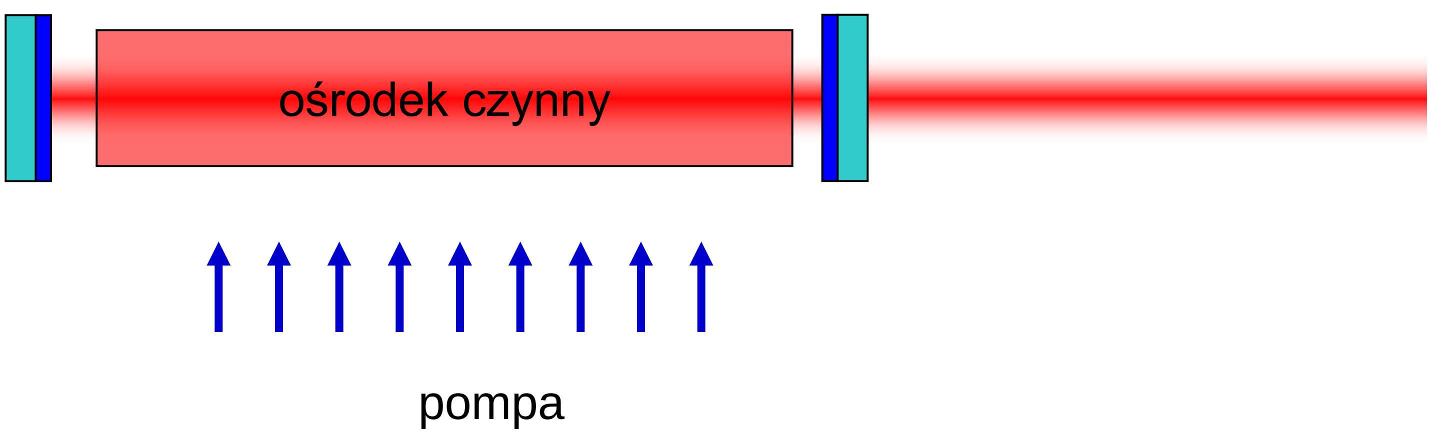
Optyka – kurs wyrównawczy
optyka falowa 4
optyka laserowa

2011 r.

Problem: jak opisać wiązkę laserową?

cechy:

- intuicyjnie: model dla promienia światła z optyki geometrycznej: energia gromadzi się wokół prostej
- ma jednak pewien przekrój: gęstość energii < ∞
- jak opisać ogniskowanie takiej wiązki – ważne!
- jak opisać pole w rezonatorze lasera?



Fala „prawie płaska”

Fala płaska:

$$\vec{E}(z,t) = \vec{E}_0 \sin[kz - \omega t + \varphi]$$

$$\vec{E}_0 \cos[\omega t - kz] = \vec{E}_0 \operatorname{Re}\left[e^{i(\omega t - kz)}\right]$$

Fala „prawie” płaska:

$$\boxed{\vec{E}(x,y,z) = \vec{E}_0 \Psi(x,y,z) e^{-ikz} e^{i\omega t}}$$

Wstawiając $\vec{E}(x,y,z)$ do równań Maxwell’a:

$$\nabla_t^2 \Psi - 2ik \frac{\partial}{\partial z} \Psi = 0$$

Najprostsze rozwiązanie ma postać:

$$\Psi(r,z) = \exp\left[-i\left(p(z) + \frac{k}{2q(z)}r^2\right)\right] \qquad \begin{aligned} &q'(z) - 1 = 0 \\ &p'(z) + \frac{i}{q(z)} = 0 \end{aligned}$$

$$E(r,z) = E_0 \Psi_0(r,z) e^{-ikz} =$$

$$= E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right] \exp\left[-i\left(kz - \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) + \frac{k}{2R(z)}r^2\right)\right]$$

$$w(z) = w_0\sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}; \qquad R(z) = z\left[1 + \left(\frac{z_0}{z}\right)^2\right]$$

