

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Изучение источника света характеризуется количественными (мощность излучения, световой поток) и качественными (спектр излучения, цветность) характеристиками.

Под спектром излучения понимают зависимость спектральной плотности излучения φ_λ от длины волны λ или энергии излучаемых квантов света $h\nu$. Спектральной плотностью излучения называется поток излучения в узком интервале спектра $\Delta\lambda$, стремящемся к нулю, при длине волны λ , рассчитанный на единичный интервал длин волн (обычно на 1нм). То есть:

$$\varphi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda}; \quad (1)$$

где $\Delta\Phi_{e\lambda}$ - поток излучения в спектральном интервале $\Delta\lambda$ при длине волны λ .

Измеряется спектральная плотность излучения в единицах - [Вт/нм] .

Обычно источники излучения характеризуются относительным спектром излучения, нормируемым относительно максимального значения спектральной плотности излучения в данном спектре (см. рис.1 - 3).

$$\varphi(\lambda) = \frac{\varphi_\lambda}{\varphi_{\lambda_{max}}}; \quad (2)$$

где $\varphi_{\lambda_{max}}$ - максимальное значение спектральной плотности излучения в спектре;

λ_{max} - длина волны, на которую приходится максимум спектра излучения, или длина волны, соответствующая положению наиболее интенсивной линии в спектре.

Использование представления спектров излучения в относительных значениях обусловлено тем, что для решения большинства спектрометрических задач достаточно значение соотношения интенсивностей различных волн в спектре излучения. Кроме того, измерение спектров излучения в относительных единицах значительно проще, чем в абсолютных.

Спектры излучения разделяются на сплошные, линейчатые, полосатые. Под сплошным понимается спектр, мощность излучения в котором нигде не равна нулю внутри пределов спектра излучения (рис.1). Сплошной спектр характерен для теплового излучения.

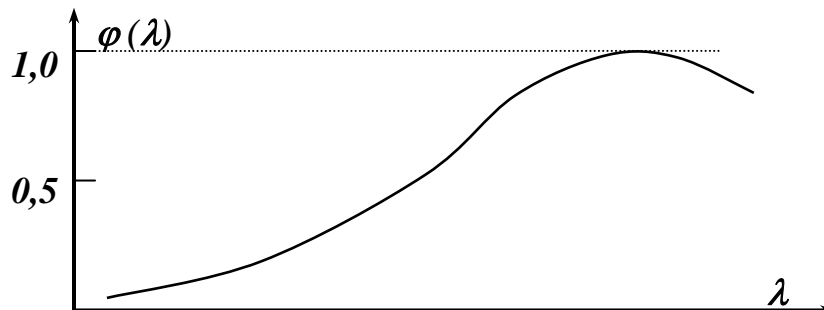


Рис. 1. Сплошной спектр излучения

Линейчатым называется спектр излучения, состоящий из серии отдельных линий излучения, обычно шириной менее 10 нм (рис.2). Линейчатые спектры характерны для излучения газового разряда.

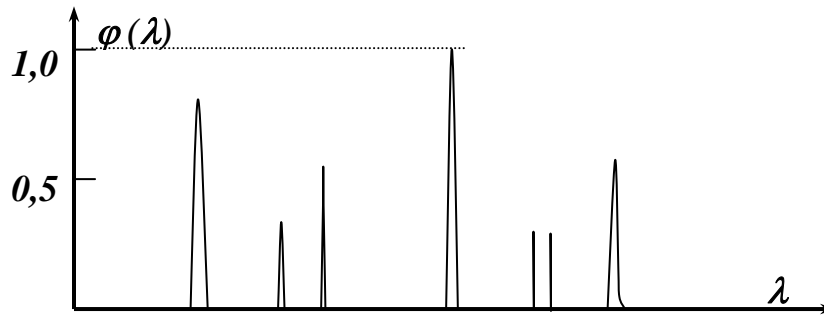


Рис. 2. Линейчатый спектр излучения

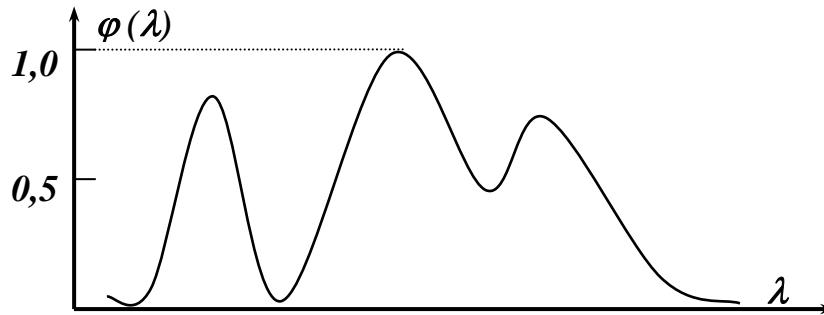


Рис. 3. Полосатый спектр излучения

В полосатом спектре имеется несколько широких полос излучения, такие спектры характерны для люминесценции твердых тел и жидкостей (рис.3).

