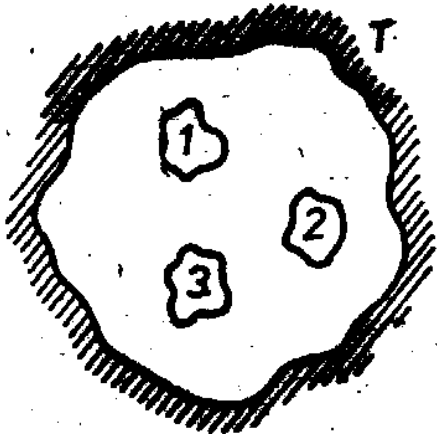


**Wykład II i III**  
**Prawa promieniowania CDC**  
**Źródła promieniowania**

# Prawo Kirchhoffa

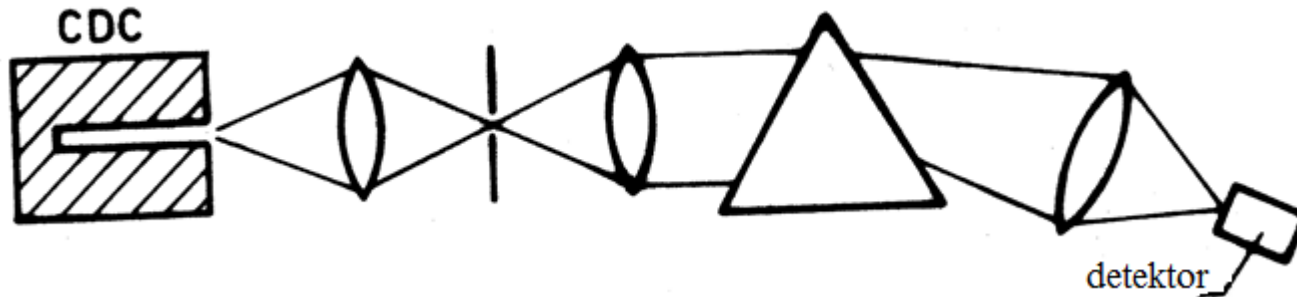


Stosunek spektralnej zdolności emisyjnej do spektralnej zdolności absorpcyjnej ciał jest taką samą funkcją długości fali i temperatury, niezależną od rodzaju ciała:

$$\frac{e_{\lambda}(\lambda, T)}{a_{\lambda}(\lambda, T)} = f(\lambda, T)$$

Dla CDC,  $a_{\lambda}(\lambda, T) = 1$  i zgodnie z prawem Kirchhoffa zdolność emisyjna CDC jest poszukiwaną funkcją  $f(\lambda, T)$ .

# Układ do pomiaru $f(\lambda, T)$

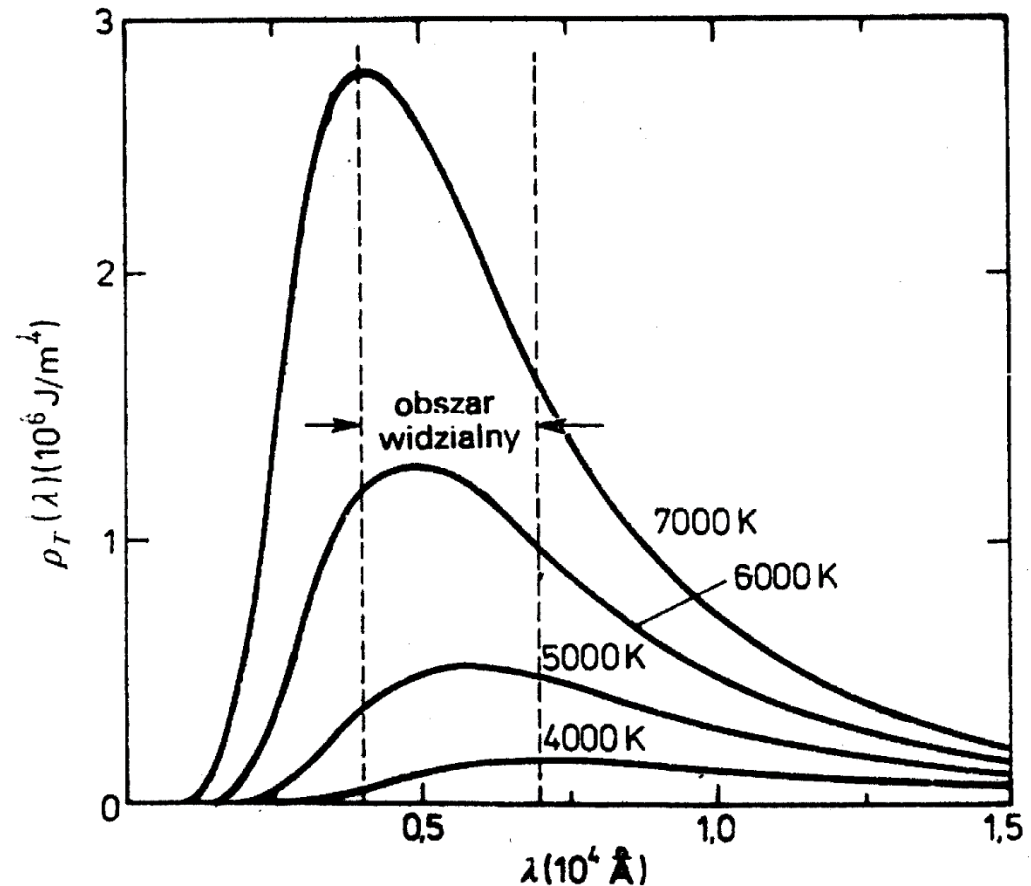


Wiadomo, że

$$e(\lambda, T) = \frac{\rho(\lambda, T) \cdot c}{4}$$

$e(\lambda, T)$ - spektralna zdolność emisyjna

$\rho(\lambda, T)$  - spektralna gęstość energii



# Prawa promieniowania CDC

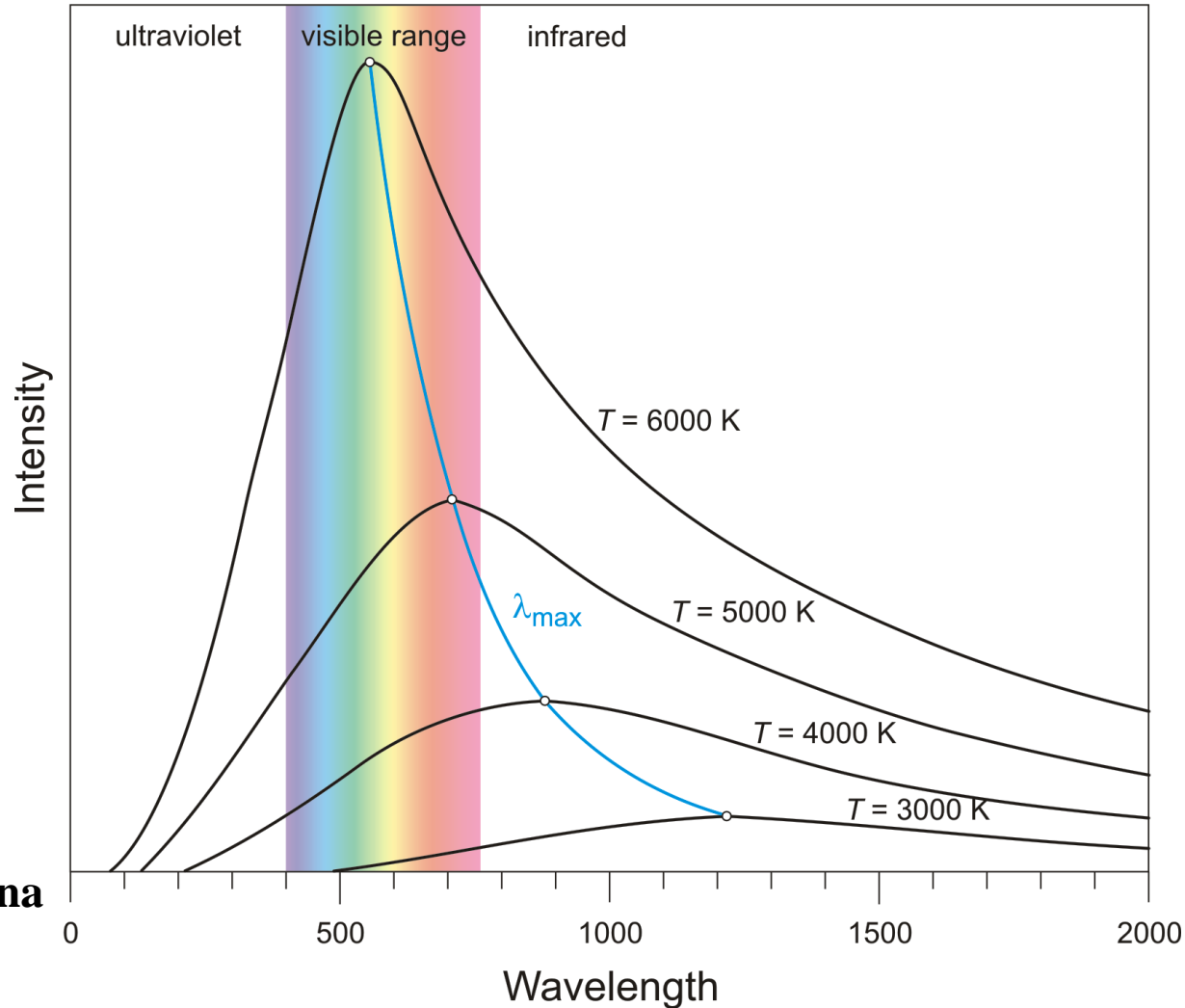
- Prawo Plancka

$$e(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

- Prawo Stefana-Boltzmannna:

$$M(T) = \int_0^{\infty} e(\lambda, T) d\lambda = \sigma(T^4 - T_0^4)$$

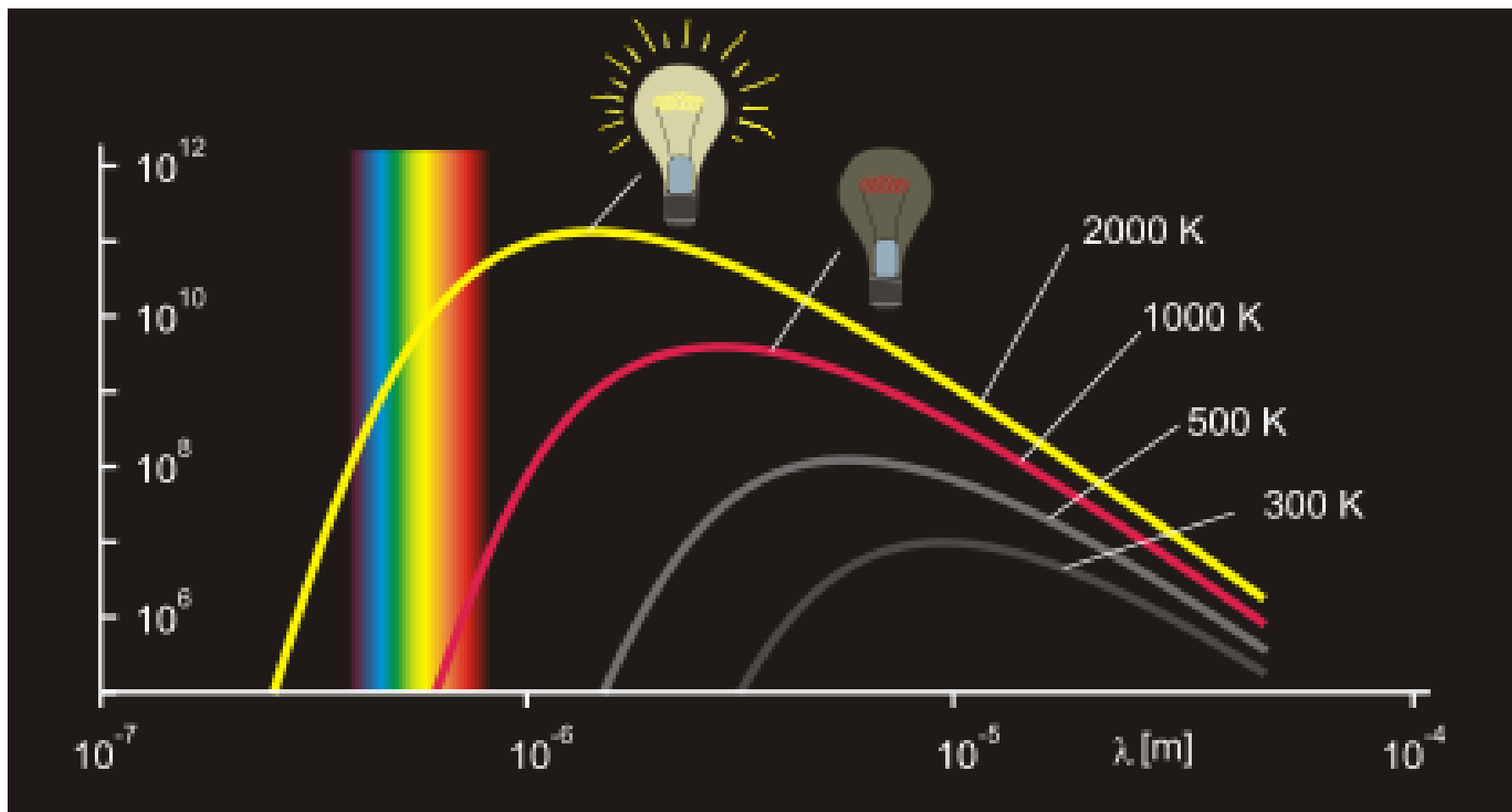
$\sigma$  – stała Stefana-Boltzmannna



- Prawo Wiena:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898 \mu\text{m K}$$

# CDC

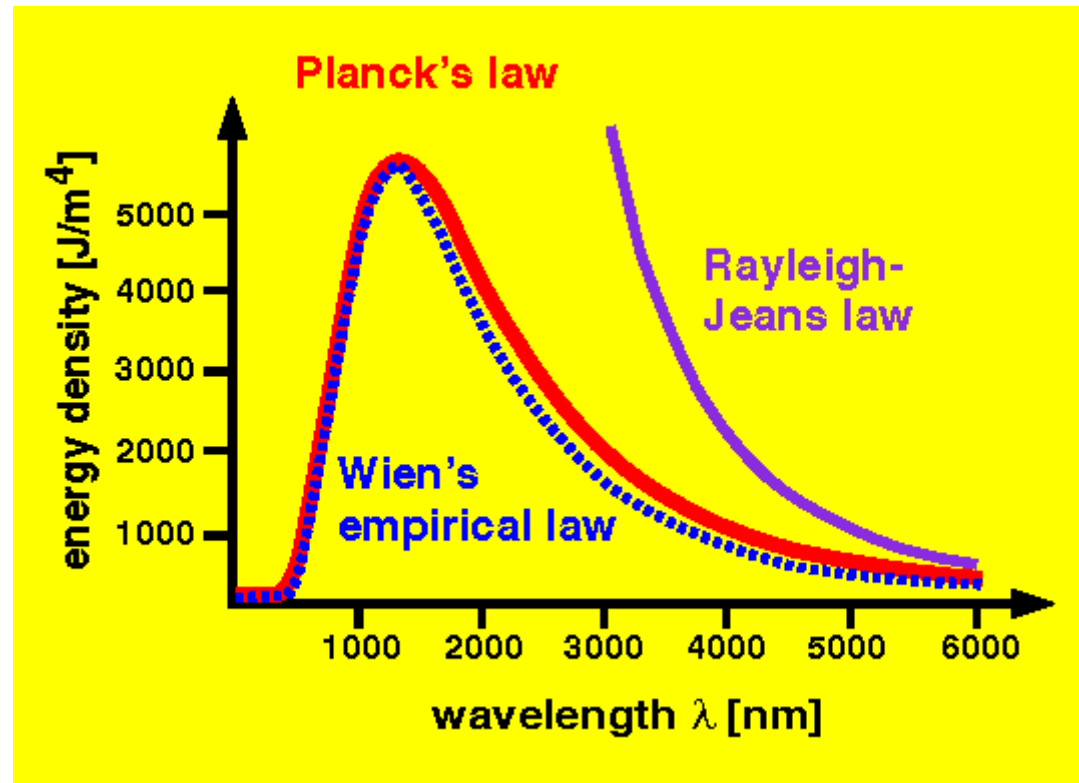
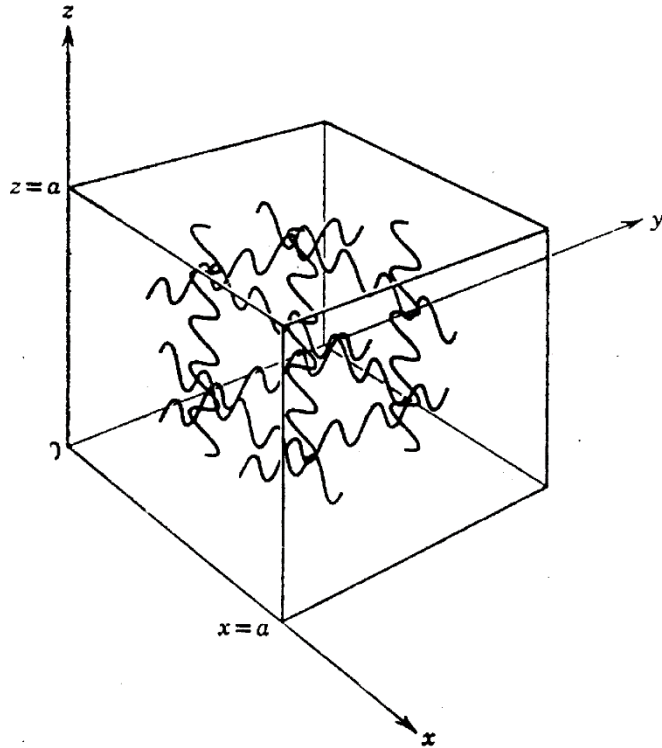


# Prawo Wien

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{K} = 2898 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Temperatura		Długość fali [ $\mu\text{m}$ ]	Emiter
$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$		
273	0	11	lód
373	100	8	wrząca woda
473	200	6,3	kolba do lutowania
573	300	5,2	żelazko do prasowania
773	500	3,9	gorące żelazo
1 273	1 000	2,3	grzejnik Ni-Cr
2 848	2 575	1,0	włókno wolframowe
3 000	2 727	0,97	żarówka samochodowa

