

Źródła światła

Wykład 1

Klasyfikacje

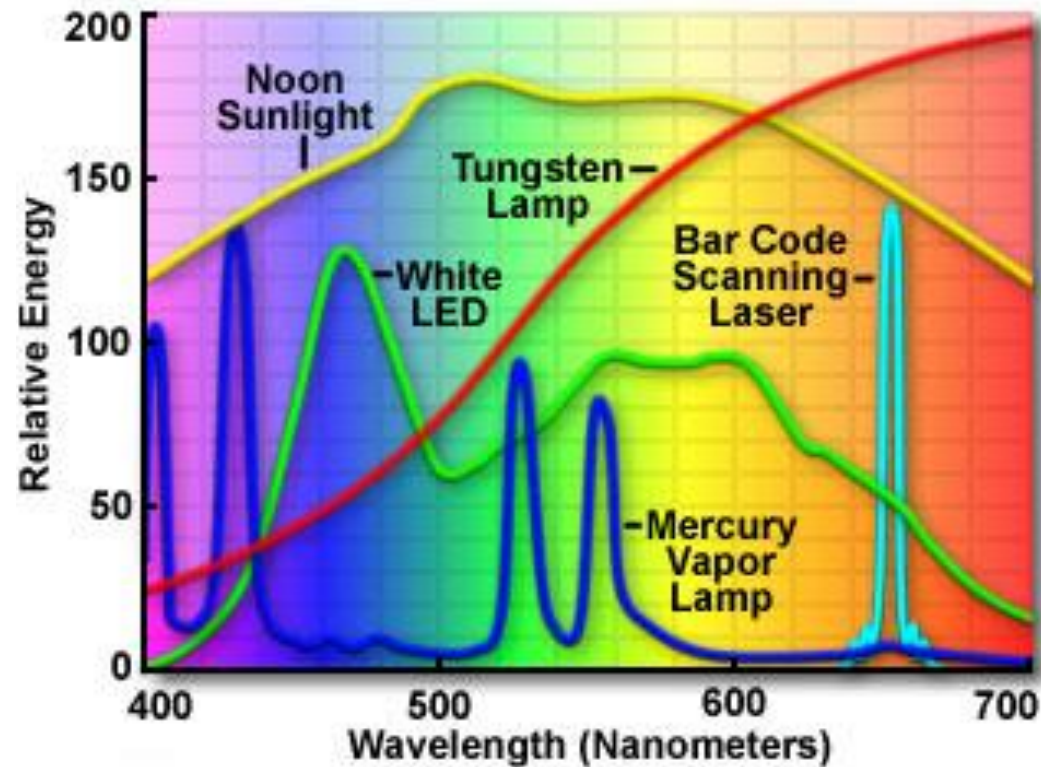
- Podział źródeł ze względu na sposób generacji
 - Jądrowe
 - Słońce
 - Termoluminescencja
 - Lampy włóknowe
 - Lampy gazowe
 - Fluorescencja
 - Elektroluminescencja
 - LED
 - Inne
- Podział źródeł ze względu na charakterystyki spektralne
 - Światło białe
 - Światło RGB
 - Światło quasimonochromatyczne
 - Światło monochromatyczne
 - Inne

Parametry źródeł

- Charakterystyka spektralna
- Rozmiary źródła
- Koherencja źródła
- Charakterystyki fotometryczne
- Sprawność źródła
- Temperatura barwowa
- Współczynnik CRI
- Źródło pracy ciągłej/impulsowej

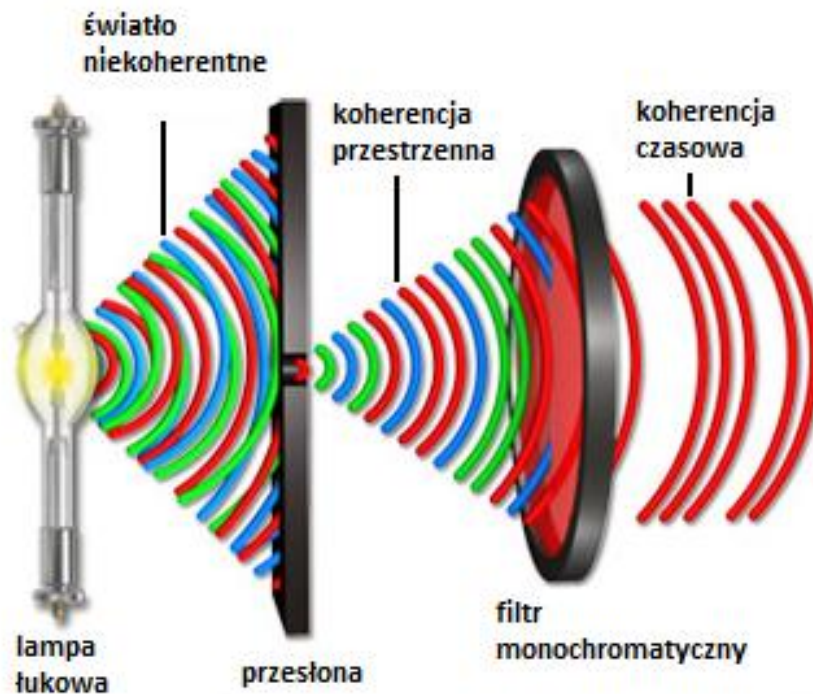
Charakterystyki spektralne

Spectra From Common Sources of Visible Light



Koherencja światła

- Koherencja czasowa
 - jest związana z monochromatycznością źródła światła
- Koherencja przestrzenna
 - jest związana z rozciągłością źródła światła

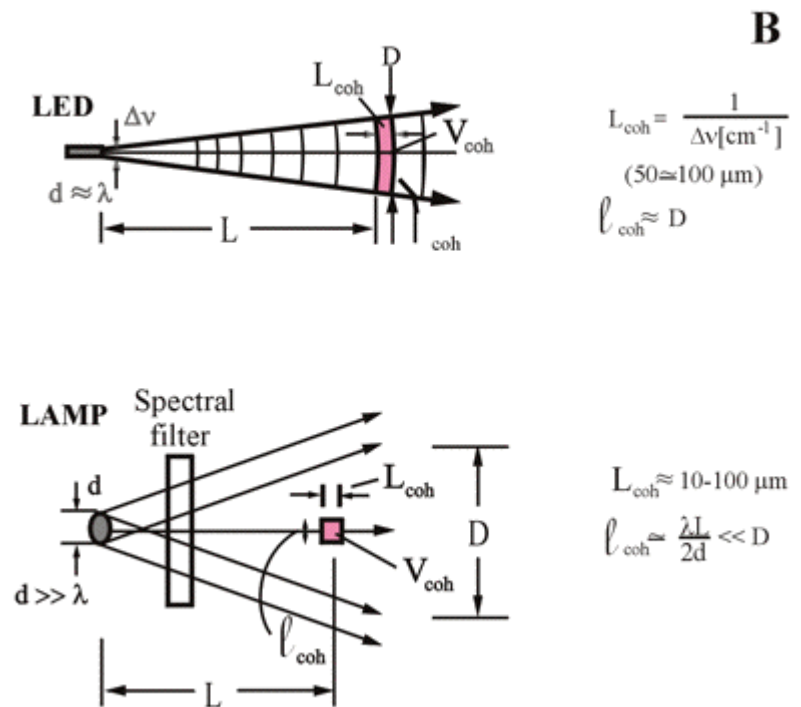
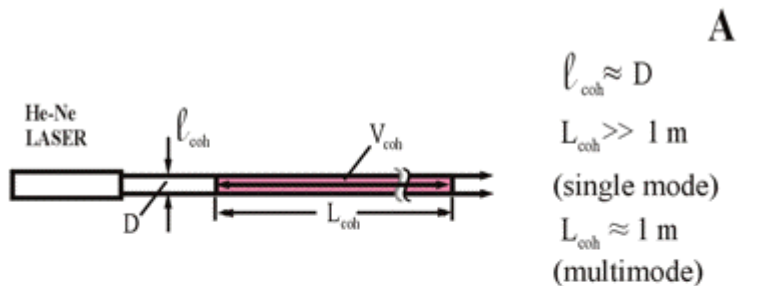


Koherencja światła

$$\tau_{coh} \cong \frac{1}{\Delta\nu}$$

$$L_{coh} \cong \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$l_{coh} \cong \frac{\lambda}{\varphi}$$



Jednostki fotometrii

- Natężenie źródła światła (światłość)
 - Ilość energii wyemitowanej przez źródło w postaci światła w jednostkowym czasie w jednostkowy kąt bryłowy
- Strumień światła
 - Ilość energii wyemitowanej przez źródło w postaci światła w jednostkowym czasie
- Natężenie oświetlenia
 - Ilość energii promieniowania świetlnego padającej na jednostkową powierzchnię w jednostkowym czasie
- Luminancja
 - Miara ilość światła emitowanego przez rozciągłe źródło