Часто спектры излучения представляют собой комбинацию перечисленных спектров.

Для подавляющего большинства источников спектральный состав излучения не зависит от направления распространения света, поэтому о спектре излучения источника в целом можно судить по результатам измерения спектра излучения в каком-либо одном выбранном направлении.

Измерения спектров излучения выполняется с помощью установок, состоящих из монохроматоров и приемников света, предварительно отградуированных по пропусканию и спектральной чувствительности. Свет от исследуемого источника света направляется на входную щель монохроматора. Через выходную щель монохроматора выходит монохроматический поток, ослабленный, по сравнению с падающим, в соответствующее число раз согласно спектральному коэффициенту пропускания оптической системы τ_λ . При правильно подобранных размерах входной $a_{вх}$ и выходной $a_{вых}$ щелей, когда выполняется условие:

$$a_{вых} = a_{вх} \cdot \frac{f_2}{f_1}; \quad (3)$$

где f_1 и f_2 - фокусные расстояния объективов входного и выходного коллиматоров, спектральная область $\Delta\lambda$, выделенного монохроматором потока излучения, равна:

$$\Delta\lambda = a_{вых} \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell} \right)_\lambda; \quad (4)$$

где $\left(\frac{d\lambda}{d\ell} \right)_\lambda$ - обратная линейная дисперсия спектрального прибора для установленной

длины волны λ . Величина $\Delta\lambda$ в выражении (4) называется спектральной шириной щели.

Поток излучения $\Delta\Phi'_{e\lambda}$, выделенный монохроматором при длине волны λ , равен:

$$\Delta\Phi'_{e\lambda} = \Delta\Phi_{e\lambda} \cdot \tau_{\lambda}; \quad (5)$$

Измерения потока света, вышедшего из монохроматора осуществляется с помощью приемника света. Приемник света подбирается из следующих соображений: спектральная область чувствительности приемника должна быть шире ожидаемого (или заданной области) спектра излучения; чувствительность должна быть достаточной для измерения наименьших значений спектральных плотностей излучения в спектре; световая характеристика должна быть линейной. Величина сигнала приемника света i_{λ} при освещении его рабочей поверхности светом узкого спектрального диапазона $\Delta\lambda$ при длине волны λ равна:

$$i_{\lambda} = K \cdot \gamma_{\lambda} \cdot \Delta\Phi'_{e\lambda} = K \cdot \gamma_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot \Delta\Phi_{e\lambda}; \quad (6)$$

где γ_{λ} - спектральная чувствительность приемника света при длине волны λ ;

K - коэффициент, учитывающий долю вышедшего из монохроматора поток излучения, попавшего на рабочую поверхность приемника света, а также коэффициент усиления усилителя тока.

Тогда спектральная плотность излучения потока света, падающего на вход монохроматора, при длине волны λ может быть найдена по результатам измерения тока с учетом (4) и (6) следующим образом:

$$\varphi_{\lambda} = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{i_{\phi\lambda}}{K \cdot \gamma_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell}\right)_{\lambda} \cdot a_{\text{вых}}}; \quad (7)$$

На практике обычно известны лишь относительные значения спектральной чувствительности и пропускания $\gamma(\lambda)$ и $\tau(\lambda)$, которые определяются выражениями:

$$\gamma(\lambda) = \frac{\gamma_{\lambda}}{\gamma_{\lambda_{\text{max}}}}; \quad (8) \quad \tau(\lambda) = \frac{\tau_{\lambda}}{\tau_{\lambda_{\text{max}}}}; \quad (9)$$

где $\gamma_{\lambda_{\text{max}}}$ - максимальное значение спектральной чувствительности;

$\tau_{\lambda_{\text{max}}}$ - максимальное значение спектрального коэффициента пропускания.

С учетом (8) и (9) формулу (7) можно записать следующим образом:

$$\varphi_{\lambda} = \frac{i_{\phi\lambda}}{K \cdot a_{\text{вых}} \cdot \gamma_{\lambda_{\text{max}}} \cdot \gamma(\lambda) \cdot \tau_{\lambda_{\text{max}}} \cdot \tau(\lambda) \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell}\right)_{\lambda}} = \frac{i_{\phi\lambda}}{b \cdot \gamma(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell}\right)_{\lambda}}; \quad (10)$$

где $b = K \cdot a_{\text{вых}} \cdot \gamma_{\lambda_{\text{max}}} \cdot \tau_{\lambda_{\text{max}}}$ - коэффициент, не зависящий от длины волны.