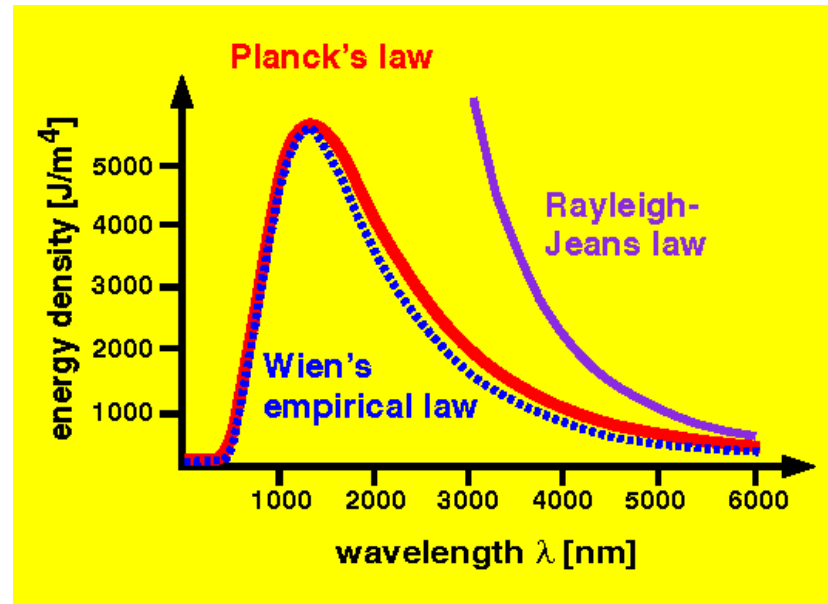
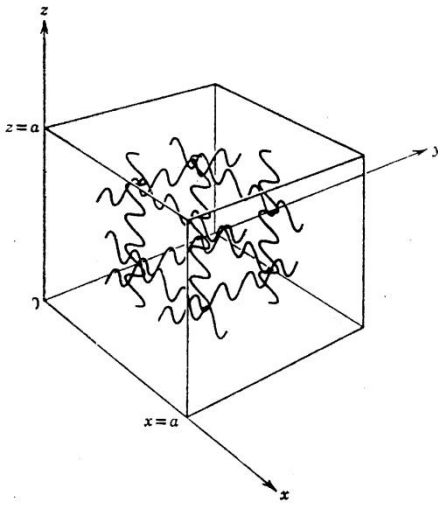
# Prawo Plancka



**Postulat Plancka (1900r – narodziny mechaniki kwantowej):**

$$\varepsilon_n = nh\nu \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

# Prawo Plancka CDC



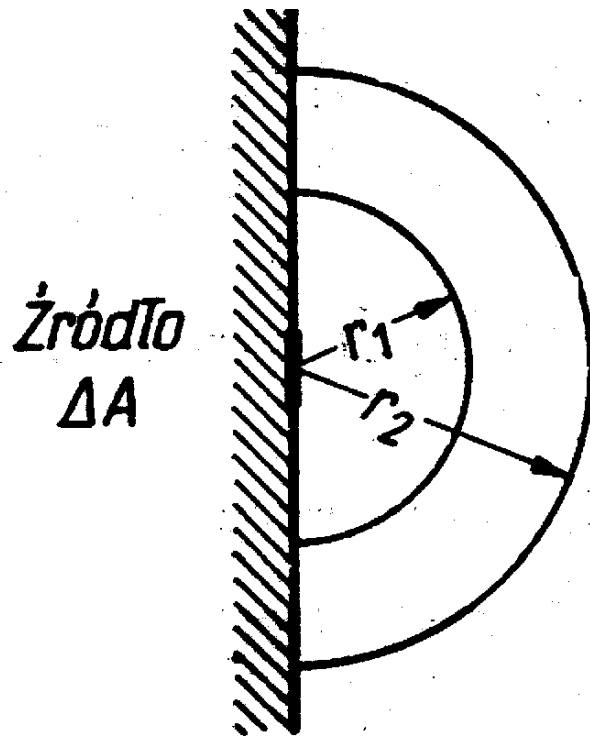
$$e_\nu = \frac{2h\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} \frac{1}{c^2}$$

$$e(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$



# Prawo odwrotnych kwadratów

Natężenie napromieniowania:



$$E_{r1} = \frac{\phi}{2\pi r_1^2}$$

$$E_{r2} = \frac{\phi}{2\pi r_2^2}$$

$$\frac{E_{r1}}{E_{r2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

## Współczynnik emisyjności

$$f(\lambda, T) = \frac{e_{\lambda}(\lambda, T)}{a_{\lambda}(\lambda, T)} = \frac{e_{c\lambda}(\lambda, T)}{a_{c\lambda}(\lambda, T)} = e_{c\lambda}(\lambda, T)$$

### Współczynnik emisyjności

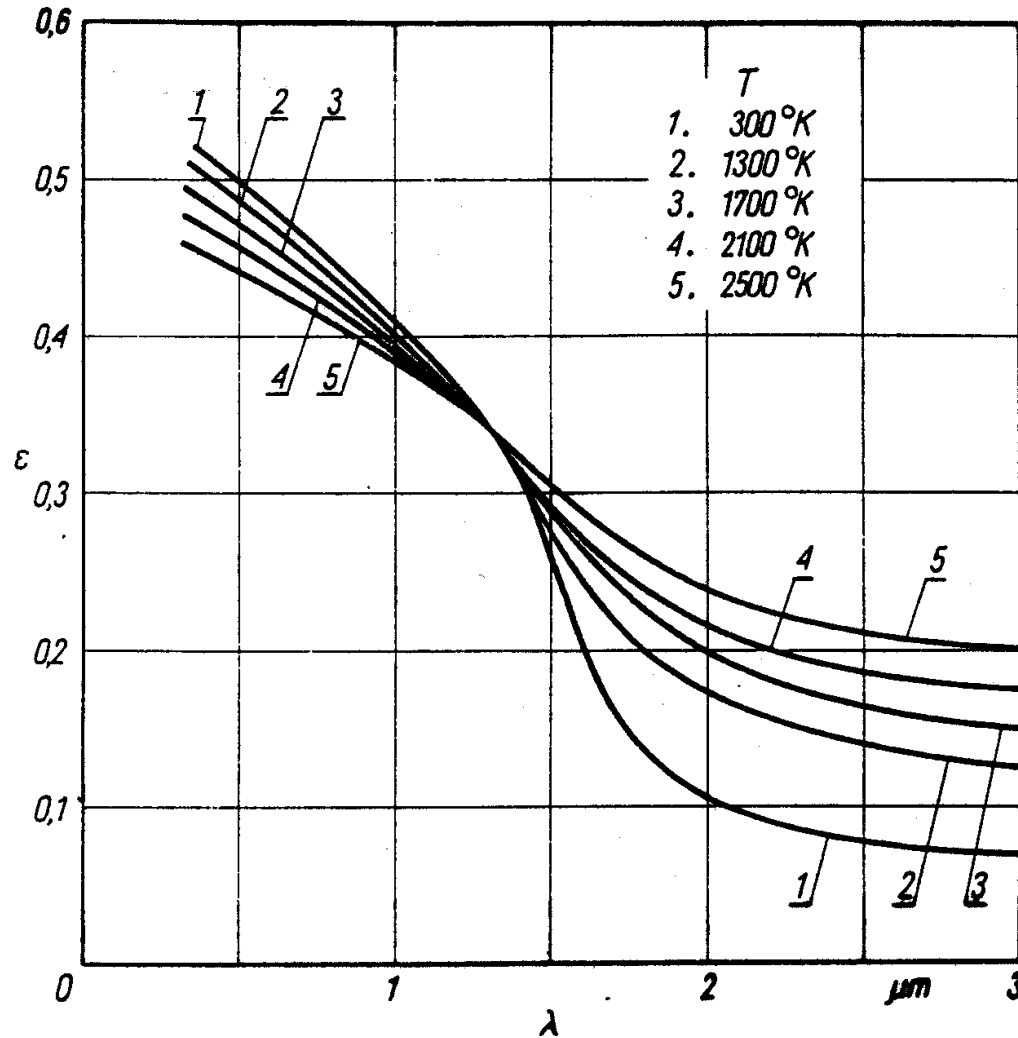
$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{e_{\lambda}(\lambda, T)}{e_{c\lambda}(\lambda, T)} = a_{\lambda}(\lambda, T)$$

**Ciała dla których współczynnik emisyjności nie zależy od długości fali nazywamy ciałami szarymi. Natomiast o ciałach, które mają wyraźne maksimum współczynnika emisyjności mówimy, że promieniują selektywnie.**

# Współczynnik emisyjności

Materiał	$t [^{\circ}\text{C}]$	$\varepsilon$
Miedź elektrolityczna polerowana	80 ÷ 115	0,018 ÷ 0,023
Srebro polerowane	225 ÷ 652	0,0198 ÷ 0,0324
Aluminium polerowane	225 ÷ 575	0,039 ÷ 0,057
Nikiel polerowany	225 ÷ 375	0,07 ÷ 0,087
Chrom	100 ÷ 1 000	0,08 ÷ 0,26
Żelazo polerowane	425 ÷ 1 020	0,144 ÷ 0,377
Żelazo utlenione	100	0,736
Tlenek żelaza	500 ÷ 1 200	0,85 ÷ 0,95
Szkło gładkie	22	0,937
Woda	0 ÷ 100	0,95 ÷ 0,963
Sadza ze szkłem wodnym	100 ÷ 185	0,959 ÷ 0,947
Lakier czarny matowy	40 ÷ 95	0,96 ÷ 0,98

# Współczynnik emisyjności wolframu



# Współczynnik odbicia

Główna różnica między promieniowaniem ciał rzeczywistych a promieniowaniem CDC polega na tym, że wszystkie ciała rzeczywiste odbijają część strumienia promieniowania które na nie pada, czyli mają różny od zera współczynnik odbicia.

