

Основы светотехники

Практические занятия

Осенний семестр 2017 г.

Излучение – процесс переноса энергии от излучающего тела к поглощающему

Излучение – процесс переноса энергии от излучающего тела к поглощающему

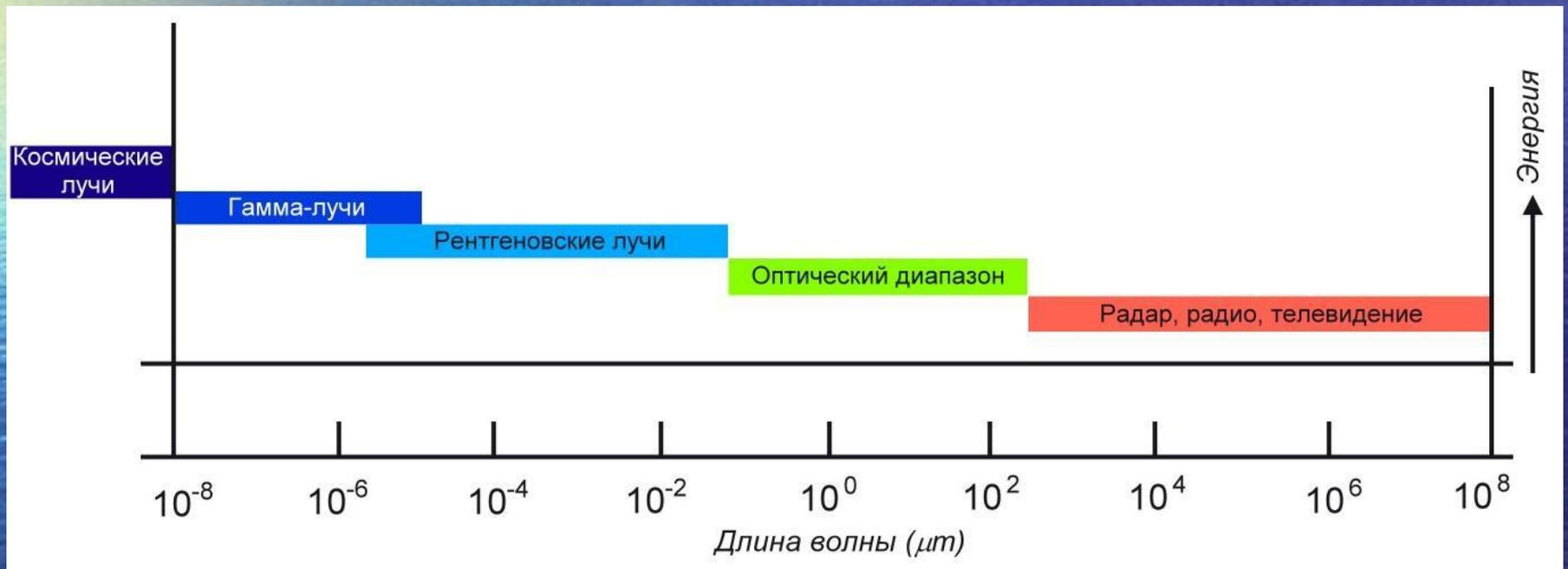
Энергия – количественная мера движения материи