Тогда

$$\varphi'(\lambda) = b \cdot \varphi_{\lambda} = \frac{i_{\phi\lambda}}{\gamma(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell}\right)_{\lambda}}; \quad (11)$$

Величина $\varphi'(\lambda)$ прямо пропорциональна спектральной плотности излучения $\varphi(\lambda)$, а зависимость $\varphi'(\lambda) = f(\lambda)$, рассчитанная по формуле (11), отражает истинное соотношение интенсивностей излучения различных длин волн, но размерность этой величины $\left[\frac{\text{А} \cdot \text{Вт}}{\text{нм}}\right]$. Относительную спектральную плотность излучения $\varphi(\lambda)$ можно определить по формуле:

$$\varphi(\lambda) = \frac{\varphi'(\lambda)}{\varphi'(\lambda)_{\text{max}}}; \quad (12)$$

или

$$\varphi(\lambda) = \frac{i_{\phi\lambda} \cdot \gamma(\lambda)_{\max} \cdot \tau(\lambda)_{\max} \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell} \right)_{\lambda_{\max}}}{i_{\phi\lambda_{\max}} \cdot \gamma(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \left(\frac{d\lambda}{d\ell} \right)_{\lambda}} ; \quad (13)$$

где $\varphi'(\lambda)_{\max}$ - наибольшее значение величины $\varphi'(\lambda)$ в спектре излучения;

λ_{\max} - длина волны, на которую приходится $\varphi'(\lambda)_{\max}$;

$i_{\phi\lambda_{\max}}$, $\gamma(\lambda)_{\lambda_{\max}}$, $\tau(\lambda)_{\lambda_{\max}}$, $\left(\frac{d\lambda}{d\ell} \right)_{\lambda_{\max}}$, - соответственно фототок, относительная

спектральная чувствительность, относительное пропускание и обратная линейная дисперсия, соответствующие λ_{\max} .

Таким образом, для измерения относительной спектральной плотности излучения, кратко называемой спектром излучения, достаточно знать спектральные значения линейной дисперсии монохроматора, если она зависит от длины волны, а также относительных спектральных характеристик чувствительности фотоприемника и пропускания оптической системы. При этом, в случае линейной световой характеристики приемника света и постоянства коэффициента усиления, а эти условия обязательны для измерительной системы, значения $i_{\phi\lambda}$ могут выражаться любым способом - в миллиамперах, делениях шкалы и т.п..

Для решения задачи измерения спектральной плотности излучения в абсолютных единицах — $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{нм}} \right]$, должна быть проведена градуировка измерительной установки по

эталонному источнику излучения, для которого известно распределение спектральной плотности излучения в интересующей области спектра в соответствующих единицах. С целью градуировки на данной установке производится измерение спектра излучения эталонного источника и определяется спектральный градуировочный коэффициент установки C_{λ} :

$$C_{\lambda} = \frac{\varphi_{\lambda_{\text{эт}}}}{i_{\phi\lambda_{\text{эт}}}} ; \quad (14)$$

где $\varphi_{\lambda_{\text{эт}}}$ - спектральная плотность излучения эталонного источника излучения;

$i_{\phi\lambda_{\text{эт}}}$ - показания измерительной системы, при измерении спектра эталонного источника.

Тогда спектральная плотность излучения исследуемого источника, при соблюдении тех же условий измерения, что и для эталонного, находится из выражения:

$$\varphi_{\lambda} = C_{\lambda} \cdot i_{\phi\lambda} ; \quad (15)$$

ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для измерения спектров излучения состоит из монохроматора, регистрирующей системы и сменных газоразрядных ламп с блоком пуско-регулирующей аппаратуры (ПРА).

В качестве источников исследуемых спектров излучения в работе применяются газоразрядные лампы высокого давления с разрядом в парах ртути с добавками различных металлов. Запуск и стабильное горение ламп обеспечивается блоком ПРА. Возможно применение лампы накаливания, как источника со сплошным спектром.