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau} \quad / \quad \Phi$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

$\rho = \Phi_{\rho} / \Phi$  - współczynnik odbicia,

$\alpha = \Phi_{\alpha} / \Phi$  jest - współczynnik pochłaniania

$\tau = \Phi_{\tau} / \Phi$  jest współczynnik transmisji

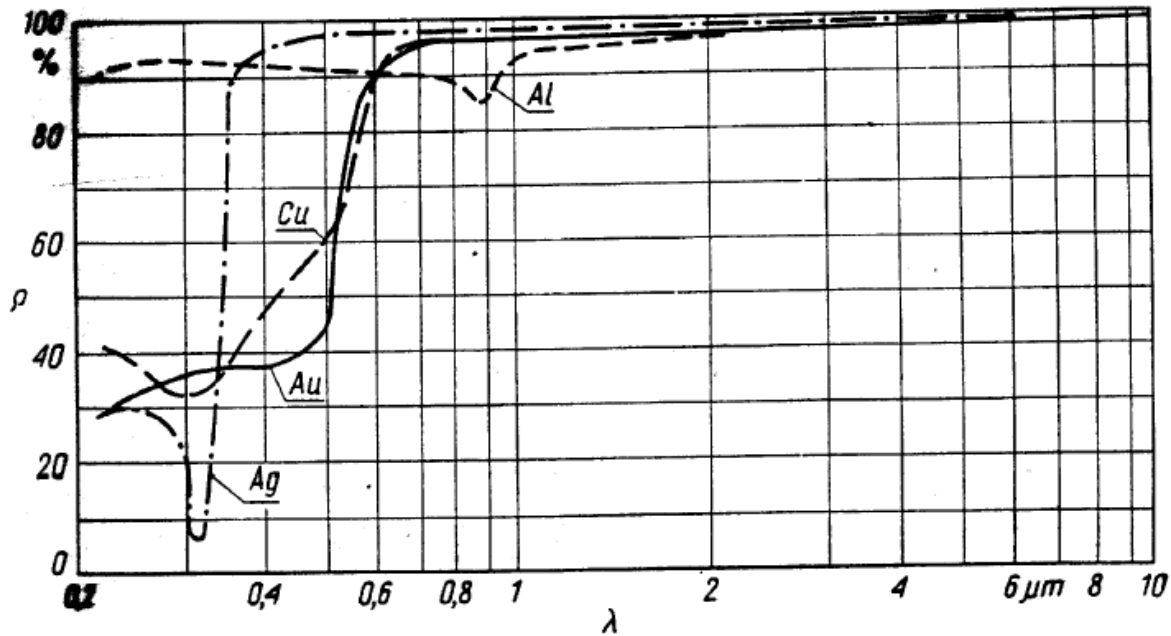
Dla ciał nieprzezroczystych ( np. metale dla światła widzialnego)  $\tau = 0$  :

$$\rho + \alpha = 1 \quad \text{a} \quad \text{stąd} \quad \alpha = 1 - \rho$$

Ponieważ  $\alpha = \varepsilon$  to

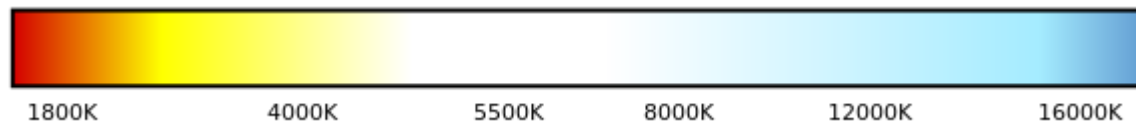
$$\varepsilon = \alpha = 1 - \rho$$

# Współczynnik odbicia



Współczynnik odbicia dla kilku cienkich warstw metalicznych

# Temperatura barwowa



**2000 K – barwa światła świeczki**

**2800 K – barwa bardzo ciepło-biała (żarówkowa)**

**3000 K – wschód i zachód Słońca**

**3200 K – barwa światła żarowego lamp studyjnych**

**4000 K – barwa biała**

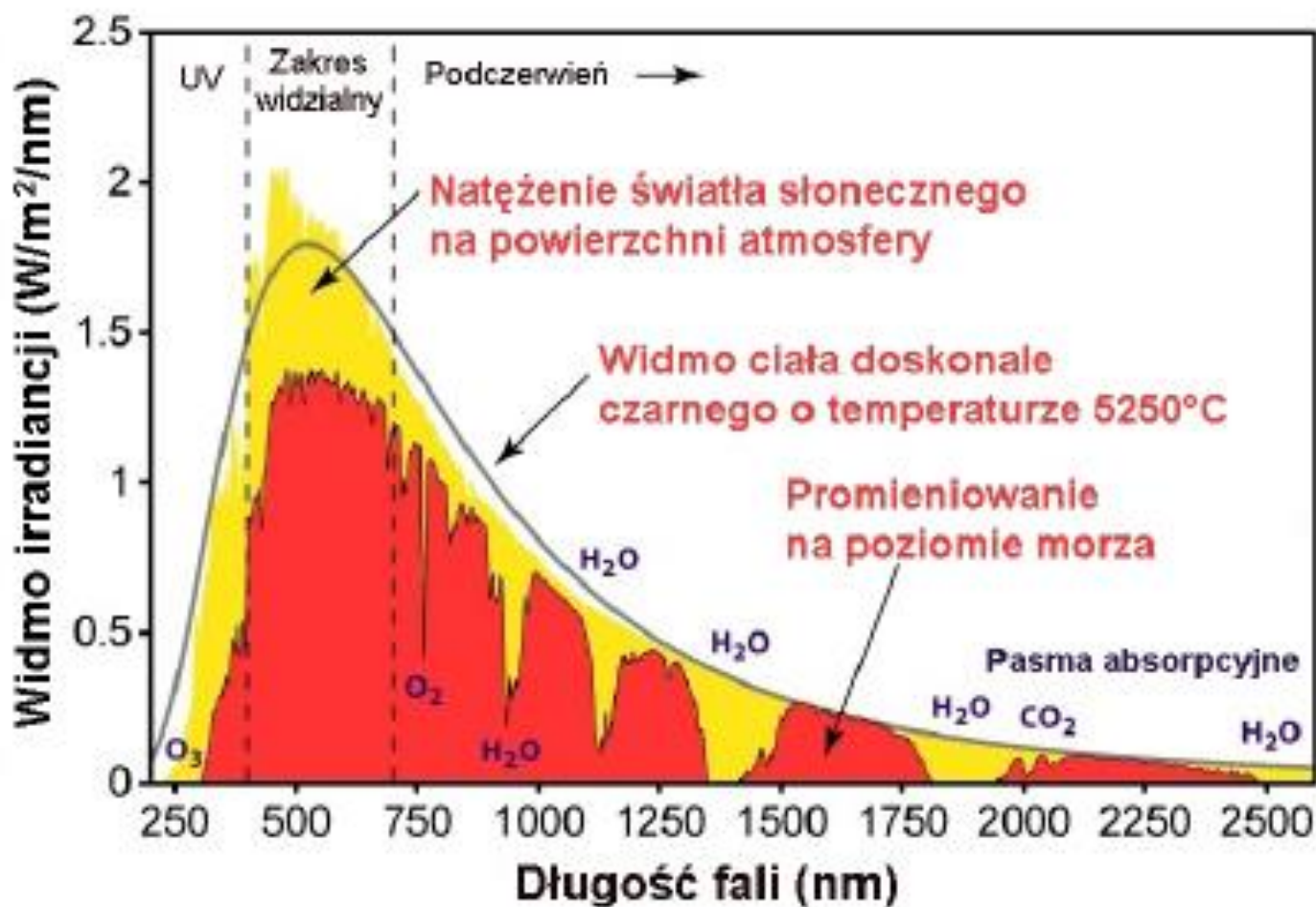
**5000 K – barwa chłodno biała**

**6500 K – barwa dzienna - zimna**

**10000-15000 K – barwa czystego niebieskiego nieba**

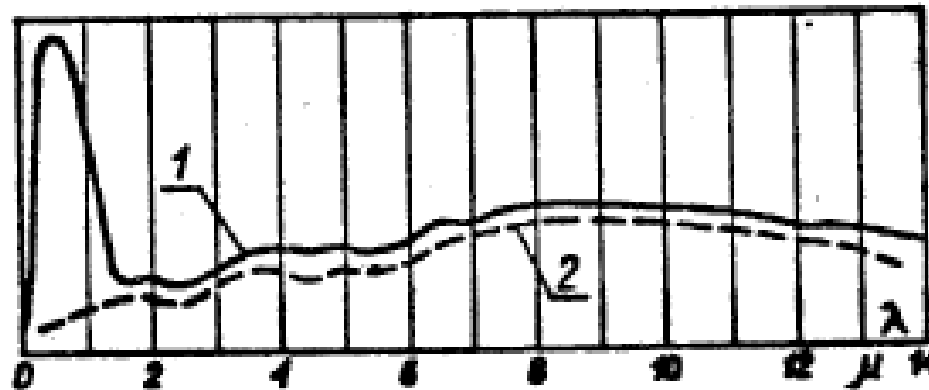
**28000-30000 K – błyskawica**

# Naturalne źródła promieniowania - Słońce





# Widmo nieba



## Widmo promieniowania bezchmurnego nieba w dzień i w nocy

Przyjmuje się, że otoczenie ziemskie jest źródłem o  $T = 283 \text{ K}$  i efektywnej emisyjności  $\varepsilon = 0.35$