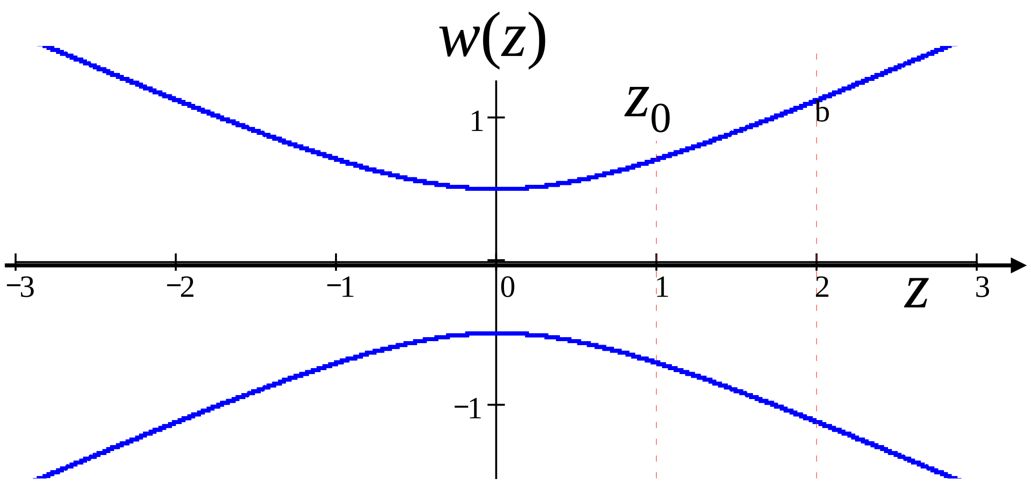
$$z_0 = \frac{k}{2}w_0^2 \qquad q(z) = z + iz_0$$

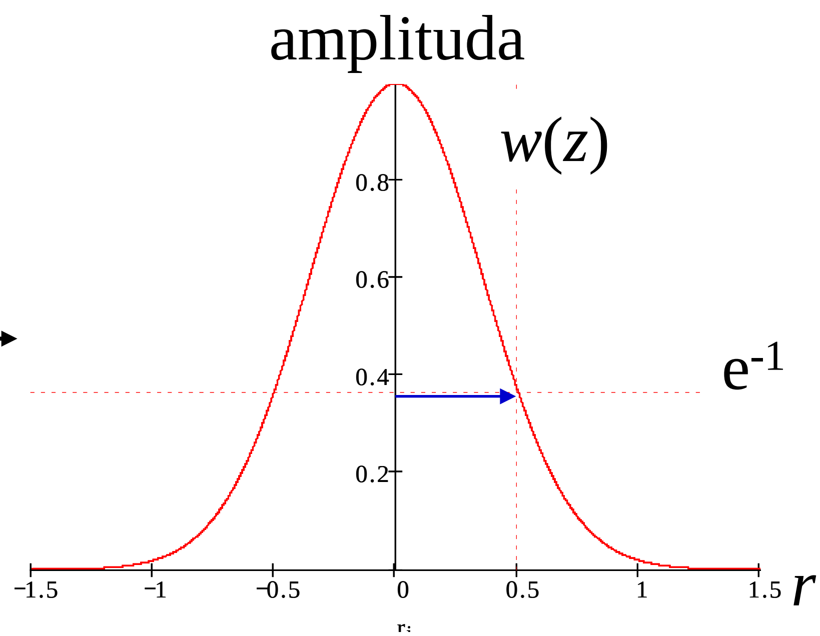
Najprostsze rozwiązanie ma postać:

$$E(r,z) = E_0 \Psi_0(r,z) e^{-ikz} =$$

$$= \boxed{E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right]} \exp\left[-i\left(kz - \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) + \frac{k}{2R(z)} r^2\right)\right]$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2};$$





