

## ANALIZĂ SPECTRALĂ A SURSELOR DE LUMINĂ CU SPECTROMETRUL DIGITAL PS-2600

Ivan HOROZOV, O.P. „Video Acces”, liceul „Svetoci”, mun. Chișinău

Igor POSTOLACHI, dr., conf. univ., catedra fizică teoretică și experimentală

<https://orcid.org/0000-0002-1752-5386>

**Rezumat.** În această lucrare este realizată cercetarea și analiza spectrală a diferitor surse de lumină cu utilizarea spectrometrului digital PASCO2600.

**Cuvinte cheie:** analiză spectrală, spectrometru PASCO-2600, LED.

## SPECTRAL ANALYSIS OF LIGHT SOURCES WITH THE SPECTROMETER (VIS) • PS-2600

**Abstract.** In this paper, research and spectral analysis of different light sources is carried out using the PASCO2600 digital spectrometer.

**Keywords:** spectral analysis, PASCO-2600 spectrometer, LED.

### 1. Спектральная классификация источников света

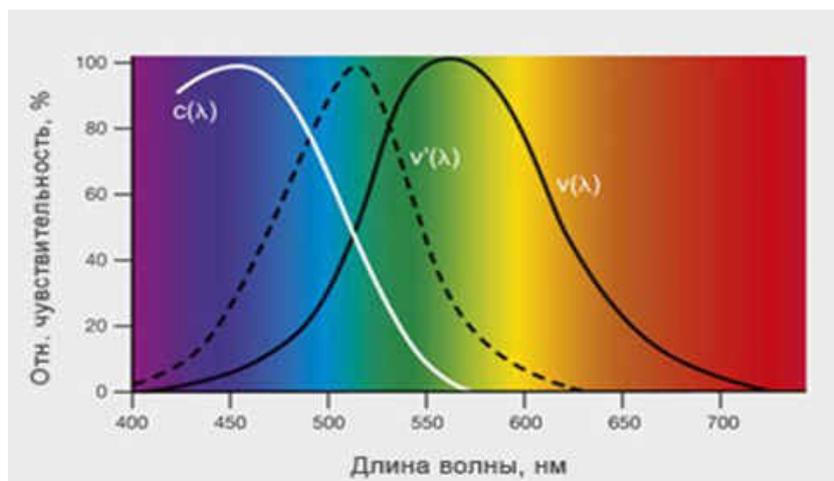
Основной характеристикой любого источника света является его спектр излучения. Большинство людей проводят свой день в условиях искусственного освещения. При этом в течение дня человек может испытывать как всплески активности, так и усталость. Это происходит потому, что наши биологические часы и свет неразрывно связаны.

Некачественный свет негативно воздействует на зрительный аппарат, и вызывает переутомление, дискомфорт и снижает работоспособность.

Свет воздействует на наши биоритмы. Известно, что при естественном освещении активность человека выше, чем при искусственном свете. В солнечную погоду люди имеют более высокую работоспособность, чем в пасмурный день. Зимой, когда день короче, мы менее продуктивны, чем летом.

В 2001-2002 гг. ученые из Филадельфийского университета имени Томаса Джефферсона (США) – проф. G.C. Brainard и K. Thapan опубликовали результаты своих исследований, позволившие определить  $s(\lambda)$  – специальную функцию спектральной чувствительности новых фоторецепторов глаза (дополнительно к палочкам и колбочкам). Эти рецепторы, не влияющие на процесс зрения, наиболее чувствительны (актиничны) к голубым излучениям в диапазоне длин волн  $\lambda = 410 - 460$  нм. Причем максимальная актиничность была зафиксирована для  $\lambda = 460$  нм.

Новый тип светочувствительных клеток сетчатки, который был открыт в начале 2000 годов, ответственен за регуляцию суточной ритмики жизнедеятельности организма человека. Т.е.  $(\lambda)$  – является спектральной кривой процесса подавления выброса **мелатонина** – «гормона усталости».



**Рисунок 1. Кривые относительной световой чувствительности глаза человека:  $V(\lambda)$ – для дневного зрения,  $V'(\lambda)$  – для ночного зрения;  $c(\lambda)$  - кривая спектральной эффективности циркадного действия – процесса подавления выброса мелатонина [1]**

Для определения характеристик спектрального испускания искусственного освещения был взят аппарат производства фирмы PASCO 2600. Время сканирования мало, что позволяет учащимся собирать спектры поглощения в видимом спектре менее чем за секунду.

