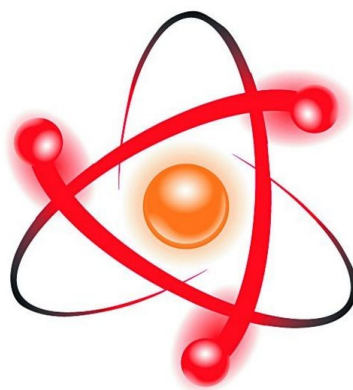


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



ФКЛ-22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ И ПРОПУСКАНИЯ
СВЕТА**

Тула, 2016 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ И ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА

Цель работы: освоение методов получения спектров пропускания, ознакомление с параметрами фильтров и с принципом работы монохроматора.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Поглощение электромагнитного излучения и света средой.

При распространении в веществе электромагнитные волны взаимодействуют с его молекулами, атомами и электронами, которые можно рассматривать как колебательные системы. Электромагнитные волны вызывают вынужденные колебания этих систем, причем вынуждающая сила пропорциональна напряжённости электрического поля волны, изменяющейся во времени по гармоническому закону. Поскольку на возбуждение колебаний требуется энергия, источником которой является волна, то энергия самой волны уменьшается на величину, отдаваемую колебательной системе, т. е. среде. В результате часть энергии волны поглощается средой и идёт на увеличение её внутренней энергии.

Если в результате взаимодействия волны с отдельными атомами среды происходит возбуждение последних, т. е. переход их электронов с одного стационарного уровня на другой, с последующим испусканием возбуждёнными атомами поглощённой ими энергии в виде фотонов, то энергия исходной волны частично преобразуется ещё и в энергию вторичного излучения. При этом к первичной электромагнитной волне добавляется излучение самой среды, называемое фотолюминесценцией. Таким образом, поглощение света – это явление уменьшения энергии световых волн при их распространении в веществе вследствие преобразования части этой энергии в другие виды: внутреннюю и энергию вторичного излучения.

Энергия вынужденных колебаний любой системы зависит от соотношения между собственной частотой колебательной системы и частотой вынуждающей силы: она возрастает по мере уменьшения разницы между упомянутыми частотами. Поэтому и потери энергии световой волны из-за взаимодействия с веществом также зависят от частоты (или длины) волны: эти потери максимальны вблизи собственных частот и уменьшаются по мере удаления от них.

Поглощение веществом электромагнитной энергии в слое бесконечно малой толщины dx приводит к уменьшению интенсивности света I на величину dI , причем относительное уменьшение интенсивности dI/I пропорционально толщине поглощающего слоя:

$$\frac{-dI}{I} = \alpha dx \quad (1.1)$$

Знак минус означает убывание интенсивности с ростом толщины поглощающего слоя вещества. Коэффициент пропорциональности α зависит от природы вещества и частоты (длины) волны падающего излучения и называется коэффициентом поглощения среды. Зависимость величины коэффициента поглощения

от длины волны (частоты) называется спектром поглощения.

Пока свойства среды не изменяются под воздействием излучения, значение α не зависит от интенсивности и всегда положительно. При большой интенсивности излучения, например, внутри источников лазерного излучения, коэффициент α может уменьшаться и даже становиться отрицательным. В этом случае среда сама оказывается источником излучения и называется оптически активной.

Если α не зависит от I , то решение уравнения (1.1) имеет вид:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1.2)$$

Соотношение (2) называется законом Бугера. Здесь I_0 – интенсивность падающего на вещество света, I – интенсивность света на глубине x от поверхности тела, $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов. При $x = 1/\alpha$ интенсивность $I = I_0 e^{-1} = I_0/e$, т. е. убывает в e раз. Таким образом, коэффициент поглощения α – это величина, обратная толщине слоя вещества, при прохождении которого свет ослабляется в 2,718 раз.

Если известны толщина l поглощающей пластины ($x = l$) и отношение I/I_0 , то можно найти величину α . Логарифмируя выражение (1.2), получим:

$$\alpha = \frac{\ln(I_0/I)}{l} = -\frac{\ln(I/I_0)}{l} \quad (1.3)$$

Для определения отношения I/I_0 на пути параллельного светового пучка ставят плоскопараллельную пластину и измеряют интенсивность I света с пластиной и интенсивность без пластины (I_0). При этом следует учитывать, что потеря интенсивности связана не только с поглощением, но и с отражением света от границ раздела воздух-среда.

Отношение $I/I_0 = T$ называется коэффициентом пропускания среды заданной толщины, а зависимость коэффициента пропускания среды от длины волны (частоты) **называется спектром пропускания**. На каждой границе раздела в условиях нормального падения света при отражении теряется доля K излучения, равная $K = \frac{I'}{I_0} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$ от первоначальной интенсивности I_0 .

Здесь n – показатель преломления среды относительно воздуха.

Поскольку доля света, прошедшего через пластину после каждого отражения, составляет $1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$, то:

$$I' = \left[1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2\right]^2 \cdot I_0 . \quad (1.4)$$

Второй квадрат появляется так как имеются две границы раздела, на которых следует учитывать потери на отражение: на входе пучка в пластину и на его выходе.