Излучение – процесс переноса энергии от излучающего тела к поглощающему

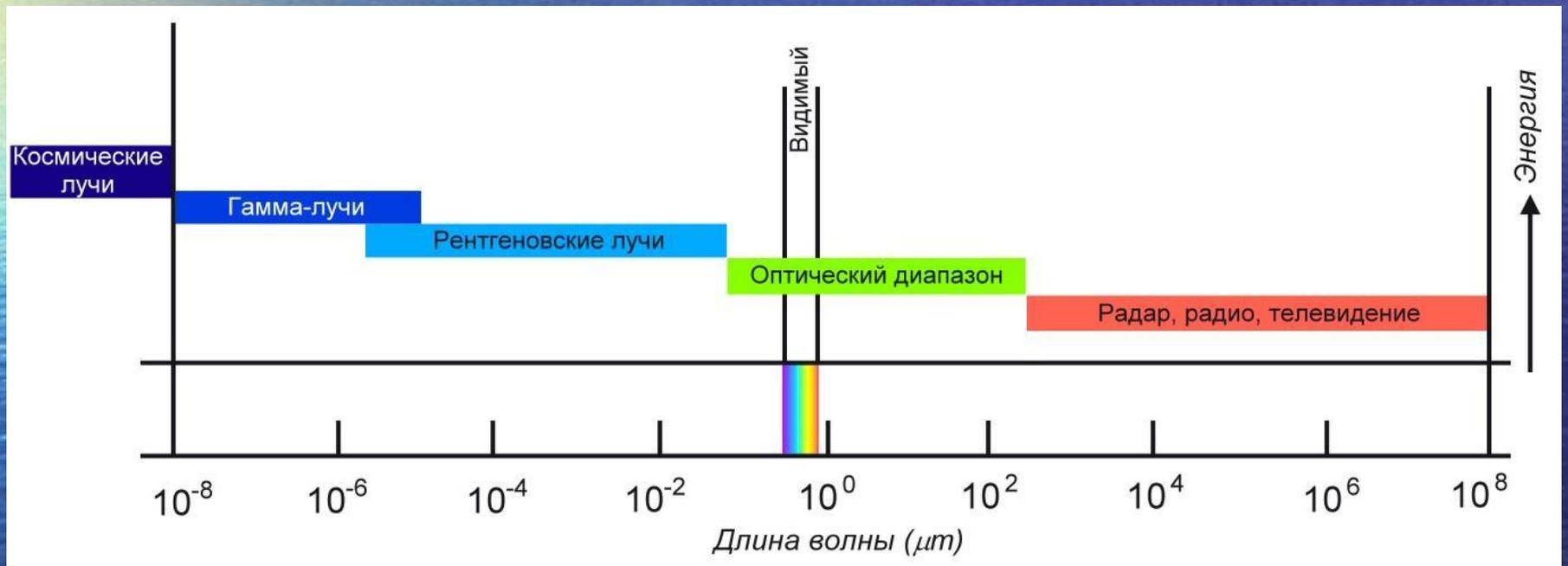
Энергия – количественная мера движения материи

Материя излучения – материя особой формы, отличающаяся от вещества тем, что её масса покоя равна нулю