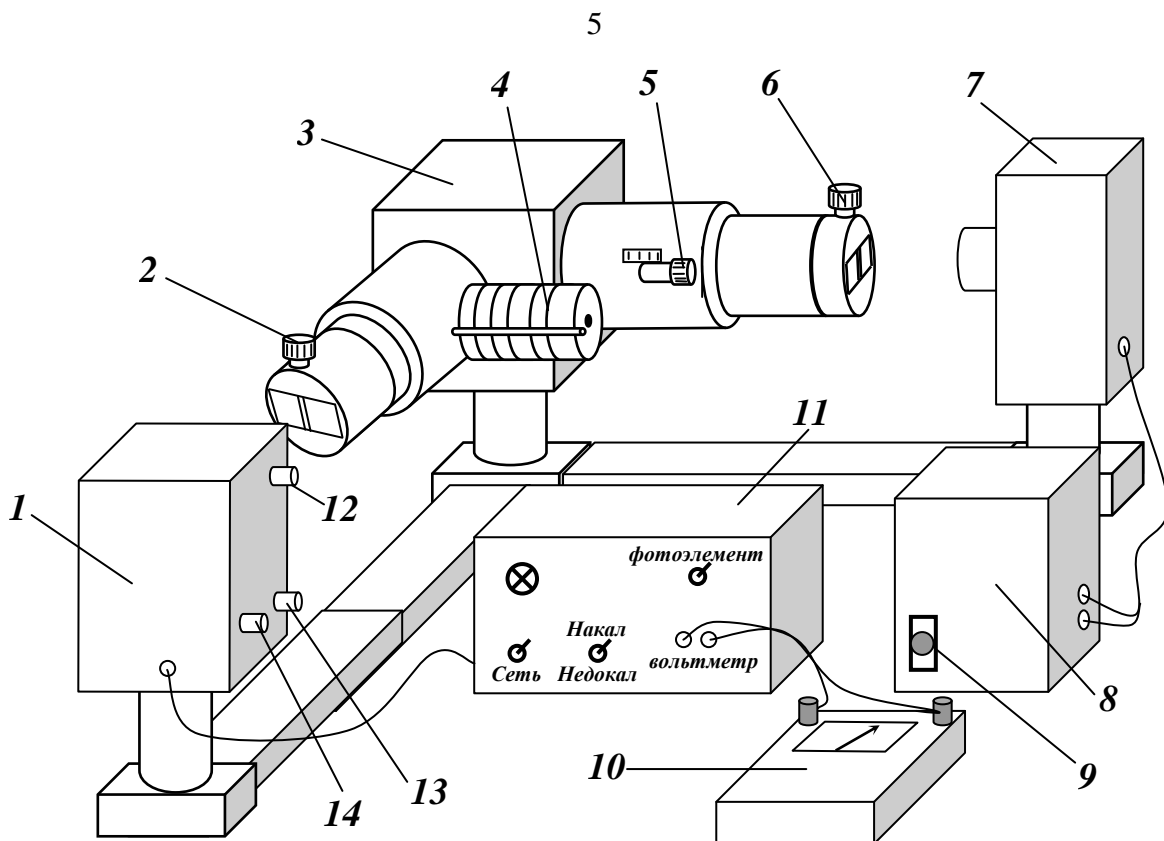


Рис. 4 Схема установки для измерения спектров излучения:

1 - блок приемника излучения; 2 - микровинт входной щели; 3 - корпус монохроматора УМ-2; 4 - барабан поворота призмы; 5 - рукоятка фокусирования объектива выходного коллиматора; 6 - микровинт выходной щели; 7 - лампа в защитном кожухе; 8 - блок ПРА; 9 - кнопка поджига разряда лампы; 10 - измерительный прибор; 11 - блок питания; 12 - рукоятка изменения диафрагмы; 13 - рукоятка установки нуля темного тока; 14 - переключатель диапазонов чувствительности измерительной системы.

Регистрирующая система (см. рис. 4) состоит из блока фотоприемника (1) и блока питания (11) с подключенным микроамперметром или цифровым вольтметром В7-22А (10).

На лицевой панели корпуса блока питания имеются: тумблер "СЕТЬ" и сигнальная лампа, расположенная над этим тумблером; тумблер "НАКАЛ-НЕДОКАЛ", обеспечивающий включение и работу накаливаемого источника излучения в 2-х режимах; гнезда для подключения микроамперметра; тумблер включения фотоэлемента.

Блок приемника излучения состоит из фотоэлемента Ф-25, усилителя и систем регулирования сигнала. На боковую стенку корпуса блока выведены: рукоятка изменения диафрагмы входного окна (12), рукоятка установки нуля темного тока (13), переключатель диапазонов чувствительности системы (14). Положение **I** переключателя соответствует максимальной чувствительности системы для измерения самых слабых потоков излучений. При положении **II** переключателя чувствительность системы снижается в 2 раза, при положении **III** - в 7 раз, и при положении **IV** в 100 раз по отношению к максимальной.

Регистрация интенсивности излучения в относительных единицах осуществляется по шкале микроамперметра или цифрового вольтметра В7-22А.