Если средой является стекло, то для оценки потерь на отражение можно принять $n = 1,5$ для всех длин волн. тогда из соотношения (1.4) следует, что:

$$I' = 0,922 \cdot I_0.$$

Учитывая, что с учетом потерь на отражение $I/I_0 = T \cdot K = T \cdot I'/I_0 = T \cdot 0,922$ и $\ln(0,922) = -0,082$, выражение (1.3) можно записать, используя коэффициент пропускания T :

$$\alpha = \frac{-\ln(T) - 0,082}{l} \quad (1.5)$$

Обычно источники излучения испускают свет в широком диапазоне длин волн или частот. Иногда для изучения спектральных свойств материалов их необходимо облучать светом определенной длины волны. Прибор для получения и регистрации такого излучения называется монохроматором. Монохроматор содержит устройство для разложения света в спектр, которое осуществляет пространственное разделение излучения разных длин волн. Излучение нужной длины волны в узком спектральном интервале $\Delta\lambda$, называемое монохроматическим, поступает на выход прибора и может быть использовано для спектральных исследований.

В данной лабораторной работе таким прибором является монохроматор МУМ-01, в котором в качестве устройства для разложения света в спектр применяется отражательная дифракционная решётка. Она представляет собой зеркало, на поверхности которого создана одномерная периодическая структура, профиль которой показан на рис. 1.1. Период этой структуры называется периодом (постоянной) решётки d .

Действие дифракционных решёток (бывают решётки отражательные и прозрачные) основано на дифракции света. Дифракцией волн, в частности, световых, называется явление отгибания волнами препятствий. Это явление заметно выражено, если размеры препятствий (или отверстий, если свет проходит через них) порядка длины волны света или меньше. Поэтому период решётки d не должен заметно превышать длину световых волн. Дифракция приводит к отклонению от законов геометрической оптики. Согласно геометрической оптике угол отражения равен углу падения, т. е. на рис. 1.1 должно было бы быть $\varphi = i$. Из-за дифракции свет отражается от решётки в разных направлениях. Геометрический расчёт показывает, что между соседними

лучами, изображёнными на рис. 1.1, после отражения возникает разность хода лучей $\Delta = d(\sin \varphi - \sin i)$. Если с помощью линзы собрать параллельные лучи в одну точку, то возникнет интерференция, т. е. наложение когерентных световых волн, приводящее либо к усилению света, либо к его ослаблению. Усиление будет происходить в том случае, если разность хода равна целому числу длин волн λ , т. е., если она равна $k\lambda$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Если приравнять указанное значение разности хода Δ величине $k\lambda$, то получим:

$$d(\sin \varphi - \sin i) = k\lambda. \quad (1.6)$$

Эта формула определяет те направления (значения угла φ), при которых в результате дифракции будет наблюдаться усиление отраженного света.

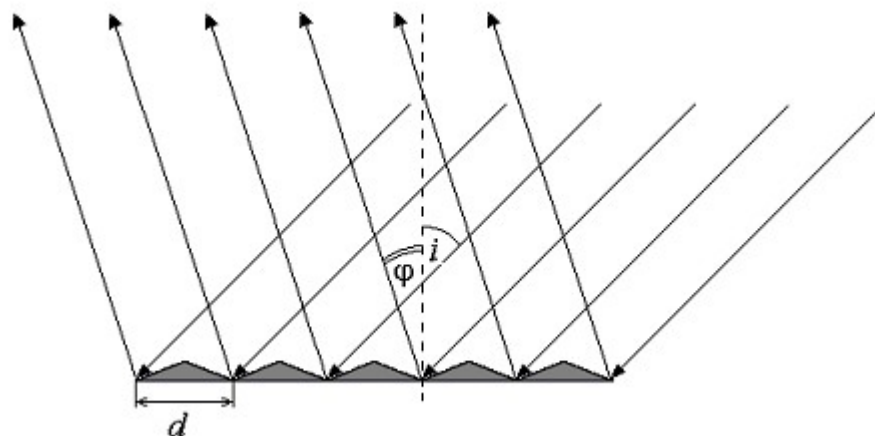


Рис. 1.1. Схема отражательной дифракционной решётки (вид сбоку). Стрелками показан ход некоторых лучей; i – угол падения света, φ – угол дифракции

Из формулы (1.6) следует, что угол φ , при котором достигается максимум интенсивности света при отражении от периодической структуры, зависит от длины волны. Это свойство дифракционной решётки и позволяет использовать её в качестве устройства для разложения света в спектр. Выделяя из спектра определённый участок длин волн $\lambda \pm \Delta\lambda$, на выходе прибора получают монохроматическое излучение требуемой длины волны.

Кроме монохроматоров, которые позволяют "вырезать" из спектра излучения достаточно узкую область, применяются более простые устройства - фильтры, пропускающие сравнительно широкий участок спектра. По характеристикам пропускания фильтры делятся на полосовые, пропускающие излучение в сравнительно узком диапазоне длин волн, рис. 1.2а, и отрезающие, пропускающие волны, длиннее некоторого граничного значения λ_0 , рис. 1.2б.

Параметрами полосового фильтра являются: прозрачность в максимуме пропускания T_{\max} , рабочая длина волны λ_0 , ширина полосы пропускания $\delta\lambda$ на половине максимальной прозрачности, прозрачность за пределами полосы

(фон) T_0 и контрастность T_{\max}/T_0 .