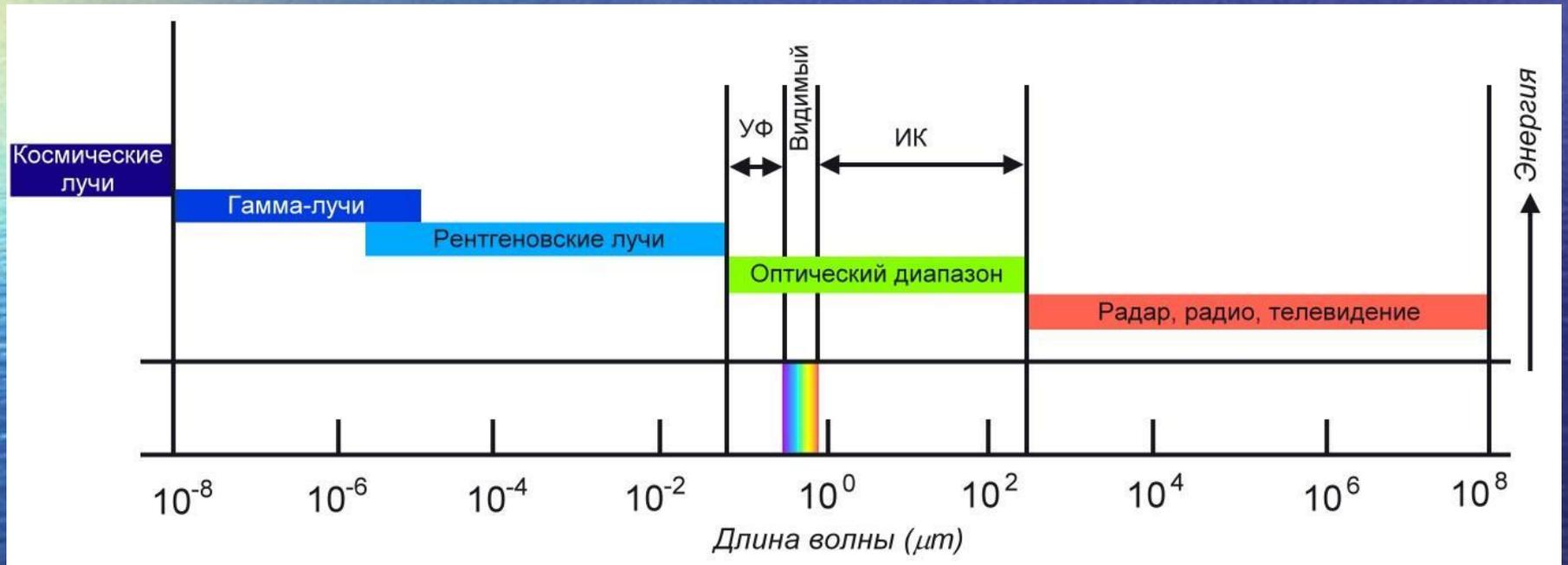
Пространство электромагнитных излучений



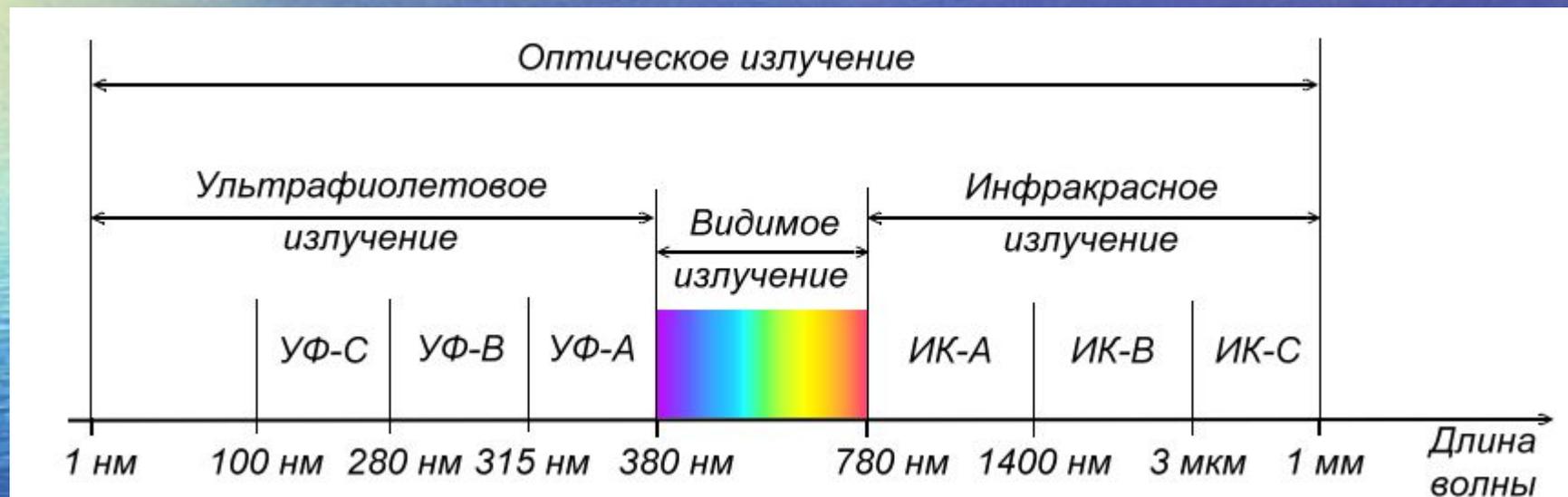
Пространство электромагнитных излучений



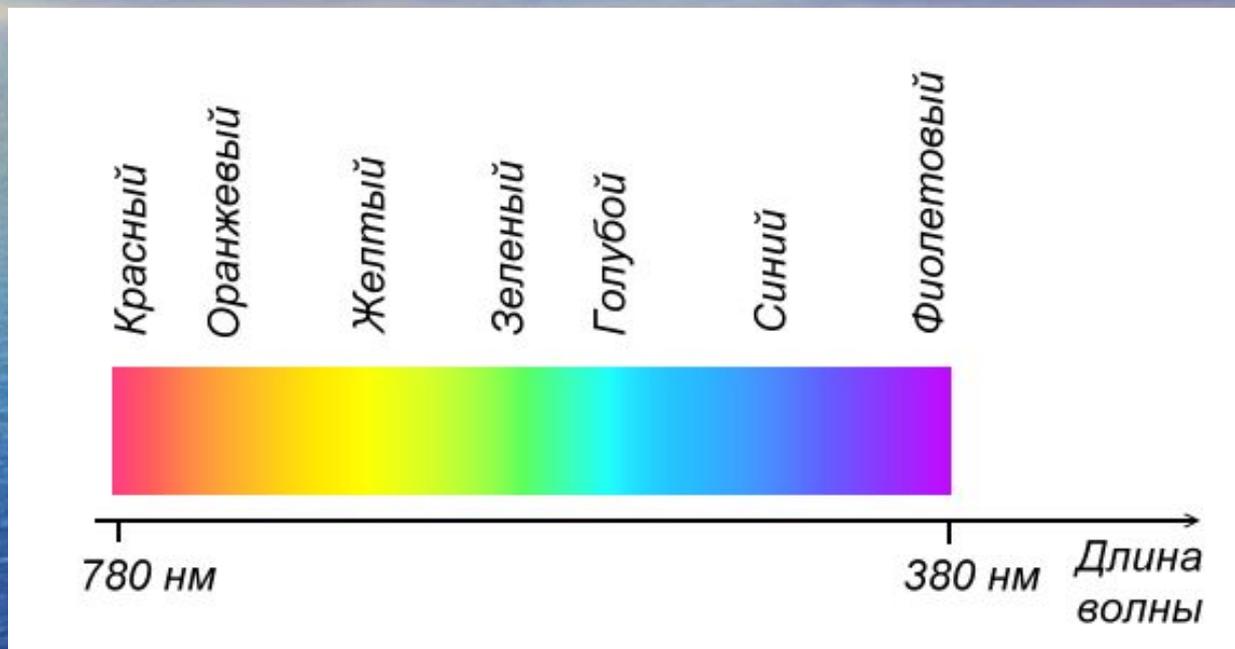
Пространство электромагнитных излучений



Излучения оптического диапазона



Видимое излучение (видимый свет)



Видимое излучение – оптическое излучение, непосредственно вызывающее зрительное ощущение

Квантовые свойства излучения

Квант энергии (энергия фотона) – минимальная порция энергии монохроматического излучения

$$Q_{\text{эф}} = h\nu$$

Квантовые свойства излучения

Квант энергии (энергия фотона) – минимальная порция энергии монохроматического излучения

$$Q_{\text{эф}} = h\nu$$

Импульс фотона $p_{\text{ф}} = h\nu/c$

Масса фотона $m_{\text{ф}} = h\nu/c^2$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Энергетические характеристики излучения

- *Энергия излучения* – его количественная мера

$$Q_e \text{ [Дж]}$$

Дополнительная единица измерения – электрон-вольт [эВ]

$$1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$$

Энергетические характеристики излучения

- *Поток излучения (лучистый поток)* – мощность переноса энергии излучения (энергия, переносимая излучением в единицу времени)

$$\Phi_e \text{ [Вт]}$$

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad \Phi_{e, \text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt \quad Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt$$

Энергетические характеристики излучения

- *Поток излучения (лучистый поток)* – мощность переноса энергии излучения (энергия, переносимая излучением в единицу времени)

$$\Phi_e \text{ [Вт]}$$

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad \Phi_{e, \text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt \quad Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt$$

