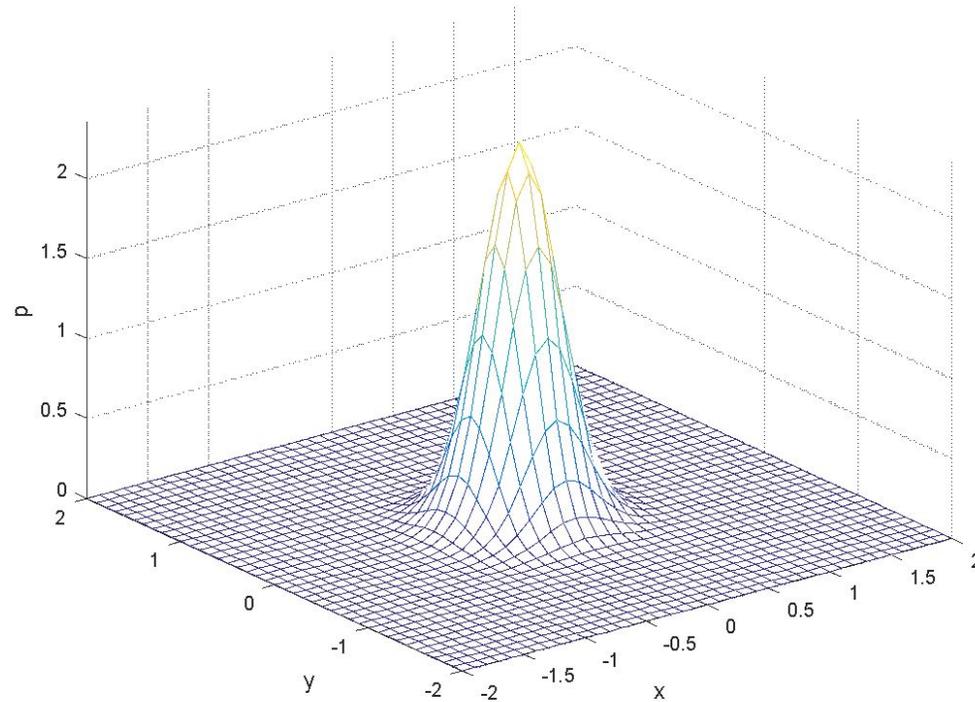
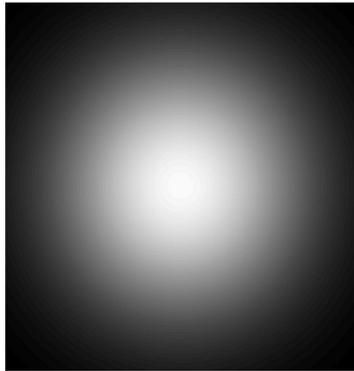


# Характеристики систем видеоэлектроники

Импульсная реакция или функция рассеяния точки



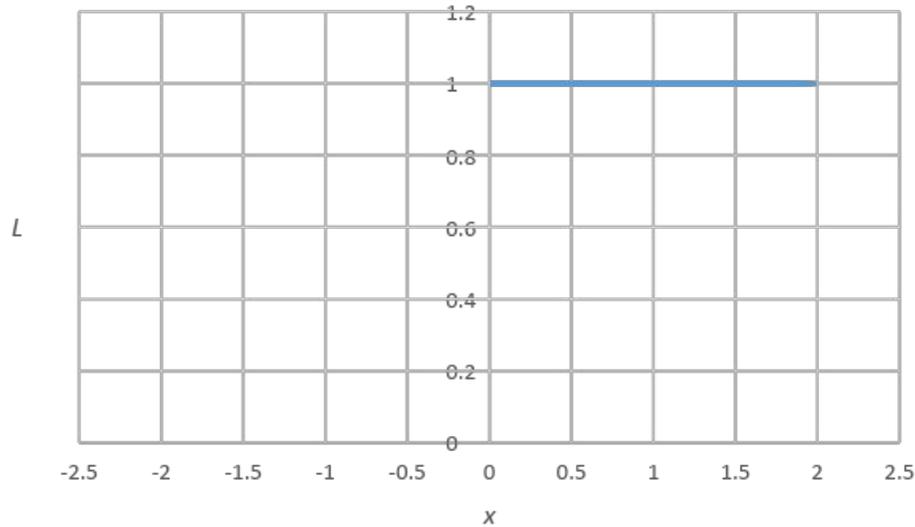
$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi r^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2r^2}\right)$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Переходная характеристика

