

Лабораторная работа №8
**ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЙ
СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ
СВЕТА**

Цель работы: Изучение спектров лампы накаливания, полупроводникового лазера, красного светофильтра; светодиодных ламп с разной цветовой температурой; качественный спектральный анализ газовой смеси в линейных люминесцентных и компактных энергосберегающих лампах.

Общие сведения

Под эмиссионным спектральным анализом понимают метод исследования химического состава вещества по спектру испускания атомов или ионов. Подробно основы спектрального анализа рассмотрены в [22].

Различают качественный и количественный спектральный анализ. Качественный анализ состоит в обнаружении и идентификации в спектре испускания анализируемого вещества спектральных линий, принадлежащих искомому элементу, количественный анализ основан на связи между интенсивностью спектральных линий и концентрацией данного вида атомов в веществе.

Спектральный анализ обладает быстротой определения и высокой чувствительностью (определяются примеси концентрацией 10^{-5} - 10^{-6} %), дает возможность определять состав образцов очень малой массы (десятки мкг). Это основной метод контроля в машиностроении, металлургии, геологии, атомной индустрии, астрофизике и др.

Спектральный анализ основан на индивидуальности спектров атомов и ионов. Изолированные атомы в виде разреженного газа или паров металла испускают спектр, состоящий из различных спектральных линий (линейчатый спектр). Спектр отражает свойства атомной структуры данного элемента: число линий, их расположение, интенсивность, характерны для каждого элемента. Это обстоятельство и лежит в основе спектрального анализа.

Положение линий в атомных спектрах может быть объяснено только на основе квантовых представлений. Квантовая механика показывает, что энергия электронов в атоме может принимать только дискретный набор значений. Состояния с определенными значениями энергии называются уровнями. Спектральные линии возникают при переходе электронов с одного уровня на другой (более низкий), энергия кванта равна разности энергий этих двух уровней:

$$h\nu_{mn} = h \frac{c}{\lambda_{mn}} = W_m - W_n, \quad (8.1)$$

где $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, ν – частота, λ – длина волны спектральной линии.

Наиболее простую картину образуют уровни атома водорода и водородоподобных систем. Спектр их излучения состоит из серий линий и описывается полученной эмпирически обобщенной формулой Ридберга-Бальмера

$$\frac{1}{\lambda} = Z^2 R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (8.2)$$

где Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева, $R = 1,0975 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга, n и m – целые числа.

Формула (8.2) правильно описывает экспериментально наблюдаемые значения длин волн спектральных линий водородоподобных систем. Поиски физического смысла этой формулы привели к созданию квантовой теории атома. Однако расчет энергетического спектра многоэлектронных атомов, представляющих собой систему многих электронов в кулоновском поле ядра, является сложной задачей. Поэтому для спектрального анализа используют экспериментально наблюдаемые спектры, а для расшифровки спектров пользуются таблицами спектральных линий, например, [21].

Процедура спектрального анализа состоит из следующих операций. Это отбор и подготовка пробы, возбуждение спектра, регистрация спектра с помощью спектрального прибора и анализ спектра - нахождение характерных линий определяемых элементов.

В данной работе предлагается с помощью монохроматора УМ-2 изучить спектр излучения лампы накаливания, экспериментально определить границы видимого диапазона, длину волны индуцированного излучения полупроводникового лазера, сравнить ширину линии лазерного излучения с шириной пропускания красного светофильтра и провести частичный качественный анализ газовой смеси различных газоразрядных ламп, используемых для освещения помещений.

К основным световым параметрам источников света относятся:

Световой поток, излучаемый источником

Световая отдача – световой выход с каждого ватта потреблённой электрической энергии.

Цветовая коррелированная температура (correlated color temperature, CCT) – температура черного тела, при которой цветность его излучения одинакова с цветностью излучения исследуемого тела при его истинной температуре. Цветовая температура гораздо выше истинной температуры излучателя. Дается производителем для определения цвета источника. Имеет три основные градации:

тепло-белая (warm white) (2700 – 3500 К);

естественно-белая/нейтрально-белая (natural white) (3500 – 5000 К);

холодная белая (дневная) (cool white) (5000 – 7000 К).

Для освещения жилых помещений, преимущественно используют излучатели тёплого света (от 2700 К до 3000 К) и в некоторых случаях нейтрального (от 3500 К до 4000 К).

Индекс цветопередачи (color rendering index, CRI) – характеризует способность источника передавать правильно цвет предметов по сравнению с солнечным светом. Принято считать, что индекс цветопередачи солнца (точность восприятия освещаемых им цветов) является идеальным, т.е. CRI Солнца равен 100 единицам.

