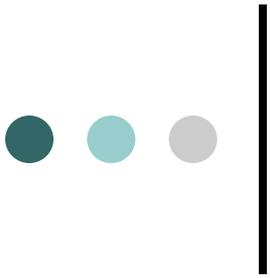
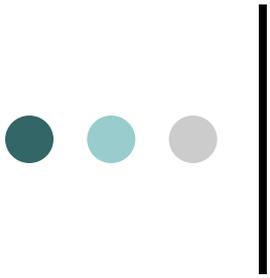




ОСНОВЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ОПТИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ



1. Природа и основные свойства оптического излучения

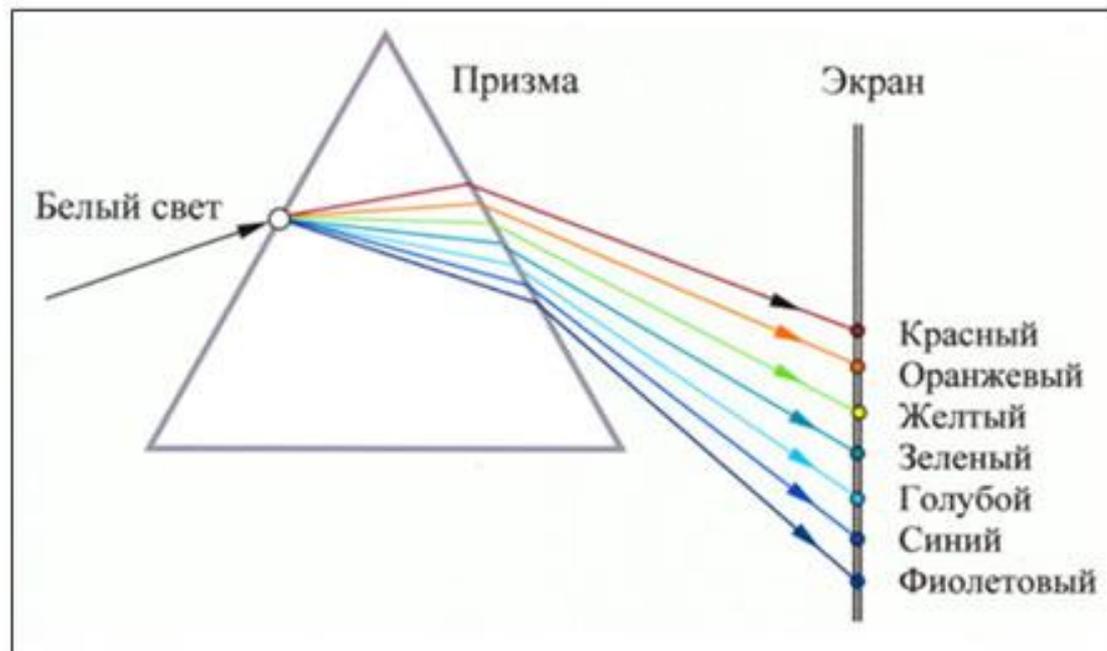
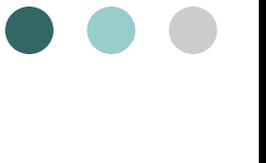


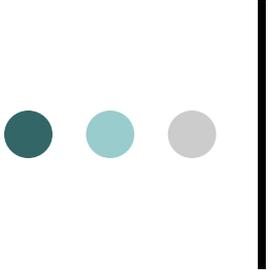
Оптическая область спектра:

λ 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

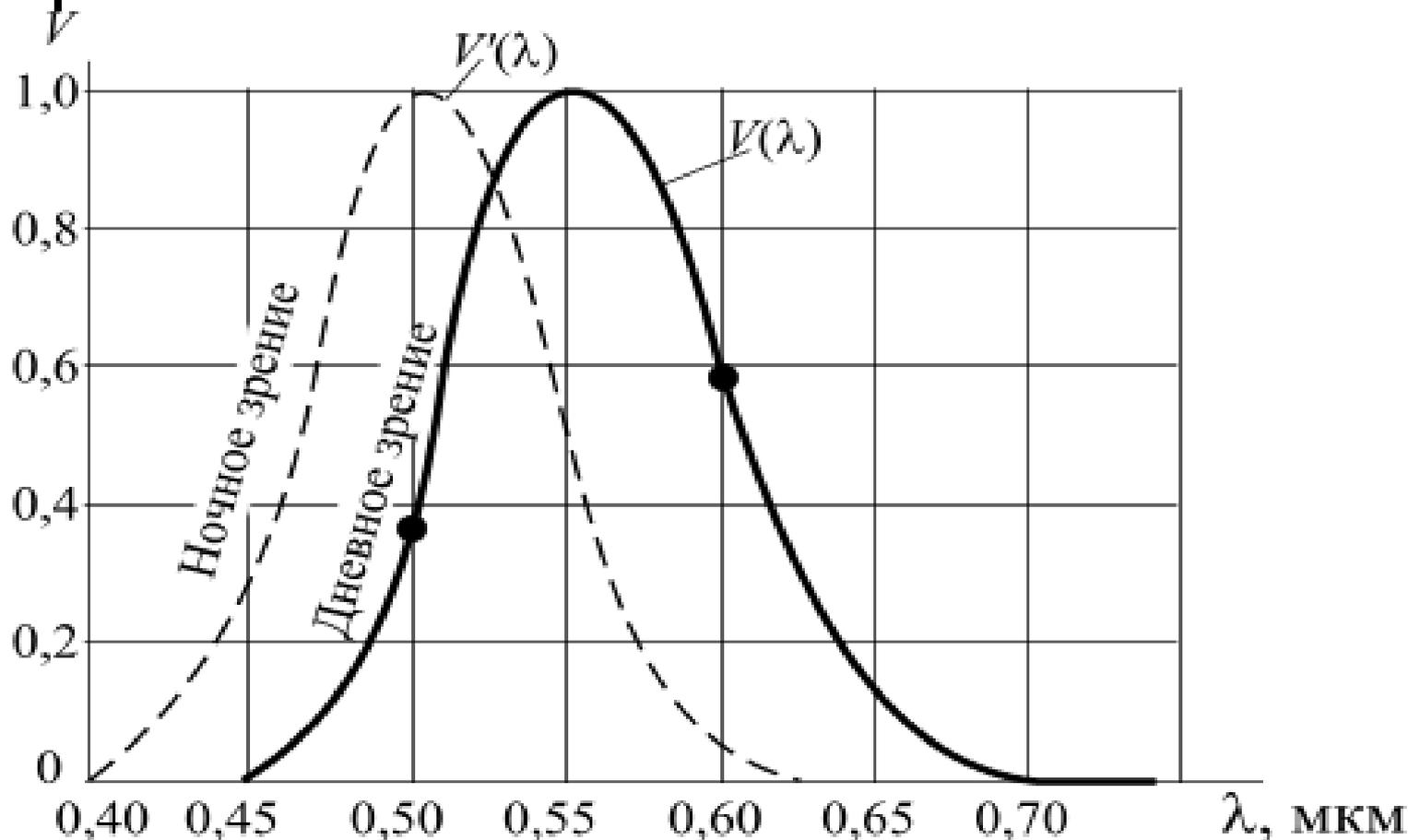
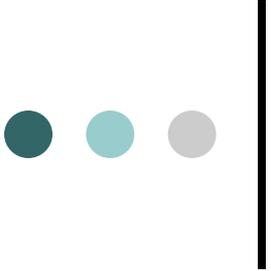
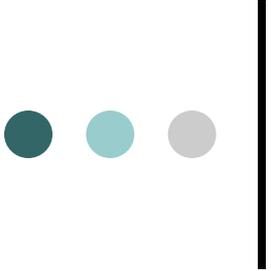