Используемый в регистрирующей системе фотоэлемент **Ф-25** имеет многощелочной катод с расширенной областью спектральной чувствительности и кривой относительной спектральной чувствительности типа С - 11. Значения относительной спектральной чувствительности фотоэлемента **Ф-25** приведены на рис.5, а также, частично, в приложении 1.

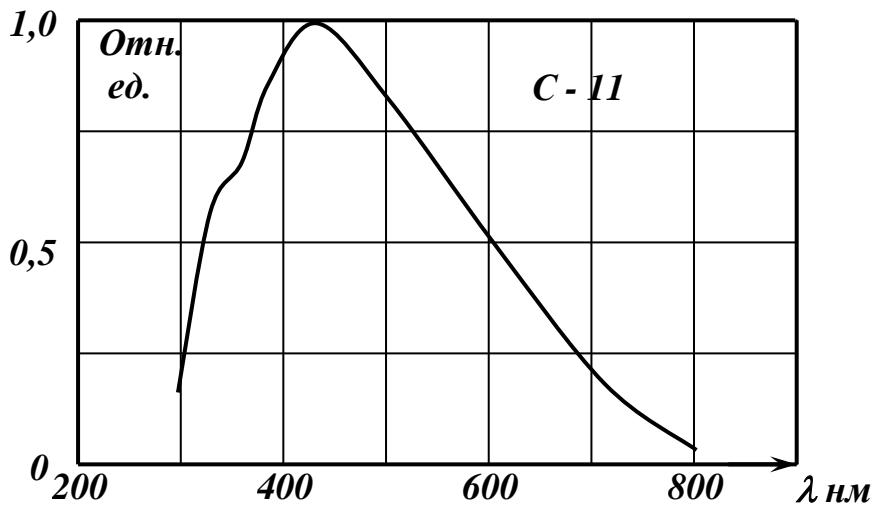


Рис.5. Относительная спектральная чувствительность фотоэлемента $\Phi - 25$ (спектральная характеристика фотокатода типа $C - 11$)

В работе используются призмный монохроматор УМ-2, предназначенный для работы в области спектра 380-1000 нм.

Собственно монохроматор (см. рис. 6) состоит из входной щели (1), объектива

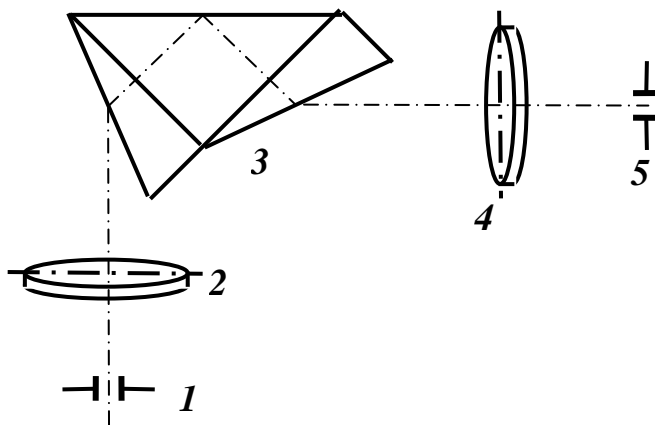


Рис. 6 Оптическая схема монохроматора УМ-2

входного коллиматора 2, призмы постоянного угла отклонения (3), объектива выходного коллиматора (4) и выходной щели (5). Щели прибора прямые, симметричные. Объективы коллиматоров ахроматические с просветленными поверхностями и одинаковым фокусом 280 мм. Вращение призмы Аббе осуществляется барабаном, на котором по спирали нанесена шкала в градусах угла поворота барабана. Объектив выходного коллиматора может перемещаться вдоль оптической оси для фокусировки излучения различных длин волн на выходную щель (рукоятка 5 на рис. 4).

Зависимость обратной линейной дисперсии от длины волны для монохроматора УМ-2 с точностью до 15% описывается выражением вида:

$$\frac{d\lambda}{d\ell}(\lambda) = 0,8 \cdot 10^{-8} \cdot \lambda^{3,4} \left[\frac{\text{нм}}{\text{мм}} \right]; \quad (16)$$

Значения обратной линейной дисперсии, вычисленные по этой формуле, приведены в Приложении 1.

Пропускание τ оптического тракта монохроматора в рабочей области спектра с точностью 5% от длины волны не зависит.

Для определения длины волны λ выделяемой монохроматором, шкала барабана должна быть предварительно отградуирована по известным линейчатым спектрам, обычно ртутной лампы. Результаты градуировка приведены в Приложении 1. Эта градуировка должна регулярно проверяться.