1. **Лампа накаливания.** Традиционным и пока широко используемым источником освещения является лампа накаливания, в которой излучение является следствием нагрева вольфрамовой нити до высокой температуры проходящим через нее электрическим током. На-

греваясь, нить начинает светиться. Температура нити, которая является также цветовой температурой светового излучения, приблизительно равна 2700 К. Спектр излучения лампы накаливания сплошной.

К основным недостаткам ламп накаливания относятся низкий коэффициент полезного действия – на долю светового излучения приходится в лучшем случае 4% от потребляемой мощности, значительное выделение тепла, что предъявляет дополнительные требования к термостойкости арматуры светильников.

С целью энергосбережения во всем мире происходит отказ от традиционных лампочек накаливания, который регламентируется законами о запрещении их использования. С 2009 по 2012 год по таким законам традиционные лампы накаливания запрещены в Великобритании, Евросоюзе, Австралии, США и России. С 2012 поэтапный план по отказу от ламп накаливания осуществляет Китай. Во всех сферах жизнедеятельности человека вместо лампочек накаливания должны использоваться лампочки нового поколения, сделанные на основе энергосберегающей технологии – люминесцентные и светодиодные.

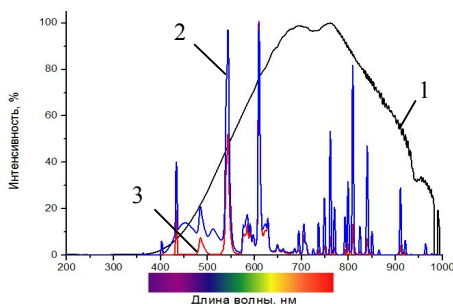
2. Газоразрядные источники света — люминесцентные лампы – представляют собой стеклянные баллоны, наполненные парами ртути и инертным газом (как правило, аргоном). Газовый разряд происходит в парах ртути при низком давлении (0,8–1,33 Па) и генерирует, главным образом, невидимое УФ-излучение. Преобразование УФ-излучения в видимый свет реализуется люминофором, которым покрыты внутренние стенки лампы. Меняя тип люминофора, можно менять спектральный состав люминесценции и, тем самым, цветность света лампы.

В излучении люминесцентных ламп на фон непрерывного спектра свечения люминофора накладывается линейчатый спектр видимого излучения ртути. Так как излучение в области длинных волн ($\lambda > 760$ нм) мало, то тепловое излучение незначительно, поэтому их называют лампами холодного света.

Наибольшее распространение получили линейные лампы с цилиндрическими трубками с мощностью 15–80 Вт. Однако эти лампы имеют

большие габаритные размеры.

В 80-ых годах прошлого столетия были созданы **компактные люминесцентные энергосберегающие лампы**, которые вырабатывают свет по такому же принципу, как и обычные люминесцентные лампы, но по размерам идентичны стандартным лампам накаливания. На рис. 8.1 представлены спектры излучения лампы накаливания и двух компактных люминесцентных ламп с разной цветовой температурой, под шкалой



представлен сплошной спектр, который «видит» человек.

При производстве компактных люминесцентных ламп используются трех- и пятислойные люминофоры из редкоземельных элементов. Такие люминофоры значительно дороже тех, что используются в обычных линейных люминесцентных лампах, и могут работать при более высоких поверхностных плотностях облучения. За счет этого диаметр разрядной трубки лампы значительно уменьшен. Длина лампы была уменьшена до размеров обычной лампочки путем разделения разрядной трубки на несколько коротких участков, соединенных между собой.

Выпускаются компактные люминесцентные лампы с различной коррелированной цветовой температурой (2700 К, 4000 К, 4500 К, 6500 К), которая зависит от состава люминофора.

Недостатками люминесцентных ламп является наличие в стеклянных колбах и трубках ядовитых паров ртути, что требует соблюдения специальных условий по хранению и утилизации отработавших ламп.

3. **Светодиодные лампы** – это новое поколение энергосбере-

гающих ламп, обладающие большей надежностью и длительностью срока службы по сравнению с лампочками накаливания и компактными люминесцентными лампочками. В качестве источника света в лампах используются светодиоды – полупроводниковые приборы с электронно-дырочным переходом, создающие оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. Светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение. По-английски светодиод называется light emitting diode, или LED.

Светодиодная лампа состоит из цоколя, встроенного блока питания постоянного тока и специально спроектированной мощной платы из полупроводников. Цоколи спроектированы под современные стандарты и ГОСТы, блок питания обеспечивает непрерывное световое излучение.