Рис. 1.1. Функция относительной спектральной чувствительности глаза (кривая видимости) в условиях дневного $V(\lambda)$ и ночного $V'(\lambda)$ зрения



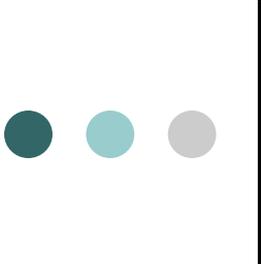
2. Единицы измерения света

- *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 .

Спектральная плотность потока излучения

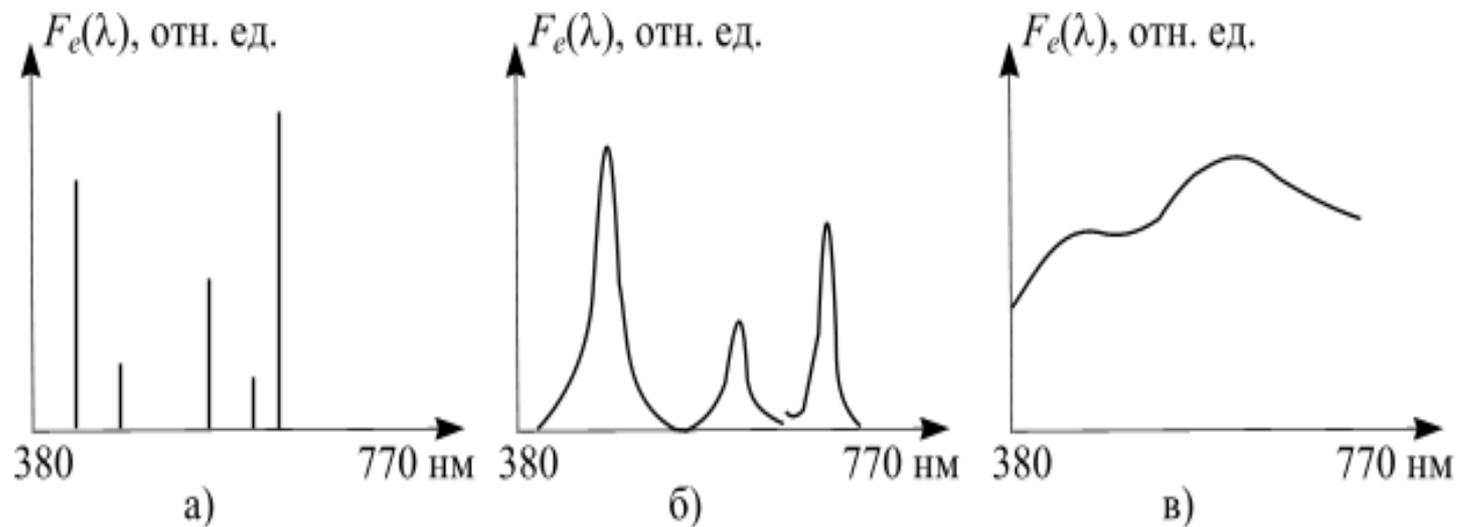
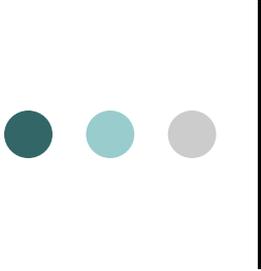


Рис. 1.2. Графическое представление спектрального распределения сложных излучений: а) линейчатый спектр; б) полосатый спектр; в) сплошной спектр



