

**Специализированный учебно-научный центр -
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова
Кафедра физики**

Общий физический практикум

Лабораторная работа № 4.3

**Градуировка спектроскопа
и
определение длин волн
спектральных линий**

Составитель Т.П. Корнеева

2008 г.

Градуировка спектроскопа и определение длин волн спектральных линий

Цель работы:

1. Знакомство с устройством спектроскопа.
2. Наблюдение спектров излучения разреженных газов.
3. Градуировка спектроскопа по известному спектру.
4. Определение длин волн неизвестных спектральных линий.

Приборы и оборудование:

- 1) спектроскоп двухтрубный с микрометрическим винтом;
- 2) трубки спектральные;
- 3) прибор для зажигания спектральных трубок «Спектр-1».

Краткие сведения о спектральном анализе.

Открытие Ньютоном явления дисперсии света положило начало новому направлению исследований в физике – исследованию спектров различного вида излучений, или *спектральному анализу*. Основоположниками этого направления являются немецкие ученые Кирхгоф и Бунзен. Усовершенствовав установку Ньютона, они создали спектрометр, с помощью которого можно было исследовать спектры разных металлов, соли которых они вводили в бесцветное пламя.

Современные спектрометры позволяют проводить исследования не только в видимой, но и в инфракрасной и ультрафиолетовой частях спектра. Применение дифракционных решеток для получения спектров резко повысило их разрешающую способность $\lambda/\Delta\lambda$, которая достигает величины 10^5 и позволяет различать спектральные линии, если их длины волн отличаются на $\Delta\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$ нм.

Линейчатые спектры испускания.

Изучая с помощью спектрометра спектры пламени горелки, окрашенные парами металлов – натрия, калия, лития, стронция, ученые обнаружили, что они состоят из отдельных цветных линий, расположенных на черном фоне. Такие спектры называют *линейчатыми*, их дают достаточно разреженные одноатомные газы, которые либо находятся в раскаленном состоянии, либо подвергаются действию электрического разряда. Ученые установили, что каждый химический элемент излучает только ему свойственный спектр. Были исследованы и занесены в особый атлас спектры всех известных химических элементов.

Анализируя спектры сложных смесей и сплавов, можно установить, из каких элементов состоит вещество. Этот процесс называют *качественным спектральным анализом*. Он позволяет быстро обнаружить в веществе малые доли примесей, которые не улавливаются или с трудом улавливаются химическими методами.

Чем больше в смеси того или иного элемента, тем ярче спектральные линии этого элемента. Сопоставляя яркости линий отдельных элементов, определяют процентное содержание их в веществе. Этот процесс называется *количественным спектральным анализом*. Такой анализ требует разработки специальных методик, т.к. спектральные линии даже одного элемента имеют различную яркость.

Количественный спектральный анализ широко применяется в медицине, биологии, криминалистике. Исключительно велика роль спектрального анализа в промышленности. Специально разработанные методики экспресс-анализа в сталелитейном производстве дают возможность за несколько минут определить состав примесей с точностью до долей процента.

Непрерывные (сплошные) спектры нагретых тел. Спектральная плотность потока излучения.

Излучение твердых и жидких тел, нагретых до высокой температуры, образует сплошной спектр, цвет различных частей которого меняется непрерывно от красного до фиолетового со множеством оттенков. Следуя Ньютону, в сплошном спектре условно выделяют семь участков – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

Для дальнейшего рассмотрения необходимо вспомнить физические величины, характеризующие энергию, переносимую излучением.

Если за время Δt энергия, переносимая излучением через некоторую поверхность, равна ΔW , то величину $\Phi = \Delta W/\Delta t$ называют потоком излучения через данную поверхность. Рассмотрим теперь небольшую плоскую площадку, перпендикулярную направлению распространения волны в данном месте пространства. Если площадь площадки равна ΔS , а поток излучения через нее равен $\Delta\Phi$, то величину $I = \Delta\Phi/\Delta S$ называют плотностью потока излучения или интенсивностью излучения. (Размерность интенсивности Вт/м²).