# Metale

## Wolfram, molibden i tantal

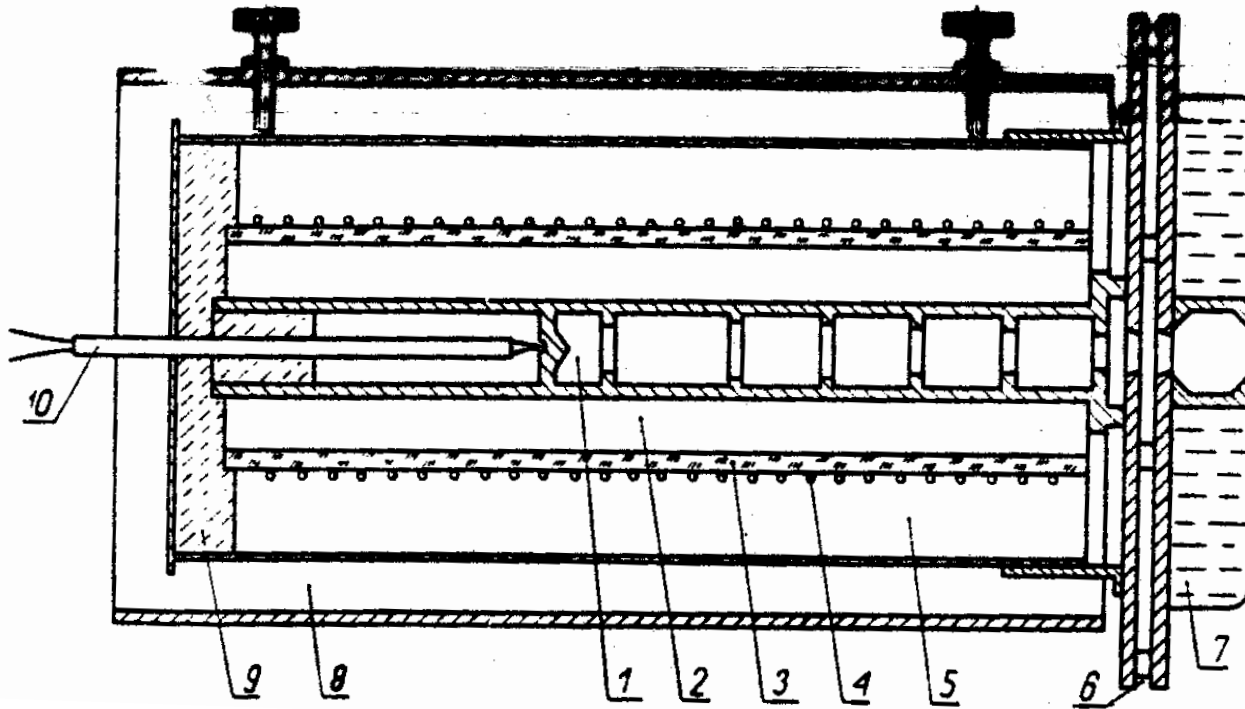
- **temperatury topnienia: W – 3663K; Mo – 2393K i Ta – 3303K;**
- **mogą być żarzone tylko w próżni gdyż w powietrzu ulegają bardzo szybko utlenieniu w wysokiej temperaturze, dlatego ich charakterystyka widmowa zależy od własności osłony.**
- **bańka szklana ( do 3.5  $\mu\text{m}$ ) lub w celu przepuszczenia promieniowania UV - kwarcowa ( do 5  $\mu\text{m}$  ).**

# Źródła na podczerwień

**Sility** - są to pręty lub rury wykonane ze spiekanego węgla krzemu. Stosowane są w zakresie podczerwieni, od ok. 1.5  $\mu\text{m}$ . Zdolność emisyjna silitu jest bardzo dobra ( $\epsilon$  od ok. 0.75 do 0.86 w zakresie  $\lambda$  od ułamka  $\mu\text{m}$  do ok. 15  $\mu\text{m}$ ).

**Niść Nernsta** - pręt lub rura z tlenków cyrkonu, itru i toru. Podobnie jak pręty silitowe niść Nernsta pracuje w powietrzu. Emisyjność tego źródła w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni jest bardzo mała ( $\epsilon \sim 0.3$ ) i wykazuje znaczną selektywność. Dopiero powyżej ok. 7  $\mu\text{m}$  emisyjność grzejnika jest wysoka ( $\epsilon \sim 0.8$ ) i stała w szerokim zakresie widmowym. Wadą tych źródeł jest ujemny współczynnik temperaturowy oporności skutkiem czego wymagają one wstępnego podgrzewania.

# Model CDC

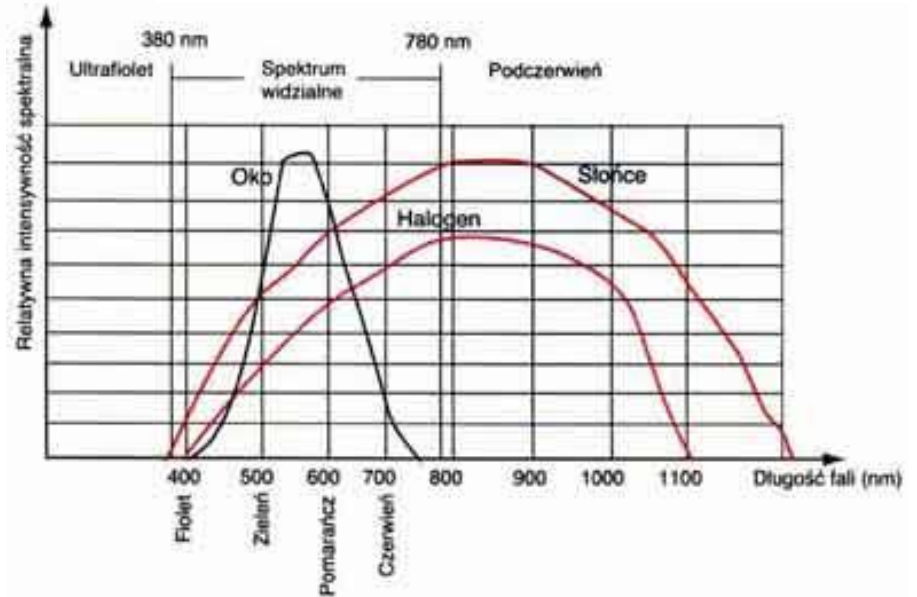
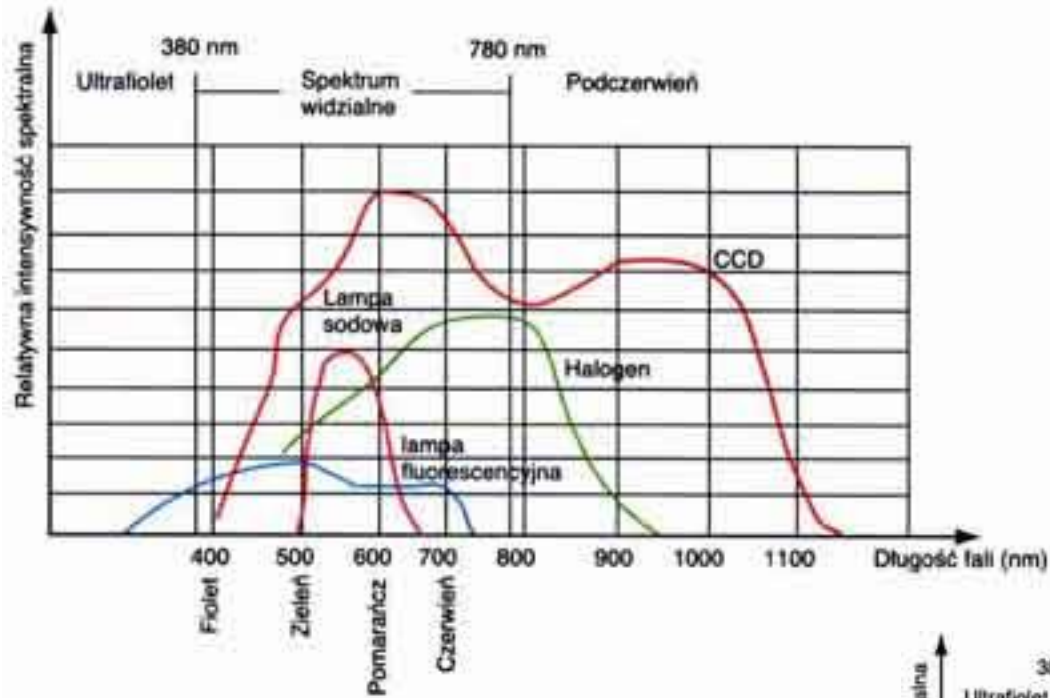


1-wnęka, 2- termostat, 3-rura ceramiczna, 4-grzejnik, 5-izolacja cieplna, 6-szczelina na tarczę modulatora, 7-chłodnica wodna, 8-płaszcz powietrzny, 9- azbest, 10 - termoelement

# Skuteczność świetlna źródeł promieniowania

<b>Źródło światła</b>	<b>Skuteczność świetlna [lm/W]</b>
<b>lampa żarowa</b>	<b>5,75...16,6</b>
<b>Lampa żarowo-rtęciowa</b>	<b>10...26</b>
<b>Żarówka halogenowa</b>	<b>14...28,5</b>
<b>Lampa rtęciowa</b>	<b>36...61</b>
<b>Świetlówka liniowa</b>	<b>40...105</b>
<b>Lampa metalohalogenkowa</b>	<b>50...120</b>
<b>Wysokoprężna lampa sodowa</b>	<b>68...150</b>
<b>Niskoprężna lampa sodowa</b>	<b>100...206</b>

# Charakterystyki widmowe



# Halogen

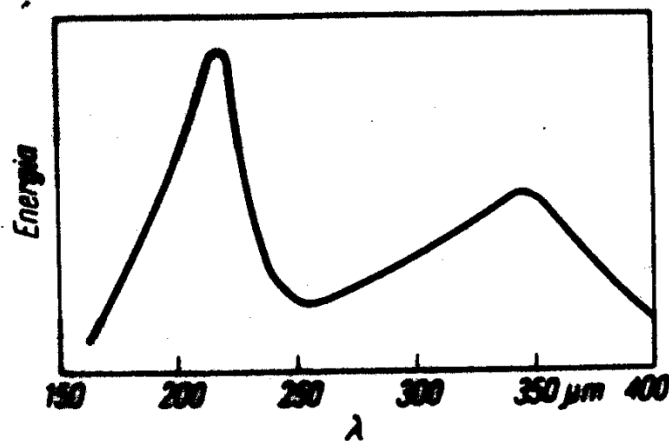


**Lampa halogenowa** – termiczne źródło światła. Jest to żarówka z włóknem wolframowym, wypełniona gazem szlachetnym z niewielką ilością halogenu (czyli fluorowca, np. jodu), który regeneruje żarnik, przeciwdziałając jego rozpylaniu, a tym samym ciemnieniu bańki od strony wewnętrznej.

Halogen tworzy związek chemiczny z wolframem (parami wolframu w bańce i na ściankach bańki). Związek ten krąży wraz z gazem w bańce a następnie rozpada się na wolfram i fluorowec. W rezultacie tej reakcji następuje przenoszenie cząstek wyparowanego wolframu z bańki na żarnik. Proces ten nazywa się halogenowym cyklem regeneracyjnym. Występowanie tego cyklu pozwala zwiększyć temperaturę żarnika do około 3200K, zatem żarówki halogenowe cechują się wyższymi skutecznościami świetlnymi aniżeli zwykłe lampy żarowe (do 18 lm/W).