$H(x)$  – реакция системы на единичный ступенчатый сигнал

$$L(x, y) = U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ 1, & \text{при } x \geq 0 \end{cases} \text{ - распределение яркости в пространстве предметов}$$



$$U(x) = \int_{-\infty}^x \delta(x) dx = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\omega x) \frac{d\omega}{\omega}$$



# Характеристики систем видеоэлектроники

Переходная характеристика

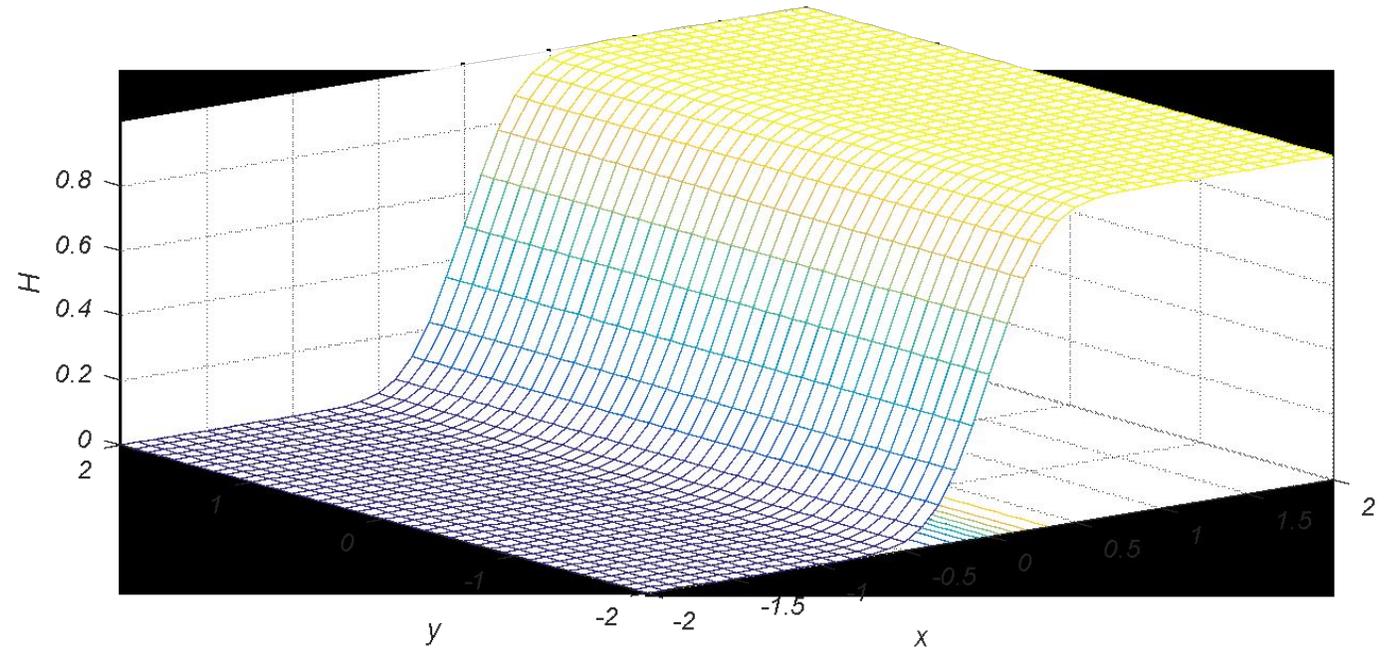
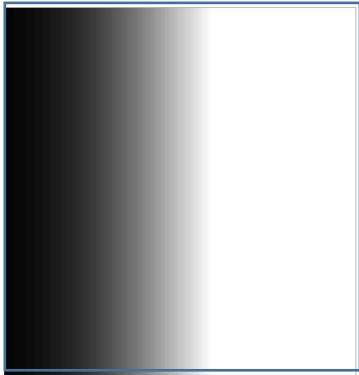
$$L(x, y) = Q \left\{ \iint_{-\infty}^{\infty} U(\xi) \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) d\xi d\eta \right\}$$

$$L(x, y) = Q \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} U(\xi) \delta(x - \xi) d\xi \right\} = Q\{U(x)\}$$

$$L(x, y) = \int_{-\infty}^{\xi} Q\{\delta(x - \xi)\} d\xi = \int_{-\infty}^{\xi} p(x - \xi) d\xi = H(x)$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Переходная характеристика



$$H(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \int_{-\infty}^{\xi} \exp\left[-\frac{(x - \xi)^2}{2r^2}\right] d\xi = \Phi\left(\frac{x}{r}\right)$$

