдениям.

Очевидно, что это возможно, если источник света имеет достаточно большие размеры. Чаще на практике исследуются спектры малых источников. В этом случае между щелью и источником помещают линзу-конденсор L_4 (рис.4).

С помощью этой линзы изображение источника фокусируется на щель, чем достигается максимальная освещенность щели. Положение конденсора L_4 определяется условием, что объектив коллиматора и конденсор должны быть видимы из щели под одним и тем же углом φ .

Очевидно, что коллиматор может быть хорошо заполнен светом, только если источник и конденсор расположены строго на оптической оси коллиматора. Для этого нужно очень тщательно отъюстировать прибор, т.е. установить источник и конденсор на оптической оси коллиматора.

2. Монохроматор УМ-2

В данной работе используется универсальный монохроматор УМ-2, который может использоваться и как спектроскоп. Если прибор используется как монохроматор, т.е. для получения монохроматических пучков света, то в фокальной плоскости выходного объектива L_2 устанавливается щель. Если вывести на эту щель какую-нибудь часть спектра (например, синюю), то щель будет источником света, соответствующего спектрального состава (в нашем примере - источником синего света). В зависимости от дисперсии прибора и размера выходной щели можно получать пучки света очень узко-

го спектрального состава. Если УМ-2 используется как спектроскоп, то в выходной трубе щель заменяется окуляром, с помощью которого рассматривается спектр, полученный в фокальной плоскости линзы L_2 .

2.1 Оптическая схема монохроматора УМ-2

Оптическая схема монохроматора показана на рис. 5.

- 1 - источник света
- - конденсор
- - линза
- 4 - призма сравнения
- 5 - входная щель
- 6 - объектив коллиматора
- 7 - диспергирующая призма
- 8 - объектив зрительной трубы
- 9 - окуляр
- 10- указатель в фокальной плоскости зрительной трубы

Свет через входную щель 6 попадает на объектив коллиматора 7 и параллельным пучком проходит диспергирующую призму 8. Под углом 90^0 к падающему пучку света помещается выходная труба монохроматора.

В УМ-2 в качестве диспергирующего элемента используется призма постоянного отклонения Аббе (рис.6). Призма как бы составлена из двух 30-градусных призм и одной 45- градусной призмы полного отражения, служащей для поворота луча на прямой угол. Две 30-градусные призмы свет проходит в минимуме отклонения, поэтому углы α_1 и α_2 равны по величине, но противоположны по знаку. Следовательно, общее отклонение луча любой длины волн на призме Аббе равно 90^0 . Т.к. призма получается довольно «толстой», увеличивается поглощение света. Поэтому для призм Аббе используют наиболее прозрачное стекло, однако применять их можно только в видимой области спектра.

2.2 Конструкция прибора

Основные части монохроматора – коллиматор, призмный столик с поворотным механизмом и выходная труба.

Коллиматор. Коллиматор крепится в обойме на плате, которая соединена болтами с основанием прибора. Ножи входной щели коллиматора установлены в фокальной плоскости объектива коллиматора. Ввиду того, что фокусное расстояние объектива для разных длин волн различно, предусмотрена возможность фокусировки объектива. С помощью маховичка 17 (см.рис.) объектив можно смещать вдоль оптической оси коллиматора. Найденное положение объектива коллиматора можно воспроизвести, если определить его положение на линейке с нониусом, расположенной в окне

на стенке обоймы. В трубе коллиматора, между щелью и объективом, помещен затвор, с помощью которого можно прекратить доступ света в прибор.

Призмный столик с поворотным механизмом В монохроматоре УМ-2 выходная труба и коллиматор установлены под прямым углом друг к другу на жесткой литой основе. Для того, чтобы на выходную щель вывести свет нужной нам длины (определенного цвета), в монохроматоре предусмотрен поворот призмы. Для этого ее жестко крепят на столике, снабженном поворотным устройством. Поворот призмы производится с помощью барабана с нанесенными на него делениями. Отсчет делений читается против индекса, скользящего по спиральной канавке. Перед работой каждый прибор **градуируют**, т.е. каждому делению барабана ставят в соответствие ту длину волны, которая выводится на выходную щель при этом делении. Для градуирования используются источники света с известными линиями излучения.

Выходная труба включает в себя выходной объектив L_2 и выходную щель S_2 (рис.1). Т.к. в данной работе УМ-2 используется как спектроскоп, то выходная щель снимается и вместо нее устанавливается окуляр в жестком корпусе.

Окуляр состоит из жесткого корпуса Б (рис.7) на одном конце которого находится окуляр L_3 в подвижном корпусе А, а на другом – указатель УК в виде остря. При правильной установке окуляра, указатель совмещается с фокальной плоскостью выходного объектива L_2 . Для удобства работы указатель можно подсвечивать сверху через сменные светофильтры, подбирая цвет освещения к цвету наблюдаемой линии.