## 2. Беспроводной спектрометр PASCO

Беспроводной спектрометр PASCO предназначен для экспериментов в спектроскопии. Данный прибор подключается через Bluetooth или USB к планшету или компьютеру и одновременно позволяет регистрировать спектр излучения, данные об интенсивности, поглощении и пропускании излучения.

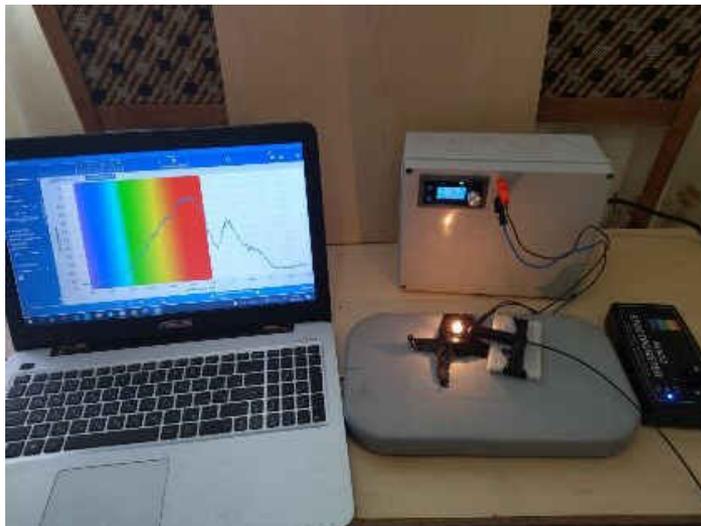
Излучение от источника света проходит через кювету с раствором и дифракционную решётку, далее собирается на ПЗС-матрице для дальнейшего анализа. Обработка данных происходит в программном обеспечении PASCO Spectrometry Software [2].



**Рисунок 2. Спектрометр фирмы PASCO 2600**

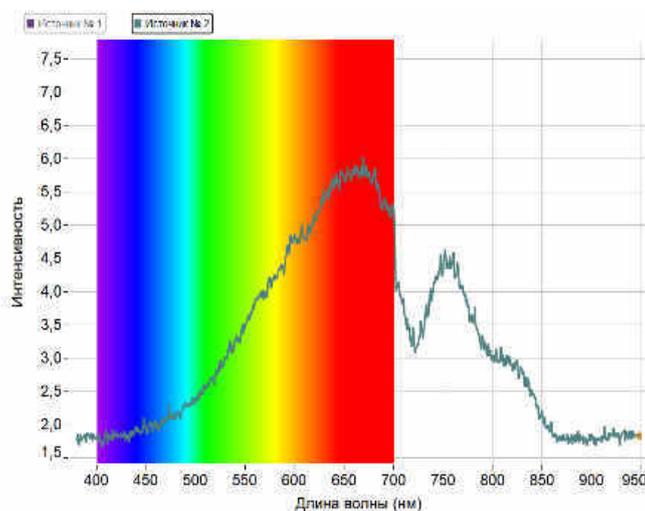
### 3. Спектр испускания лампы накаливания

Основным элементом лампы накаливания это вольфрамовая нить, которая нагревается при протекании через него электрического тока. При нагреве вольфрамовой нити около 2000 К начинает излучать видимый свет. Тепло, которое генерируется в нитью, посредством излучения переносится в окружающую среду, конвекции и теплопроводности.



**Рисунок 3. Экспериментальная установка для снятия спектра излучения лампы накаливания**

Как видно из рис.3. в спектре испускания лампы накаливания присутствует большая доля красного света, и инфракрасного излучения. Эмиссия "уходит" даже в инфракрасную часть электромагнитного спектра, это приводит к потере энергии и снижению общей эффективности лампы.