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) $I_{e\alpha}$

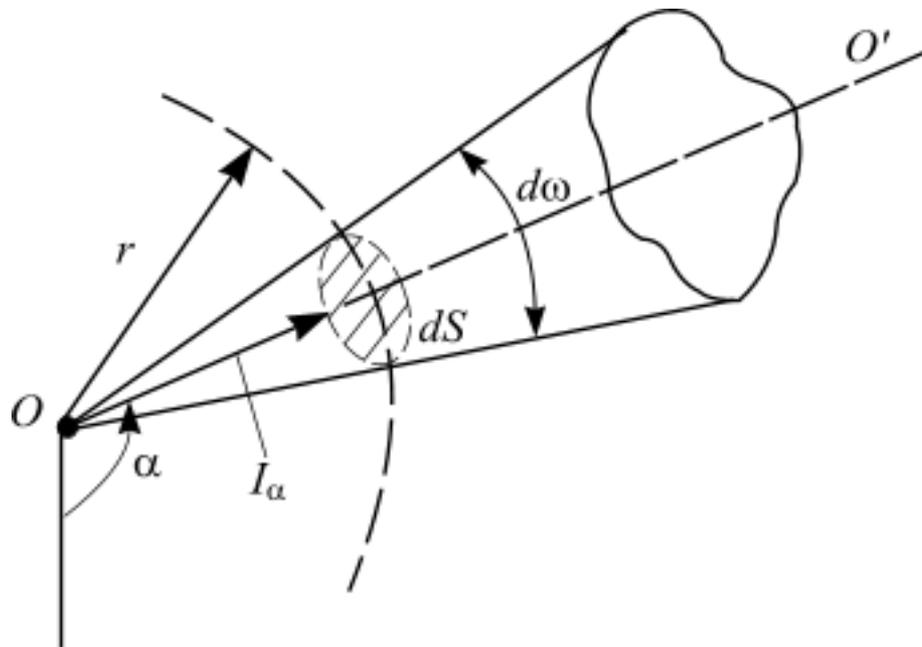
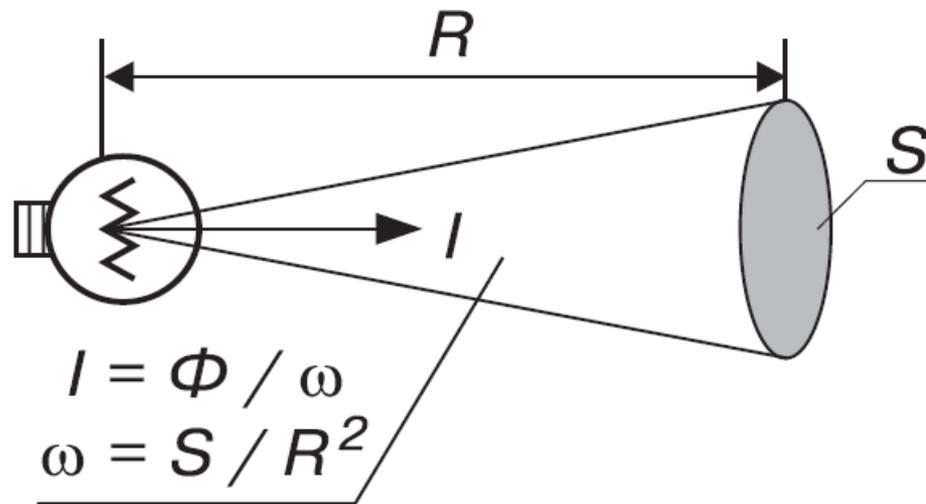


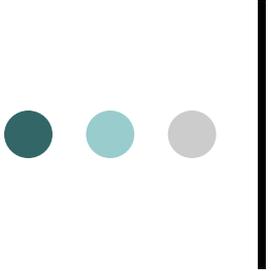
Рис. 1.3. К определению силы излучения

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



Телесный угол





Энергетическая светимость
(излучательность) M_e

$$M_e = dF_e / dS_{\text{и}}, \text{ Вт/м}^2$$

Энергетическая освещенность
(облученность) E_e

$$E_e = dF_e / dS_0, \text{ Вт/м}^2$$

Энергетическая яркость L_e

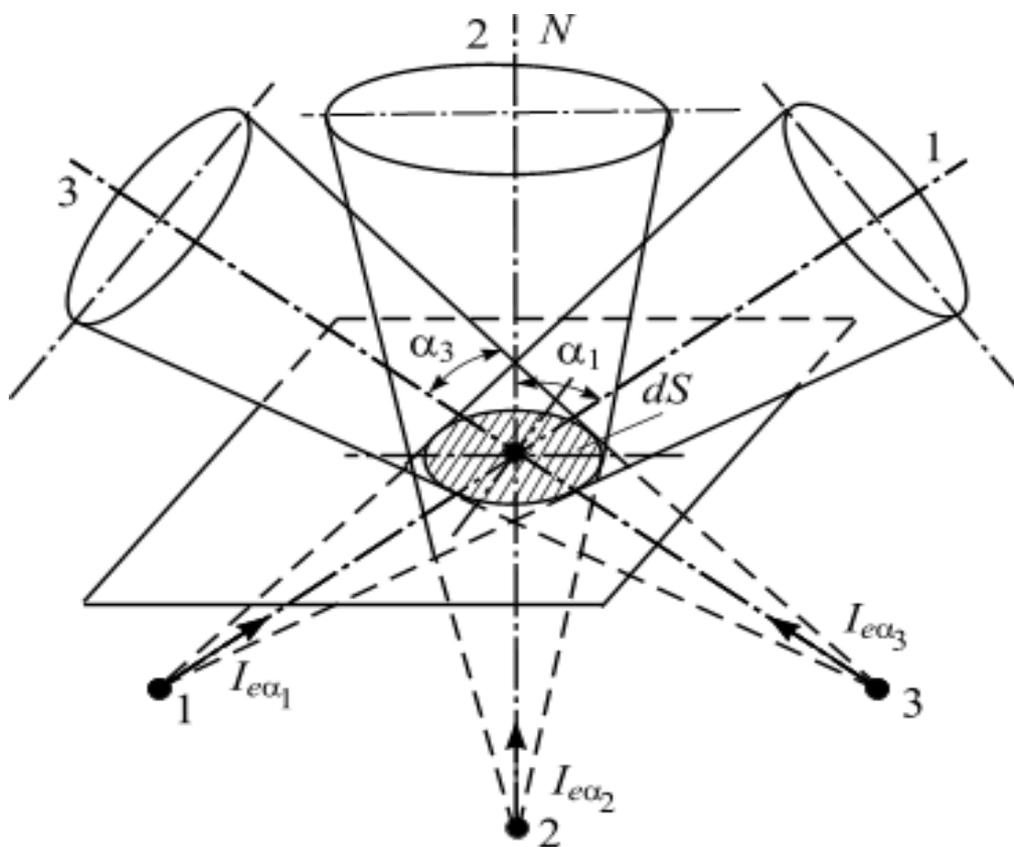
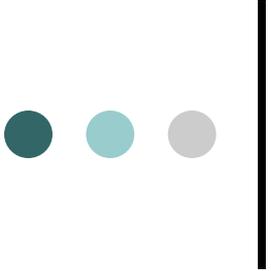
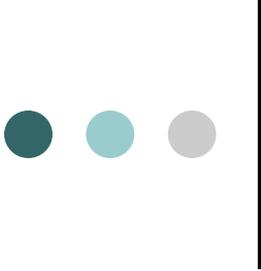


