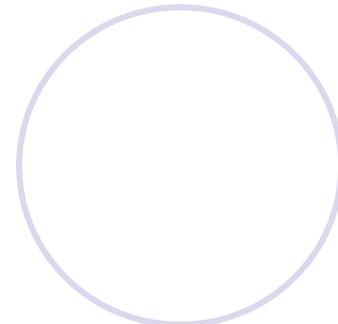
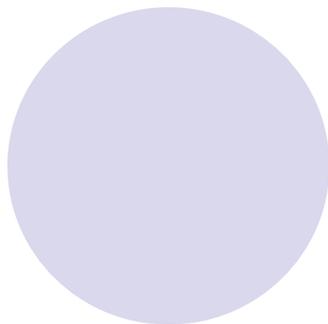
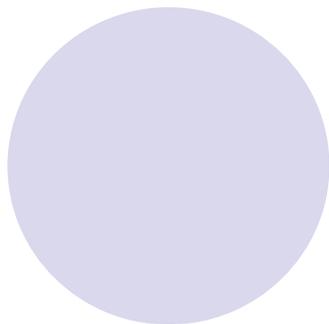
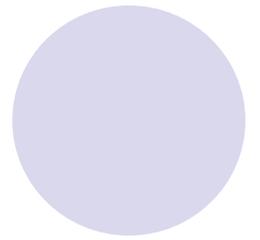
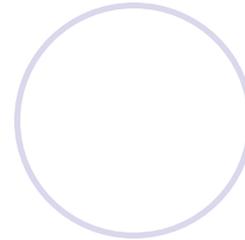
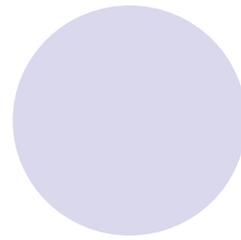
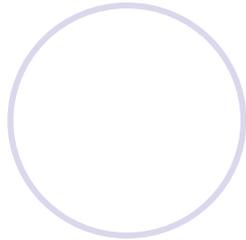
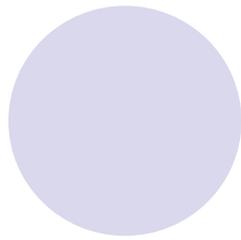


# Формирование и первичная обработка видеосигналов





Кафедра телевидения и метрологии

Беляева Наталия Николаевна

а.427 (кафедра)

а.448 (деканат РТС)

# Литература

## ***Основная***

- Телевидение. Учебник для вузов под ред. проф. В. Е. Джакони М. Радио и связь 2004.
- Телевидение: лабораторный практикум под.ред. проф.А.А.Гоголя.- СПб: Линк. 2009
- Светотехника: методические указания к лабораторным работам. /СПбГУТ.-СПб,2007

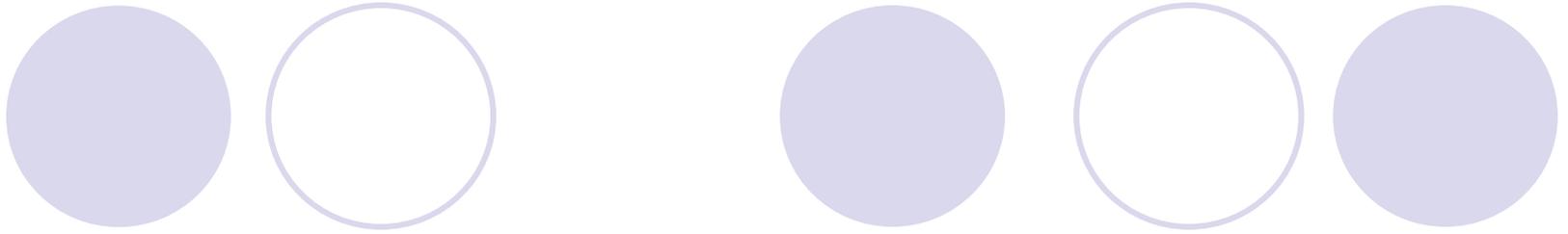
## ***Дополнительная***

- Беляева Н.Н., Ерганжиев Н.А. Светотехника, оптика и колориметрия в телевидении: Учебное пособие СПбГУТ.СПб,2004.



# Основы светотехники

## 1. Природа и основные свойства оптического излучения

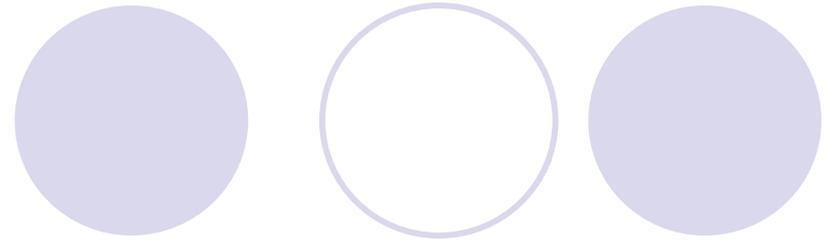
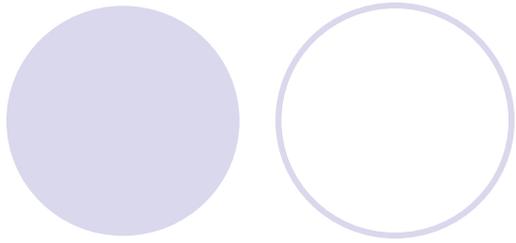


Оптическая область спектра:

$\lambda$  от 10 нм до 1 мм

Спектр оптических излучений делится на три участка:

- ультрафиолетовые излучения – от 10 до 380 нм;
- видимые излучения – от 380 до 770 нм;
- инфракрасные излучения – от 770 до 1 мм.



- 380–430 нм – фиолетовый,
- 430–470 нм – синий,
- 470–490 нм – голубой,
- 490–565 нм – зеленый,
- 565–595 нм – желтый,
- 595–620 нм – оранжевый,
- 620–770 нм – красный.

Функция, описывающая зависимость чувствительности глаза от длины волны излучения

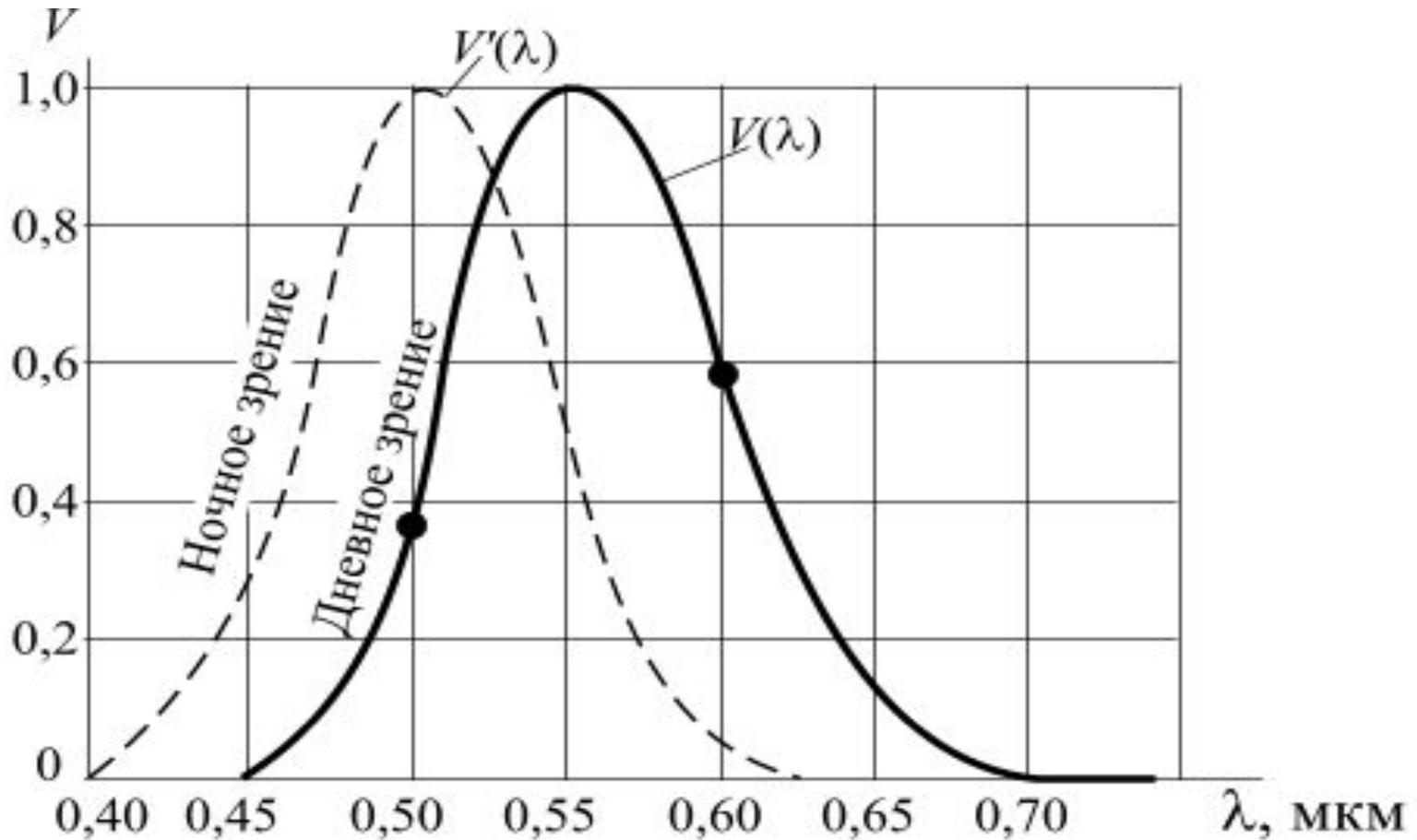


Рис. 1.1. Функция относительной спектральной чувствительности глаза (кривая видимости) в условиях дневного  $V(\lambda)$  и ночного  $V'(\lambda)$  зрения

# Спектральное распределение сложных излучений

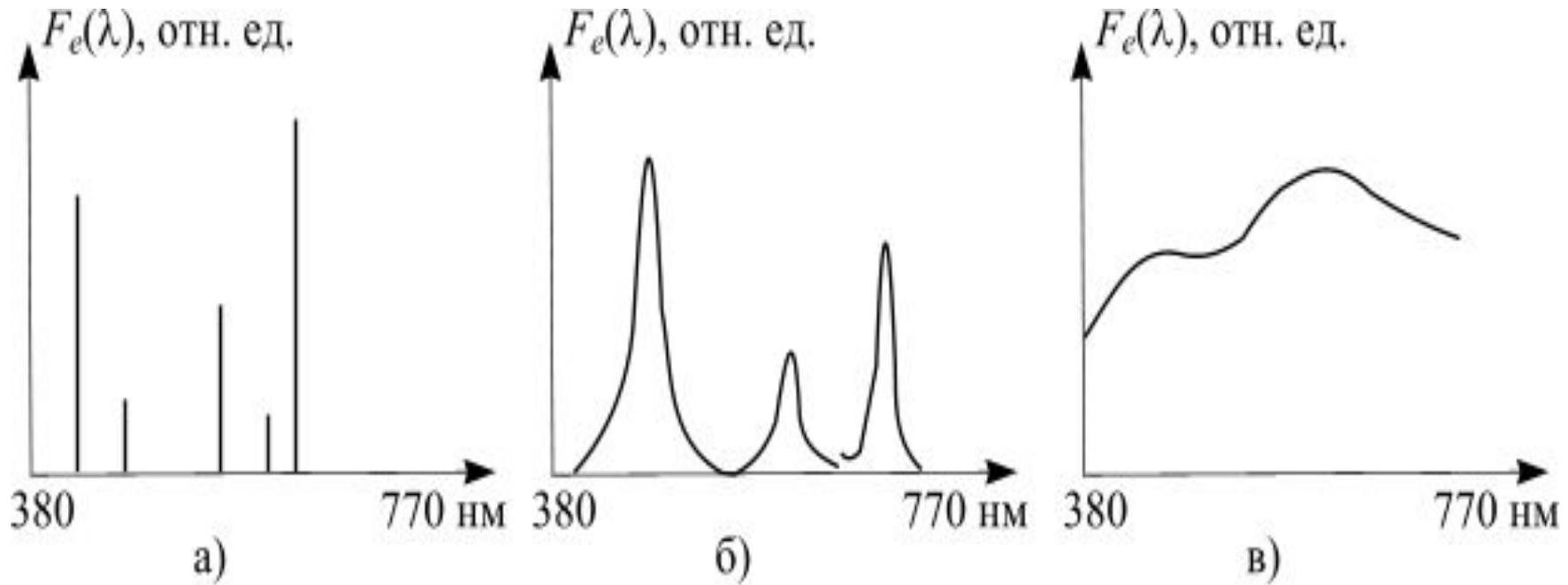


Рис. 1.2. Графическое представление спектрального распределения сложных излучений: а) линейчатый спектр; б) полосатый спектр; в) сплошной спектр

## 2. Единицы измерения света

- *Энергетические величины и единицы измерения света*
- *Фотометрические величины и единицы измерения света*

## 2.1. Энергетические величины и единицы измерения света



- Поток излучения
- Энергетическая сила света (сила излучения)
- Энергетическая светимость
- Энергетическая освещенность
- Энергетическая яркость



Поток излучения  $F_e$

$F_e$  - мощность переноса энергии излучения.

Для измерения потока излучения используется единица мощности – ватт.

Мгновенное значение лучистого потока источника света:

$$F_i = dW / dt.$$

Среднее значение лучистого потока  $F_e$  за конечный интервал времени  $t$ :

$$F_e = W / t$$

где  $W$  – лучистая энергия, излучаемая источником за время  $t$ .

Для излучения с линейчатым спектром:

$$F_e = \sum_{i=1}^n F_{\lambda i}$$

Для излучения с полосатым и сплошным спектром

$$F_e = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} p(\lambda) d\lambda$$

где плотность потока излучения  $p(\lambda)$ , Вт/нм

$$p(\lambda) = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta F_{\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{dF_{\lambda}}{d\lambda}$$

Энергетическая сила света ( сила излучения)  $I_{e\alpha}$

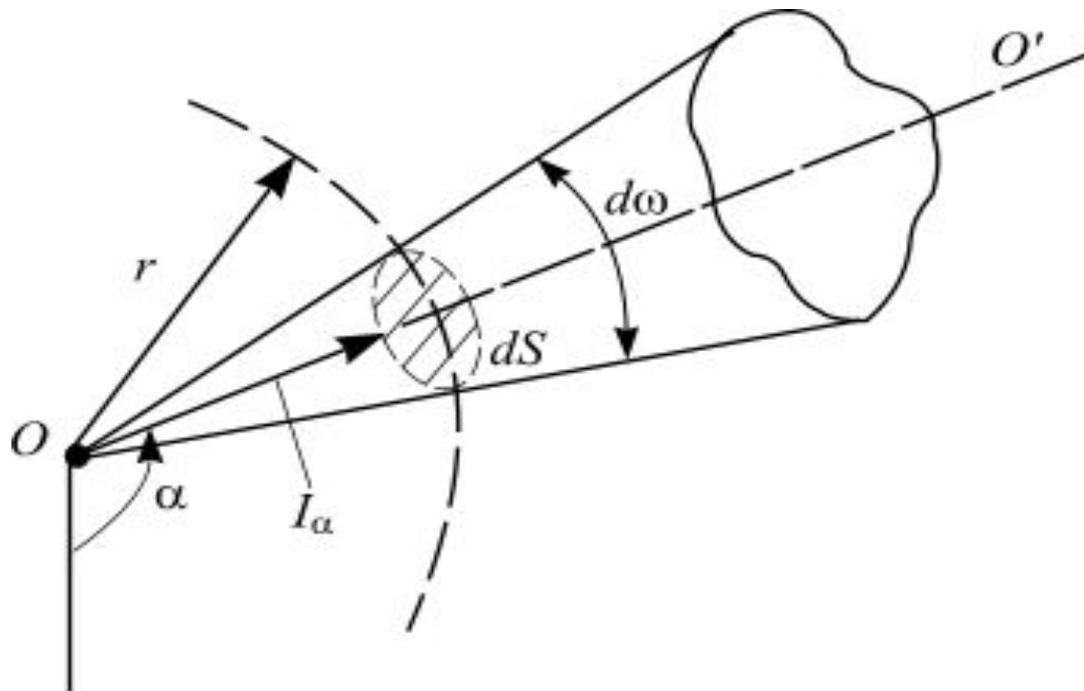


Рис. 1.3. К определению силы излучения

$$I_{e\alpha} = dF_e / d\omega, \text{ Вт/ср}$$

Энергетическая светимость (излучательность)  $M_e$

$$M_e = dF_e / dS_n, \text{ Вт/м}^2$$

Энергетическая освещенность (облученность)  $E_e$

$$E_e = dF_e / dS_0, \text{ Вт/м}^2$$

Энергетическая яркость  $L_e$

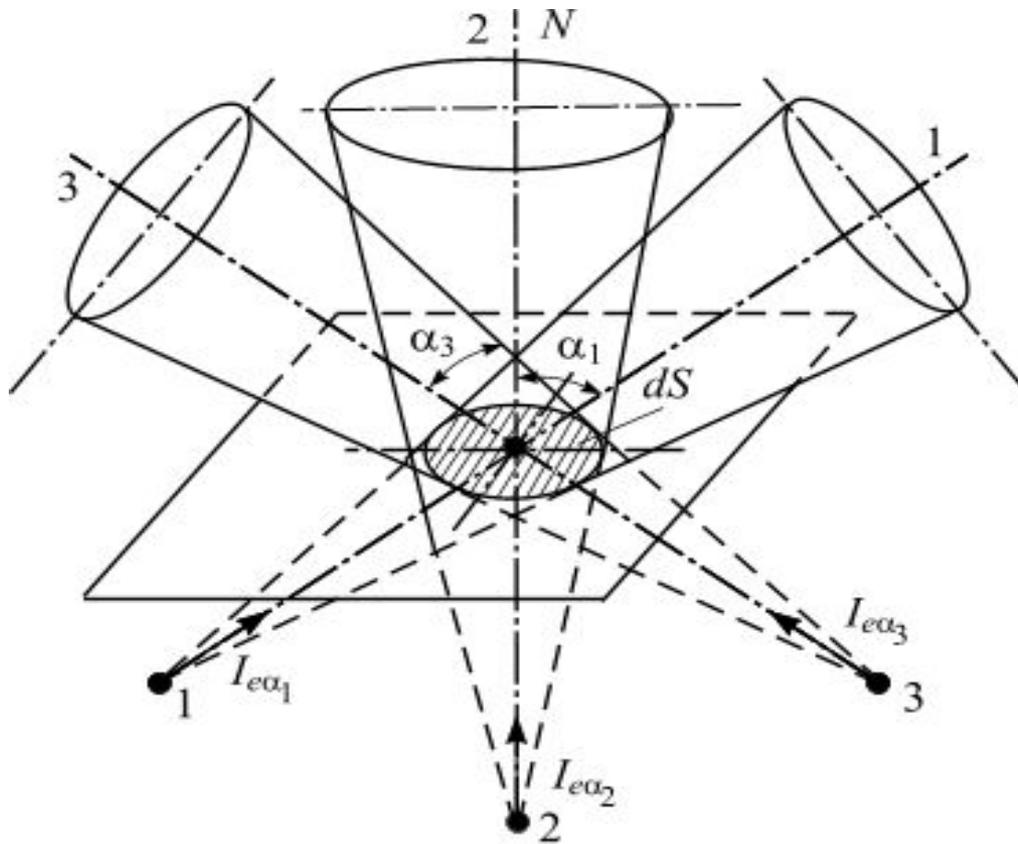
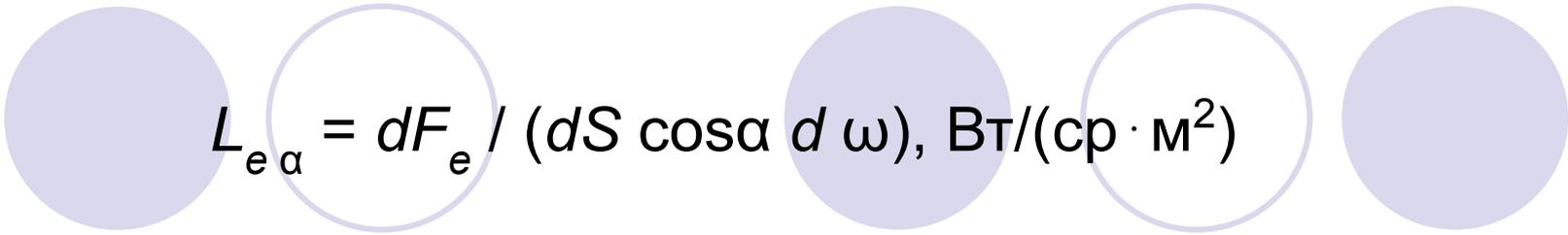


Рис. 1.4. К определению энергетической яркости

The slide features five light purple circles arranged horizontally. The second and fourth circles from the left are hollow, while the first, third, and fifth are solid. The first equation is centered between the second and fourth circles.
$$L_{e\alpha} = dF_e / (dS \cos\alpha d\omega), \text{ Вт}/(\text{ср} \cdot \text{м}^2)$$

$$L_{e\alpha} = dl_{e\alpha} / dS \cos\alpha$$

$$I_{e\alpha} = I_{e0} \cos\alpha = L_e S \cos\alpha$$

где  $I_{e0}$  – сила излучения в направлении  $\alpha = 0$ .

## 2.2 Фотометрические величины и единицы измерения света

Величины, предназначенные для оценки излучения по его действию на избирательный приемник излучения, называются эффективными.



Эффективный поток излучения:

для однородного излучения

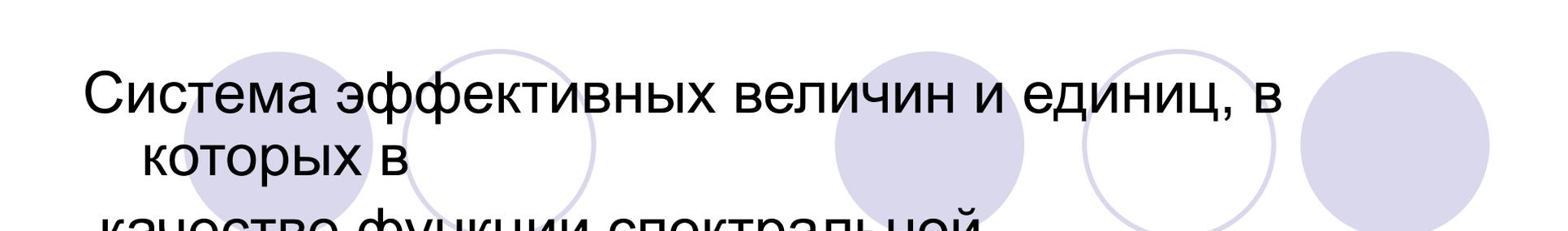
$$F_{\text{эф}}(\lambda) = F_e(\lambda) s(\lambda),$$

где  $F_e(\lambda)$  – однородный поток излучения;

$s(\lambda)$  – спектральная чувствительность приемника к однородному излучению с длиной волны  $\lambda$

для излучения со сплошным спектром

$$F_{\text{эф}} = \int_0^{\infty} F_e(\lambda) s(\lambda) d\lambda$$



Система эффективных величин и единиц, в которых в качестве функции спектральной чувствительности

приемника используется функция относительной спектральной чувствительности глаза  $V(\lambda)$ , называется фотометрической.

### *Фотометрические величины:*

- Световой поток
- Сила света
- Светимость
- Освещенность
- Яркость



Световой поток  $F$

Световой поток  $F$  представляет поток излучения, оцениваемый по зрительному восприятию.

Световой поток  $F(\lambda)$  на длине волны  $\lambda$

$$F(\lambda) = Km F_e(\lambda) V(\lambda),$$

где  $F_e(\lambda)$  – поток излучения,

$V(\lambda)$  – относительная видимость на длине волны  $\lambda$ ,

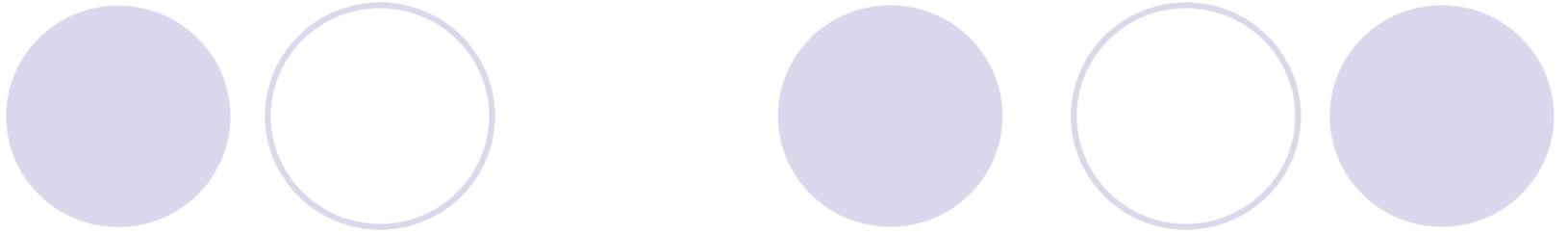
$Km$  – максимальное значение световой эффективности глаза, т.е. световой поток (в люменах), создаваемый излучением мощностью в 1 Вт при длине волны  $\lambda=555$  нм



## Световой поток сложного излучения

$$F = K_m \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} F_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

где  $\lambda_{\min}$  и  $\lambda_{\max}$  соответствуют границам видимого спектра

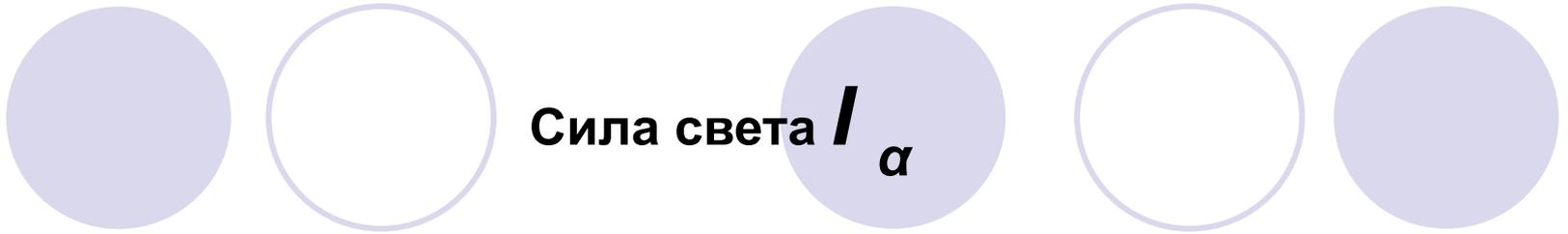


Световой поток выражают в **ЛЮМЕНАХ** (лм).

Один люмен равен световому потоку, излучаемому точечным источником света силой в 1 канделу (кд) внутри телесного угла в 1 ср.

Экспериментально установлено, что 1 лм = 1/683 Вт (при длине волны  $\lambda=555$  нм), что означает:

$$K_m = 683 \text{ лм/Вт}$$



Сила света  $I_{\alpha}$  представляет пространственную (угловую) плотность светового потока в направлении  $\alpha$ :

$$I_{\alpha} = dF / d\omega$$

За единицу силы света принята *кандела* (кд).

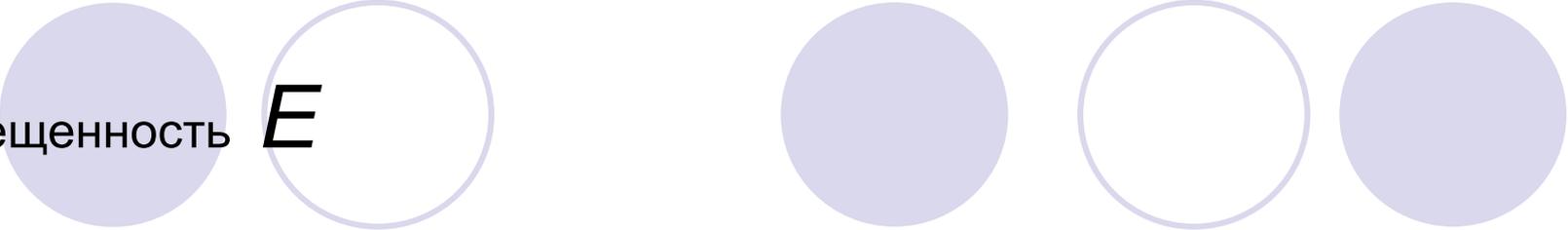
*Кандела* равна силе света, испускаемого в перпендикулярном направлении с поверхности полного излучателя площадью  $1/(6 \cdot 10^5)$  м<sup>2</sup> при температуре затвердевания платины ( $T = 2042$  К).



Светимость  $M$  определяет поверхностную плотность светового потока и используется для оценки источников света, имеющих протяженные размеры:

$$M = d F / d S_{\text{и}}$$

Единицей светимости является 1 люмен с 1 м<sup>2</sup> (лм/м<sup>2</sup>).



Освещенность

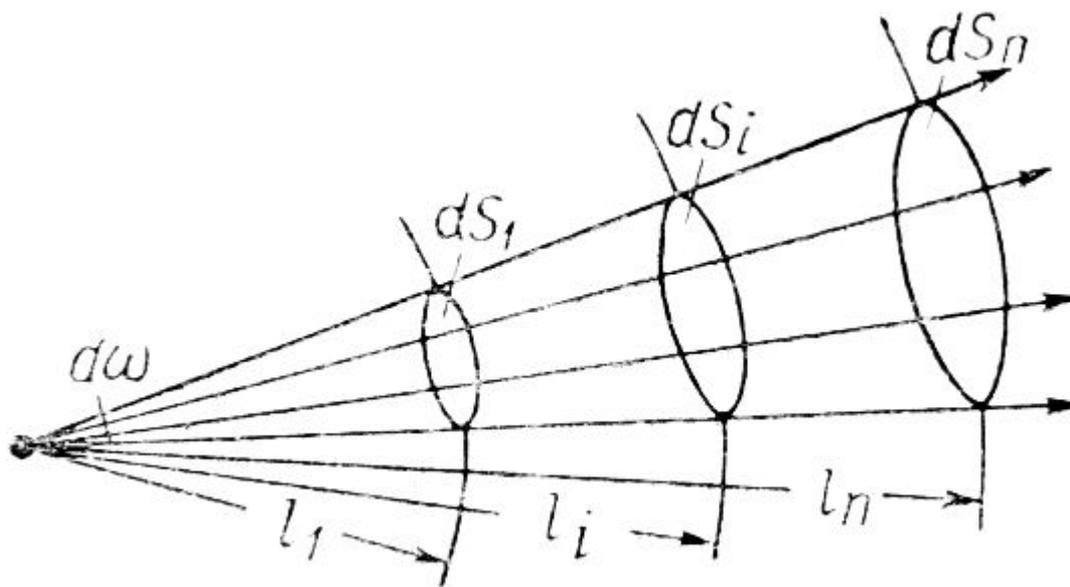
$E$

Освещенность  $E$  представляет собой величину, характеризующую поверхностную плотность падающего на некоторую плоскость светового потока:

$$E = dF / dS_0$$

Единицей освещенности является **ЛЮКС** (лк), представляющий собой освещенность поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ , на которую падает равномерно распределенный световой поток в  $1 \text{ лм}$ .

Закон квадратов расстояний



$$d\omega = dS_1/l_1^2 = \dots = dS_i/l_i^2 = \dots = dS_n/l_n^2$$

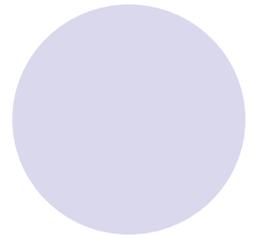
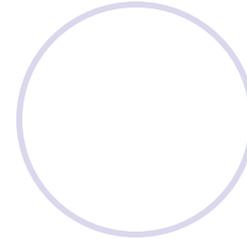
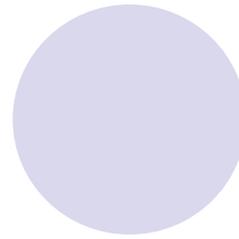
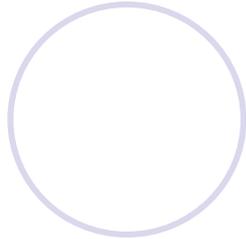
$$E_i = dF / dS_i = I d\omega / dS_i = I d\omega / d\omega l_i^2 = I / l_i^2$$

Освещенность поверхности равняется силе света, деленной на квадрат расстояния от источника света до поверхности, если направление этой силы света перпендикулярно поверхности.

$$E_1 / E_2 = l_2^2 / l_1^2$$

Освещенность вдоль луча света изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния до освещаемой поверхности

## Примечание



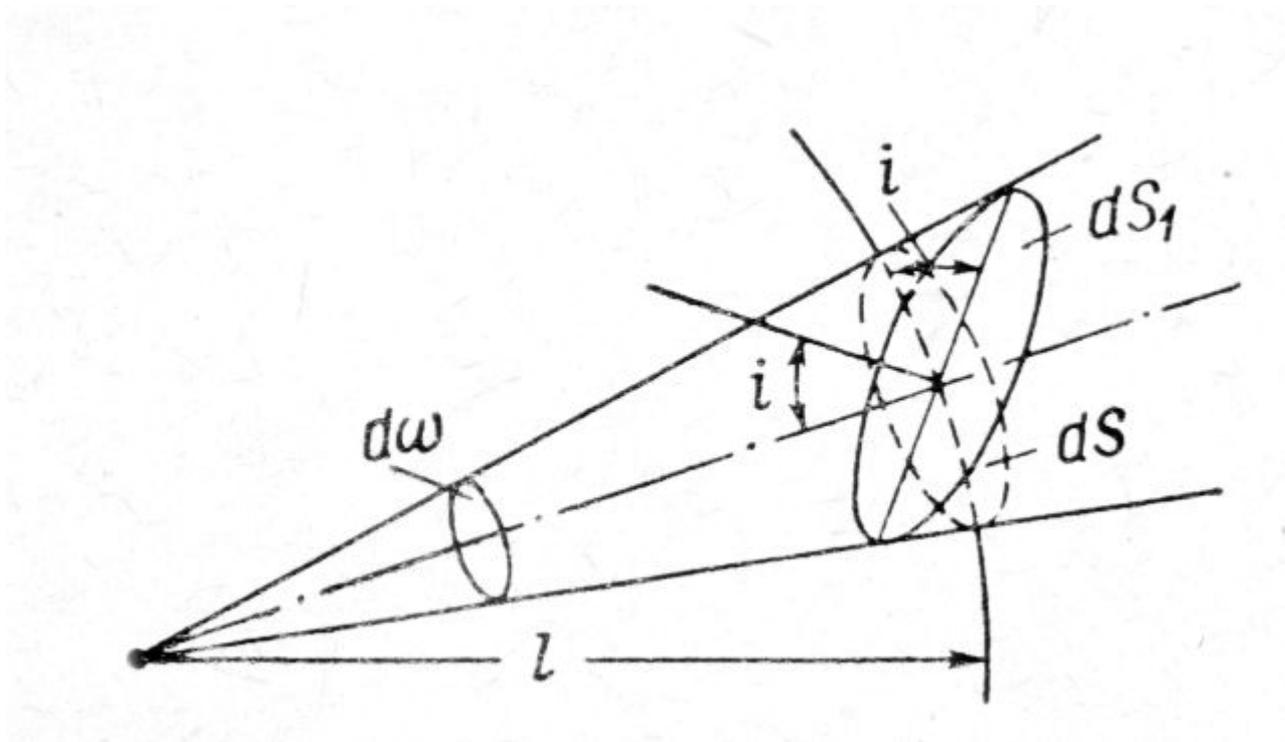
### 1. Пучок параллельных лучей:

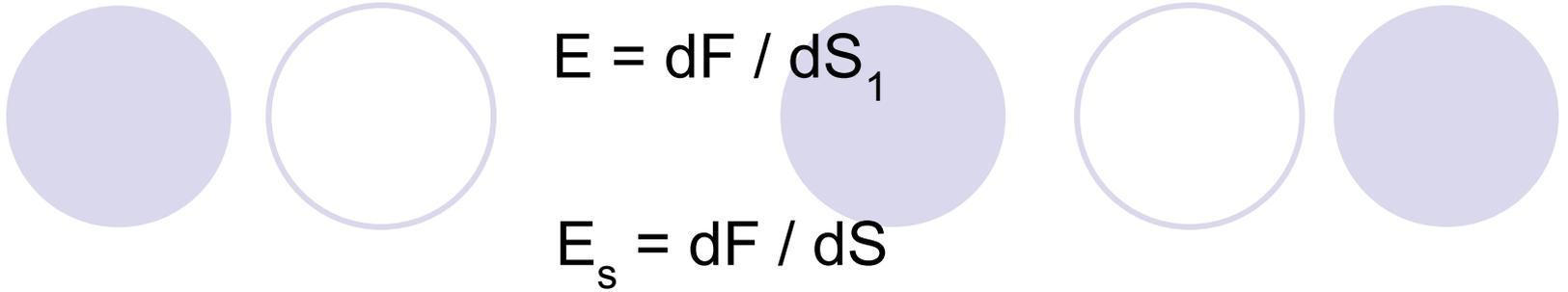
освещенность остается постоянной вдоль пучка и не зависит от расстояния;

### 2. Источник света конечных размеров:

освещенность изменяется с расстоянием в зависимости от очертаний светящейся поверхности и от распределения яркости по ней.