Интенсивность (или плотность потока) электромагнитного излучения в различных частях спектра неодинакова. Физической величиной, характеризующей распределение энергии излучения в сплошном спектре, служит спектральная плотность потока излучения. Получить эту величину можно экспериментально. Для этого надо с помощью небольшого чувствительного элемента, помещаемого в различные участки спектра, измерить интенсивность излучения ΔI , приходящуюся на небольшой интервал длин волн $\Delta\lambda$. Величина, равная отношению $(\Delta I/\Delta\lambda)$, называется спектральной плотностью потока излучения ϵ_λ . Зависимость спектральной плотности потока излучения от длины волны $\epsilon_\lambda(\lambda)$ является важнейшей характеристикой излучения, по которой можно судить о состоянии излучающего тела.

Спектры поглощения.

Если излучение сильно нагретого твердого тела пропустить через холодные пары какого-либо вещества, то в спектроскопе мы увидим сплошной спектр, «прорезанный» черными линиями. Такой спектр называют спектром поглощения. Появление темных линий объясняется поглощением света определенных длин волн атомами холодных паров. Исследования спектров поглощения показали, что охлажденные пары любого вещества поглощают свет только таких длин волн, который излучают, будучи в нагретом состоянии.

Так как спектры поглощения возникают при более низких температурах, чем спектры излучения, то их можно получить от сложных веществ, которые разлагаются при высокой температуре. Исследование спектров поглощения привело к открытию неизвестных ранее элементов, таких как празеодим, неодим, самарий, рубидий и др. Самым известным элементом, обнаруженным благодаря спектру поглощения, является гелий.

Спектры в астрономии.

Всю информацию о звездах мы получаем только на основе исследования приходящего от них излучения. Просто глядя на звезды, можно заметить, что они имеют разный цвет – красный, желтый или голубовато-белый. Цвет звезды определяется температурой ее поверхности, которая для различных типов звезд заключена в пределах от 2500 К до 50000 К. Изучение распределения энергии по длинам волн в сплошном спектре излучения различных звезд позволяет определить температуру их поверхности. Длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности излучения в сплошном спектре, тем меньше, чем выше температура поверхности звезды.

Долгое время считалось, что солнечный спектр, как и спектр излучения звезд, является сплошным. Однако в начале XIX века немецкий ученый Фраунгофер при помощи

усовершенствованного им спектроскопа обнаружил в солнечном спектре более тысячи тонких темных линий. Наиболее четко выраженные линии были названы латинскими буквами А, В, С, D и т.д., а сами линии получили название *фраунгоферовых линий*.

Происхождение фраунгоферовых линий объясняется следующим образом. Солнце – газовый шар, средняя плотность вещества которого примерно в полтора раза больше плотности воды ($1,4 \text{ г/см}^3$), а температура поверхности около 6000°C . Поверхность Солнца, которую называют *фотосферой*, излучает свет, дающий сплошной спектр. Однако у Солнца существует и атмосфера – газовая оболочка, состоящая из тех же элементов, что и Солнце, но гораздо более разреженная и имеющая более низкую температуру. Излучение фотосферы, проходя через атмосферу Солнца, поглощается атомами газов, в результате чего и наблюдаются многочисленные линии поглощения. Изучение спектра поглощения показало, что в составе Солнца присутствуют известные на Земле элементы, в том числе и так называемые «тяжелые элементы» – такие как железо, медь и др.

Однако в спектре поглощения Солнца был обнаружен и неизвестный ранее элемент. Ему дали название гелий, что значит «солнечный» (от греческого слова «гелиос»). Впоследствии выяснилось, что водород и гелий – основные элементы в составе Солнца и звезд.