Рис. 1.4. К определению энергетической яркости

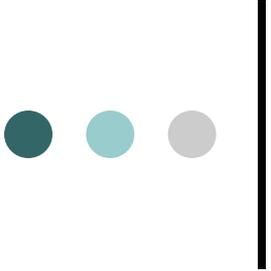

$$L_{e\alpha} = dF_e / (dS \cos\alpha d\omega), \text{ Вт}/(\text{ср}\cdot\text{м}^2)$$

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



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

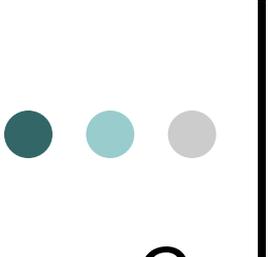
$$F_{\text{эф}}(\lambda) = F_e(\lambda) s(\lambda),$$

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

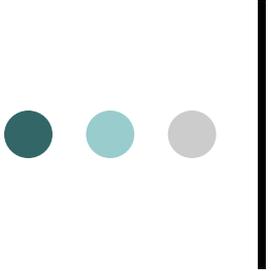
$s(\lambda)$ – спектральная чувствительность приемника к однородному излучению с длиной волны λ

для излучения со сплошным спектром

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

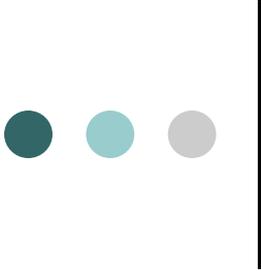


Система эффективных величин и единиц, в которых в качестве функции спектральной чувствительности приемника используется функция относительной спектральной чувствительности глаза $V(\lambda)$, называется фотометрической.



Фотометрические величины:

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



Световой поток F

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

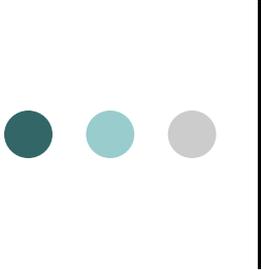
Световой поток $F(\lambda)$ на длине волны λ

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

где $F_e(\lambda)$ – поток излучения,

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

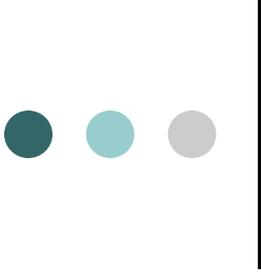
Km – максимальное значение световой эффективности глаза, т.е. световой поток, создаваемый излучением мощностью в 1 Вт при длине волны $\lambda=555$ нм



Световой поток сложного излучения

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

где λ_{\min} и λ_{\max} соответствуют границам видимого спектра



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

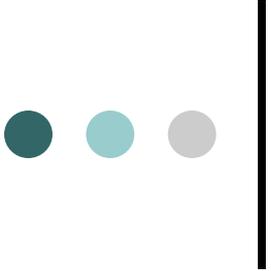
Один люмен равен световому потоку, излучаемому точечным источником света силой в 1 канделу (кд) внутри телесного угла в 1 ср.

Экспериментально установлено, что

$$1 \text{ лм} = 1/683 \text{ Вт}$$

что означает:

$$K_m = 683 \text{ лм/Вт}$$

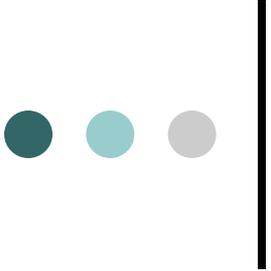


Сила света I_α

Сила света I_α представляет пространственную (угловую) плотность светового потока в направлении α :

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

За единицу силы света принята **кандела (кд)**. **Кандела** равна силе света, испускаемого в перпендикулярном направлении с поверхности полного излучателя площадью $1/(6 \cdot 10^5)$ м² при температуре затвердевания платины ($T = 2042$ К).

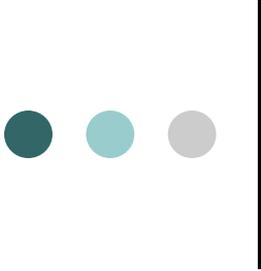


Светимость M

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^2 (лм/м²).