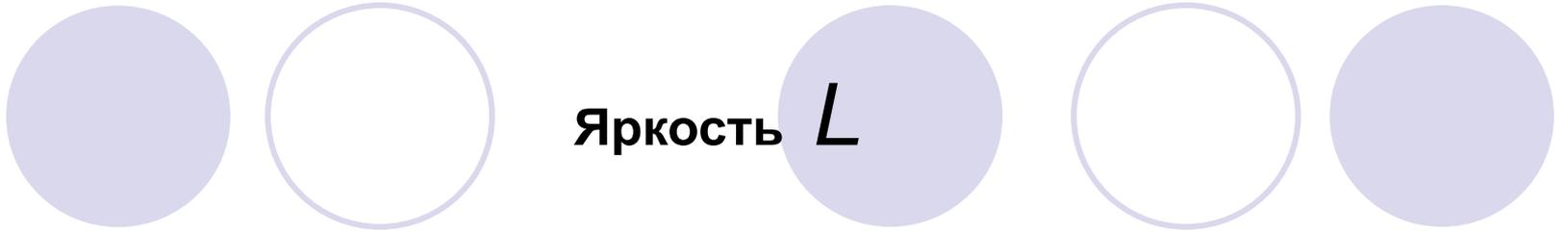
## Закон косинусов (для освещения)





$$dS = dS_1 \cos i$$
$$E = dF \cos i / dS = E_s \cos i = I \cos i / l^2$$

Освещенность пропорциональна косинусу угла падения света на освещаемую поверхность



Яркость  $L$

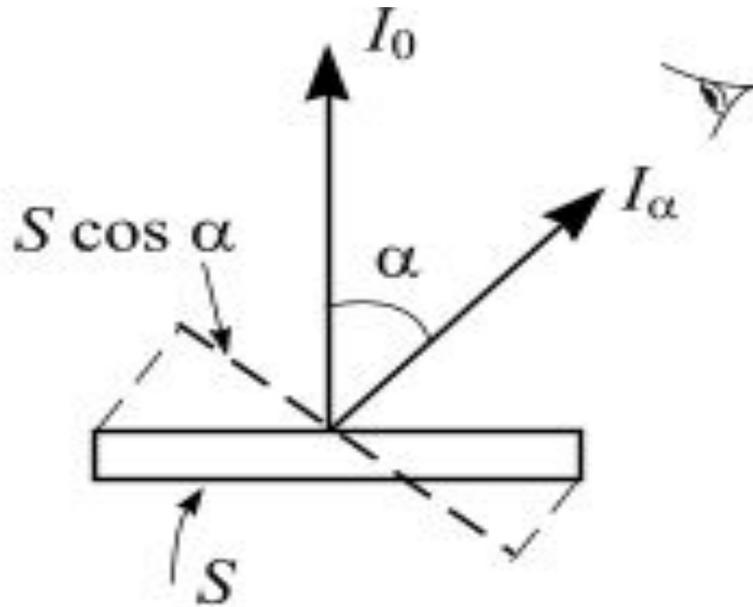


Рис. 1.6. К определению яркости



Яркость  $L$  характеризует собой величину светового потока, излучаемого с единицы видимой поверхности в данном направлении.

Яркость численно равна отношению силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную заданному направлению

$$L_{\alpha} = dF / (dS \cos\alpha d\omega) = dl_{\alpha} / dS \cos\alpha$$

Единицей яркости является 1 кд на 1 м<sup>2</sup> (кд/м<sup>2</sup> )

# Основные светотехнические величины

Энергетические величины			Фотометрические величины		
Наименование	Уравнение	Единица измерения	Наименование	Уравнение	Единица измерения
Поток излучения	$F_e = W/t$	Вт	Световой поток	$F$	Лм
Сила излучения	$I_{e\alpha} = dF_e/d\omega$	Вт/ср	Сила света	$I_\alpha = dF/d\omega$	Кд
Энергетическая светимость	$M_e = dF_e/dS_{\text{и}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Светимость	$M = dF/dS_{\text{и}}$	Лм/м <sup>2</sup>
Энергетическая освещенность	$E_e = dF_e/dS_0$	Вт/м <sup>2</sup>	Освещенность	$E = dF/dS_0$	Лк
Энергетическая яркость	$L_{e\alpha} = dI_{e\alpha}/dS \cos \alpha$	Вт/(ср · м <sup>2</sup> )	Яркость	$L_\alpha = dI_\alpha/dS \cos \alpha$	Кд/м <sup>2</sup>



Нестандартные фотометрические единицы.

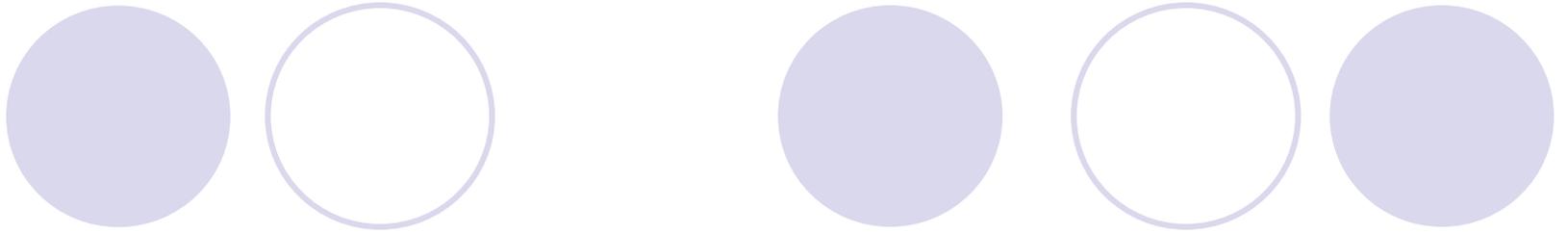
## Нестандартные единицы освещенности

- 1 фот =  $1 \text{ лм/см}^2 = 10^4 \text{ лк}$
- 1 фут-свеча =  $1 \text{ лм/кв.фут} = 10,76 \text{ лк}$
- 1 фотон



## Нестандартные единицы яркости

- 1 стильб (сб) =  $1 \text{ кд/см}^2 = 10^4 \text{ кд/м}^2$
- 1 миллистильб (мсб) =  $10^{-3} \text{ сб}$
- 1 децимиллистильб (дмсб) =  $10^{-4} \text{ сб} =$   
 $= 1 \text{ нит (нт)} = 1 \text{ кд/ м}^2$
- 1 ламб =  $1/\pi \text{ (кд/см}^2) = 0,318 \text{ сб} =$   
 $= 3180 \text{ нт}$
- 1 апостильб (асб) =  $10^{-4} \text{ ламб} = 0,318 \text{ нт}$
- 1 фут-ламберт(фламб) =  $1,076 \text{ мламб}$   
 $= 10,76 \text{ асб} = 3,425 \text{ нт}$



Единицы длины и площади:

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм}$$

$$1 \text{ фут} = 12 \text{ дюймов} = 30,48 \text{ см}$$

$$1 \text{ кв.фут} = 929 \text{ см}^2$$

$$1 \text{ м}^2 = 10,76 \text{ кв.футов}$$

### **3. Модификации излучения. Светотехнические характеристики тел и сред.**

Модификации:

- Отражение
- Пропускание
- Поглощение
- Рассеяние

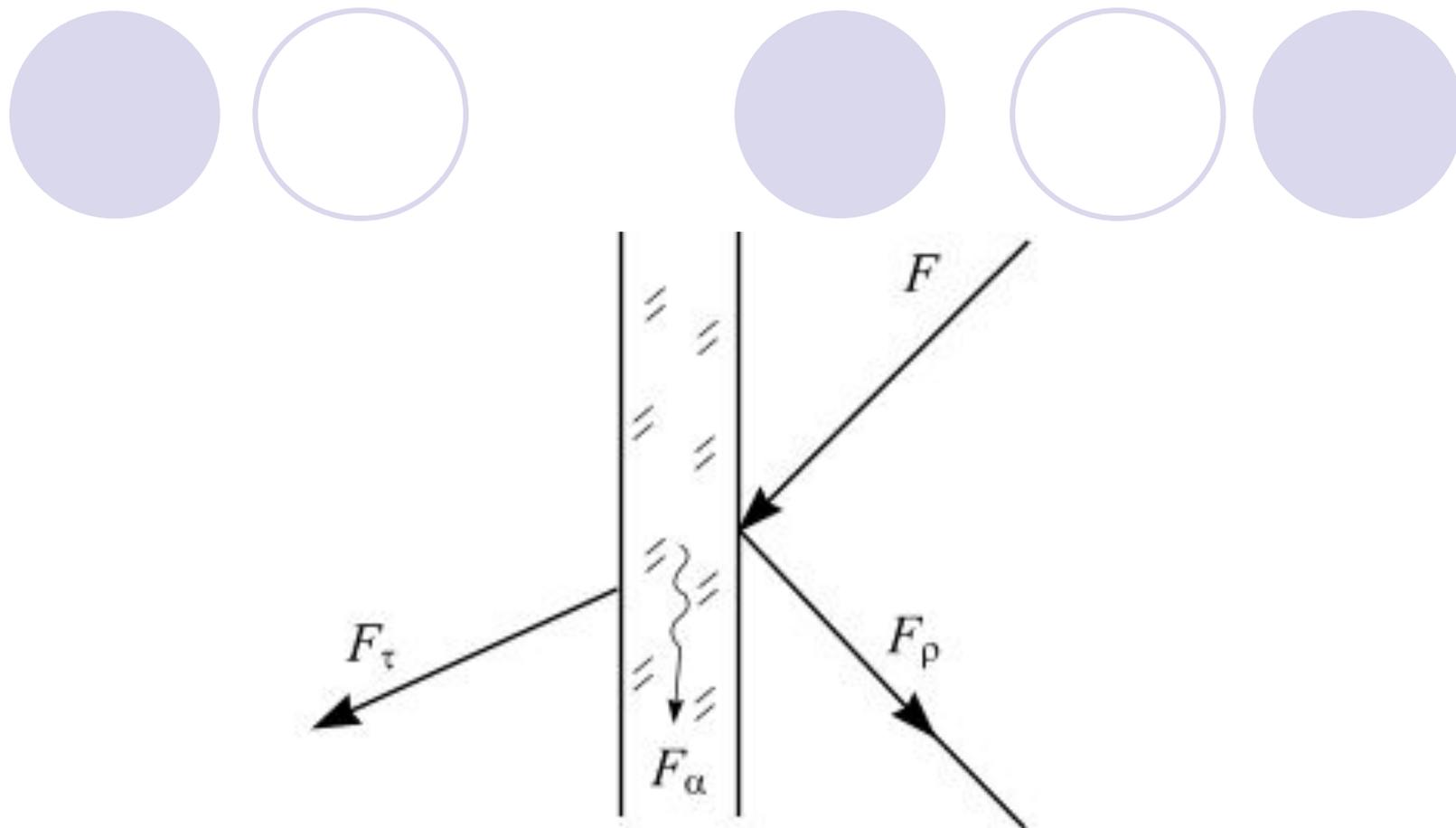
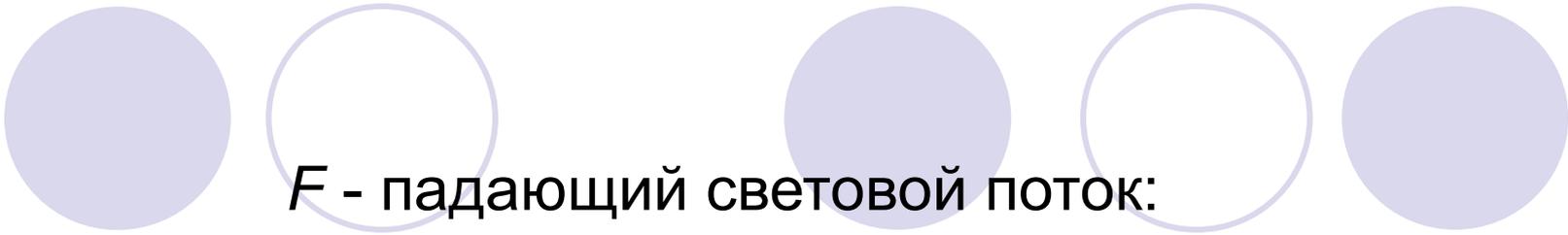


Рис. 1.7. Распределение светового потока при взаимодействии с телом

A diagram consisting of five circles arranged horizontally. The first, third, and fifth circles are solid light purple. The second and fourth circles are hollow with a light purple outline. The text is positioned between the second and fourth circles.

$F$  - падающий световой поток:

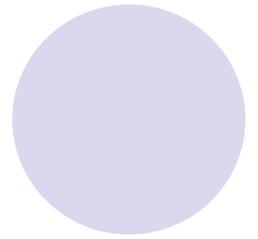
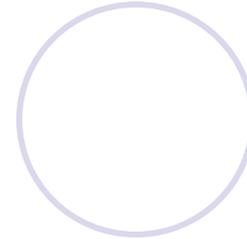
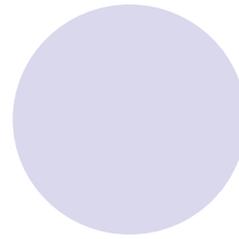
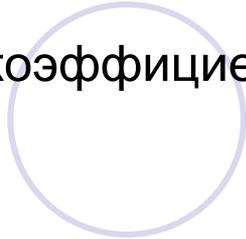
$F_{\rho}$  - отраженный

$F_{\tau}$  - пропущенный

$F_{\alpha}$  - поглощенный

$$F = F_{\rho} + F_{\tau} + F_{\alpha}.$$

Интегральные коэффициенты:



- отражения

$$\rho = F_{\rho} / F$$

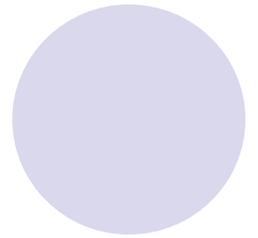
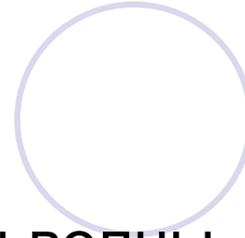
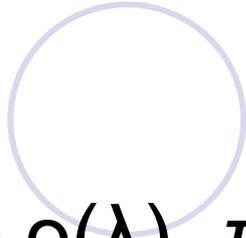
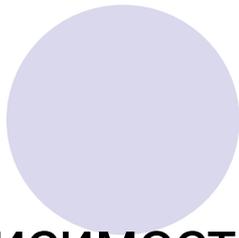
- пропускания

$$\tau = F_{\tau} / F$$

- поглощения

$$\alpha = F_{\alpha} / F$$

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



Зависимости  $\rho(\lambda)$ ,  $\tau(\lambda)$ ,  $\alpha(\lambda)$  от длины волны излучения называются спектральными характеристиками отражения, пропускания и поглощения.

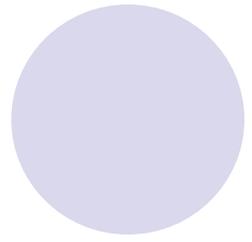
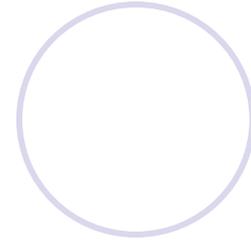
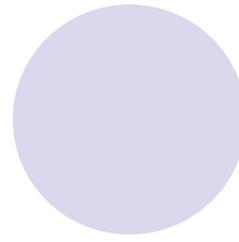
Для однородных излучений:

$$\rho(\lambda) = F_{\rho}(\lambda)/F(\lambda)$$

$$\tau(\lambda) = F_{\tau}(\lambda)/F(\lambda)$$

$$\alpha(\lambda) = F_{\alpha}(\lambda)/F(\lambda)$$

Для сложных излучений:



$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} p(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} p(\lambda) d\lambda}; \quad \tau = \frac{\int_0^{\infty} p(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} p(\lambda) d\lambda}; \quad \alpha = \frac{\int_0^{\infty} p(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} p(\lambda) d\lambda},$$

## $D(\lambda)$ – оптическая плотность среды

Оптическая плотность - мера непрозрачности вещества, равная десятичному логарифму отношения потока излучения  $F$ , падающего на слой вещества, к потоку прошедшего излучения  $F_{\tau}$ , ослабленного в результате поглощения и рассеяния:

$$D = \lg(F / F_{\tau}).$$

Оптическая плотность - логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания.

$$D(\lambda) = \lg [1/\tau(\lambda)] = - \lg \tau(\lambda)$$

Для однородного излучения:

$$T_0 = T_1 * T_2 * \dots * T_n$$

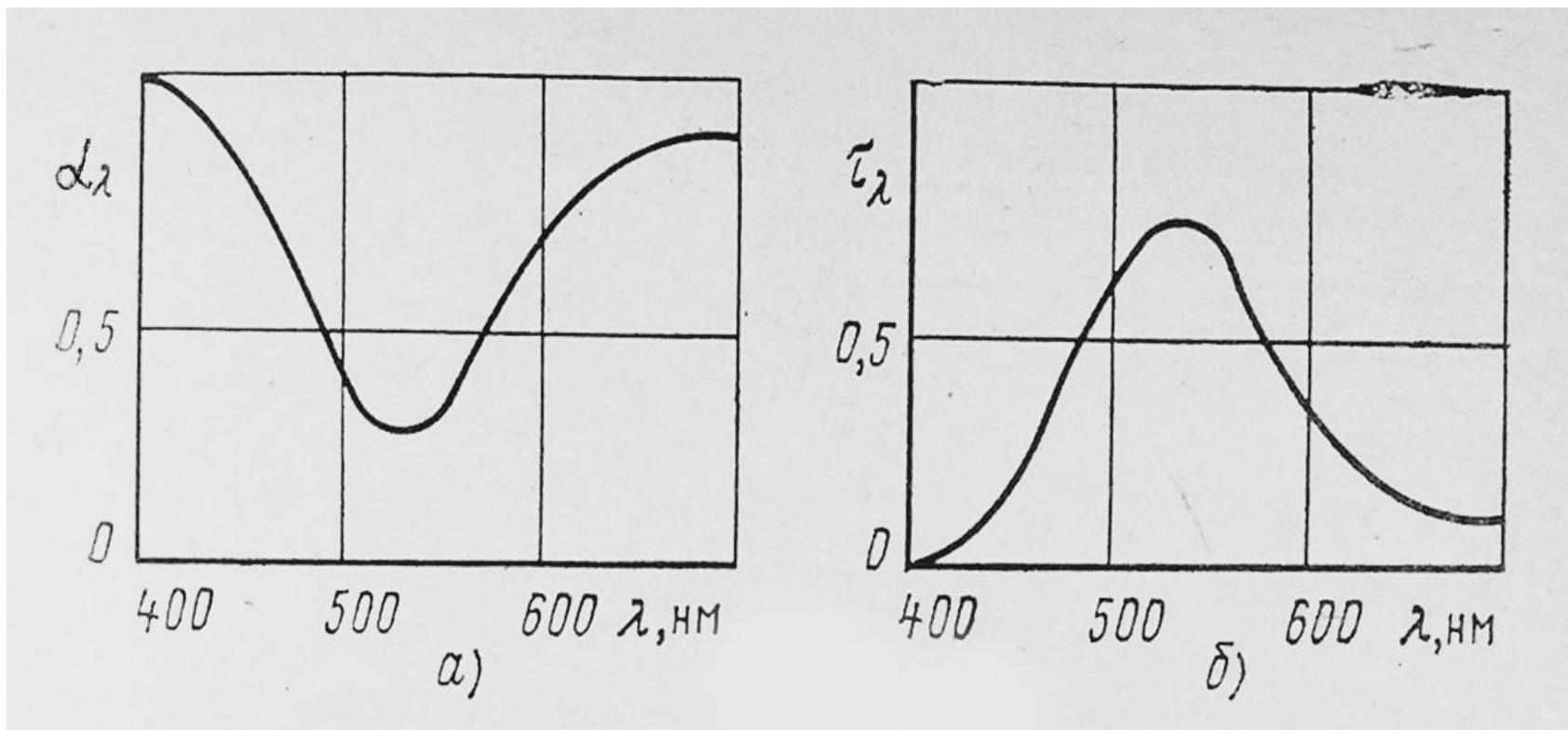
$$D_1 = \lg (1/T_1)$$

$$D_2 = \lg (1/T_2)$$

$$D_n = \lg (1/T_n)$$

$$D_0 = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

Светофильтры- пластины с оптически однородной (не рассеивающей) средой, с избирательным поглощением энергии излучения в той или иной части спектра.





## Распределение световых потоков в пространстве:

- направленное отражение (пропускание)
- рассеянное (диффузное) отражение (пропускание)
- направленно-рассеянное отражение (пропускание)

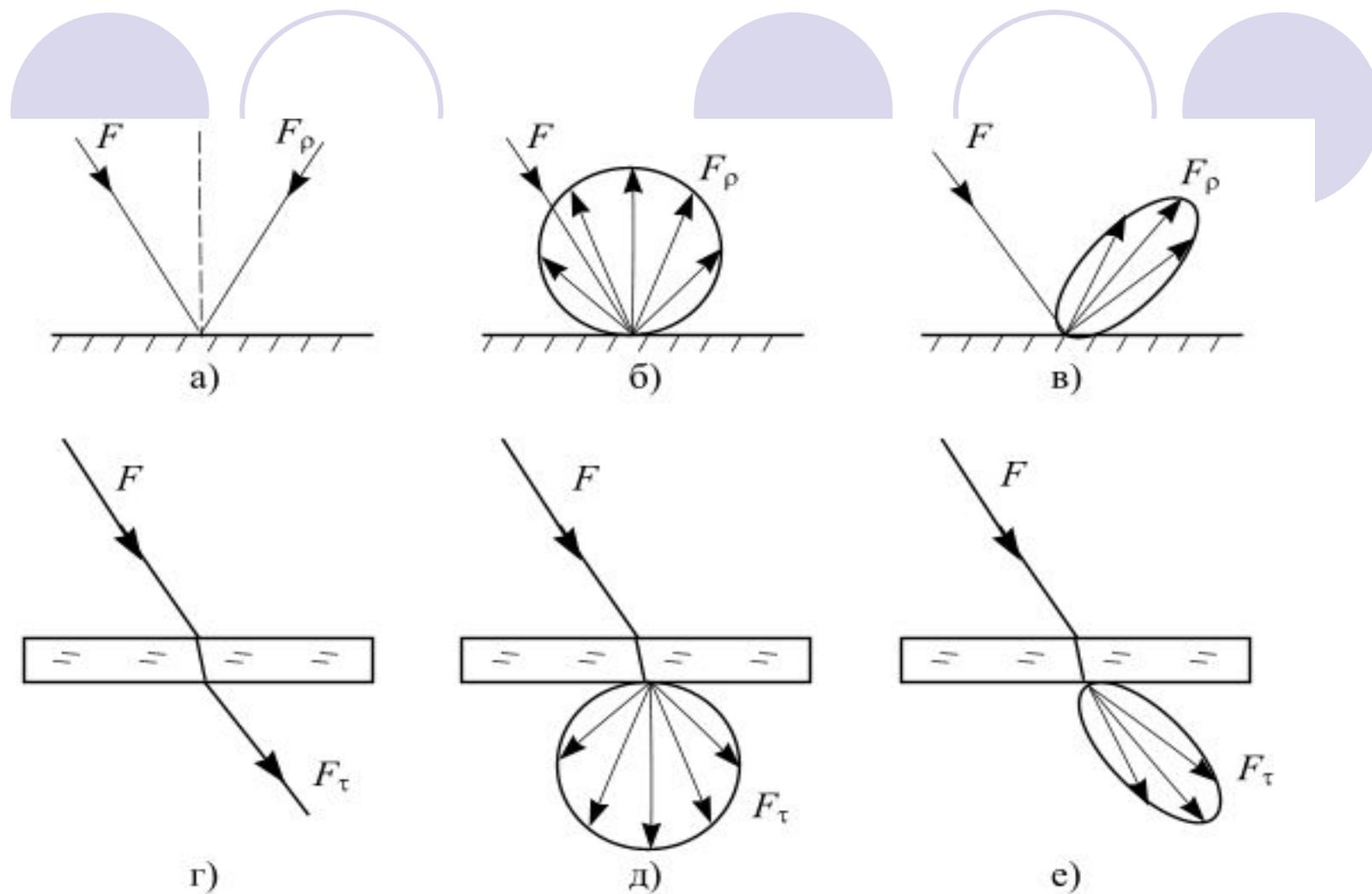
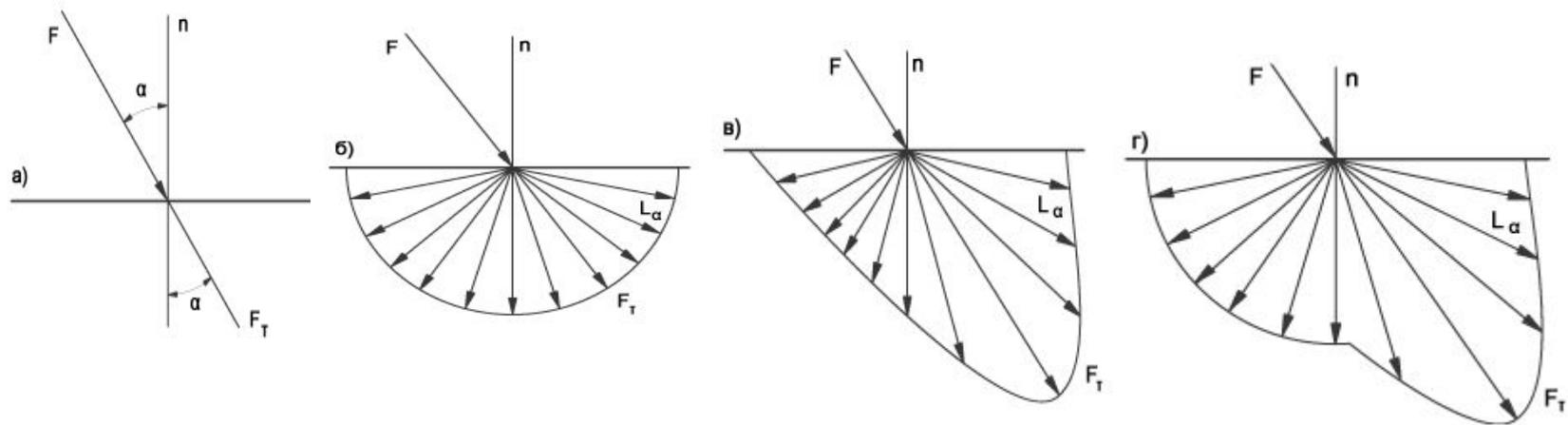
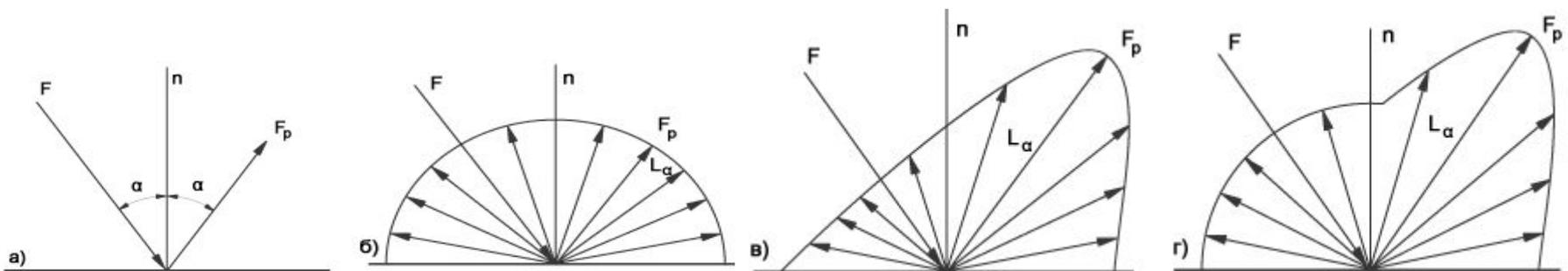
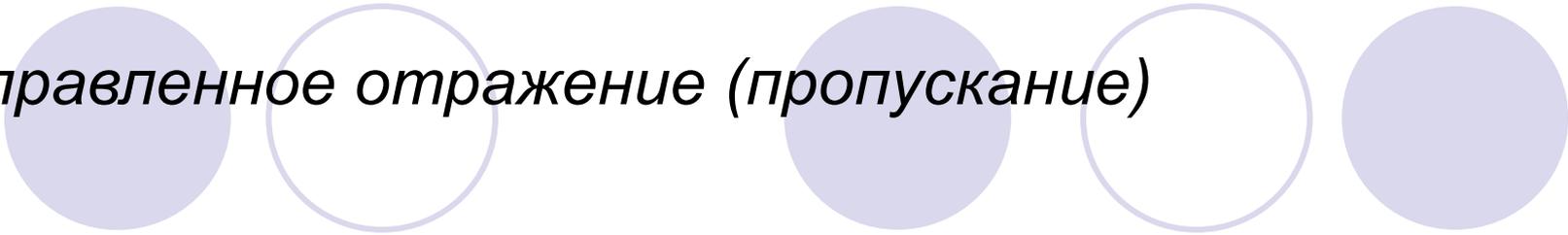


Рис. 1.8. Диаграммы сил света при различных видах отражения и пропускания:  
 отражение: а) направленное; б) рассеянное (диффузное);  
 в) направленно-рассеянное;  
 пропускание: г) направленное; д) рассеянное (диффузное);  
 е) направленно-рассеянное

# Диаграммы яркостей

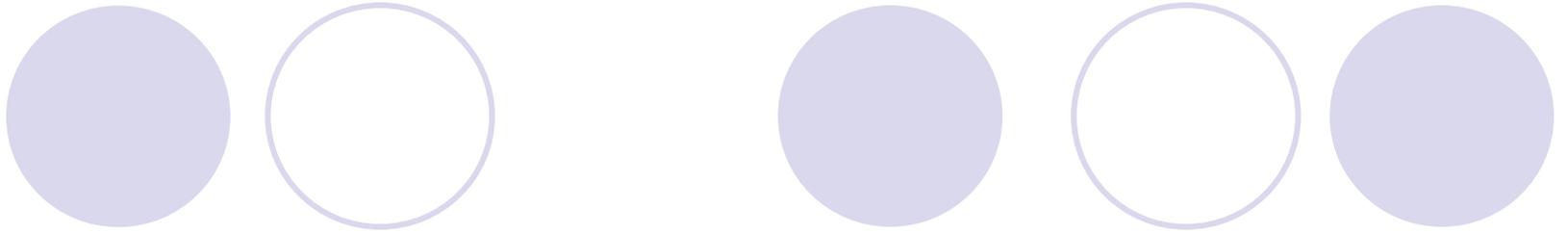




## *Направленное отражение (пропускание)*

При направленном отражении угол падения равен углу отражения, а падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности в точке падения.

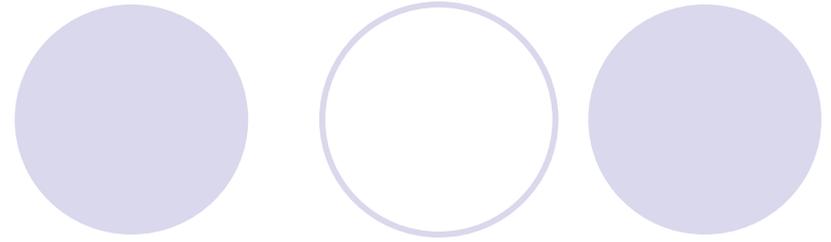
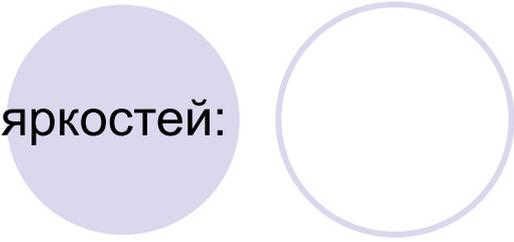
$$\alpha = -\alpha'$$



При направленном пропускании падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности в точке падения. Ход лучей определяется законом синусов.

$$n \sin \alpha = n' \sin \alpha'$$

Для яркостей:

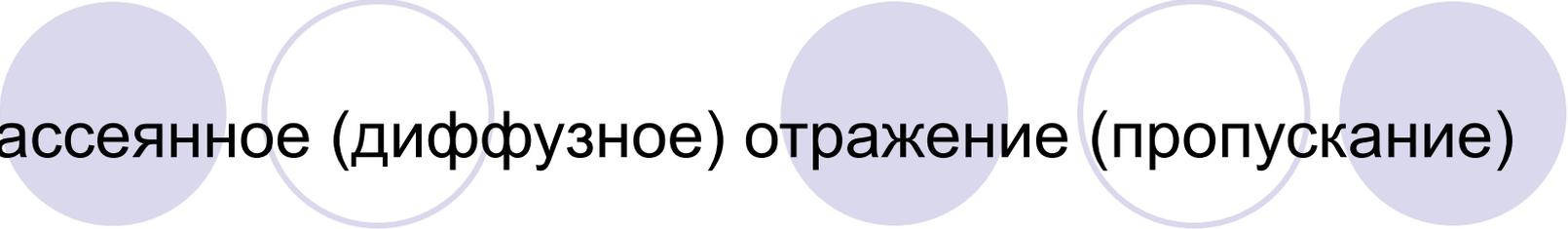


— при отражении

$$L_{\rho} = \rho L$$

— при преломлении

$$L_1 / n_1^2 = L_2 / n_2^2 = \dots = \text{const}$$



Рассеянное (диффузное) отражение (пропускание)

Идеально рассеивающие (матовые) поверхности – поверхности, яркость которых во всех направлениях одинакова.

$$L_{\alpha} = dl_{\alpha} / dS \cos \alpha = L_o = const$$

Закон косинусов для светящихся поверхностей.  
(Излучение по закону Ламберта).

$$dl_{\alpha} / \cos \alpha = dl_o = \text{const}$$

$$dl_{\alpha} = dl_o \cos \alpha$$

$$l_{\alpha} = l_o \cos \alpha$$

Сила света в каком-либо направлении равняется силе света в направлении перпендикуляра к поверхности, умноженной на косинус угла между перпендикуляром и рассматриваемым направлением.

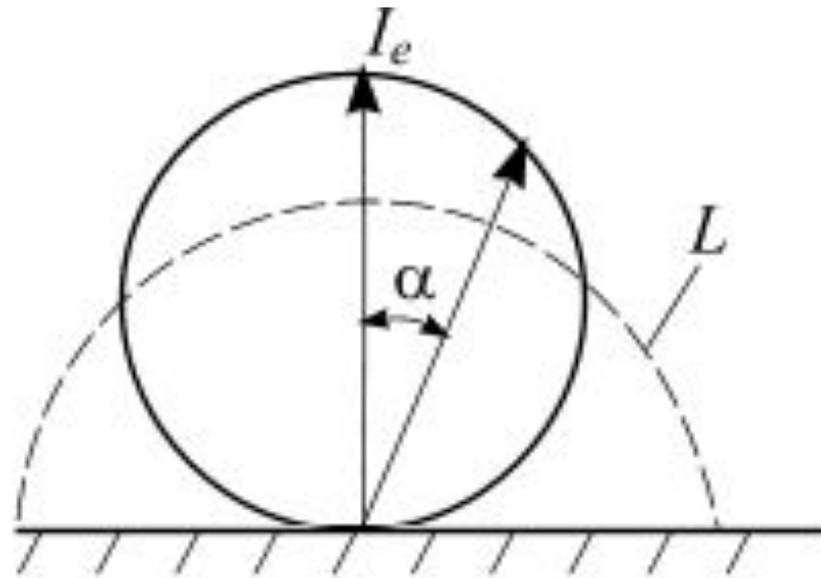


Рис. 1.5. Диаграмма пространственного распределения силы излучения поверхности, излучающей по закону Ламберта



Коэффициент диффузного отражения

Коэффициент диффузного отражения или альбедо,

$$\rho_{\text{д}} = F_{\text{д}} / F,$$

где  $F_{\text{д}}$  – диффузно отражаемая часть потока.

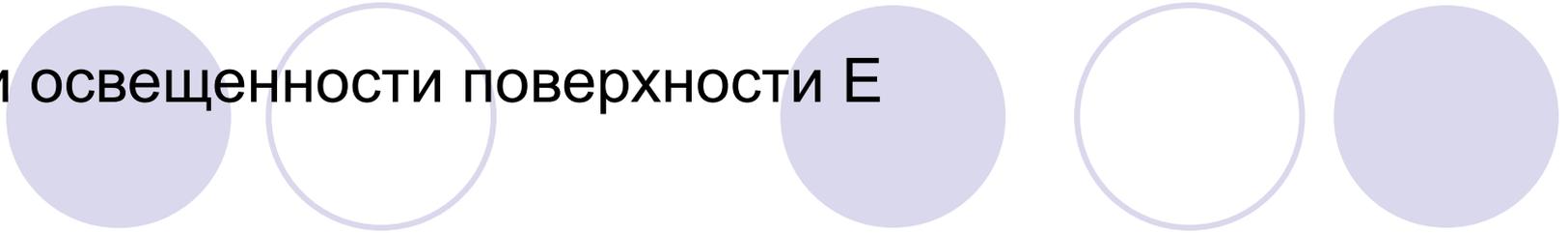


## Направленно-рассеянное отражение (пропускание)

Коэффициент яркости  $r$  - отношение яркости  $L$  тела в заданном направлении к яркости  $L_{\text{д}}$  идеальной диффузно рассеивающей поверхности (с  $\rho = 1$  или  $\tau = 1$ ):

$$r = L / L_{\text{д}}.$$

При освещенности поверхности  $E$



*Светимость:*

$$M = \rho E \text{ (или } M = \tau E)$$

*Яркость:*

$$L = r E / \pi$$

При диффузном отражении  $r = \rho$ ;

при диффузном пропускании  $r = \tau$  .



# Основы колориметрии

Колориметрия:

Color – цвет;

Metrum – мера.

***Цвет*** – характеристика зрительного ощущения, позволяющая человеку распознавать качественные различия излучений, обусловленные их различным спектральным составом.

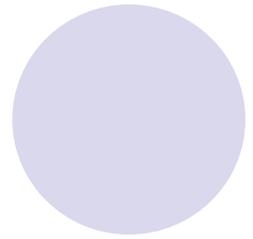
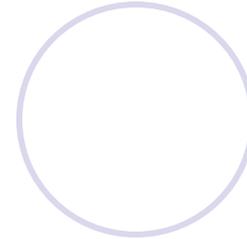
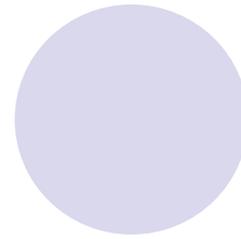
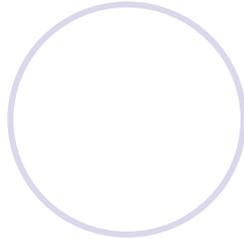
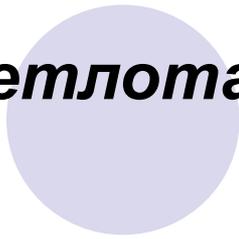
# 1. Психологические характеристики цвета.



