

# ■ ТРАНСПОРТНАЯ ■ ЭНЕРГЕТИКА

▪ (часть II)

▪ Курс лекций для курсантов 2-х курсов

▪ Преподаватели: МИРОШНИЧЕНКО В.А.  
РАДАЕВ А.В.

## Основные понятия и определения

- Свет и излучение
- Световой поток  $\Phi$ .
- Сила света  $I$ .
- Освещенность  $E$ .
- Яркость  $L$ .
- Основные светотехнические формулы
- Световая отдача  $\eta$ .
- Цветовая температура.
- Цветопередача

## Электрическое освещение

- Основные определения и физические понятия
- Современные источники света
- Электрическое освещение на судах

# Электрическое освещение



В светотехнике, как и в любой отрасли науки и техники, существует ряд понятий, характеризующих свойства ламп и светильников в стандартизированных единицах измерения

### **Свет и излучение.**

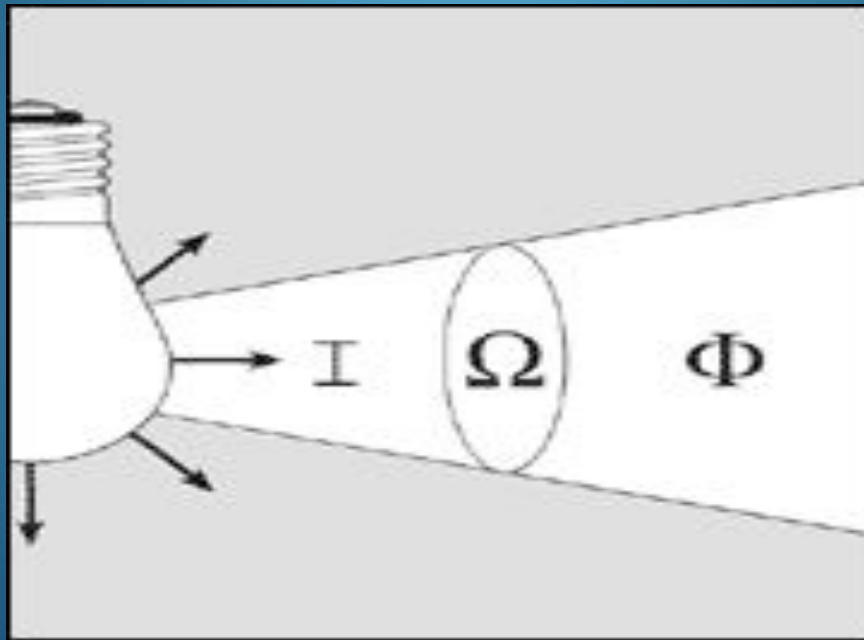
Под светом понимают электромагнитное излучение, вызывающее в глазу человека зрительное ощущение. При этом речь идет об излучении в диапазоне от 360 до 830 нм, занимающем мизерную часть всего известного нам спектра электромагнитного излучения.



# Световой поток $\Phi$ .

Единица измерения: люмен [лм].

Световым потоком  $\Phi$  называется вся мощность излучения источника света, оцениваемая по световому ощущению глаза человека.

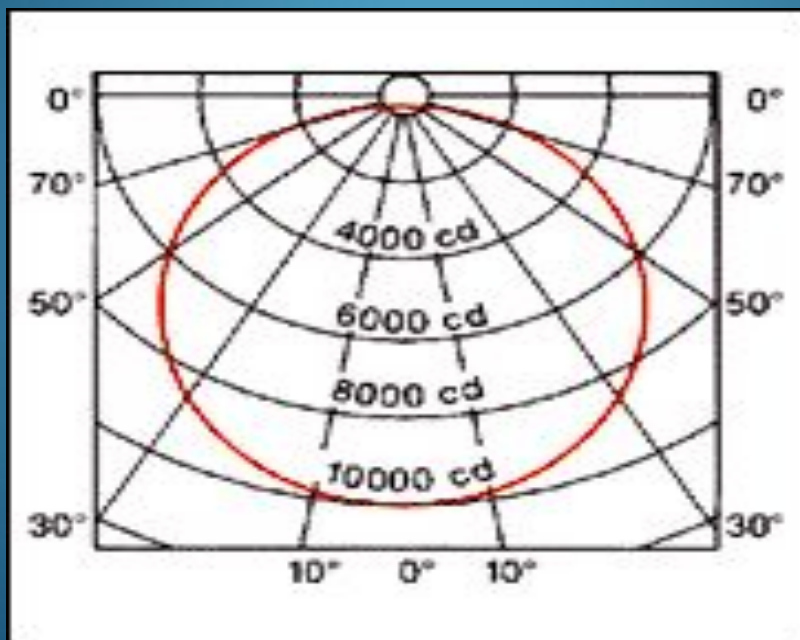


Сила света  $I$  характеризует мощность светового потока лампы  $\Phi$  телесном углу  $\Omega$

# Сила света I.

Единица измерения: кандела [кд].

Источник света излучает световой поток  $\Phi$  разных направлениях с различной интенсивностью. Интенсивность излучаемого в определенном направлении света называется силой света I.



Изображение силы света в полярных координатах



# Освещенность E.

Единица измерения: люкс [лк].

Освещенность E отражает соотношение падающего светового потока к освещаемой площади. Освещенность равна 1 лк, если световой поток 1 лм равномерно распределяется по площади 1 м<sup>2</sup>.



Освещенность

# Яркость L.

Единица измерения: кандела на квадратный метр [кд/м<sup>2</sup>].  
Яркость света L источника света или освещаемой площади является главным фактором для уровня светового ощущения глаза человека. .





# Основные светотехнические формулы:

Сила света  $I$  [кд]

$$\frac{\text{Световой поток в телесном углу}}{\text{Телесный угол } \Omega \text{ [ср]}}$$

Освещенность  $E$  [лк]

$$\frac{\text{Излучаемый или отражаемый световой поток [лм]}}{\text{Светящая поверхность [м}^2\text{]}}$$

Освещенность  $E$  [лк]

$$\frac{\text{Сила света [кд]}}{[\text{Расстояние в метрах [м]}]^2}$$

Яркость  $L$  [кд/м<sup>2</sup>]

$$\frac{\text{Сила света [кд]}}{\text{Видимая светящая поверхность [м}^2\text{]}}$$

Световая отдача  $\eta$  [лм/Вт]

$$\frac{\text{Генерируемый световой поток [лм]}}{\text{Потребляемая электрическая мощность [Вт]}}$$

# Световая отдача $\eta$ .

Единица измерения: люмен на Ватт [лм/Вт].

Световая отдача  $\eta$  показывает, с какой экономичностью потребляемая электрическая мощность преобразуется в свет.

# Цветовая температура.

Единица измерения: Кельвин [К].

Цветовая температура источника света определяется путем сравнения с так называемым “черным телом” и отображается “линией черного тела”. Если температура “черного тела” повышается, то синяя составляющая в спектре возрастает, а красная составляющая убывает. Лампа накаливания с теплым белым светом имеет, например, цветовую температуру 2700 К, а люминесцентная лампа с цветностью дневного света — 6000 К

# Цветность света

Цветность света очень хорошо описывается цветовой температурой.