ЗАДАНИЕ

1. Провести проверку градуировки шкалы барабана по длинам волн.
2. Измерить спектры излучения источников света, указанных преподавателем. Результаты измерений внести в таблицы.
3. Построить графики измеренных спектров излучения ламп.
4. Рассчитать и указать на графике спектральную ширину щели, при которой измерялись спектры.
5. Рассчитать и указать на графике погрешность определения спектральной плотности излучения.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

I. Подготовка установки к работе:

1. Подсоединить миллиамперметр к гнездами "ВОЛЬТМЕТР" блока питания и установить предел измерения 0,75 мА.
2. Подключить блок питания к сети 220 В. Включить тумблер "СЕТЬ". При этом должна закрепиться сигнальная лампочка расположенная над этим тумблером.
3. Переключатель чувствительности, находящейся на блоке фотоприемника, установить в положение 3.
4. Тумблер "ФОТОЭЛЕМЕНТ" на блоке питания перевести в верхнее положение.
5. Вращением ручки "УСТ.НУЛЯ" на блоке фотоприемника вывести стрелку миллиамперметра на начало шкалы.

II. Проверка градуировки шкалы барабана поворота призмы:

6. Установить на рельс перед входной щелью ртутную газоразрядную лампу. Подключить лампу к блоку ПРА. Включить блок ПРА в сеть 220 В. Нажатием кнопки запуска зажечь лампу и дождаться её разгорания (4-5 мин.).
7. Раскрыть входную и выходную щели монохроматора на величину 0,2 мм.
8. Вращением барабана поворота призмы вывести указатель на начало шкалы.
9. Медленно вращая барабан, определить по отклонению стрелки миллиамперметра при каких положениях барабана n_{max} наблюдаются максимумы отклонения стрелки, соответствующие линиям излучения ртутного разряда. Результаты занести в табл.1.

Таблица 1.

№	n_{max}	$i_{фmax}$	λ_{max}
п/п	<i>град</i>	<i>мА</i>	<i>нм</i>
1.			
2.			
3.			
4.			
...			

Для более точного определения n_{max} барабан следует подводить к положению максимального отклонения стрелки всегда с одной стороны, вращая в сторону увеличения n , для того чтобы устранить люфт микровинта. Поэтому после обнаружения максимума $i_{фmax}$ по началу спада величины фототока, следует повернуть барабан назад, на участок подъёма, и повторным поворотом добиться уже известного значения $i_{фmax}$, при котором делается отсчет n_{max} .

10. В видимой области спектра в разряде ртути среди прочих выделяются четыре самых интенсивных линии излучения с длинами волн соответственно: 405; 438,8; 546,1 и

577-579 нм. Сравнением величин $i_{\phi max}$ установить каким n_{max} соответствуют эти ртутные линии. Начало шкалы барабана соответствует коротковолновой области спектра.

11. Сверить полученные результаты таблицы 1 с данными в Приложении 1.

12. Если проверка показывает незначительные несовпадения, достаточно внести соответствующие коррективы. В случае сильного несовпадения необходимо построить новый градуировочный график $n = f(\lambda)$.

III. Измерение спектра излучения исследуемой газоразрядной лампы:

13. Установить указанные преподавателем размеры щелей.

14. Установить перед входной щелью монохроматора исследуемую лампу. Подключить лампу к блоку ПРА и включить в сеть 220 В. Нажатием кнопки поджига зажечь лампу.

15. Измерить значения сигнала фотоприемника $i_{\phi\lambda}$ при различных углах поворота n барабана через каждые $\Delta n = 50 \div 75^\circ$. Измеренные значения $i_{\phi\lambda}$ занести в табл.2.

Таблица 2

n	$i_{\phi\lambda}$	λ	$\gamma(\lambda)$	$(d\lambda/dl)_\lambda$	$\varphi'(\lambda)$	$\varphi(\lambda)$
град	мкА	нм	–	нм/мм	мкА мм/нм	–

Строго говоря, для надежного поточечного измерения спектра $\Delta n = n_{i+1} - n_i$ должен быть таким, чтобы соответствующий ему шаг измерений $\Delta\lambda_m = \lambda_{i+1} - \lambda_i$ был не более выделяемого монохроматором интервала длин волн, т.е. величины спектральной ширины щелей $\Delta\lambda_i$. При этом число измерений может оказаться достаточно большим. Поэтому, при измерениях широкополосного или сплошного спектров, с целью сокращения трудоемкости шаг измерений может выбираться несколько большим, но так чтобы в промежутках между точками измерений изменения спектра являлись монотонными, а затем недостающие значения находятся методом графической интерполяции. В случае наличия в спектре узких линий излучения, например как у газоразрядных ламп, обнаруживаемых по резкому отклонению стрелки прибора при вращении барабана, излучение таких линий промеряется отдельно, независимо от основного шага измерений. Обычно для каждой линии находится положение максимума излучения n_{imax} , величина фототока в максимуме линии $i_{\phi\lambda max}$, а также полуширина линии, определяемая по отсчетам барабана $n_{+0,5}$ и $n_{-0,5}$ слева и справа от n_{imax} , когда величина фототока принимает значения равные $0,5i_{\phi\lambda max}$. Найденные параметры излучения линий также заносятся в таблицу 2.