**Рисунок 4. Спектр испускания в видимом диапазоне для типовой лампы накаливания при различном питании.  $U=5V$ ,  $I=183mA$**

Лампы накаливания излучают очень тёплые тона (цветовая температура около 2600-2700К) и имеют высочайший уровень передачи цвета ( $R_a=100$ ). У нее низкая световая отдача, преобладание в спектре излучений желто-красной части спектра, большая зависимости характеристик ламп накаливания от подводимого напряжения (так как с повышением напряжения возрастает температура нити накала, и, как следствие, свет становится белее, быстро возрастает световой поток и несколько медленнее световая отдача, резко уменьшается срок службы).

Световая отдача ламп накаливания составляет около 10-15 Лм/Вт. Преобразования энергии расходуется в большей степени на получение тепла, нежели на выработку света. Ресурс работы у данных источников света также невелик – около 1000 часов.

#### 4. Спектр испускания галогеновой лампы

Галогенная лампа — это лампа накаливания, выполненная в виде кварцевой колбы, наполненной инертным газом с добавкой галогенов или их соединений, обеспечивающих замедленное испарение тела накаливания. Первые галогенные лампы появились в 1959 году в США.

Как видно из рис.4, спектр галогеновых ламп сильно уходит в инфракрасный спектр (тепло), что подтверждается и практикой — галогенные лампы очень сильно нагреваются и тратят много полезной энергии именно на выделение тепла, а не на освещение.

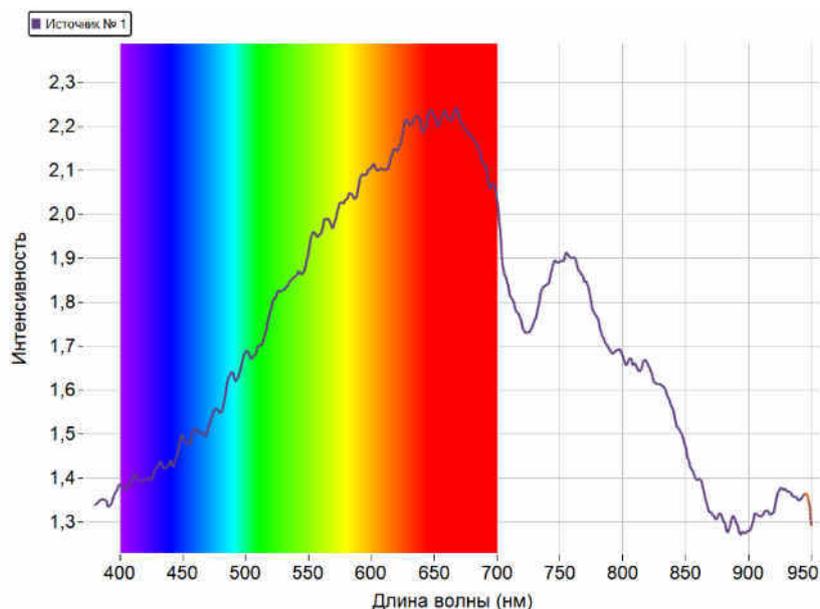


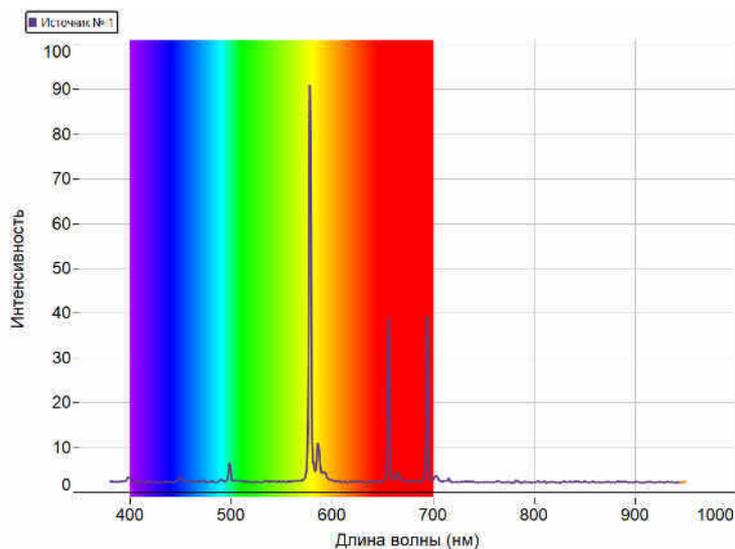
Рисунок 5. Спектр испускания галогеновой лампы

Спектр определяет и световую температуру, которая варьируется от 3500 К для галогеновых (самый желтый или теплый свет) до 5000 К.