# Lampy wyładowcze

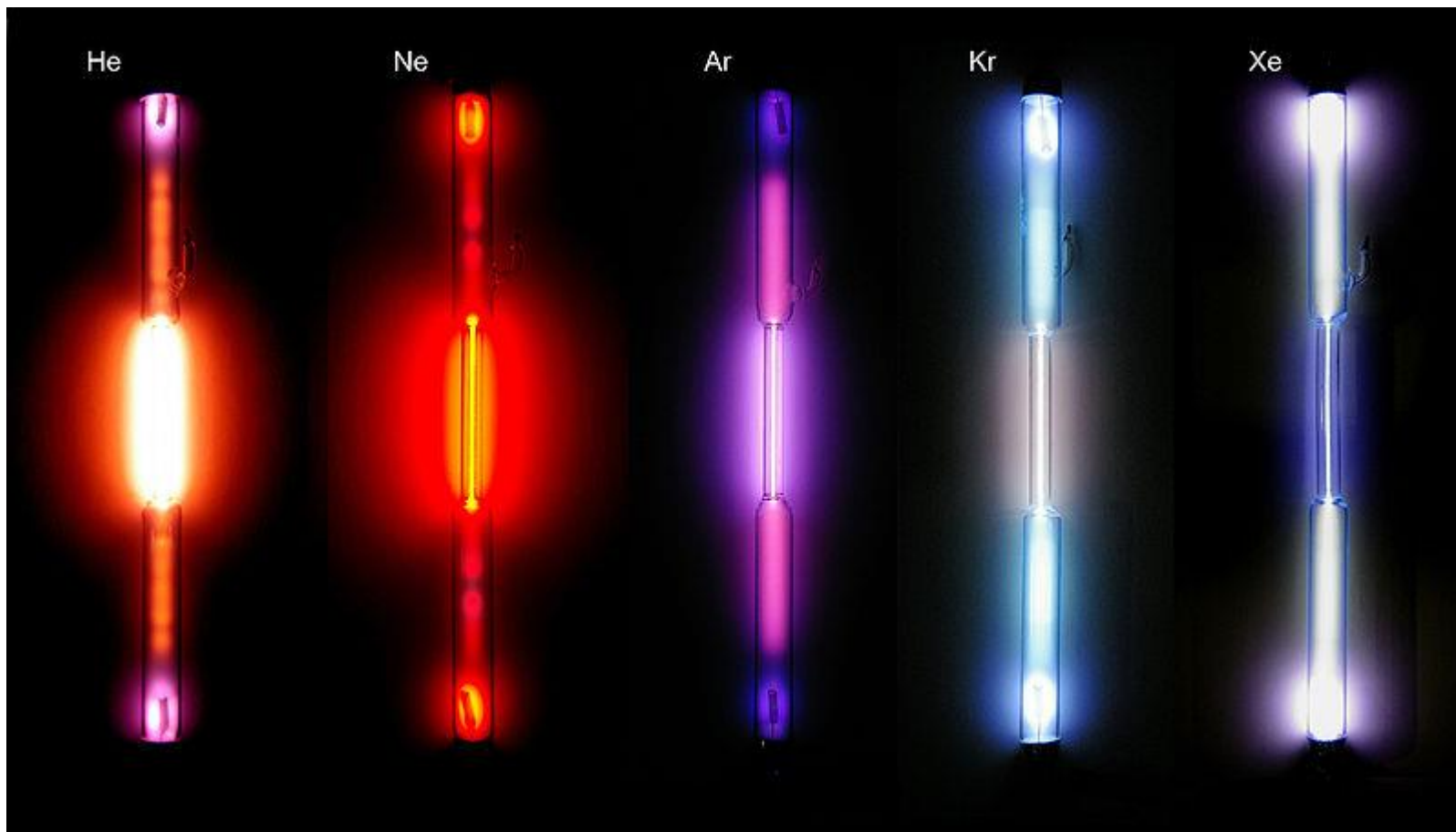
Źródłem promieniowania w lampach, wypełnionych gazami lub parami, jest wyładowanie jarzeniowe lub łukowe. Przy niskich ciśnieniach gazu występuje wyładowanie jarzeniowe lub łukowe a promieniowanie emitowane jest w postaci cienkich linii widmowych. Przy wysokim ciśnieniu gaz emituje taką dużą liczbę linii widmowych, że zlewają się one w jedno pasmo i promieniowanie ma charakter widma ciągłego.



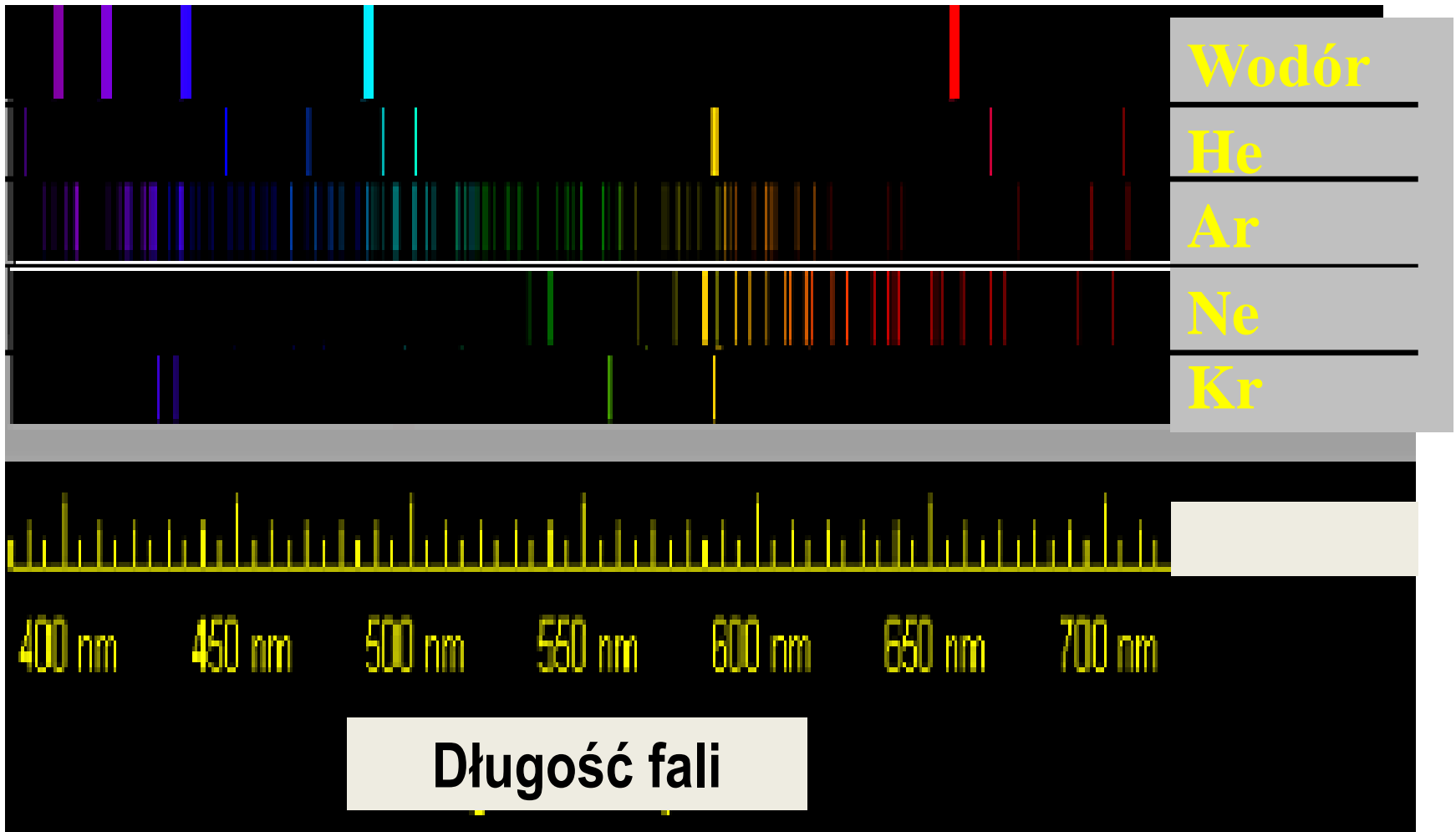


# Lampa wyładowcza

**Lampa wyładowcza** – lampa, która świeci poprzez wyładowanie elektryczne w parach metali (Hg) lub gazów (najczęściej Ar, Ne), jej bańka może być pokryta luminoforem. Prawie wszystkie źródła wyładowcze wymagają urządzenia ograniczającego prąd wyładowania – statecznika (dławik)



