

Wielkości i jednostki promieniowania w ujęciu energetycznym i fotometrycznym

Ujęcie energetyczne	Ujęcie fotometryczne
<p>Energia promienista przenoszona przez promieniowanie W_e, Q_e; jednostka: 1 Ws = 1 J</p>	<p>Energia promienista przenoszona przez promieniowanie W_f, Q_f; jednostka: 1 Ws = 1 J</p>
<p>Strumień energetyczny (moc promienista) Φ_e odpowiada ilości energii promienistej dW_e przesyłanej w czasie dt</p> $\Phi_e = \frac{dW_e}{dt}$ <p style="text-align: center;">jednostka: 1 W</p>	<p>Strumień świetlny Φ_f stanowi część strumienia energetycznego wywołującą wrażenia wzrokowe</p> $\Phi_f = K(\lambda)_{\max} \int_{360\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) \lambda d\lambda$ <p style="text-align: center;">jednostka: 1 lm</p>
<p>Natężenie promieniowania I_e (w danym kierunku) określa strumień wysyłany przez elementarną powierzchnię w obrębie nieskończonego małego stożka o kącie bryłowym $d\Omega$ w kierunku jego osi</p> $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad \text{jednostka: 1 W}\cdot\text{sr}^{-1}$	<p>Światłość I_f (w danym kierunku) jest odniesieniem strumienia świetlnego do objętego światłem kąta bryłowego $d\Omega$</p> $I_f = \frac{d\Phi_f}{d\Omega} \quad \text{jednostka: 1 cd}$
<p>Emitancja energetyczna M_e (z danego punktu powierzchni) określa gęstość powierzchniową strumienia wysyłanego z punktu leżącego na powierzchni dA</p> $M_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad \text{jednostka: 1 W}\cdot\text{m}^{-2}$	<p>Emitancja świetlna M_f (z danego punktu powierzchni) określa gęstość strumienia świetlnego wysyłanego z punktu leżącego na powierzchni dA</p> $M_f = \frac{d\Phi_f}{dA} \quad \text{jednostka: 1 lm}\cdot\text{m}^{-2}$
<p>Radiacja L_e (w danym punkcie, w danym kierunku) jest ilorazem natężenia promieniowania wysyłanego przez element powierzchni w danym kierunku i pola rzutu tej powierzchni na płaszczyznę prostopadłą do kierunku promieniowania</p> $L_e = \frac{dI_e}{dA \cdot \cos\varphi} \quad \text{jednostka: 1 W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	<p>Luminancja L_f (w danym punkcie, w danym kierunku) jest ilorazem światłości powierzchni świecącej w danym kierunku i pola rzutu tej powierzchni na płaszczyznę prostopadłą do kierunku świecenia</p> $L_f = \frac{dI_f}{dA \cdot \cos\varphi} \quad \text{jednostka: 1 cd}\cdot\text{m}^{-2}$
<p>Natężenie promieniowania E_e jest gęstością strumienia padającego na powierzchnię dB</p> $E_e = \frac{d\Phi_e}{dB} \quad \text{jednostka: 1 W}\cdot\text{m}^{-2}$	<p>Natężenie oświetlenia E_f jest gęstością strumienia świetlnego padającego na powierzchnię dB</p> $E_f = \frac{d\Phi_f}{dB} \quad \text{jednostka: 1 lx}$
<p>Napromienienie H_e stanowi uśrednienie natężenia napromienienia w czasie jego trwania</p> $H_e = \int_t E_e dt \quad \text{jednostka: 1 W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$	<p>Naświetlenie H_f stanowi uśrednienie natężenia oświetlenia w czasie jego trwania</p> $H_f = \int_t E_f dt \quad \text{jednostka: 1 lx}\cdot\text{s}$

PRZELICZANIE WIELKOŚCI RADIOMETRYCZNYCH NA FOTOMETRYCZNE

$$\Phi_f = K_m \int_{360\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda$$