Галогеновые лампы являются типом ламп, которые основаны на эффекте свечения спирали в газовой среде. Для их изготовления используются специальные сорта кварцевого стекла, которые обеспечивают многократное отражение светотеплового излучения внутрь колбы. Световая отдача таких ламп держится на уровне 30 Лм/Вт. Цветовая температура колеблется от 3000 К для подавляющего числа типовых моделей и до 4200 К для лампочек дневного света. У галогеновых ламп угол рассеяния без отражателей невелик, потому они чаще применяются для фокусировки света на отдельных объектах. Срок службы превышает аналогичный показатель предыдущего типа в 2-4 раза, то есть составляет около 2000-4000 часов.

## 5. Спектр испускания люминесцентной лампы

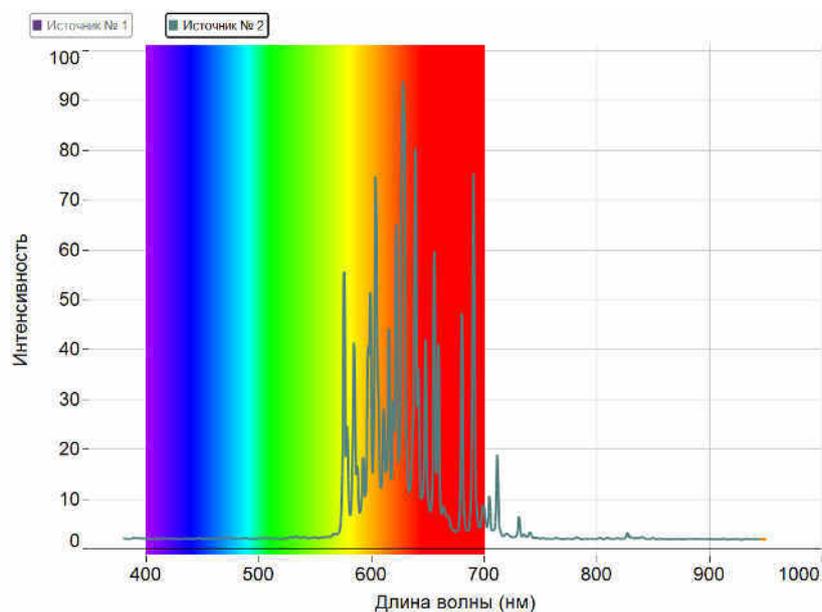
Люминесцентная лампа состоит из длинной стеклянной трубки, внутри которой содержится смесь ртути низкого давления и благородного газа типа аргона. Внутри этой трубки образуется неравновесный разряд (плазма). Это означает, что температура электронов отличается от температуры окружающей газовой смеси. Температура электронов может быть порядка 20 000 К, но температура газа около 300К. Поскольку плазма не находится в равновесии, ударные электронные реакции изменяют химический состав газовой смеси в соответствии с процессами столкновений. Эти столкновения могут приводить к появлению электронно возбужденных нейтральных частиц, которые впоследствии могут вызвать спонтанное излучение фотонов на определенных длинах волн.



**Рисунок 6. Спектр испускания лампы низкого давления, заполненной гелием**

На рис.5, мы наблюдаем следующее: квантование происходит либо за счет прямого излучения плазмы, либо за счет люминофоров, но для человеческого глаза излучаемый свет кажется белым.

В зависимости от класса, такие лампы обеспечивают либо среднюю цветопередачу  $R_a=80$  при световой отдаче до 104 Лм/Вт, либо же  $R_a=90-98$  при светоотдаче около 88 Лм/Вт.



**Рисунок 7. Спектра испускания лампы низкого давления, заполненной неоном**

Особенностью люминесцентных ламп является необходимость использования пускорегулировочных устройств. Тем не менее, их сильной стороной является долговечность – в офисах такие лампы могут успешно работать свыше 20 тыс. часов.

Также очень значительный минус флуоресцентных ламп — это то, что они часто вызывают проблемы у людей, страдающих расстройством зрения, называемым синдромом Ирлен. Кроме того, люди часто жалуются на головные боли и мигрени при длительном воздействии флуоресцентных ламп.