Jednostki fotometrii

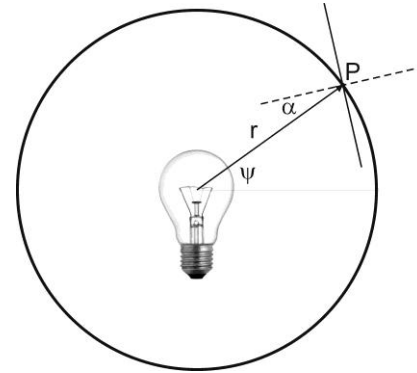
- Kandel
– Światłość z jaką świeci w określonym kierunku źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości $5,4 \cdot 10^{14}$ Hz i wydajności energetycznej w tym kierunku równej $(1/683)$ W/sr
- Lumen
– $1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr}$
– $1\text{W} = 683\text{lm}$ lub $1\text{lm} = (1/683)\text{W}$
- Luks
– $1\text{lx} = 1\text{lm} \cdot 1\text{m}^{-2} = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr} \cdot 1\text{m}^{-2}$
- Nit
– $1\text{nt} = 1\text{cd} \cdot 1\text{m}^{-2}$

Pomiary światłości i strumienia

Prawo Lamberta-Beera

- natężenie oświetlenia jest wprost proporcjonalne do światłości, kosinusa kąta padania światła i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości źródła światła od punktu rejestracji natężenia oświetlenia.

$$E(P) = \frac{I(\psi, \xi)}{r^2} \cos \alpha$$

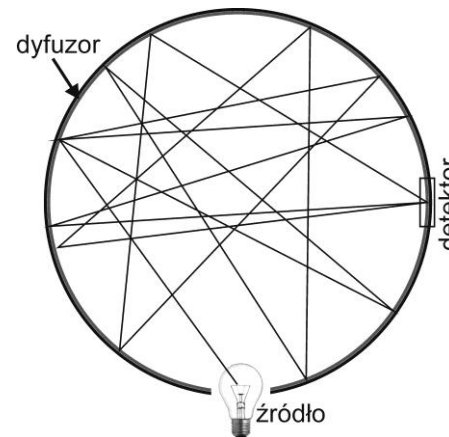


Pomiar światłości

$$I(\psi, \xi) = E(\psi, \xi) \cdot r^2$$

Pomiar strumienia

$$\varphi = \iint I(\psi, \xi) d\psi d\xi$$



Charakterystyki kątowe światłości

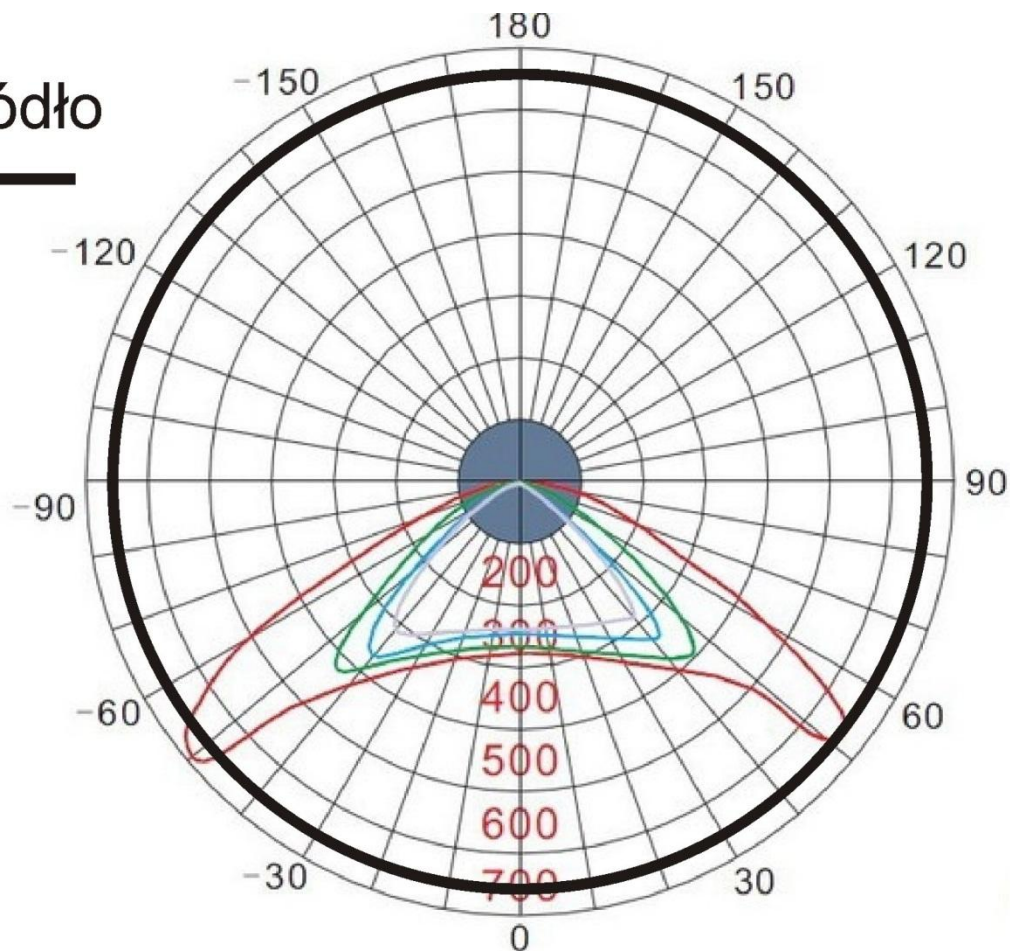
Współrzędne biegunowe (r, φ)

- promień: luminancja

punktowe źródło
światła —

lampa uliczna

- C0/180
- C30/210
- C60/240
- C90/270



Sprawność źródła

- Skuteczność świetlna
 - Stosunek strumienia świetlnego wyemitowanego przez źródło do pobranej mocy elektrycznej

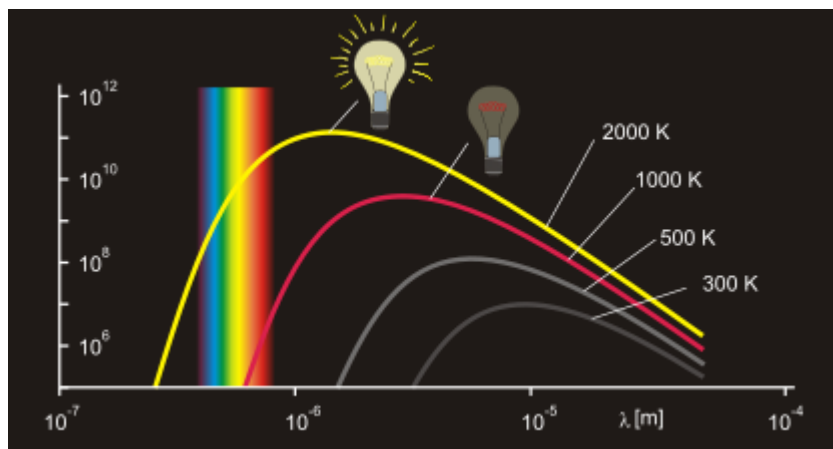
$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{lm}{W} \right] \qquad \max(\eta) = 683 \left[\frac{lm}{W} \right]$$

- Sprawność całkowita (energetyczna)
 - Stosunek energii wyemitowanej przez źródło w postaci światła do pobranej energii elektrycznej

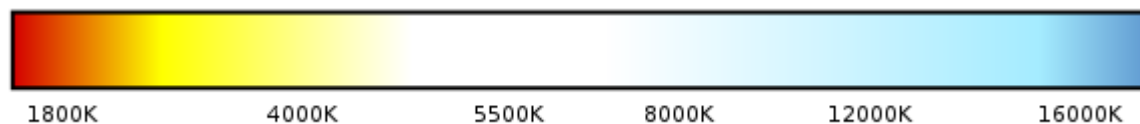
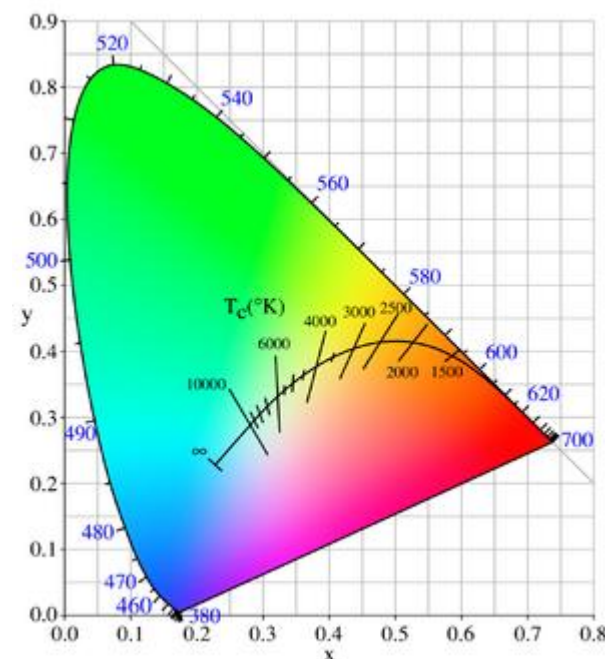
$$\eta_E = \frac{E_{\acute{s}w}}{E_{el}} = \frac{\eta}{\max(\eta)} = \frac{\eta [lm/W]}{683 [lm/W]} [-]$$