Изучение линий поглощения в спектрах звезд позволяет получить информацию о движении звезд и определить скорость этого движения на основе *эффекта Доплера*. Если источник излучения (звезда или другой объект) удаляется от наблюдателя, то спектральные линии всех известных элементов в спектре этого источника смещаются к красному краю спектра, если источник приближается – то к фиолетовому краю. Величина смещения зависит от скорости движения источника.

Наличие эффекта Доплера позволяет определить массу звезды, если она входит систему *двойной звезды*. Так называют две близкие друг к другу звезды, обращающиеся вокруг общего

центра масс. В последние годы тщательные спектральные наблюдения более 100 близких звезд типа Солнца позволили обнаружить в их спектрах небольшие смещения линий, возможно вызванные обращением вокруг них тел планетного типа, масса которых порядка массы Юпитера или даже меньше.

Важной характеристикой излучения звезд, помимо спектра, является *светимость звезды* – полная мощность излучения во всем спектральном диапазоне. Сопоставление спектра излучения звезды с ее светимостью позволило провести классификацию звезд и создать теорию их строения и эволюции.

Экспериментальная часть.

Данная лабораторная работа выполняется с помощью спектроскопа, представленного на рисунке 1.

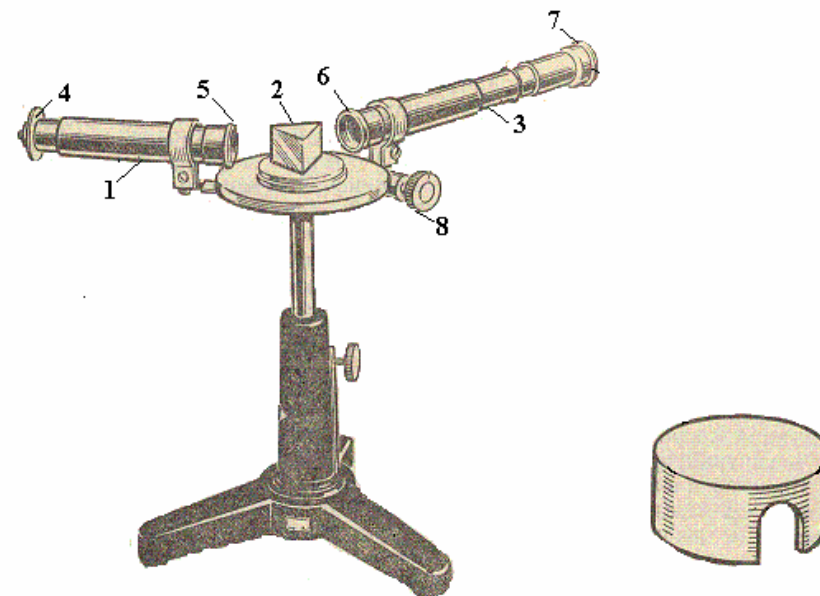


Рис. 1. Спектроскоп двухтрубный.

Спектроскоп состоит из двух труб – коллиматора (1) и зрительной трубы (3), между которыми расположена призма (2). Один конец коллиматора закрыт ширмой, в которой имеется узкая щель (4), на другом его конце находится собирающая линза – объектив (5). Зрительная труба снабжена двумя собирающими линзами – объективом (6) и окуляром (7). Микрометрический винт (8) позволяет поворачивать трубу (3) относительно призмы.

Ход лучей в спектроскопе представлен на рисунке 2.

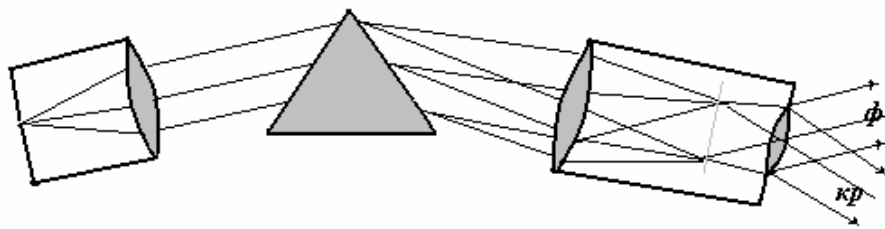


Рис. 2 Ход лучей в спектроскопе.