## **6. Спектр испускания светодиодных ламп**

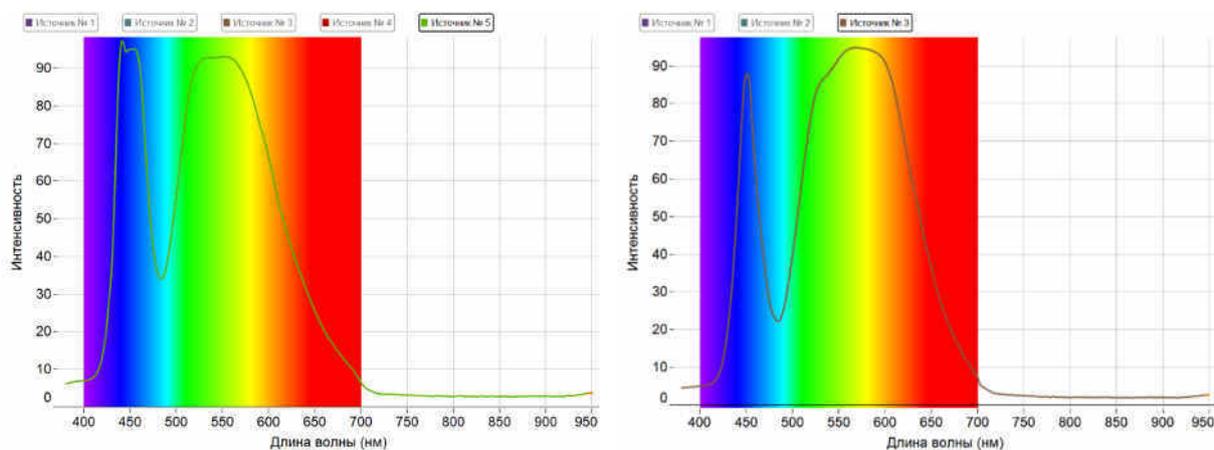
Светодиоды (LED) инициировали революцию в светотехнической индустрии: зачастую их считают гораздо более эффективными с точки зрения светоотдачи и более долговечными, чем традиционные лампы на основе технологии накаливания. Светодиодные лампы работают на 10-20% мощности, необходимой для работы лампы накаливания сопоставимой яркости. Также считается, что срок службы более 25 000 часов, что значительно больше 1000 часов для лампы накаливания.

Как говорилось выше принцип работы светодиодов следующая: светодиоды — это полупроводниковые устройства, которые излучают свет, когда электроны зоны проводимости переходят через запрещенную зону в следствие излучательной

рекомбинации с дырками в валентной зоне. В отличие от ламп накаливания светодиоды излучают свет в очень узком диапазоне длин волн.

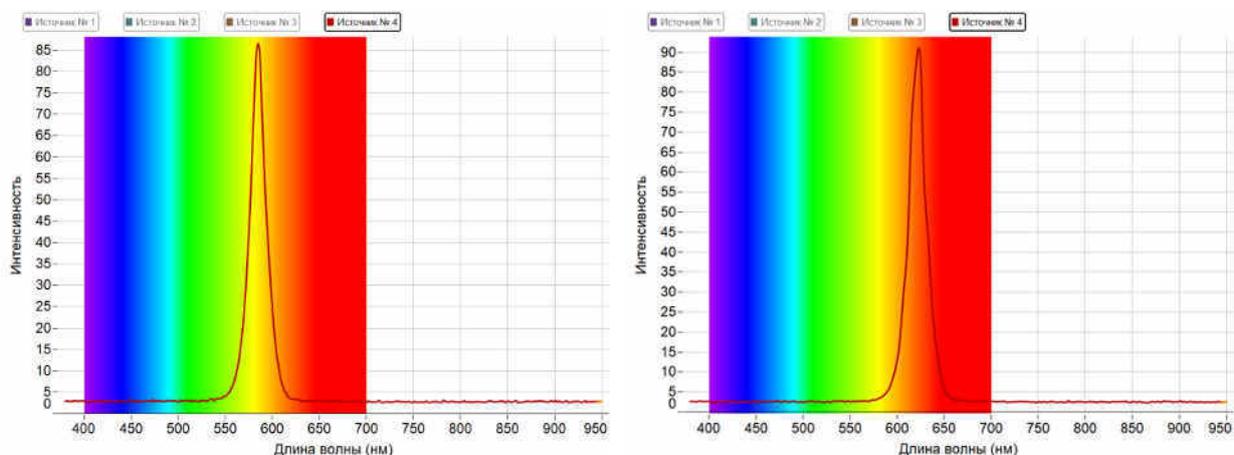
Первоначально в 1950-х и 1960-х годах были изобретены красные, зеленые и желтые светодиоды. Но именно изобретения синего светодиода привело к созданию новых эффективных источников белого света. Синий свет, излучаемый такими светодиодами, может использоваться для стимулирования более широкого спектра испускания от слоя люминофора вокруг корпуса светодиода или может быть непосредственно скомбинирован с красными и зелеными светодиодами для создания белого света.