Temperatura barwowa

Temperatura barwowa – temperatura ciała doskonale czarnego, w której wysyła ono promieniowanie tej samej chromatyczności, co promieniowanie rozpatrywane. Innymi słowy, jest to obiektywna miara wrażenia barwy danego źródła światła

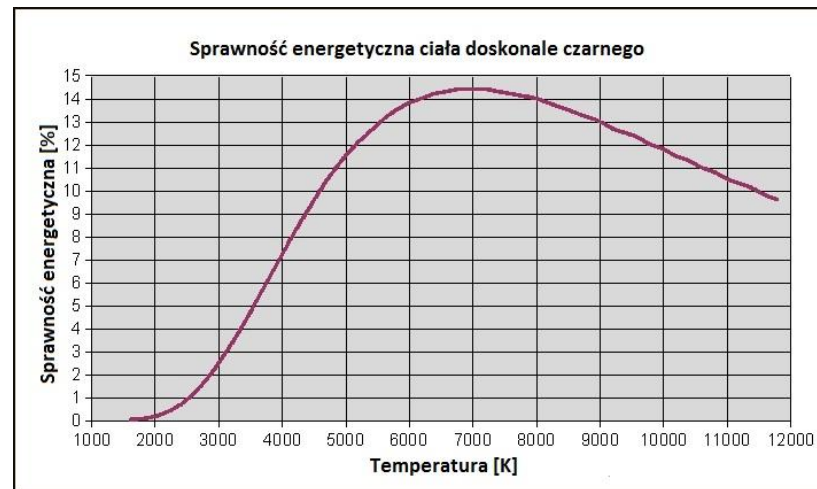
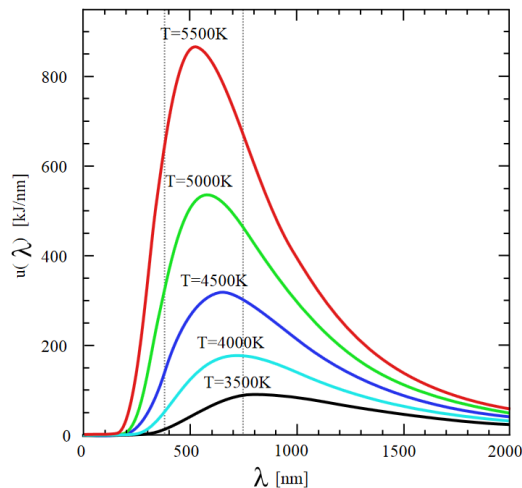


- 2000 K – barwa światła świeczki
- 2800 K – barwa bardzo ciepłobiała (żarówkowa)
- 3000 K – wschód i zachód Słońca
- 3200 K – barwa światła żarowych lamp studyjnych
- 4000 K – barwa biała
- 5000 K – barwa chłodnobiała
- 6500 K – barwa dzienna
- 10000-15000 K – barwa czystego niebieskiego nieba
- 28000-30000 K – błyskawica



Sprawność wizualna ciała doskonale czarnego i innych źródeł światła

Stosunek ilości energii wyemitowanej przez ciało czarne w postaci światła (promieniowanie z zakresu widzialnego 380-780 nm) do całkowitej ilości energii wypromieniowanej przez to ciało



Type	Luminous efficacy of radiation (lm/W)	Luminous efficiency
Typical tungsten light bulb at 2800 K	15 ^[7]	2%
Class M star (Antares, Betelgeuse), 3000 K	30	4%
ideal black-body radiator at 4000 K	47.5 ^[8]	7.0%
Class G star (Sun, Capella), 5800 K	93 ^[7]	13.6%
ideal black-body radiator at 7000 K	95 ^[8]	14%
ideal 5800 K black-body, truncated to 400–700 nm (ideal "white" source)	251 ^{[7][note 2]}	37%
ideal monochromatic 555 nm source	683 ^[9]	100%

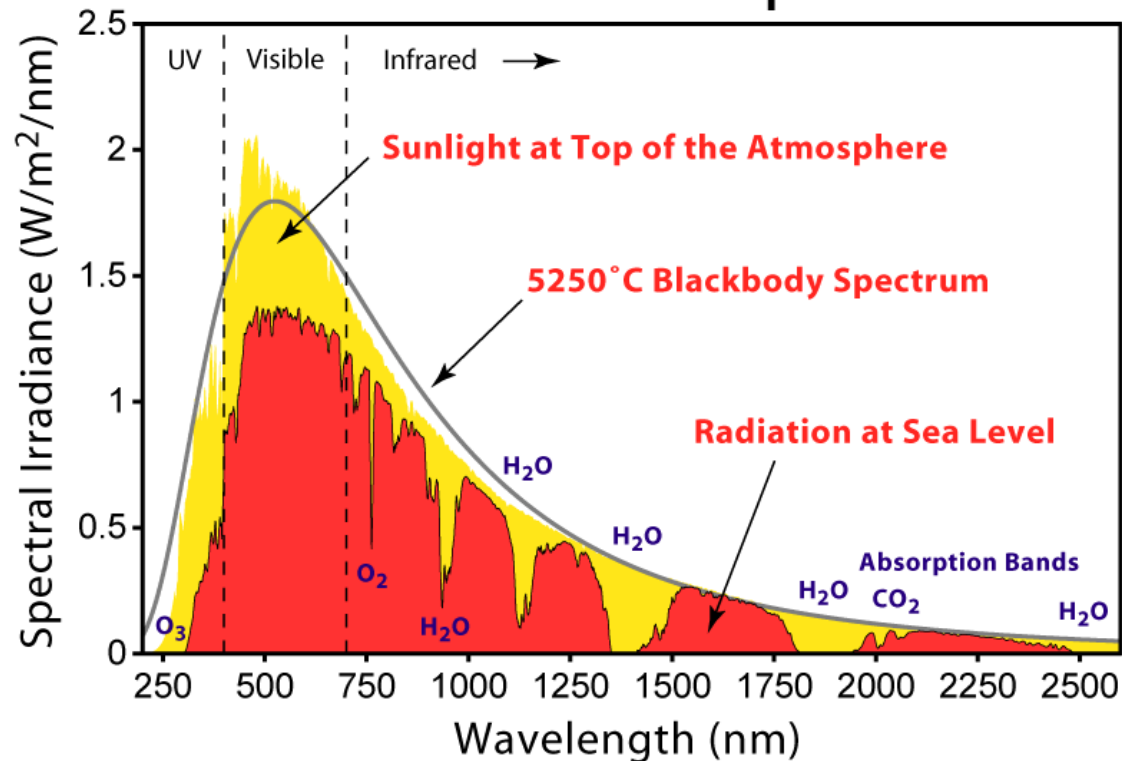
Współczynnik CRI

CRI (ang. Colour Rendering Index) – współczynnik oddawania barw, charakteryzujący źródło światła. Wyrażony jest liczbą z przedziału od 0 (dla światła monochromatycznego) do 100 (dla światła białego). Określa, jak wiernie postrzegamy barwy oświetlonych przedmiotów. Im współczynnik ten jest wyższy, tym barwy są lepiej oddawane. Niskim współczynnikiem CRI charakteryzują się np. niskopiętne lampy sodowe, a wysokim światło słoneczne.