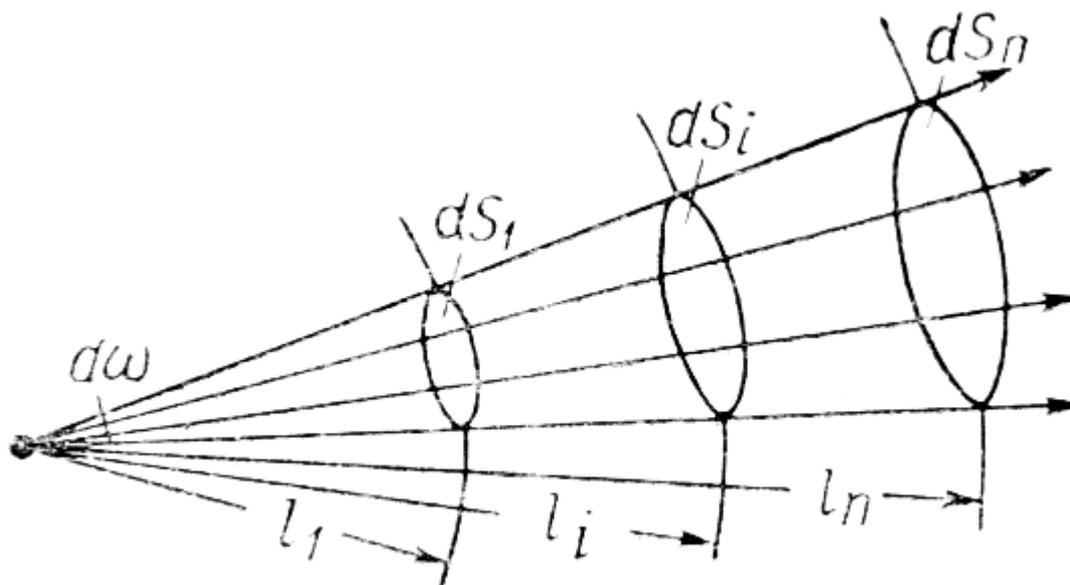
Освещенность E

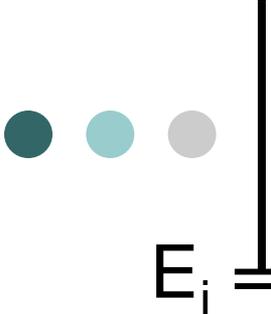
Освещенность E представляет собой величину, характеризующую поверхностную плотность падающего на некоторую плоскость светового потока:

$$E = dF / dS_0$$

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

Закон квадратов расстояний





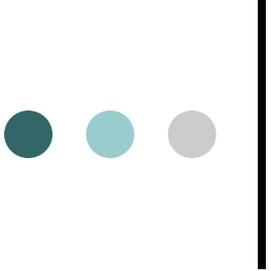
$$d\omega = dS / r_1^2 = \dots = dS_i / r_i^2 = \dots = dS_n / r_n^2$$

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

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

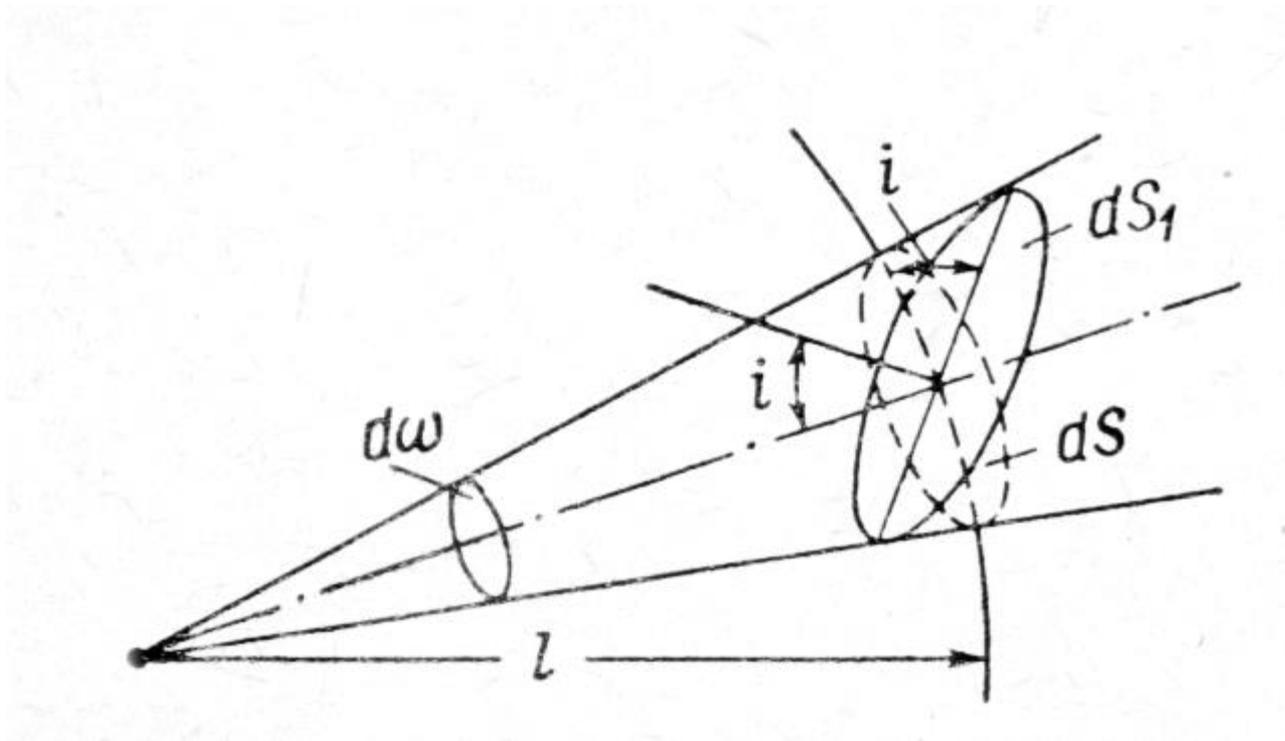
1. Пучок параллельных лучей:

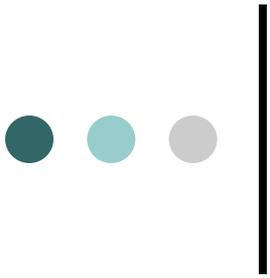
освещенность остается постоянной вдоль пучка и не зависит от расстояния;

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)





$$E = dF / dS_1$$

$$E_s = dF / dS$$

$$dS = dS_1 \cos i$$

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

Освещенность пропорциональна косинусу угла падения света на освещаемую поверхность

Яркость L

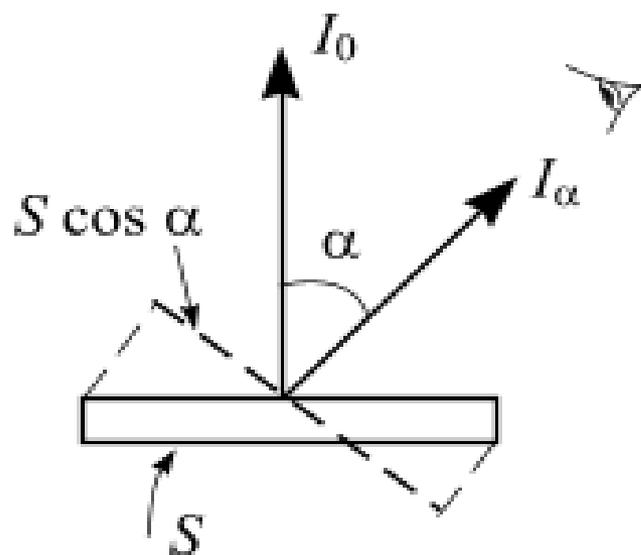
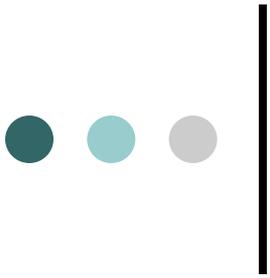