Настройка окуляра производится так:

- вставьте окуляр в гнездо выходной трубы монохроматора;
- осветите щель прибора;
- вращая маховичок, на оправе окулярной линзы добейтесь четкого изображения указателя;
- если при резком изображении указателя спектральные линии размыты, то добейтесь их резкости перемещая объектив коллиматора

2.3. Установка конденсора и источника на оптической оси коллиматора

Для правильного освещения спектрального прибора источник света должен находиться на оптической оси коллиматора, а оптическая ось конденсора должна совпадать с осью коллиматора.

2.3.1. Перед началом работы необходимо проверить, что оптическая скамья (рельс) установлена параллельно оси коллиматора. Для этого источник света (малого размера) устанавливают перед щелью коллиматора так, чтобы его изображение находилось в центре объектива прибора. Изображение на-

блюдают, сняв окуляр и поместив глаз перед выходной трубкой 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 (ослабив винт, крепящий рельс или изменив высоту незакрепленного конца) и проделать всю операцию сначала, добиваясь параллельности оптической скамьи.

Конденсор и лампа, служащая источником света, укреплены на рейтерах, свободно перемещающихся вдоль оптической оси скамьи. Конструкция рейтеров позволяет смещать установленные на них детали, как по высоте, так и в горизонтальном направлении – поперек скамьи.

2.3.2. В данной работе применяется один конденсор (однолинзовая система). Установите источник на расстоянии $l \geq 4f$, где f – фокусное расстояние конденсора. Щель прибора закрывают круглой крышкой с белой поверхностью и крестом, центр которого совпадает с центром щели. Устанавливают конденсор так, чтобы он давал уменьшенное изображение источника на середине щели. Не трогая источник, передвиньте конденсор ближе к щели так, чтобы на крышке щели получилось увеличенное резкое изображение источника. Если это изображение осталось в центре крышки, то оптическая система отъюстирована. Если центр увеличенного изображения не совпадает с центром щели, то перемещая источник, добиваются их совпадения. Затем перемещая конденсор по рельсу, вновь получают уменьшенное изображение источника и совмещают центр изображения с центром щели перемещая конденсор (поперек рельса). Вновь получают увеличенное изображение и корректируют положение источника. Повторяя эту операцию несколько раз можно добиться полного совпадения центров конденсора и источника с оптической осью коллиматора. После этого следует снять крышку со щели и установить конденсор так, чтобы получить на щели резкое увеличенное изображение источника. Вновь располагая глаз вблизи фокальной плоскости выходного объектива, посмотрите на объектив коллиматора. Если оптическая ось коллиматора достаточно точно совпадает с осью конденсора, то световое пятно на объективе коллиматора симметрично его оправе. Если светом заполнена только часть отверстия, то это свидетельствует о неправильной установке оси конденсора относительно оси коллиматора. Это исправляется небольшим перемещением рельса.

При этом коллиматор может оказаться заполненным светом, даже при неправильно установленном конденсоре.

После проверки заполнения устанавливают рабочую ширину щели. Для этого осторожно закрывают щель, пока доступ света через нее не прекратится (в этот момент объектив коллиматора станет совсем темным). Для облегчения наблюдений желательно:

–адаптировать глаз к темноте;

–защитить глаз от постороннего света (накрывшись темной материей).

Убедившись, что щель закрыта, не прекращая наблюдения за камерным объективом, начинают вращением микрометрического винта осторожно открывать щель, пока не появится едва заметный свет в приборе. Заметьте показания на головке винта (действительный «нуль» винта). Далее устанавливают такую ширину щели, чтобы линии были максимально узкими, но достаточно яркими для наблюдения (так называемая «нормальная» ширина 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.

2.4 Градуировка прибора.

В качестве источников света с чувствительными линиями спектра используют обычно спектры ртути, неона, водорода и др.

Порядок выполнения градуировки следующий:

- установите ртутную лампу на рельсе и отъюстируйте установку;
- установите ширину входной щели прибора;
- отфокусируйте окуляр;
- выкрутите барабан призмы так, чтобы указатель барабана был в крайнем правом положении. В окуляре Вы должны видеть темное поле, левее которого будет видна фиолетовая часть спектра ртути;
- медленно вращая барабан, смещайте спектр вправо до тех пор, пока не совместите указатель окуляра с первой заметной линией спектра (то будет фиолетовая линия). Проверьте фокусировку окуляра и добейтесь резкого изображения линии, перемещая объектив коллиматора. Еще раз проверьте совмещение линии с указателем;
- запишите в тетради длину линии спектра и значения деления на барабане;
- так же медленно вращайте барабан в прежнем направлении до совмещения указателя со следующей известной линией. Так же уточните положение линии и запишите в тетрадь значения λ и N .