Параметрами отрезающего фильтра являются длина волны начала перехода от непрозрачности к прозрачности λ_0 и крутизна спектральной характеристики $K = \Delta T/\Delta\lambda$.

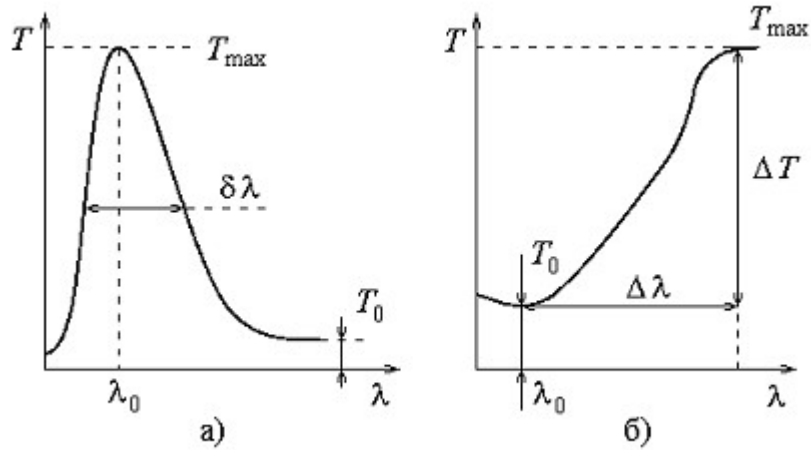


Рис. 1.2. Спектральные характеристики фильтров: а) полосовой фильтр, б) отрезающий фильтр.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Приборы и оборудование.

Оптическая схема монохроматора МУМ-01 представлена на рис. 2.1. Все детали монохроматора располагаются в закрытом корпусе, предохраняющем их от внешнего излучения. Со стороны оптического входа (объектива) к корпусу прикреплен тубус с линзами, а с боковой – приемник излучения 9 (фотодатчик на основе фотоэлемента, фотоумножителя либо фотодиода). С той стороны, где располагается дифракционная решётка 6, из корпуса выступает ручка поворотного механизма 11, а рядом с ней – окно указателя длин волн 12.

Свет от источника 1 (лампа накаливания либо ртутная лампа) с помощью системы линз 2 сначала преобразуется в параллельный пучок, а затем в сходящийся, который фокусируется в плоскости входной щели 4. От входной щели свет с помощью зеркала 5 направляется на отражательную дифракционную решётку 6, где происходит его разложение в спектр. Отразившись от дифракционной решётки, свет с помощью зеркала 7 направляется на выходную щель 8. При дифракции отраженные волны распространяются в самых разных направлениях относительно поверхности решётки; свет с заданной длиной волны будет виден только в тех направлениях, для которых выполняется условие (1.6) максимума интенсивности при дифракции. Чтобы излучение заданной длины волны попадало на выходную щель (там где закреплен фотоприемник), нужное положение решётки относительно направления на щель устанавливается с помощью поворотного механизма 11. С ним связан указатель длин волн 12. Длины волн даны в нанометрах (нм).

Поверхность решётки выполнена в виде вогнутого зеркала, поэтому наряду с разложением в спектр происходит фокусировка излучения в плоскости выходной щели 8, за которой находится фотоэлемент приёмного узла 9. Сигнал от фотоприемника, пропорциональный интенсивности монохроматического излучения, поступает на блок обработки сигналов 10 (фотоусилитель), после которого измеряется цифровым вольтметром 13.

Коэффициент усиления фотоусилителя может устанавливаться соответствующей ручкой управления и выводится на LCD индикатор БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.

Конструктивно установка состоит из нескольких узлов:

1) БЛОК ПИТАНИЯ источников излучения, который служит для питания спектральной ртутной лампы и лампы накаливания. На передней панели БЛОКА ПИТАНИЯ располагаются органы управления: переключатель ламп, LCD индикатор и регулятор интенсивности излучения лампы накаливания. На боковых крышках БЛОКА ПИТАНИЯ располагаются сетевые переключатели для включения отдельно аналоговой и цифровой части прибора во избежание сбоев в работе цифровой части, вход СЕТЬ 220 В, выход для соединения БЛОКА ПИТАНИЯ с ОСВЕТИТЕЛЕМ и ВХОД/ВЫХОД 25-pin «ФОТОУСИЛИТЕЛЬ» для соединения БЛОКА ПИТАНИЯ с

ФОТОУСИЛИТЕЛЕМ.

2) ОСВЕТИТЕЛЬ со спектральной ртутной лампой ДРСК-125, которая генерирует интенсивный линейчатый спектр ртути как в видимой, так и в ультрафиолетовой области спектра, и лампой накаливания для получения сплошного равномерного спектра в видимой области.