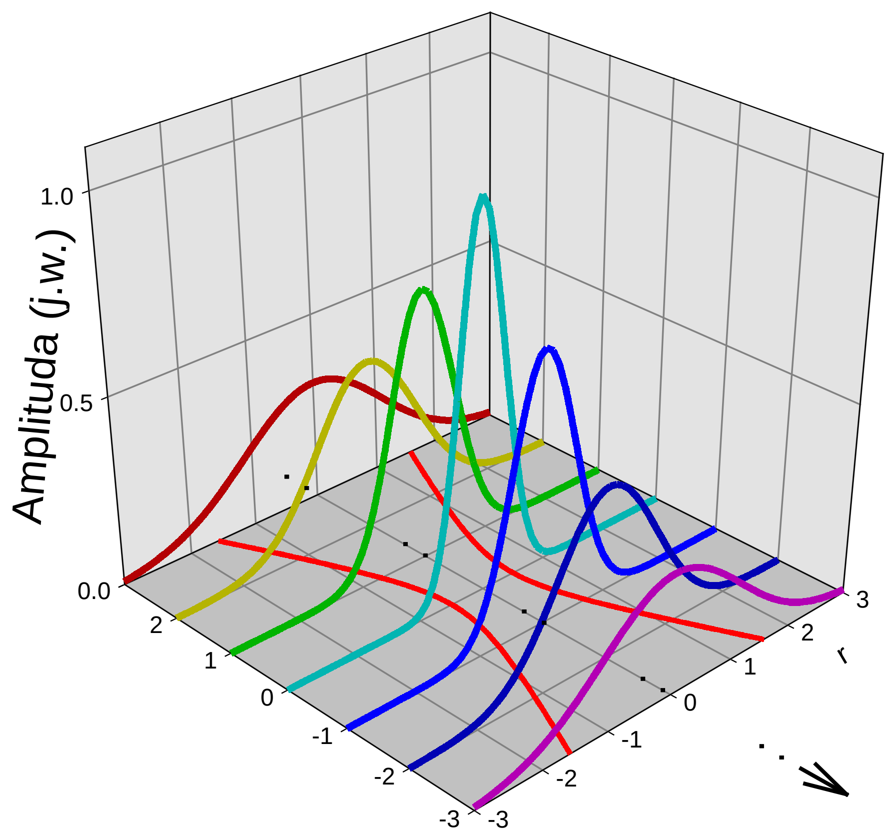
Wiązka gaussowska

Najprostsze rozwiązanie ma postać:

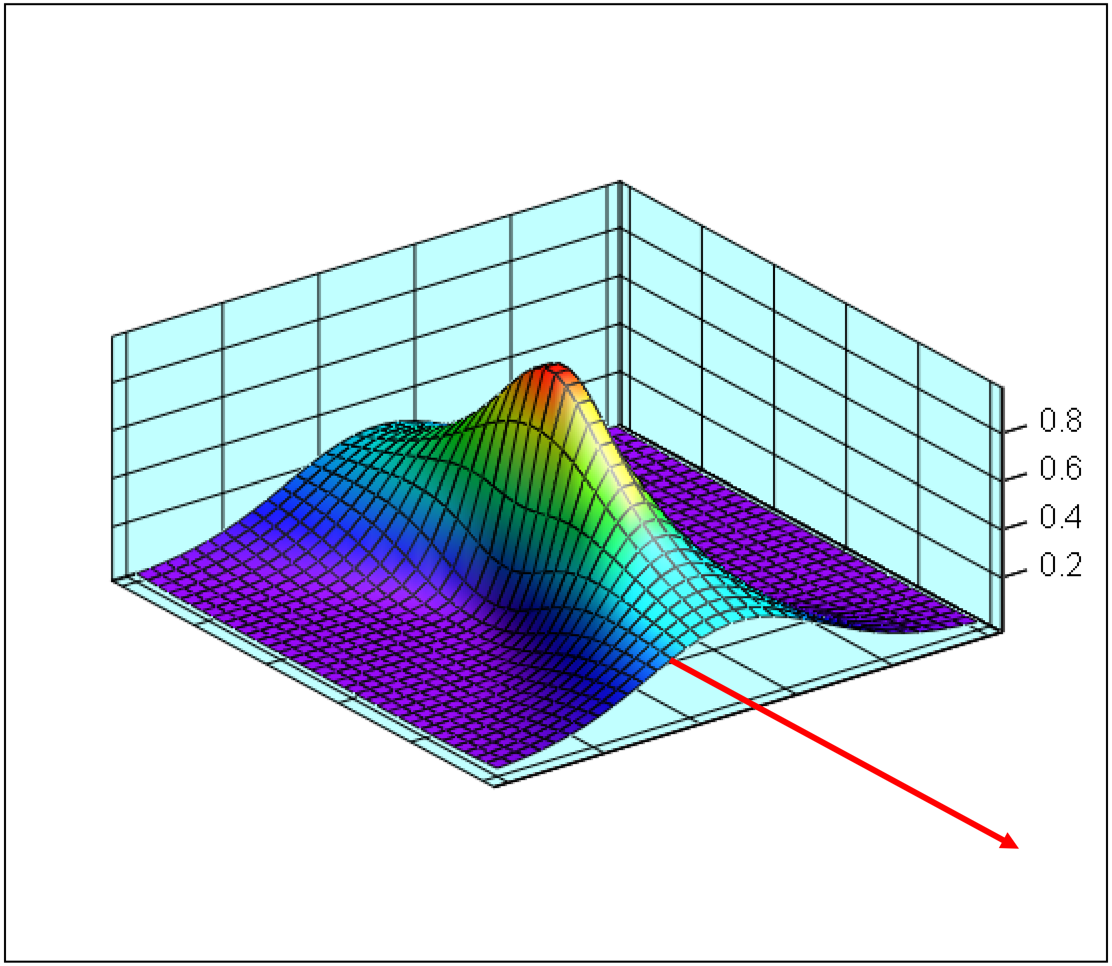
$$E(r,z) = E_0 \Psi_0(r,z) e^{-ikz} =$$

$$= \boxed{E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right]} \exp\left[-i\left(kz - \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) + \frac{k}{2R(z)} r^2\right)\right]$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2};$$



Rozkład amplitudy wiązki gaussowskiej:



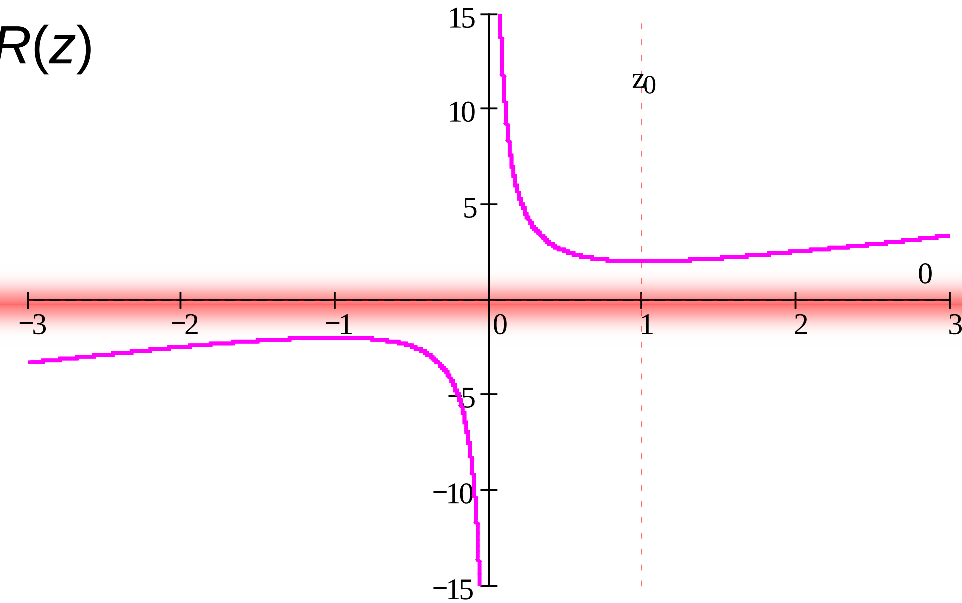
$$E(r,z) = E_0 \Psi_0(r,z) e^{-ikz} =$$

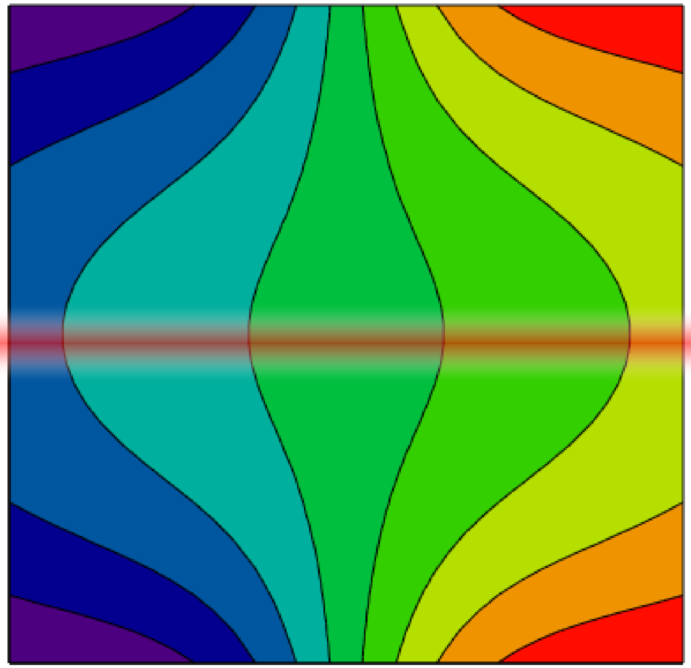
$$= E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right] \boxed{\exp\left[-i\left(kz - \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) + \frac{k}{2R(z)} r^2\right)\right]}$$