## Цветовое ощущение:

- светлота;
- цветовой тон;
- насыщенность

**Светлота**

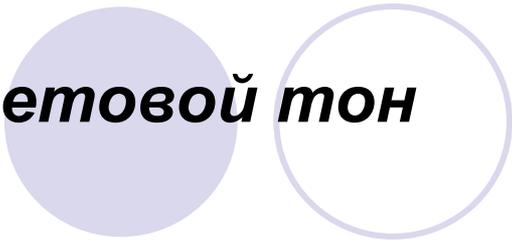


**Светлота  $E$**  (субъективный параметр)– свойство зрительного ощущения, согласно которому поверхность кажется испускающей больше или меньше света.

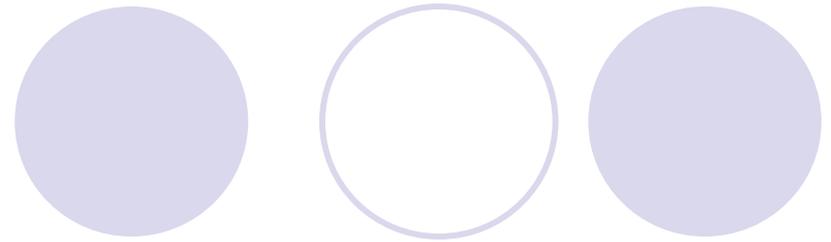
**Яркость  $L$**  (физический параметр)

**Закон Вебера – Фехнера:**

$$E = k \ln L + c$$

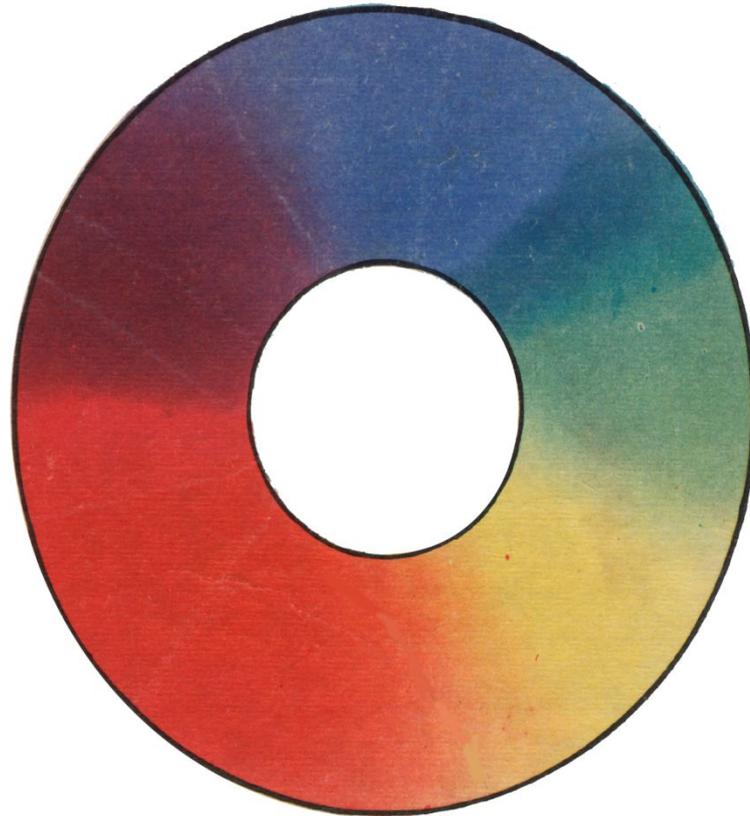
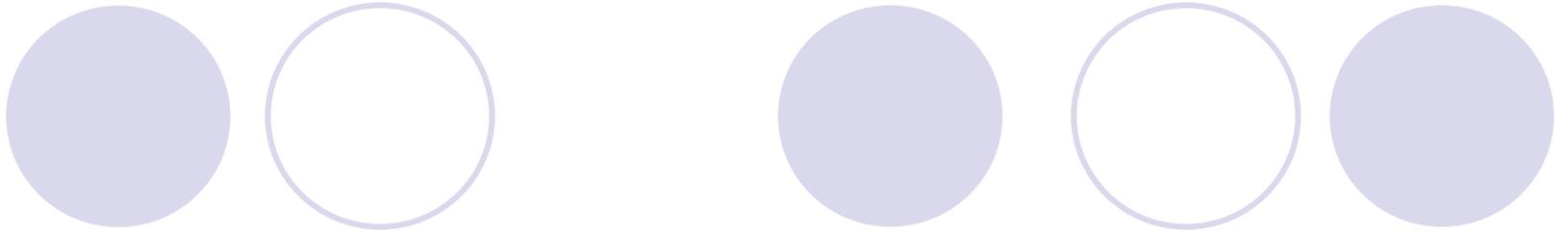


## ***Цветовой тон***

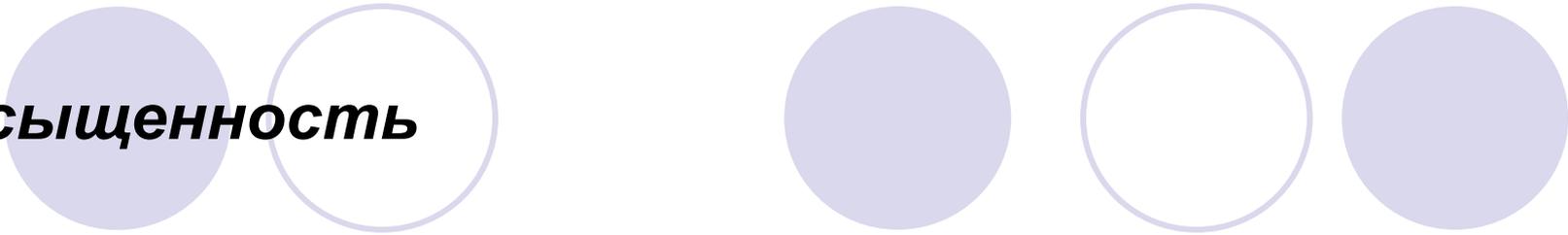


***Цветовой тон*** (субъективный параметр) – характерное свойство цвета, позволяющее обозначать его как красный, синий, желтый и т.п.

***Доминирующая (преобладающая) длина волны  $\lambda_D$***  (физический параметр) – длина волны монохроматического излучения того же цветового тона, что и данный цвет.



**рис.3 Изменение цветового тона**



## ***Насыщенность***

***Насыщенность*** (субъективный параметр) – свойство цветового ощущения, характеризующее степень удаленности данного цвета по зрительному восприятию от белого.

***Колориметрическая чистота цвета  $P$***  (физический параметр) – относительное содержание в нем спектрального цвета (монохроматического светового потока  $F_\lambda$ )

$$P = F_\lambda / F = F_\lambda / (F_\sigma + F_\lambda)$$

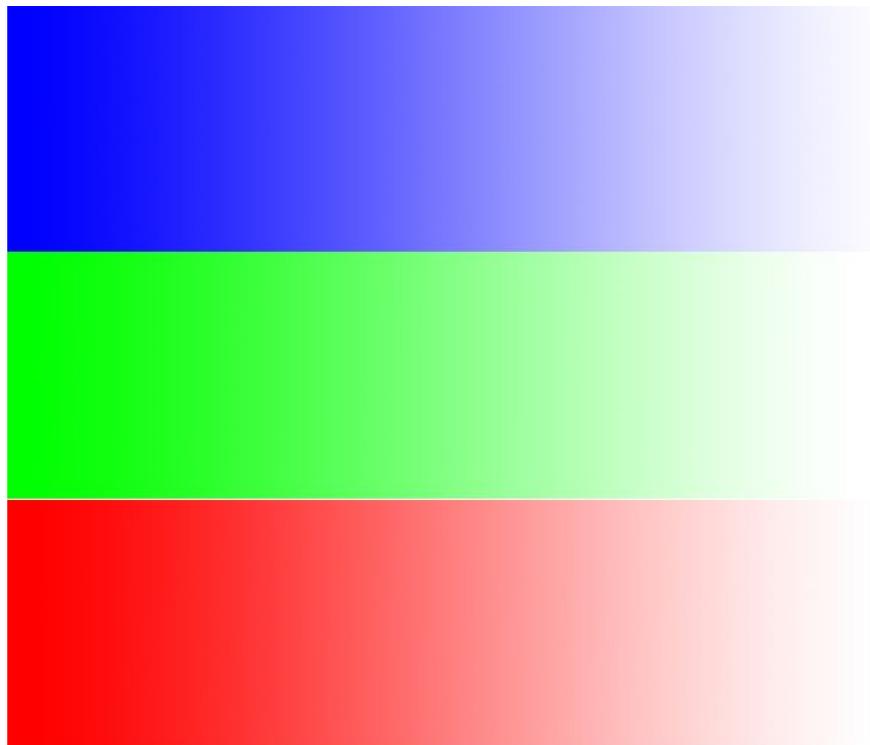
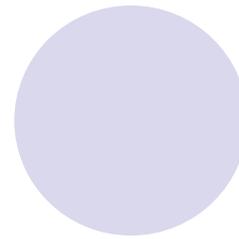
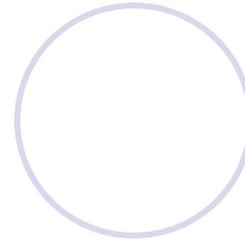
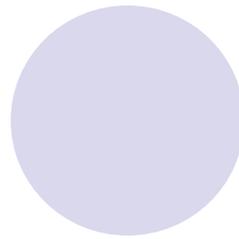
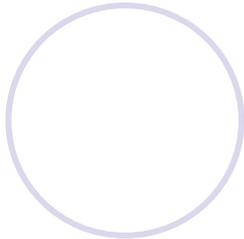
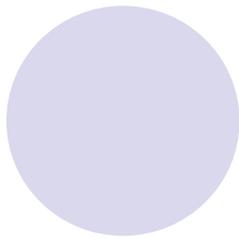
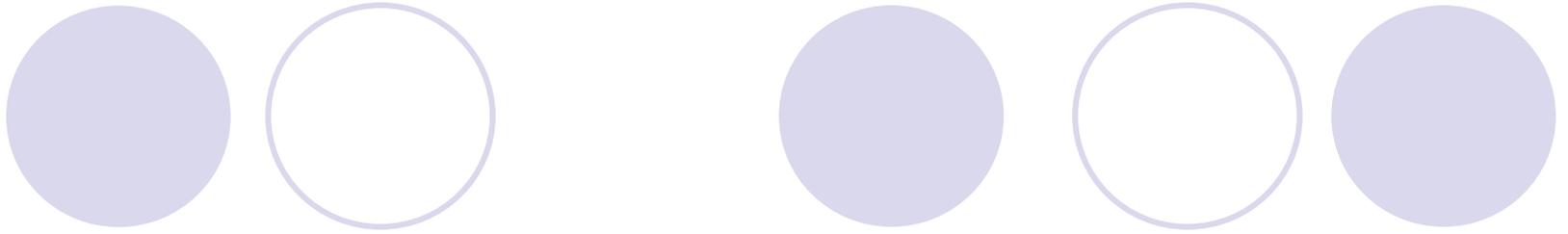


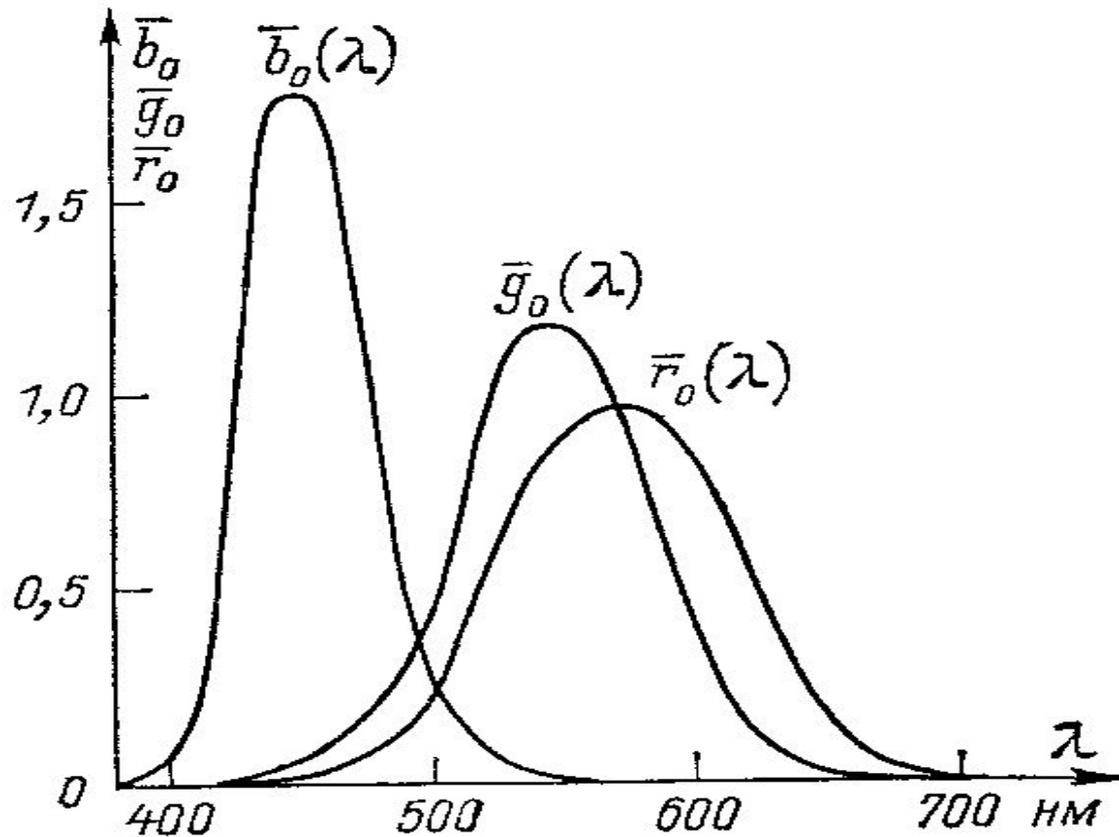
рис.2 Изменение насыщенности от 100% до 0.



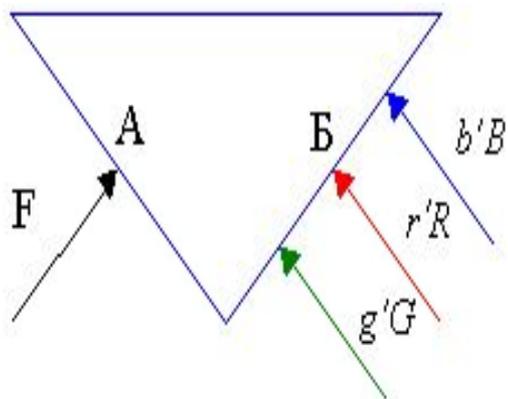
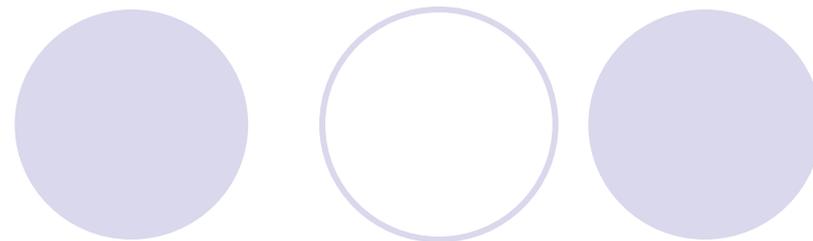
***Метамеры*** — визуально одинаковые цвета, имеющие разные спектральные составы.

***Дополнительные цвета*** – два цвета, которые при смешении в определенной пропорции создают ощущение белого цвета.

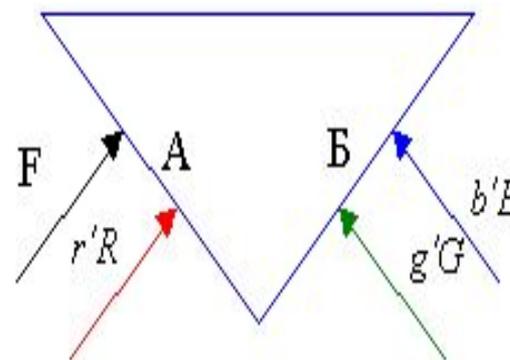
## 2. Колориметрическое (трехцветное) представление цветов.



# Смещение цветов



a)



б)

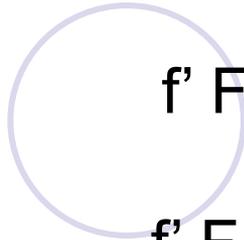
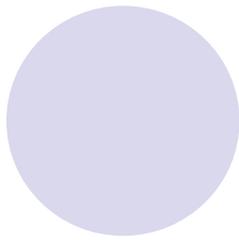
# Законы аддитивного образования цветов (законы Грассмана)

1. Непрерывному изменению излучения соответствует непрерывное изменение цвета.
2. Любые четыре цвета находятся в линейной зависимости. Иначе говоря, любой цвет может быть выражен через любые три линейно независимых цвета.

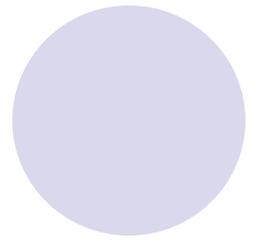
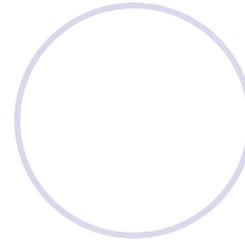
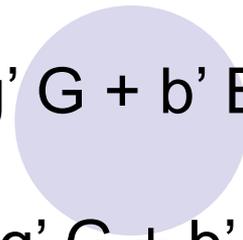
$$f' F = r' R + g' G + b' B$$

Здесь R, G, B **не могут** быть связаны уравнениями вида:

$$r' R = g' G + b' B; g' G = r' R + b' B; b' B = r' R + g' G.$$



$$f' F + r' R = g' G + b' B$$



$$f' F = - r' R + g' G + b' B$$

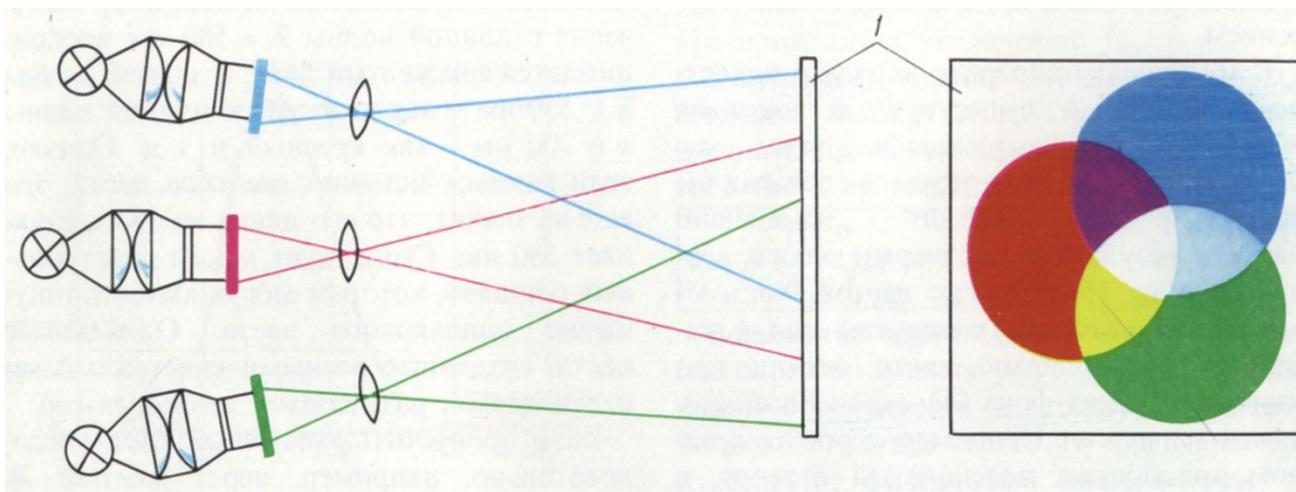
3. Цвет смеси зависит только от цвета смешиваемых компонентов и не зависит от способа их получения, в частности, от их спектрального состава.
4. Яркость смеси цветов равна сумме яркостей составляющих смеси.



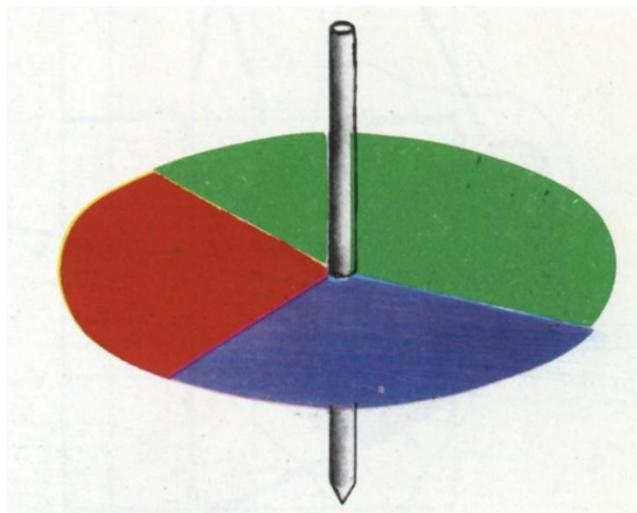
## Способы аддитивного смешения цветов:

- Локальное ( одновременное и последовательное)
- Пространственное
- Бинокулярное

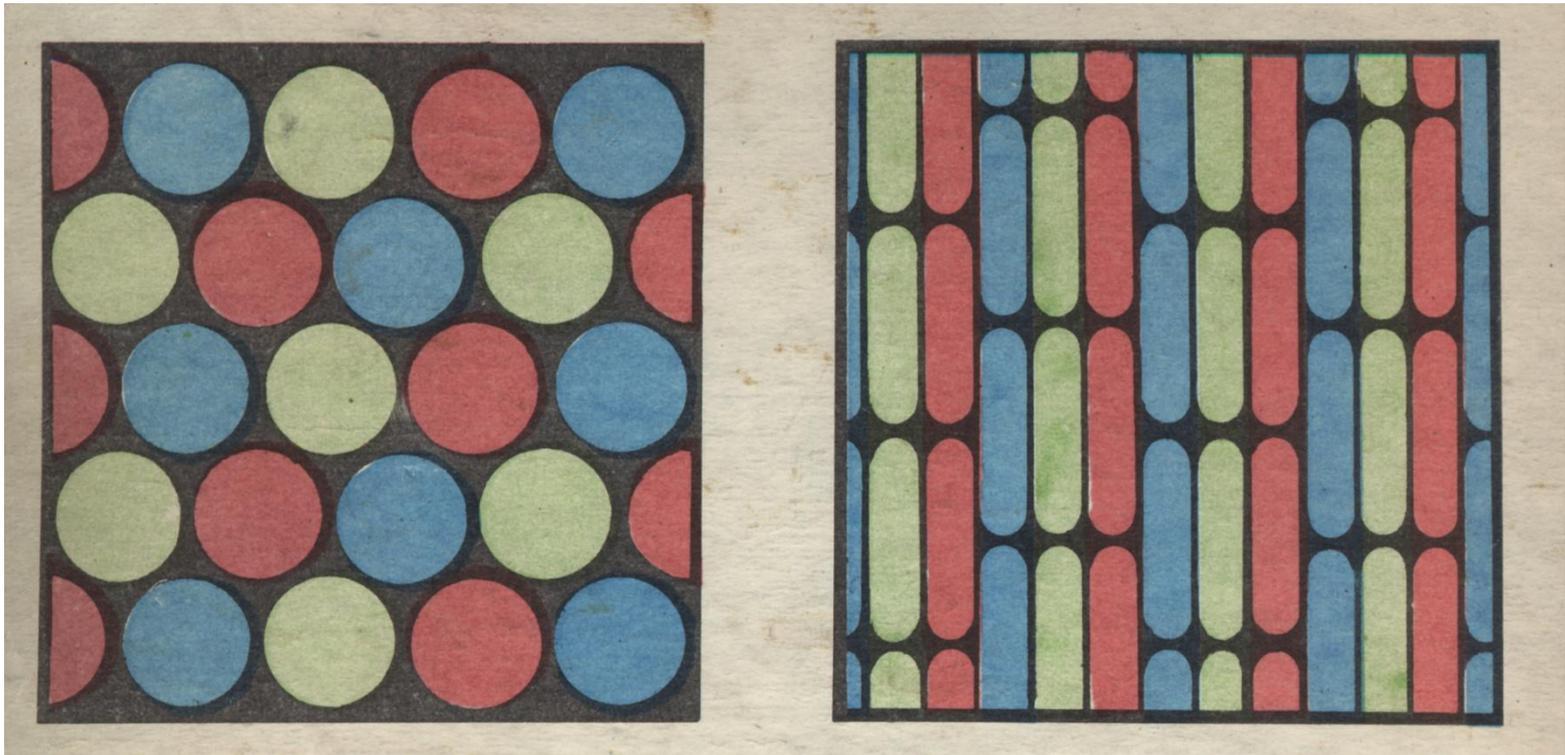
# Одновременное (оптическое) локальное смещение



Последовательное локальное смещение



Пространственное смешение



### 3. Графическое представление цвета

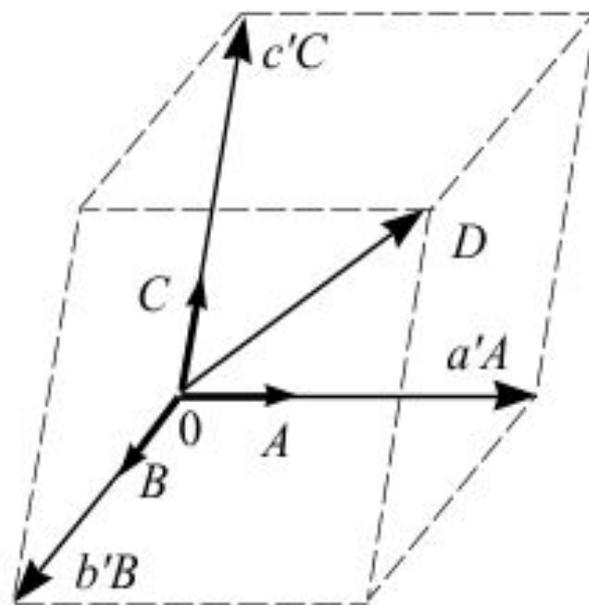


Рис. 3.1. Вектор цвета и его компоненты

# Цветовое пространство

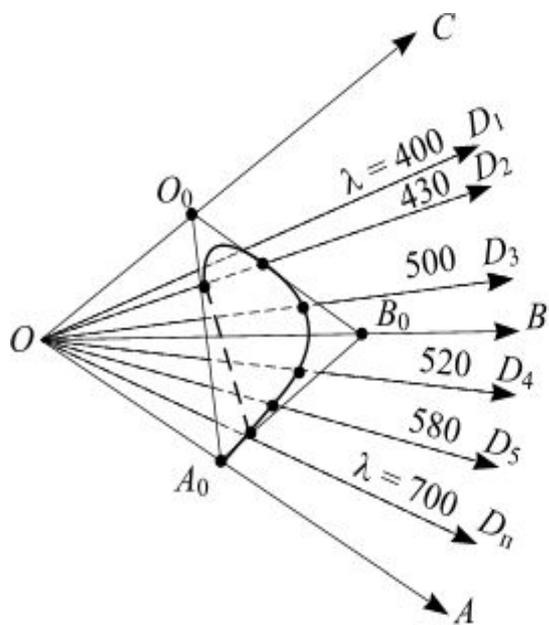


Рис. 3.2. Цветовое пространство

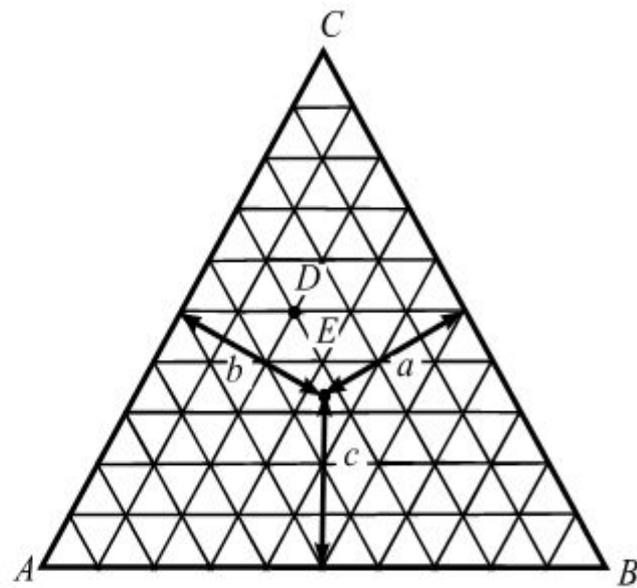


Рис. 3.3. Цветовой треугольник  $ABC$



$m = a' + b' + c'$  – модуль цвета

$a = a' / m ; b = b' / m ; c = c' / m$

$a, b, c$  – координаты цветности  
(трехцветные коэффициенты)

$$a + b + c = 1$$

Е – равностимульный (равноинтенсивный) цвет

$$a'_E = b'_E = c'_E = 1$$

$$a_E = b_E = c_E = 1/3$$



## 4. Стандартные колориметрические системы

### 4.1. Колориметрическая система **RGB** (МКО-31).

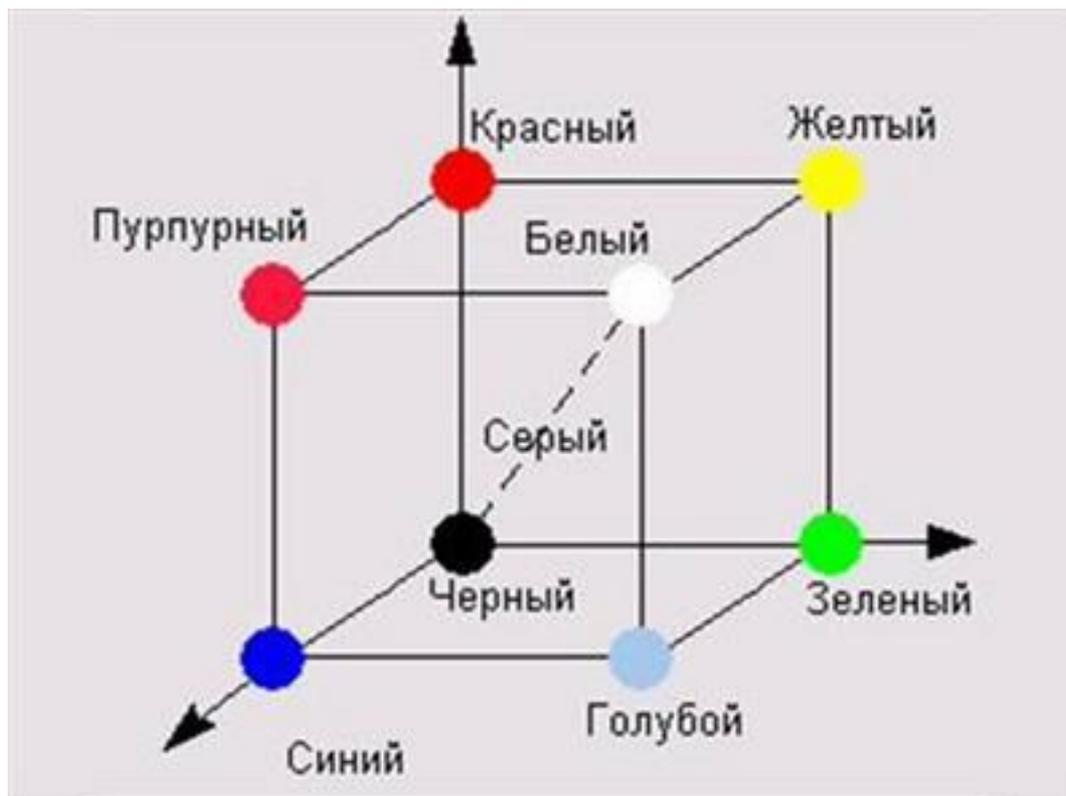
**R** –  $\lambda_R = 700$  нм

**G** –  $\lambda_G = 546,1$  нм

**B** –  $\lambda_B = 435,8$  нм

**E** – равностимульный цвет (базисный стимул)

# Цветовое пространство RGB



$$f' F = r' R + g' G + b' B$$

где  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  – координаты цвета  $F$

$$m = r' + g' + b' \text{ – модуль цвета}$$

$$r = r' / m ; g = g' / m ; b = b' / m$$

где  $r$ ,  $g$ ,  $b$  – координаты цветности

$$r + g + b = 1$$

Для равностимульного цвета  $E$ :