3) ФОТОУСИЛИТЕЛЬ УФЭ-500 (рис. 2.2) предназначен для усиления слабых фотоэлектрических сигналов с ФОТОПРИЕМНИКА. Фототок, возникающий в цепи фотоэлемента (ФОТОПРИЕМНИКА) весьма мал (порядка $10^{-10} \div 10^{-6}$ А), поэтому для его регистрации используется высокочувствительный усилитель постоянного тока DA1. Для уменьшения помех усилитель находится в защитном корпусе в непосредственной близости от фотоэлемента и соединяется с фотоприемником при помощи экранированных проводов. В основу работы усилителя положен принцип измерения слабых фототоков по величине падения напряжения на известном входном сопротивлении $R_1=100$ кОм прибора и усилении этого напряжения в $K \approx 200$ раз. Перед началом работы необходимо производить калибровку усилителя «УФЭ-500». Для этого, в отсутствии внешнего напряжения на аноде ($U_a=0,00$ В), измеряемого вольтметром PV1 и отсутствии светового потока, падающего на фотоэлемент, ручками управления «УСТАНОВКА НУЛЯ ГРУБО, ПЛАВНО» добиваются показаний $0,00 \pm 0,02$ В на вольтметре PV2, показания которого пропорциональны фототоку. Резистор Кусил, регулирующий коэффициент усиления схемы, позволяет регулировать коэффициент усиления от 1 до 220 единиц.

4) МОНОХРОМАТОРА МУМ-01, предназначенного для выделения узкого спектрального интервала.

Помещая между входным окном монохроматора и источником света различные светофильтры можно провести эксперименты по исследованию кривых пропускания и поглощения данных образцов.

При этом лампа накаливания подключается для работы в видимой области спектра (400 — 700 нм), а ртутная лампа включается для исследования УФ области спектра (300 — 400 нм) и специальных защитных светофильтров от УФ — излучения (защитные стекла для маски сварщика).

Прибор может использоваться для постановки лабораторной работы по исследованию внешнего фотоэффекта и определения постоянной Планка.