Рис. 1.6. К определению яркости



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

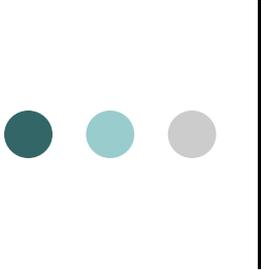
Яркость численно равна отношению силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную заданному направлению

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

Единицей яркости является 1 кд на 1 м² (кд/м²)

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 ²	Светимость	$M = dF / dS_{\text{и}}$	Лм/м ²
Энергетическая освещенность	$E_e = dF_e / dS_o$	Вт/м ²	Освещенность	$E = dF / dS_o$	Лк
Энергетическая яркость	$L_{e\alpha} = dI_{e\alpha} / dS \cos \alpha$	Вт/(ср·м ²)	Яркость	$L_\alpha = dI_\alpha / dS \cos \alpha$	Кд/м ²



3. Модификации излучения. Светотехнические характеристики тел и сред.

Модификации:

- Отражение
- Пропускание
- Поглощение
- Рассеяние

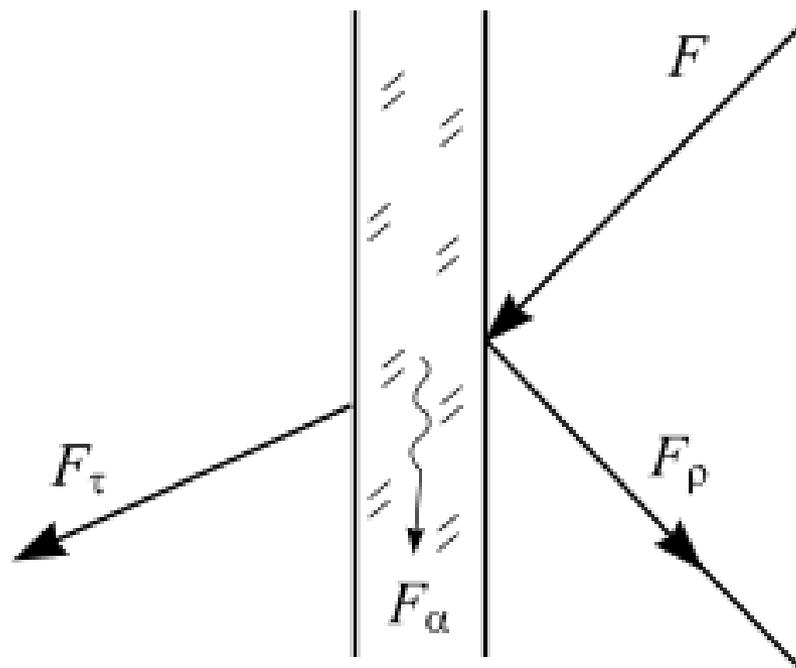


Рис. 1.7. Распределение светового потока при взаимодействии с телом



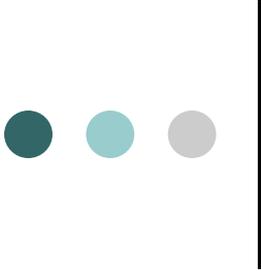
F - падающий световой поток:

F_{ρ} - отраженный

F_{τ} - пропущенный

F_{α} - поглощенный

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



Интегральные коэффициенты:

- отражения

$$\rho = F \rho / F$$

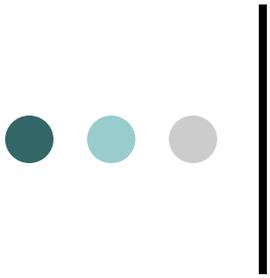
- пропускания

$$\tau = F \tau / F$$

- поглощения

$$\alpha = F \alpha / F$$

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



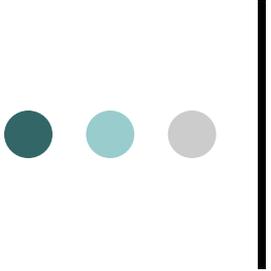
Зависимости $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ от длины волны излучения называются спектральными характеристиками отражения, пропускания и поглощения.

Для однородных излучений:

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

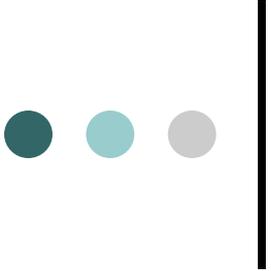
$$\tau(\lambda) = F_{\tau}(\lambda)/F(\lambda)$$

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



Для сложных излучений:

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



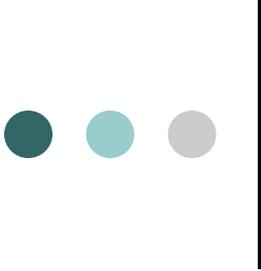
$D(\lambda)$ – оптическая плотность среды

Оптическая плотность - мера непрозрачности вещества, равная десятичному логарифму отношения потока излучения F , падающего на слой вещества, к потоку прошедшего излучения F_{τ} , 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:

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

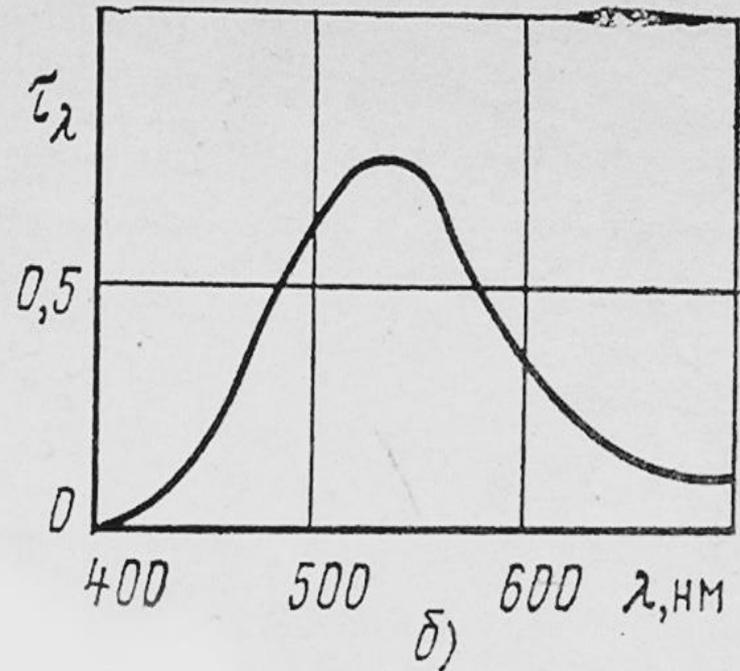
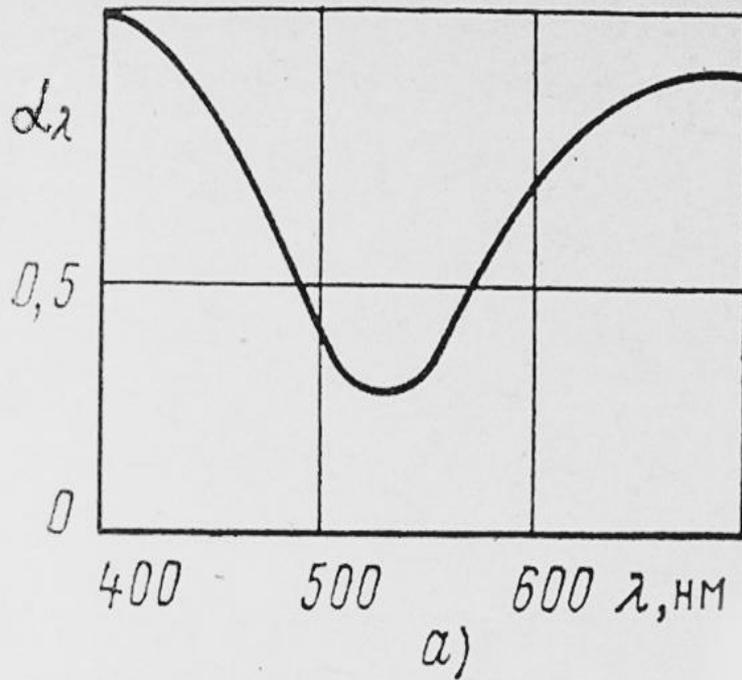
$$D_1 = \lg (1/T_1)$$

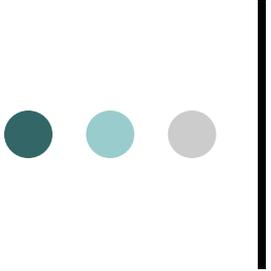
$$D_2 = \lg (1/T_2)$$

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

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

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)

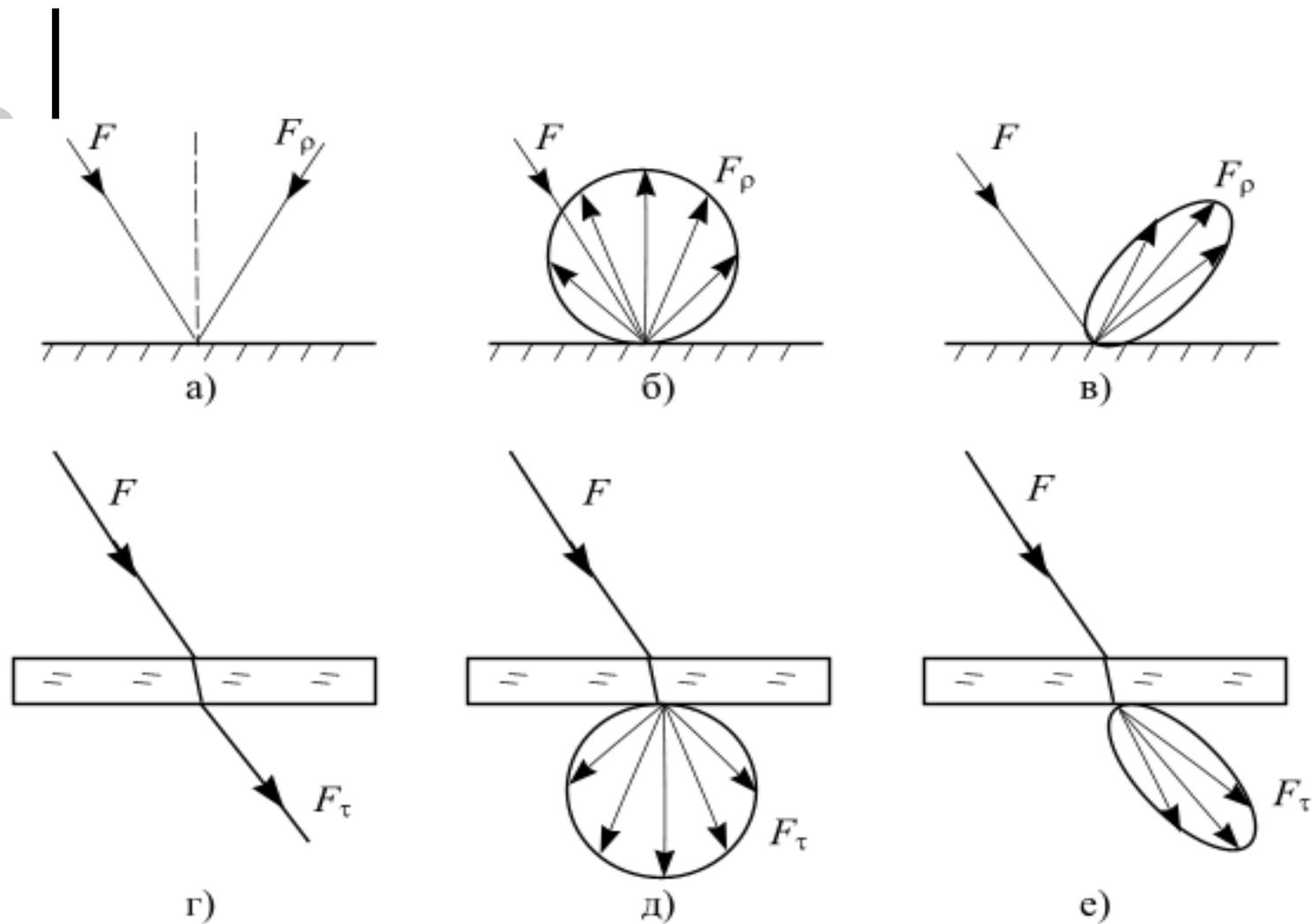
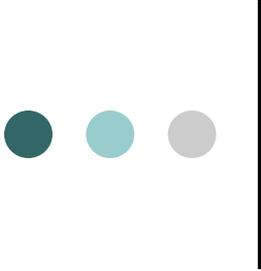