Спектр излучения светодиодных ламп значительно отличается от спектра люминесцентных ламп (рис. 8.2). Он состоит из двух компонент: синей линии, генерируемой диодом, и второй – непрерывной компоненты, испускаемой люминофором (флуоресцентным красителем), который наносится на светодиоды и заливается сверху защитным слоем полимера. Соотношение между синим цветом диода и полосой эмиссии (испускания) люминофора определяет цветовую температуру лампы. Выпускаются светодиодные лампы с различной коррелированной цветовой температурой. В таблице 8.А.1 приведены некоторые сравнительные характеристики описанных источников освещения.

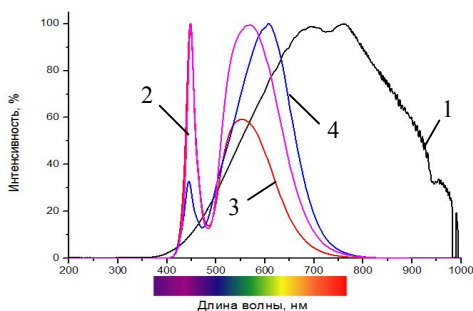


Рис. 8.2. Спектр излучения лампы накаливания – 1 и светодиодных ламп – 2, 3 и 4.

Порядок выполнения работы

1. Изучение призмного монохроматора УМ-2 и его градуировка.

1.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия монохроматора УМ-2. Включить подсветку шкалы окуляра, фокусировкой окуляра добиться резкого изображения указателя.

1.2 Произвести градуировку монохроматора УМ-2 согласно методике, описанной в лабораторной работе №7.

2. Изучение спектра испускания лампы накаливания

2.1 Установить на оптическую скамью источник в виде лампы накаливания (рис. 8.3). Рассмотреть ее непрерывный спектр в окуляр монохроматора.

2.2 Определить диапазон видимого спектра, измерив показания барабана, соответствующие границам спектра в фиолетовой и красной областях. С помощью градуировки определить соответствующие длины волн.

2.3 Сравнить границы видимого спектра со средним значением 380-760 нм.

1. Сравнение спектра пропускания красного светофильтра с линией излучения полупроводникового лазера

3.1 Установить на оптическую скамью монохроматора полупроводниковый лазер, излучающий в видимой области. Вращая барабан, найти линию индуцированного излучения, записать соответ-



Рис. 8.3. Лампа накаливания и ее спектр испускания.

вующее показание отсчетного барабана. Определить длину волны индуцированного излучения.

- 3.2 Установить сбоку от монохроматора источник белого света и красный светофильтр. Опустить призму сравнения, рассмотреть в окуляр одновременно линию индуцированного излучения лазера и сплошной спектр красного светофильтра (рис. 8.4). Записать показания барабана, соответствующие границам полосы пропускания светофильтра, и определить соответствующие длины волн. Сравнить ширину линии индуцированного излучения лазера с шириной спектра пропускания красного светофильтра и сделать из этого сравнения вывод.

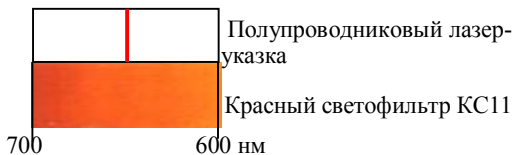


Рис. 8.4. Линия индуцированного излучения полупроводникового лазера и спектр пропускания красного светофильтра

2. Изучение спектров испускания и частичный качественный анализ белой и розовой линейных люминесцентных ламп
- 4.1. Установите на оптической скамье контролируемый источник (КИ) №1 – белую газоразрядную лампу (рис 8.5). Поднимите вверх призму сравнения и рассмотрите спектр линейной лампы дневного света. Запишите в таблицу 8.1 показания барабана, соответствующие наблюдаемым линиям, и определите по градуировке их длины волн. Сравните полученные результаты с данными, приведенными в таблице 8.А.2.
- 4.2. Установите на оптической скамье ртутную лампу (эталон), сбоку от монохроматора установите КИ №1. Опустите призму сравнения, рассмотрите в окуляр одновременно два спектра – белой линейной газоразрядной и ртутной ламп. Из сравнения спектров сделайте вывод о наличии паров ртути в исследуемой газовой смеси.