# Свойства преобразования Фурье

$$f(x) \leftrightarrow F(\omega)$$

Сдвиг

$$f(x - x_0) \leftrightarrow$$

Растяжение, сжатие

$$f(Mx) \leftrightarrow$$

Спектр производной

$$\frac{df(x)}{dx} \leftrightarrow$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Оптическая передаточная функция (ОПФ)

$$T(\omega_x, \omega_y) = \frac{\tilde{L}_n(\omega_x, \omega_y)}{\tilde{L}_o(\omega_x, \omega_y)} - \text{отношение спектров распределений яркостей изображения и объекта}$$

$$\tilde{L}(\omega_x, \omega_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} L(x, y) \exp[-j(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy - \text{спектр (образ) распределения яркости (прообраза),}$$

прямое преобразование Фурье

$$L(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{L}(\omega_x, \omega_y) \exp[j(\omega_x x + \omega_y y)] d\omega_x d\omega_y - \text{обратное преобразование Фурье}$$

$$\omega_x = \frac{2\pi}{X}, \omega_y = \frac{2\pi}{Y} - \text{пространственные частоты с периодами } X, Y$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Оптическая передаточная функция

$$\tilde{L}_И(\omega_x, \omega_y) = T(\omega_x, \omega_y)\tilde{L}_0(\omega_x, \omega_y)$$

$$\frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{L}_И(\omega_x, \omega_y) \exp[j(\omega_x x_И + \omega_y y_И)] d\omega_x d\omega_y = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} T(\omega_x, \omega_y) \tilde{L}_0(\omega_x, \omega_y) \exp[j(\omega_x x_И + \omega_y y_И)] d\omega_x d\omega_y$$

$$L_И(x_И, y_И) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} T(\omega_x, \omega_y) \left\{ \iint_{-\infty}^{\infty} L_0(x_0, y_0) \exp[-j(\omega_x x_0 + \omega_y y_0)] dx_0 dy_0 \right\} \exp[j(\omega_x x_И + \omega_y y_И)] d\omega_x d\omega_y$$

$$L_И(x_И, y_И) = \iint_{-\infty}^{\infty} L_0(x_0, y_0) \left\{ \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} T(\omega_x, \omega_y) \exp\{j[\omega_x(x_И - x_0) + \omega_y(y_И - y_0)]\} d\omega_x d\omega_y \right\} dx_0 dy_0$$

$$L_И(x_И, y_И) = \iint_{-\infty}^{\infty} L_0(x_0, y_0) p(x_И - x_0, y_И - y_0) dx_0 dy_0$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Оптическая передаточная функция

$$T(\omega_x, \omega_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \exp[-j(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy$$

$$T(\omega_x, \omega_y) = |T(\omega_x, \omega_y)| \exp[-j\varphi(\omega_x, \omega_y)]$$

$|T(\omega_x, \omega_y)|$  – модуляционная передаточная функция (МПФ)

$\exp[-j\varphi(\omega_x, \omega_y)]$  – фазовая передаточная функция

$$\varphi(\omega_x, \omega_y) = \operatorname{arctg} \left[ \frac{T_s(\omega_x, \omega_y)}{T_c(\omega_x, \omega_y)} \right]$$

$$T_s(\omega_x, \omega_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \sin(\omega_x x + \omega_y y) dx dy$$

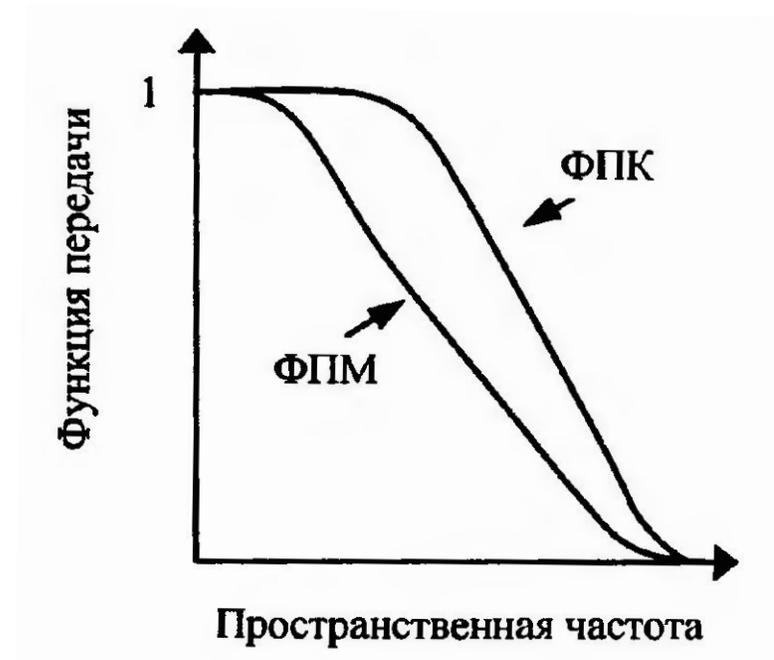
$$T_c(\omega_x, \omega_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \cos(\omega_x x + \omega_y y) dx dy$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Функция передачи контраста (ФПК)