16. Определить и внести в таблицу 2 следующие значения: а) длин волн λ_i , соответствующих углу поворота барабана n_i ; б) относительной спектральной чувствительности измерительной системы $\gamma(\lambda)$; в) величины обратной линейной дисперсии монохроматора УМ-2 $(d\lambda/dl)_\lambda$.

17. Рассчитать спектр излучения исследуемой лампы.

18. Построить на одном рисунке графики зависимостей $i_{\phi\lambda} = f(\lambda)$ и $\varphi(\lambda) = f(\lambda)$.

19. Используя формулу (4) рассчитать для нескольких длин волн в разных областях спектра спектральную ширину щели $\Delta\lambda_i$.

20. Для тех же λ рассчитать погрешность определения $\varphi(\lambda)_i$, взяв за основу формулу (13). Принять, что точность задания величины спектральной чувствительности в **При-**

ложении 1 равна 5%, точность значений линейной дисперсии в *Приложении 1* - 15%, $\varphi(\lambda)$ по всему спектру принять равной $(0,9 \pm 0,05)$.

21. Обозначить на графике $\varphi(\lambda) = f(\lambda)$ полученные значения $\Delta\lambda_i$ и $\Delta\varphi(\lambda)_i$ в масштабе рисунка, как показано на рис.7. Вертикальный размер перекрестья соответствует

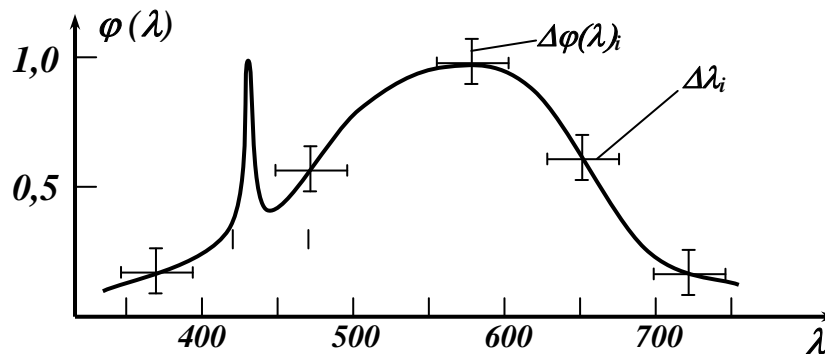


Рис. 7. Обозначение погрешностей измерений

погрешности измерения $\varphi(\lambda)$, а горизонтальный - величине спектральной ширины щелей $\Delta\lambda$ при измерениях на длине волны λ_i .

22. По указанию преподавателя измерить спектр другой лампы или той же лампы, но с другими значениями ширины щелей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется спектром излучения?
2. Что подразумевается под понятием "спектральная плотность излучения"?
3. Чем отличаются различные спектры излучения?
4. Как определить интервал выделяемых монохроматором длин волн?
5. Что такое обратная линейная дисперсия спектрального прибора?
6. Как можно измерить спектральную плотность излучения?
7. Какое значение при измерении спектров излучения имеют характеристики и конструктивные особенности монохроматора?
8. Какое значение при измерении спектров излучения имеют характеристики и конструктивные особенности регистрирующей системы?
9. В чем заключаются различия при измерениях спектров излучения в абсолютных и относительных единицах?
10. Как провести проверку градуировки монохроматора по длинам волн?
11. Как правильно выбрать шаг поточечного измерения спектра?
12. Как измерить излучение узкой линии?
13. В чем заключается и от чего зависит погрешность результатов измерения спектров излучения?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 3

Данные о градуировке монохроматора УМ-2 по длинам волн,
 обратной линейной дисперсии монохроматора $d\lambda/dl$
 и относительной спектральной чувствительности фотоэлемента Ф-25 $\gamma(\lambda)$.