Как видно на рис.7, спектры светодиодов с желтым люминофором приближаются к спектру естественного дневного света. В нем больше интенсивность синего света, чем в лампе накаливания, и почти вся мощность испускается в видимом спектре.



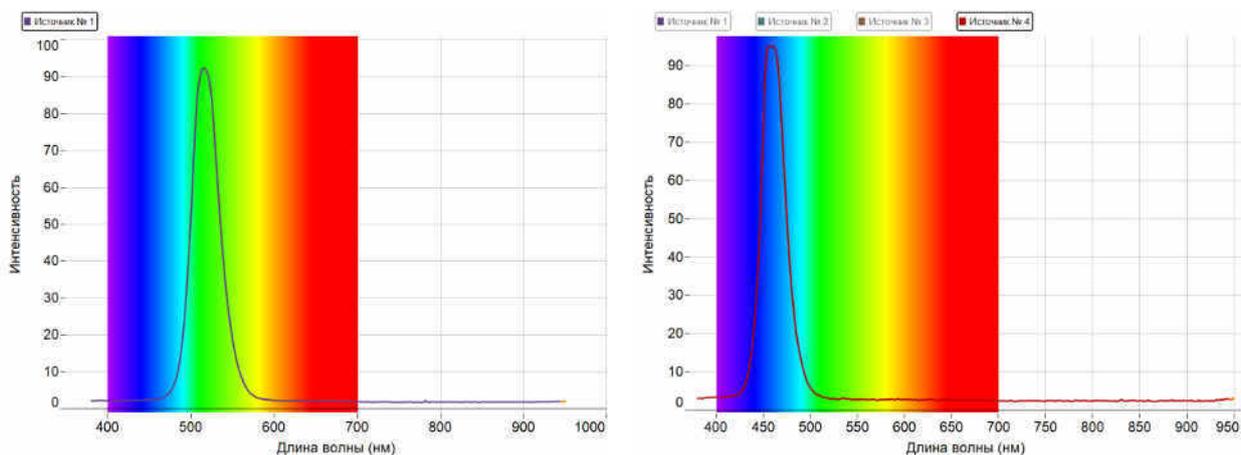
**Рисунок 8. Спектры испускания белого светодиода и LED ленты**

Для сравнения мы сняли спектры испускания светодиодов различного цвета.