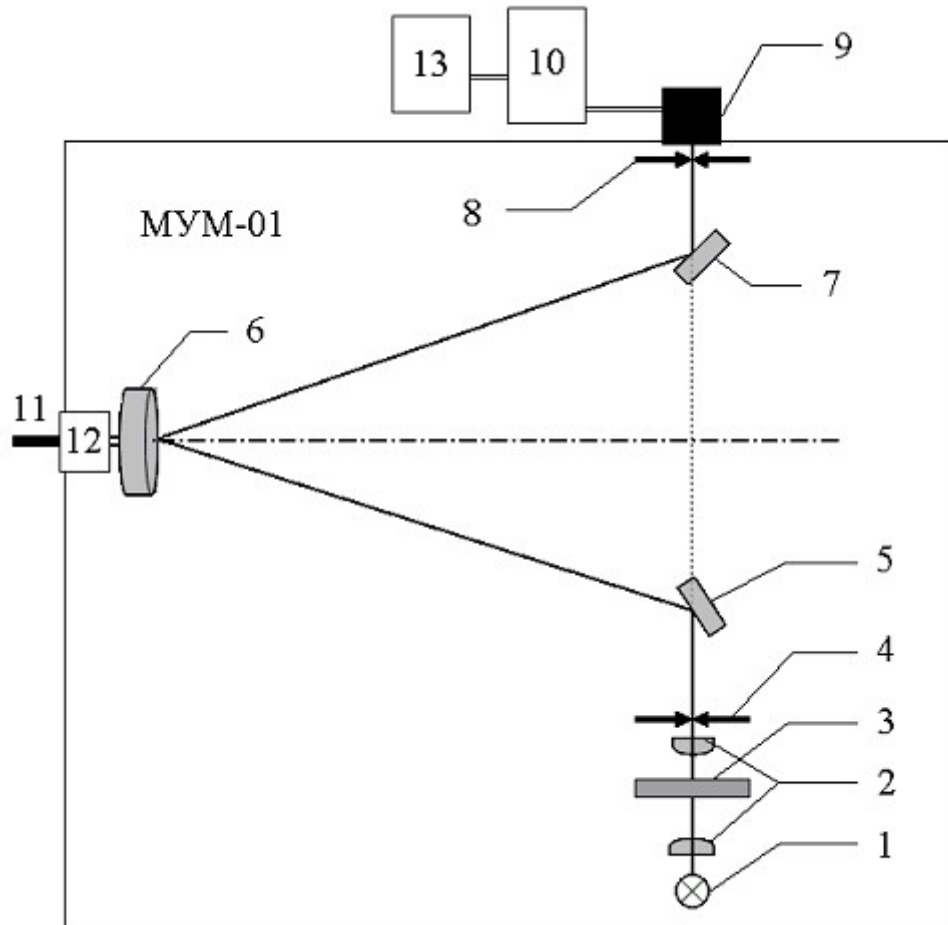


Рис. 2.1. Схема монохроматора МУМ-01

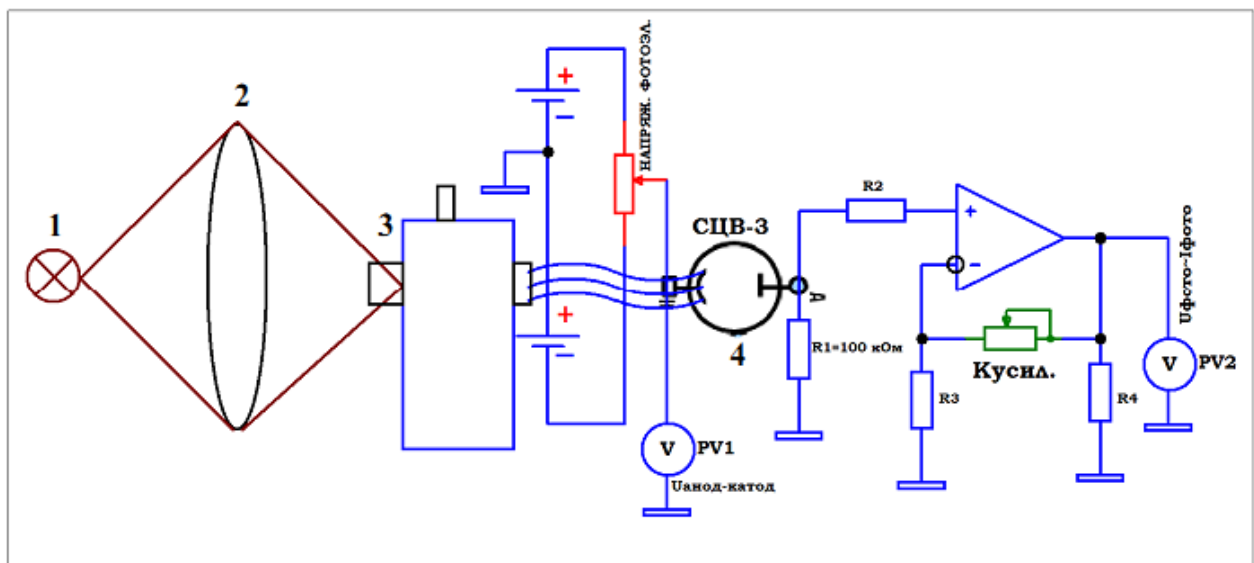


Рис. 2.2. Световой поток от источника (1) с помощью линзы-конденсора (2) собирается на входной щели монохроматора МУМ-01 (3), который выделяет из него узкий спектральный интервал. Полученное таким образом излучение падает на катод фотоэлемента (4), который помещен в защитный кожух и жестко закреплен у бокового выхода монохроматора. Световой поток, падающий на фотоэлемент, можно изменять с помощью установки на вход или выход монохроматора сменных щелей из комплекта. Образец помещается между источником света (1) и входным окном монохроматора перед линзой (2), которая встроена в МУМ-01.

В качестве источника света в работе используется газоразрядная ртутная лампа ДРСк-125, имеющая интенсивный линейчатый спектр ртути как в видимой, так и в УФ областях спектра и лампа накаливания

Для регистрации вольтамперных характеристик фотоэлемента и спектров пропускания образцов применяется специальный электронный блок УФЭ-500. В состав этого блока входит источник постоянного напряжения, который позволяет изменять потенциал анода фотоэлемента от 0 до +15 В в прямом и от 0 до -3 В в обратном направлении.

В данной работе используется вакуумный фотоэлемент типа СЦВ-3 с сурьмяно-цезиевым катодом. Это химическое соединение Cs_3Sb , обладает отчетливо выраженными полупроводниковыми свойствами. Небольшое наличие вакансий цезия в решетке, сообщает полупроводнику дырочный тип проводимости. Ширина запрещенной зоны ΔE равна примерно 1,66 эВ. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 \approx 620-750$ нм. Для работы за красной границей фотоэффекта в качестве

фотодачика может быть применен специальный фотодиод, который также укреплен в защитном кожухе и закрепляется вместо фотоэлемента на боковом выходе МУМ-01 или на заднем выходе монохроматора.

В максимуме спектральной характеристики ($\lambda \approx 420-450$ нм), квантовый выход фотоэмиссии достигает 0,25 электрон/фотон (число вылетевших из фотоэлемента электронов в расчете на один фотон света).

Ртутная лампа

является мощным источником света в ультрафиолетовой области спектра, поэтому следует избегать попадания прямого светового потока излучения от лампы в глаза и длительного облучения кожи.

Параметры лампы ДРСК-125 стабилизируются через 5-7 минут после включения. **Запрещается выключать лампу от сети в процессе разгорания.** Горевшую лампу можно зажечь повторно лишь после 10 минутного перерыва.

Режим работы установки прерывистый – через каждые 50 минут работы делается перерыв на 10 мин. Все вычисления производить после проведения экспериментов.