PS! Следите за тем, чтобы движение барабана происходило только в одну сторону.

- пройдя всю шкалу барабана до конца, сделайте указанные действия в обратном порядке.
- повторите все действия еще раз.
- усредните все значения делений барабана для каждой линии.
- составьте график $N(\lambda)$

Спектр ртути беден известными линиями в красной области спектра. Эту часть обычно градуируют с помощью неоновой лампы.

2.5 Последовательность действий при градуировке монохроматора

1. Получите допуск у преподавателя к работе.
2. Проверьте параллельность рельса оптической оси коллектора (см.2.3.1.).
3. Установите ртутную лампу и конденсор на оптической оси коллиматора (см.2.3.2.).
4. Проверьте заполнение коллиматора (см. 2.3.3.).Покажите результаты юстировки преподавателю.
5. Установите и сфокусируйте окуляр
6. Определите и запишите нулевое положение микрометрического винта щели. Установите и запишите нормальную ширину щели (цена деления барабана микрометрического винта 0,01 мм). Результат покажите преподавателю.
7. Отградуируйте спектрометр, применяя ртутную и неоновую лампы.
8. Градуировочный график покажите преподавателю

Для выполнения работы получить у лаборанта описание прибора и таблицы линий газов и ртути.

Вопросы

1. Какие части входят в устройство спектрального прибора, их назначение и принцип действия.
2. Назовите основные характеристики спектрального прибора.
3. Какие задачи и как решаются при освещении спектрального прибора?
4. В чем заключается юстировка прибора?
5. Объясните принцип действия призмы Аббе.
6. Для чего производится градуировка прибора?
7. В монохроматоре УМ-2 диаметр объектива коллектора $d = 4,6$ см, его фокусное расстояние $f = 28$ см. Рассчитайте положение конденсора и источника и сравните результаты расчета с найденными Вами их положением.

Литература

1. Ландсберг Г.С. . Оптика, М., 1977 г.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М., 1980г.
3. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика.

Пример № 12 Найти освещенность E на поверхности Земли, вызываемую нормально падающими солнечными лучами. Яркость Солнца $B = 1,2 \cdot 10^9$ кд/м².

Решение:

Примем Солнце за точечный источник света, тогда освещенность поверхности Земли при нормальном падении лучей определяется зависимостью $\frac{I}{r^2} = B$, где I - сила света Солнца,

$r = 1,5 \cdot 10^{11}$ м - расстояние от Солнца до Земли;

По определению яркость Солнца равна отношению силы света dI , излучающей элементом поверхности Солнца к площади этого элемента dS :

$$B = \frac{dI}{dS \cos \theta}, \quad \text{где } \theta - \text{угол между нормалью к элементу поверхности и направлением наблюдения,}$$

$dS \cos \theta = S_{\perp}$ - проекция светящейся площадки dS на плоскость, перпендикулярную лучу зрения. Так как Солнце – шар, то S_{\perp} равно площади круга с радиусом, равным радиусу Солнца R_c ;

$$R_c = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$S_{\perp} = \pi R_c^2$$

$$I = B S_{\perp} = B \pi R_c^2$$

$$E = \frac{\pi B R_c^2}{r^2};$$

$$E = \frac{3,14 \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 6,96 \cdot 6,96 \cdot 10^{16} \text{ кд} \cdot \text{м}^2}{1,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{22} \text{ м}^2 \cdot \text{м}^2} = 8 \cdot 10^4 (\text{лк})$$

Ответ: $8 \cdot 10^4$ лк

СПИСОК

Научных и методических работ Куликовой Эльзаты Павловны

Наименование работы	Характер работы	Выходные данные
---------------------	-----------------	-----------------

1	2	3
1. Научные и научно-методические работы, опубликованные до защи		
1. Рассеяние света в системе вода-этилцеллозольев	печ.	Вестник ЛГУ, №10,1977 с.144
2. Расслоение в системах ацетонитрил-вода и ацетонитрил-тяжелая вода.	печ.	Вестник ЛГУ, №4,1978,с.140
3. Расслоение и рассеяние света в системах ацетонитрил-вода и ацетонитрил-тяжелая вода	печ.	Сб.»Молекул.физика и биофиз. водных систем», ЛГУ, вып.№ 1979, с.65-71
4. Расслоение в водных растворах смесей спиртов	печ.	Вестник ЛГУ, №22,1979,с.108
5. Рассеяние света растворами третичного бутанола в воде, вызванное малой добавкой трудно-растворимой примеси.	печ.	Оптика и спектроскопия т.4 вып.6,1980,с.1182-1184.
2. Научные и научно-методические работы, опубликованные после защи		
6. Термодинамика и рассеяние света в системе тетрагидрофуран-вода	печ.	Сб.»Вода в биологических системах и их компонентах»,ЛГУ,вып.5,1983
7. Влияние малой добавки труднорастворимой примеси на рассеяние света водными растворами неэлектролитов	печ.	Вестник ЛГУ, №6, 1983
8. Аномальное рассеяние света растворами тетрагидрофурана и диоксана в тяжелой воде.	печ.	Сб.»Вода в биологич.системах и их компонентах», ЛГУ, вып.6,1983
9. Роль приконтактного электрического поля в формировании экситонной структуры в спектрах фотоответа диодов.	печ.	Деп. в ВИНТИ №3506-B8 от 19.05.87
10. Оптика. Фотометрия. Рефрактометрия. Методические указания к работам физического практикума	печ. ротапринт	Элиста, Калм.ГУ, 1990