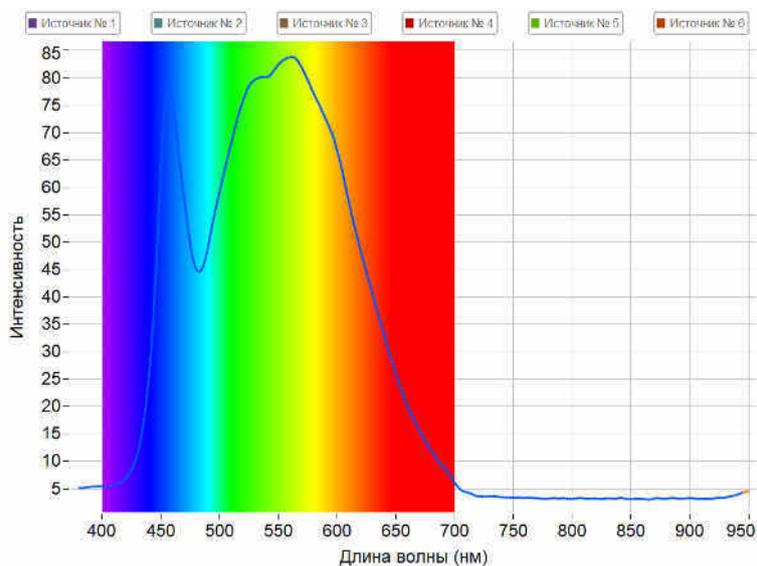


**Рисунок 9. Спектры испускания желтого и красного светодиода**

Индекс цветопередачи таких источников освещения колеблется от 60  $R_a$  (самые бюджетные экземпляры) до 95  $R_a$  (наиболее качественные источники света от ведущих производителей). Светодиодная лампа нейтрального света мощностью 10 Вт излучает световой поток примерно в 900-950 лм. Значит, её светоотдача будет равна 90-95 лм/Вт. Это примерно в 7,5 раз больше, чем у аналога со спиралью в 75 Вт с таким же световым потоком. Величина светового потока также зависит от цветовой температуры. В случае со светодиодами принято указывать световой поток для нейтрального света (4500°K).



**Рисунок 10. Спектры испускания зеленого и синего светодиода**



**Рисунок 11. Спектр испускания LED лампы**

Чем выше цветовая температура, тем больше световой поток и наоборот. Разница в светоотдаче между однотипными светодиодными лампами теплого (2700°K) и холодного (5300°K) свечения может достигать 20%.



**Рисунок 12. Виды цветовых температур белого цвета**

### **Сравнение спектров излучения различных источников света**

При сравнении спектры испускания всех лам мы видим, что ни одна из лам точно не воспроизводит естественный дневной свет, также видно, что светодиодная лампа является лучшим из возможных приближений. Спектр ограничен видимым диапазоном, что делает устройство очень эффективным.

На основе построенных спектров испускания для различных источников света, мы можем сделать вывод, что сочетание светодиодных лам наиболее точно воспроизводят естественный дневной свет.

С другой стороны, зная величины  $a_{cv}$  - коэффициента **циркадной эффективности-биологического действия излучения** лампы, проектировщик может целенаправленно совмещать различные источники света и так управлять осветительной установкой, чтобы создать в помещении биологически действенную концепцию освещения, которая была бы ориентирована на динамику естественного (дневного) света. Например, люминесцентные лампы с цветовой температурой  $T_{ц} = 8000$  К имеют в своем спектре повышенную долю голубого излучения и по биологическому действию близки к дневному свету ( $a_{cv} \approx 1.0$ ). В так называемых световых потолках такие лампы могут быть скомбинированы с лампами тепло-белого света ( $T_{ц}=3000$  К,  $a_{cv} = 0,3$ ) и с лампами холодного белого света ( $T_{ц} = 6500$  К,  $a_{cv} = 0,9$ ). Тогда, при соответствующей системе управления освещением открывается возможность варьировать цветовой оттенок света –  $T_{ц}$  в широких пределах: от тепло-белого до дневного и обеспечить биологическое воздействие.

При сравнимых уровнях освещенности люминесцентные и светодиодные лампы холодного дневного света также энергоэффективны, как и обычные лампы нейтрально-белого света, но их биологическая активность по меньшей мере в 2 раза больше. Такие лампы с увеличенной голубой компонентой повышают концентрацию внимания, действуют на организм активирующе и могут стабилизировать его внутренние часы.

В вечерние часы, напротив, желательны теплые оттенки освещения, которые способствуют расслаблению и отдыху. Такой теплый («домашний») свет как бы подготавливает организм к ночи, выброс мелатонина не подавляется, облегчается процесс засыпания.

## Выводы

На основе построенных спектров испускания для различных источников света, мы можем сделать вывод, что сочетание светодиодных ламп наиболее точно воспроизводят естественный дневной свет.

*Исследование проводилось в рамках проекта „Metodologia implementării TIC în procesul de studiere a științelor reale în sistemul de educație din Republica Moldova din perspectiva inter/transdisciplinarității (concept STEAM)”, 20.80009.0807.20.*

## Литература

1. <https://www.k-to.ru/ru/interesting/svet/detail.php?ID=608> (Дата обращения 12.09.2022).
2. <https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-2600> (Дата обращения 12.09.2022).