Источник света (спектральную трубку) помещают вблизи щели коллиматора. Тогда от каждой точки щели на объектив коллиматора падает расходящийся пучок лучей (на рисунке показан такой пучок от одной точки щели). Щель находится в фокальной плоскости объектива, поэтому свет от каждой точки щели выходит из объектива параллельным пучком, который падает на боковую грань призмы.

Призма отклоняет падающие на нее лучи к основанию так, что параллельный пучок после прохождения призмы остается параллельным. Однако, вследствие явления дисперсии, отклонение пучка будет разным в зависимости от длины волны света. Показатель преломления вещества призмы больше для фиолетовых лучей, поэтому фиолетовые лучи отклоняются сильнее, чем красные. Таким образом, параллельный пучок, падающий на призму от одной точки щели, превращается в набор параллельных пучков, идущих под разными углами друг к другу.

Все лучи, выходящие из призмы, попадают в объектив зрительной трубы. Линза собирает каждый из параллельных пучков так, что в ее фокальной плоскости получаются изображения щели, даваемые лучами разного цвета – от красного до фиолетового.

Если в фокальной плоскости объектива поставить фотопластинку, то полученное на ней изображение можно впоследствии рассматривать и анализировать. В этом случае спектральный прибор носит название *спектрометр*.

В случае *спектроскопа* изображения щели рассматривают через окуляр, как через лупу, что позволяет получить существенное увеличение угла зрения.

Если свет, испускаемый источником, представляет собой совокупность монохроматических волн (т.е. длины волн, присутствующих в излучении, образуют дискретный набор), тогда в окуляре зрительной трубы мы увидим ряд ярких линий разного цвета, разделенных темными промежутками. Эти линии называют *спектральными линиями*.

Для удобства работы со спектроскопом в середине фокальной плоскости объектива зрительной трубы натянута тонкая черная нить, которую мы видим на фоне получающегося спектра. Поворачивая зрительную трубу относительно призмы, можно добиться поочередного совмещения изображения нити с различными участками спектра. Определенному положению трубы соответствует попадание в середину фокальной плоскости определенного участка спектра.

Можно установить соответствие между положением зрительной трубы относительно призмы и длиной волны спектральной линии, совмещаемой с изображением нити. Это соответствие принято представлять в виде линии на графике, где по одной оси отложены длины волн, а по другой – соответствующие им положения зрительной трубы, которые определяются по показаниям микрометрического винта. Эта линия называется *градуировочной кривой* спектроскопа. Поскольку зависимость показателя преломления от длины волны

является нелинейной, а показания микрометрического винта у разных приборов не совпадают, то для каждого прибора необходимо получить свою градуировочную кривую.

Градуировку производят, наблюдая известный спектр какого-либо светящегося газа. Длины волн соответствующих спектральных линий приводятся в справочных таблицах.

Наблюдая линейчатый спектр неизвестного газа, можно определить длины волн спектральных линий, используя полученную градуировочную кривую, а затем по справочнику узнать, какому элементу принадлежат эти линии.

Порядок выполнения работы.

Задание 1. Получение градуировочной кривой спектроскопа.

1. Ознакомьтесь с устройством спектроскопа.
2. Прибор «Спектр-1» с находящейся внутри него газоразрядной трубкой подключите к источнику питания с напряжением 6 В и включите источник в сеть.
3. Расположите щель коллиматора вплотную к газоразрядной трубке. Настройте окуляр на резкость и, вращая микрометрический винт, постарайтесь постепенно увидеть все области спектра.
4. С помощью винта переместите зрительную трубу вправо так, чтобы в поле зрения появилась крайняя красная линия. Совместите изображение нити с этой линией и запишите показание микрометра в таблицу.