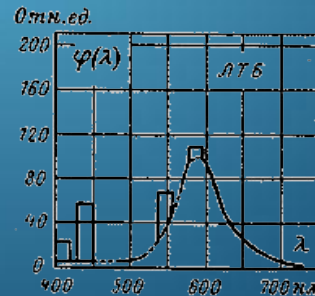
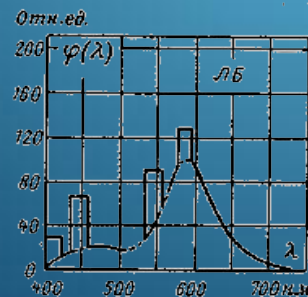
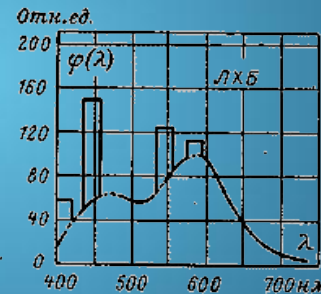
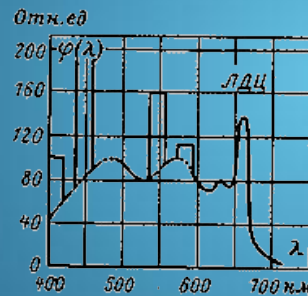
Существуют следующие три главные цветности света:

тепло-белая  $< 3300$  К

нейтрально-белая  $3300 — 5000$  К

белая дневного света  $> 5000$  К.

Лампы с одинаковой цветностью света могут иметь весьма различные характеристики цветопередачи, что объясняется спектральным составом излучаемого ими света.



# Цветопередача

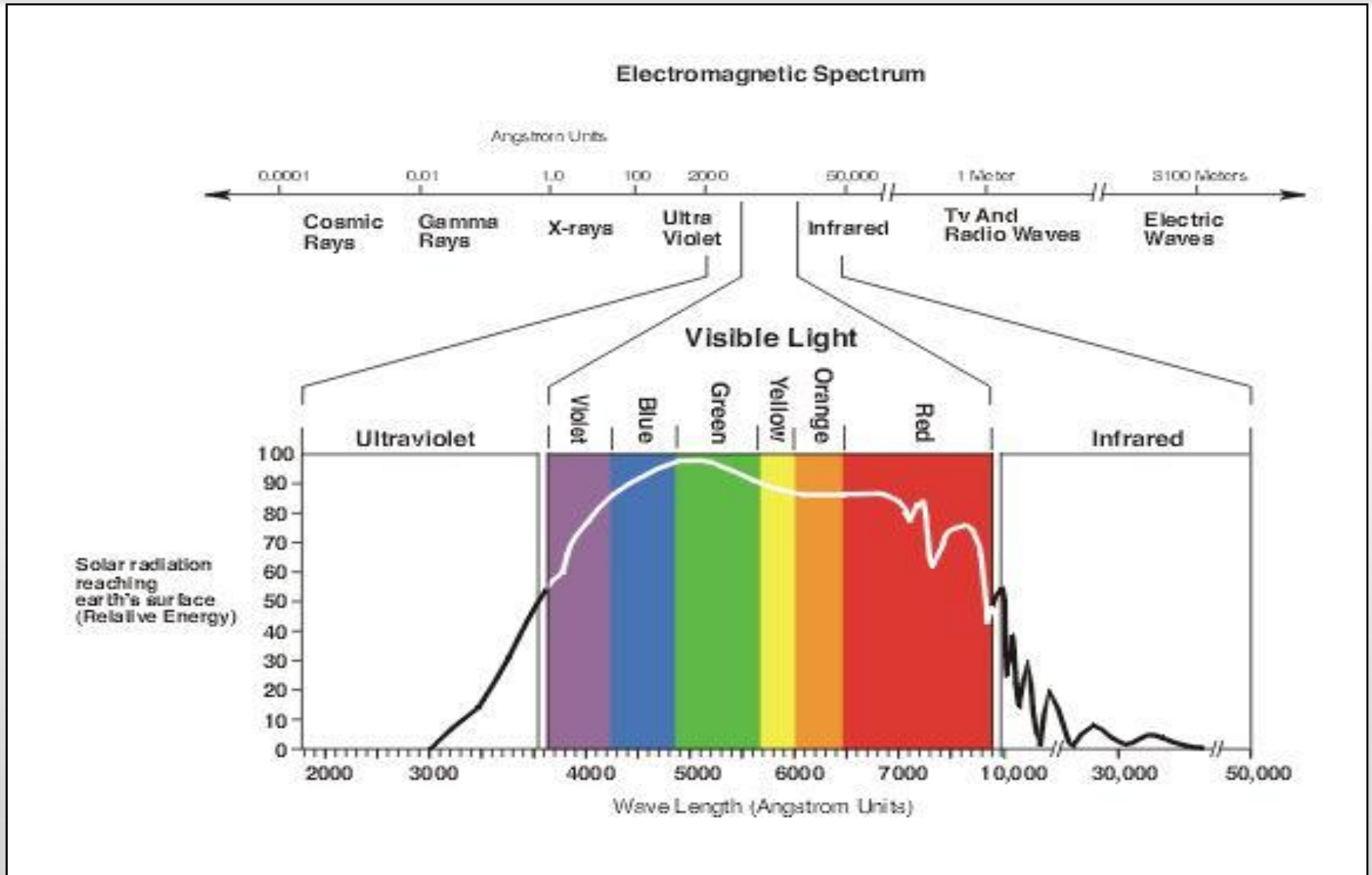
В зависимости от места установки лампы и выполняемой ими задачи искусственный свет должен обеспечивать возможность наиболее лучшего восприятия цвета (как при естественном дневном свете). Данная возможность определяется характеристиками цветопередачи источника света, которые выражаются с помощью различных степеней “общего коэффициента цветопередачи”  $R_a$ .

Коэффициент цветопередачи отражает уровень соответствия естественного цвета тела с видимым цветом этого тела при освещении его эталонным источником света. Для определения значения  $R_a$  фиксируется сдвиг цвета с помощью 8 указанных в DIN 6169 стандартных эталонных цветов, который наблюдается при направлении света тестируемого или эталонного источника света на эти эталонные цвета. Чем меньше отклонение цвета излучаемого тестируемой лампой света от эталонных цветов, тем лучше характеристики цветопередачи этой лампы. Источник света с показателем цветопередачи  $R_a = 100$  излучает свет, оптимально отражающий все цвета, как свет эталонного источника света. Чем ниже значение  $R_a$ , тем хуже передаются цвета освещаемого объекта.