Light source	CCT (K)	CRI
Low Pressure Sodium (LPS/SOX)	1800	~5
Clear Mercury-vapor	6410	17
High Pressure Sodium (HPS/SON)	2100	24
Coated Mercury-vapor	3600	49
Halophosphate Warm White Fluorescent	2940	51
Halophosphate Cool White fluorescent	4230	64
Tri-phosphor Warm White Fluorescent	2940	73
Halophosphate Cool Daylight Fluorescent	6430	76
"White" SON	2700	82
Quartz Metal Halide	4200	85
Tri-phosphor Cool White fluorescent	4080	89
Ceramic Metal Halide	5400	96
Incandescent/Halogen Light Bulb	3200	100

Słońce

Solar Radiation Spectrum

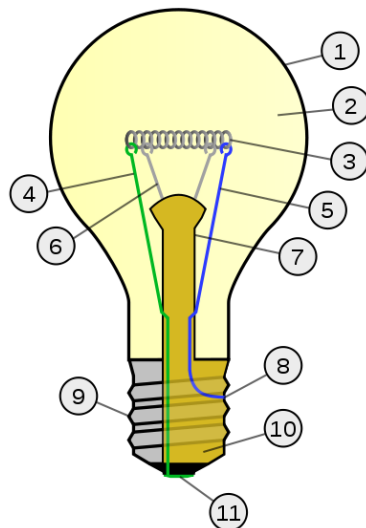


Żarówki/lampy

- źródła temperaturowe (inkandescencyjne)
 - żarówki próżniowe
 - żarówki gazowane
 - żarówki halogenowe
- źródła wyładowcze (luminescencyjne)
 - lampy fluorescencyjne (świelówki)
 - wysokoprężne lampy rtęciowe
 - wysokoprężne lampy sodowe
 - niskoprężne lampy sodowe
- źródła inkandescencyjno-luminescencyjne
 - lampy rtęciowo-żarowe
 - lampy ksenonowe
 - lampy łukowe

Żarówki/lampy

- 1 – szklana bańka,
- 2 – gaz obojętny
- 3 – żarnik wolframowy
- 4 – drut kontaktowy (do styku doprowadzający)
- 5 – drut kontaktowy (do gwintowanego trzoneka)
- 6 – podpórka
- 7 – słupek
- 8 – gwint kontaktowy
- 9 – trzonek gwintowany
- 10 – krążek izolacji cieplnej
- 11 – stopa kontaktu elektrycznego-podpórka

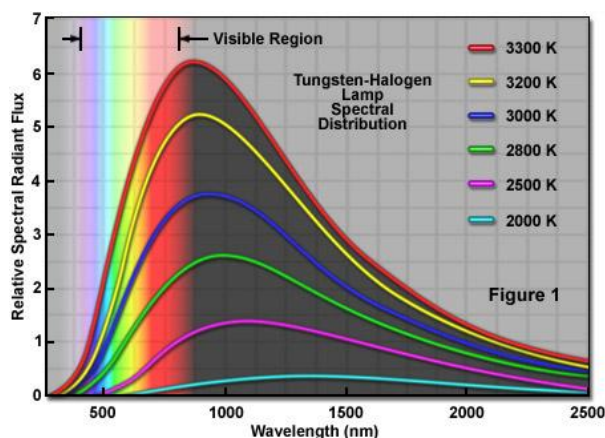


Skuteczność świetlna żarówek zwykłych

Moc lampy [W]	Strumień [lm]	Skuteczność [lm/W]
15	90	6,0
25	220	8,8
30	315	9,7
40	420	10,5
60	710	11,8
75	940	12,5
100	1360	13,6
150	2160	14,4
200	3040	15,2
300	4850	16,2
500	8300	16,6

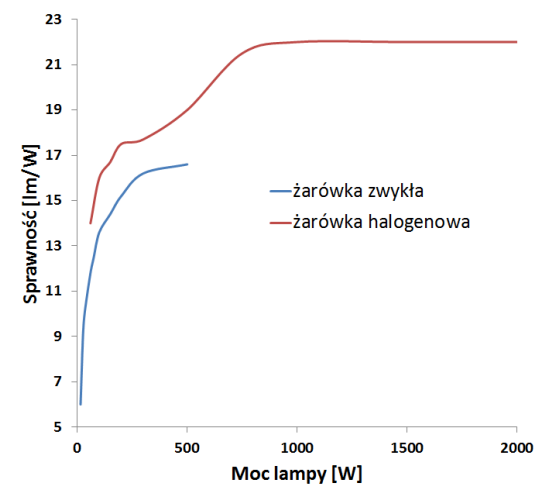
Skuteczność świetlna liniowych żarówek halogenowych

Moc lampy [W]	Strumień [lm]	Skuteczność [lm/W]
60	840	14,0
100	1600	16,0
150	2500	16,7
200	3500	17,5
300	5300	17,7
500	9500	19,0
750	16100	21,5
1000	22000	22,0
1500	33000	22,0
2000	44000	22,0



Skuteczność świetlna żarówki na tle innych źródeł światła

źródło światła	strumień świetlny (w lm/W)
lampa żarowa	5,75...16,6 ^[1]
lampa żarowo-rtęciowa	10...26 ^[2]
żarówka halogenowa	14...28,5 ^[3]
lampa rtęciowa	36...61 ^[4]
światłówka liniowa	40...105 ^[5]
lampa metalohalogenkowa	50...120 ^[6]
wysokoprężna lampa sodowa	68...150 ^[7]
niskoprężna lampa sodowa	100...206 ^[8]



Świetlówka\lampa fluorescencyjna

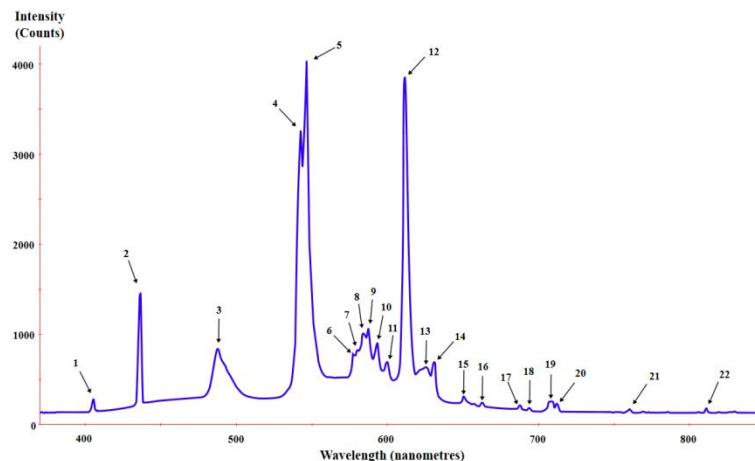
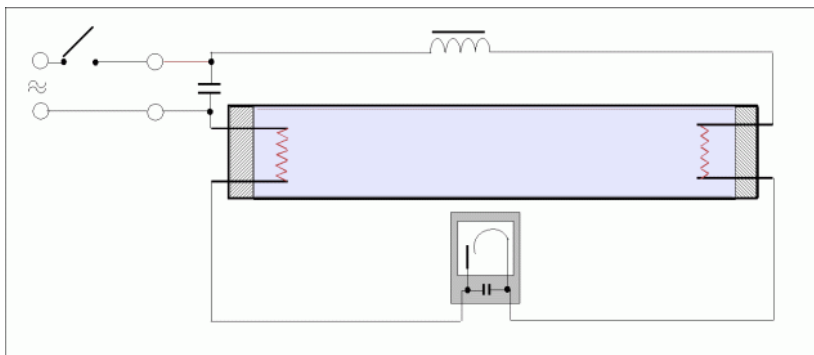
Jest to lampa elektryczna mająca najczęściej kształt rury, pokrytej od wewnątrz luminoforem, wypełniona parami rtęci i argonem, w której źródłem świecenia jest promieniowanie widzialne emitowane przez warstwę luminoforu pokrywającą wewnętrzną powierzchnię rury. Wyładowania zachodzące pomiędzy elektrodami wolframowymi zabudowanymi przy końcach rury wytwarzają głównie niewidzialne promieniowanie ultrafioletowe o długości fali około 254 nm. Odpowiednio dobrane luminofony przetwarzają to promieniowanie na promieniowanie widzialne o pożądanej barwie światła.

Skuteczność świetlna (do 105 lm/W)

Współczynnik CRI do 98

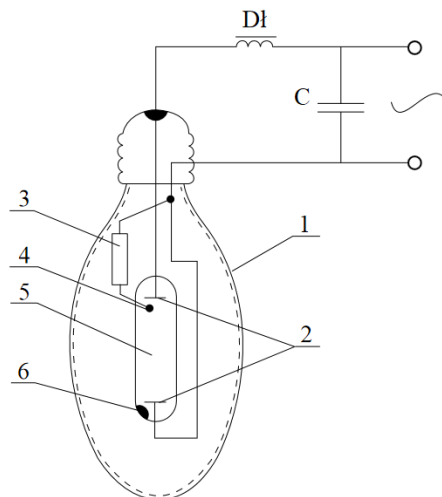
Temperatura barwowa różna

Trwałość do 20000 h



Wysokociśnieniowa lampa rtęciowa

- 1-bańka szklana pokryta luminoforem od wewnątrz
- 2-elektrody główne
- 3-rezystor zapłonowy
- 4-elektroda pomocnicza
- 5-jarznik kwarcowy
- 6-kropla rtęci
- Dł-dławik
- C-kondensator



Bańka zewnętrzna – dzięki luminoforowi przekształca ultrafiolet w promieniowanie widzialne.

skuteczność świetlna (do 60 lm/W)

Jarznik - zamknięta rurka ze szkła kwarcowego z wyprowadzonymi na zewnątrz dwiema elektrodami głównymi i jedną lub dwiema elektrodami pomocniczymi, zawierająca argon oraz rtęć.