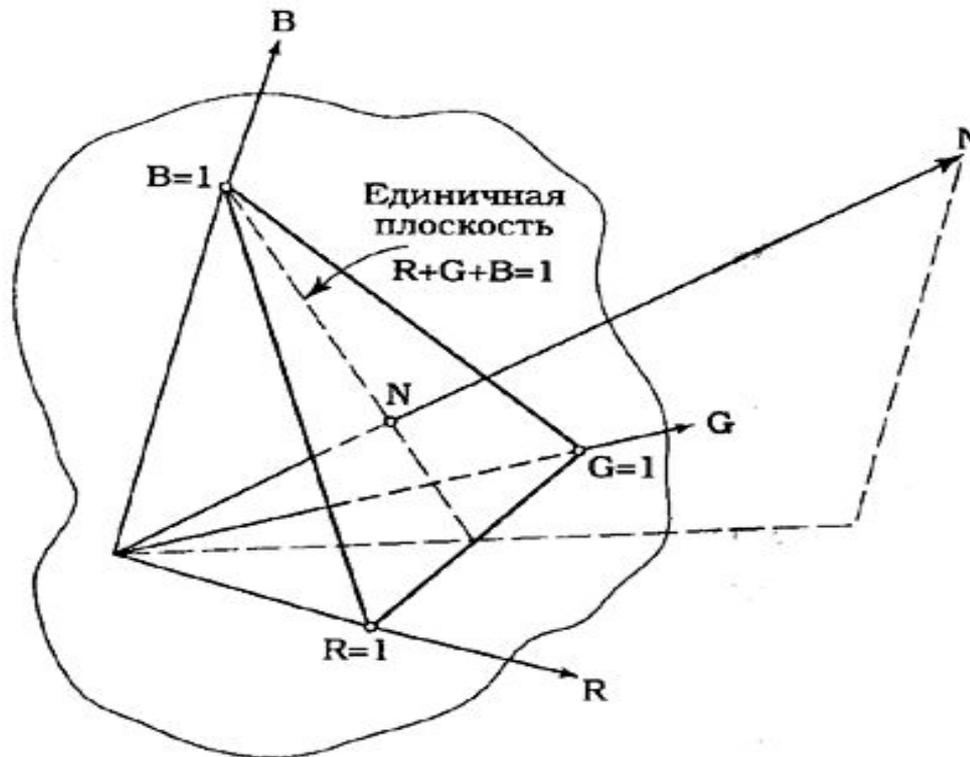
$$r'_E = g'_E = b'_E = 1$$

$$E = 1R + 1G + 1B$$

$$m_E = 3$$

$$r_E = g_E = b_E = 1/3$$

# Едини́чная плоскость системы RGB



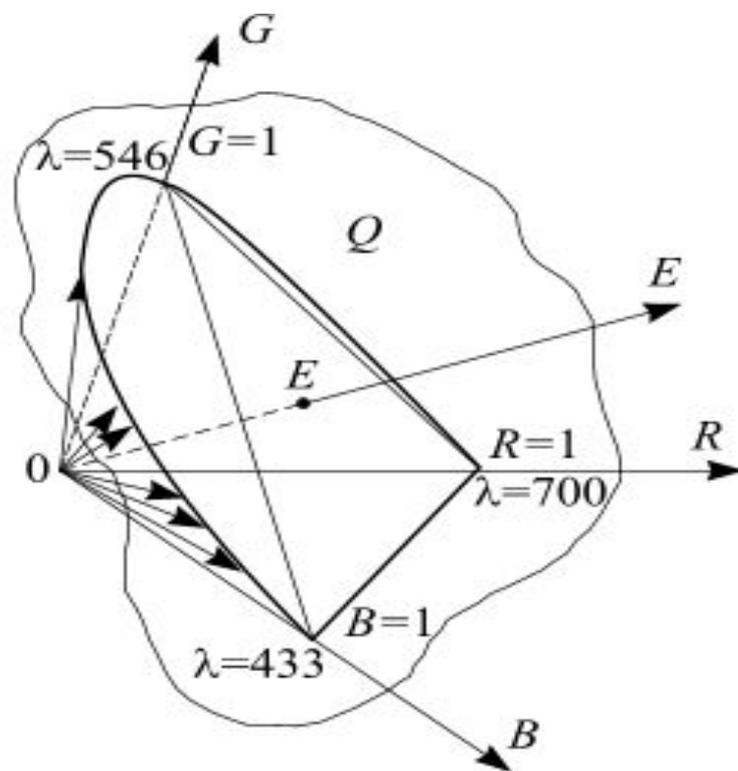
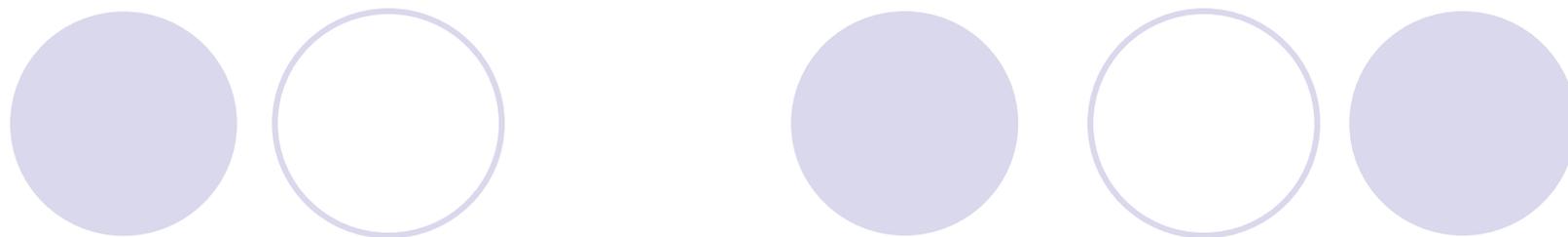
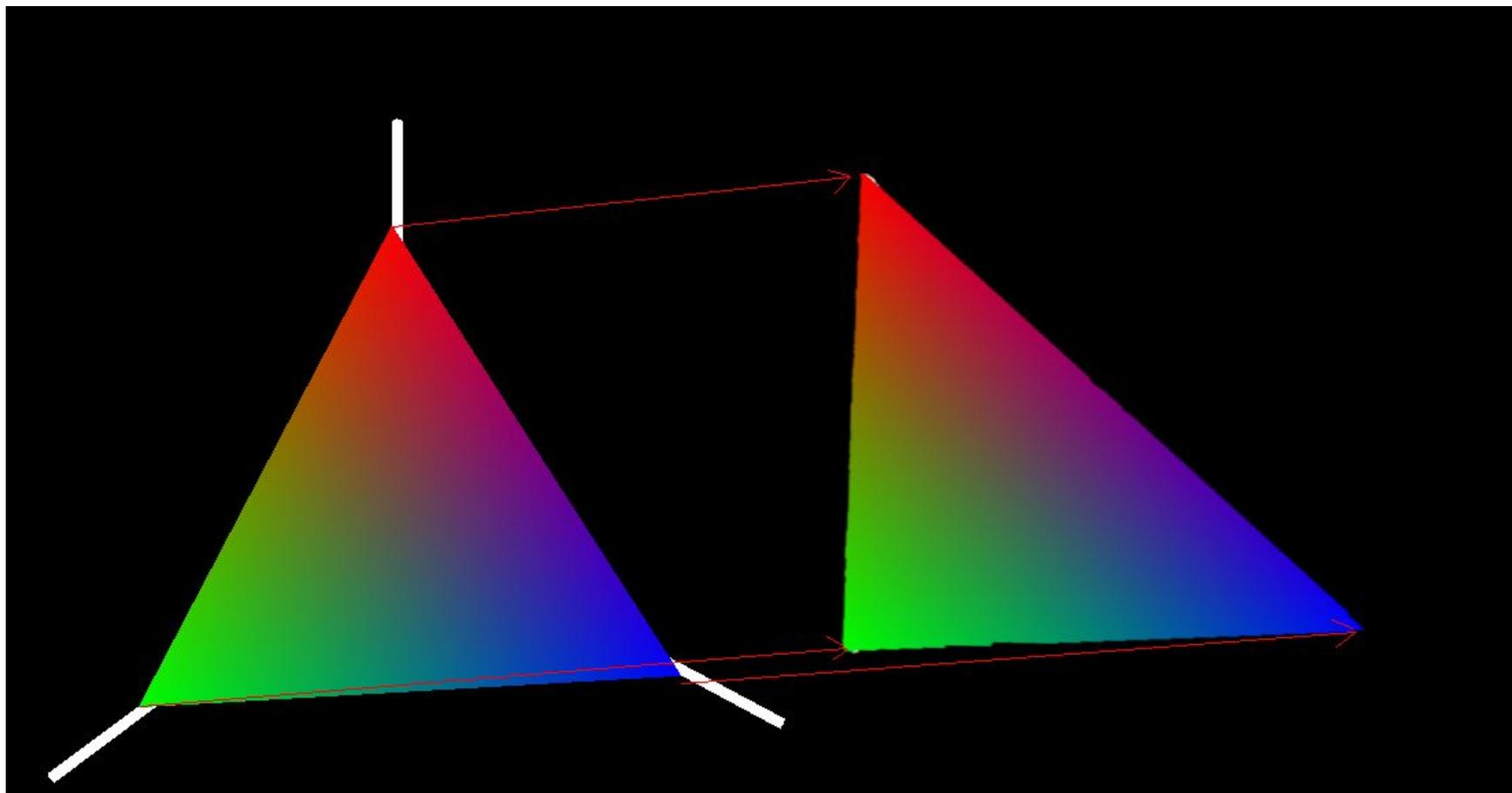
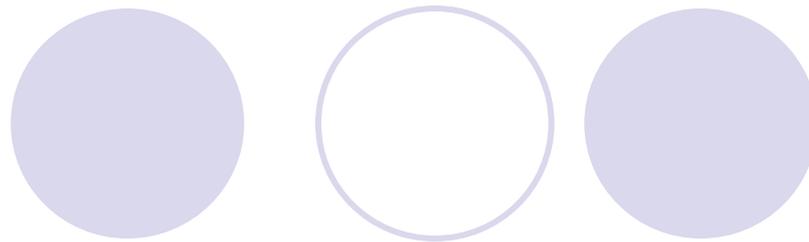
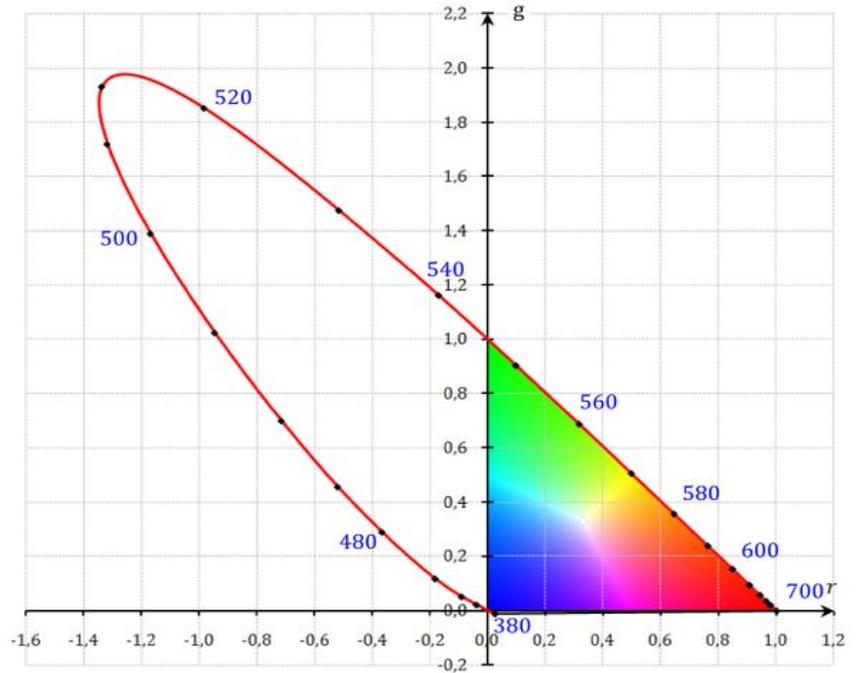
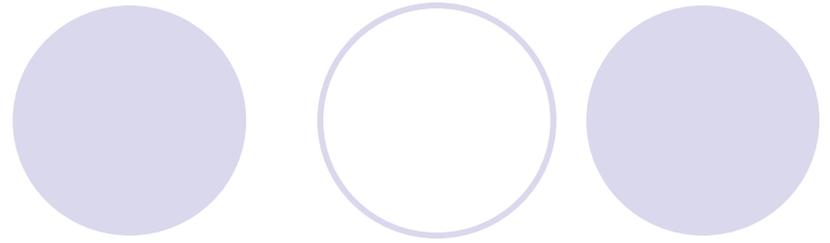
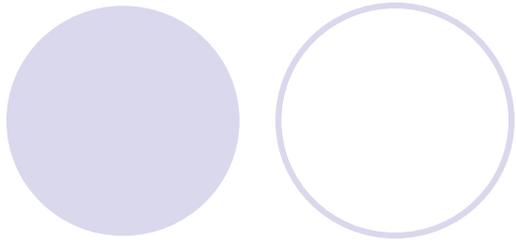


Рис. 3.5. Цветовое тело, построенное на векторах реальных цветов  $RGB$

Цветовой треугольник



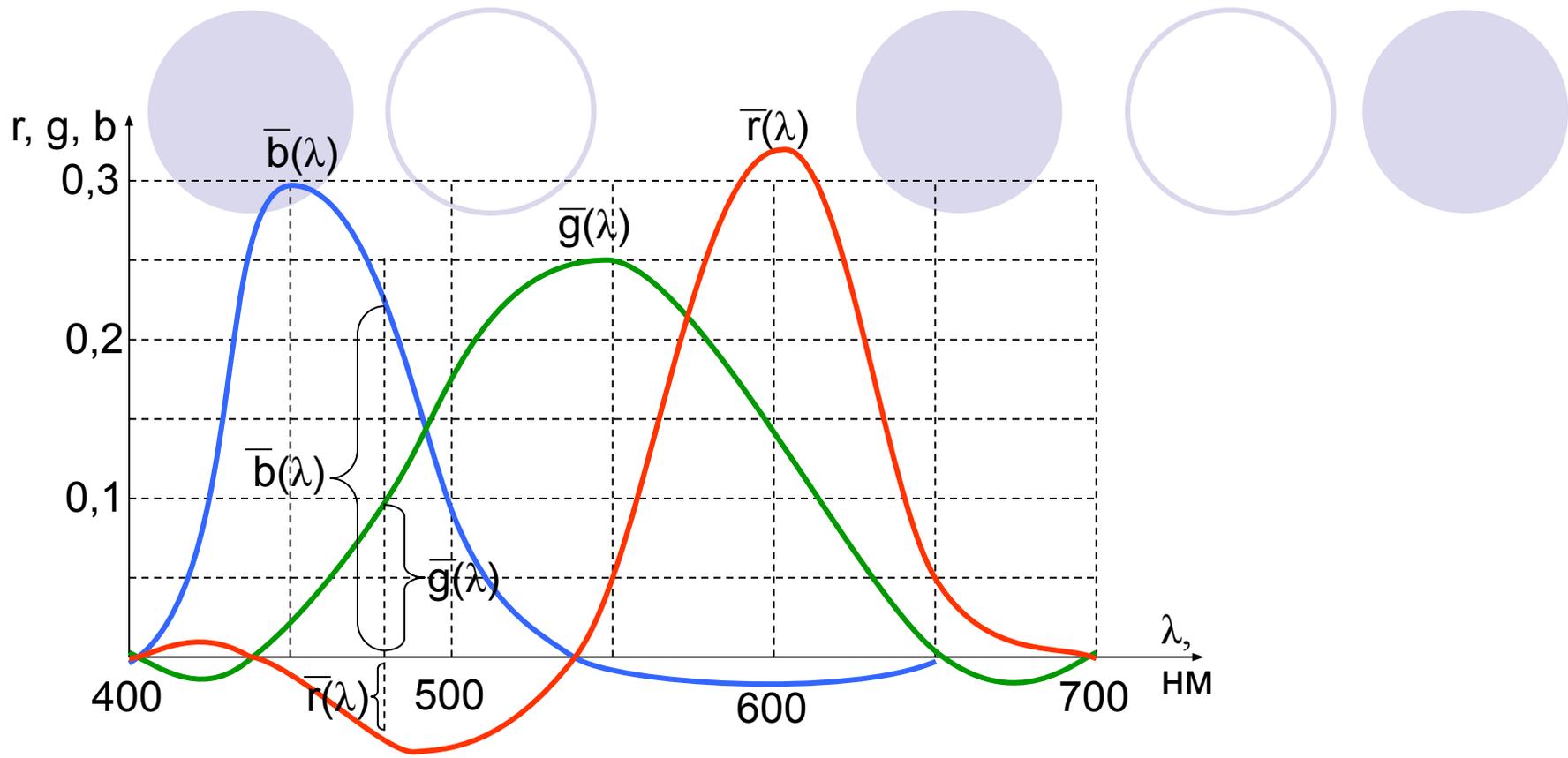




Кривые смешения.

***Удельные координаты*** – относительные количества основных цветов, образующие в смеси спектральный цвет единичной мощности (координаты цвета монохроматического излучения мощностью ***1 Вт***)

***Кривые смешения*** – графическая зависимость удельных координат от длины волны.



$$m^F(475) = -0,06R + 0,075G + 0,22B$$

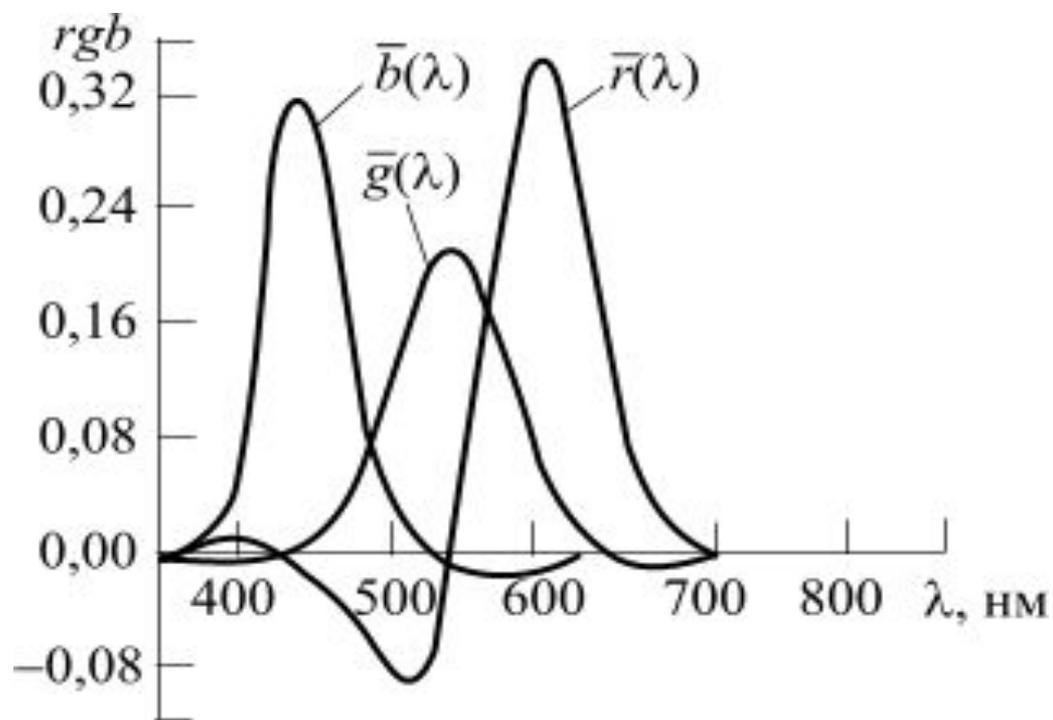
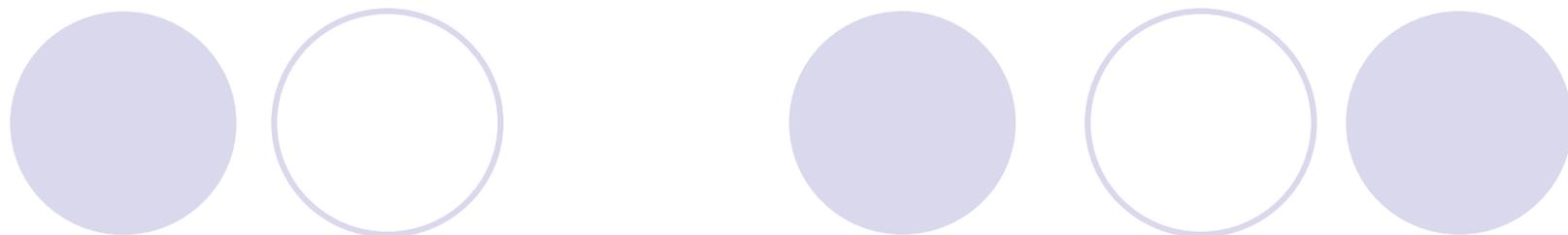
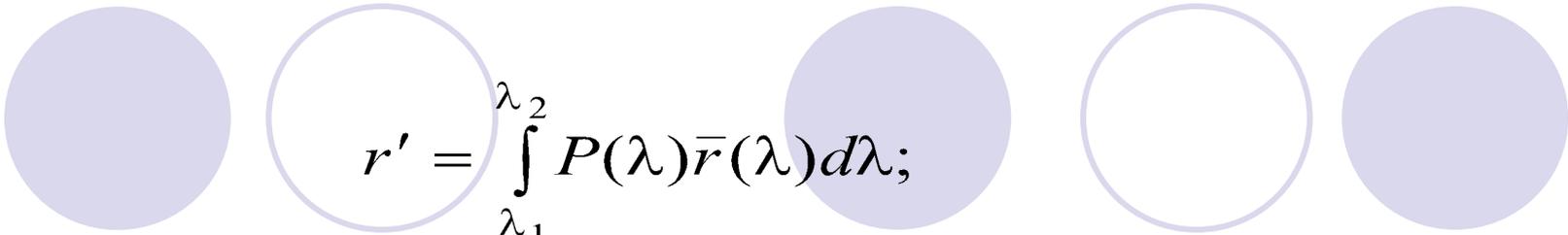


Рис. 3.4. Удельные координаты цвета в системе *RGB*

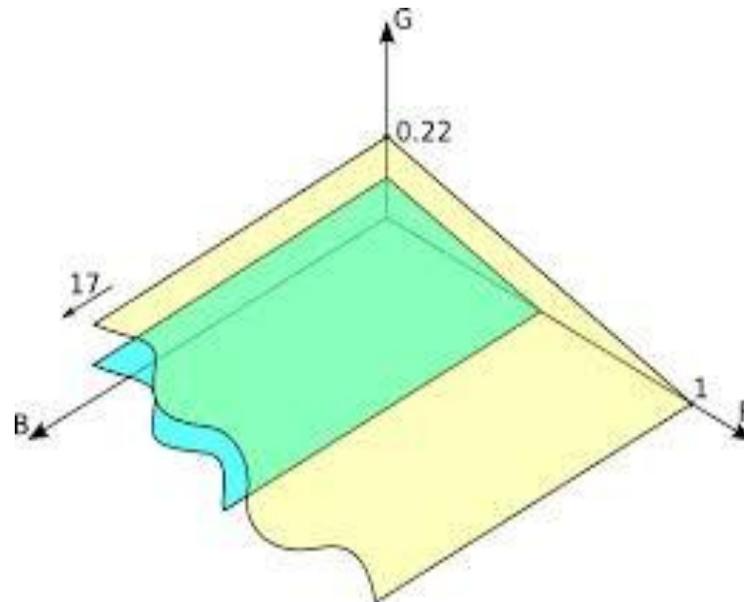

$$r' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda;$$

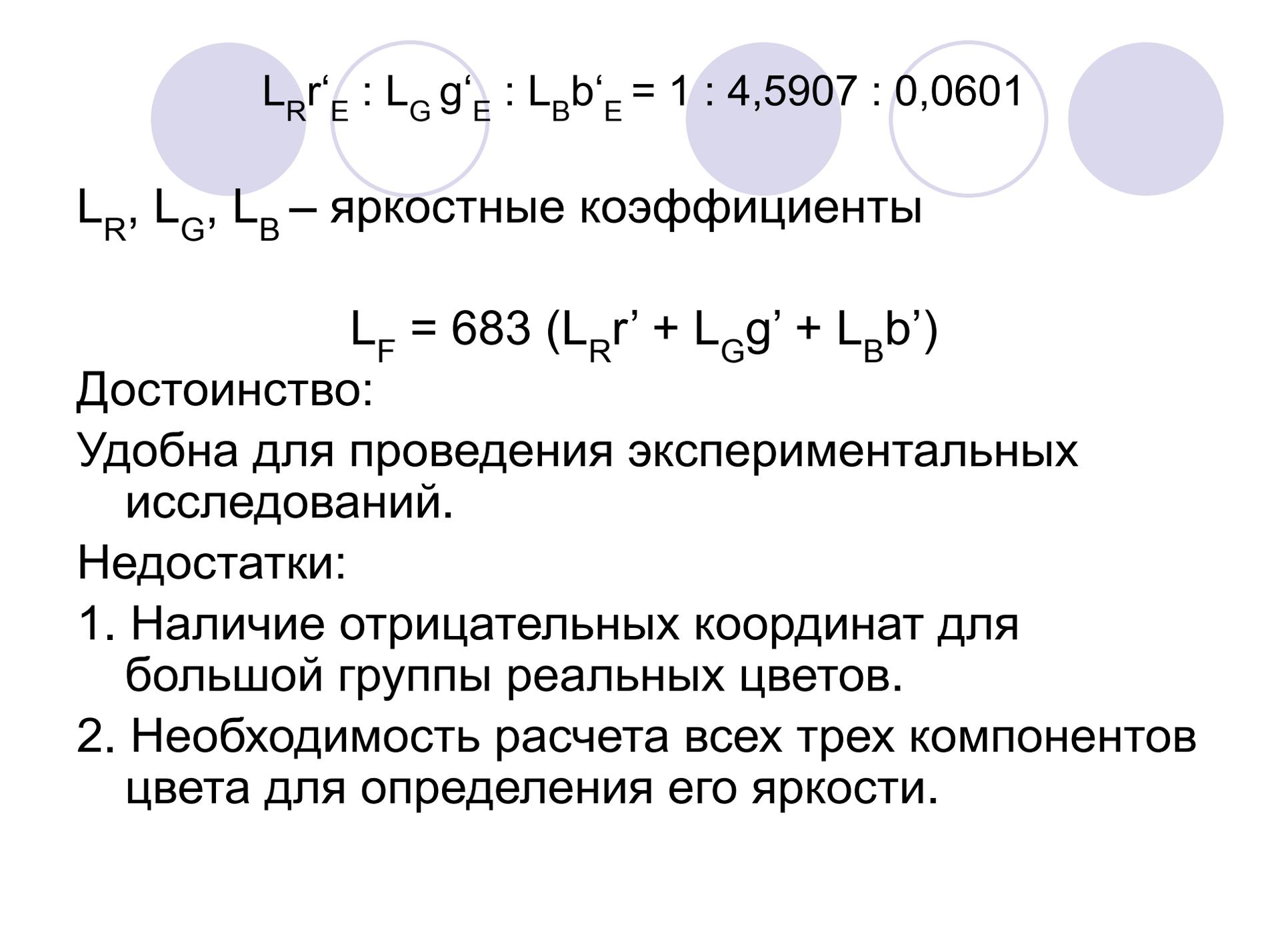
$$g' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda;$$

$$b' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda.$$

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{g}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

# Положение равноярких плоскостей




$$L_R r'_E : L_G g'_E : L_B b'_E = 1 : 4,5907 : 0,0601$$

$L_R, L_G, L_B$  – яркостные коэффициенты

$$L_F = 683 (L_R r' + L_G g' + L_B b')$$

Достоинство:

Удобна для проведения экспериментальных исследований.

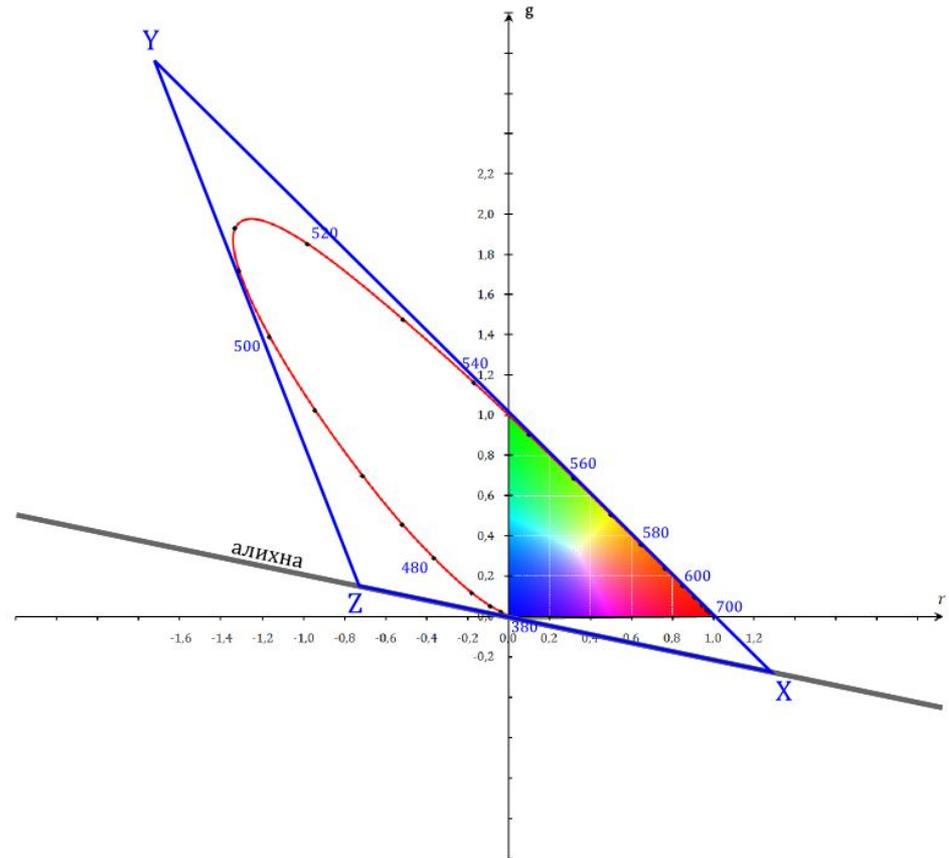
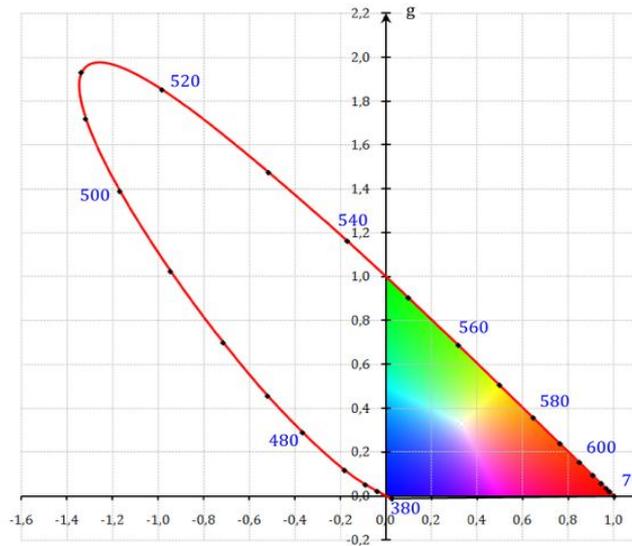
Недостатки:

1. Наличие отрицательных координат для большой группы реальных цветов.
2. Необходимость расчета всех трех компонентов цвета для определения его яркости.

## 4.2. Колориметрическая система **XYZ** (МКО-31).

1. Все реальные цвета должны иметь положительные координаты, т.е. кривых смешения не должны иметь отрицательных ординат.
2. Количественная характеристика цвета (яркость) должна полностью определяться одним его компонентом
3. Координаты белого цвета равноэнергетического излучения должны быть равными, т.е. точка цветности этого излучения должна лежать в центре тяжести цветового треугольника.

# Выбор положения координатных плоскостей системы XYZ



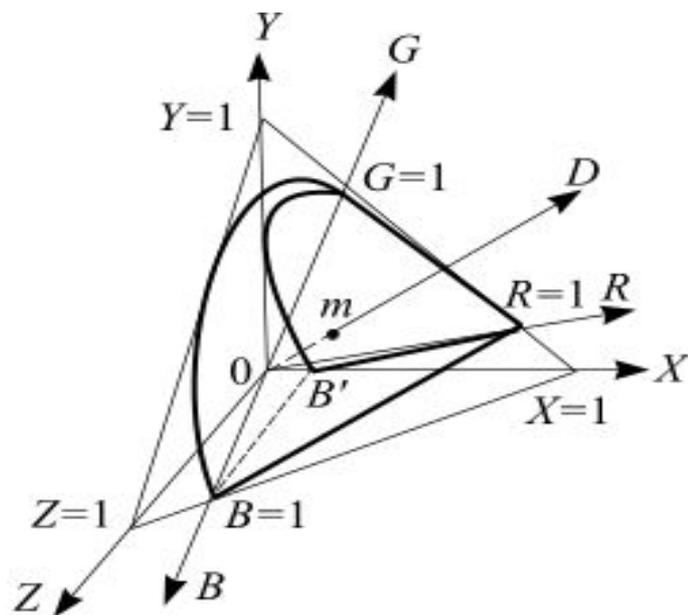
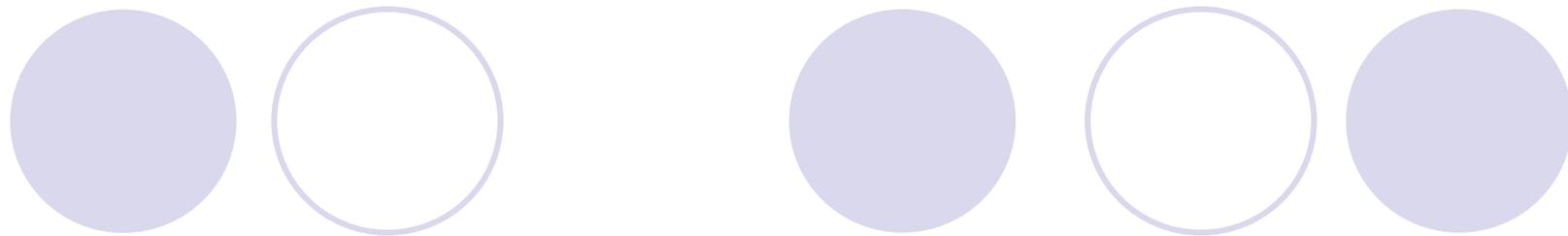


Рис. 3.6. Цветовое пространство  $XYZ$  и получение диаграммы цветности МКО

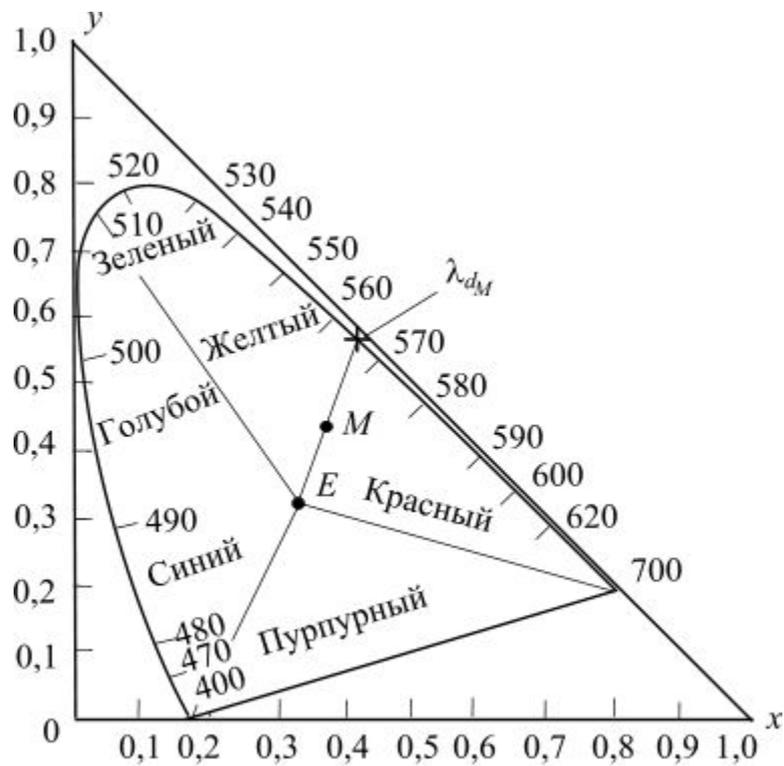
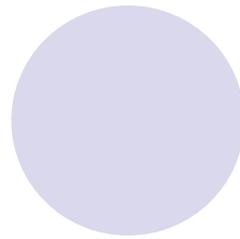
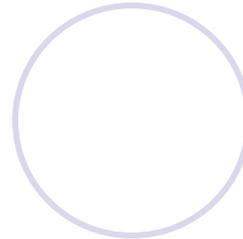
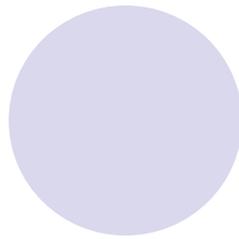
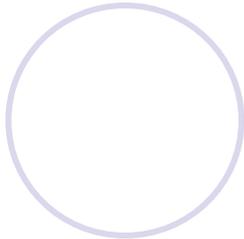
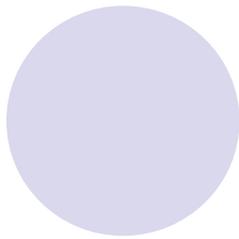
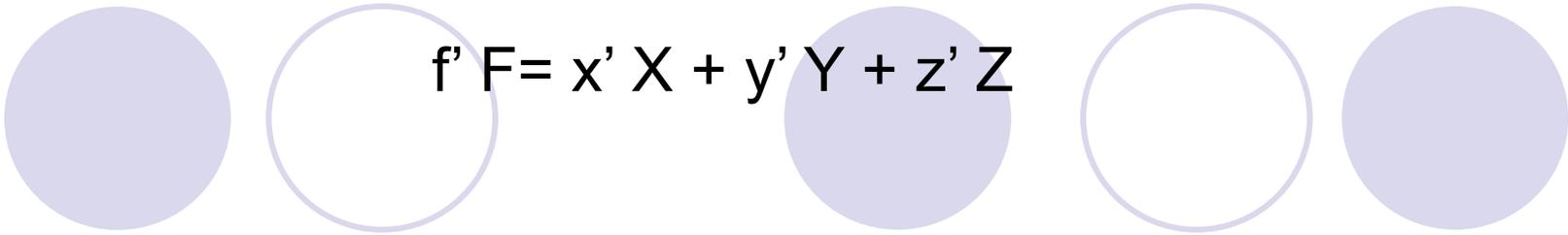


Рис. 3.10. Диаграмма цветности МКО


$$f' F = x' X + y' Y + z' Z$$

где  $x'$  ,  $y'$  ,  $z'$  – координаты цвета F

$m = x' + y' + z'$  – модуль цвета

$$x = x' / m ; y = y' / m ; z = z' / m$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты цветности

Для равностимульного цвета E:

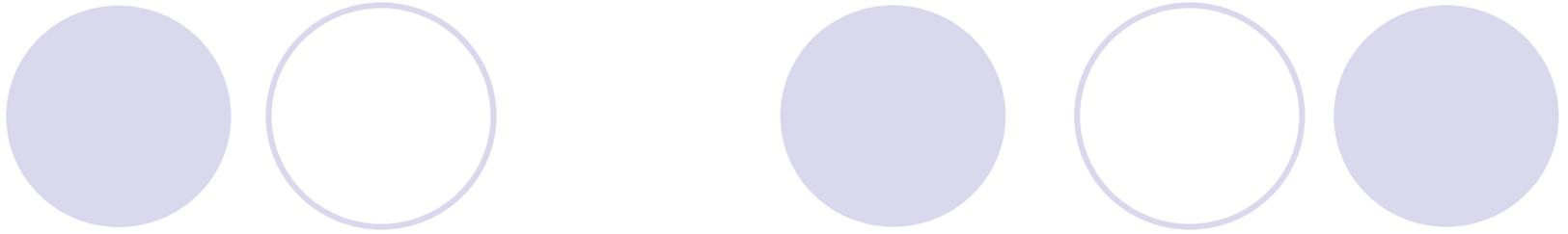
$$x'_E = y'_E = z'_E = 1$$

$$E = 1X + 1Y + 1Z$$

$$m_E = 3$$

$$x_E = y_E = z_E = 1/3$$

- 
- Аффинные преобразования.
  - *Аффинные свойства:*
    1. Параллельность прямых.
    2. Отношения углов.
    3. Плоскостность фигур.
    4. Отношения параллельных отрезков.
  - *Неаффинные свойства*
    1. Расстояния между параллельными прямыми.
    2. Величина углов.
    3. Форма фигуры.
    4. Отношение длин непараллельных отрезков.



- **Цвет** есть аффинная векторная величина трех измерений, выражающая свойство, общее всем спектральным составам излучения, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения.