$K_m = 683 \text{ lm/W}$ (dla $\lambda = 555 \text{ nm}$)

K_m - wartość maksymalna równoważnika promieniowania $K_f(\lambda)$

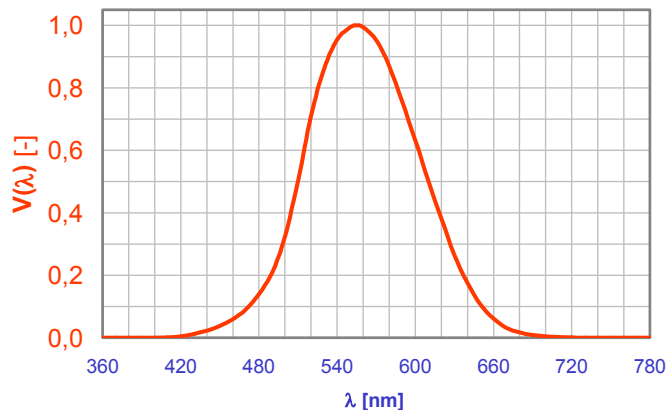
$\Phi_e(\lambda)$ - moc promienista w przedziale długości fali ($\lambda, \lambda + d\lambda$)

$V(\lambda)$ - krzywa czułości spektralnej oka CIE dla widzenia fotopowego

widzenie fotopowe - widzenie okiem „normalnym”, przystosowanym do poziomu luminancji o wartości co najmniej kilku kandel na metr kwadratowy

RÓWNOWAŻNIK PROMIENIOWANIA $K_f(\lambda)$

KRZYWA CZUŁOŚCI SPEKTRALNEJ OKA $V(\lambda)$ dla widzenia fotopowego



Jednostki wielkości fotometrycznych

- a) 1 candela 1 cd (jednostka podstawowa w układzie SI)
- b) 1 lumen 1 lm ($I = 555 \text{ nm} \rightarrow 683 \text{ lm} = 1 \text{ W}$)
- c) 1 luks 1 lx ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)

RÓWNOWAŻNIKI PROMIENIOWANIA K_f DLA ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA O OKREŚLONEJ CHARAKTERYSTYCE $\Phi_e(\lambda)$

Źródło światła	K_f [lm/W]
monochromatycznego $\lambda=555\text{nm}$	683
mieszanego białego	220
słońce	50-120
fluoroscencyjne (światłówka zimnobiała)	384
żarowe (z włóknem wolframowym)	15

Przykłady obliczeń:

- a) żarówka inkadescencyjna wolframowa o mocy promienistej 1 W:

$$\Phi_f = K_f \cdot \Phi_e = 15 \text{ lm/W} \cdot 1 \text{ W} = 15 \text{ lm}$$

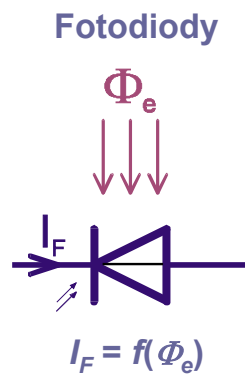
- b) światłówka (zimnobiała) o mocy promienistej 1 W:

$$\Phi_f = K_f \cdot \Phi_e = 384 \text{ lm/W} \cdot 1 \text{ W} = 384 \text{ lm}$$

