

# ОСНОВЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ОПТИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ

Кафедра телевидения и видеотехники

Беляева Наталия Николаевна

а.427 (кафедра)

а.448 (деканат РТС)

# ЛИТЕРАТУРА

## Основная

- ◉ Беляева Н.Н., Ерганжиев Н.А. Светотехника, оптика и колориметрия в телевидении: Учебное пособие /СПбГУТ.-СПб,2004.
- ◉ Светотехника: методические указания к лабораторным работам. /СПбГУТ.-СПб,2007

## Дополнительная

- ◉ Новаковский С.В. Цвет на экране телевизора. Основы телевизионной колориметрии. - М.: Радио и связь,1997.

# 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

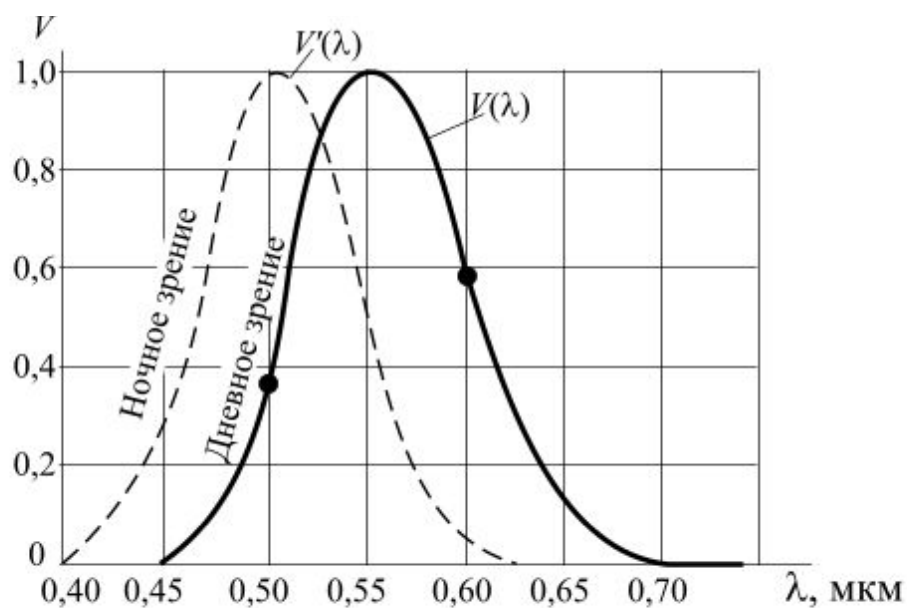


Рис. 1.1. Функция относительной спектральной чувствительности глаза (кривая видимости) в условиях дневного  $V(\lambda)$  и ночного  $V'(\lambda)$  зрения

## СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

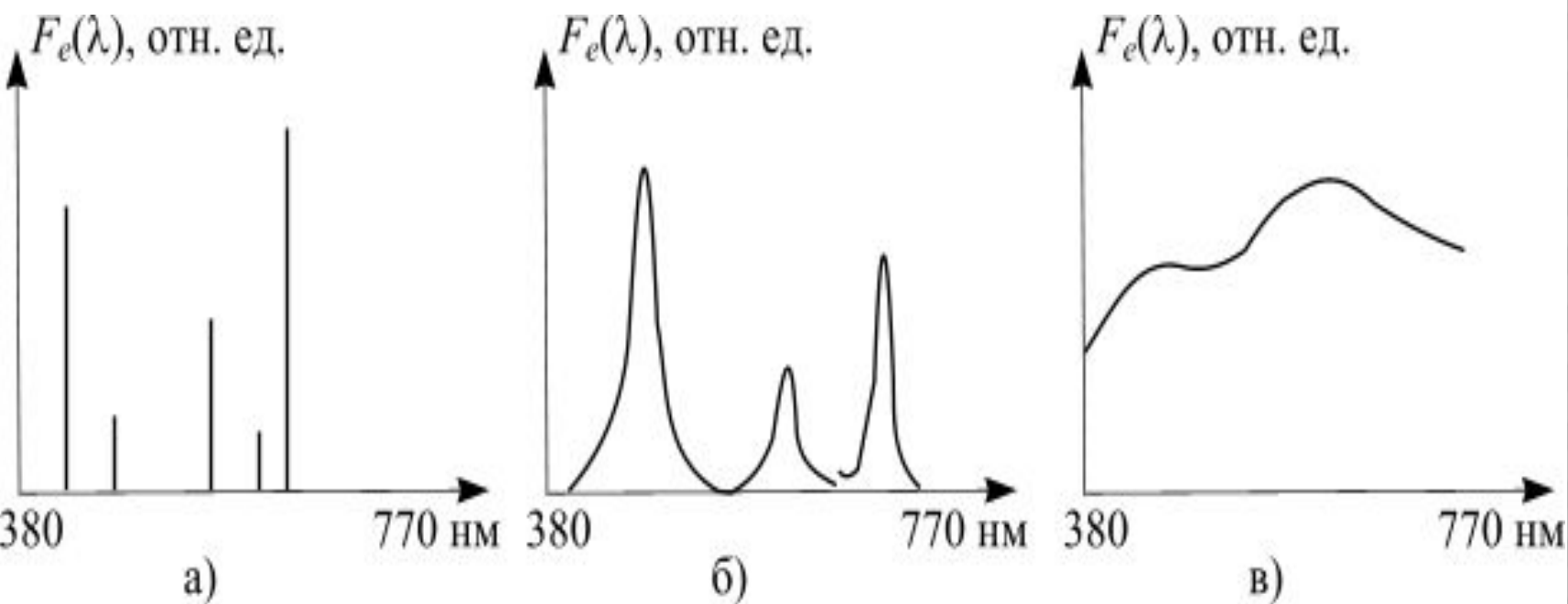


Рис. 1.2. Графическое представление спектрального распределения сложных излучений: а) линейчатый спектр; б) полосатый спектр; в) сплошной спектр