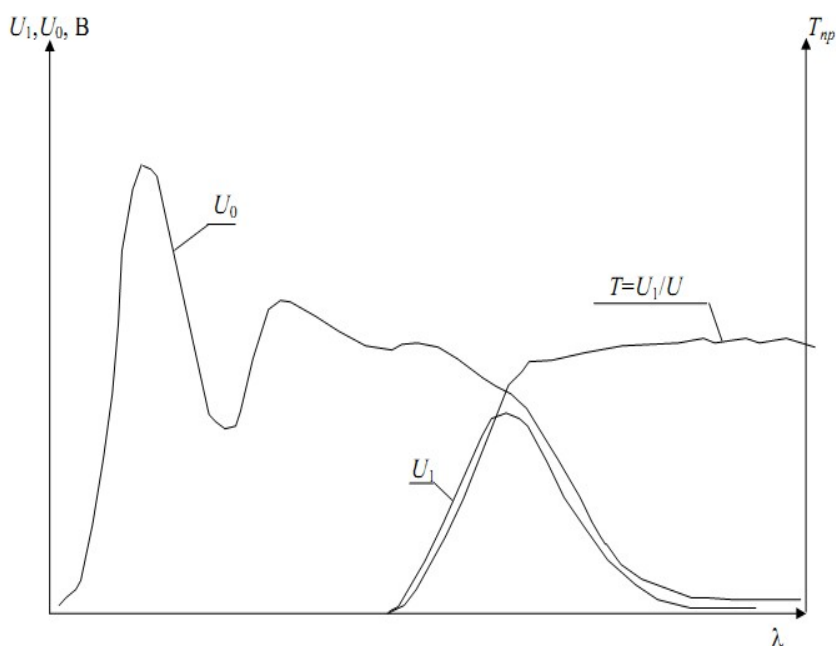


Рис. 2.3. Пример результатов по измерению спектров поглощения и пропускания. U_0 – фотосигнал без светофильтра, U_1 – фотосигнал со светофильтром, $T_{пр}$ — коэффициент пропускания образца.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек приборов. **Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек, которые не предназначены для этого в данной работе!**
2. Специальным соединительным кабелем из комплекта (25 pin LPT) соединить ФОТОУСИЛИТЕЛЬ со ВХОДОМ «ФОТОУСИЛИТЕЛЬ» БЛОКА ПИТАНИЯ.
3. Специальным соединительным кабелем из комплекта соединить ОСВЕТИТЕЛЬ с ВЫХОДОМ «ЛАМПЫ» БЛОКА ПИТАНИЯ.
4. Соединить экранированным кабелем типа «тюльпан-тюльпан» выход фотоприемника со входом «ФОТОЭЛЕМЕНТ» фотоусилителя.
5. Подключите к выходам «ФОТОУСИЛИТЕЛЯ» универсальные мультиметры, соблюдая полярность. Установите на мультиметрах **предел измерения 20 В** обеспечивающий измерение постоянного напряжения с точностью до 0,01 В.
6. Включите фотоусилитель и БЛОК ПИТАНИЯ в сеть 220 В и нажмите кнопку СЕТЬ на фотоусилителе.
7. Поставьте переключатель «ЛАМПА» на БЛОКЕ ПИТАНИЯ в положение «ЛАМПА НАКАЛИВАНИЯ ЛН» и включите кнопкой (клавишей) СЕТЬ «АНАЛОГОВАЯ ЧАСТЬ» аналоговую (силовую) часть прибора, затем через ~10 секунд включите кнопкой (клавишей) СЕТЬ «ЦИФРОВАЯ ЧАСТЬ» цифровую (измерительную) часть БЛОКА ПИТАНИЯ, при этом должен засветиться LCD ЖК индикатор БЛОКА ПИТАНИЯ.
8. Ручку управления «ЯРКОСТЬ/ТОК НАКАЛА» поставьте в минимально возможное положение, вращая её до упора против часовой стрелки до щелчка, при этом лампа накаливания (ЛН) будет отключена.
9. Вращая ручку управления «КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ Кус» фотоусилителя по часовой стрелке до упора вправо, установите на ФОТОУСИЛИТЕЛЕ максимально возможный $K_{ус} \approx 200$ единиц. Установленное значение коэффициента усиления выводится на LCD индикатор БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.
10. Перекройте световой поток на фотоприемник, если он туда попадает.
11. Установите ручкой «ПЛАВНО» и «ГРУБО» напряжение на аноде фотоэлемента 0,00 В (по показаниям мультметра PV1, подключенному к выходу НАПРЯЖЕНИЕ фотоусилителя УФЭ-500). Произведите калибровку измерительного прибора УФЭ-500 при отсутствии попадания света на фотоэлемент (для надежности перекрыть вход монохроматора). Для этого следует ручками управления «УСТАНОВКА НУЛЯ ГРУБО, ПЛАВНО» добиться показаний $0,00 \pm 0,02$ В на вольтметре PV2 (рис. 2.2),