$$R(z) = z\left[1 + \left(\frac{z_0}{z}\right)^2\right]$$

faza: $v \neq \omega / k$, front falowy nie jest płaski

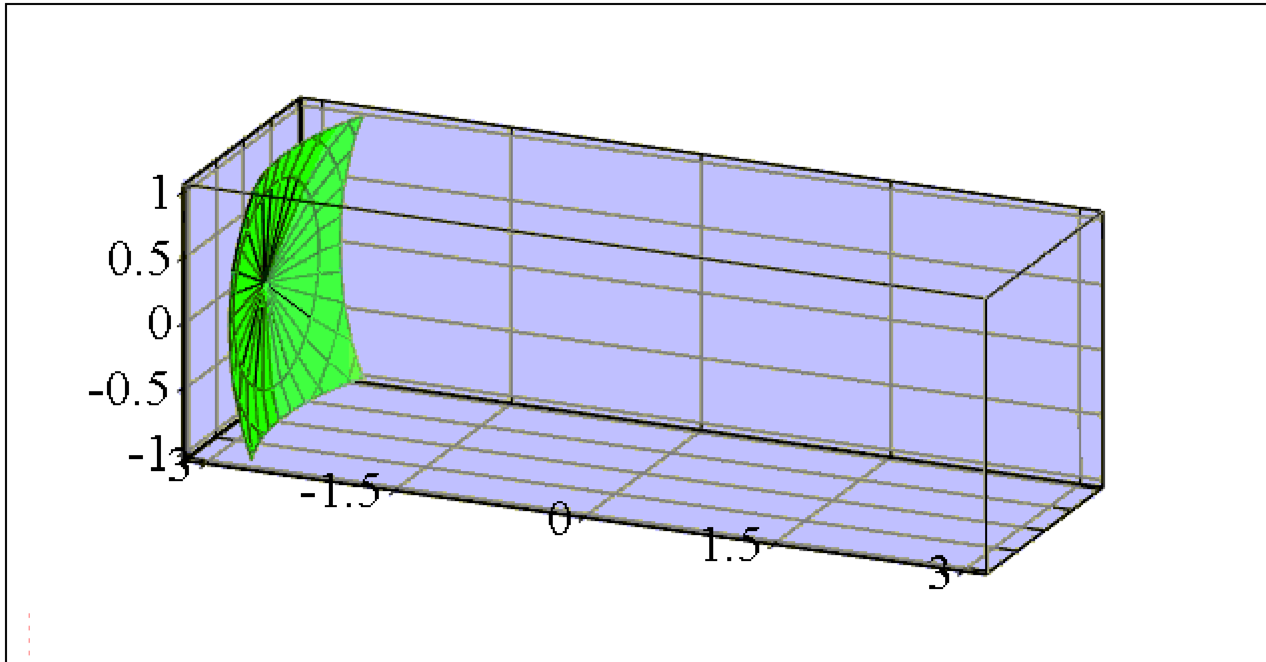
$R(z)$