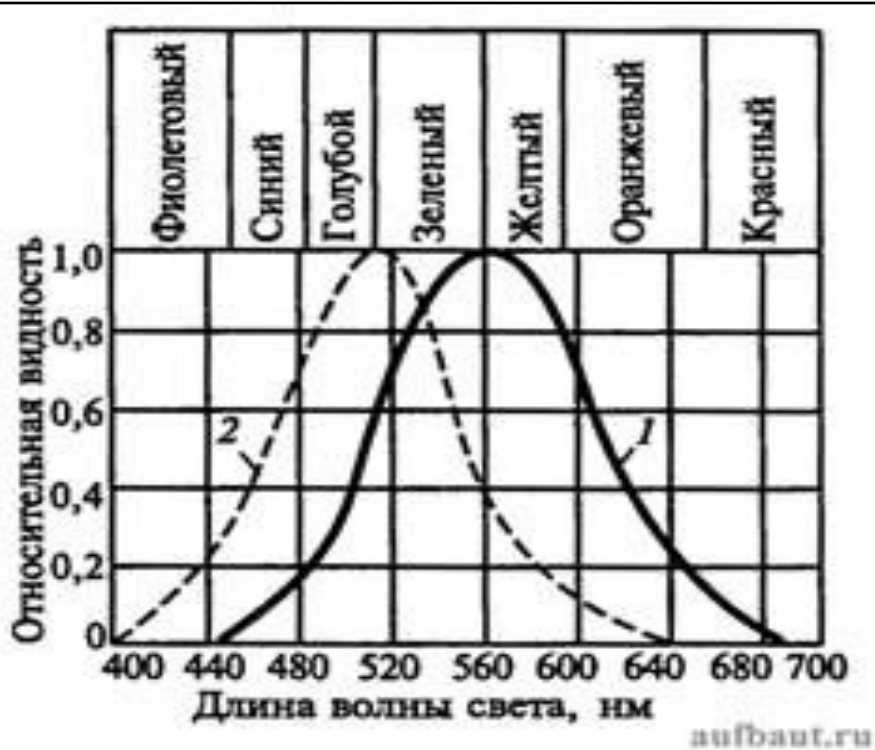
1. Спектр светового потока
2. Современные источники света
3. Судовое освещение







Человеческий глаз неодинаково воспринимает световое ощущение с разными длинами волн. Наиболее чувствителен он к желто-зеленому свету с длиной волны  $\lambda = 555$  нм, а при увеличении или уменьшении длины волны чувствительность глаза падает. Так, при источниках света одинаковой мощности синий или красный источник характеризуется относительной видностью в 10 раз меньшей, чем зеленый. Кроме того, положение кривой относительной видности человеческого глаза зависит от времени суток. В темное время эта кривая смещается в сторону малых длин волн.



Зависимость относительной видности от длины волны излучения для дневного (кривая 1) и ночного зрения (кривая 2).

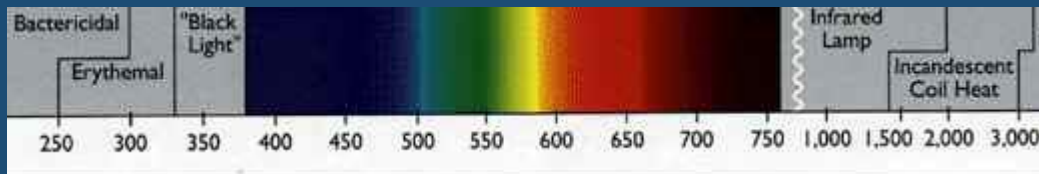


## Какая лампа светит ярче?

Люмены привязаны к чувствительности человеческого глаза. Они должны абсолютно точно характеризовать кажущуюся яркость источника света при рассматривании его глазом. Однако это не так. Если взять две лампы с одинаковым световым потоком, но с разной цветовой температурой (ССТ), то окажется, что лампа с более высоким значением ССТ кажется более яркой для глаза. Если взять люксметр и померить освещенность от этих ламп, то окажется, что она абсолютно одинакова.

## Что такое ССТ и CRI ?

ССТ (Correlated Color Temperature, цветовая температура) и CRI (Color Rendering Index, коэффициент цветопередачи) - два параметра, используемые для характеристики цвета источников света.



Спектр видимого диапазона (длина волны в нанометрах).

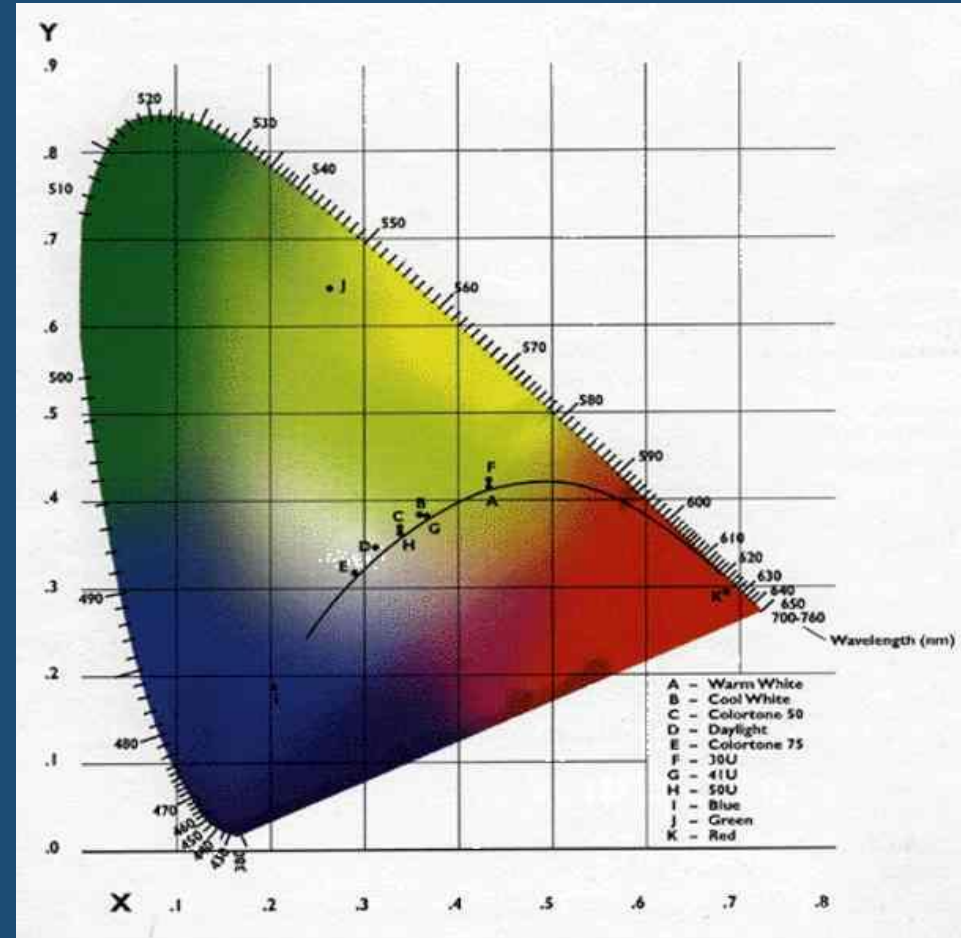
# Электромагнитный спектр

Цвет источника света можно выразить с помощью двух цветовых координат -  $x, y$ . На рисунке изображен цветовой треугольник в системе координат МКО (CIE). Поскольку монитор компьютера (как и телевизор) не может передать все цвета на этом треугольнике, то некоторые цвета выглядят неверно.

Например, точка (0.3, 0.33) примерно соответствует белому цвету, точка (0.2, 0.15) - синему и т.д.