n°	$\lambda, \text{нм}$	$\gamma(\lambda)$	$d\lambda/dl$
1	2	3	4
300	368	0,65	4,24
350	375	0,70	4,52
400	380	0,75	4,72
450	390	0,78	5,16
500	395	0,80	5,39
550	400	0,83	5,63
560	402	0,83	5,72
570	403	0,84	5,77
610	404	0,84	5,82
620	405	0,85	5,87
650	406	0,86	5,92
700	410	0,87	6,12
750	412	0,88	6,22
800	413	0,89	6,27
850	415	0,90	6,38
900	420	0,91	6,64
950	421	0,92	6,69
1000	425	0,93	6,91
1050	428	0,94	7,10
1100	430	0,95	7,20
1110	432	0,95	7,31
1120	433	0,95	7,36
1180	437	0,96	7,60
1190	438	0,96	7,66
1200	440	0,97	7,68
1250	445	0,98	8,10
1300	450	1	8,40
1350	455	0,98	8,72
1400	458	0,96	8,91

n°	$\lambda, \text{нм}$	$\gamma(\lambda)$	$d\lambda/dl$
1	2	3	4
1450	460	0,95	9,05
1500	465	0,94	9,40
1550	468	0,92	9,60
1600	470	0,90	9,70
1650	478	0,88	10,31
1700	480	0,86	10,45
1750	485	0,84	10,83
1800	490	0,83	11,21
1850	495	0,82	11,61
1900	500	0,80	12,01
1950	510	0,79	12,85
2000	515	0,78	13,30
2050	520	0,76	13,73
2100	525	0,75	14,20
2130	527	0,74	14,36
2140	528	0,70	14,46
2265	545	0,68	16,10
2300	555	0,62	17,13
2350	560	0,60	17,66
2360	562	0,59	17,87
2370	564	0,58	18,10
2380	566	0,57	18,31
2385	568	0,56	18,53
2450	580	0,56	19,88
2500	595	0,52	21,80
2550	600	0,50	22,33
2600	615	0,45	24,30

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 4

Пример расчета спектра излучения газоразрядной лампы высокого давления № 3
при ширине щели $a=0,1$ мм

n°	$\lambda, \text{нм}$	$\gamma(\lambda)$	$d\lambda/dl$	i_ϕ	$\varphi(\lambda)$
1	2	3	4	5	6
300	368	0,65	4,24	4	0,24
350	375	0,70	4,52	5	0,26
400	380	0,75	4,72	6	0,27
450	390	0,78	5,16	8	0,32
500	395	0,80	5,39	10	0,38
550	400	0,83	5,63	18	0,62
560	402	0,83	5,72	50	1,17
570	403	0,84	5,77	150	5,01
610	404	0,84	5,82	100	3,30
620	405	0,85	5,87	45	1,46
650	406	0,86	5,92	35	1,11
700	410	0,87	6,12	30	0,91
750	412	0,88	6,22	16	0,47
800	413	0,89	6,27	11	0,32
850	415	0,90	6,38	18	0,51
900	420	0,91	6,64	25	0,67
950	421	0,92	6,69	15	0,40
1000	425	0,93	6,91	20	0,50
1050	428	0,94	7,10	30	0,73
1100	430	0,95	7,20	50	1,18
1110	432	0,95	7,31	80	1,85
1120	433	0,95	7,36	150	3,47
1180	437	0,96	7,60	120	2,66
1190	438	0,96	7,66	70	1,54
1200	440	0,97	7,68	50	1,10
1250	445	0,98	8,10	28	0,57
1300	450	1	8,40	20	0,40
1350	455	0,98	8,72	35	0,66
1400	458	0,96	8,91	20	0,38
1450	460	0,95	9,05	24	0,45
1500	465	0,94	9,40	18	0,33
1550	468	0,92	9,60	16	0,30
1600	470	0,90	9,70	18	0,33
1650	478	0,88	10,31	18	0,32
1700	480	0,86	10,45	20	0,36
1750	485	0,84	10,83	20	0,36
1800	490	0,83	11,21	34	0,60
1850	495	0,82	11,61	25	0,43
1900	500	0,80	12,01	18	0,30
1950	510	0,79	12,85	20	0,32
2000	515	0,78	13,30	30	0,47
2050	520	0,76	13,73	45	0,70
2100	525	0,75	14,20	50	0,76
2130	527	0,74	14,36	70	1,10
2140	528	0,70	14,46	150	2,40
2265	545	0,68	16,10	150	2,21
2300	555	0,62	17,13	70	0,07
2350	560	0,60	17,66	55	0,84
2360	562	0,59	17,87	58	1,90
2370	564	0,58	18,10	65	1,00
2380	566	0,57	18,31	80	1,24
2385	568	0,56	18,53	120	1,70
2450	580	0,56	19,88	100	1,45
2500	595	0,52	21,80	55	0,80
2550	600	0,50	22,33	30	0,43
2600	615	0,45	24,30	25	0,37