- $x' = 0,4900 r' + 0,3100 g' + 0,2000 b'$
- $y' = 0,1770 r' + 0,8124 g' + 0,0106 b'$
- $z' = 0,0000 r' + 0,0100 g' + 0,9900 b'$

# Кривые смещения системы XYZ

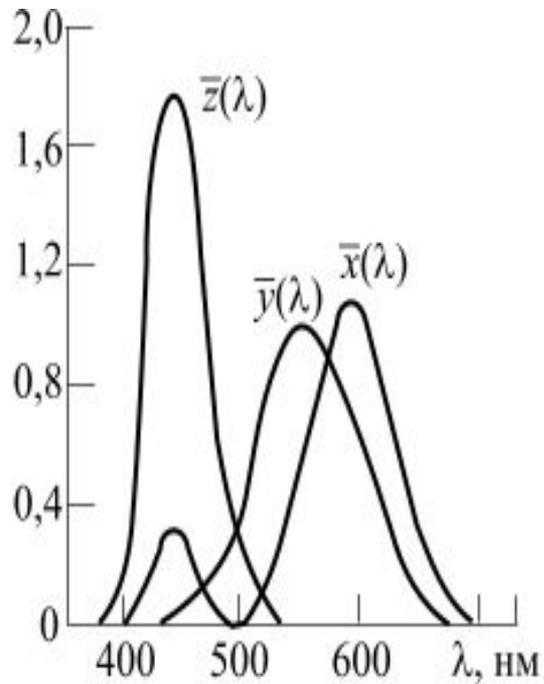


Рис. 3.7. Удельные координаты цвета в системе XYZ

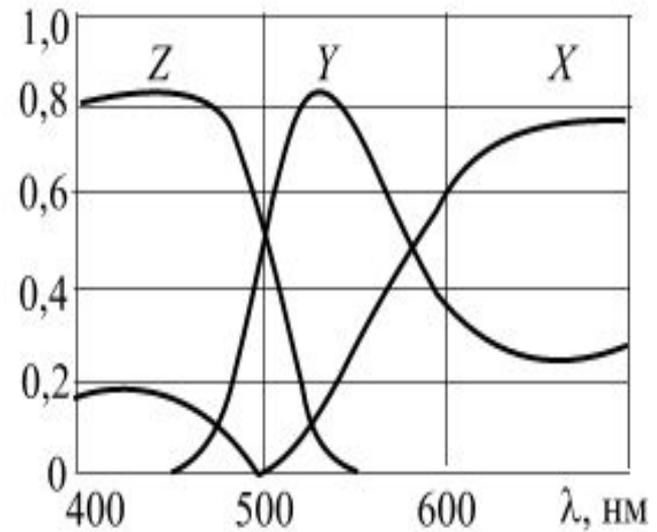
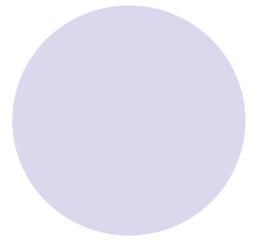
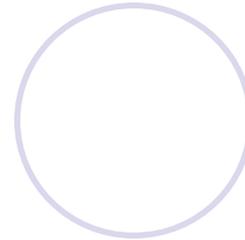
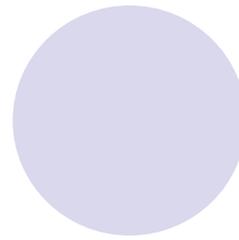
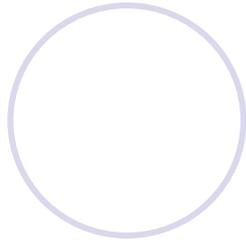
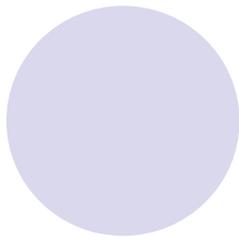


Рис. 3.8. Координаты цветности в системе XYZ

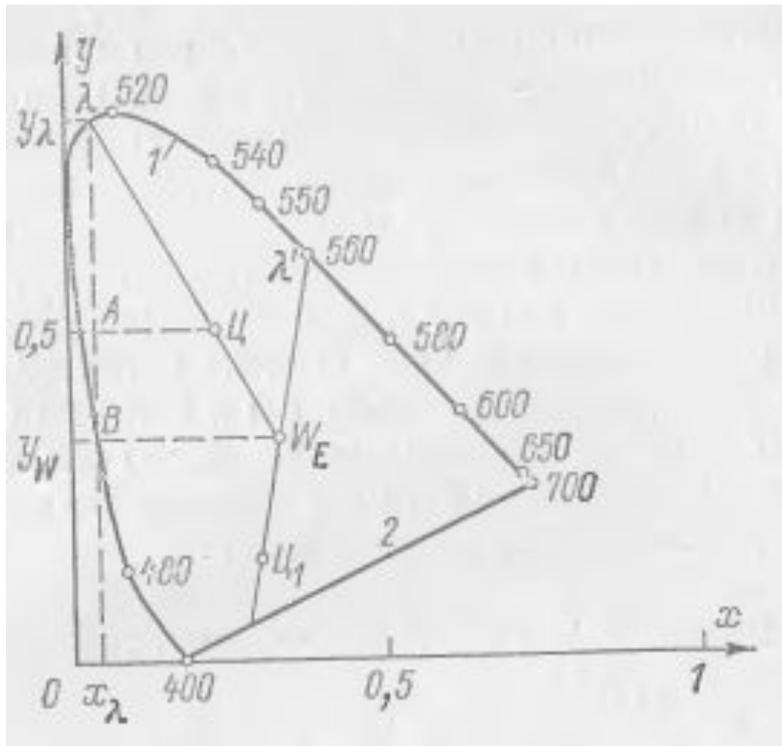


$$x' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda;$$

$$y' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda;$$

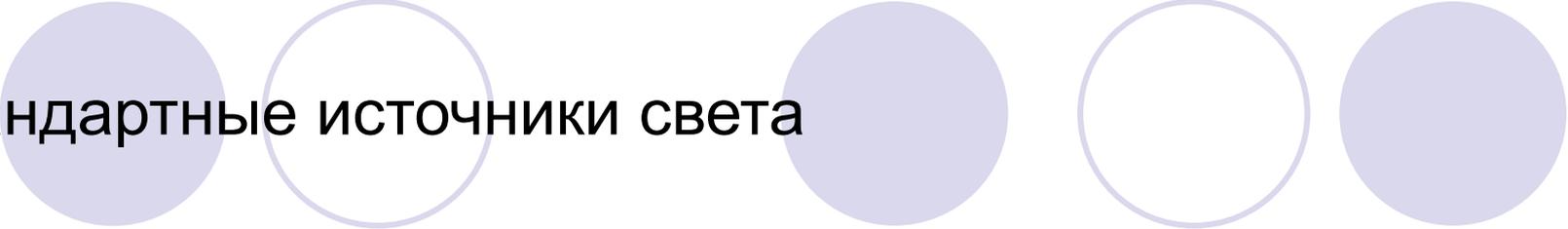
$$z' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda.$$

# Определение насыщенности



$$p = \frac{y - y_W}{y_\lambda - y_W} \frac{y_\lambda}{y}.$$

$$p = \frac{x - x_W}{x_\lambda - x_W} \frac{y_\lambda}{y}.$$



## Стандартные источники света

**A** - Искусственное освещение лампой накаливания;

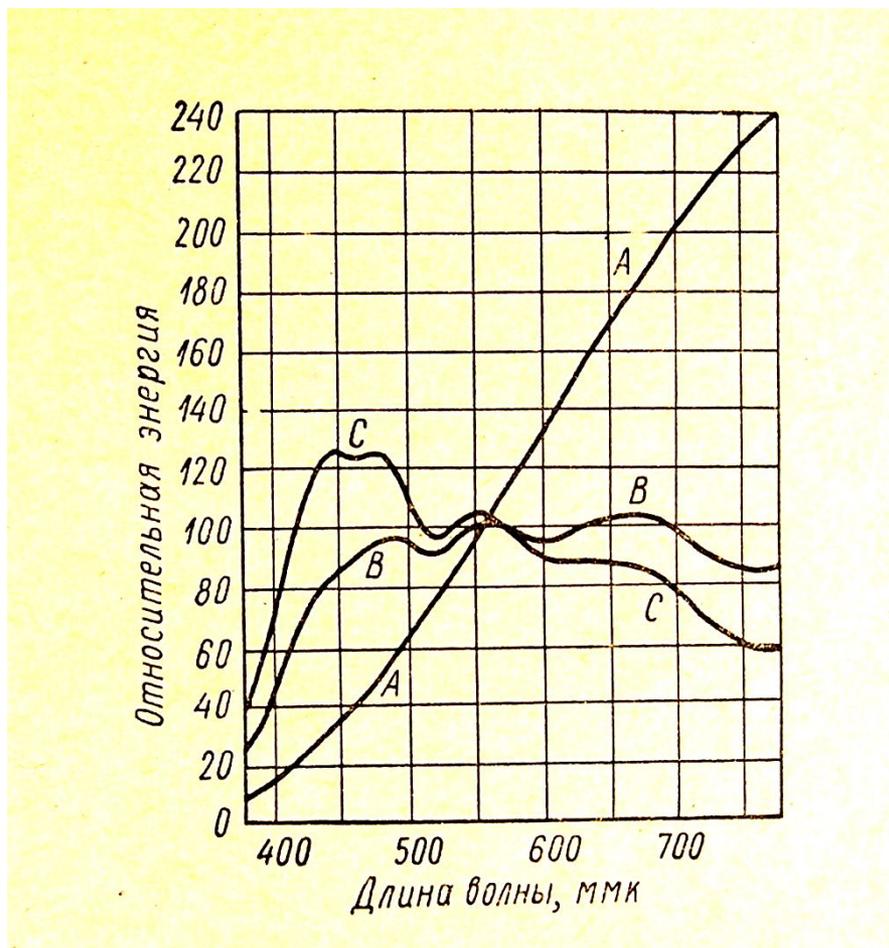
**B** – Прямое солнечное (дневное) освещение;

**C** – Освещение рассеянным дневным светом;

**D<sub>65</sub>** - Освещение усредненным дневным светом;

**E** - равноэнергетический источник.

# Спектральные характеристики распределения мощности стандартных источников света

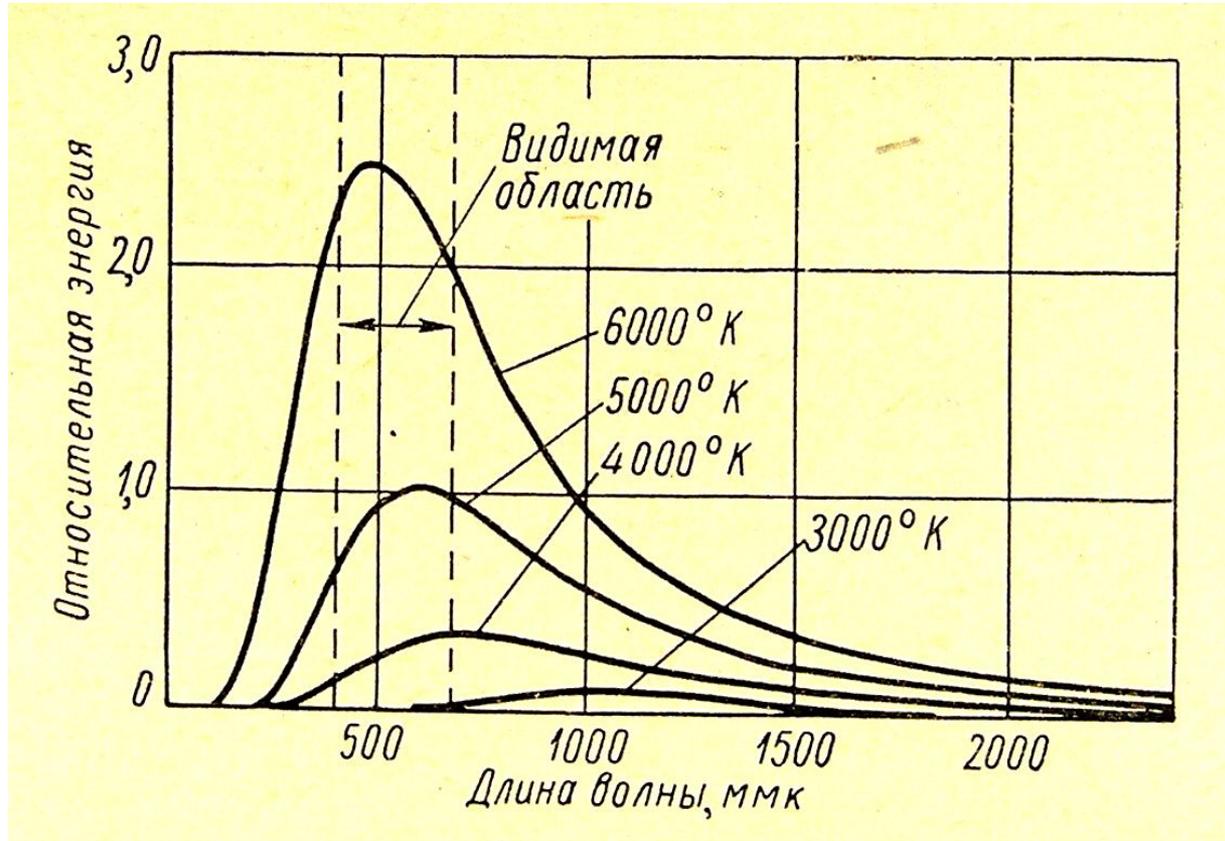
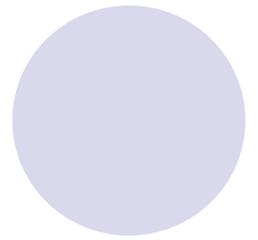
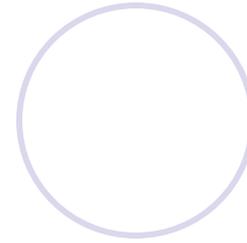
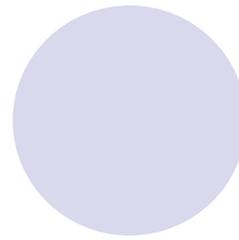
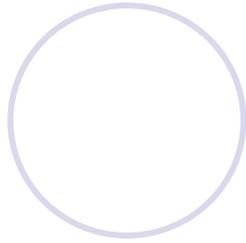
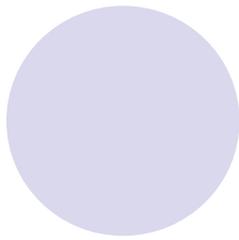


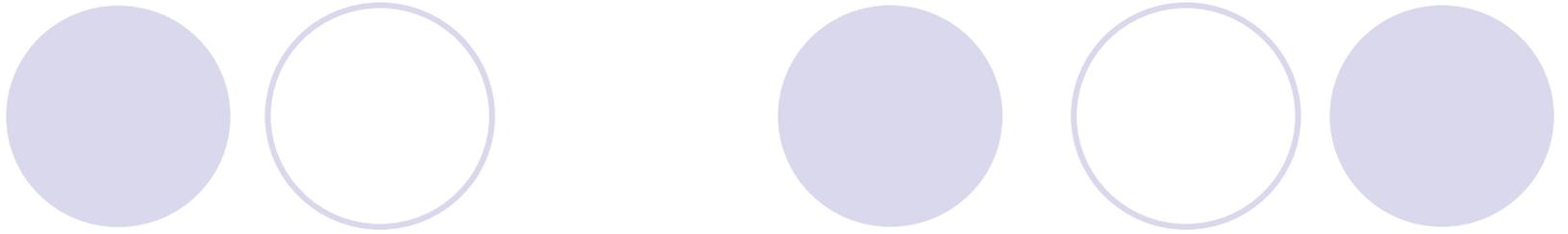


Цветовая температура источника света

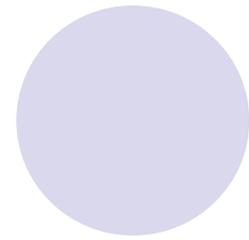
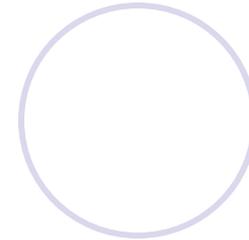
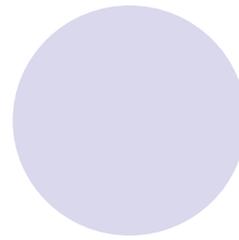
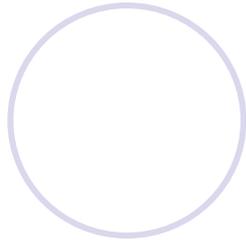
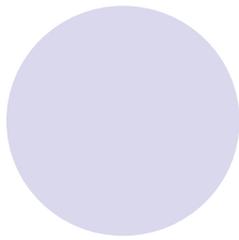
$\lambda_{\max} * T = \text{const}$  – формула Вина

$$\lambda_{\max(\text{мкм})} = 2896/T$$





Цветовая температура  $T_c$  – температура абсолютно черного тела (АЧТ), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и рассматриваемое излучение.



Источник	Цветовая температура $T_{ц}, K^0$	Координаты цветности	
		X	y
A	2856	0,448	0,407
B	4874	0,348	0,300
C	6774	0,310	0,316
D <sub>65</sub>	6500	0,329	0,358
E	-	0,333	0,333

## 4.3. Колориметрическая система приемника $R_n G_n B_n$ .

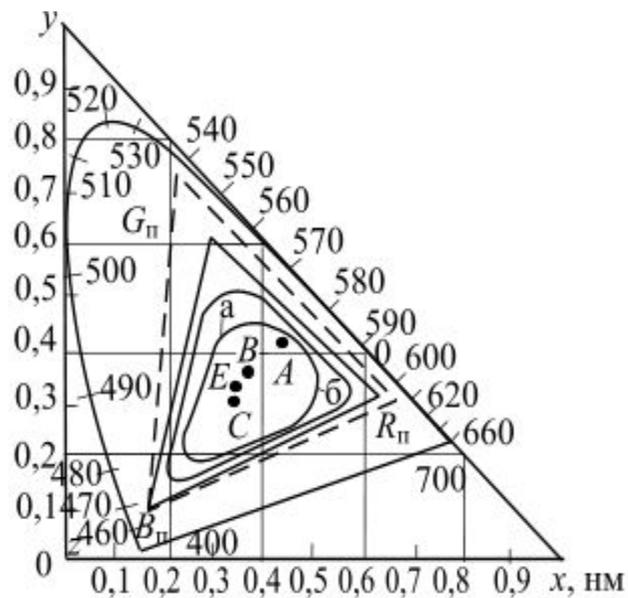


Рис. 3.16. Треугольник основных цветов приемника  $R_n, G_n, B_n$ :  
а – гуашь; б – акварель

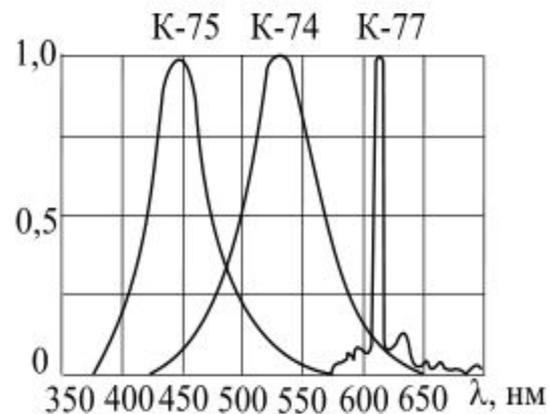
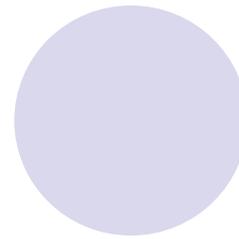
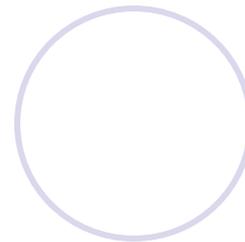
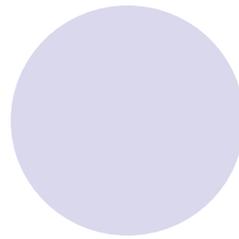
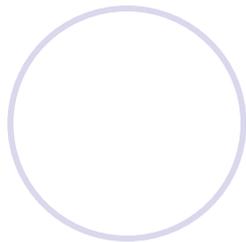
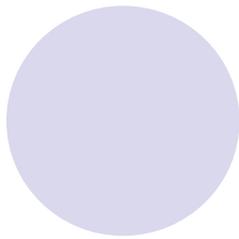


Рис. 3.17. Спектральные кривые люминофоров K-75, K-74, K-77



Треугольник основных цветов приемника	Координаты цветности основных цветов					
	$R_{п}$		$G_{п}$		$B_{п}$	
	$x$	$y$	$x$	$y$	$x$	$y$
NTSC	0,670	0,330	0,210	0,710	0,140	0,080
EC	0,640	0,330	0,290	0,600	0,150	0,060

# Переход между колориметрическими системами XYZ и $R_n G_n B_n$

$$\begin{aligned}r'_n &= 3,054 x' - 1,389 y' - 0,474 z' \\g'_n &= -0,970 x' + 1,978 y' + 0,042 z' \\b'_n &= 0,068 x' - 0,229 y' + 1,070 z'\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x' &= 0,432 r'_n + 0,341 g'_n + 0,178 b'_n \\y' &= 0,223 r'_n + 0,706 g'_n + 0,071 b'_n \\z' &= 0,020 r'_n + 0,129 g'_n + 0,938 b'_n\end{aligned}$$

# Кривые смещения системы приемника

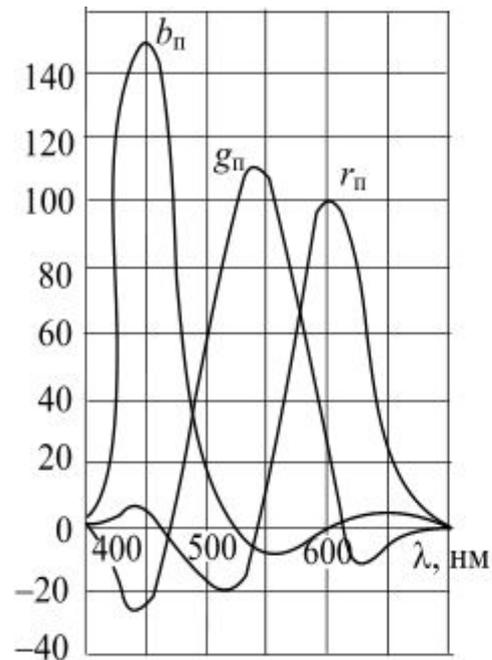


Рис. 3.18. Спектральные характеристики камеры при треугольнике основных цветов приемника типа NTSC и опорном белом  $C$

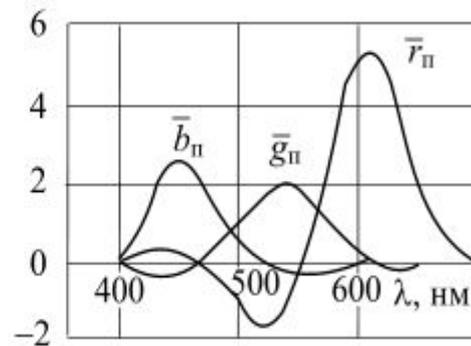
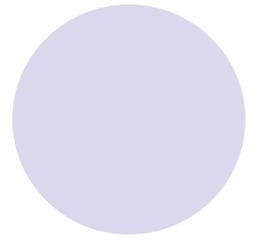
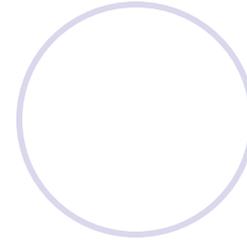
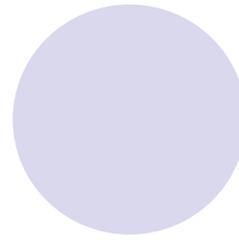
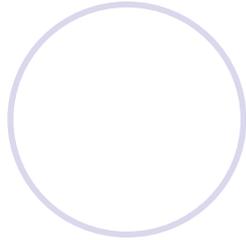
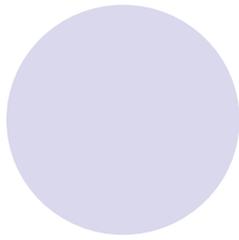


Рис. 3.19. Спектральные характеристики камеры при треугольнике основных цветов приемника типа EC и опорном белом  $D6500$



$$\zeta_1(x'_1; y'_1; z'_1) ; \zeta_2(x'_2; y'_2; z'_2)$$

$$\Delta x' = x'_1 - x'_2$$

$$\Delta y' = y'_1 - y'_2$$

$$\Delta z' = z'_1 - z'_2$$

$$\Delta L = (\Delta x'^2 + \Delta y'^2 + \Delta z'^2)^{1/2}$$

$$\Delta x = x_1 - x_2$$

$$\Delta y = y_1 - y_2$$

$$\Delta l = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$$

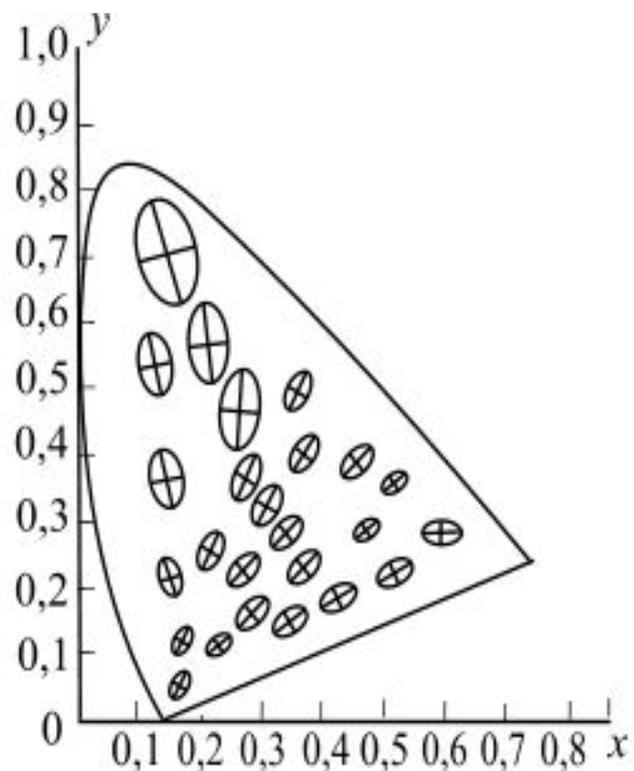
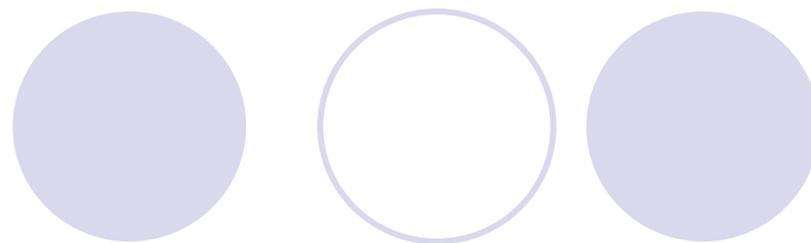
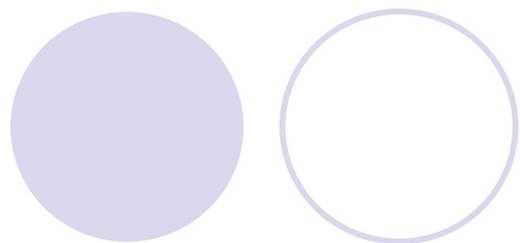


Рис. 3.11. Пороги различимости цветов на графике МКО

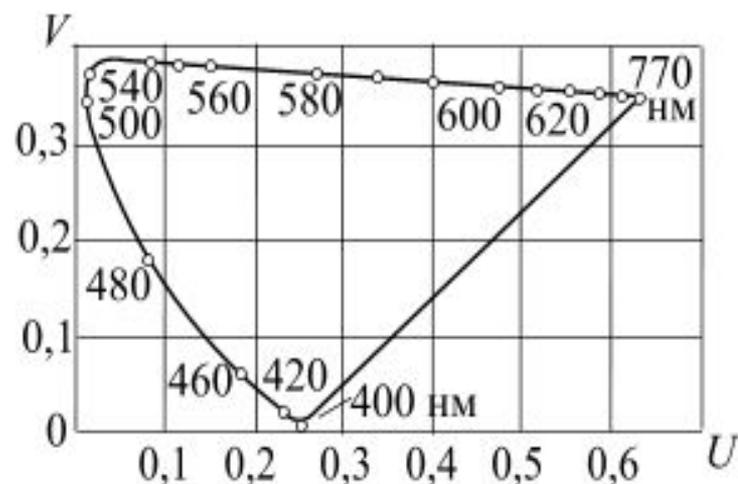


Рис. 3.12. Равноконтрастная диаграмма цветности  $U, V$

uv - равноконтрастная диаграмма цветности  
(UCS – Uniform Chromaticity Scale)

*Колориметрическая система UVW МКО-1960*

$$u' = 2/3x' ; v' = y' ; w' = 1,5 y' - 0,5 x' + 3 z'$$

$$u = 4x' / (x' + 15y' + 3z') = 2x / (6y - x + 1,5)$$

$$v = 6y' / (x' + 15y' + 3z') = 3y / (6y - x + 1,5)$$

Мера цветового различия – порог изменения ощущения

$$\Delta n_c = (\Delta u^2 + \Delta v^2)^{1/2} / 0,0038$$

где

$$\Delta u = u_1 - u_2$$

$$\Delta v = v_1 - v_2$$

1СЦП (средний цветовой порог) = 0,0038

$$\Delta n_l = |\lg y'_1 - \lg y'_2| / 0,0086$$

$$\Delta n = (\Delta n_c^2 + \Delta n_l^2)^{1/2}$$

# Колориметрическая система $U^*V^*W^*$ МКО-1964

$$W^* = 25(Y')^{1/3} - 17;$$

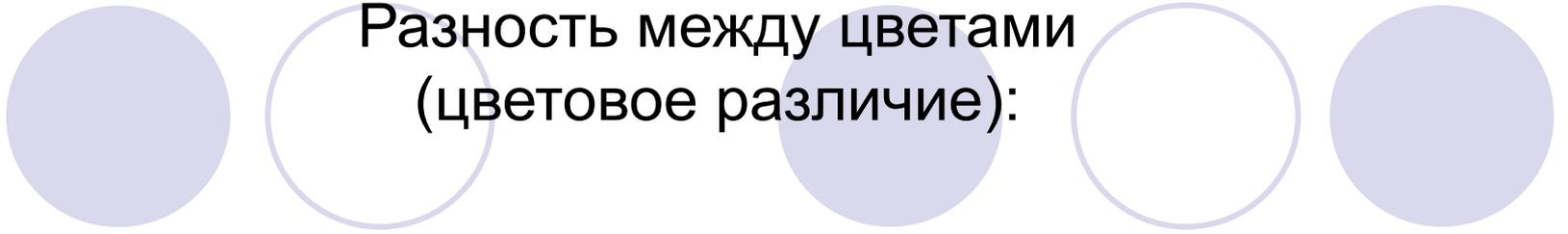
$$U^* = 13W^*(u - u_0);$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0),$$

где  $Y'$  – относительная яркость исследуемого цвета к яркости белого в процентах;

$u_0, v_0$  – координаты цветности опорного белого в системе  $UVW$ ;

$u, v$  – координаты цветности оцениваемых цветов в системе  $UVW$ .



Разность между цветами  
(цветовое различие):

$$\Delta E = [(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2]^{1/2}$$

где  $\Delta U^*$ ,  $\Delta V^*$ ,  $\Delta W^*$  – разности соответствующих координат сравниваемых цветов в системе  $U^*$ ,  $V^*$ ,  $W^*$ .



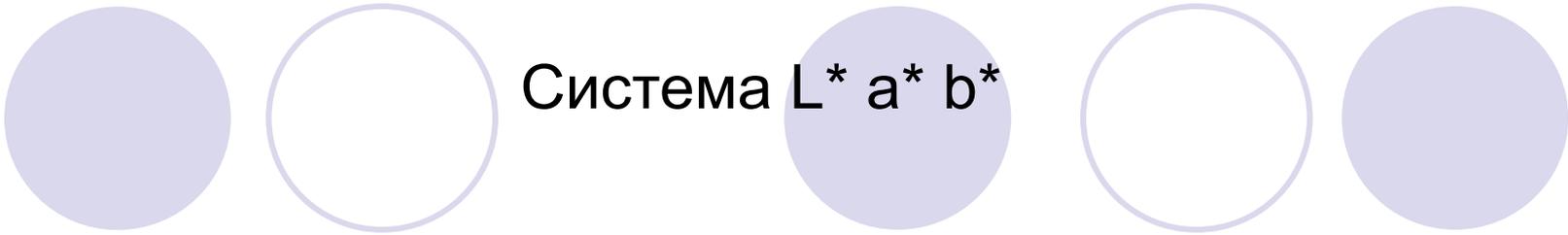
Модификация 1973 г.

$$L^* = 116(y'/y'_0)^{1/3} - 16$$

$$U^* = 13L^*(u-u_0)$$

$$V^* = 13L^*(v-v_0)$$

$$\Delta E (L^*U^*V^*) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2]^{1/2}$$



Система  $L^* a^* b^*$

$$L^* = 116(y'/y'_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500[(x'/x'_0)^{1/3} - (y'/y'_0)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(y'/y'_0)^{1/3} - (z'/z'_0)^{1/3}]$$

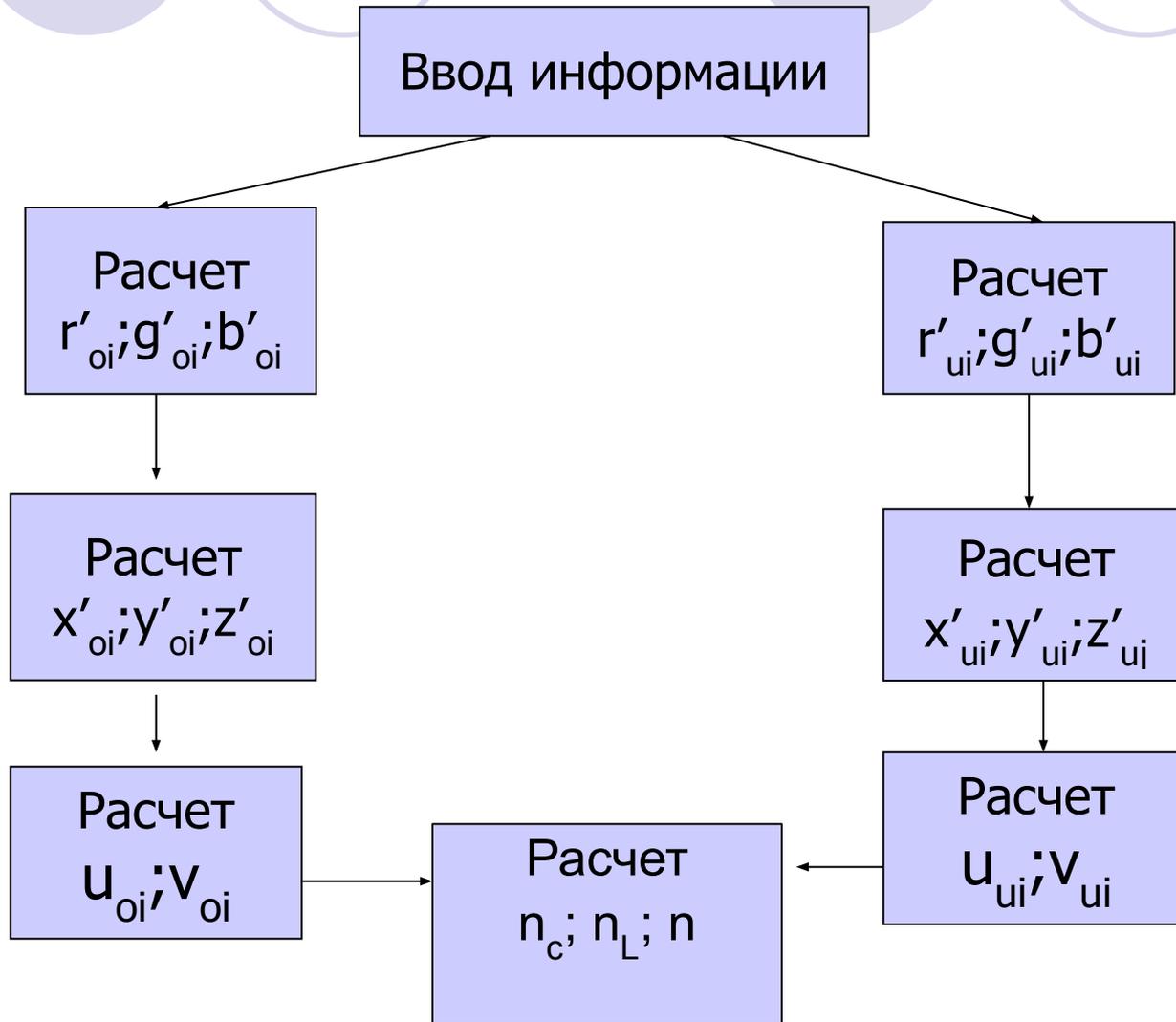
$$\Delta E (L^*a^*b^*) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Индекс цветопередачи:  $R=100 - 4,6\Delta E$

Общий индекс цветопередачи:

$$R_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R; \quad R = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (100 - 4,6\Delta E_i)$$

# Алгоритм расчета цветовых различий (ошибок цветопередачи)





## Исходные данные для колориметрического расчета:

- – спектральные характеристики отражения испытательных цветов  $P_n(\lambda)$ ;
- – спектральное распределение мощности источника опорного белого  $P_D(\lambda)$ ;
- – спектральные характеристики чувствительности цветоделенных каналов камеры  $R(\lambda)$ ,  $G(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ ;
- – кривые смешения в системе основных цветов приемника  $\bar{r}(\lambda)$   $\bar{g}(\lambda)$   $\bar{b}(\lambda)$

Расчет координат испытательных цветов:

$$U_{RO} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$U_{GO} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$U_{BO} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

$$U_{RH} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$U_{GH} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda$$

$$U_{BH} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_n(\lambda) \cdot P_D(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

# Расчет по методу «взвешенных ординат»

$$U_{RO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot \bar{r}_i$$

$$U_{GO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot \bar{g}_i$$

$$U_{BO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot \bar{b}_i$$

$$U_{RI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot R_i$$

$$U_{GI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot G_i$$

$$U_{BI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{ni} \cdot P_{Di} \cdot B_i$$



# Баланс на белом

Сигналы на белом

Оригинала

Изображения

$$U_{RDO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot \bar{r}_i$$

$$U_{RDI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot R_i$$

$$U_{GDO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot \bar{g}_i$$

$$U_{GDI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot G_i$$

$$U_{BDO} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot \bar{b}_i$$

$$U_{BDI} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{64} P_{D_i} \cdot B_i$$

## Коэффициенты баланса

$$k_{1O} = \frac{U_{GDO}}{U_{RO}}$$

$$k_{2O} = \frac{U_{GDO}}{U_{GDO}}$$

$$k_{3O} = \frac{U_{GDO}}{U_{BDO}}$$

$$k_{1И} = \frac{U_{GDI}}{U_{RDI}}$$

$$k_{2И} = \frac{U_{GDI}}{U_{GDI}}$$

$$k_{3И} = \frac{U_{GDI}}{U_{BDI}}$$

$$U'_{RO} = k_{1O} \cdot U_{RO}$$

$$U'_{GO} = k_{2O} \cdot U_{GO}$$

$$U'_{BO} = k_{3O} \cdot U_{BO}$$

$$U'_{RI} = k_{1И} \cdot U_{RI}$$

$$U'_{GI} = k_{2И} \cdot U_{GI}$$

$$U'_{BI} = k_{3И} \cdot U_{BI}$$



## Преобразование координат

$$x' = 0,432 r'_n + 0,341 g'_n + 0,178 b'_n$$

$$y' = 0,223 r'_n + 0,706 g'_n + 0,071 b'_n$$

$$z' = 0,020 r'_n + 0,129 g'_n + 0,938 b'_n$$

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z}$$

Вычисление цветовых различий  
(ошибок цветопередачи)

$$\Delta u = u_1 - u_2$$

$$\Delta v = v_1 - v_2$$

$$\Delta n_c = (\Delta u^2 + \Delta v^2)^{1/2} / 0,0038$$

$$\Delta n_l = |\lg y'_1 - \lg y'_2| / 0,0086$$

$$\Delta n = (\Delta n_c^2 + \Delta n_l^2)^{1/2}$$



## Оценка качества цветопередачи

Оценка	$\Delta n$	$\Delta E$	$Ra$
Отлично	0-2,5	< 4	80–100
Оч.хор	2,5 – 4	4 – 8	65–80
Хорошо	4 – 7,5	8 – 11	50–65
Удовл.	7,5 – 15	11 – 16	30–50
Неудовл.	> 15	> 16	< 30