Микрометрический винт имеет шаг 1 мм, а барабан имеет 50 делений с ценой деления 0,02 мм.

5. Вращая микрометрический винт, передвигайте зрительную трубу до совмещения нити с каждой из спектральных линий и записывайте показания микрометра.
6. Дойдя до последней линии в фиолетовом конце спектра, проведите еще раз все измерения в обратном порядке.
7. Занесите в таблицу значения длин волн спектральных линий по справочным данным.
8. Выбрав подходящий масштаб, нанесите на график все экспериментальные точки, откладывая по оси ординат длины волн, а по оси абсцисс показания микрометра. По полученным точкам проведите плавную кривую.

Таблица для записи экспериментальных данных

Цвет линии	Показания микрометра, мм	Длина волны по справочным данным

Задание 2. Измерение длин волн, соответствующих спектральным линиям разреженных газов.

1. Замените газоразрядную трубку и настройте спектроскоп для наблюдения нового спектра.
2. Подготовьте новую таблицу и занесите в нее показания микрометрического винта, соответствующие цветам спектральных линий.
3. По полученной Вами градуировочной кривой определите длины волн наблюдаемых линий. С помощью таблиц, данных в приложении к работе, найдите химический элемент, которому принадлежат эти линии.
4. Рассчитайте погрешность полученных значений длин волн.

Сделайте выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе, в какой последовательности, и какие приборы будут Вами использованы для выполнения каждого из этих заданий?
3. Какие физические величины Вы будете измерять непосредственно в данной работе?
4. В какой форме Вы будете представлять результаты Вашей работы?

Контрольные вопросы для подготовки к защите работы

1. Что такое спектр излучения? Какие виды спектров излучения Вы знаете?
2. Что такое спектр поглощения? Как можно получить спектр поглощения?
3. Что такое спектральный анализ? Где применяют спектральный анализ?
4. Что представляют собой приборы для изучения спектров? В чем отличие спектрометра (или спектрографа) от спектроскопа?
5. Что такое разрешающая способность спектроскопа?
6. В чем состоит различие между спектрами, полученными с помощью призмы и с помощью дифракционной решетки?
7. Что такое фраунгоферовы линии?
8. Какие сведения можно получить, анализируя спектры излучения звезд и других космических объектов?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков **ФИЗИКА. Оптика. Квантовая физика.** 11 класс. - М.: Дрофа, 2002 г.
2. **ФИЗИКА - 11.** Под ред. А.А. Пинского. М.: Просвещение, 1995 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Длины волн спектральных линий некоторых элементов в видимой части спектра

Спектральные линии ртути

Цвет линии	Длина волны, нм
Желтая 1	579
Желтая 2	577
Зеленая	546
Синяя	436
Фиолетовая 1	408
Фиолетовая 2	405

Спектральные линии неона

Цвет линии	Длина волны, нм
Красная 1	660
Красная 2	653
Красная 3	650
Ярко-красная 1	640
Ярко-красная 2	638
Ярко-красная 3	633
Ярко-красная 4	627
Ярко-красная 5	616
Красно-оранжевая	614
Желтая	585
Зеленая 1	540
Зеленая 2	534
Голубая	483

Спектральные линии гелия

Цвет линии	Длина волны, нм
Красная	706
Оранжевая	588
Зеленая	501
Голубая	471
Синяя	477

Спектральные линии водорода (серия Бальмера)

Название линии	Длина волны, нм
H α , красная	656
H β , зелено-голубая	486
H γ , фиолетово-синяя	434
H δ , фиолетовая	410

Спектральные линии криптона

Цвет линии	Длина волны, нм
Красная 1	645
Красная 2	605
Желто-оранжевая	587
Зеленая	557
Фиолетовая 1	445
Фиолетовая 2	442
Фиолетовая 3	436
Фиолетовая 4	428