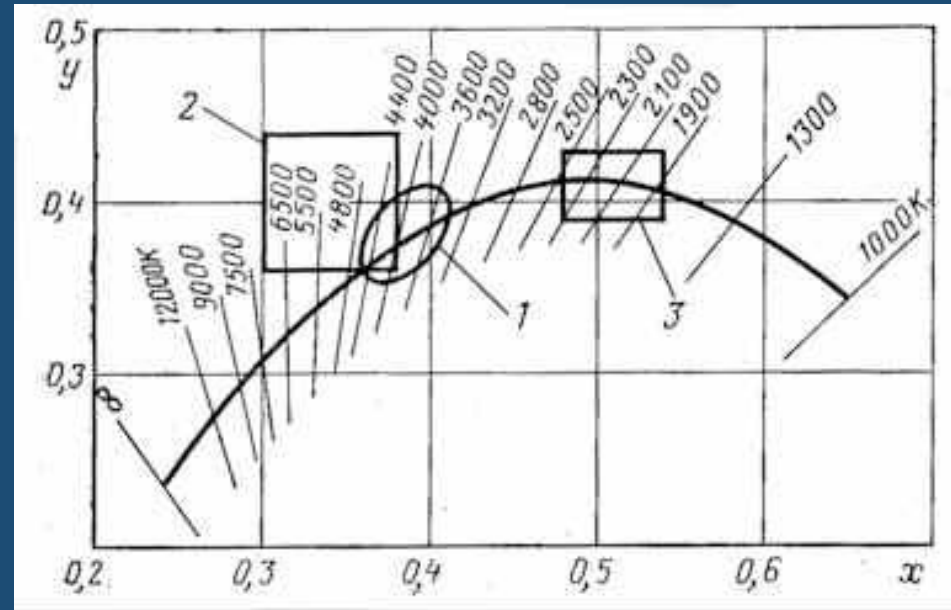
На границе фигуры изображены цвета, соответствующие длинам волн - чистым тонам

Черная линия на диаграмме цветов - black body locus - линия, вдоль которой меняется цвет абсолютно черного цвета при его нагревании. Точками отмечены некоторые люминесцентные лампы. Температура черного тела измеряется в градусах Кельвина (K)



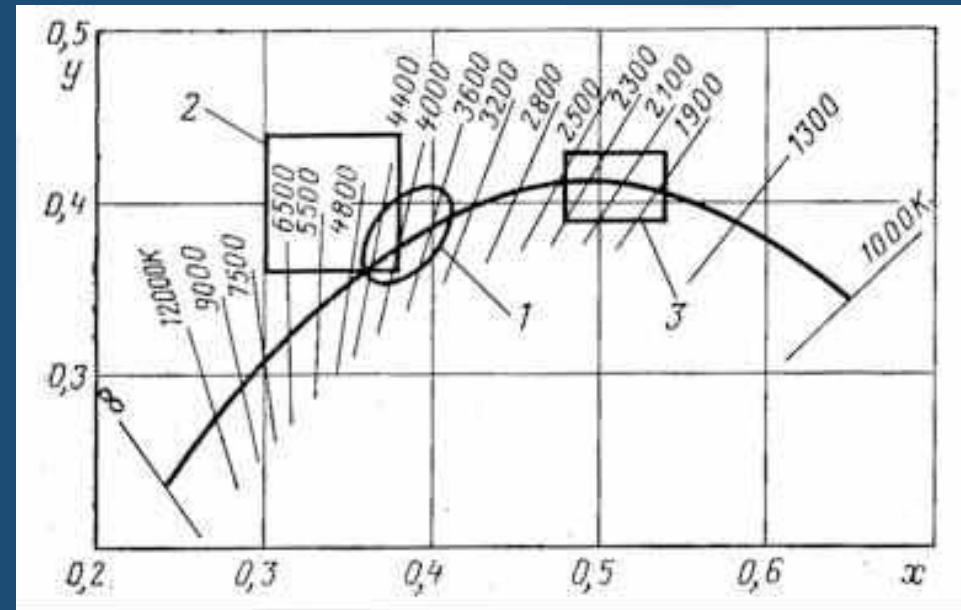
**ССТ лампы** - это температура абсолютно черного тела, которое имеет "ближайший" цвет к данной лампе. Она ничего не говорит о том как нагрето тело накала или дуга лампы, а характеризует цвет только лишь. Достаточно просто, но данное понятие ничего не говорит о том, насколько близки цвета лампы и абсолютно черного тела. Поэтому его можно использовать только для определения цвета лампы в общем, например лампы с ССТ - 2880-3200К имеют желтоватый оттенок ("теплый", "warm" цвет), лампы с ССТ 3500К - "нейтральный" белый цвет, лампы с ССТ 4100К - "холодный", "cool" белый цвет, лампы с ССТ - 6500-10000 - голубоватый оттенок.

Многие путают **ССТ** с цветовой температурой, которая определяется как температура абсолютно черного тела, спектральная кривая которого наиболее близка к кривой данного источника. Такое определение хорошо работает для источников, где рабочим тело является нить накал и спектр непрерывный. Для люминесцентных ламп с линейчатым спектром данное определение не имеет никакого смысла



**CRI** - коэффициент цветопередачи, характеризует насколько близки к "истинным" будут видны цвета объектов, при рассматривании их при свете лампы. Под "истинными" понимаются цвета при рассматривании с использованием тестового источника. Для определения CRI вычисляется среднее значение отклонения цветовых координат  $x, y$  при рассматривании набора тест цветов. CRI принимает значения от 0 до 100. CRI, равный нулю, соответствует свету, который не передает цветов вообще, например, черно-белому телевидению. CRI, равный 100, соответствует источнику, который передает цвета также как и тестовый источник - лампа накаливания (для источников с CCT < 5000K) или "daylight" (для ламп с CCT > 5000K).

Сравнивать значения CRI можно только для ламп с одинаковым значением CCT, иначе такое сравнение теряет смысл.



- **Лучистая энергия** – это энергия, излучаемая или поглощаемая физическими телами в форме частиц или электромагнитных волн.
- **Световая энергия** – часть лучистой энергии, воспринимаемая человеческим глазом (*Дж - джоуль*).
- **Световой поток ( $\Phi$ )** – мощность световой энергии (*лм - люмен*).
- **Сила света ( $I$ )** – пространственная плотность светового потока (*кд - кандела*).

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

- **Яркость ( $B$ )** – отношение силы света к площади освещаемой поверхности (*нт – нит*).

$$B = \frac{I}{S}$$

- **Освещенность ( $E$ )** – отношение светового потока  $\Phi$  к площади освещаемой поверхности  $S$  (*лк – люкс*).

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

**Источники света** – это устройства, непосредственно преобразующие электрическую энергию в энергию видимых излучений.

Современные источники света на судах:

- Лампы накаливания
- Газоразрядные лампы
- Светодиодные лампы

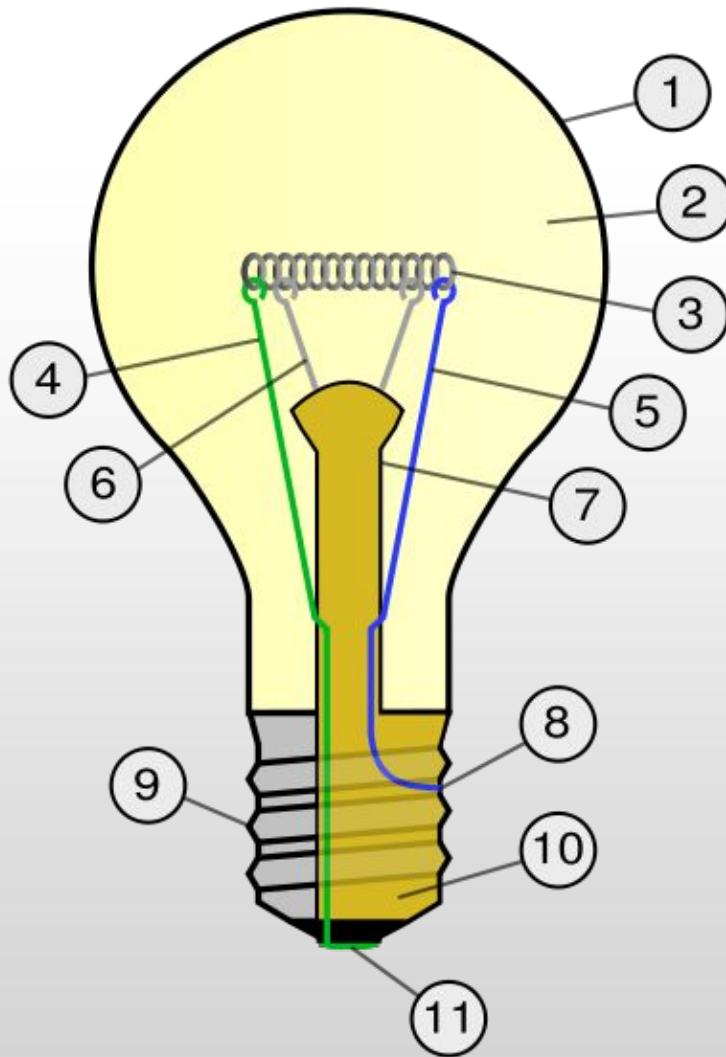
Работа ламп характеризуется:

- Номинальным напряжением  $U_n$ , (В);
- Номинальной мощностью  $P_n$ , (Вт);
- Световым потоком  $\Phi$  (лм);

$$\psi = \frac{\Phi}{P_n}$$

- Световой отдачей  $\psi$ , (лм/Вт);
- Средняя продолжительность горения  $t_{г.ср.}$  (ч);
- Коэффициент пульсации  $K_{п}$

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2 \cdot E_{ср}} \cdot 100\%$$



1. Стеклоянная колба
2. Инертный газ / вакуум
3. Вольфрамовая спираль
4. Контактный электрод
5. Контактный электрод
6. Крючки поддержки
7. Штабик (стекло)
8. Контактный электрод
9. Цоколь
10. Контактный электрод
11. Электрический контакт





1. Стеклоянная колба
2. Инертный газ / вакуум
3. Вольфрамовая спираль
4. Контактный электрод
5. Контактный электрод
6. Крючки поддержки
7. Штабик (стекло)
8. Контактный электрод
9. Цоколь
10. Контактный электрод
11. Электрический контакт

## Основные характеристики

- **Материал:** вольфрам ( $t_{пл} = 3410^\circ\text{C}$ ), осмий ( $t_{пл} = 3045^\circ\text{C}$ )
- **Температура накала:**  $2400 - 3400^\circ\text{C}$
- **КПД:** 3-4%
- **Световая отдача  $\psi$ :** 6.7 – 19.1 лм/Вт
- $t_{г.ср.} = 1000$  ч.
- $K_{п} = 5 - 10\%$