Wyładowanie jarzeniowe (tłące)



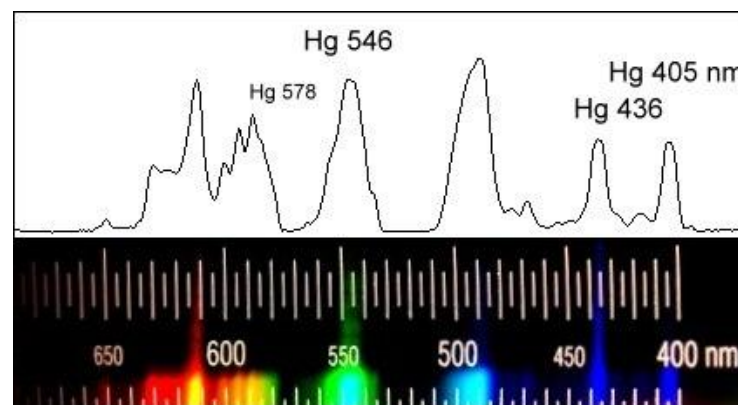
Rozgrzanie gazu i odparowanie rtęci



Wyładowanie łukowe (wysoki prąd)



Źródło światła zawierające linie widmowe rtęci

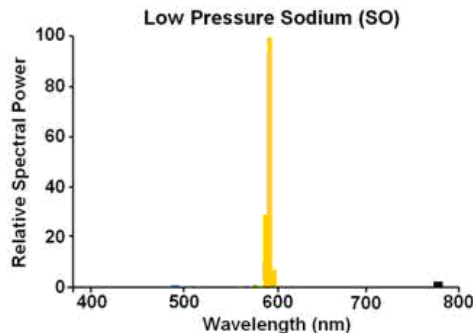


Lampa sodowa

Lampa wyładowcza, w której środowiskiem wyładowczym są pary sodu.

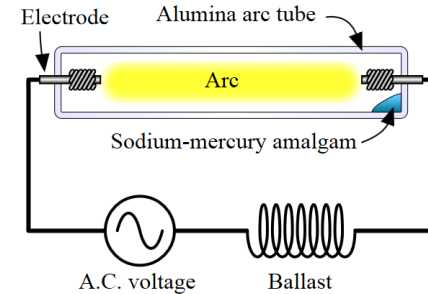
Niskoprężne

- metaliczny sód oraz gaz pomocniczy (mieszanina neonu i argonu)
- Współczynnik CRI niski
- Temperatura barwowa 1800 K
- Sprawność do 200 lm/W
- Trwałość do 16000 h



Wysokoprężne

- sód, rtęć oraz ksenon o ciśnieniu ok. 2 kPa
- Współczynnik CRI do 65
- Temperatura barwowa 2000 K
- Sprawność do 150 lm/W
- Trwałość do 24000 h



Biała soda

- 95 kPa
- Współczynnik CRI 85
- Temperatura barwowa 2500 K
- Sprawność do 50 lm/W

Żarówka energooszczędna - świetlówka kompaktowa

Rodzaj lampy fluorescencyjnej (świetlówki) o kształcie zapewniającym małe wymiary gabarytowe.

Zalety

- po rozgrzaniu, wytwarzają znacznie więcej światła niż żarówki przy tym samym poborze mocy
- wielokrotnie dłuższy czas pracy (przy rzadkim włączaniu/wyłączaniu)
- mniejsza zależność strumienia świetlnego od napięcia zasilającego
- możliwość innych barw światła niż 2500K standardowej żarówki, np. barwa biała 4000K lub barwa dzienna 6500K

Wady

- większa zależność strumienia świetlnego od temperatury otoczenia (utrudniony zapłon przy niskiej temperaturze)
- znaczna zależność efektywności energetycznej od stopnia zużycia
- zależność barwy światła od stopnia zużycia
- dłuższy czas rozświetlania po włączeniu zasilania (rośnie wraz z użytkowaniem)
- mniej naturalne widmo
- promieniowanie ultrafioletowe (UV)
- brak możliwości regulacji jasności i barwy światła przez regulację napięcia
- wyższa cena
- znaczny spadek żywotności przy dużej częstotliwości włączeń/wyłączeń
- zawierają niewielką ilość toksycznych oparów rtęci
- pogarszanie jakości energii elektrycznej w systemie zasilania
- zatrucia rtęcią pracowników fabryk świetlówek

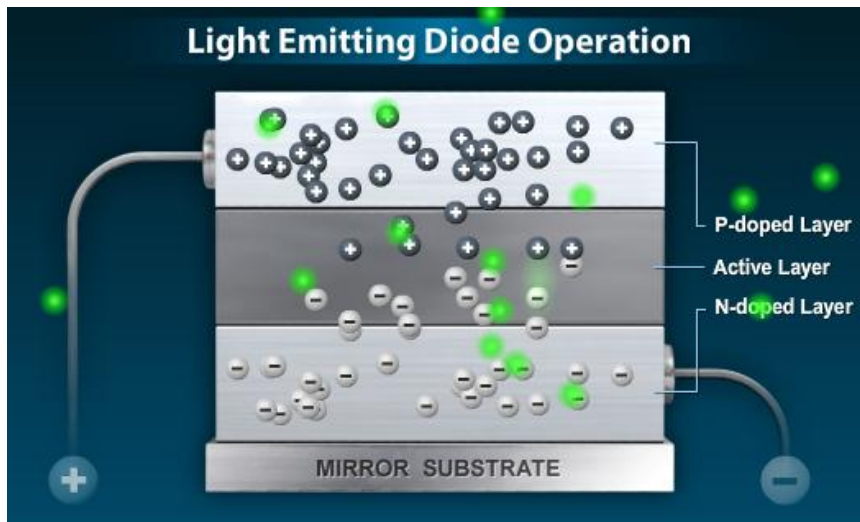
Skuteczność świetlna ok. 50 lm/W.

żarówka	świetlówka kompaktowa
25 W	5-6 W
40 W	7-8 W
60 W	11-13 W
75 W	15-16 W
100 W	18-21 W
150 W	35-42 W

LED



- Półprzewodnikowe złącze p-n
- Pod wpływem pola elektrycznego w wyniku rekombinacji nośników ładunku dochodzi do emisji promieniowania elektromagnetycznego



Light Emitting Diode Color Variations

Color Name	Wavelength (Nanometers)	Semiconductor Composition
Infrared	880	GaAlAs/GaAs
Ultra Red	660	GaAlAs/GaAlAs
Super Red	633	AlGaInP
Super Orange	612	AlGaInP
Orange	605	GaAsP/GaP
Yellow	585	GaAsP/GaP
Incandescent White	4500K (CT)	InGaIn/SiC
Pale White	6500K (CT)	InGaIn/SiC
Cool White	8000K (CT)	InGaIn/SiC
Pure Green	555	GaP/GaP
Super Blue	470	GaN/SiC
Blue Violet	430	GaN/SiC
Ultraviolet	395	InGaIn/SiC

LED

LED Architecture and Design Concepts

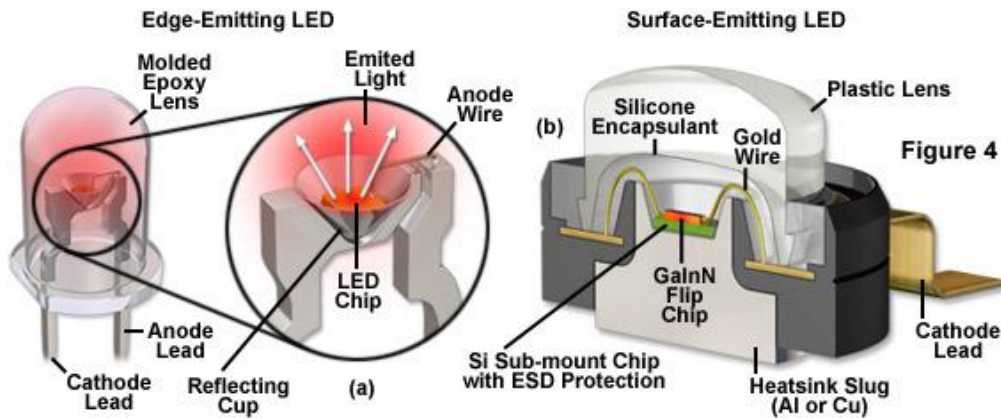
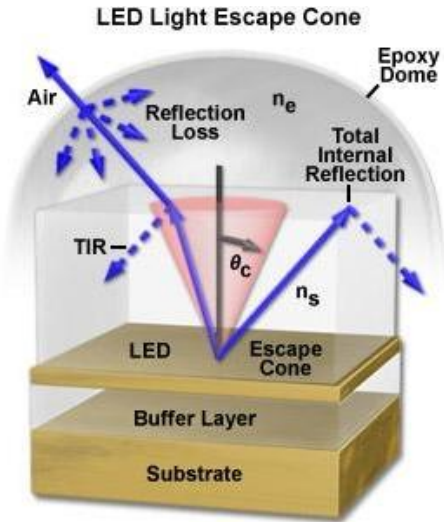