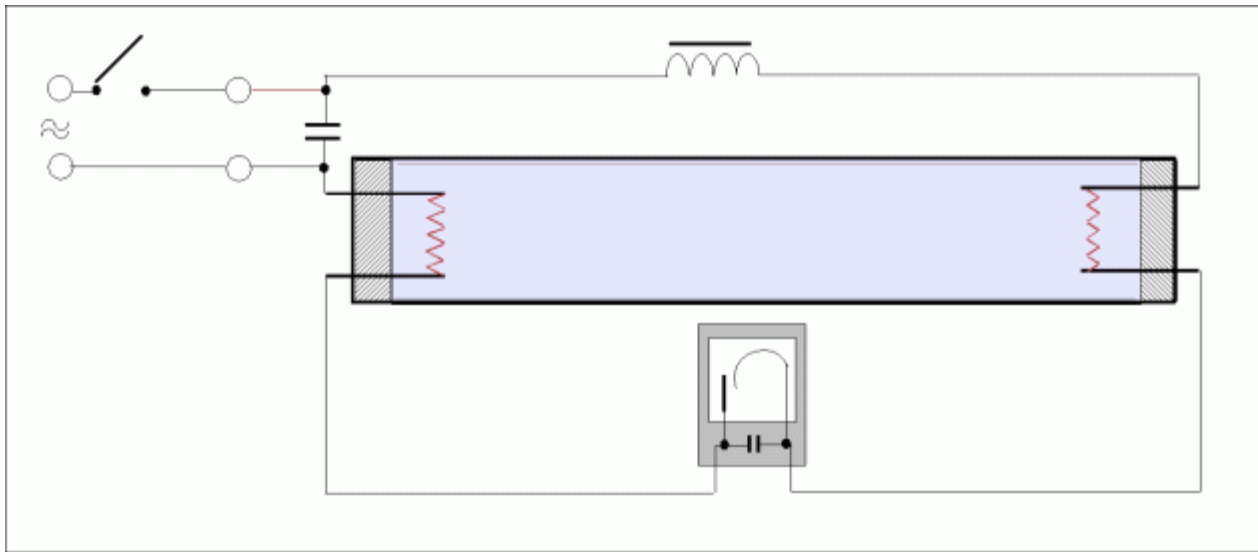
# Widmo lamp wyładowczych



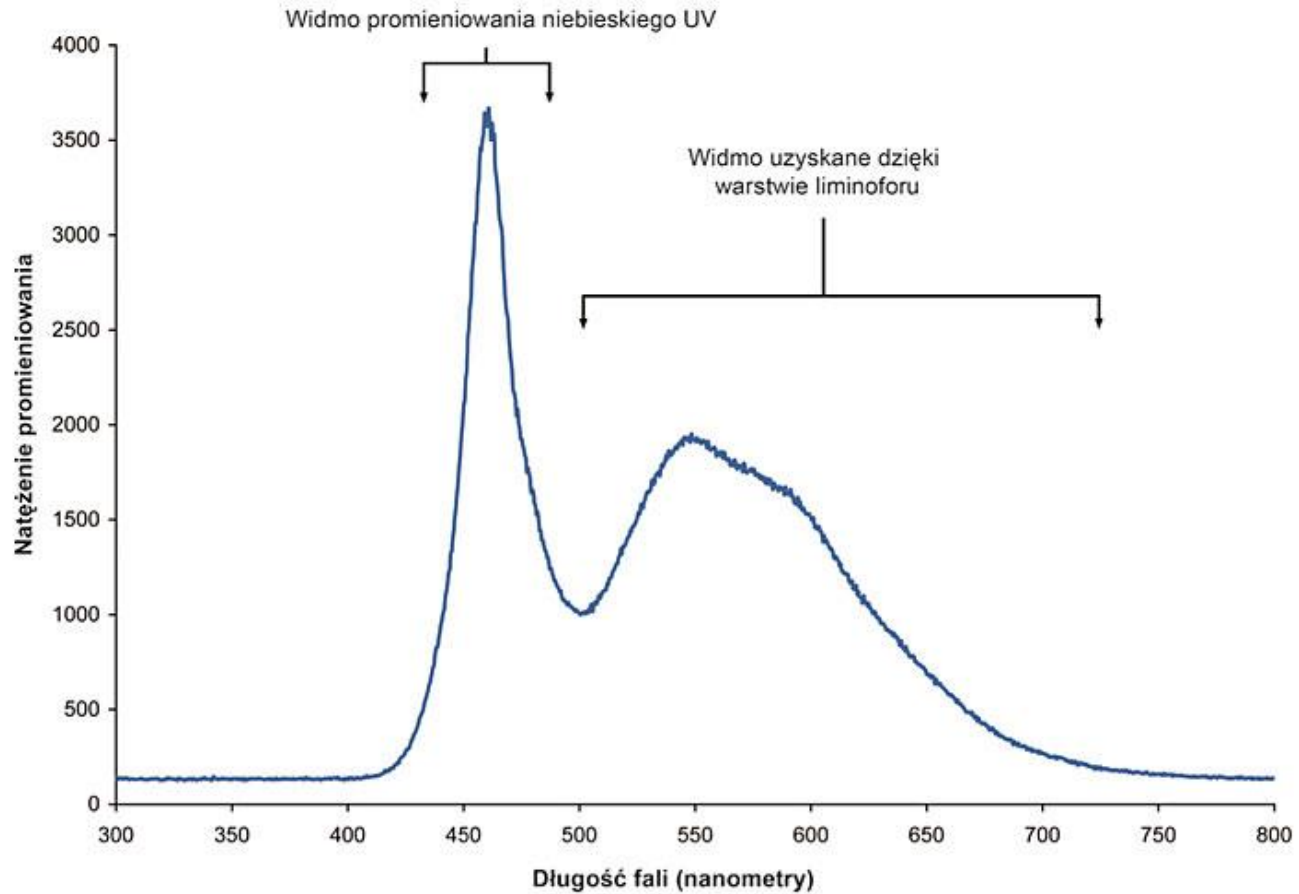
# Świetlówka

**lampa fluorescencyjna** – jest to lampa wyładowcza, wypełniona rtęcią i argonem, w której światło emitowane jest przez luminofor, zaś luminofor emituje światło na skutek pobudzenia promieniowaniem ultrafioletowym. To ostatnie powstaje w wyniku wyładowania jarzeniowego w rurze wypełnionej gazem.

Luminofory: organiczne (polimery) i nieorganiczne np. CdS lub ZnS



# Luminofor



# Lampa metalohalogenkowa

**Lampa metalohalogenkowa** – lampa wyładowcza wysokociśnieniowa, w której światło powstaje dzięki wyładowaniu elektrycznemu w mieszaninie par Hg, Ar oraz halogenków metalu (fluorki np. jodki, bromki), niekiedy również innych gazów szlachetnych oraz bromu lub jodu.

Zastosowanie - m.in. billboardy, iluminacja obiektów architektonicznych



# Neonówka

Różnica potencjałów między katodą i anodą (ok. 60V) powoduje zapłon neonówki. Jony gazu w neonówce są przyspieszane polem elektrycznym i wywołują efekt lawinowy jonizując kolejne atomy. Procesowi jonizacji towarzyszy emisja światła.

Zastosowanie: próbnik napięcia, dawniej – m.in. w wyświetlaczach

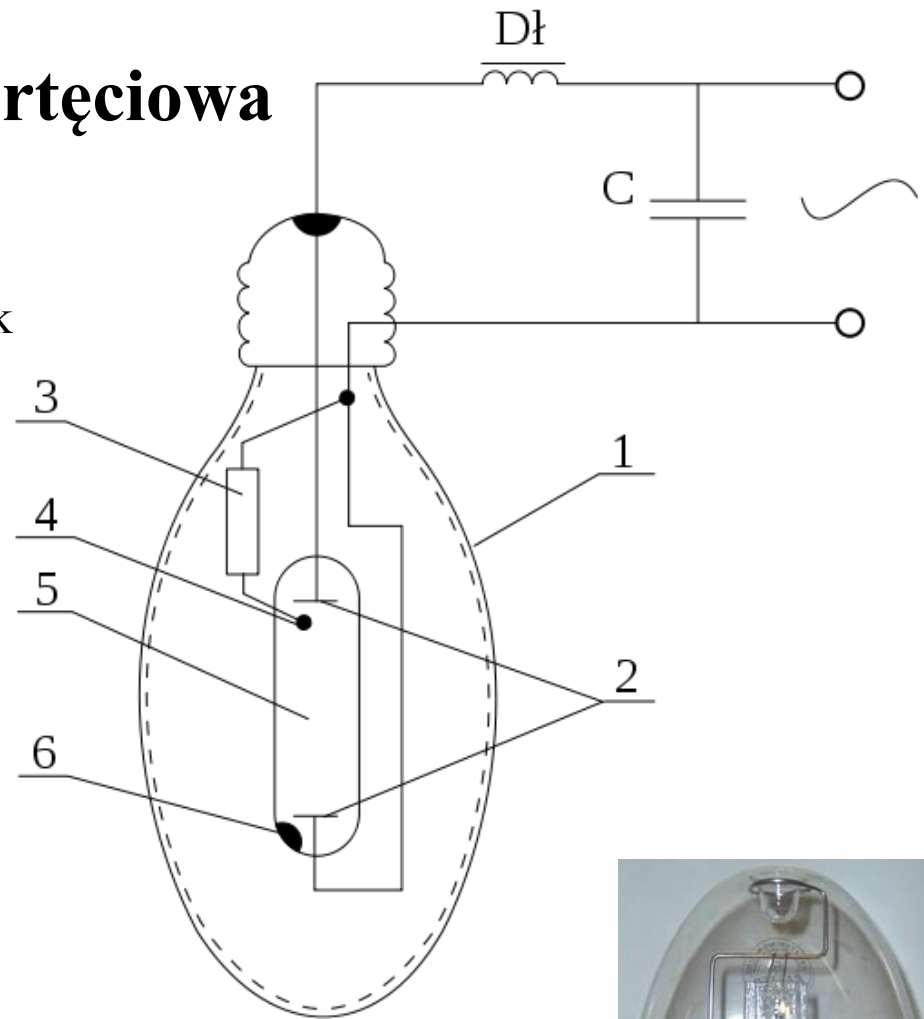


# Lampa rtęciowa

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.

Jarznik - rurka kwarcowa z wyprowadzonymi na zewnątrz dwiema elektrodami głównymi i jedną lub dwiema elektrodami pomocniczymi, zawierająca Ar oraz Hg.

- Zapłon – przy ok. 180V między elektrodami 4 i 2 i następuje wyładowanie jarzeniowe;
- Rtęć rozgrzewa się, odparowuje i następuje wyładowanie łukowe między elektrodami 2;



# Lampy sodowe

- Niskoprężne

W niskoprężnych lampach sodowych w jarzniku (szklana rura wygięta w kształt litery U) znajduje się metaliczny sód oraz gaz pomocniczy (mieszanka Ne i Ar). Do zasilania lamp sodowych niskoprężnych stosuje się najczęściej transformatory zapewniające wysokie napięcie w czasie zapłonu i ograniczenie jego wartości w czasie normalnej pracy. Po załączeniu lampy rozpoczyna się wyładowanie w gazie pomocniczym i dopiero po odparowaniu sodu, wyładowanie w parach sodu staje się dominujące. Pełną wydajność świetlną uzyskują po kilku minutach.