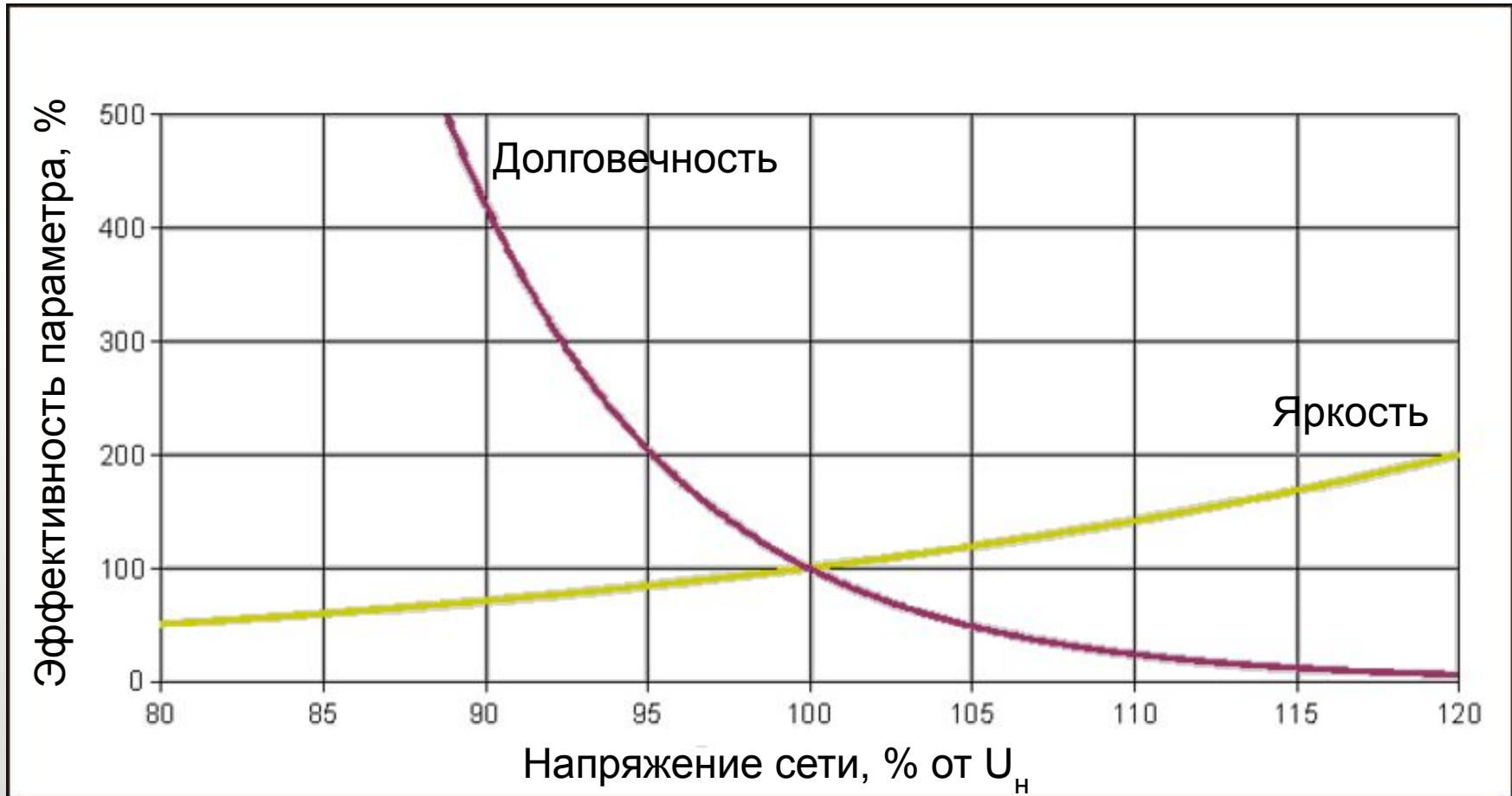


## Достоинства

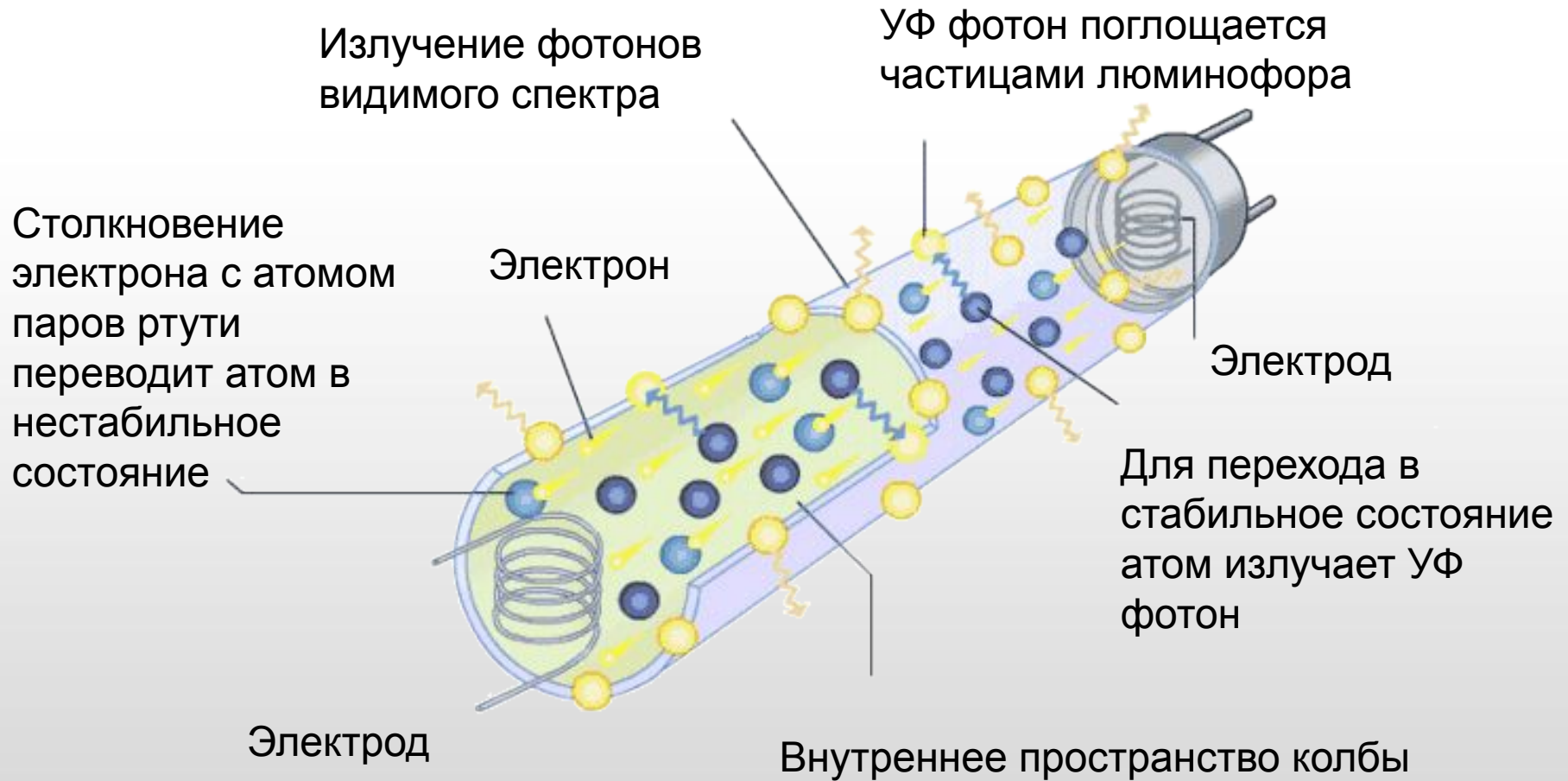
- ✓ Простота конструкции и эксплуатации
- ✓ Низкая стоимость большинства видов ламп
- ✓ Очень низкий коэффициент пульсации светового потока (отсутствует стробоскопический эффект)

## Недостатки

- Низкая экономичность
- Искаженная цветопередача
- Низкая световая отдача



**Выход из строя:** разрыв вольфрамовой спирали вследствие неоднородности испарения







## Основные характеристики

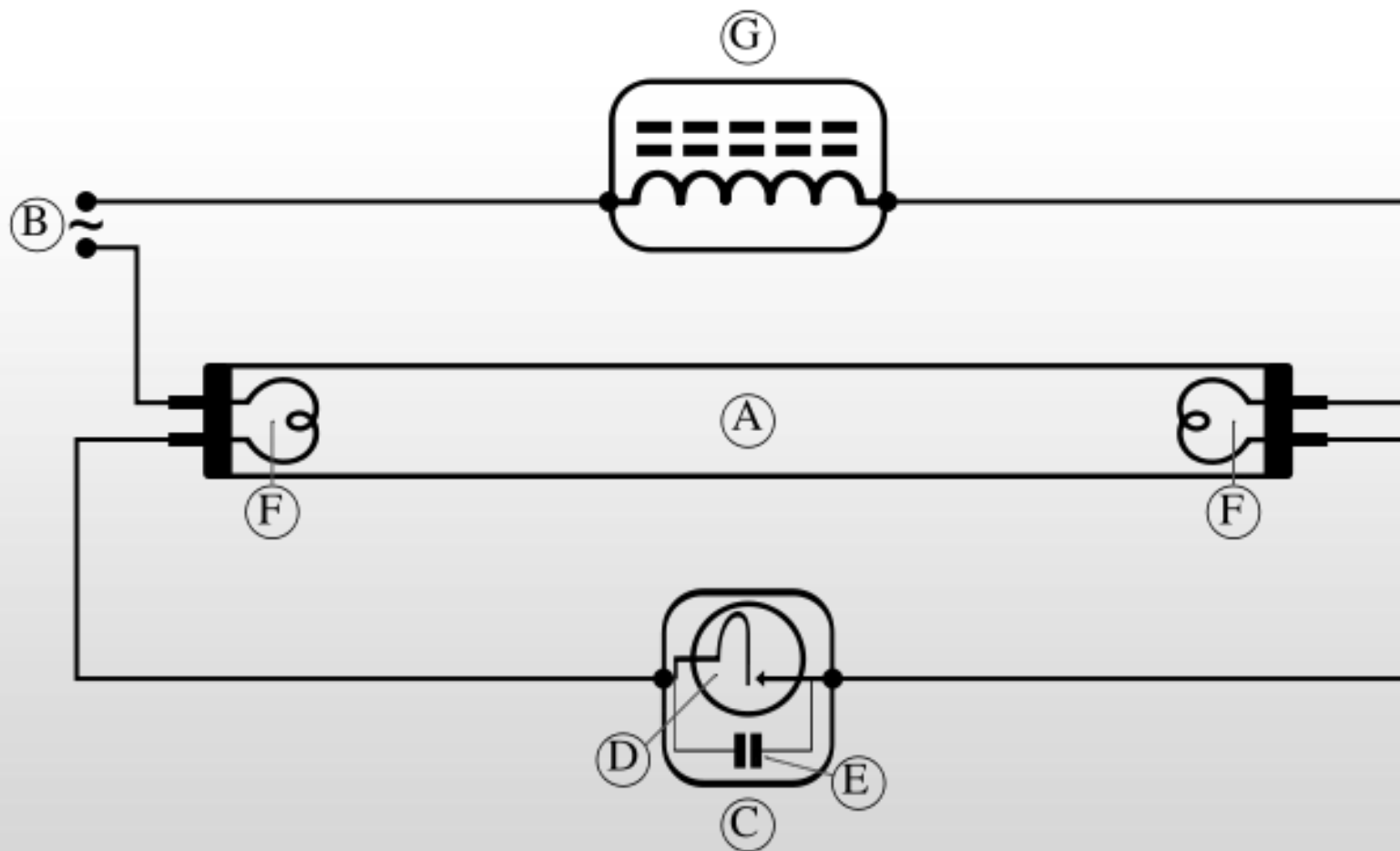
- **Материал:** инертный газ и пары ртути
- **КПД:** 22-25%
- **Световая отдача  $\psi$ :** 44 – 70 лм/Вт
- $t_{г.ср.} = 10000 - 12000$  ч.
- $K_{п} = 35 - 55\%$
- **Мощность** лампы зависит от её длины