Figure 4



LED Far-Field Emission Patterns

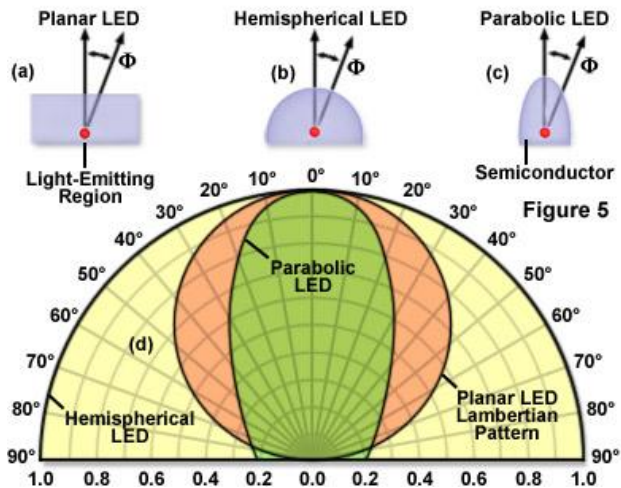


Figure 5

Light Cones Emitted by Clear and Diffuse LED Lenses

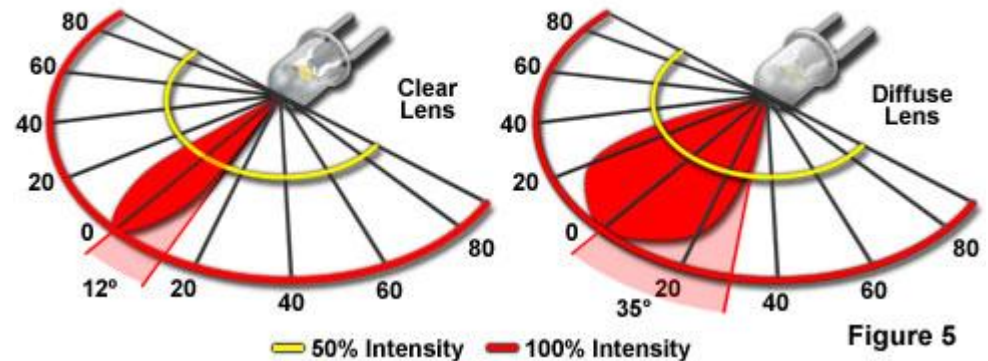
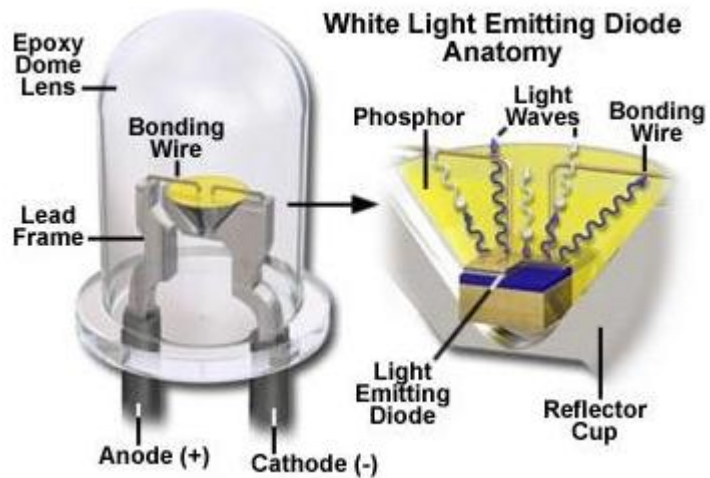
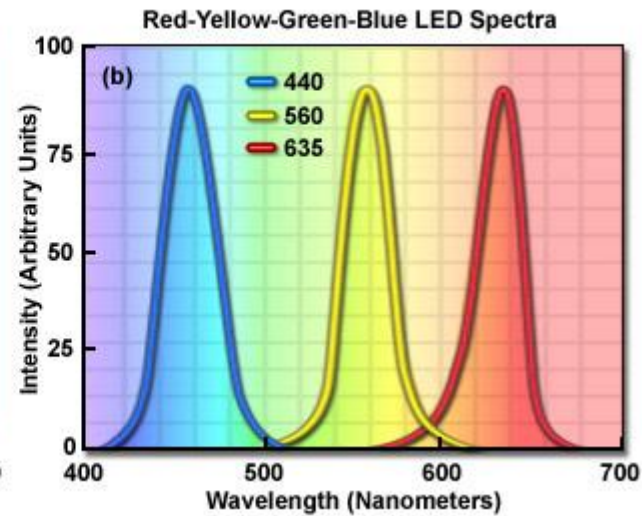
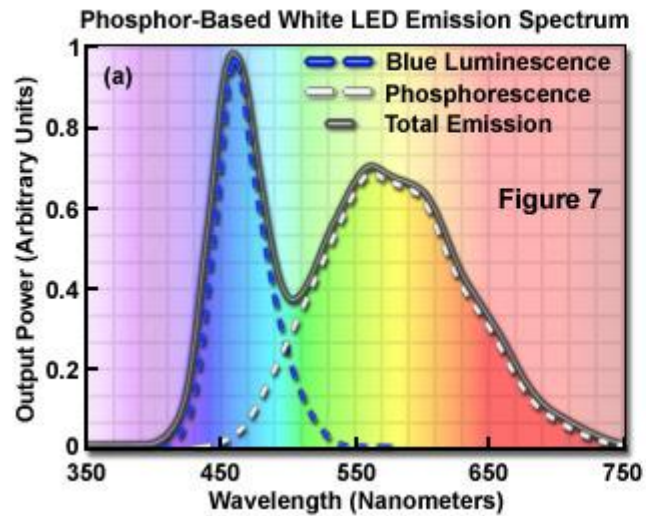


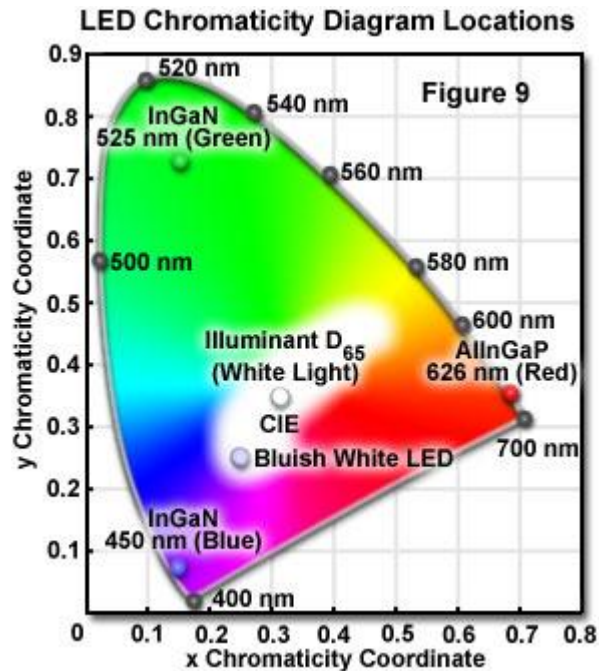
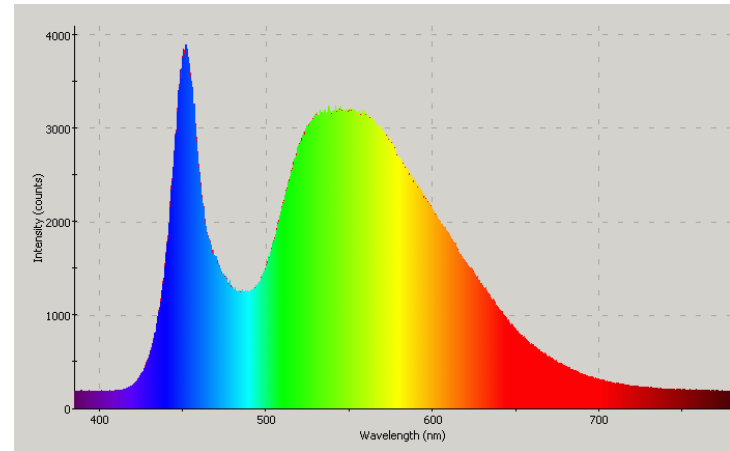
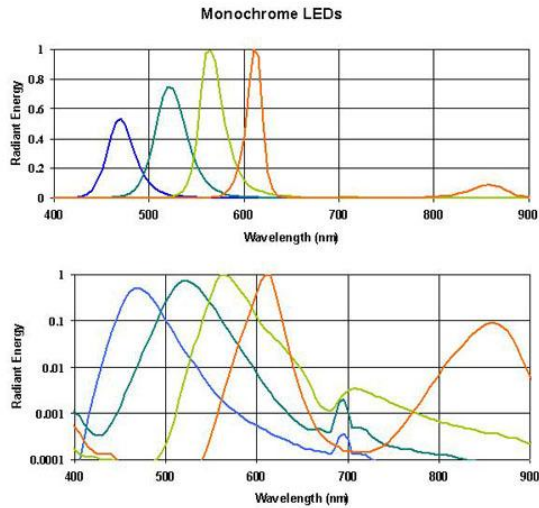
Figure 5