Рис. 1.8. Диаграммы сил света при различных видах отражения и пропускания:
 отражение: а) направленное; б) рассеянное (диффузное);
 в) направленно-рассеянное;
 пропускание: г) направленное; д) рассеянное (диффузное);
 е) направленно-рассеянное



Направленное отражение (пропускание)

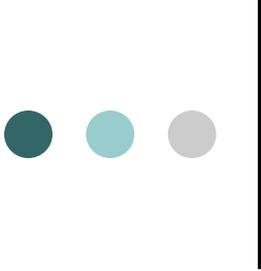
При направленном отражении угол падения равен углу отражения, а падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности в точке падения.

$$\alpha = -\alpha'$$



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

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



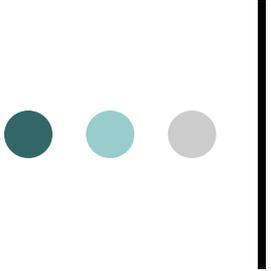
Для яркостей:

— при отражении

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

— при преломлении

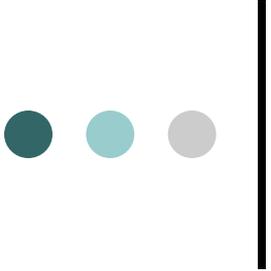
$$L_1 / n_1^2 = L_2 / n_2^2 = \dots = \text{const}$$



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).

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

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

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

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

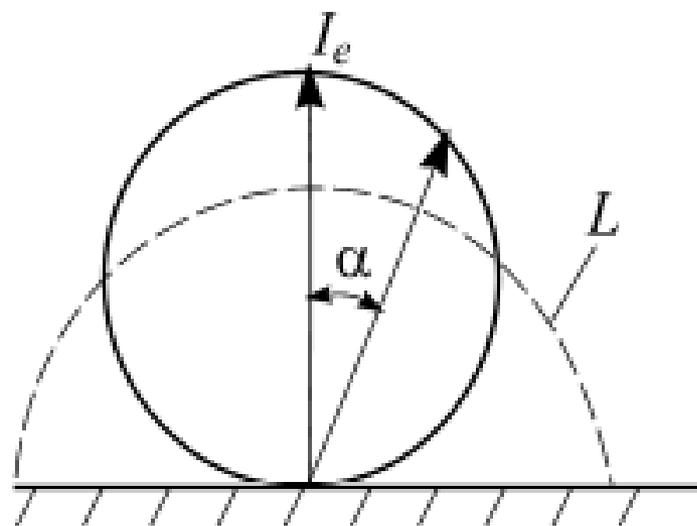
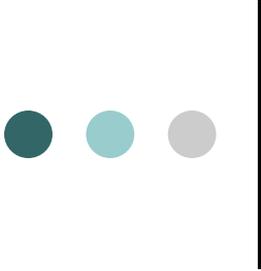


Рис. 1.5. Диаграмма пространственного распределения силы излучения поверхности, излучающей по закону Ламберта

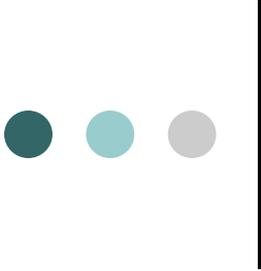


Коэффициент диффузного отражения

Коэффициент диффузного отражения или альbedo,

$$\rho_d = F_d / F,$$

где F_d – диффузно отражаемая часть потока.



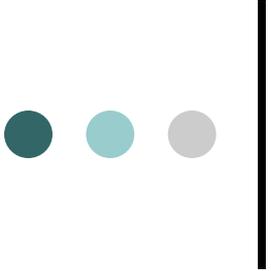
Направленно-рассеянное отражение (пропускание)

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:

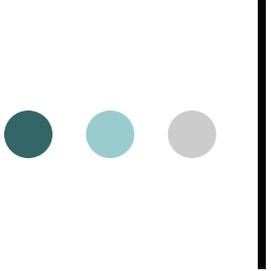
$$M = \rho E \quad (\text{или } M = \tau E)$$

Яркость:

$$L = r E / \pi$$

При диффузном отражении $r = \rho$;

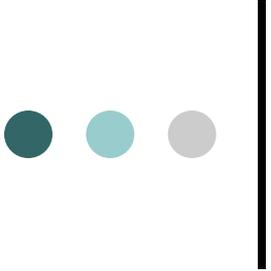
при диффузном пропускании $r = \tau$.



Нестандартные фотометрические единицы.

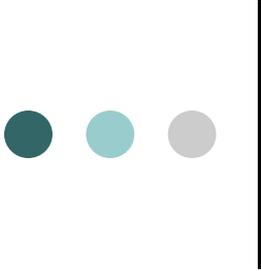
Нестандартные единицы освещенности

- 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} сб
- 1 децимиллистильб (дмсб) = $10^{-4} \text{ сб} =$
= 1 нит (нт) = 1 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 мламб
= 10,76 асб = 3,425 нт

Единицы длины и площади:

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм}$$

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

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

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