## 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) $I_{EA}$

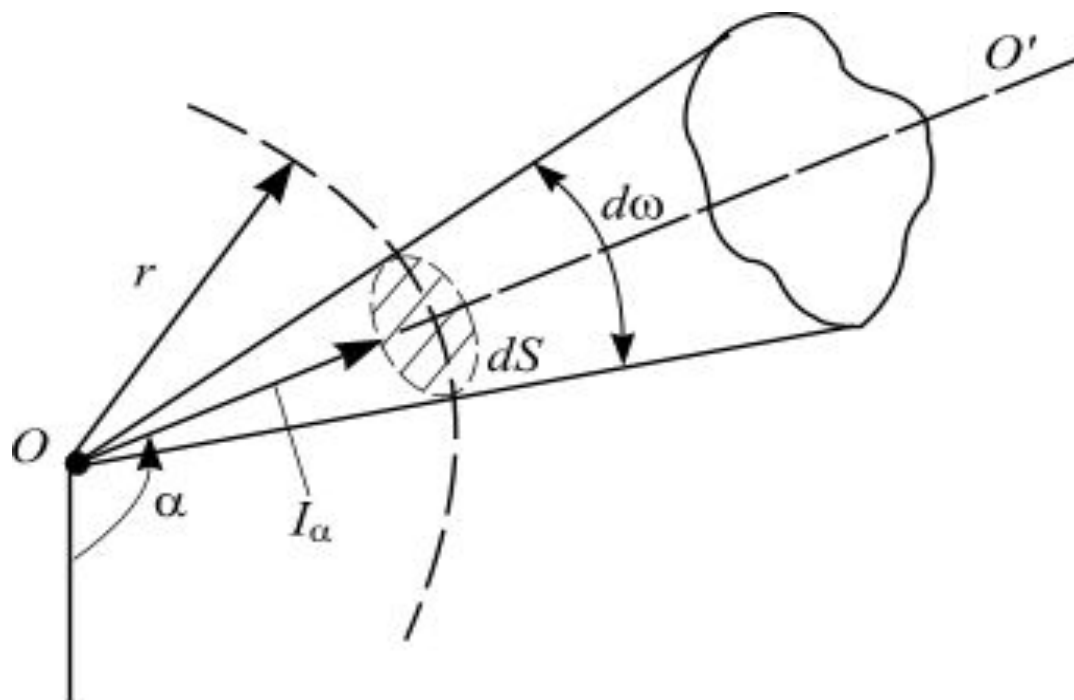


Рис. 1.3. К определению силы излучения

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

# 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 $L_E$

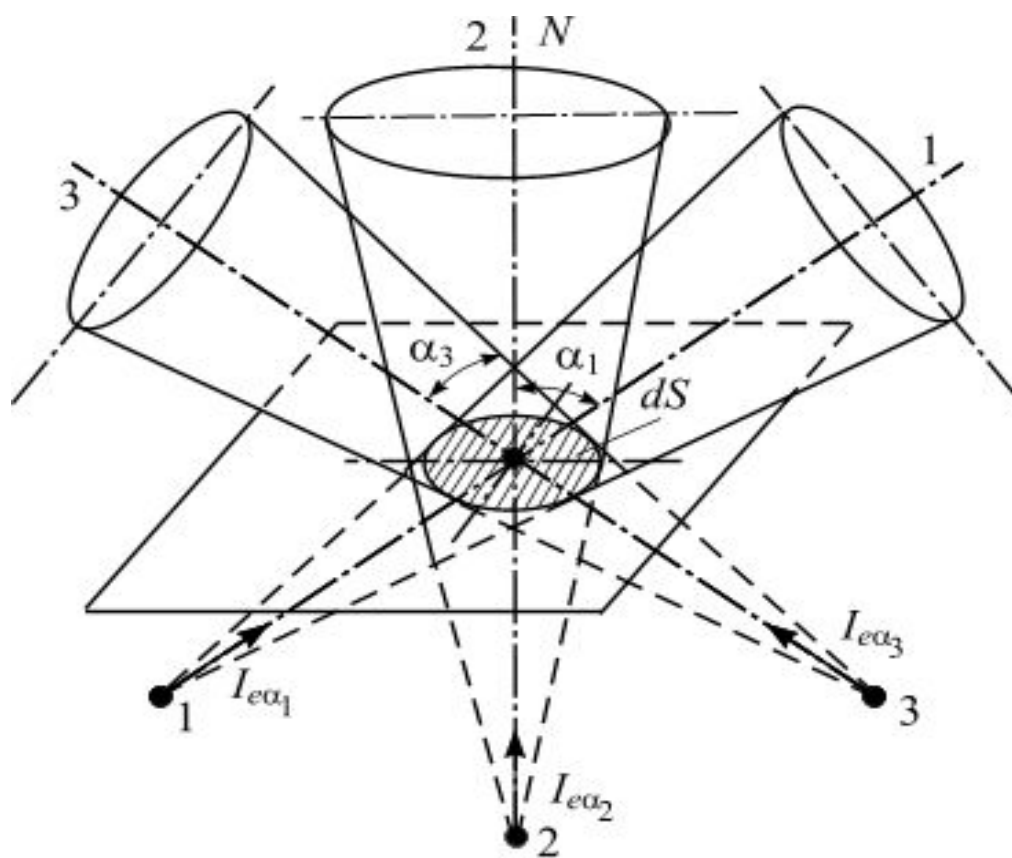


Рис. 1.4. К определению энергетической яркости

$$L_{e\alpha} = dF_e / (dS \cos\alpha d\omega), \text{ Вт/(ср} \cdot \text{м}^2)$$

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

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

где  $l_{e0}$  - 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, что означает:

$$K_m = 683 \text{ лм/Вт}$$

## СИЛА СВЕТА $I_{\alpha}$

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  $1 / (6 \cdot 10^5) \text{ м}^2$  при температуре затвердевания платины ( $T = 2042 \text{ К}$ ).