## Пусковая аппаратура

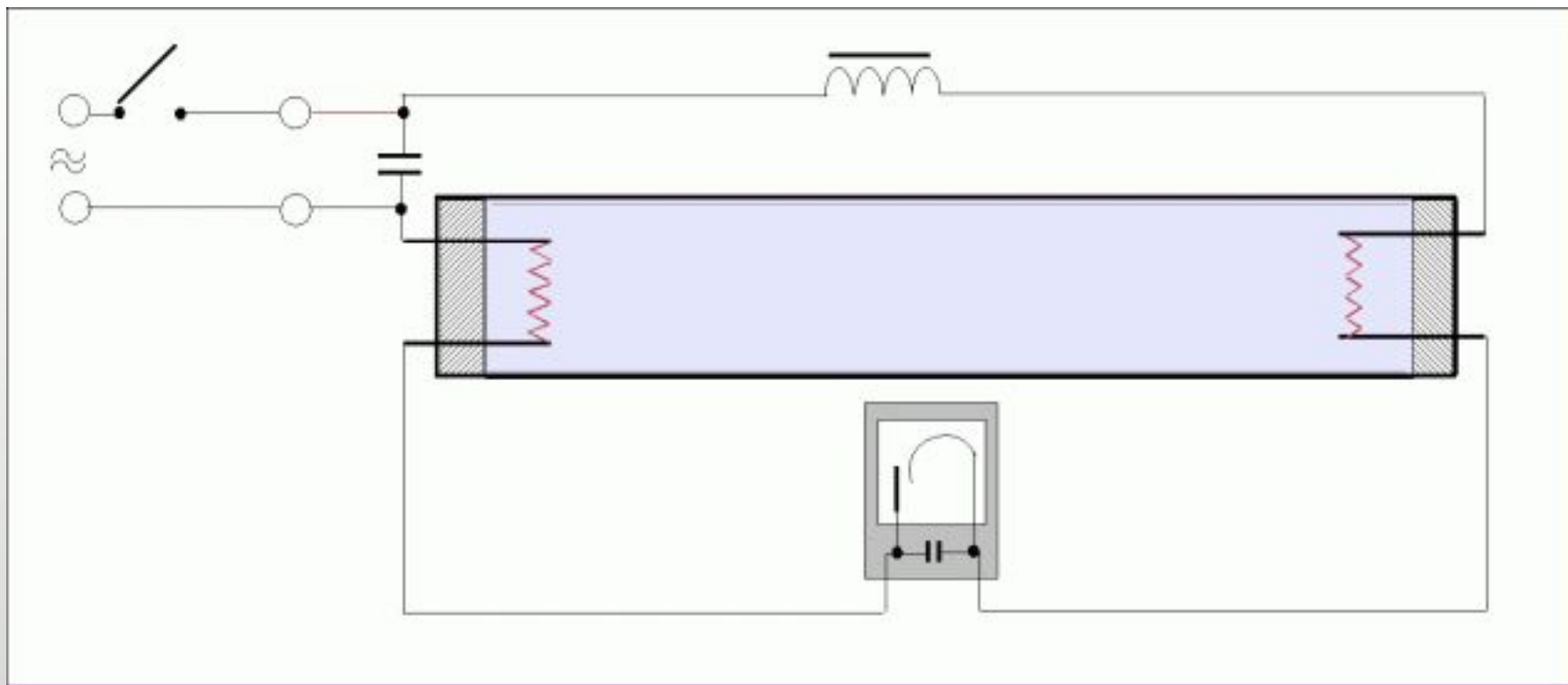
- Электромагнитная
  - ✓ Простота
  - ✓ Дешевизна
  - Мерцание
  - Большое потребление энергии
  - Низкочастотный гул
- Электронная
  - ✓ Отсутствие мерцания
  - ✓ Отсутствие гула
  - ✓ Компактные размеры и масса
  - ✓ Холодный / горячий старт
  - Дороговизна

## Схема электромагнитного пуска





## Схема электромагнитного пуска



## Выход из строя

1. Распыление электродов
  - При периодической кратковременной работе (< 3 ч)
  - При частых холодных стартах
2. Отказ пусковой аппаратуры
  - Конструктивные неисправности (дефекты)
  - Нестандартная рабочая среда
  - Истечение времени работы
  - Перегорание вследствие распыления электродов
- Распыление люминофора
- Поглощение паров ртути

## Достоинства

- ✓ Эффективность
  - ✓ КПД = 22% (у ламп накаливания 5-10%)
  - ✓  $\psi = 16 - 100$  лм/Вт (в среднем 50-67 лм/Вт)
- ✓ Долговечность
  - ✓ В 10-20 раз дольше, в сравнении с лампами накаливания
- ✓ Более равномерная светимость
- ✓ Более низкое тепловыделение (65-75%)
  - ✓ Снижение размеров, цены и мощности кондиционирования

## Недостатки

- Проблемы со здоровьем
  - Возможное отравление парами ртути
  - Проблемы у людей с повышенной чувствительностью к УФ, эпилептиков, подверженных синдрому хронической усталости
  - Головные боли и усталость
- Необходимость использования пусковой аппаратуры
  - Увеличение цены
  - Возможен низкочастотный гул
- Сниженный коэффициент мощности
- Радиочастотное зашумление
- Искажение параметров электроэнергии
- Зависимость от параметров окружающей среды
- Мерцание и возможный стробоскопический эффект
- Трудность повторного использования и утилизации

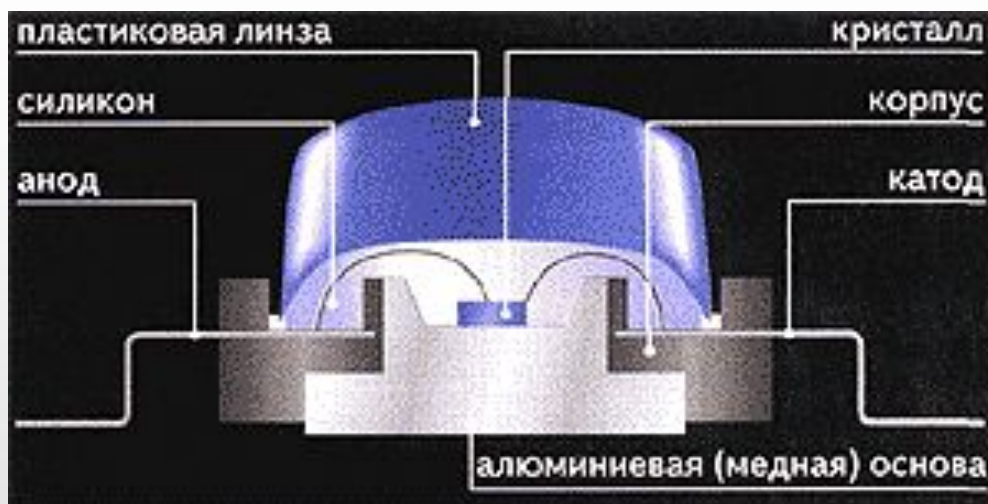


**Светодиод** — это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение. по-английски светодиод называется light emitting diode, или LED.