$$\Phi_{ПК}(\omega_x) = \frac{4}{\pi} \left[ |T(\omega_x)| - \frac{|T(3\omega_x)|}{3} + \frac{|T(5\omega_x)|}{5} - \dots \right]$$

$$\Phi_{ПК}(\omega_x) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{|T[(2k+1)\omega_x]|}{2k+1}$$



# Пространственно-частотные спектры объектов

Точечный

источник

$$L(x, y) = I_0 \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \leftrightarrow I_0 \exp[-j(\omega_x x_0 + \omega_y y_0)]$$

Светящаяся

линия

$$L(x, y) = I'_0 \delta(x - x_0) \leftrightarrow 2\pi I'_0 \exp(-j\omega_x x_0) \delta(\omega_y)$$

Светящаяся

полуплоскость

$$L(x, y) = L_0 U(x - x_0) \leftrightarrow 2\pi L_0 \frac{\exp(-j\omega_x x_0)}{j\omega_x} \delta(\omega_y)$$

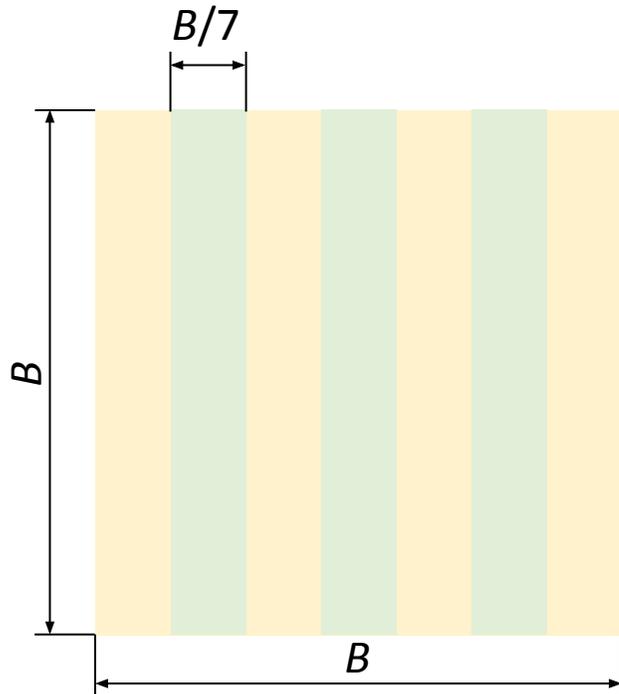
Спектр равнояркого

круга

$$L_{\text{круга}}(x, y) = \begin{cases} L_0, & \sqrt{x^2 + y^2} \leq R \\ 0, & \sqrt{x^2 + y^2} > R \end{cases} \leftrightarrow \tilde{L}_{\text{круга}}(\omega_x, \omega_y) = 2\pi R L_0 \frac{J_1\left(R \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}\right)}{\sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}}$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Изображение мира



$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi r^2} \exp[-(x^2 + y^2)/(2r^2)] \leftrightarrow T(\omega_x, \omega_y) = \exp[-r^2(\omega_x^2 + \omega_y^2)/2]$$

$$L_{\text{края}}(x_{\text{из}}, y_{\text{из}}) = \iint_{-\infty}^{\infty} U(x - x_0) \frac{1}{2\pi r^2} \exp\{-[(x_{\text{из}} - x)^2 + (y_{\text{из}} - y)^2]/(2r^2)\} dx dy$$

$$L_{\text{края}}(x_{\text{из}}, y_{\text{из}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(x_{\text{из}} - x_0)/r} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx = \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} - x_0}{r}\right)$$