## СВЕТИМОСТЬ $M$

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

$$M = dF / dS_{\text{и}}$$

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

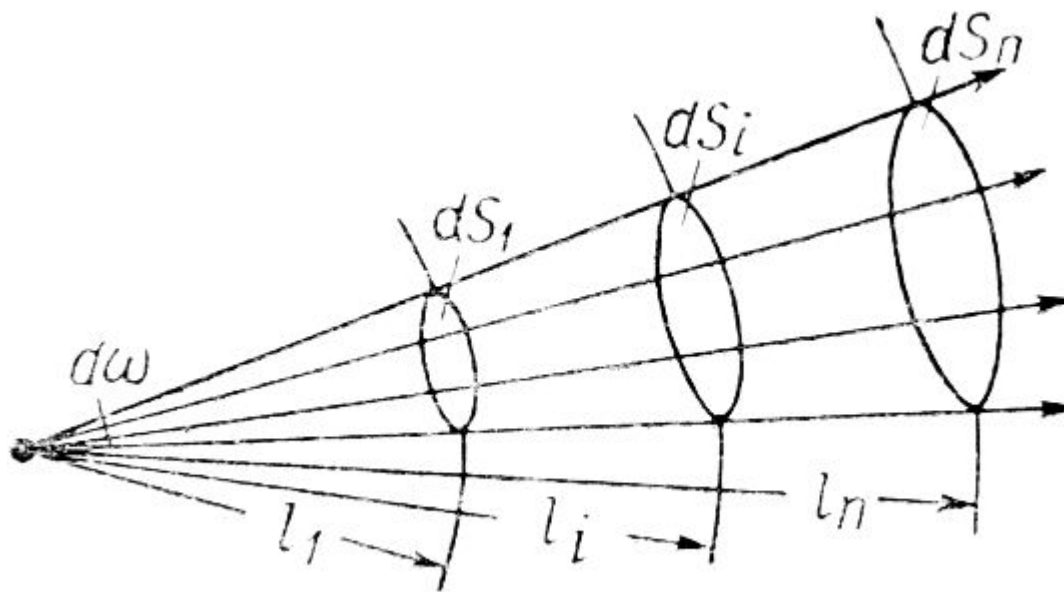
на некоторую плоскость светового потока:

$$E = dF / dS_0$$

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



$$d\omega = dS_1 / r_1^2 = \dots = dS_i / r_i^2 = \dots = dS_n / r_n^2$$

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

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

$$E_1 / E_2 = r_2^2 / r_1^2$$

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

## ПРИМЕЧАНИЕ

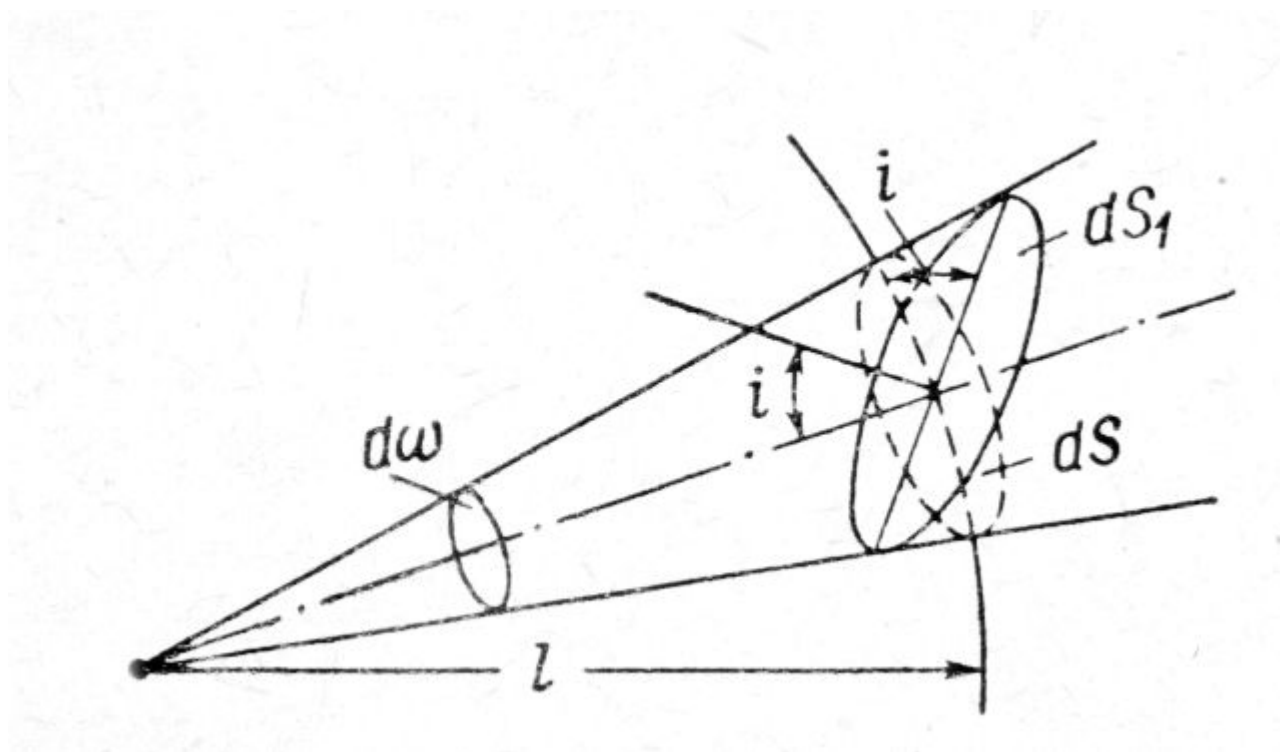
1. Пучок параллельных лучей:

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)



$$E = dF / dS_1$$

$$E_s = dF / dS$$

$$dS = dS_1 \cos i$$

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

Освещенность пропорциональна косинусу угла падения света на освещаемую поверхность

# яркость $L$

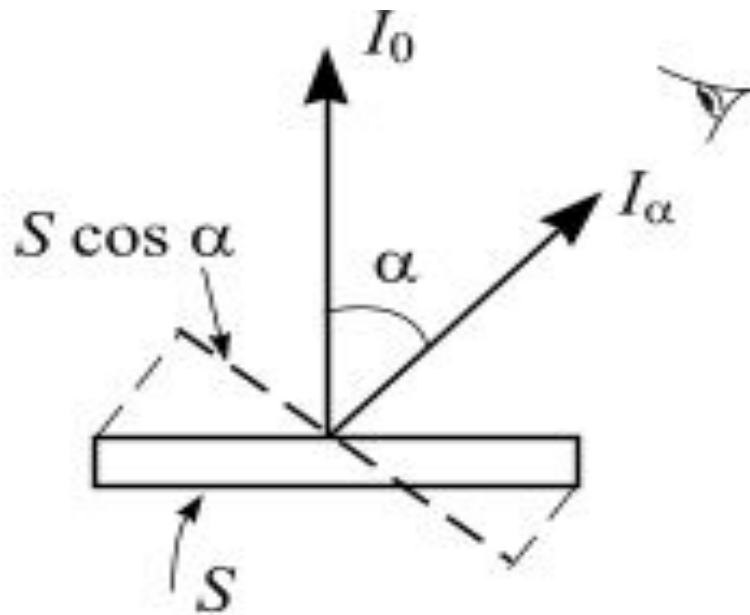


Рис. 1.6. К определению яркости

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	$M_e = dF_e / dS_{и}$	Вт/м <sup>2</sup>	Светимость	$M = dF / dS_{и}$	Лм/м <sup>2</sup>
Энергетическая освещенность	$E_e = dF_e / dS_o$	Вт/м <sup>2</sup>	Освещенность	$E = dF / dS_o$	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>

## 3. МОДИФИКАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛ И СРЕД.

Модификации:

- Отражение
- Пропускание
- Поглощение
- Рассеяние

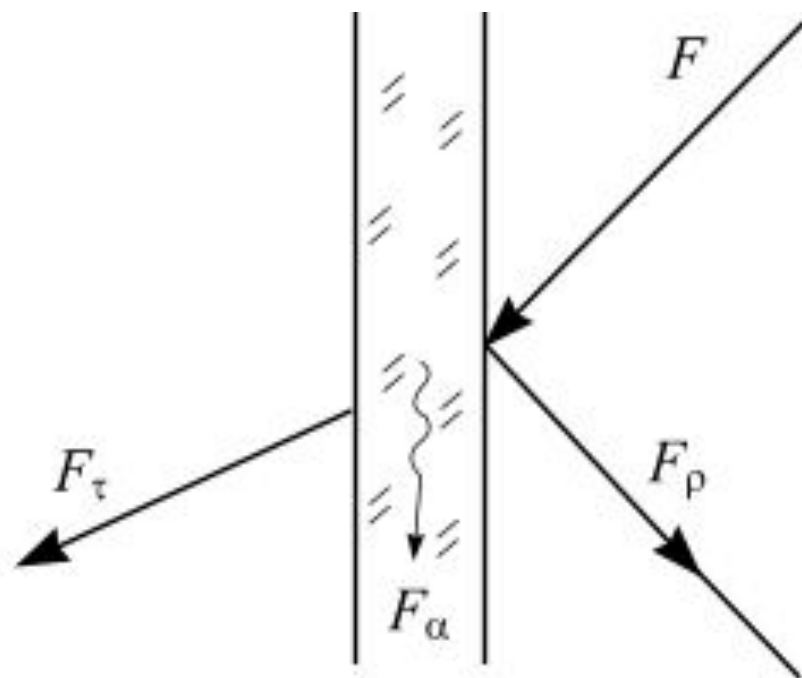


Рис. 1.7. Распределение светового потока при взаимодействии с телом

$F$  - 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:

$$\tau_0 = \tau_1 * \tau_2 * \dots * \tau_n$$

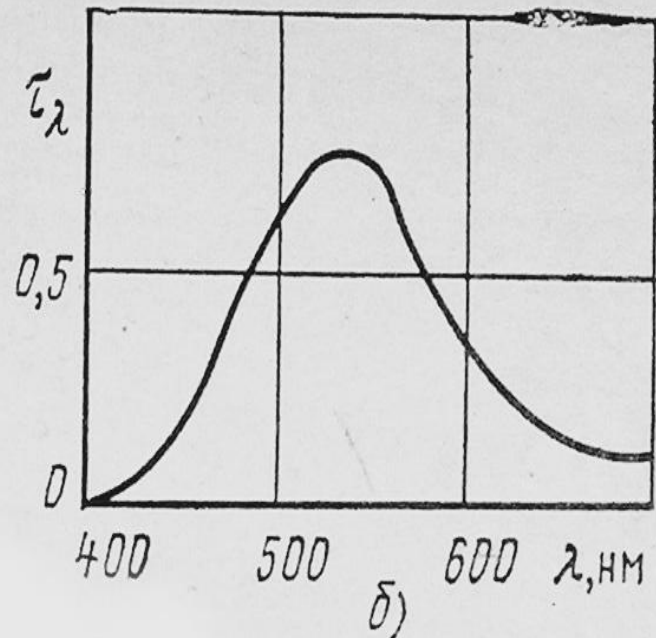
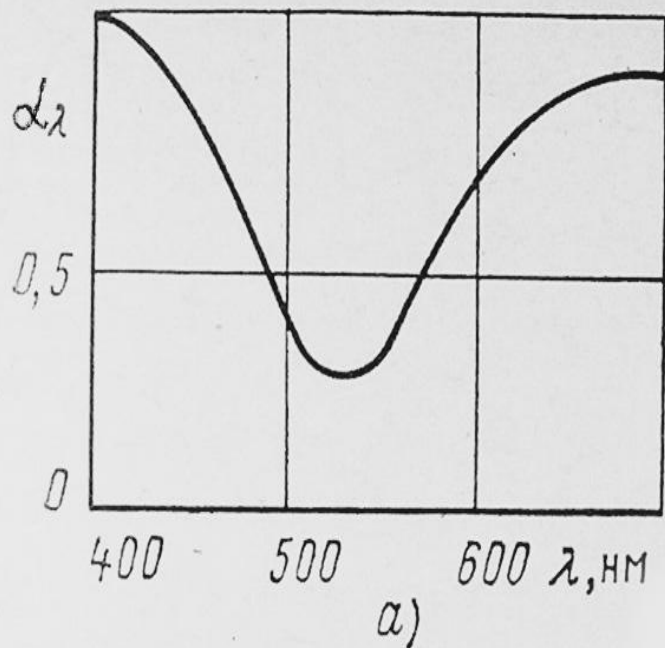
$$D_1 = \lg (1/\tau_1)$$

$$D_2 = \lg (1/\tau_2)$$

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

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

- 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)

