

# Исследование спектра газовых ламп

Лабораторная работа

Высшая школа экономики, Санкт-Петербургская  
школа физико-математических и компьютерных наук

Физика, 2 курс

Андрей Ситников

Никита Афанасьев

## Введение

Одна из основных характеристик источника света — спектр его излучения. С помощью спектра можно определить, какие процессы происходят внутри источника, в случае химических источников — определить их состав. Спектр однозначно задает восприятие источника глазом. В этой работе нам был предоставлен гониометр, с помощью которого можно достаточно точно (погрешность не больше десяти угловых минут) узнавать углы поворота различных частей схемы друг относительно друга.

В этой работе мы исследовали две различных химических лампы, выдающие отдельные спектральные линии. Установка, которую мы здесь использовали, не позволяет измерять яркость — в случае непрерывного спектра было бы невозможно получить точные значения чего-либо. В качестве рабочих объектов для разделения света по спектру мы использовали дифракционную решётку и призму.

## Оборудование

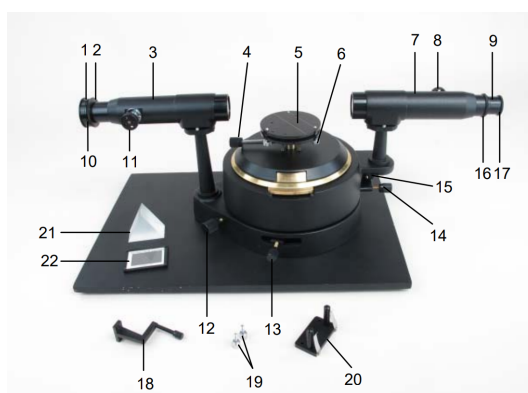


Рис. 1: Фотография установки

Здесь цифрами обозначены:

1. Регулируемая входная щель.
2. Стопорное кольцо, фиксирующее входную щель
3. Коллиматор
4. Стопорный винт столика
5. Спектрометрический столик с резьбовыми отверстиями для крепления
6. Подпружиненные винты для регулировки столика
7. Зрительная труба
8. Ручка фокусировки зрительной трубы
9. Держатель окуляра с крестом
10. Ручка регулировки ширины щели
11. Ручка фокусировки коллиматора
12. Ручка точной регулировки вращения стола спектрометра
13. Стопорный винт для вращения столика спектрометра
14. Стопорный винт для вращения зрительной трубы
15. Ручка точной настройки вращения зрительной трубы
16. Стопорное кольцо, фиксирующее держатель окуляра
17. Вставной окуляр, 15х
18. Держатель призмы

19. Винты с накатанной головкой для крепления призмы или держателя решетки
20. Держатель для дифракционных решеток или диафрагм
21. Дисперсионная призма
22. Дифракционная решетка

В качестве источников мы использовали *ртутную (Hg 100)* и *натриевую* лампу.

## Теория

Начнём с дифракционной решётки:

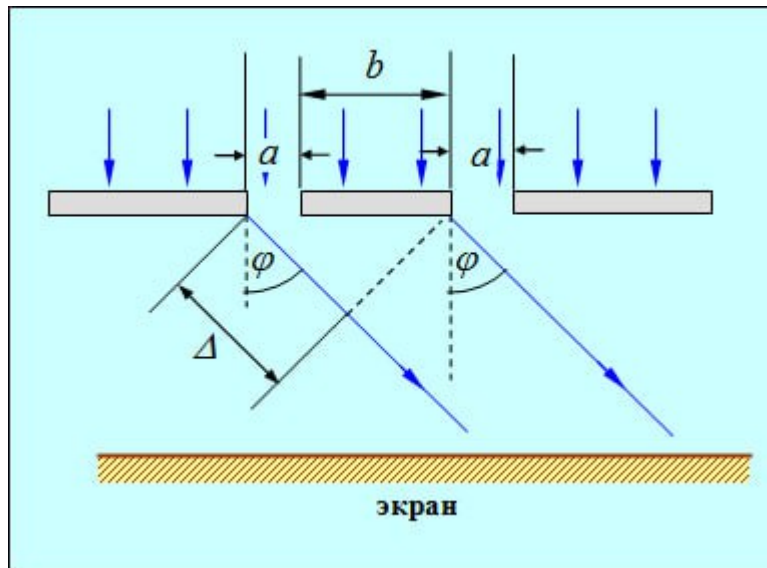


Рис. 2: Принципиальная схема работы дифракционной решетки <sup>1</sup>

Дифракционная решётка устроена как “шероховатая” прозрачная поверхность с периодом “неровностей”  $d$  по одной из координат в плоскости пластинки (чаще всего в роли “неровностей” выступают специально нанесенные “штрихи”), где  $d$  — мало (порядка длины волны — в нашем случае это  $\sim 2$  мкм). Из-за того, что лучи падающие на разные “зубцы” ячейки . Для установки дифракционной решётки перпендикулярно ходу луча мы специально калибровали решетку так, чтобы отражение зрачка наблюдателя совпадало с видимой целью, поэтому угол падения волны можно считать достаточно близким к нулю. Тогда выражение упрощается до:

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}$$

Где  $m$  — порядок максимума.

В случае призмы всё немного сложнее.

(картинка)

## Методика

Свет от источника проходит через щель коллиматора, и на его собирающей линзе превращается в пучок параллельных лучей. Лучи попадают на решетку или призму, из-за чего частично (или полностью, в случае

<sup>1</sup>Схема взята с сайта МИФИ

призмы) отклоняются. С помощью зрительной трубки мы можем собрать лучи в пучок, воспринимаемый глазом, и поворачивать трубу относительно центра гониометра так, чтобы она “смотрела” ровно на нужный пучок. Устройство гониометра позволяет нам удобно и точно считывать угол поворота трубки, и, соответственно, определить угол отклонения лучей.

Настройка зрительной трубы проводилась с помощью дальнего объекта (установка располагалась напротив окна, и мы фокусировали трубку так, чтобы четко видеть далекое здание, находящееся на расстоянии не меньше 500 м). Затем мы настраивали коллиматор так, чтобы через настроенную зрительную трубку была четко видна щель со светом от источника. Перпендикулярность дифракционной решетки, как уже было сказано, мы обеспечивали настройкой с помощью освещенного зрачка наблюдателя с временно убранной зрительной трубкой (изображение зрачка находится на одной прямой с изображением щели).

На схеме приведена примерная схема хода лучей для решетки и призмы (мы не знаем в точности устройства и пропорций зрительной трубки, нам важно только, что она превращает параллельный пучок в удобно воспринимаемый глазом):