LED

White Light LEDs



LED



LED Efficiency and Color Rendering Index

Type of LED	Luminous Efficiency (lm/W)	Chromaticity Coordinates (x,y)	General CRI
Dichromatic LED	336	(0.31, 0.32)	10
Broadened Output Dichromatic LED	306	(0.31, 0.32)	26
Trichromatic LED	283	(0.31, 0.32)	60
Phosphor-Based LED	280	(0.31, 0.32)	57

Raport



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki



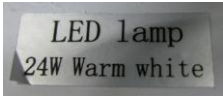
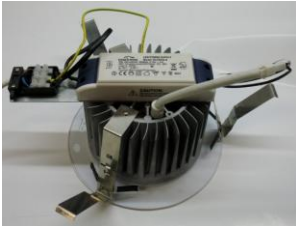
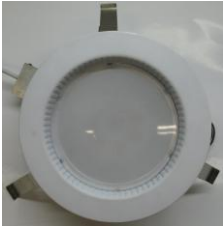
LABORATORIUM OPTYKI FALOWEJ

Pracownia Pomiarów Fotometrycznych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

+48 (71) 320-33-96 fotometria@pwr.wroc.pl

Opis zlecenia

Zamawiający	Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Nazwa i typ lampy	Typ lampy: <i>downlight</i> na diodach LED Układ optyczny: dyfuzor matowy Zasilacz: zintegrowany 
Zakres pomiarów	Parametry elektryczne: - moc czynna i pozorna, współczynnik mocy. Parametry optyczne: - kierunkowy rozkład światłości w układzie C-y, - strumień świetlny (metoda strumieni cząstkowych),
Układ pomiarowy	Goniometr dalekiego pola w układzie C-y Oś optyczna lampy: poziomo Temperatura otoczenia: 24.9 °C Wstępne wygrzewanie lampy: 6h Czas do osiągnięcia równowagi termicznej T_{eq}: ~0h56m

Wyniki pomiarów

Parametr	Wartość deklarowana	Wartość zmierzona	% wartości deklarowanej	Zgodność z danymi producenta
Napięcie wejściowe	-	229 V	-	-
Prąd wejściowy	-	0.12 A	-	-
Moc czynna				
T_0	24 W	23.2 W	97%	Tak
T_{eq}	-	21.4 W	-	-
Moc pozorna				
T_0	-	28.8 VA	-	-
T_{eq}	-	26.9 VA	-	-
Współczynnik mocy				
T_0	0.80	0.80	100%	Tak
T_{eq}	-	0.79	-	-
Strumień świetlny diod	-	-	-	-
Sprawność oprawy	-	-	-	-
Strumień świetlny lampy	900 lm	(738±103) lm	~82%	Nie
Sprawność całkowita lampy	-	~34 lm/W	-	-
CCT	5000-10000 K	7697 K	-	-
CRI	Ra 70	Ra 71.1	101%	Tak
CQS	-	CQS 71	-	-

Raport



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki



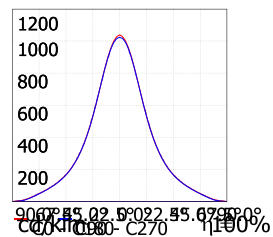
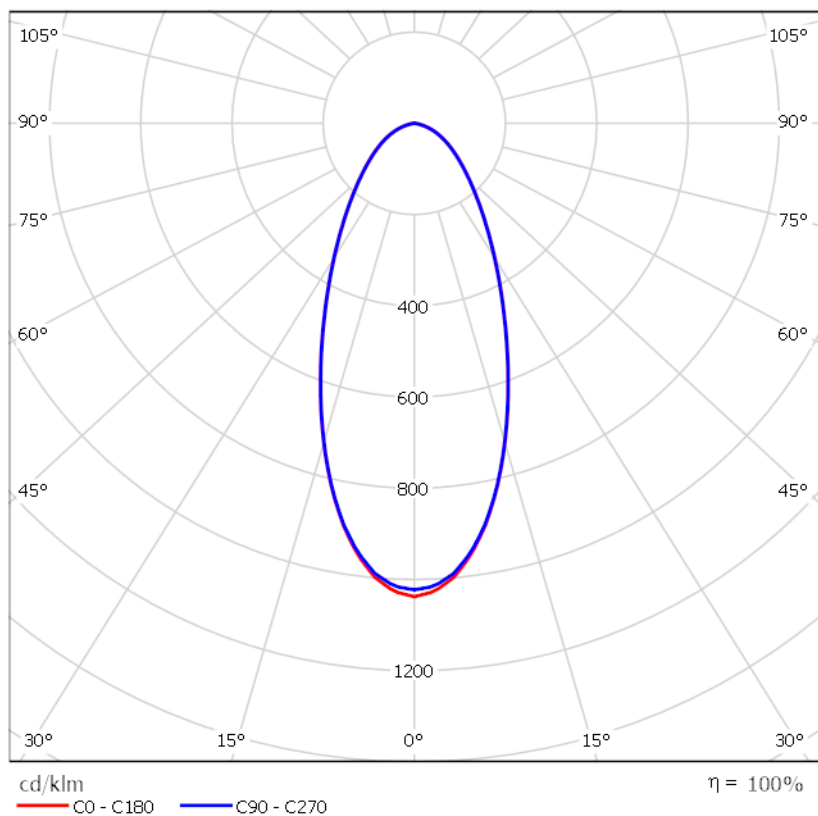
LABORATORIUM OPTYKI FALOWEJ

Pracownia Pomiarów Fotometrycznych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

+48 (71) 320-33-96

fotometria@pwr.wroc.pl



Raport



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki

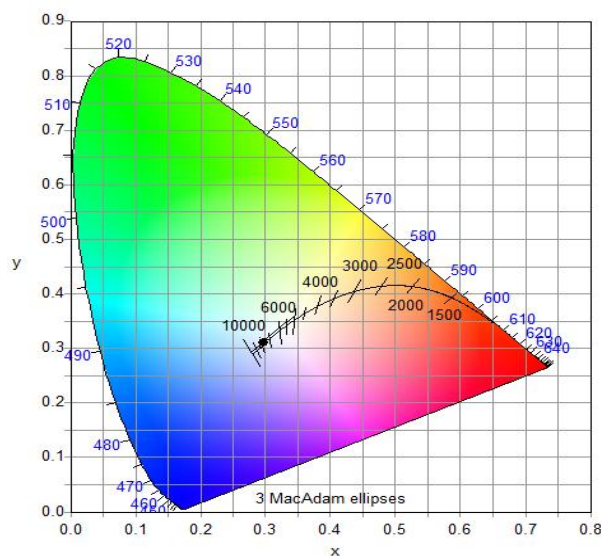
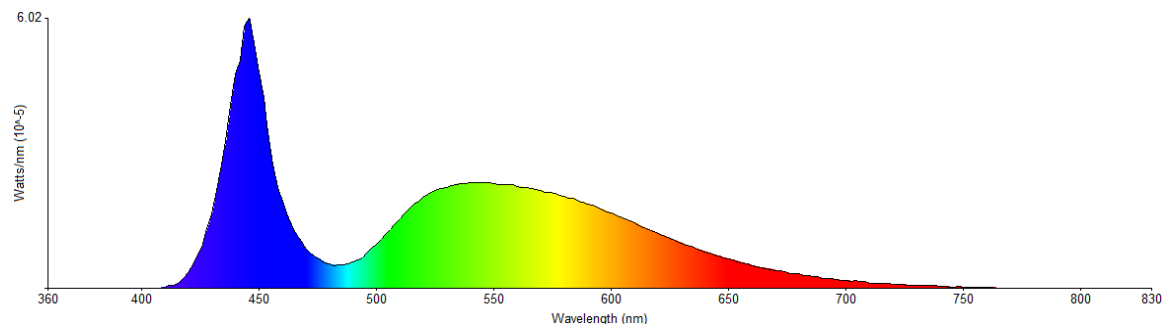