# Кривые смещения системы приемника

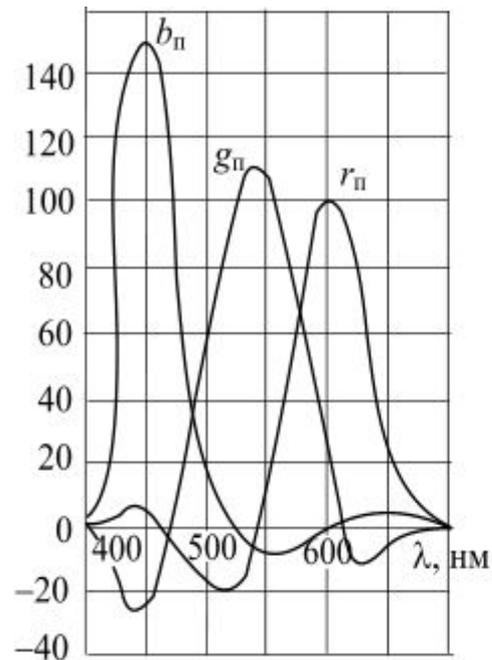


Рис. 3.18. Спектральные характеристики камеры при треугольнике основных цветов приемника типа NTSC и опорном белом  $C$

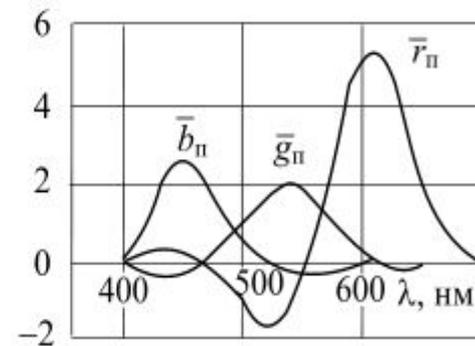


Рис. 3.19. Спектральные характеристики камеры при треугольнике основных цветов приемника типа EC и опорном белом  $D6500$

## Матричная цветокоррекция

$$R_1 = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B$$

$$G_1 = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B$$

$$B_1 = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B$$

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

# Кривые смещения системы XYZ

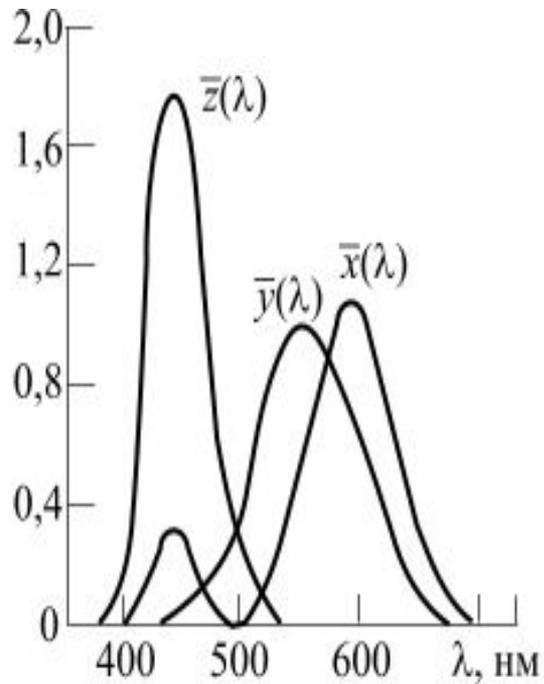


Рис. 3.7. Удельные координаты цвета в системе XYZ

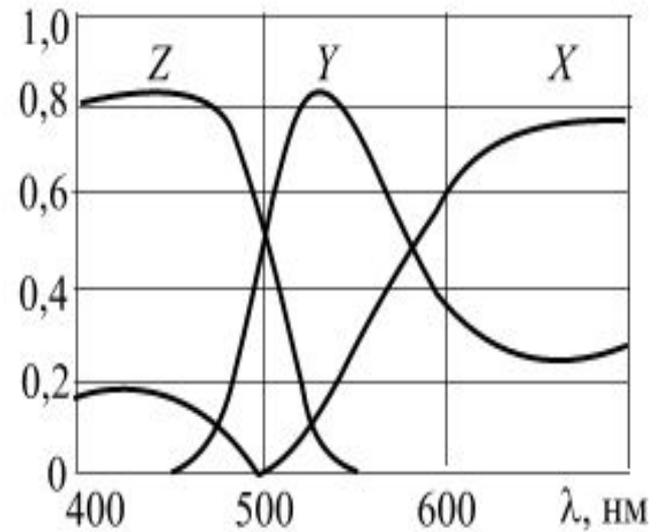
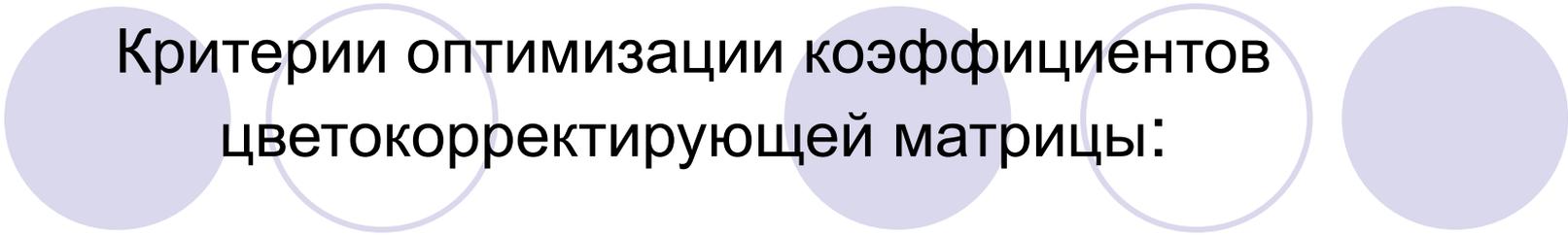


Рис. 3.8. Координаты цветности в системе XYZ

# Условие сохранения цветового баланса

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & (1-a-b) \\ (1-c-d) & c & d \\ e & (1-e-f) & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



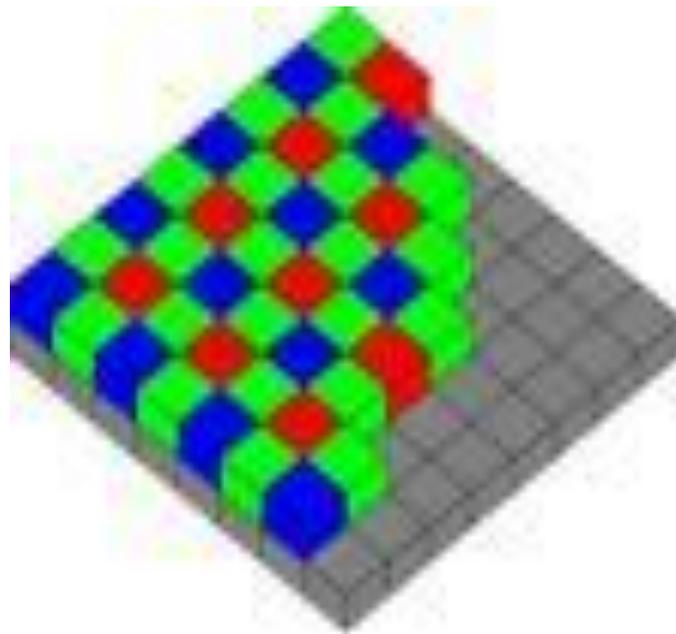
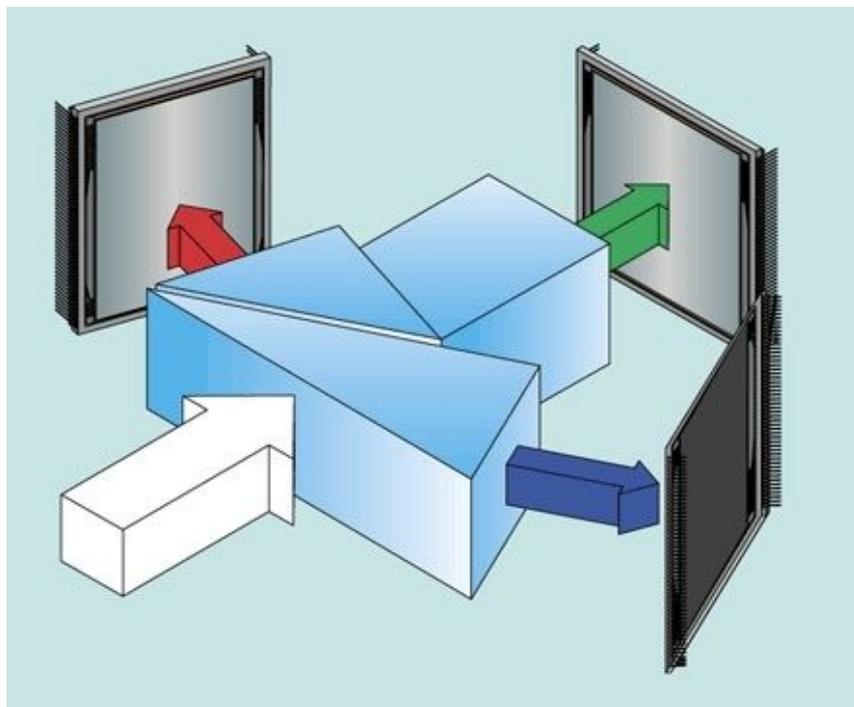
## Критерии оптимизации коэффициентов цветокорректирующей матрицы:

- Минимум средней ошибки при воспроизведении опорных цветов
- Минимум отклонения спектральных характеристик чувствительности цветной телевизионной камеры от кривых смешения.

# Формирование цветоделенных сигналов

Трехматричная камера

Одноматричная камера



# Светоделительная система ЦТ камеры

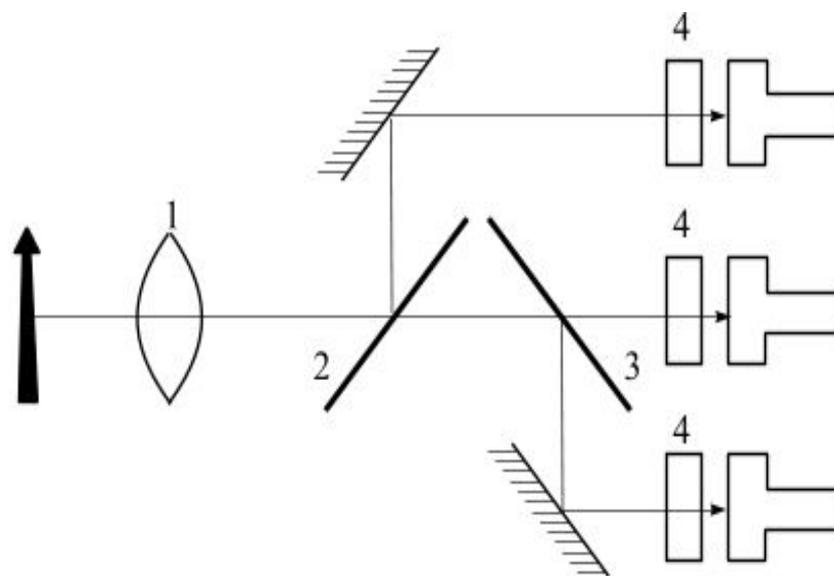
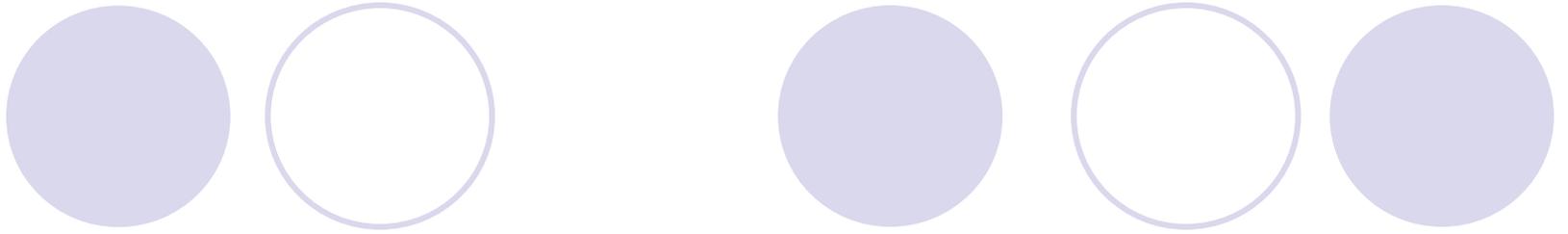


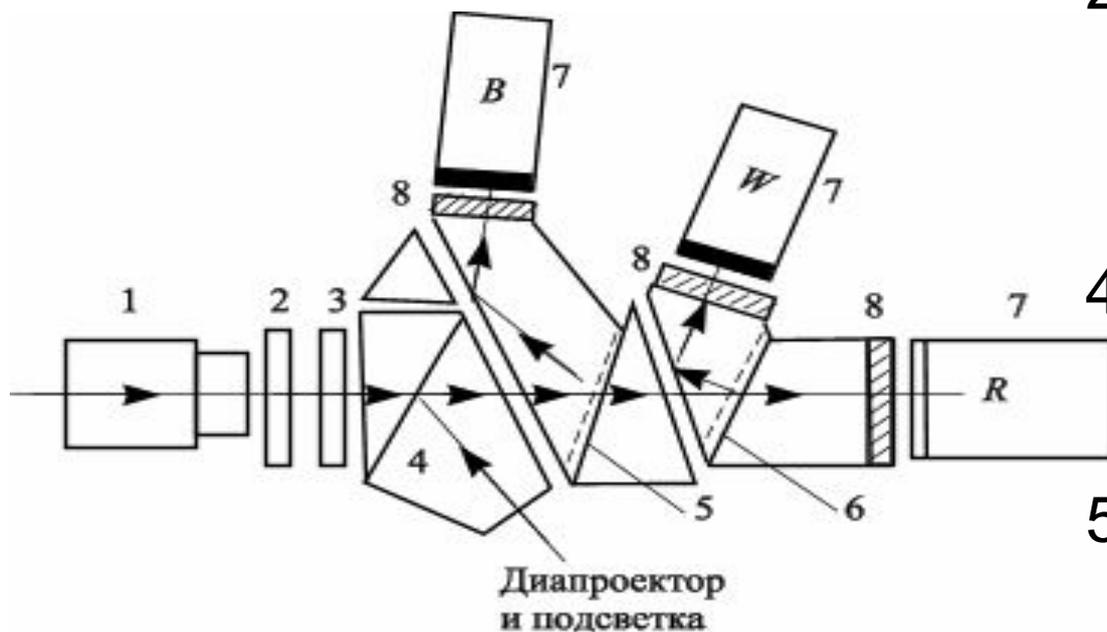
Рис. 3.23. Схема цветоделения в ЦТ камере:

1 – объектив; 2,3 – дихроические зеркала; 4 – корректирующие светофильтры



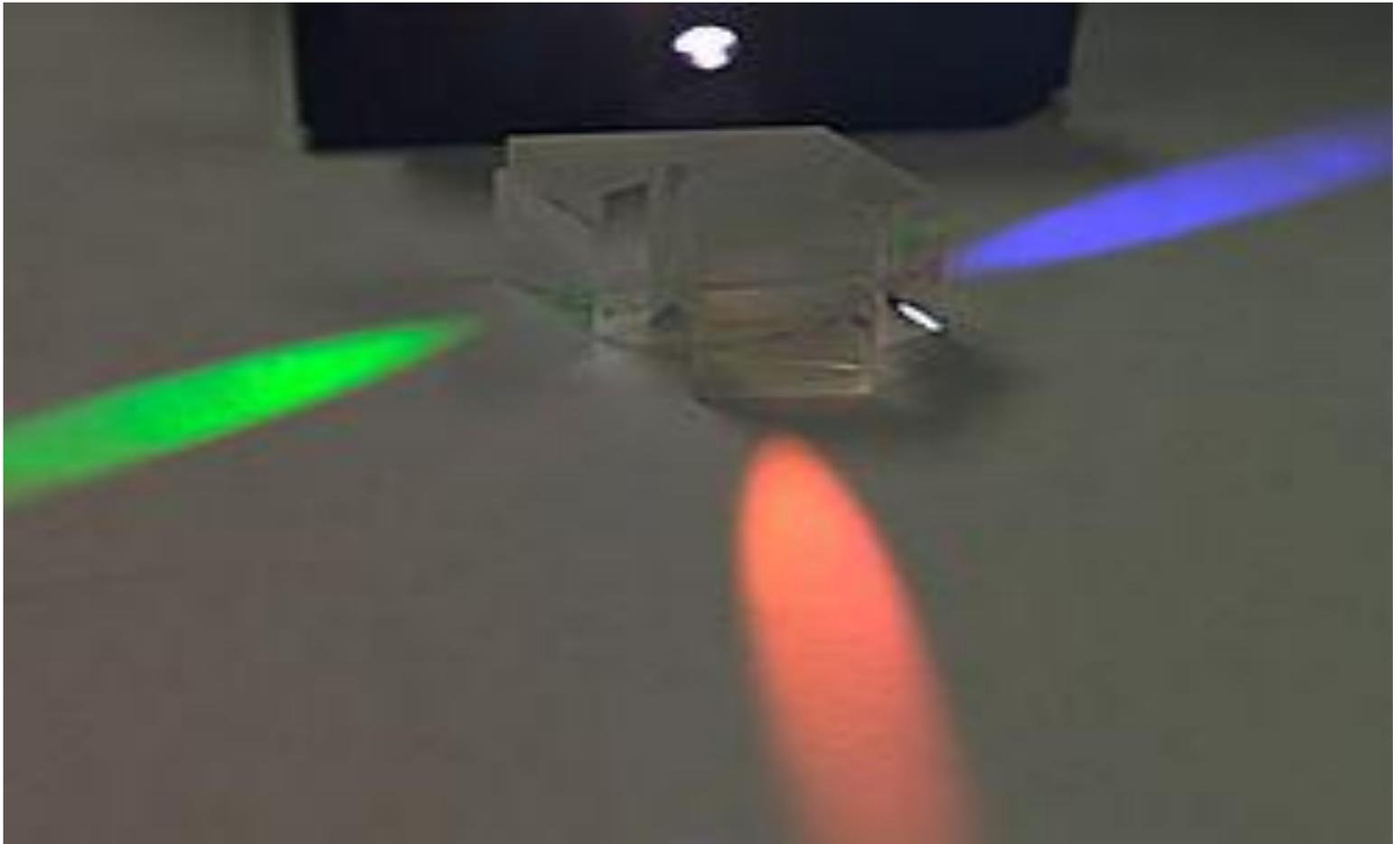
# **Формирование сигналов изображения**

# Схема оптической системы трехтрубной WRB ТВ камеры



1. Вариообъектив
- 2, 3. Сменные, нейтральные и приводные светофильтры
4. Призмный цветоделительный блок
- 5, 6 Дихроические слои
7. Передающие трубки
8. Корректирующие светофильтры

# Разделение световых потоков дихроической призмой



# Структурная схема трехматричной цветной телевизионной камеры

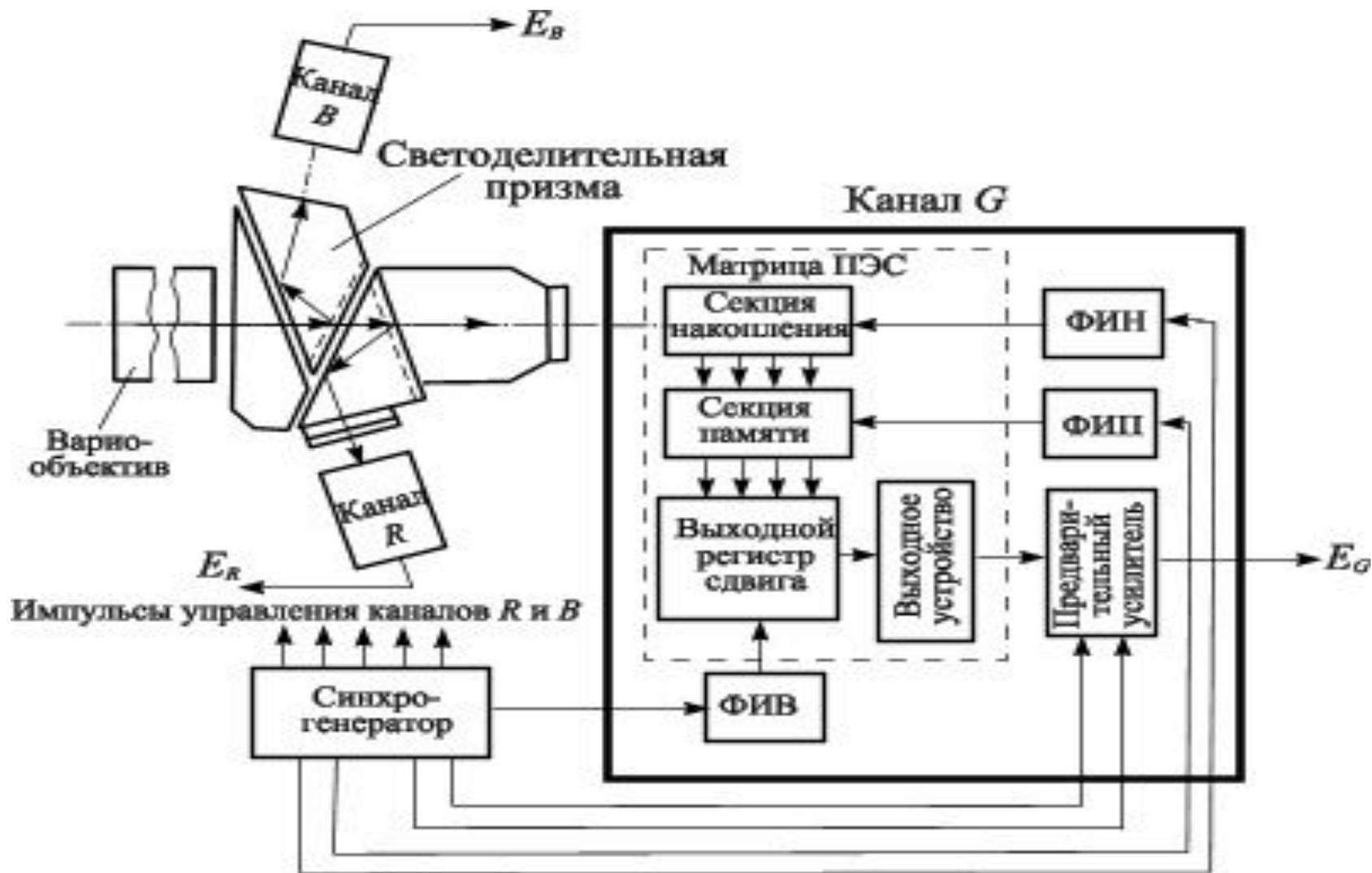


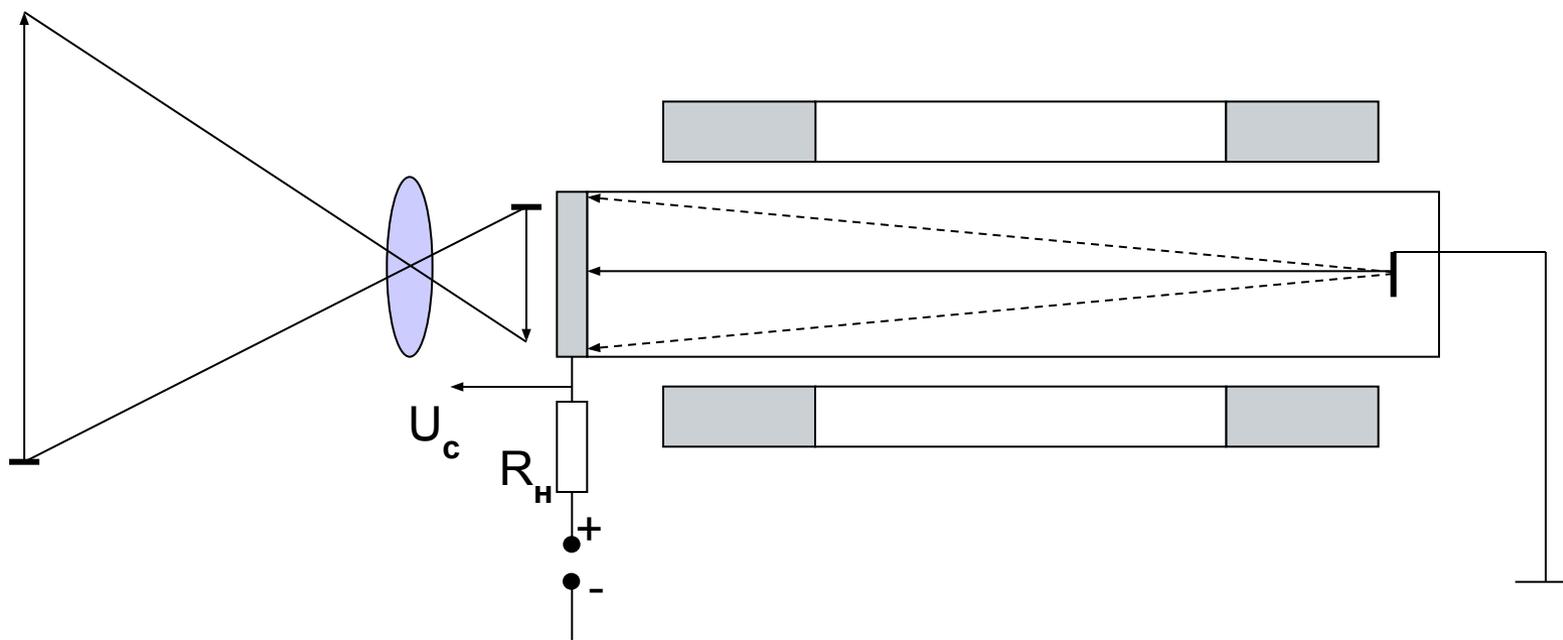
Рис. 10.3

# Преобразователи «Свет-сигнал»

- Электровакуумные  
    передающие трубки
- Твердотельные  
    ПЗС (CCD) датчики  
    КМОП (CMOS) датчики

1. Преобразование  $L$  в  $i_c$  ( $u_c$ )
2. Развертка изображения

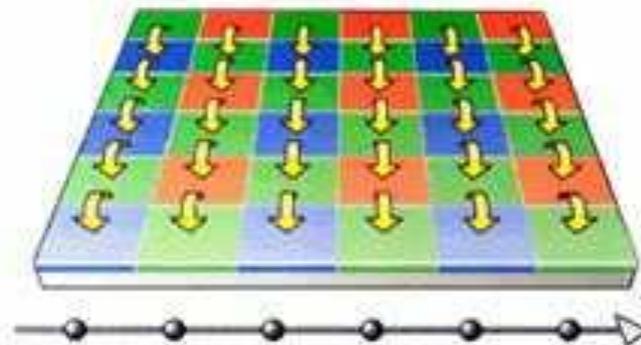
## Видикон



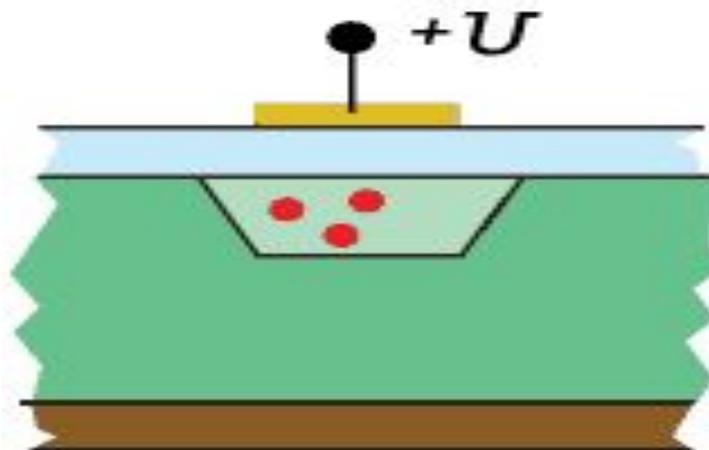
Приборы с зарядовой связью (ПЗС)  
Charge Couple Device (CCD)



# Структура датчика

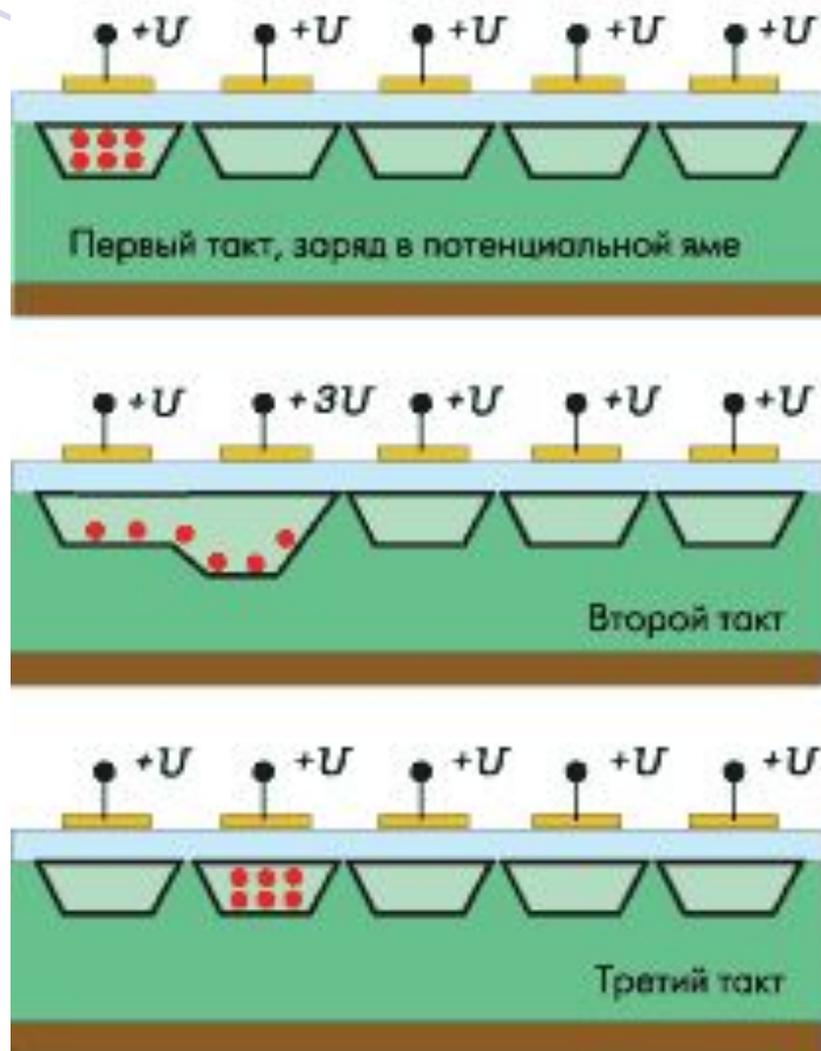


## Элементарная ячейка

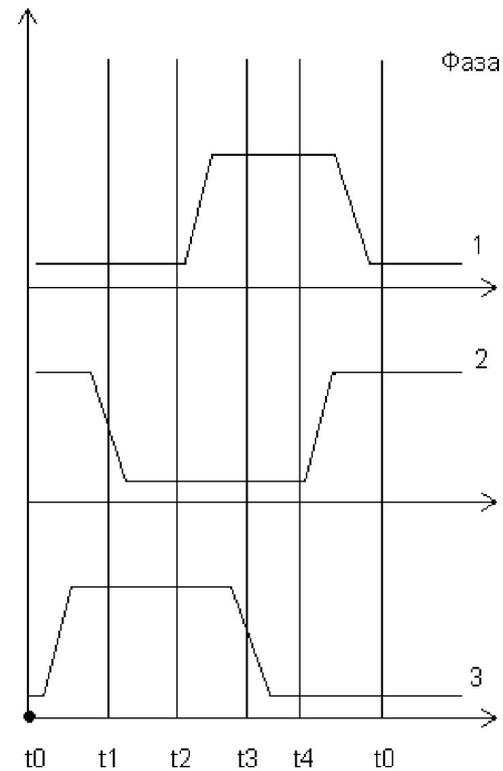
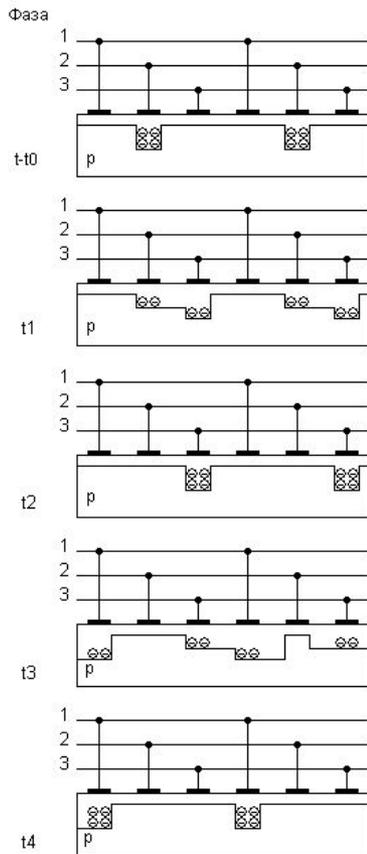


- слой окиси кремния
- обедненная область
- полупроводник
- электрод
- заземляющая шина

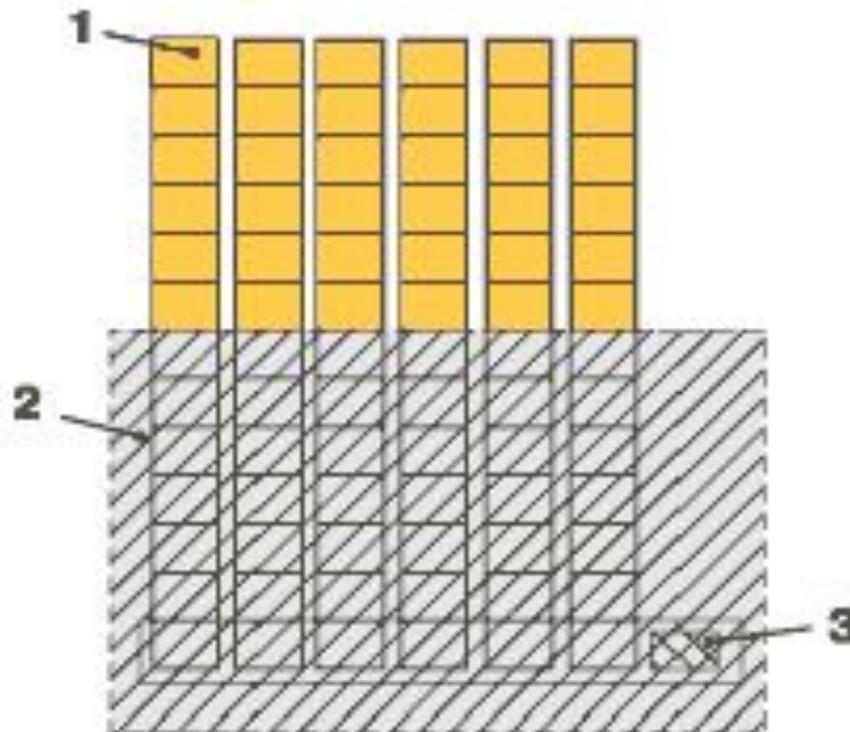
# Управление переносом зарядов



# Процесс переноса зарядов в трехфазной схеме ПЗС

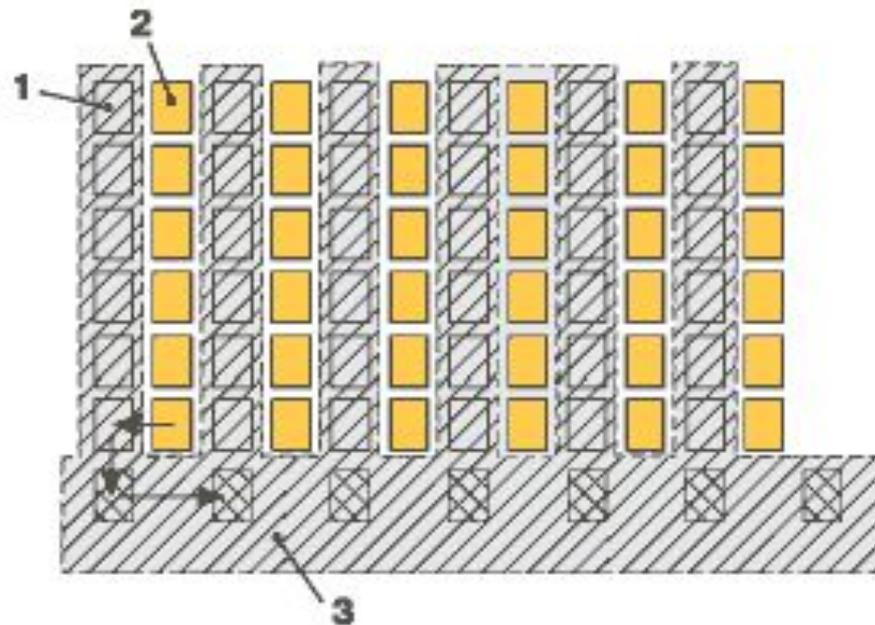


# Матрица с кадровым переносом (F T)



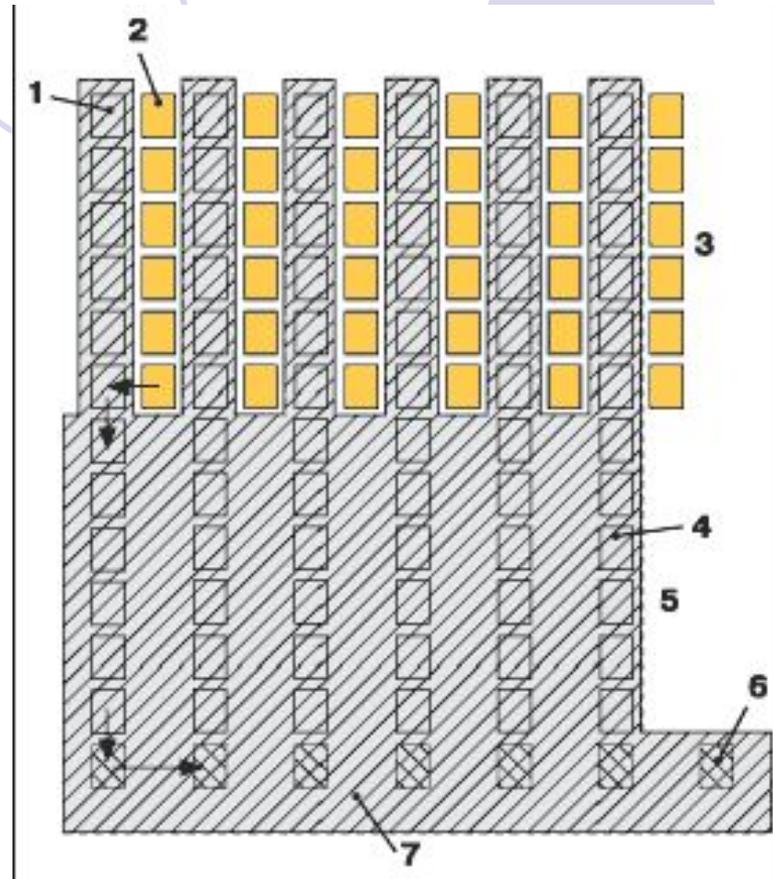
- 1 - Секция накопления
- 2 - Секция хранения
- 3 - Выходной регистр