- Wysokoprężne

Lampy, w których źródłem światła jest jarznik wykonany zazwyczaj z materiału ceramicznego, zawierający Na, Hg oraz gaz pomocniczy (Xe) o ciśnieniu ok. 2 kPa.

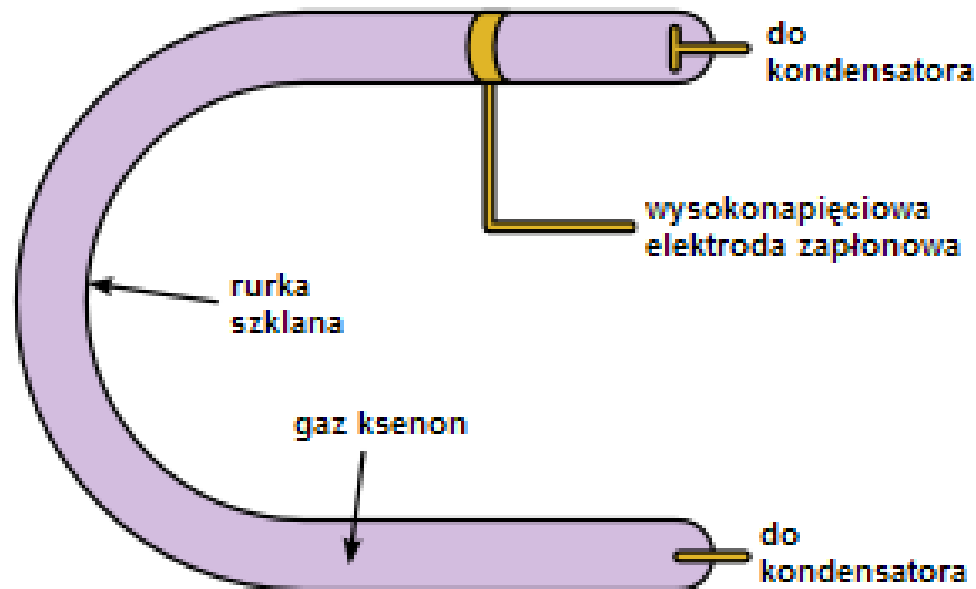


Wysokoprężna lampa sodowa



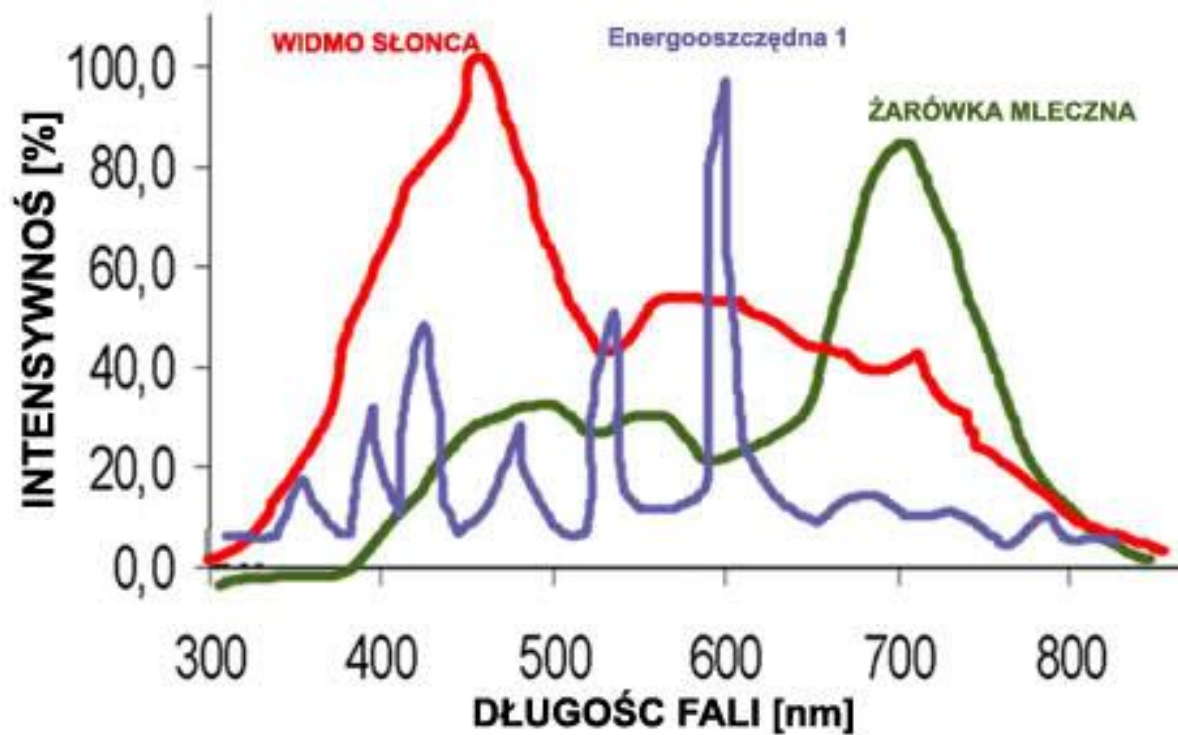
# Lampa ksenonowa

Zasada działania tej lampy opiera się, tak jak w innych lampach wyładowczych, na zjawisku przepływu prądu przez zjonizowany i zamknięty w szklanej rurce gaz (Xe). Przepływ prądu jest wywoływany impulsem wysokiego napięcia (kilkanaście lub kilkadziesiąt kV), przykładanym do elektrod, Ksenon wykorzystywany jest ze względu na białą barwę świecenia.

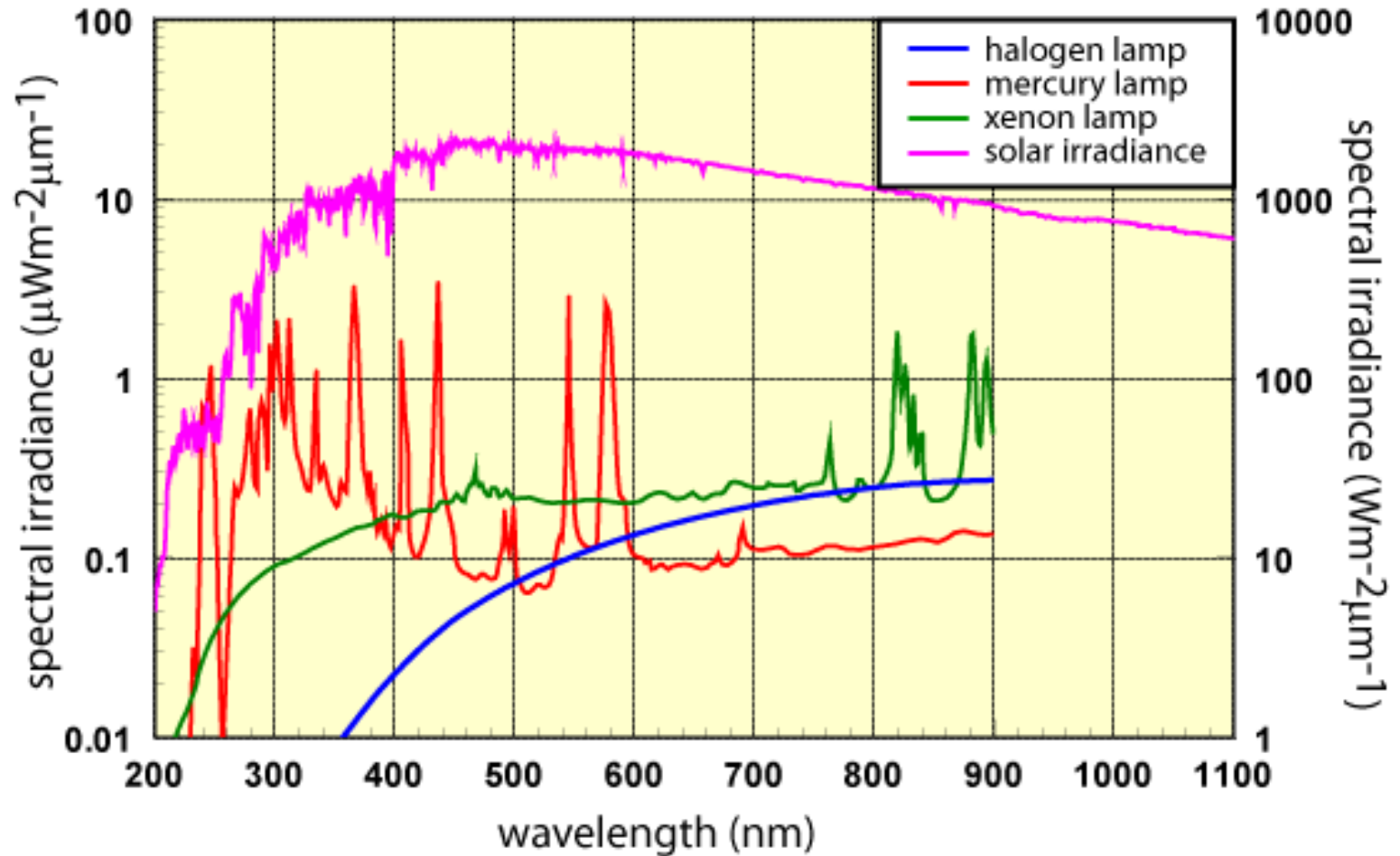


# Widma promieniowania

WIDMA POSZCZEGÓLNYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA



# Irradiancja widmowa



$$F(\lambda) = \Phi q \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})} \frac{1}{\Delta\lambda} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\mu\text{m}} \right)$$