LABORATORIUM OPTYKI FAŁOWEJ

Pracownia Pomiarów Fotometrycznych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

+48 (71) 320-33-96 fotometria@pwr.wroc.pl



CRI Ra 71,1

CRI R1 71,1

CRI R2 72,5

CRI R3 71,4

CRI R4 73,7

CRI R5 72,9

CRI R6 64,4

CRI R7 78,4

CRI R8 64,2

CRI R9 24,0

CRI R10 33,1

CRI R11 73,5

CRI R12 42,0

CRI R13 70,0

CRI R14 83,9

CRI R15 66,0

Raport



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki

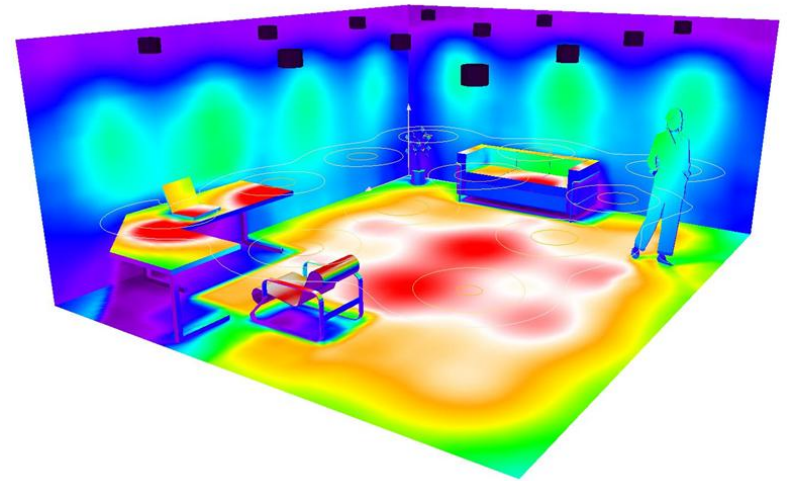


LABORATORIUM OPTYKI FALOWEJ

Pracownia Pomiarów Fotometrycznych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

+48 (71) 320-33-96 fotometria@pwr.wroc.pl



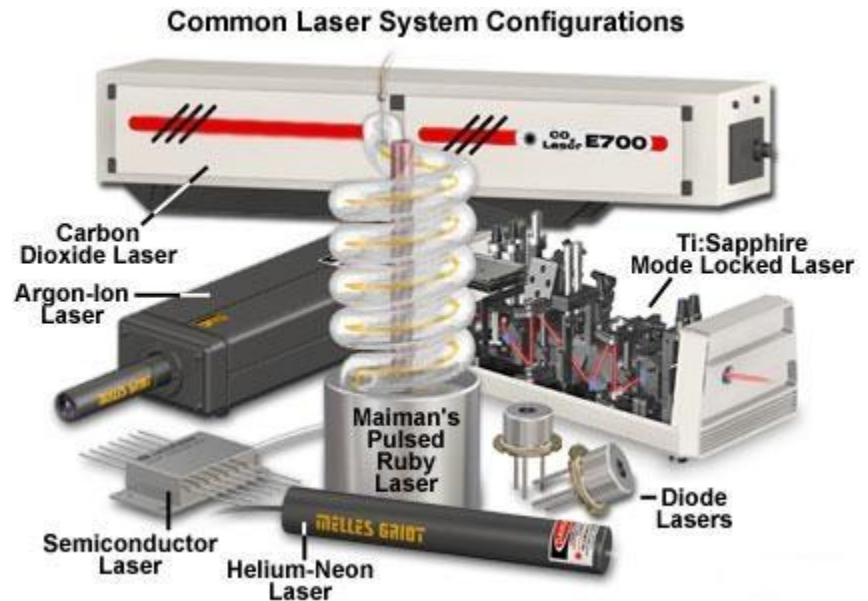
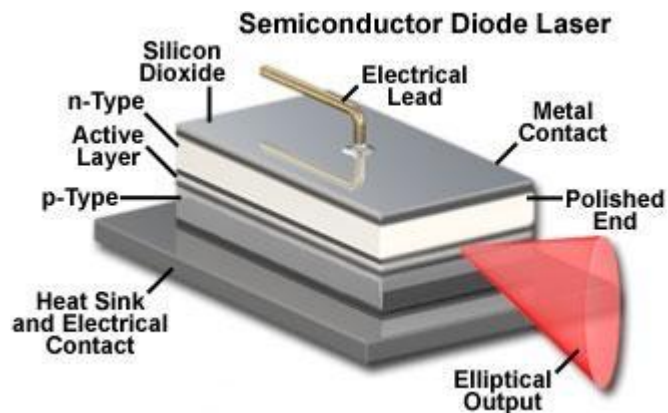
SLED i lasery

Superluminescencja

Emisja wymuszona

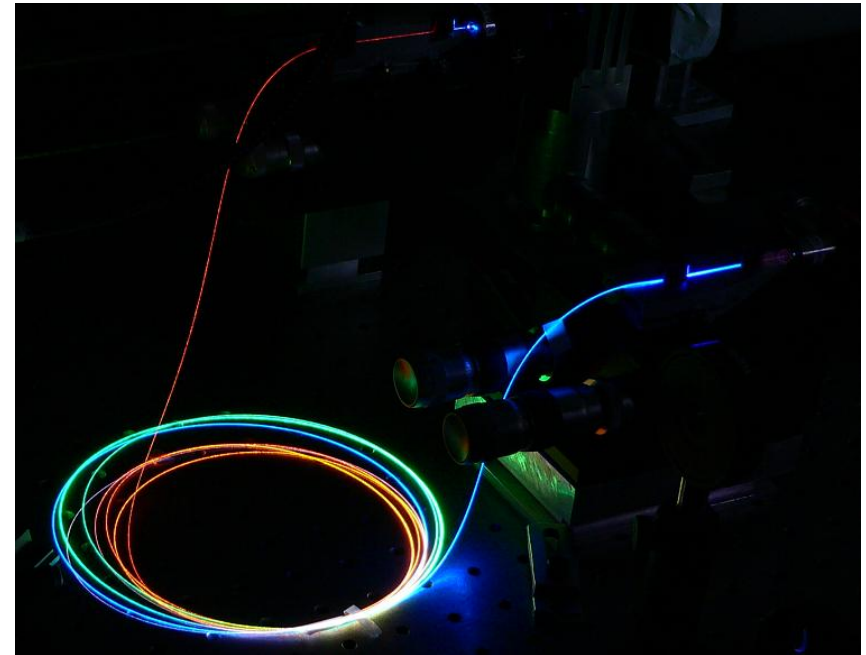
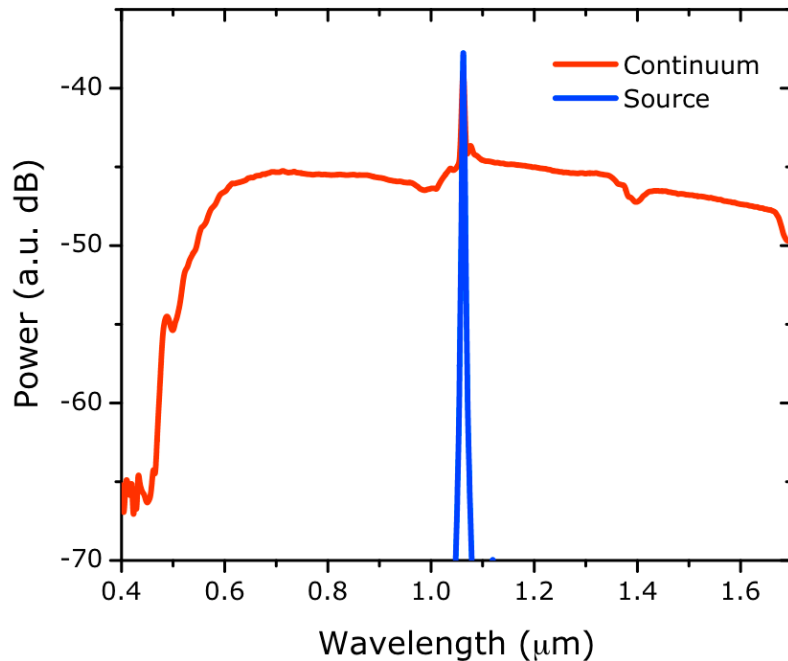
Wąski zakres spektralny

Światło kwazimonochromatyczne (wyższa koherencja niż w tradycyjnych źródłach światła)



Superkontinuum

Generacja supekoninium – dzięki zjawiskom nieliniowym w strukturach fotonicznych, w tym w światłowodach fotonicznych



Bibliografia

- <http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/lightsourceshome.html>
- <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/index.html>
- Wikipedia angielska i polska
- Inne