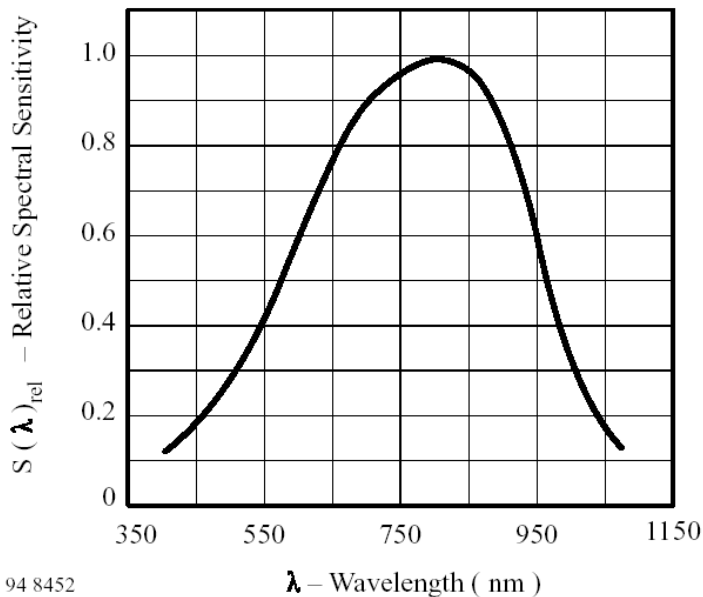
Rodzaje fotodetektorów:

1. Fotorezystory
2. Fotodiody
 - 2.a. Fotodiody ze złączem p-n / fotoogniwa
 - 2.b. Fotodiody ze złączem p-i-n
 - 2.c. Fotodiody lawinowe APD
3. Fototranzystory
4. Fotopowielacze
5. Fotodetektory piroelektryczne

FOTODETEKTORY



CZUŁOŚĆ WIDMOWA FOTODIODY BPW97



Czułość dla $\lambda = 870$ nm:
 $S_{870} = 0,5$ A/W

Czułość dla $\lambda = 550$ nm:

$$S_{550} = S_{\text{rel}}(550 \text{ nm}) \cdot (S_{870}/0,91) = 0,22 \text{ A/W}$$

Charakterystyka względna czułości widmowej $S_{\text{rel}}(\lambda)$ fotodiody BPW97

Przykład obliczeń sygnału wyjściowego I_F fotodiody:

SYGNAŁ WYJŚCIOWY I_F FOTODIODY BPW97

Czułość fotodiody S dla $\lambda = 550 \text{ nm}$: $S_{550} = 0,22 \text{ A/W}$

Moc promieniasta Φ_e sygnału o długości fali $\lambda = 550 \text{ nm}$ padającego na powierzchnię światłoczułą fotodiody wynosi $\Phi_e = 1 \mu\text{W}$

Prąd fotodiody $I_F = \Phi_e \cdot S_\lambda = 1 \mu\text{W} \cdot 0,22 \text{ A/W} = 0,22 \mu\text{A}$

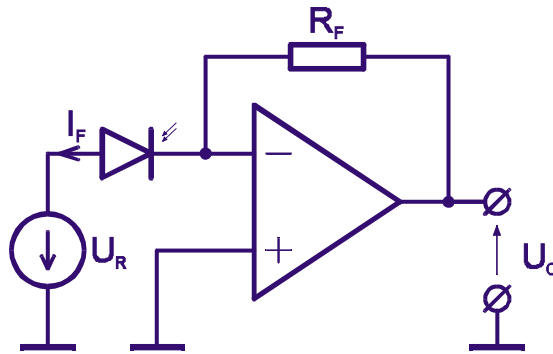
Względna czułość spektralna oka V (dla 550 nm) = 0,995

Strumień świetlny $\Phi_f = \Phi_e \cdot V(\lambda) \cdot K_m = 1 \mu\text{W} \cdot 0,995 \cdot 683 \text{ lm/W} = 0,68 \text{ mlm}$

Powierzchnia światłoczuła $B = 0,25 \text{ mm}^2$

Natężenie oświetlenia $E_f = \Phi_f / B = 0,68 \text{ mlm} / 0,25 \text{ mm}^2 = 2720 \text{ lx}$

Przykład układu z fotodiodą - w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza operacyjnego z napięciem polaryzacyjnym



$$U_o = I_F(\Phi_e, \lambda) \cdot R_F$$

Układ z fototranzystorem