- измеряющего фототок с выхода «ФОТОТОК» усилителя при отсутствии освещения фотокатода.
12. Вращением ручки управления «ЯРКОСТЬ/ТОК НАКАЛА» установите яркость лампы накаливания на уровне $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$ от максимального значения.
 13. Вращением ручки управления «НАПРЯЖЕНИЕ АНОДА» установите максимально возможное напряжение анода на фотоэлементе по показаниям вольтметра PV1, подключенному к выходу НАПРЯЖЕНИЕ фотоусилителя УФЭ-500, т. е. введите фотоэлемент в насыщение в прямой ветви его вольтамперной характеристики. **При этом во время всех измерений надо следить за тем, чтобы показания мультиметра, измеряющего фототок с выхода усилителя ФОТОТОК не превышали $\pm 13 - \pm 14$ В, в противном случае усилитель находится в насыщении и не работает в нормальном линейном режиме. Если показания вольтметра PV2 остаются на уровне $\pm 13 - \pm 14$ В следует уменьшить коэффициент усиления прибора.**
 14. Установить осветитель лампой накаливания к приемному окну монохроматора и расположить его соосно на расстоянии ~ 5 см от приемного окна. Настройтесь ручкой выбора длины волны МУМ-01 на середину видимой области спектра (~ 500 нм).
 15. Для визуального наблюдения спектра переведите штوك, расположенный на передней панели монохроматора рядом с задним окуляром, в положение до упора внутрь, не прилагая чрезмерных усилий и не вращая шток, так как это может привести к выходу из строя подвижного зеркала.
 16. Для фотоэлектрической регистрации спектра следует перевести весь световой поток на боковой выход МУМ-01 к фотоэлементу, для чего плавно потянуть шток на себя до упора не вращая. При этом мультиметр, измеряющий фототок, должен показать некоторое значение напряжения на выходе фотоэлемента, которое пропорционально интенсивности. Медленно вращая столик с осветителем либо монохроматором добиться максимального значения фототока по показаниям мультиметра «ФОТОТОК» (обычно максимальная освещенность достигается при расположении осветителя относительно входного окна монохроматора немного «под углом»).
 17. Произведите калибровку оптической системы по сплошному спектру лампы накаливания. Для этого без светофильтра снимите зависимость показаний вольтметра PV2 (ФОТОТОК) U_0 от длины волны λ в диапазоне длин волн от 400 нм до 600 (либо 700) нм с шагом 10 - 20 нм. При необходимости переключайте пределы измерения вольтметра (20 В, 2 В, 200 мВ). Результаты калибровки занесите в табл. 1.
 18. Поместите в специальное крепление на осветителе после лампы накаливания выбранный вами светофильтр из комплекта (например синий).

19. Снимите зависимость показаний вольтметра PV2 (фототок) U_1 от λ в диапазоне длин волн 400 — 600 (либо 700) нм с шагом $\sim 5 - 10$ нм при наличии светофильтра. Результаты измерений занесите в табл. 1. Особенно тщательно следует просканировать характерную для этого светофильтра область спектра (в случае синего светофильтра это примерно 450 — 550 нм).

Таблица 1

СВЕТОФИЛЬТР N1 (СИНИЙ)

λ , нм	400	420	440	680	700
U_0 , В									
U_1 , В									
T									

20. Приёмник излучения и блок усиления чувствительны к воздействию помех. Поэтому не рекомендуется располагать поблизости от него радиопередающие устройства, в частности, мобильные телефоны; это может вызвать ошибки в измерениях.
21. Произведите аналогичные измерения для других 2 — 3 светофильтров для оптического диапазона (например зеленый, оранжевый).
22. Для работы за красной границей фотоэффекта (красный светофильтр) в качестве фотодатчика может быть применен специальный фотодиод, который также укреплен в защитном кожухе и закрепляется вместо фотоэлемента на боковом выходе МУМ-01 или на заднем выходе монохроматора. При этом при работе с фотодиодом в качестве фотодатчика, мультиметр подключается непосредственно к клеммам «ФОТОДИОД», соблюдая полярность в режиме 200 мВ, 20 В постоянного тока. ФОТОУСИЛИТЕЛЬ в данном режиме не нужен.
23. Плавным вращением ручки «ЯРКОСТЬ, ТОК НАКАЛА» против часовой стрелки до щелчка выключите лампу накаливания.
24. Установить осветитель спектральной ртутной лампы к приемному окну монохроматора и расположить его соосно на расстоянии $\sim 5 - 10$ см от приемного окна.
25. Переведите штوك, расположенный на передней панели монохроматора в положение, обеспечивающее визуальное наблюдение спектральных линий. Для этого следует передвинуть шток до упора внутрь, не прилагая чрезмерных усилий и не вращая шток, так как это может привести к выходу из строя подвижного зеркала.
26. Установить на вход и задний выход монохроматора щели, обеспечивающие наилучшее визуальное воспроизведение спектральных линий атома ртути. Для этого рекомендуется установить на вход и

выход 2.1 щели 0,05 мм в положение II (римская цифра II на щелях обращена наружу). Для увеличения светового потока, попадающего на фотоэлемент, щель на боковом выходе не устанавливается.

27. Оставьте отделение для УФ светофильтра на выходе излучения ртутной лампы пустым.
28. Поставьте переключатель ЛАМПА в положение РТУТНАЯ Hg, при этом должен начаться дуговой разряд в лампе. После выхода лампы на рабочий режим (5 — 7 минут) приступите к изучению спектра лампы визуально с помощью монохроматора либо используя фотоэлектрическую регистрацию спектра. При фотоэлектрической регистрации, спектр представляет собой зависимость интенсивности излучения от длины волны λ (спектрограмма $U=U(\lambda)$).
29. Вращая ручку установки длины волны на монохроматоре, исследуйте визуально спектр излучения атома ртути и определите длины волн наиболее ярких линий. Сравните полученные результаты с табличными данными табл. 2 и схемой энергетических уровней атома ртути (см. приложение).