# Характеристики систем видеоэлектроники

## Изображение миры

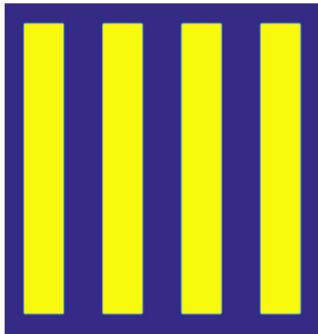
Распределение яркости в изображении миры размером  $B$

$$L(x_{\text{из}}, y_{\text{из}}) = \left[ \Phi\left(\frac{y_{\text{из}} + B/2}{r}\right) - \Phi\left(\frac{y_{\text{из}} - B/2}{r}\right) \right] \times$$
$$\times \left[ \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} + B/2}{r}\right) - \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} + 5B/14}{r}\right) + \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} + 3B/14}{r}\right) - \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} + B/14}{r}\right) + \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} - B/14}{r}\right) \right.$$
$$\left. - \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} - 3B/14}{r}\right) + \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} - 5B/14}{r}\right) - \Phi\left(\frac{x_{\text{из}} - B/2}{r}\right) \right]$$

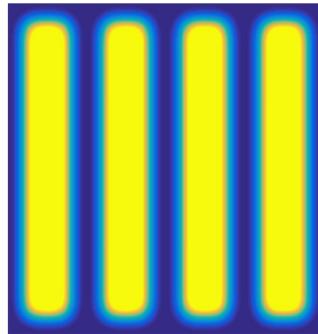
# Характеристики систем видеоэлектроники

## Изображения мира

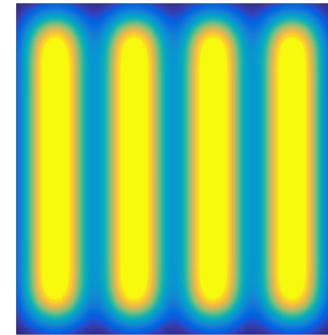
$r = 0,01X, M$



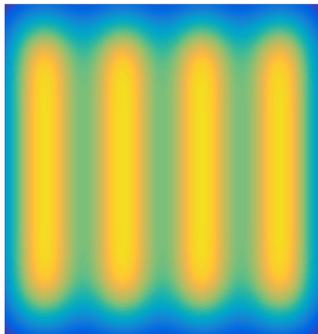
$r = 0,1X, 10M$



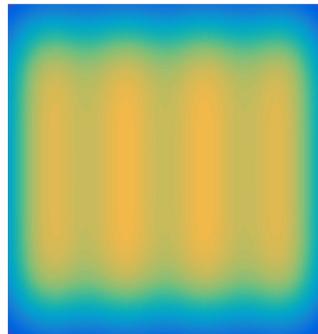
$r = 0,2X, 20M$



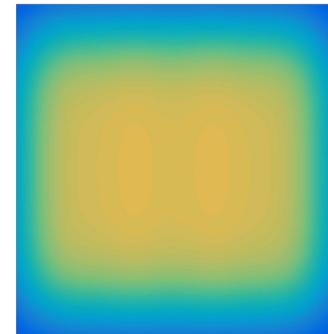
$r = 0,3X, 30M$



$r = 0,4X, 40M$

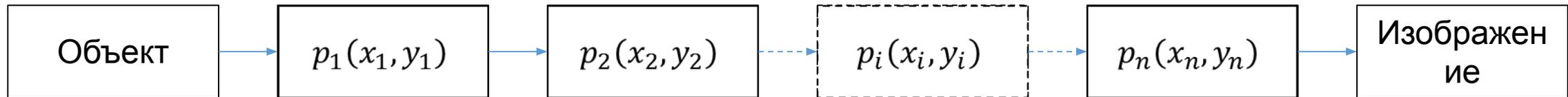


$r = 0,5X, 50M$



# Характеристики систем видеоэлектроники

## Многозвенная система видеоэлектроники



$$L_{\text{из}}(x_{\text{из}}, y_{\text{из}}) = L_0(x, y) * p_1(x_1, y_1) * p_2(x_2, y_2) * \dots * p_i(x_i, y_i) * \dots * p_n(x_n, y_n)$$

$$L_{\text{из}}(x_{\text{из}}, y_{\text{из}}) = \int_{-\infty}^{\infty} L(x_n, y_n) p_n(x_{\text{из}} - x_n, y_{\text{из}} - y_n) \dots$$
$$\dots \int_{-\infty}^{\infty} L(x_i, y_i) p_i(x_n - x_i, y_n - y_i) \dots \int_{-\infty}^{\infty} L(x_1, y_1) p_1(x_2 - x_1, y_2 - y_1) dx_1 dy_1 \dots dx_i dy_i \dots dx_n dy_n$$

$$\tilde{L}_{\text{из}}(\omega_x, \omega_y) = \tilde{L}_0(\omega_x, \omega_y) T_1(\omega_x, \omega_y) T_1(\omega_x, \omega_y) \dots T_i(\omega_x, \omega_y) \dots T_n(\omega_x, \omega_y)$$