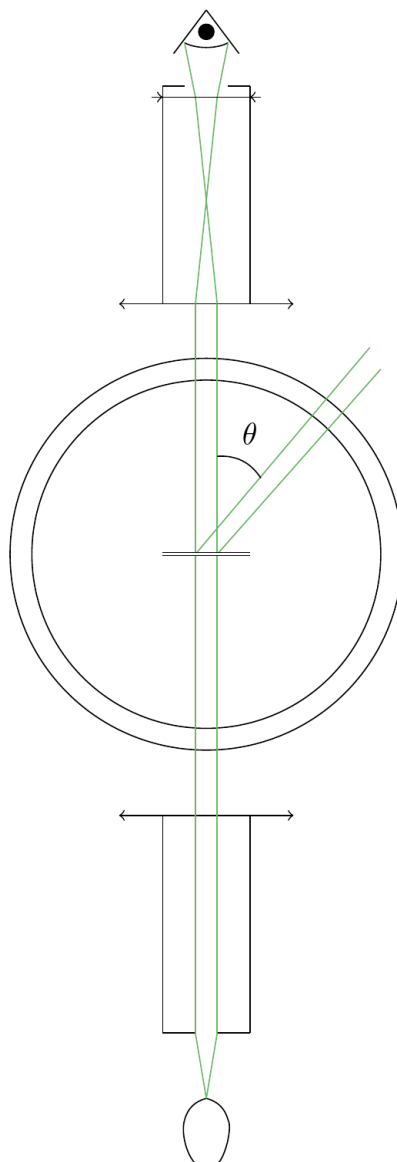


Рис. 3: Примерная схема хода лучей для дифракционной решетки

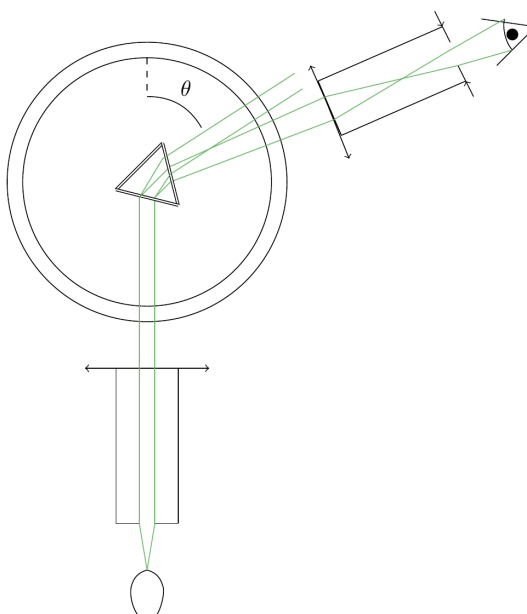


Рис. 4: Примерная схема хода лучей для призмы

Для каждого метода измерения мы промеряли отклонение и слева, и справа, затем усредняли (см. графики в “результатах изменений”).

Также для ртутной лампы дифракционную решетку мы промерили с двух сторон, “лицевой стороной” (надписью с пометкой числа штрихов) к окуляру и к источнику. В процессе измерений оказалось, что если “лицевая сторона” направлена к окуляру, мы получаем больше пиков второго порядка. Мы не можем количественно объяснить этот эффект, кроме как предположить, что из-за разных особенностей поверхности и стекла лучи просто “не могли” отклониться на большое расстояние, или эффективно поглощались.

## Результаты измерений

В процессе обработки данных мы определили, что 600 штрихов/мм, указанные на решетке, не дают длины волн наблюдаемых цветов. Более правдоподобным параметром было 500 штрихов/мм (оценить точность было проблематично, но точно больше, чем  $\pm 100$  штрихов/мм) — как оказалось, этот результат соответствовал измерениям лаборатории.

Результаты измерений представлены на графиках ниже (цвета построены по вычисленной длине волны):