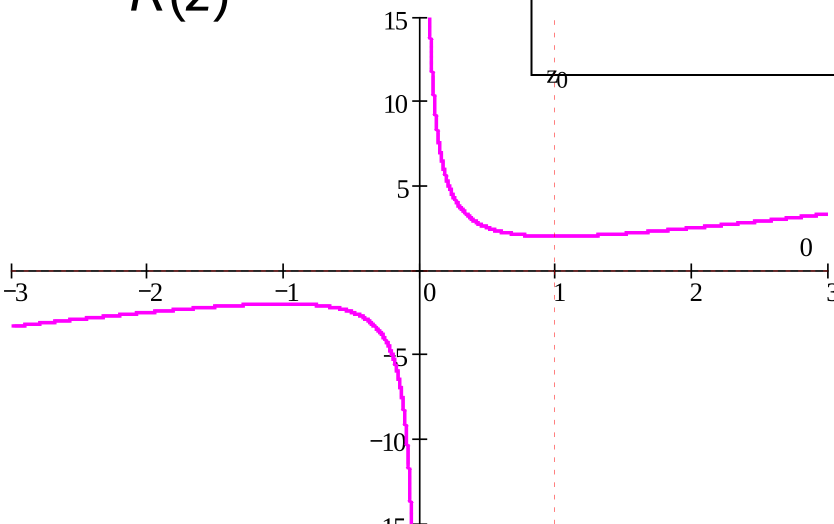


Front falowy falowy przecina oś *z* dla $z = -3 \quad z_0 = 1$

$R(z) = -3.333$



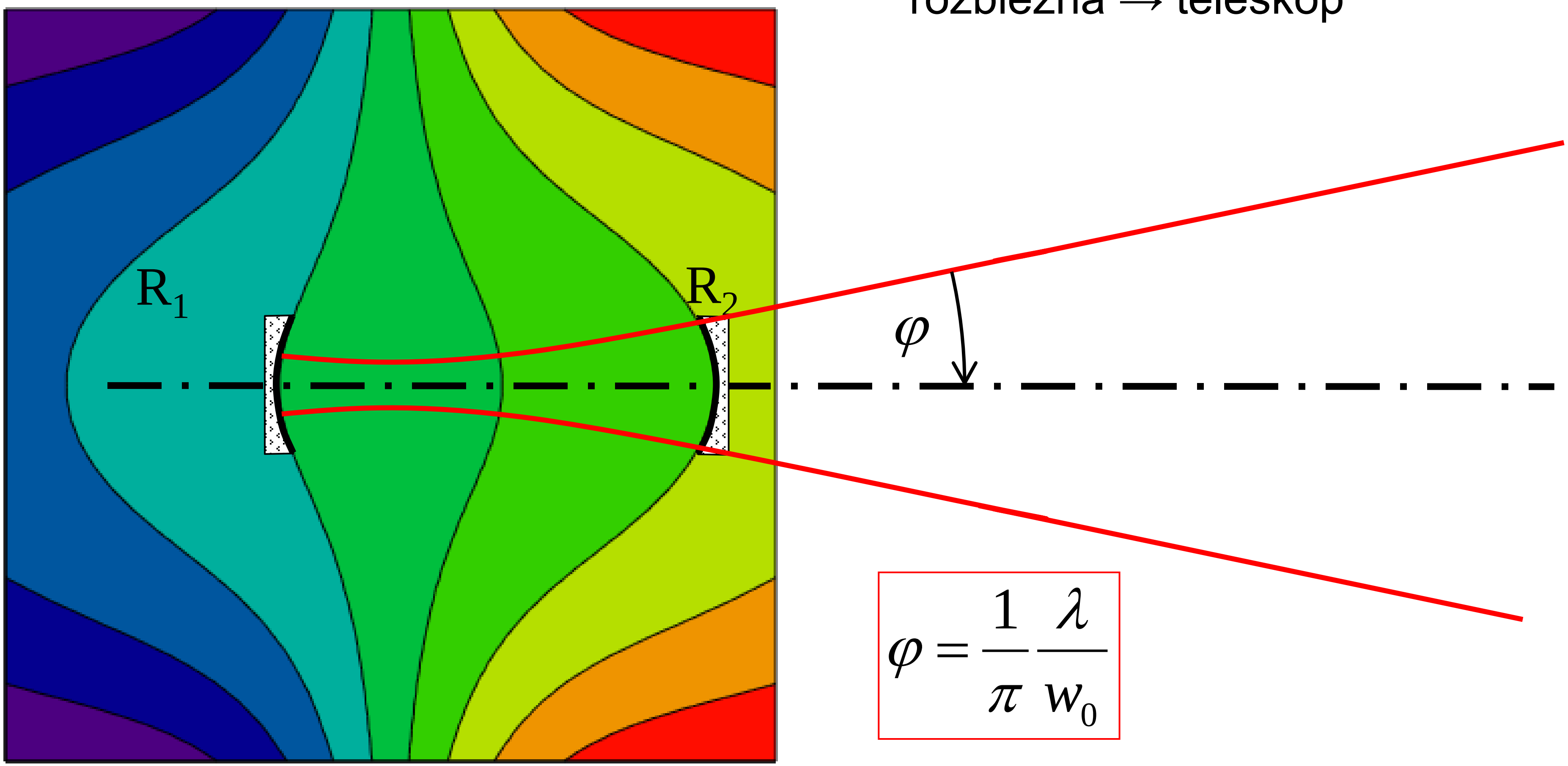
R(*z*)