Поток излучения характеризуется распределением:

Энергетические характеристики излучения

- *Поток излучения (лучистый поток)* – мощность переноса энергии излучения (энергия, переносимая излучением в единицу времени)

$$\Phi_e \text{ [Вт]}$$

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad \Phi_{e, \text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt \quad Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt$$

Поток излучения характеризуется распределением:

- в пространстве

Энергетические характеристики излучения

- *Поток излучения (лучистый поток)* – мощность переноса энергии излучения (энергия, переносимая излучением в единицу времени)

$$\Phi_e \text{ [Вт]}$$

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad \Phi_{e, \text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt \quad Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt$$

Поток излучения характеризуется распределением:

- в пространстве
- во времени

Энергетические характеристики излучения

- *Поток излучения (лучистый поток)* – мощность переноса энергии излучения (энергия, переносимая излучением в единицу времени)

$$\Phi_e \text{ [Вт]}$$

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad \Phi_{e, \text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt \quad Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt$$

Поток излучения характеризуется распределением:

- в пространстве
- во времени
- по спектру

Энергетические характеристики излучения

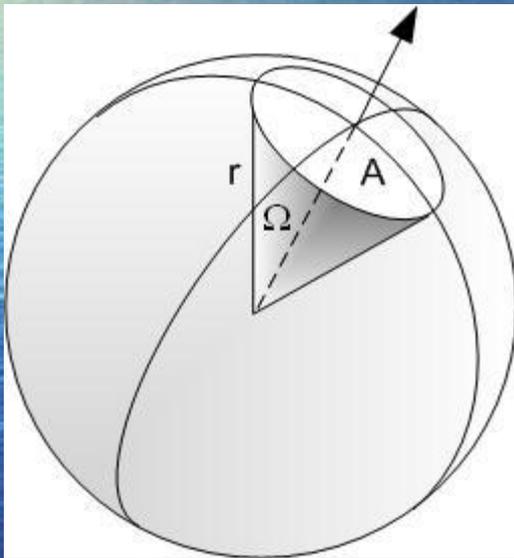
- *Сила излучения* – пространственная плотность потока излучения

$$I_e \text{ [Вт/ср]}$$

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$$

Телесный угол – часть пространства, ограниченная конической поверхностью с вершиной в данной точке