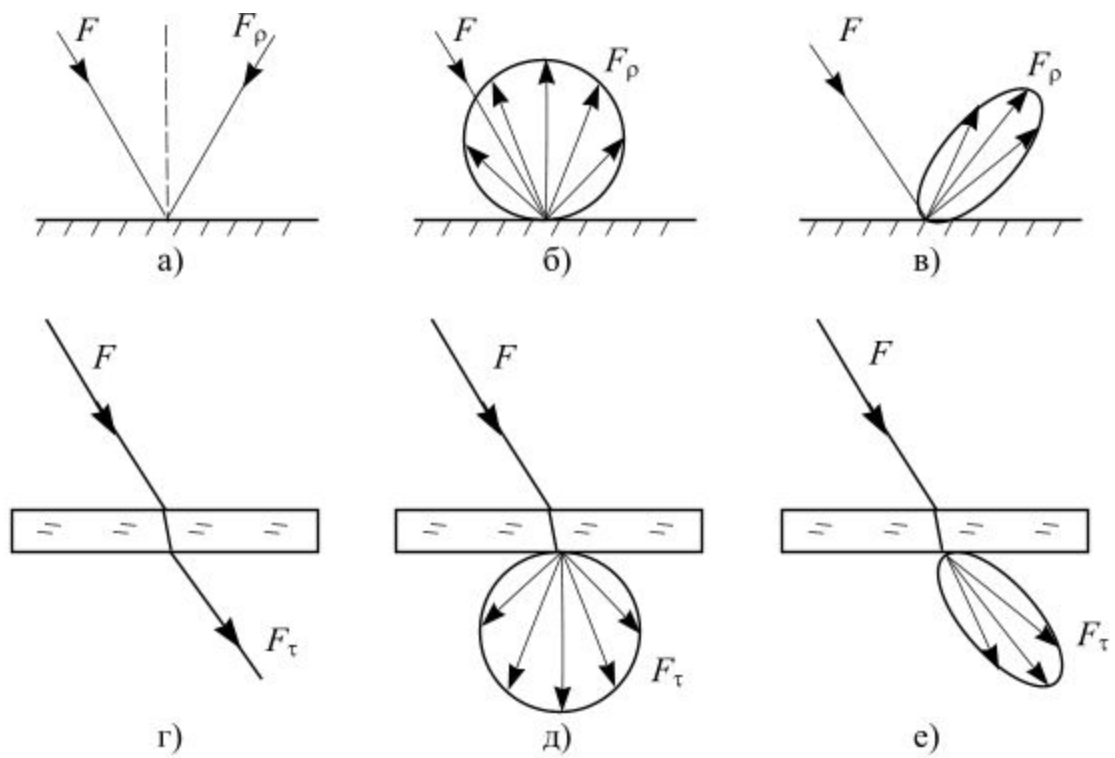


Рис. 1.8. Диаграммы сил света при различных видах отражения и пропускания:  
 отражение: а) направленное; б) рассеянное (диффузное);  
 в) направленно-рассеянное;  
 пропускание: г) направленное; д) рассеянное (диффузное);  
 е) направленно-рассеянное

## *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.

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



**ЗАКОН КОСИНУСОВ ДЛЯ СВЕТЯЩИХСЯ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ.  
(ИЗЛУЧЕНИЕ ПО ЗАКОНУ ЛАМБЕРТА).**

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

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

$$I_{\alpha} = I_o \cos a$$

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

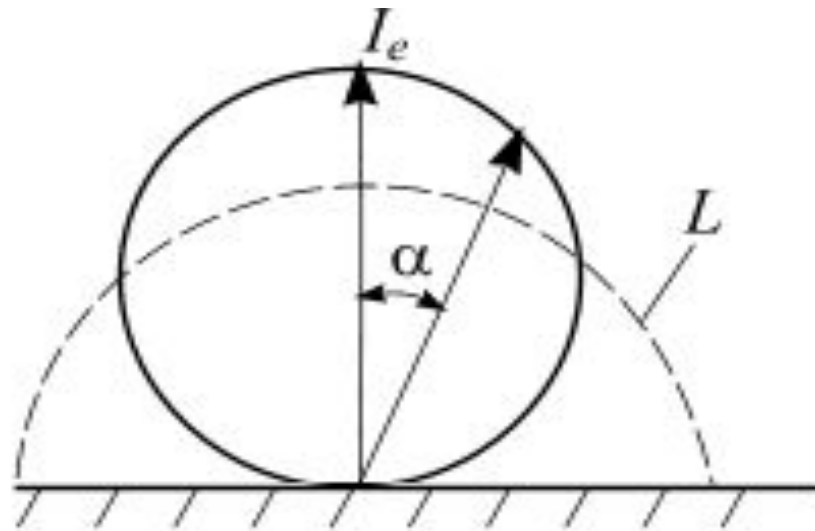


Рис. 1.5. Диаграмма пространственного распределения силы излучения поверхности, излучающей по закону Ламберта

## КОЭФФИЦИЕНТ ДИФFUЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

Коэффициент диффузного отражения или альbedo,

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

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:*

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

*Яркость:*

$$L = r E / \pi \epsilon$$

При диффузном отражении  $r = \rho$ ;

при диффузном пропускании  $r = \tau$  .

## 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 нит (нт) =  $1 \text{ кд/ м}^2$
- 1 ламб =  $1/\pi \text{ (кд/см}^2) = 0,318 \text{ сб} =$   
= 3180 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:

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм}$$

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

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

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