Wiązka gaussowska w laserze

wnioski:

- każda wiązka laserowa jest rozbieżna → teleskop



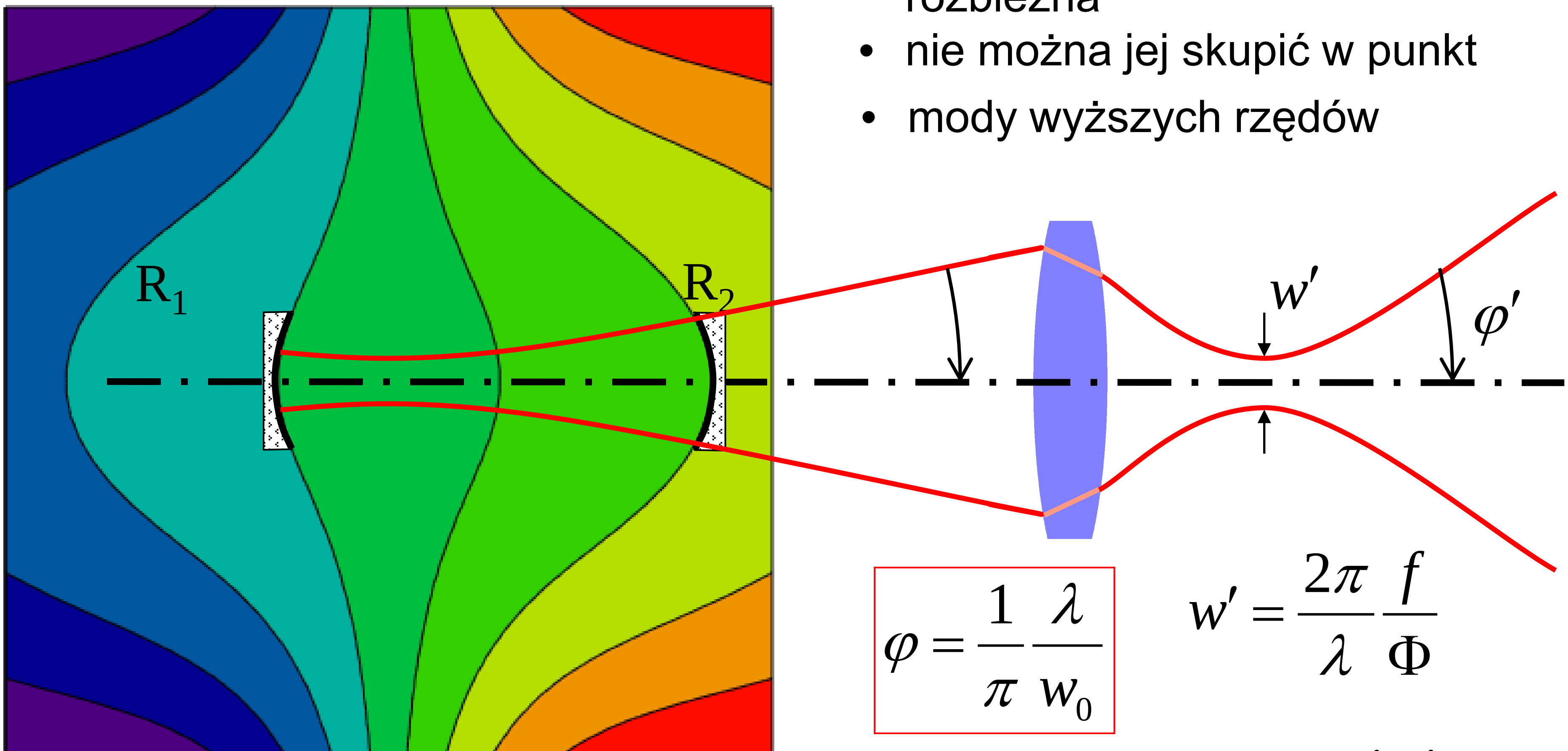
$$\varphi = \frac{1}{\pi}\frac{\lambda}{w_0}$$

Przykład: w_0 = 2 mm, λ = 500 nm $\varphi = (5.5 \times 10^{-3})^{\circ}$ → Φ = 14 mm po 100 m