Таблица 2

Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, табличная, $\lambda_{табл}$, нм	Длина волны, измеренная, $\lambda_{изм}$, нм	Ошибка определения длины волны, $\Delta\lambda$, нм
Фиолетовая 1	2	404,66		
Фиолетовая 2	1	407,78		
Синяя	8	435,83		
Голубая	1	491,60		
Зеленая	10	546,07		
Желтая 1	8	576,96		
Желтая 2	10	579,07		

30. После визуального наблюдения спектральных линий атома ртути приступите к фотоэлектрической регистрации спектра. **Для этого следует убрать щель со входа монохроматора или установить щель максимальной ширины 3,00 мм** и перевести весь световой поток на боковой выход к фотоэлементу, для чего плавно потянуть шток на себя до упора не вращая. При этом мультиметр, измеряющий фототок, должен показать некоторое значение напряжения на выходе фотоэлемента, которое пропорционально интенсивности. Медленно вращая столик с осветителем либо монохроматором добиться максимального значения фототока по показаниям мультиметра «ФОТОТОК» (обычно максимальная освещенность достигается при расположении осветителя относительно входного окна монохроматора немного «под углом»).
31. Согласно энергетической диаграмме переходов в атоме ртути (см. приложение), настройтесь на длину волны ближнего УФ излучения в

- спектре ртути (~ 365 нм).
32. Просканируйте данную спектральную линию в диапазоне ± 50 нм от значения длины волны, при которой достигается максимальная интенсивность излучения по показаниям мультиметра ФОТОТОК без светофильтра и запишите показания U_0 вольтметра ФОТОТОК в таблицу, аналогичную табл. 1. Сканировать спектральную линию следует с шагом 5 нм.
 33. Поместите в специальное крепление на осветителе после ртутной лампы выбранный вами светофильтр из комплекта УФ светофильтров, которые по степени поглощения обычно маркируются индексами С3 — С8.
 34. Снимите зависимость показаний вольтметра PV2 (фототок) U_1 от λ в диапазоне в том же диапазоне длин волн (365 ± 50 нм) с шагом ~ 5 нм при наличии светофильтра. Результаты измерений занесите в табл. 1.
 35. Проведите аналогичные измерения для других длин волн в УФ области спектра ртути, если это возможно, т. е. если фотоприемник «видит» эти линии (есть фотосигнал с выхода ФОТОТОК) и для других УФ светофильтров. Все измерения и расчеты записывайте в таблицу 1.
 36. По данным всех измерений для видимой и УФ области спектра рассчитайте коэффициент пропускания для каждого из светофильтров $T = U_1/U_0$ для соответствующих длин волн. Результаты занесите в табл. 1.
 37. Постройте график зависимости коэффициента пропускания светофильтра от длины волны: $T = f(\lambda)$.
 38. В случае полосового фильтра рассчитайте его основные параметры: T_{\max}/T_0 , λ_0 , $\delta\lambda$ рис. 1.2.
 39. Пользуясь данными табл. 1, с помощью формулы (1.5) вычислите максимальное α_{\max} и минимальное α_{\min} значения коэффициента поглощения фильтра. Толщины фильтров l следует измерить линейкой либо штангенциркулем. Результаты вычислений также занесите в табл. 2
 40. Лабораторный комплекс допускает проведение лабораторной работы «Изучение внешнего фотоэффекта и определение постоянной Планка», см. методическое описание к учебной установке ФКЛ-11.
 41. Режим работы установки прерывистый – через каждые 50 минут работы делается перерыв на 10 мин. **Все вычисления производить после проведения экспериментов.**
 42. По окончании работы отключить блок питания и фотоусилитель, переведя переключатели «СЕТЬ» в положение «ВЫКЛ» и вынуть сетевые вилки из розеток

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какими процессами в веществе связано явление поглощения света в веществе?
2. Напишите закон Бугера и объясните физический смысл коэффициента поглощения α .
3. Какие явления определяют потери интенсивности света при его прохождении через прозрачную пластину? Что такое коэффициент пропускания?
4. Какие устройства, служащие для получения монохроматического излучения, Вам известны?
5. Перечислите характеристики отрезающего и полосового фильтров.
6. Запишите формулу (1.6), определяющую углы φ , при которых отражательная дифракционная решётка даёт усиление света для случая нормального падения света на решётку ($i = 0$). Сравните записанную формулу с соответствующей формулой для прозрачной дифракционной решётки в тех же условиях падения света.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс физики. т.3 – М.: Наука, 1978.
2. Фриш С. Э. Оптические спектры атомов. – М:Л.: Государственное изд-во физико-математической литературы. 1963, гл.3, §39, гл.4, § 71,72,74.
3. Каган Ю. М., Соболева Г. А. Исследование положительного столба разряда в парах ртути при средних давлениях. – Оптика и спектроскопия. Т.33, вып.1, 1972, №6.
4. Методические указания к выполнению домашних заданий по квантовой физике [Сост.: Г. А. Соболева, В. Л. Володькина /Под ред. Н. А. Ярышева] Лен. ин-т точной механики и оптики, 1986.
5. Собельман. И. И. Введение в теорию атомных спектров. / И. И. Собельман – М.: Наука, 1977.
6. Шпольский Э. В. Атомная физика. т.1. / Э. В Шпольский Э. В – М.: Наука, 1974 г.
7. Шпольский Э. В. Атомная физика. т.2. / Э. В Шпольский Э. В – М.: Наука, 1974 г.
8. Грибов Л. А.. Введение в молекулярную спектроскопию / Л. А. Грибов – М.: Наука, 1976 г
9. Савельев И. В. Курс общей физики т.2 / И. В. Савельев – М.: Высшая школа, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЕ
 Схема энергетических уровней атома ртути.