# Матрица со строчным переносом (I T)



- 1 – Вертикальный сдвиговый регистр
- 2 – Фоточувствительные ячейки
- 3 – Выходной регистр

# Матрица со строчно-кадровым переносом (F I T)



- 1 – Вертикальный сдвиговой регистр
- 2 – Фоточувствительные ячейки ; 3 – Секция накопления
- 4 – Элементы секции хранения ; 5 – Секция хранения
- 6 – Элементы выходного регистра; 7 – Выходной регистр

# Структурная схема трехматричной цветной телевизионной камеры

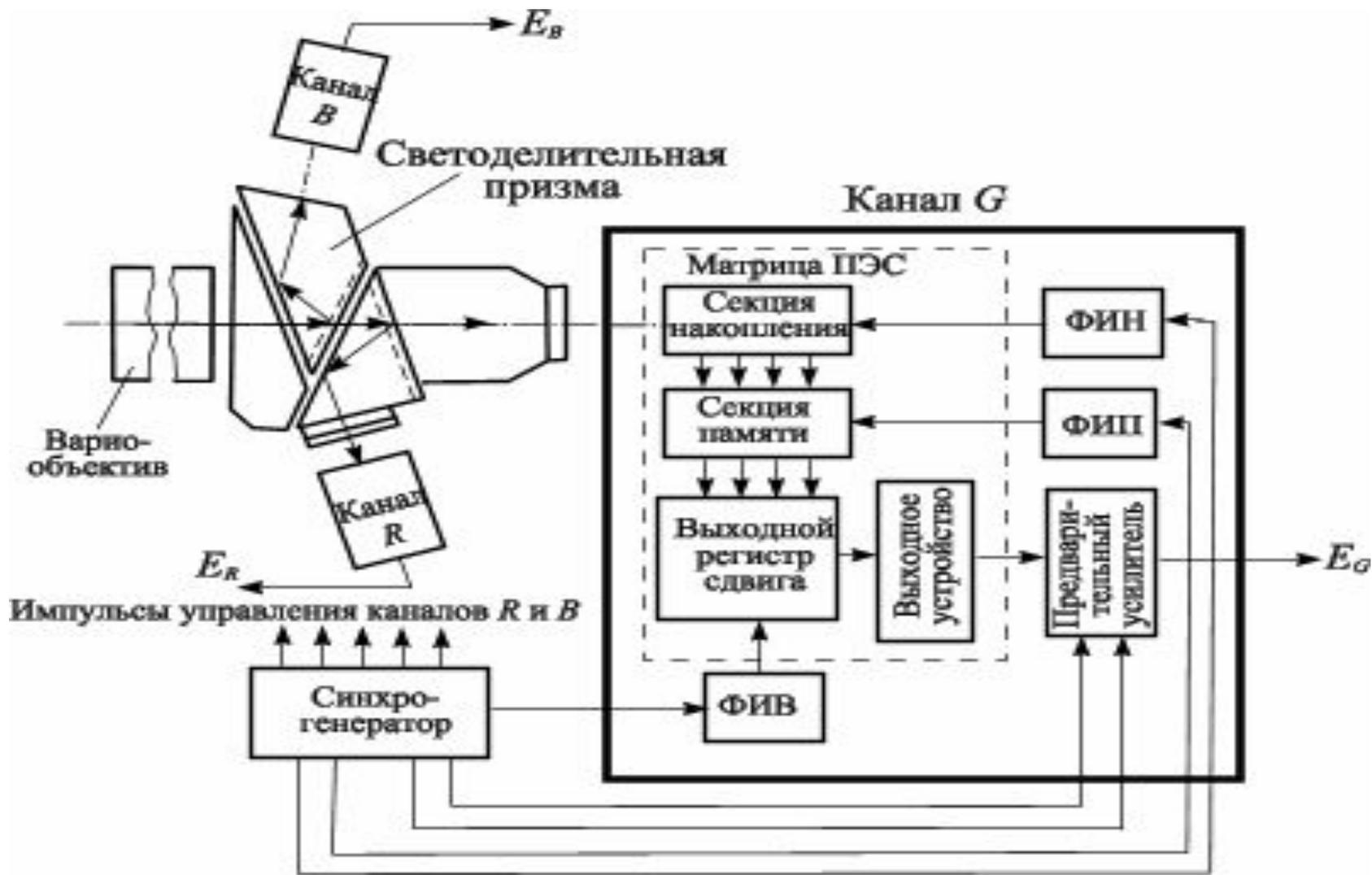
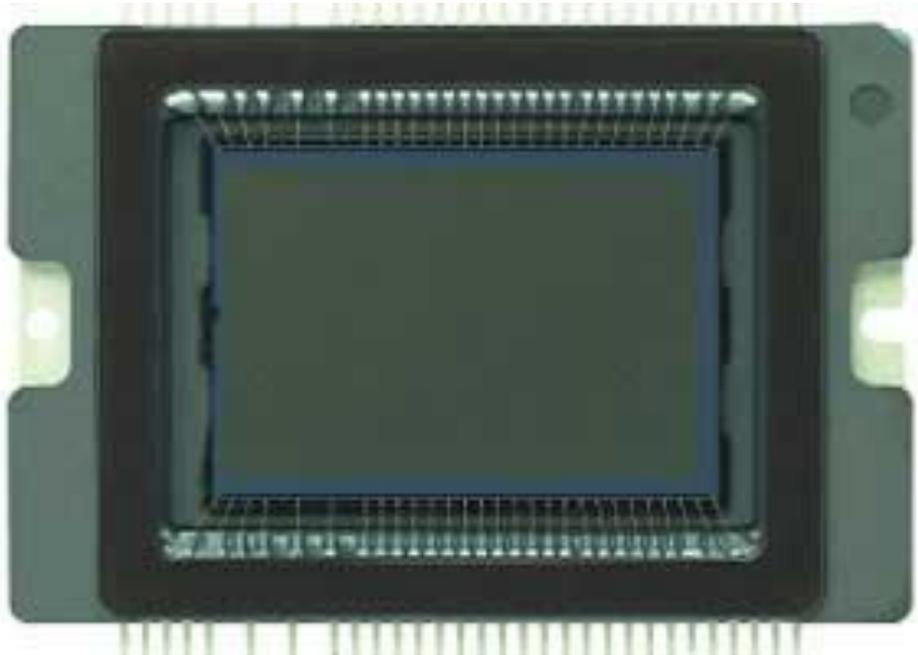


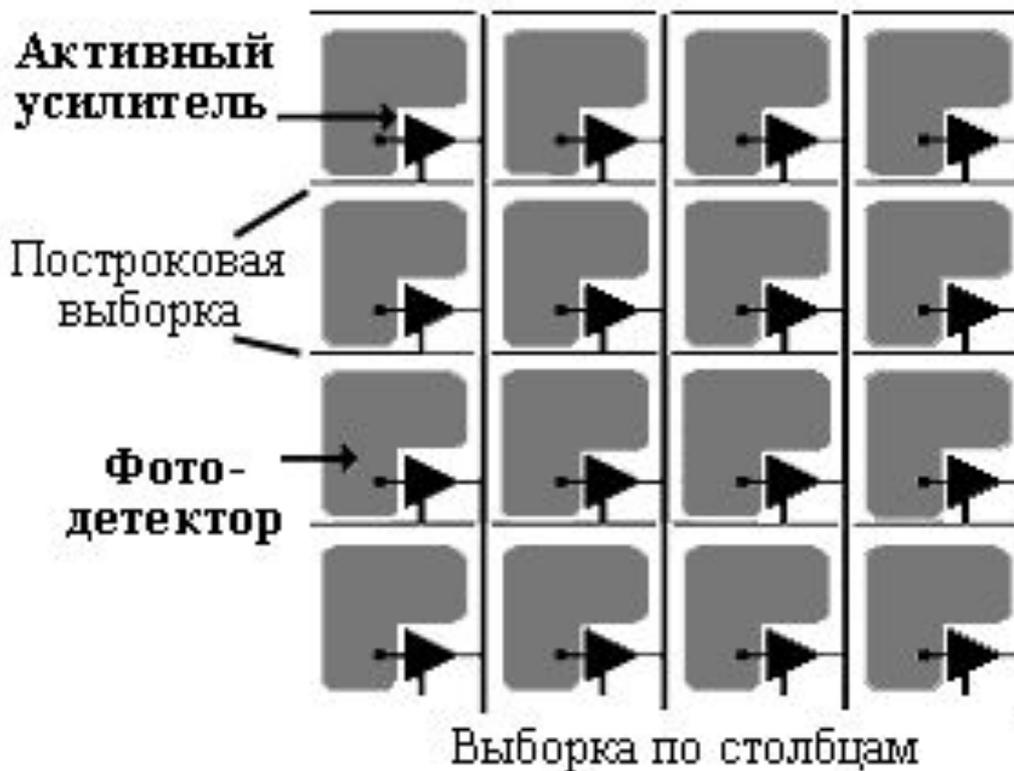
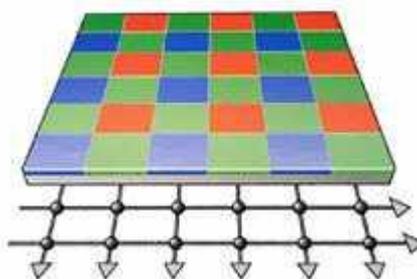
Рис. 10.3

Матрицы на основе КМОП технологий

Complementary-symmetry/metal-oxide semiconductor  
(CMOS)



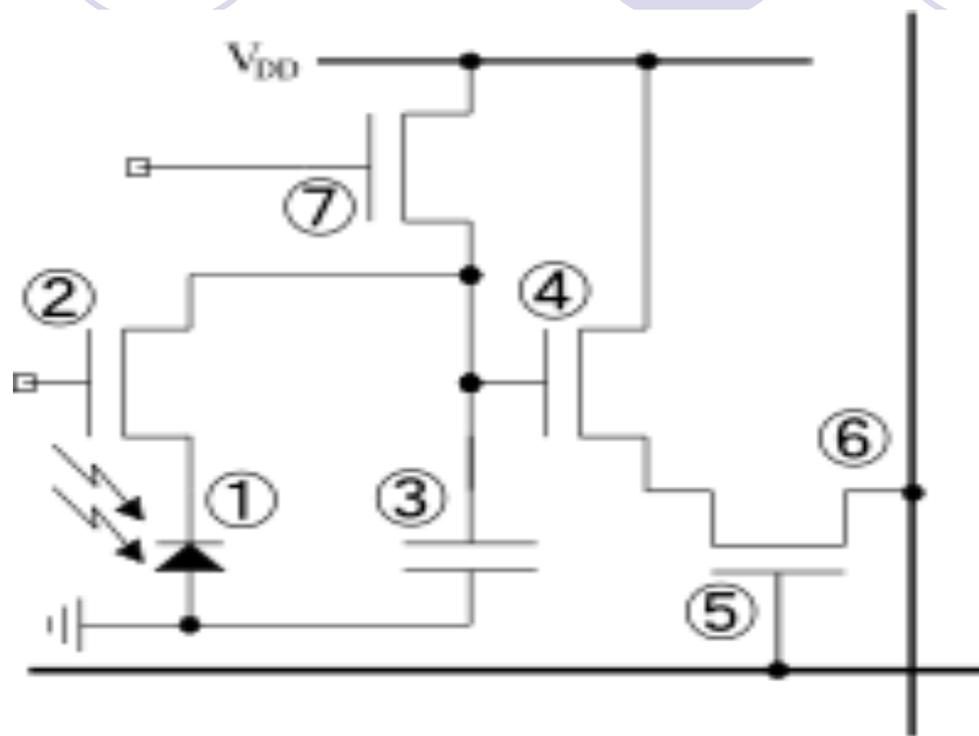
# Структура датчика



# Сравнение структур ПЗС и МОП



# Эквивалентная схема ячейки КМОП-матрицы

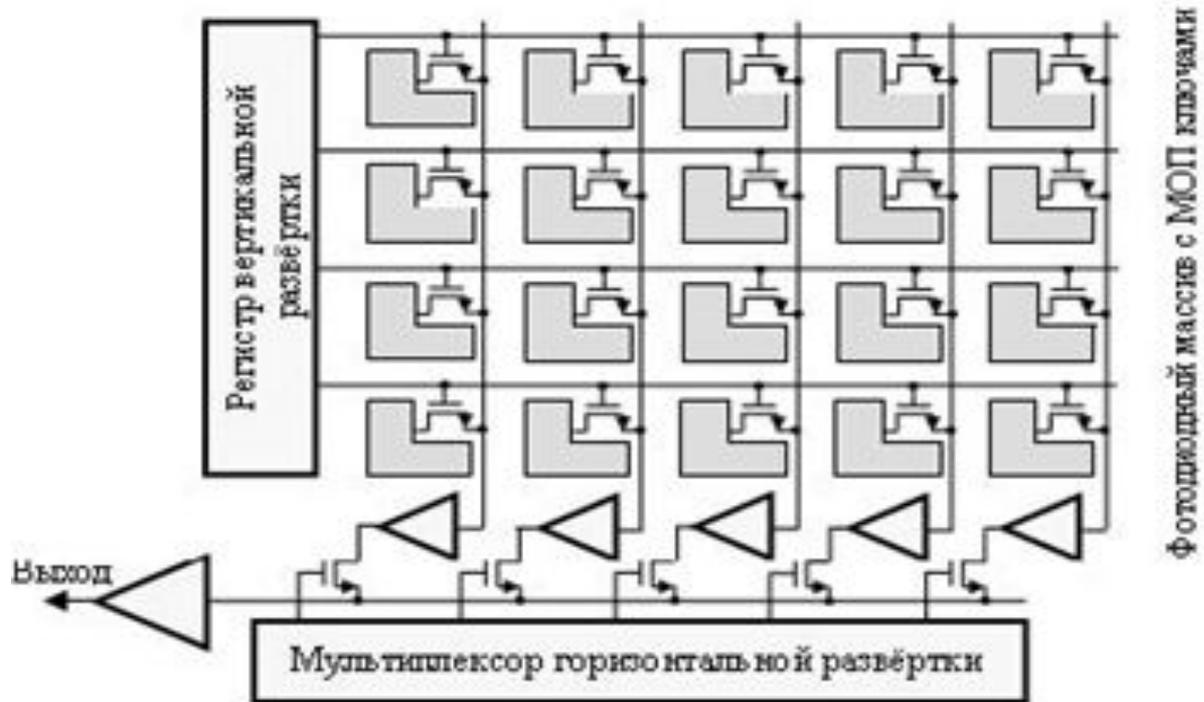


- 1 - светочувствительный элемент (диод);
- 2 — затвор;
- 3 — конденсатор, сохраняющий заряд с диода;
- 4 — усилитель;
- 5 — шина выбора строки;
- 6 — вертикальная шина, передающая сигнал процессору;
- 7 — сигнал сброса

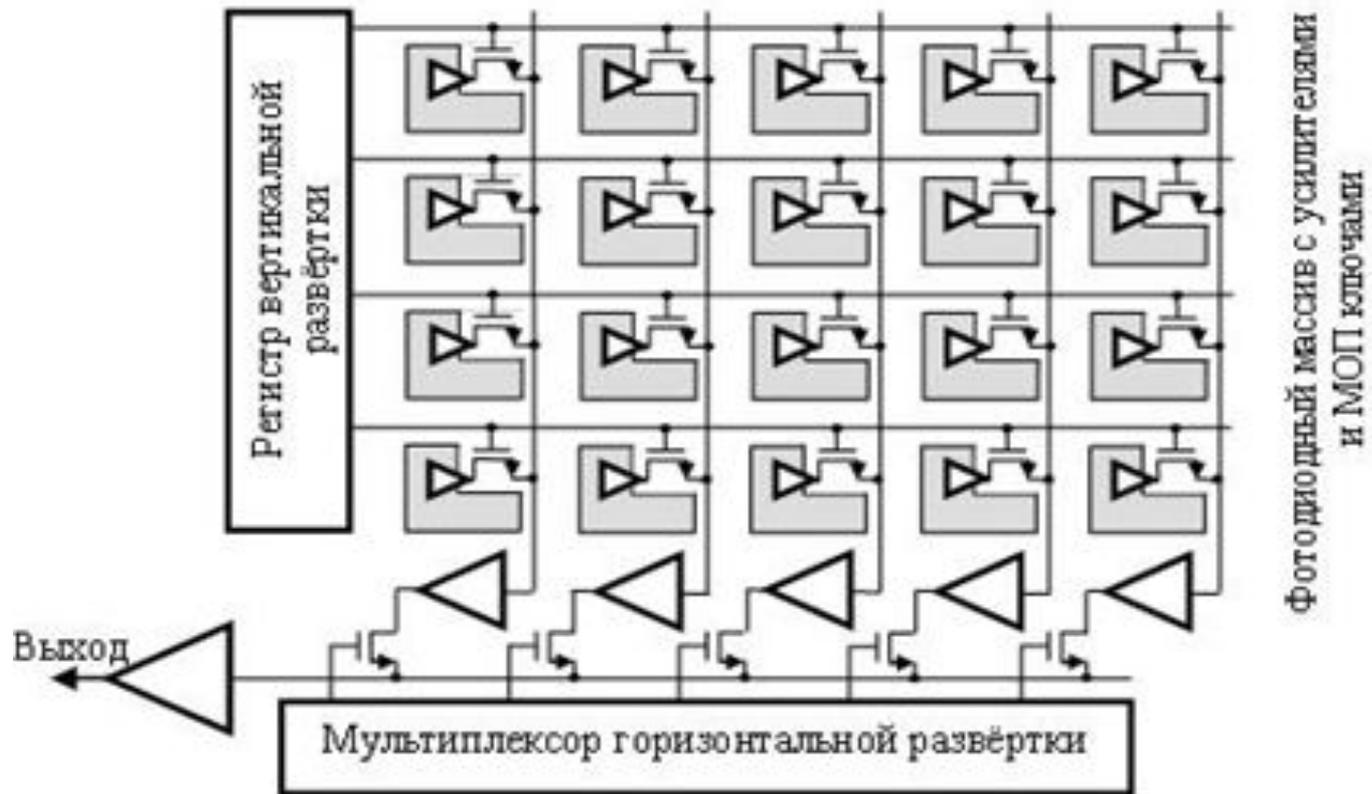
# КМОП сенсор с пассивным пикселем



# КМОП сенсор с пассивным пикселем и активным столбцом



# КМОП сенсор с активным пикселем и активным столбцом



# КМОП сенсор с активным пикселем и АЦП на каждый столбец



# КМОП сенсор с активным цифровым пикселем



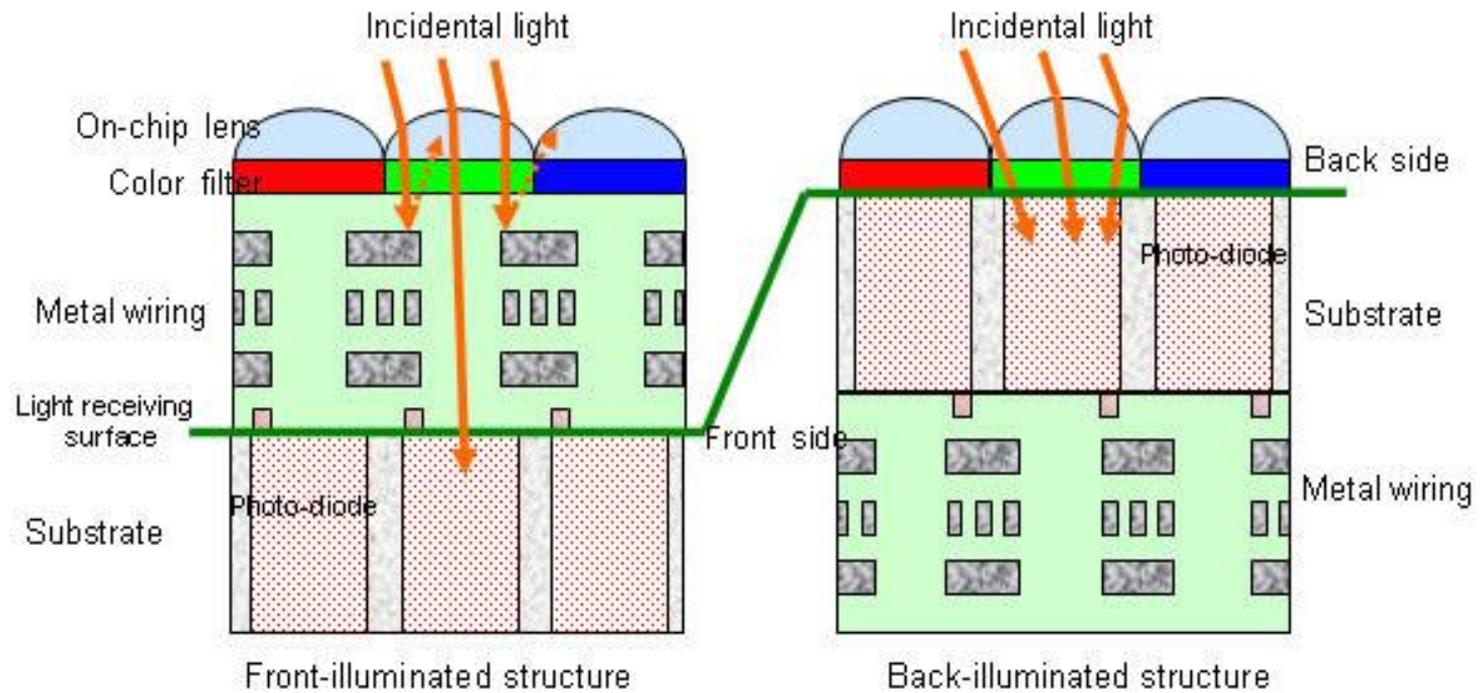
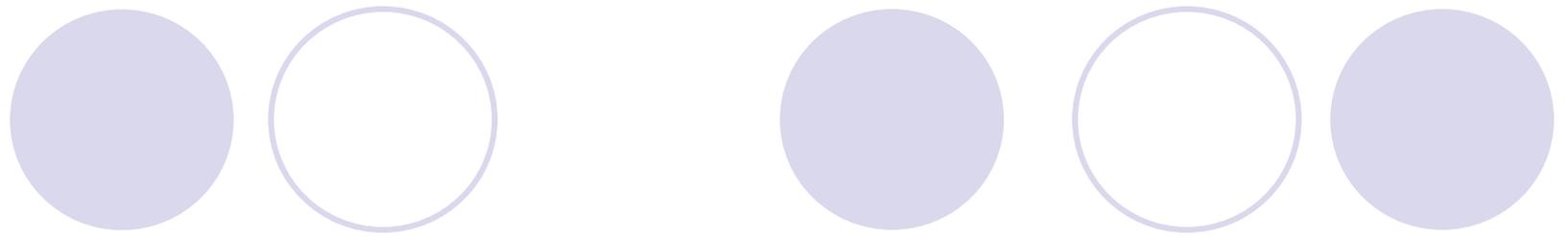
# Преимущества и недостатки CMOS матриц

## **Преимущества CMOS матриц:**

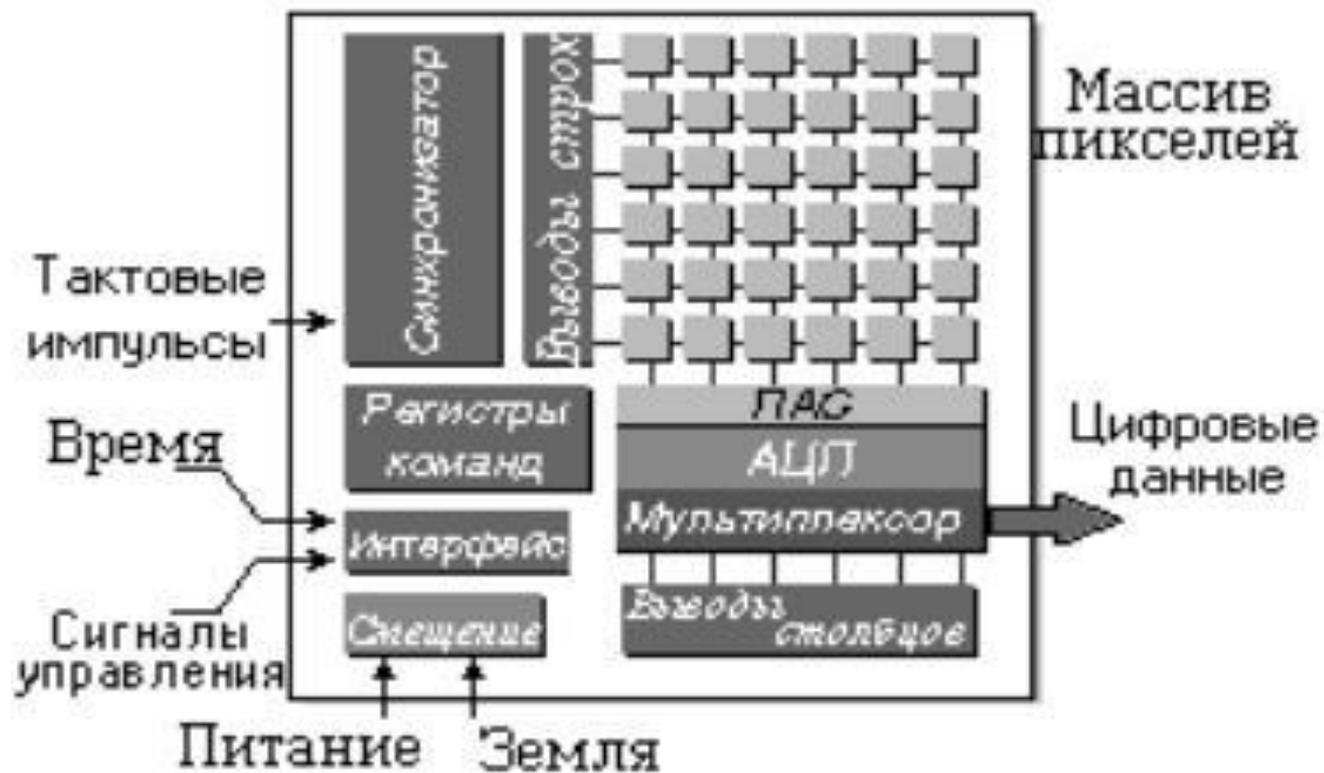
- *Высокое быстродействие (до 500 кадров/с).*
- *Низкое энергопотребление.*
- *Дешевле и проще в производстве.*
- *Перспективность технологии*

## **Недостатки CMOS матриц:**

- *Низкий коэффициент заполнения, что снижает чувствительность*
- *Высокий уровень шума*
- *Малый динамический диапазон*



# Архитектура КМОП датчика



# Преимущества и недостатки CCD матриц

## **Преимущества CCD матриц:**

- Низкий уровень шумов.
- Высокий коэффициент заполнения
- Высокая эффективность
- Большой динамический диапазон (чувствительность).

## **Недостатки CCD матриц:**

- Сложный принцип считывания сигнала, а следовательно и технология.
- Высокий уровень энергопотребления (до 2-5Вт).
- Дороже в производстве

# Структурная схема трехматричной цветной телевизионной камеры

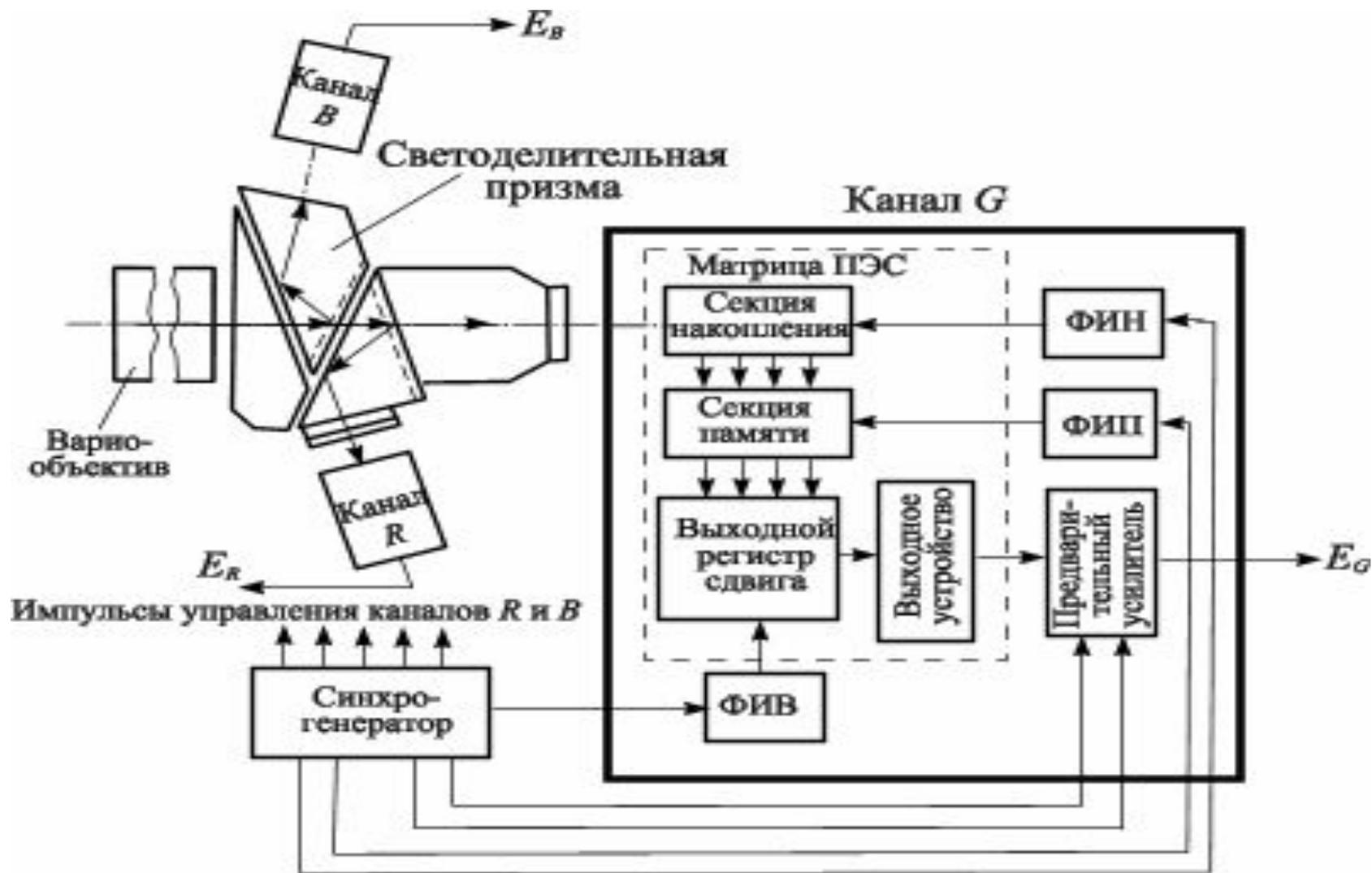


Рис. 10.3

# Спектральные характеристики чувствительности ПЗС

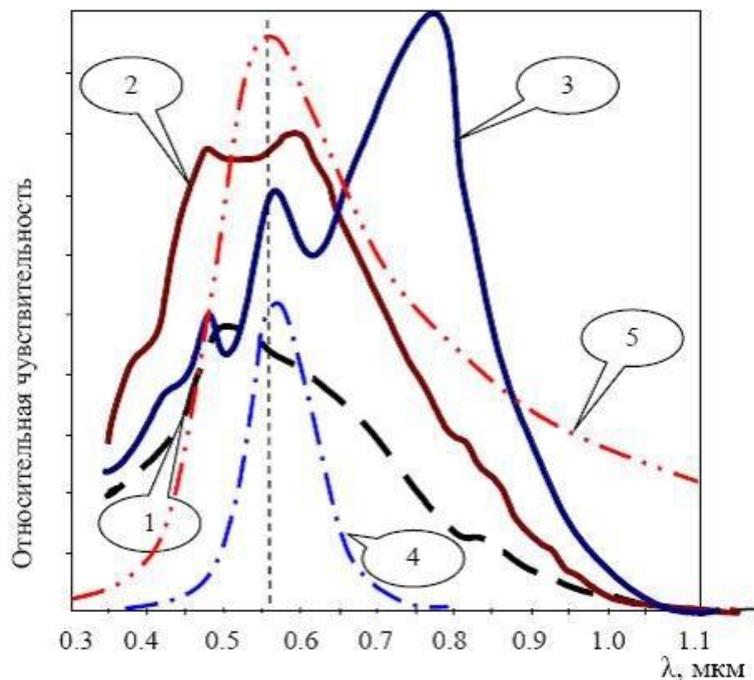
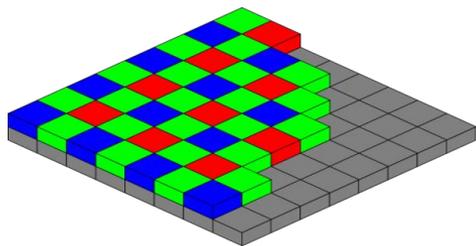


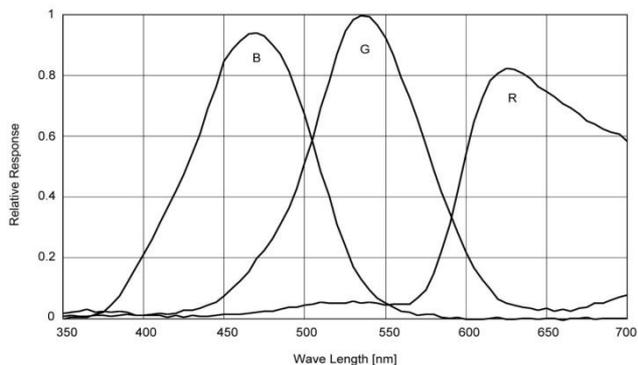
Рис. 1.14 Спектральные характеристики чувствительности CCD.

1 – со строчным переносом, 2 – Exview ПЗС, 3 – ПЗС с кадровым переносом; для сравнения приведены спектральная характеристика зрения 4 и спектральная характеристика излучения абсолютно чёрного тела с температурой 6000К, которая служит огибающей спектра излучения Солнца 5

## Светофильтр основных цветов (Байера)

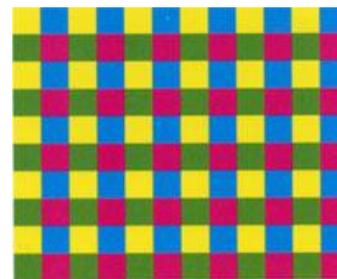


Двумерный массив цветных фильтров, которыми покрыты фотодиоды матриц, и состоящий из 25 % красных элементов, 25 % синих и 50 % зелёных элементов.

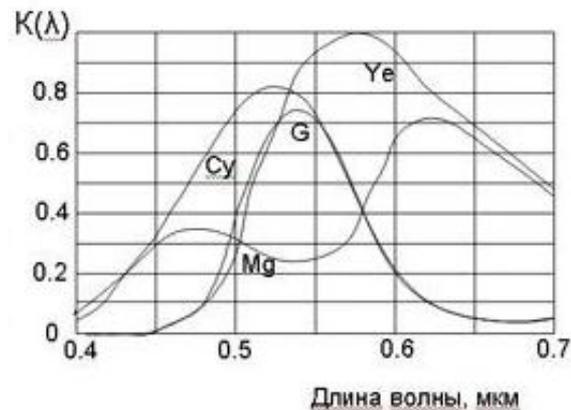


Спектральные характеристики чувствительности

## Светофильтр дополнительных цветов (Cy, Ye, Mg, G)

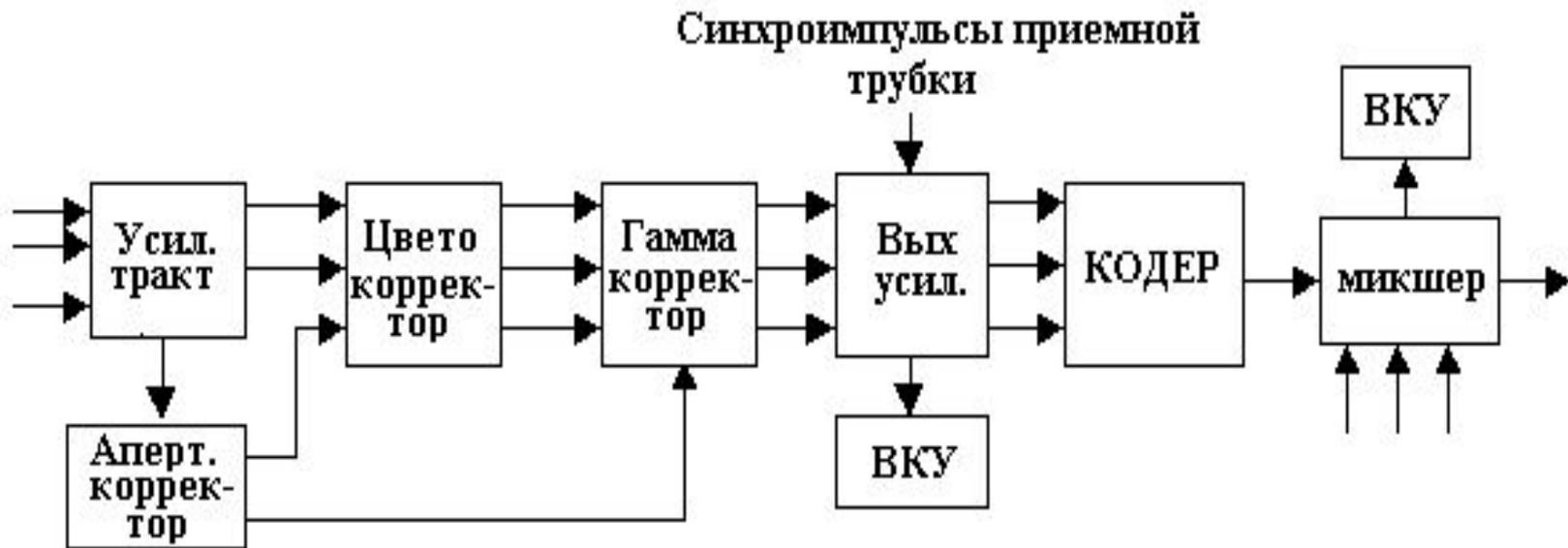


Пространственное расположение цветов светофильтра Cy, Ye, Mg, G.