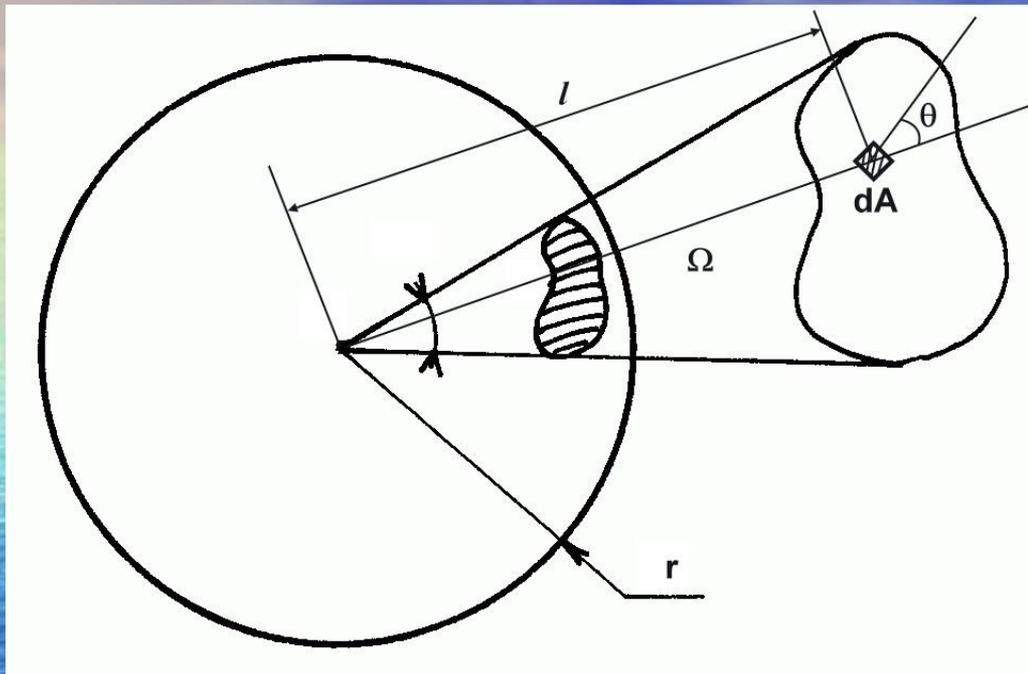
Ω [ср]



Телесный угол определяется отношением площади сферической поверхности, заключённой внутри конуса с вершиной в центре сферы, к квадрату радиуса этой сферы