11. Интерференция и дифракция света. Методические указания к работам физического практикума.	печ. ротапринт	Элиста, 1990
12. Геометрическая оптика. Методические указания к работам физического практикума.	печ. ротапринт	Элиста, 1992
13. Формирование навыков самостоятельной работы студентов в вузе	печ. ротапринт	Волгоград, 1992
14. Законы теплового излучения. Методические указания к физическому практикуму	печ. ротапринт	Элиста 1992
15. Поляризация света. Методические указания к работам физического практикума.	печ. ротапринт	Элиста, 1993
16. Геометрическая оптика. Решение задач. Методические указания и задания для самостоятельной работы.	печ. ротапринт	Элиста 1999
17. Фотометрия. Методические указания к решению задач.	печ. ротапринт	сдано в печать

Соискатель
Куликова Э.П.

Список верен:
Зав.каф. экспериментальной физики
Батырев А.С.

Секретарь Ученого Совета
Имеев В.О.

**Рецензия
на работу Куликовой Э.П.
«Фотометрия. Методические указания к решению задач»**

Данная работа предназначена для использования студентами физического отделения ФМиФ и других факультетов при изучении курса оптики (общая физика). Необходимость издания обусловлена разнообразием задач фотометрии (в том числе практических) и нехваткой учебного времени. В библиотеке КГУ отсутствуют пособия по решению фотометрических задач соответствующего уровня.

Работа «Фотометрия. Методические указания к решению задач» содержит перечень необходимых понятий и законов, примеры их применения и задания для самостоятельной работы студентов. Содержание заданий и уровень их решения вполне соответствуют программным требованиям специальности «Физика».

Работа доц. Куликовой Э.П. «Фотометрия. Методические указания к решению задач» может быть рекомендована для издания в КГУ.

Доцент каф.ТЭФ

/С.Д.Павлов /

Выписка
из протокола заседания учебно-методической
комиссии факультета математики и физики
Калмыцкого университета
от 27.01.2001.

СЛУШАЛИ: О рекомендации к изданию в КГУ работы доц. Куликовой Э.П.

«Фотометрия. Методические указания к решению задач»,
предназначенной для организации самостоятельной работы
студентов физического отделения при изучении курса опти-
ки
в общей физике.

ПОСТАНОВИЛИ: Рекомендовать работу «Фотометрия. Методические
ука-
зания к решению задач» Куликовой Э.П. к изданию в КГУ.

Председатель УМК ФМиФ

**Выписка из протокола № 11 заседания кафедры
экспериментальной физики Калм. ГУ
от 12.01.2001.**

ПРИСУТСТВОВАЛИ : зав.каф.ЭФ Батырев А.С., доц.Куликова Э.П.,
ст преп Попова О.Н. асс.Сумьянова Е.В., ст.преп. Бисенгалиев Р.А.,
зав.лаб. Емельянцева С.Ю., лаб.каф.Лиджиева Н.Ч..

СЛУШАЛИ: О рекомендации к изданию в КГУ работы доц. Куликовой Э.П. «Фотометрия. Методические указания к решению задач».

ПОСТАНОВИЛИ: Рекомендовать работу доц. Куликовой Э.П. «Фотометрия. Методические указания к решению задач» к изданию в КГУ.

секретарь кафедры

/Н.Ч.Лиджиева/

Составитель: доцент Э.П. Куликова

ФОТОМЕТРИЯ: Методические указания по решению задач и задания для самостоятельной работы. Для студентов факультета «Математика и Физика» Калм.университет: Сост. Э.П.Куликова, Элиста.2001.,20-с

Методические указания предназначены для пользования студентами на практических занятиях по общей физике и при самостоятельной подготовке и содержат перечень необходимых знаний, примеры решения задач и задачи для самостоятельной работы.

Утверждено методической комиссией факультета Математики и Физики.

Рецензент:

доц.Калм ГУ С.Д.Павлов

Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации
Калмыцкий государственный университет

ФОТОМЕТРИЯ

Методические указания по решению задач и задания для самостоятельной работы.

Для студентов факультета
«Математика и Физика»

Элиста