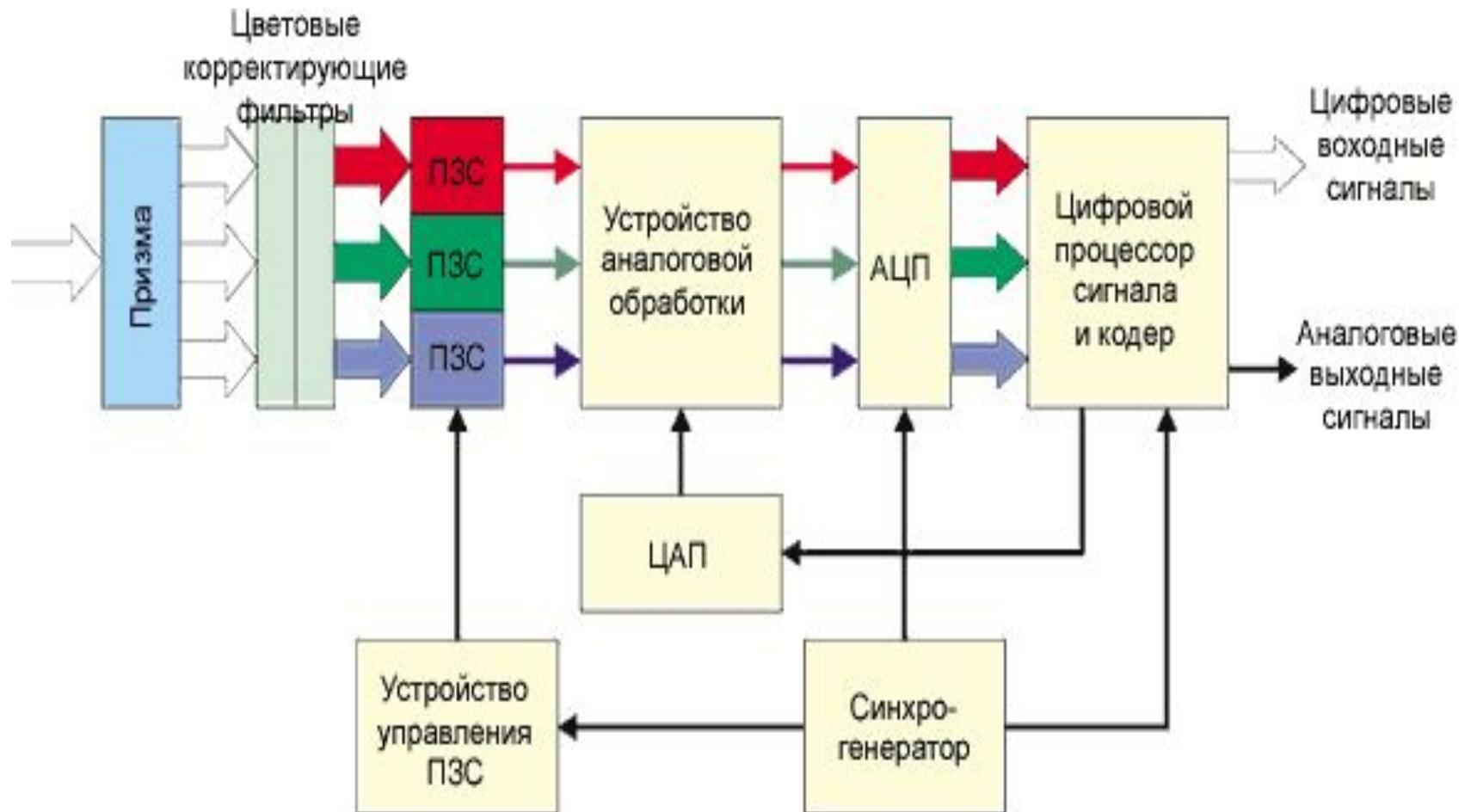


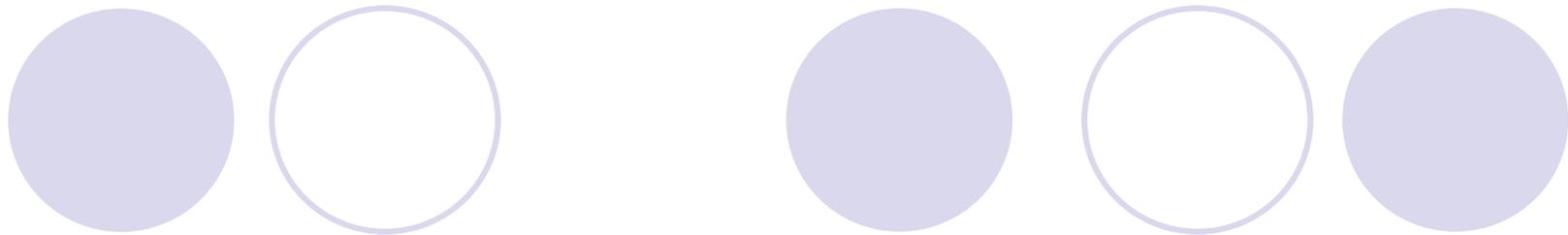
Спектральные характеристики чувствительности

# Камерный канал аналоговой ТВ системы



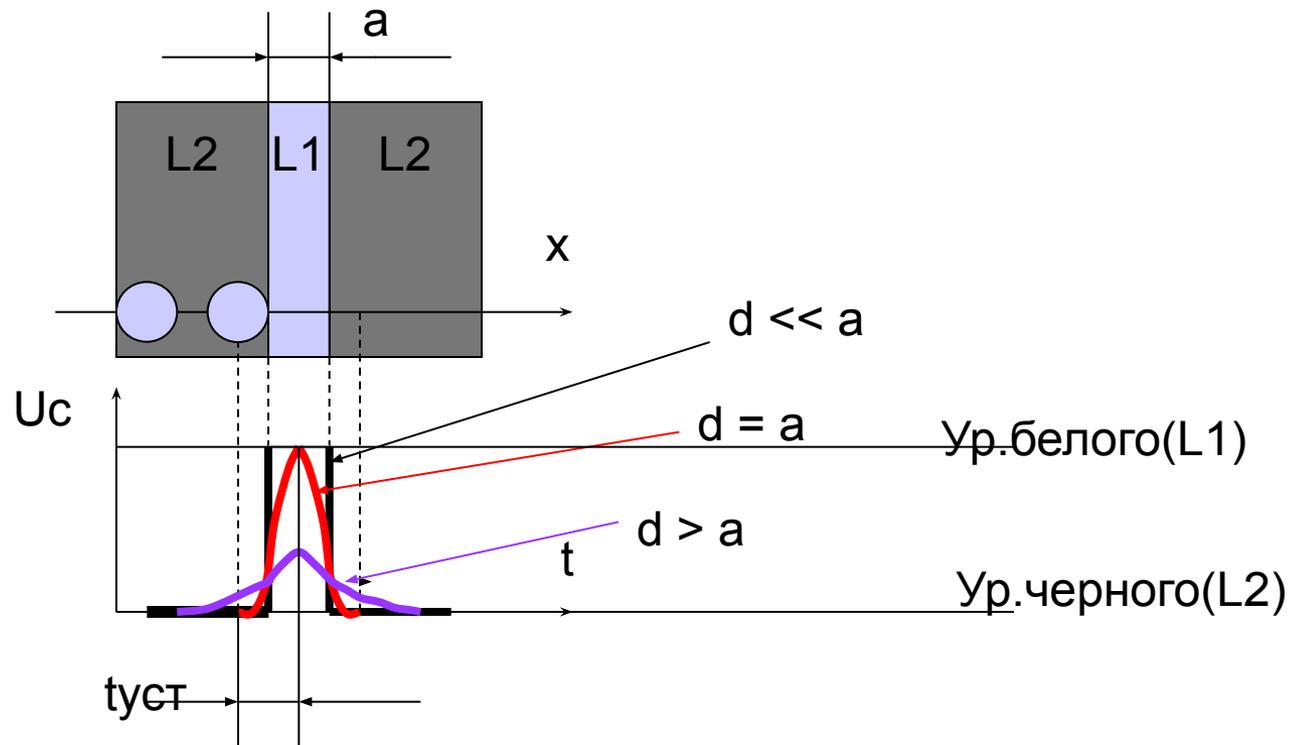
# Структурная схема трехматричной цветной телевизионной камеры





**Апертурная коррекция**

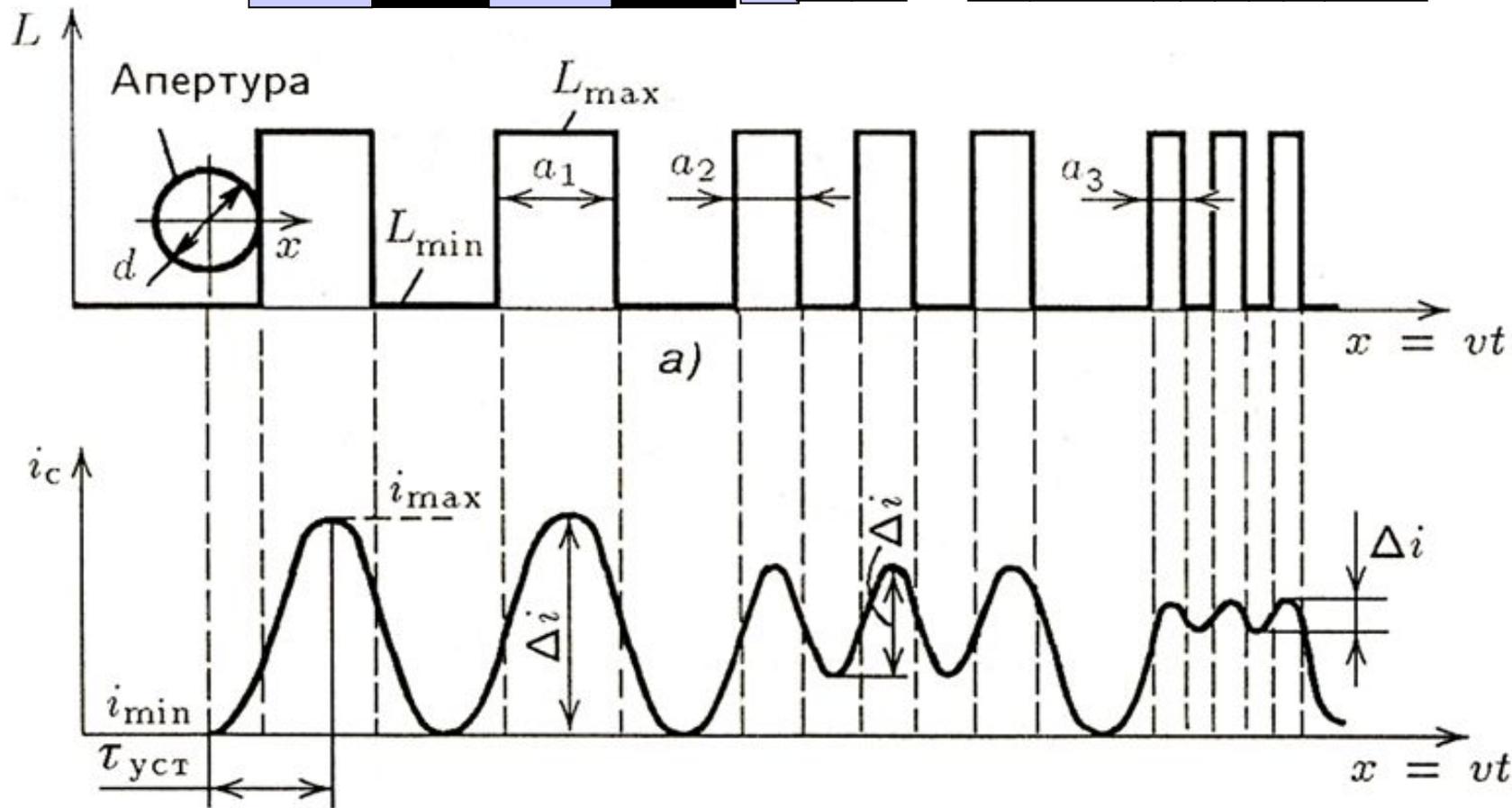
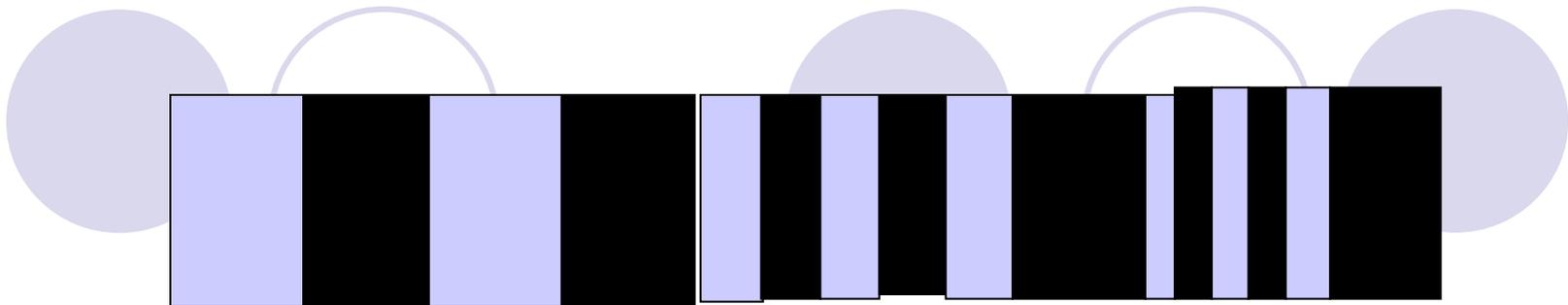
# Влияние размера апертуры ( $d$ ) на передачу мелких деталей

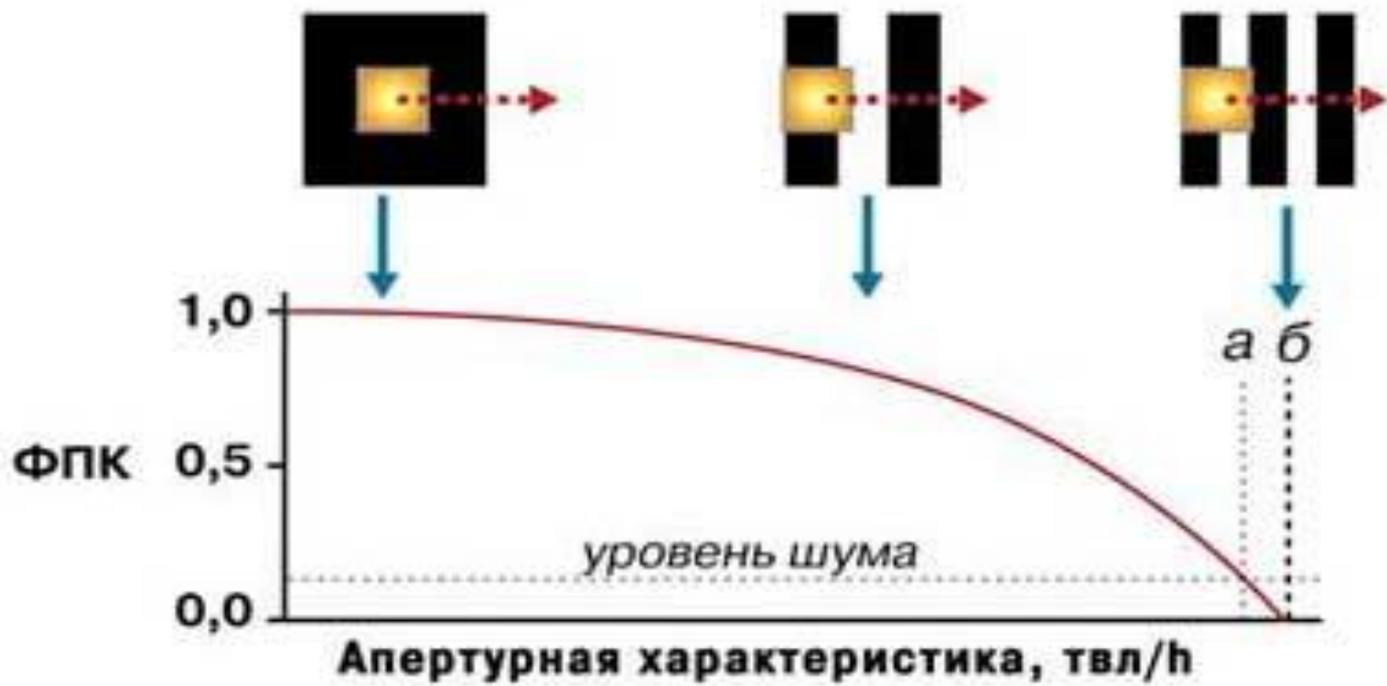
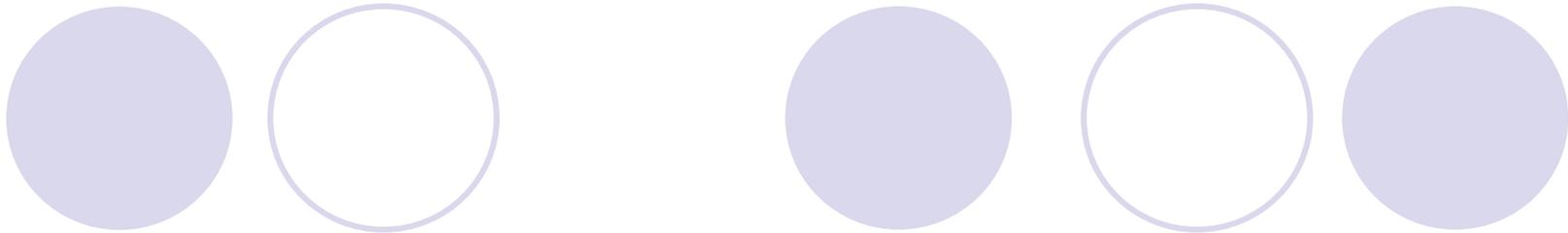


$$a_{эл} = d$$



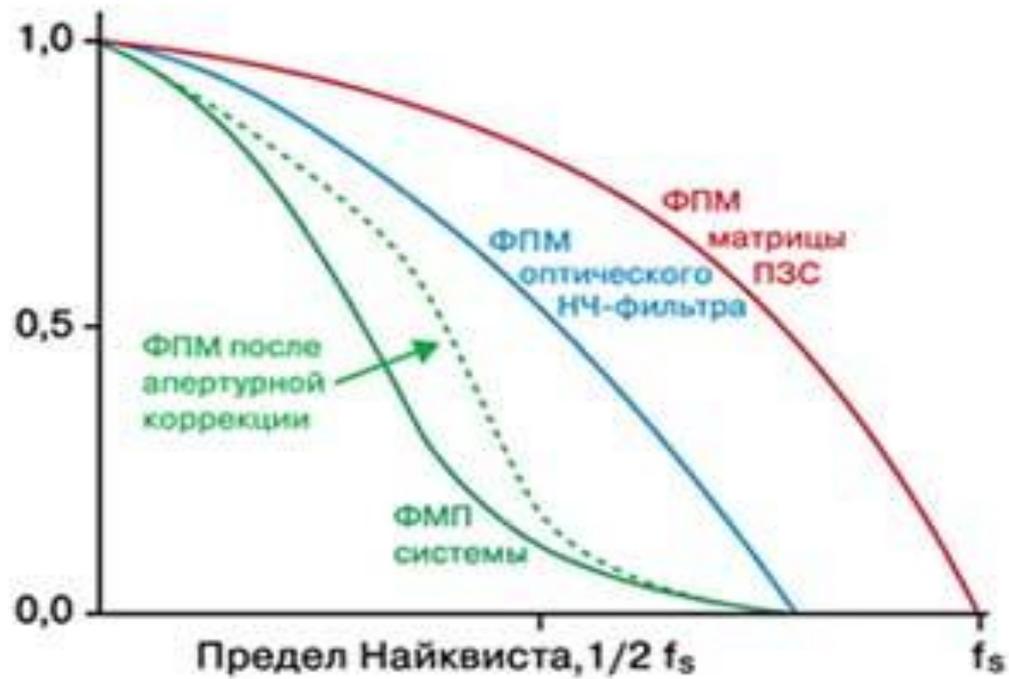
$$t_{уст} = t_{эл}$$





# Муары (разностные частоты)





$f_s$  - шаг дискретизации

Апертурная коррекция направлена на компенсацию спада ЧКХ в пределах полосы частот от нуля до частоты Найквиста

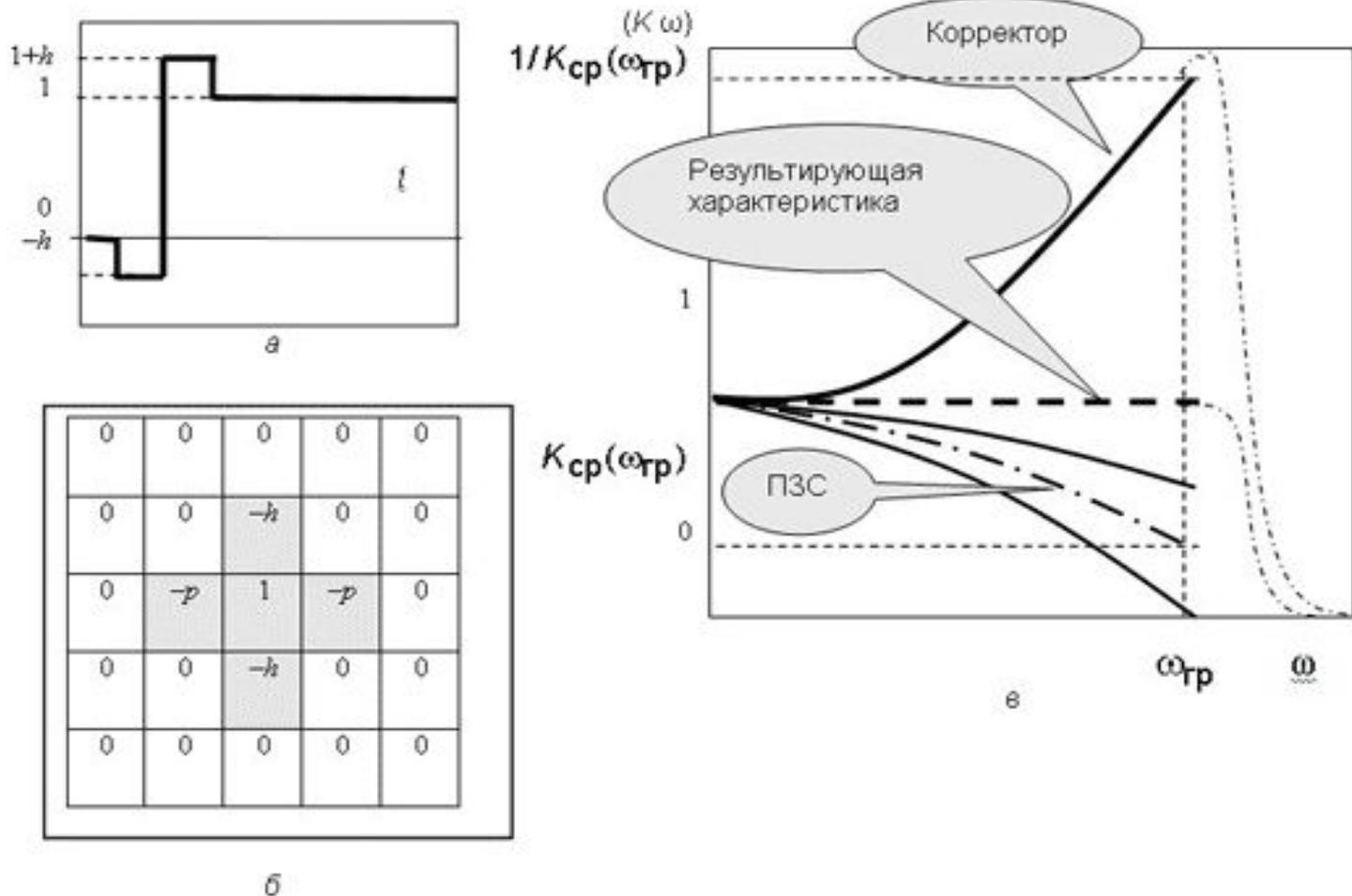
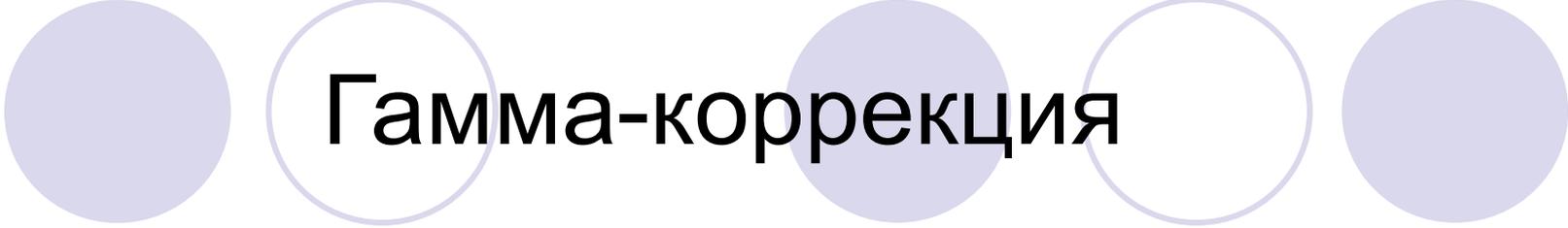
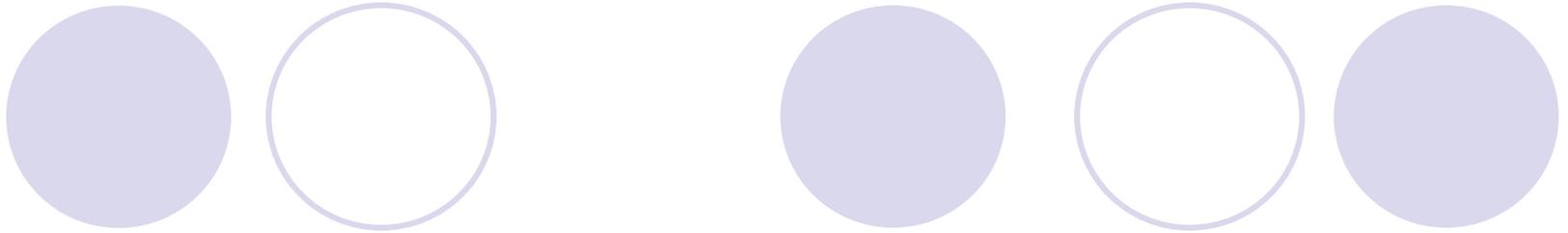


Рис. 2.18 Характеристики апертурного корректора: а – одномерная переходная; б – двумерная импульсная; в – частотная



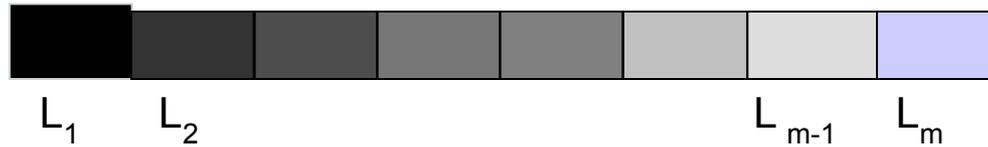
# Гамма-коррекция

- *Гамма-коррекция* – нелинейное преобразование характеристики свет-сигнал с целью согласования условий наблюдения и модуляционной характеристики кинескопа с контрастной чувствительностью зрения.



$$K = L_{\max} / L_{\min} = 10^{11} - 10^{12}$$

Градации яркости  $m$  (полутона)



$$\sigma = \Delta L / L = \text{const}$$

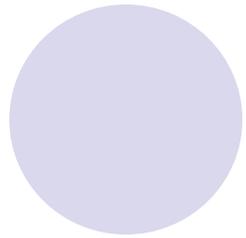
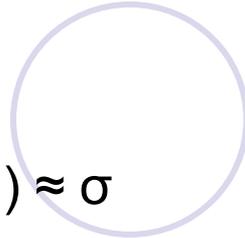
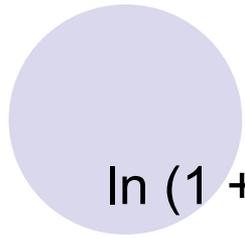
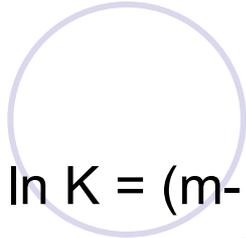
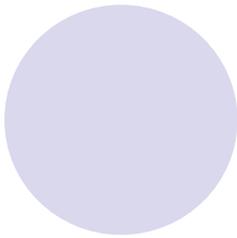
$$L_1 = L_{\min}$$

$$L_2 = L_{\min} + \sigma L_{\min} = L_{\min} (1 + \sigma)$$

$$L_3 = L_2 + \sigma L_2 = L_{\min} (1 + \sigma)^2$$

$$L_m = L_{\min} (1 + \sigma)^{m-1} = L_{\max}$$

$$K = L_{\max} / L_{\min} = L_m / L_1 = (1 + \sigma)^{m-1}$$



$$\ln K = (m-1) \ln (1 + \sigma) \quad \ln (1 + \sigma) \approx \sigma$$

$$\ln K = (m-1) \sigma \approx m \sigma$$

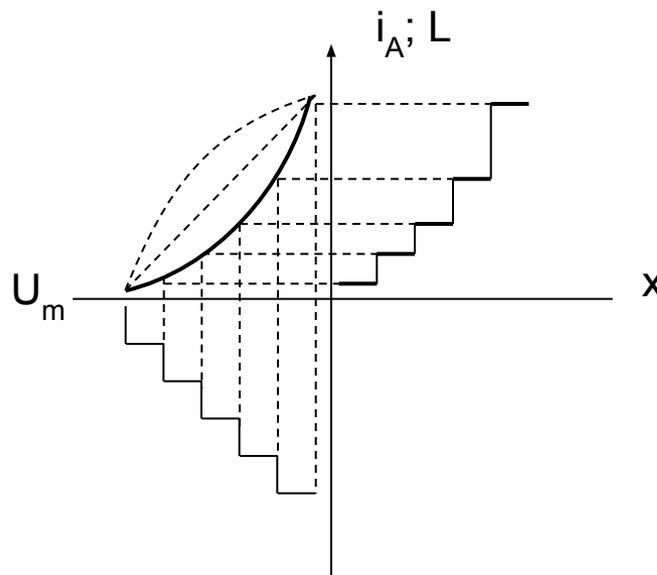
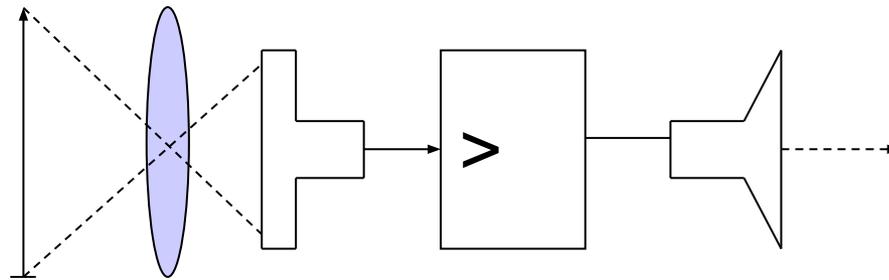
$$m = \ln K / \sigma = 2,3 \lg K / \sigma$$

$$K=10 \quad m \approx 80$$

$$K=40 \quad m \approx 130$$

$$K=100 \quad m \approx 160$$

# Градационные (нелинейные) искажения



$$i_A = k U_m^\gamma$$

$$\gamma = 2,0 \div 2,8$$

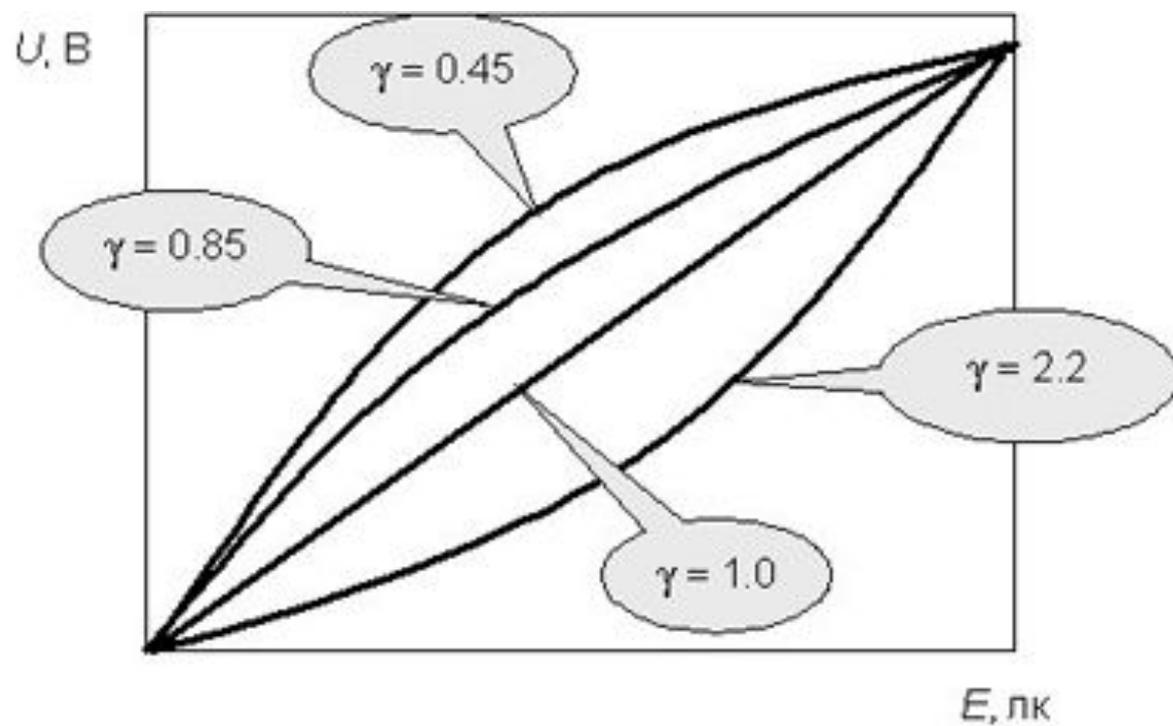
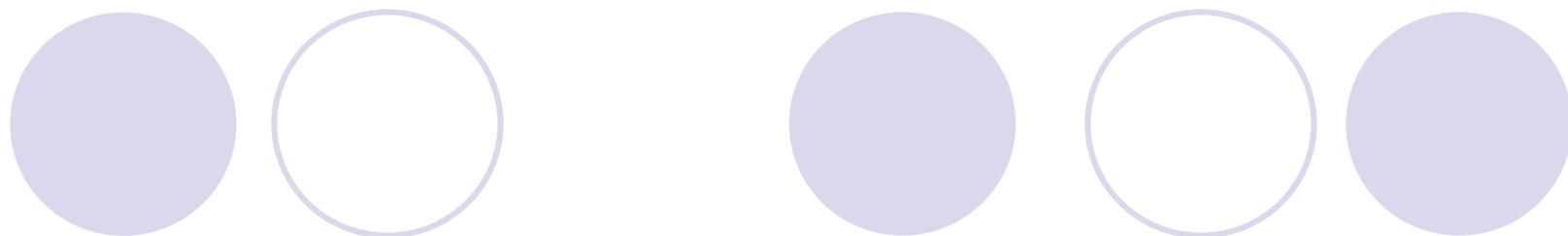
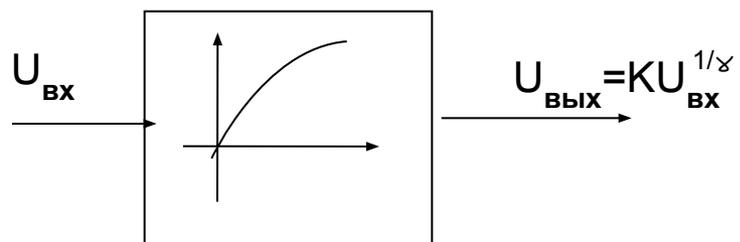


Рис. 2.19. Характеристики свет-сигнал телекамеры при различной степени гамма-коррекции



$$\gamma_{\text{СКВ}} = \gamma_{\text{П1}} * \gamma_{\text{ТР}} * \gamma_{\text{П2}} * \gamma_{\text{КОР}}$$

$$\gamma_{\text{ОПТ}} = 1,25$$