- 4.3. Установите на оптической скамье неоновую лампу. Проведите исследования, аналогичные описанным в п. 4.2. Сделайте соответствующие выводы.
- 4.4. Установите сбоку от монохроматора КИ №2 (розовую газоразрядную лампу) и изучите ее спектр. Запишите в таблицу 8.2 деления, соответствующие наблюдаемым линиям, и определите по градуировке длины волн, им соответствующие. Сравните полученные результаты с данными, приведенными в таблице 8.А.2.
- 4.5. Сравните наблюдаемый спектр со спектром ртутной и неоновой

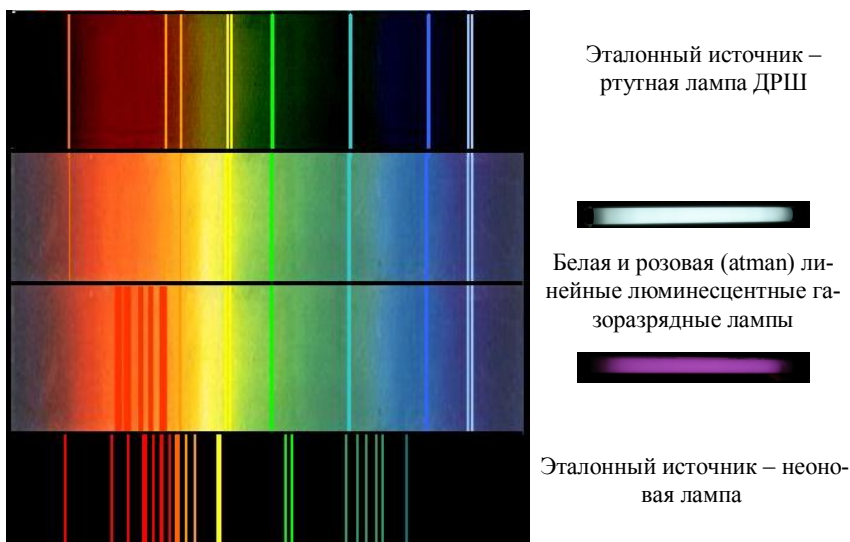


Рис. 8.5. Спектры испускания эталонных и контролируемых источников №1 и №2.

ламп с помощью призмы сравнения, сделайте выводы о наличии в данной газовой смеси неона и паров ртути.

- 4.6. Убедитесь, что *различие в цвете белой и розовой линейных люминесцентных ламп связано с разным составом газовой смеси в них.*

3. Изучение спектров испускания и частичный качественный анализ на наличие паров ртути белой (КИ №3) и желтой (КИ №4) компактных энергосберегающих люминесцентных ламп
- 5.1 Установите на оптической скамье ртутную лампу (эталон), сбоку от монохроматора установите КИ №3 – белую компактную энергосберегающую лампу (рис. 8.6). Опустите призму сравнения, рас-

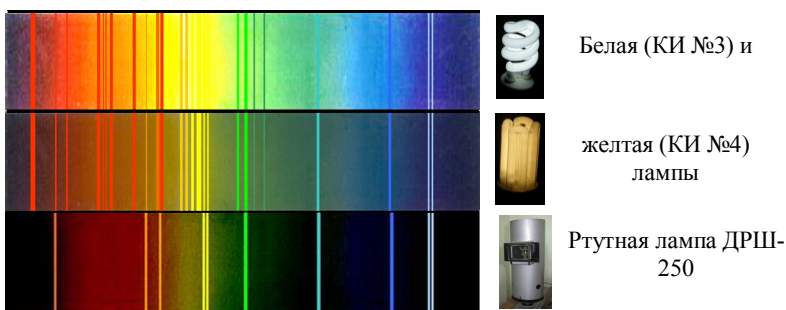


Рис. 8.6. Спектры испускания белой и желтой компактных энергосберегающих люминесцентные лампы и эталонного источника – ртутной лампы ДРШ-250

смотрите в окуляр одновременно два спектра – КИ №3 и эталонной ртутной лампы. Из сравнения линейчатых спектров сделайте вывод о наличии паров ртути в исследуемой газовой смеси.

- 5.2 Установите на оптической скамье неоновую лампу (эталон). Из сравнения линейчатых спектров неона и КИ №3 в красной области сделайте вывод о наличии неона в исследуемой газовой смеси.
- 5.3 Повторите действия, описанные в п. 5.2 и 5.3, установив сбоку от монохроматора КИ №4 – желтую компактную энергосберегающую. Из сравнения линейчатых спектров сделайте вывод о наличии паров ртути и неона в исследуемой газовой смеси
- 5.4 Установите на оптической скамье контролируемый источник №3, а сбоку от монохроматора – контролируемый источник №4. Сравни-

те линейчатые и сплошные спектры источников. Убедитесь в том, что их *линейчатые спектры одинаковые, а отличие в цвете излучения связано с различием сплошного спектра люминесценции.*

4. Изучение спектра испускания светодиодных ламп

- 6.1 Установите на оптической скамье КИ №5 – белую светодиодную лампу, а сбоку от монохроматора – КИ №6 – желтую светодиодную лампу (рис.8.7). Убедитесь в том, что оба источника имеют только сплошные спектры испускания, как и лампа накаливания.