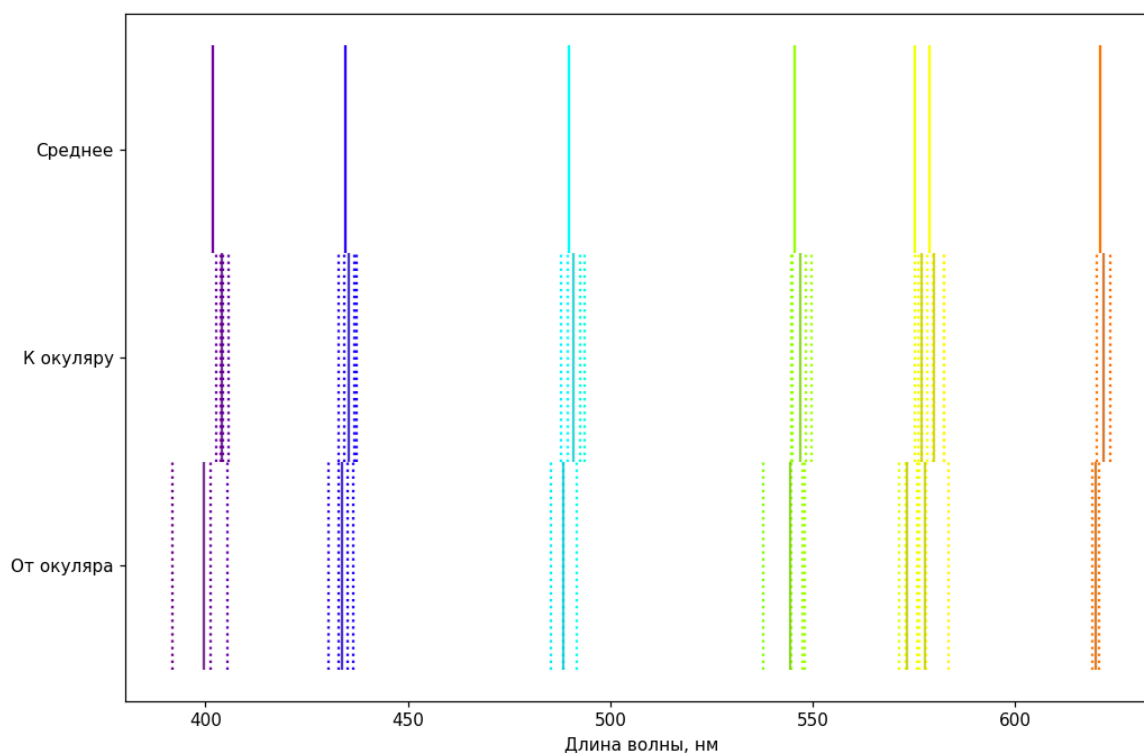


Рис. 5: Ртутная лампа; пунктирные линии обозначают реальные измерения, сплошные — усредненные значения

Цвет	Средняя измеренная длина волны, нм	Субъективное восприятие яркости
Красный	621	Едва заметный
Оранжевый	579	Слабый
Желтый	575	Слабый
Зелёный	546	Яркий
Голубой	490	Очень слабый
Синий	435	Яркий
Фиолетовый	402	Не очень яркий

Мы использовали все замеренные значения для каждого цвета, чтобы оценить стандартное отклонение — оно оказалось порядка 2 – 3 нм (и в него включается не только непосредственно погрешность считывания показаний — это измерение максимумов разных порядков как слева, так и справа, с двух разных сторон пластинки, снятые разными людьми — в нём “живут” и систематические погрешности).

Сверимся с табличными данными для спектра излучения ртутных ламп<sup>2</sup>:

<sup>2</sup>Данные с сайта NIST: Persistent Lines of Neutral Mercury ( Hg I ) (nist.gov)

Интенсивность излучения, относительные единицы	Длина волны, нм
1000	184.9499
1000	253.6517
250	296.7280
600	365.0153
400	<b>404.6563</b>
1000	<b>435.8328</b>
500	<b>546.0735</b>
200	1013.976

Видно, что мы определили яркие линии *из видимого спектра*, и определили несколько других слабых, не указанных в таблице (возникшие, видимо, из-за примесей). Для линий, которые есть в таблице, мы попали в доверительный интервал наших измерений 2 – 3 нм.

В случае натриевой лампы наиболее ярко светилась оранжевая линия, остальные были глубоко вторичны. Некоторые цвета было весьма сложно разглядеть, поэтому сложно ручаться за точность их измерения:

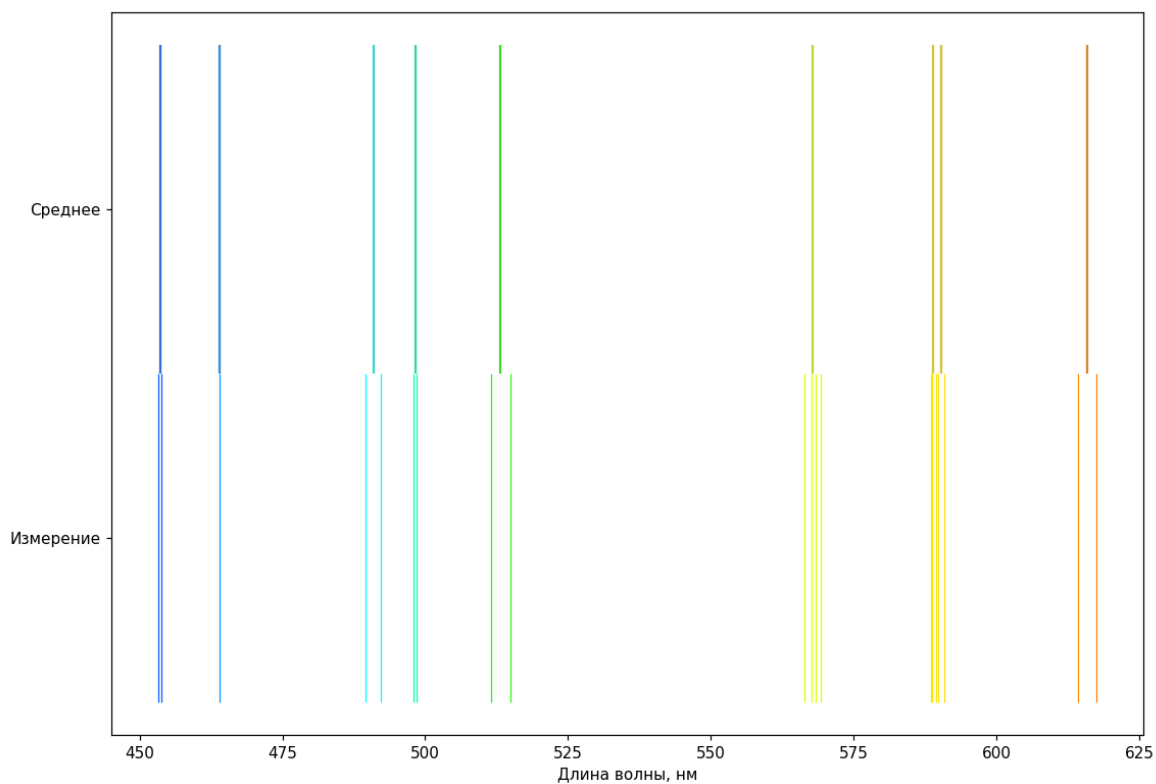


Рис. 6: Натриевая лампа

Цвет	Средняя длина волны, нм	Субъективное восприятие яркости
Красно	616	Почти незаметный
Первый оранжевый	591	Очень <b>яркий</b>
Второй оранжевый	589	Очень <b>яркий</b> (двойная линия с “первым”)
Желтый	568	Очень слабый
Салатовый	514	Очень слабый
Зелёный	498	Очень слабый
Голубой	491	Очень слабый
Синий	464	Очень слабый
Фиолетовый	454	Очень слабый

Табличные данные подтверждают основные линии на 589.0 и 589.6 нм<sup>3</sup>, что достаточно близко к нашим “оранжевым” (опять-таки в пределах погрешности). Остальные линии, скорее всего, вызваны в первую очередь примесями, которые можно попытаться определить по линиям, однако из-за того, что мы не можем количественно оценить их интенсивность, смысла в таком определении будет немного.

## Выводы

В процессе работы мы получили набор спектральных линий с субъективными интенсивностями (“на глаз”), которые попали в интервал  $\pm 3$  нм от табличных значений. Мы определили, что расположение решетки лицевой стороной к окуляру приводит к более полным результатам. Отличие от перевернутого состояния небольшое, но показывает возможную систематическую погрешность наших измерений (например, из-за неточной калибровки решетки).

Мы убедились, что использование дифракционных решеток проще на практике и приводит к более точным и полным результатам, нежели использование призм.

---

<sup>3</sup>Англоязычная википедия