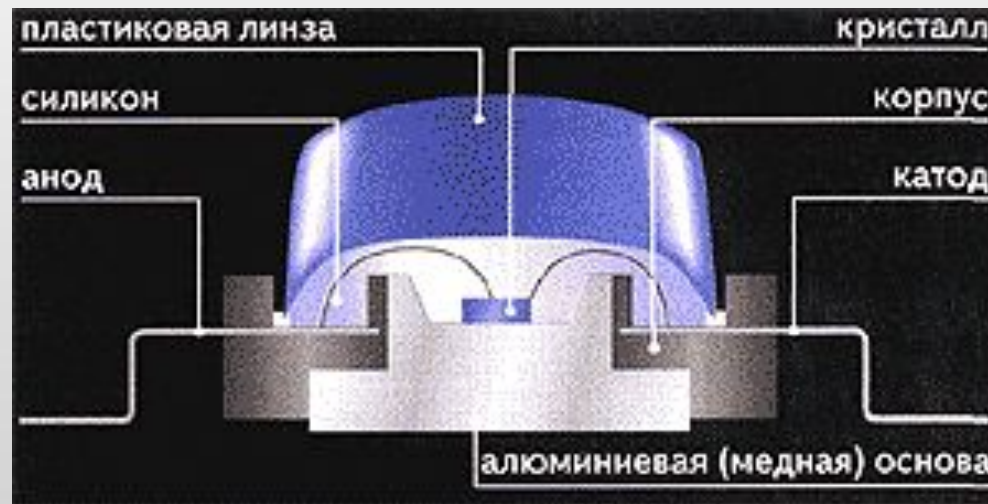
## Конструкция светодиода

**LED** состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Современные светодиоды мало похожи на первые корпусные светодиоды, применявшиеся для индикации.



## Конструкция светодиода

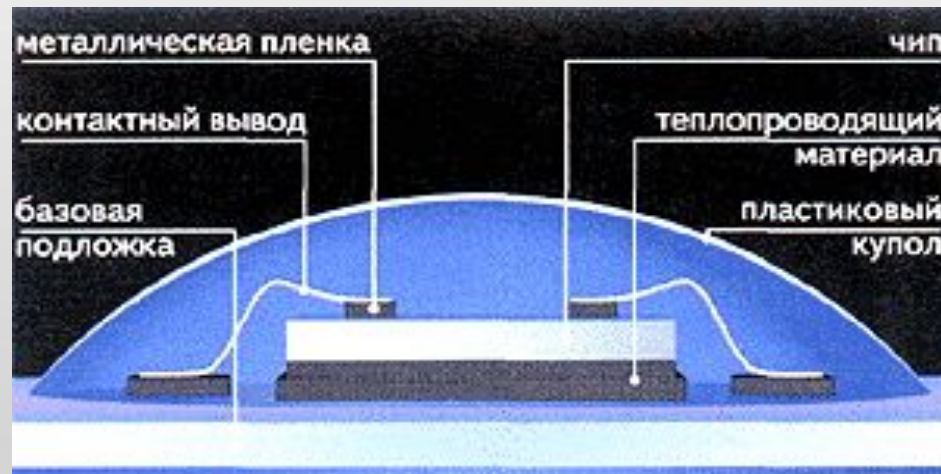
Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области р-п-перехода. Значит, прежде всего нужен р-п-переход, то есть контакт двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую — донорскими. Однако одного р-п-перехода в кристалле недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые гетероструктуры, за изучение которых российский физик академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию 2000 года.





## Конструкция светодиода

В отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и теоретически это можно сделать почти без потерь. Светодиод (при должном теплоотводе) мало нагревается, что делает его незаменимым для некоторых приложений. Далее, светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет чист, что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения, как правило, отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, его срок службы может достигать 100 тысяч часов, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 5 — 10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Наконец, светодиод — низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный.



## Основные характеристики

- **Материал:** соединения Кремния
- **Потребляет от 2 до 4 В постоянного напряжения**
- **КПД:** 93-94%
- **Световой поток, лм :** от 7 до 1200
- $t_{г.ср.} = 100\ 000$  ч.



## Достоинства

- ✓ Сверхдолгий срок службы
- ✓ Низкое энергопотребление
- ✓ Работа при низких температурах
- ✓ Стойкость к механическим воздействиям
- ✓ Высокая светоотдача
- ✓ Экологическая и пожарная безопасность

## Недостатки

- Большая стоимость
- При подключении светодиода необходимо соблюдать полярность

## Сравнение люминесцентных ламп и светодиодных ламп

Технические характеристики	Светодиодная лампа УНИПРО-60	Люминесцентная лампа 20 W
Источник света	Светодиоды SMD(3528) Производитель светодиодов Semileds (Тайвань) 180 штук	Люминофор
Цвет	Холодный белый	Холодный белый
Цветовая температура	5000-5500K	5000-5500K
Рабочее напряжение	AC100V~260V	AC100V~260V
Рабочая частота	50HZ	50HZ
Мощность	10W	20W
Угол свечения	120°	360°
Яркость	950 Lm	1300 Lm
Материал	Оптический поликарбонат	Стекло
Гарантия	1 год	3 месяца
Срок службы	100000 часов	1000 часов

Техническ ие хара-ки	Светодиодная лампа УНИПРО-60	Люминесцентная лампа 20 W
Утилизация	Не требует специальной утилизации	Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 40 до 70 мг), ядовитое вещество. Эта доза может причинить вред здоровью, если лампа разбилась или нарушилась герметичность, и если постоянно подвергаться пагубному воздействию паров ртути, то они будут накапливаться в организме человека, нанося вред здоровью. Требуется специальной утилизации.
Недостатки	Более высокая цена	<ul style="list-style-type: none"> <li>- содержание ртути</li> <li>- зависимость световых характеристик от температуры окружающей среды</li> <li>- значительное снижение светового потока к концу срока службы</li> <li>- пульсации светового потока</li> <li>- мерцание ламп, что повышает утомляемость</li> <li>- относительно долгий запуск</li> <li>- большее потребление энергии</li> <li>- дроссель может издавать низкочастотный неприятный гул.</li> </ul>

## Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Схема электромагнитного пуска
4. Табличка с измерениями
5. График зависимости  $I = f(U)$
6. Выводы

## На защите

- Основные характеристики люминесцентных ламп
- Принцип работы люминесцентных ламп
- Принцип работы схемы электромагнитного пуска
- Выход из строя
- Достоинства
- Недостатки

**Светильники** – служат для защиты источников света от внешних воздействий и для рационального распределения светового потока. Немаловажна роль светильника и в декоративном оформлении помещений.

**Прожекторы** – предназначены для обеспечения общего освещения палубы и забортного пространства, а также для осуществления навигации, поисковых и спасательных операций в темное время суток.

Источники света характеризуются:

- Коэффициентом полезного действия
- Кривыми распределения силы света
- Исполнением корпуса по защищенности
  - Открытые
  - Защищенные
  - Брызгозащищенные
  - Водозащищенные
  - Герметичные
  - Взрывобезопасные





**Установкой электроосвещения** называется совокупность осветительных приборов, включающих электрические лампы и осветительную арматуру, обеспечивающие требуемую освещенность на заданном объекте.

Классификация систем освещений:

- Общее
  - Равномерное
  - Локализованное
- Местное
- Комбинированное

Классификация видов освещения:

- Рабочее
  - Внутреннее
  - Наружное
- Аварийное
- Дежурное
- Сигнальное
- Декоративное