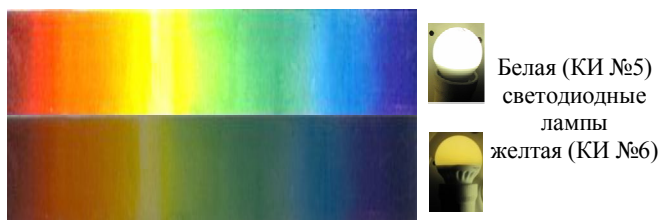


Рис. 8.7. Спектры испускания КИ №5 и №6.

- 6.2 Сравните спектры испускания и убедитесь в том, что *отличие в цвете излучения связано с различием сплошного спектра люминесценции*: для желтой лампы в сплошном спектре больше доля голубого и зеленого цвета.

Таблица 8.1. – Спектр испускания КИ №1

| | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| b° , дел | | | | | | | | |
| $\lambda_{\text{к}}$, нм | | | | | | | | |
| λ , нм [21] | | | | | | | | |
| газ | | | | | | | | |

Таблица 8.2 – Спектр испускания КИ №2

| | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| b° , дел | | | | | | | | |
| $\lambda_{\text{к}}$, нм | | | | | | | | |
| λ , нм [21] | | | | | | | | |
| газ | | | | | | | | |

Приложение А.

Таблица 8.А.1. Некоторые характеристики источников света

| |  |  |  |
|--|---|---|---|
| | Лампа накаливания | Люминесцентная энергосберегающая лампа | Светодиодная лампа |
| Срок службы | 50 шт | 5 шт | 1шт |
| Мощность | 50 Вт | 11 Вт | 5 Вт |
| Световой поток | 470 лм | 500 лм | 470 лм |
| Световая отдача | 9 лм/Вт | 45 лм/Вт | 94 лм/Вт |
| Индекс цветопередачи ($T_{\text{цв}} = 2700 \text{ К}$) | 100 | 82 | 93 |

Таблица 8.А.2. – Спектры испускания газов, λ , нм [21]

| Азот | Аргон | Водород | Гелий | Кислород | Ртуть | Неон |
|-------|-------|---------|--------|----------|-------|--------|
| 575,4 | 394,9 | 410,17 | 388,85 | 520 | 404,7 | 453,78 |
| 580,3 | 404,4 | 434,04 | 402,62 | 530 | 407,8 | 470,44 |
| 585,3 | 415,9 | 434,05 | 412,08 | полоса | 435,8 | 471,53 |
| 590,4 | 416,4 | 486,128 | 438,7 | 555 | 491,6 | 475,3 |
| 595,7 | 418,2 | 486,136 | 447,1 | 564 | 546,1 | 482,7 |
| 601,2 | 419,0 | 656,271 | 471,3 | полоса | 577 | 488,5 |
| 632,1 | 419,1 | 656,285 | 492,2 | | 579 | 495,7 |
| 639,3 | 420,1 | | 501,57 | | 612,3 | 534,1 |
| 646,7 | 425,1 | | 587,56 | | 623,2 | 540,06 |
| 654,3 | 425,9 | | 667,81 | | 690,7 | 585,25 |
| 662,2 | 426,6 | | 706,52 | | | 588,19 |
| 670,3 | 427,2 | | | | | 603,0 |
| 678,7 | 430,0 | | | | | 607,4 |
| | 433,4 | | | | | 614,31 |
| | 433,5 | | | | | 616,4 |
| | | | | | | 621,7 |
| | | | | | | 626,65 |
| | | | | | | 633,4 |
| | | | | | | 638,3 |
| | | | | | | 640,22 |
| | | | | | | 650,5 |
| | | | | | | 659,9 |
| | | | | | | 692,9 |

Контрольные вопросы.

1. Что понимают под эмиссионным спектральным анализом?
2. На чем основан спектральный анализ?
3. Почему спектры атомарных газов являются линейчатыми?
4. Каким соотношением описываются длины волн в линейчатых спектрах атомов?
5. Какие существуют основные световые параметры источников света?
6. Что такое цветовая коррелированная температура?
7. Почему во всем мире происходит отказ от лампочек накаливания?
8. Зачем в работе используется ртутная лампа? неоновая лампа?
9. Чем объясняется различие в цвете белой и розовой линейных люминесцентных ламп?
10. Чем объясняется различие в цвете белой и желтой компактных люминесцентных ламп?