Wiązka gaussowska w laserze

wnioski:

- każda wiązka laserowa jest rozbieżna
- nie można jej skupić w punkt
- mody wyższych rzędów



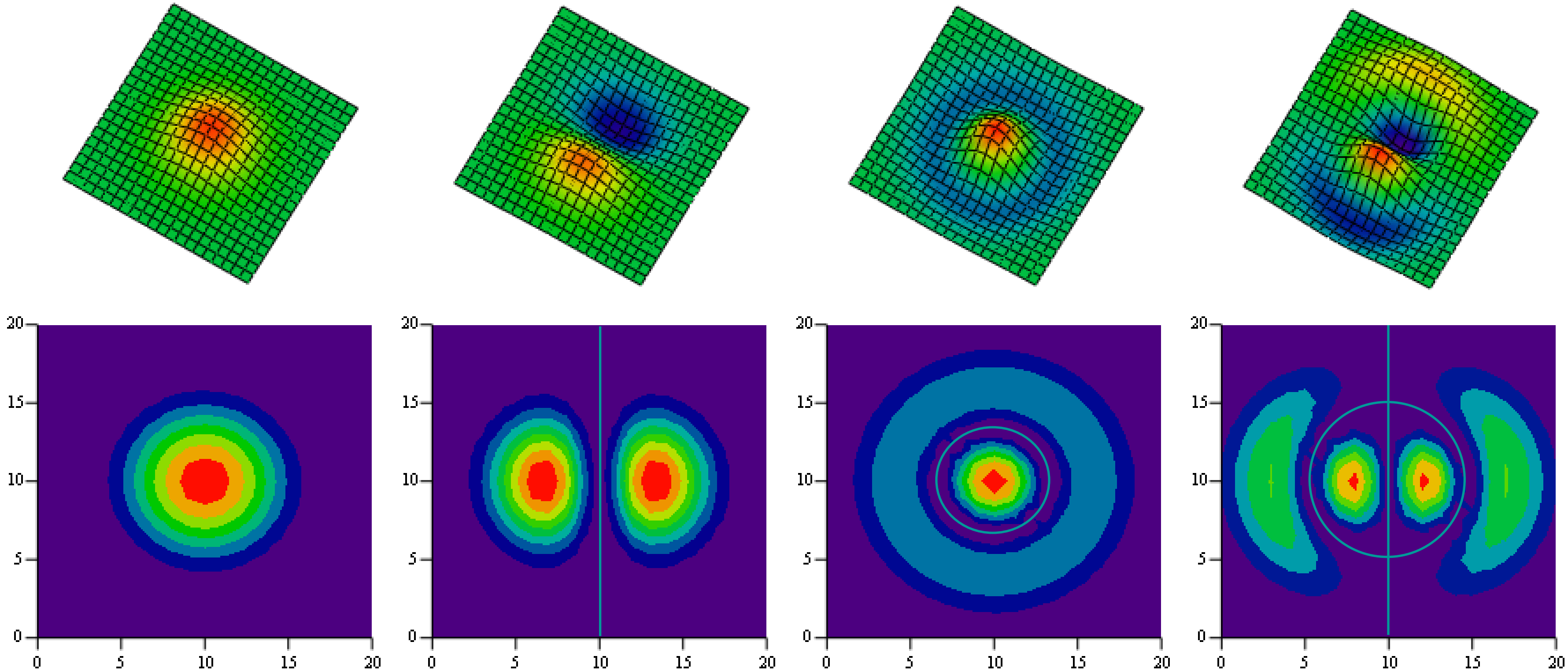
$$\boxed{\varphi = \frac{1}{\pi}\frac{\lambda}{w_0}}$$

$$w' = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{f}{\Phi}$$

$$w_0\varphi = w'\varphi'$$

Mody wyższych rzędów

$$A(z,r,\phi,n,m)=\left(\sqrt{2}\,\frac{r}{w(z)}\right)^{m} L\left(\frac{2r^{2}}{w^{2}(z)},n,m\right)\cos(m\phi)\frac{1}{\pi}\frac{\lambda}{w_{0}}\exp\left[-\frac{r^{2}}{w^{2}(z)}\right]$$



$n=0$	$n=0$	$n=1$	$n=1$
$m=0$	$m=1$	$m=0$	$m=1$