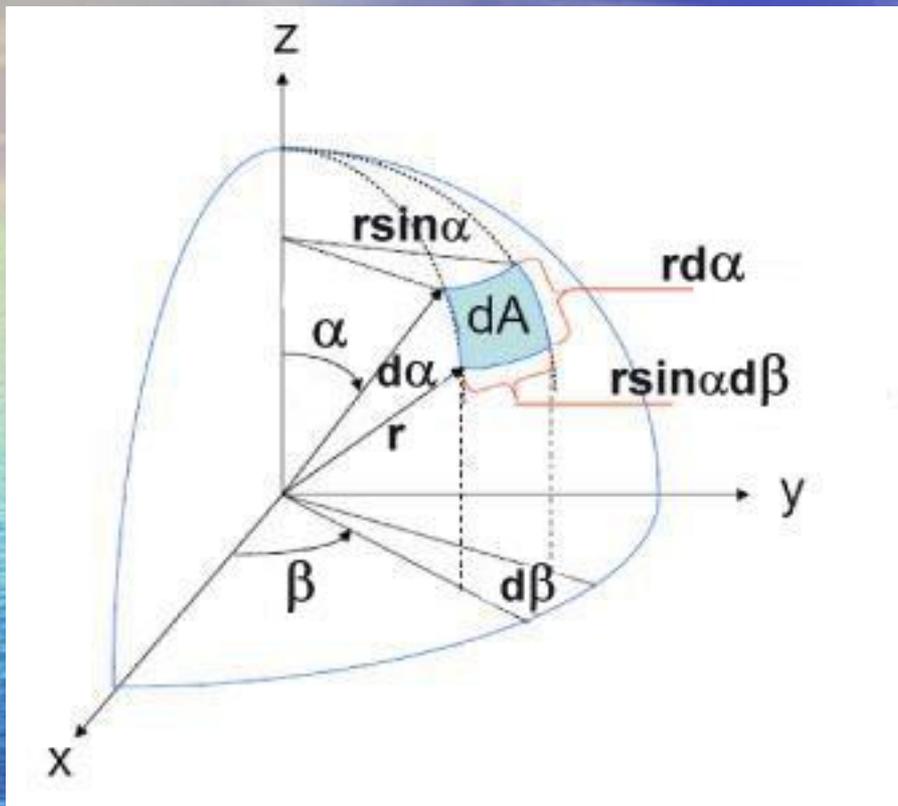
$$\Omega = \frac{A_{сф}}{r^2}$$

Для произвольной (несферической) поверхности



$$\Omega = \int_{(A)} \frac{\cos \theta}{l^2} dA$$

Расчёт телесного угла



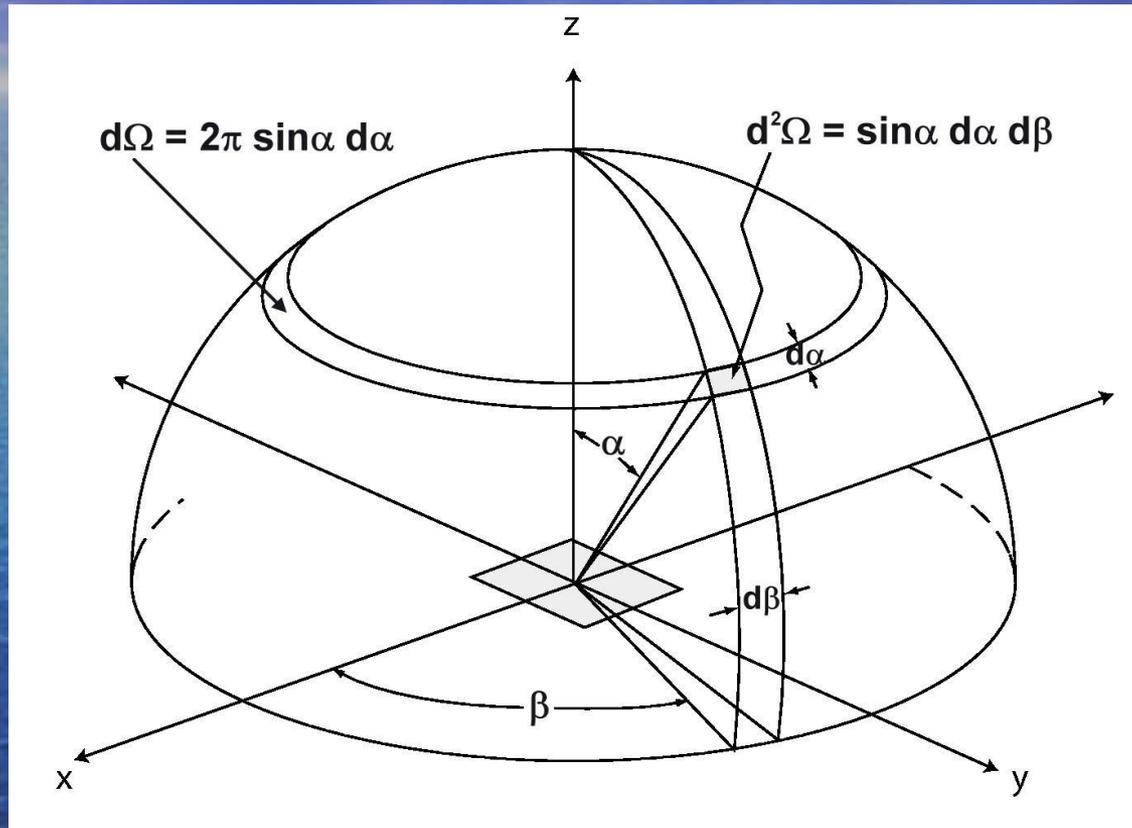
$$d^2\Omega = \sin \alpha \cdot d\alpha \cdot d\beta$$

$$\Omega = \int_{(\alpha)} \int_{(\beta)} \sin \alpha d\alpha d\beta$$

Полный телесный угол,
охватывающий всё
пространство, равен

4π стерадиан

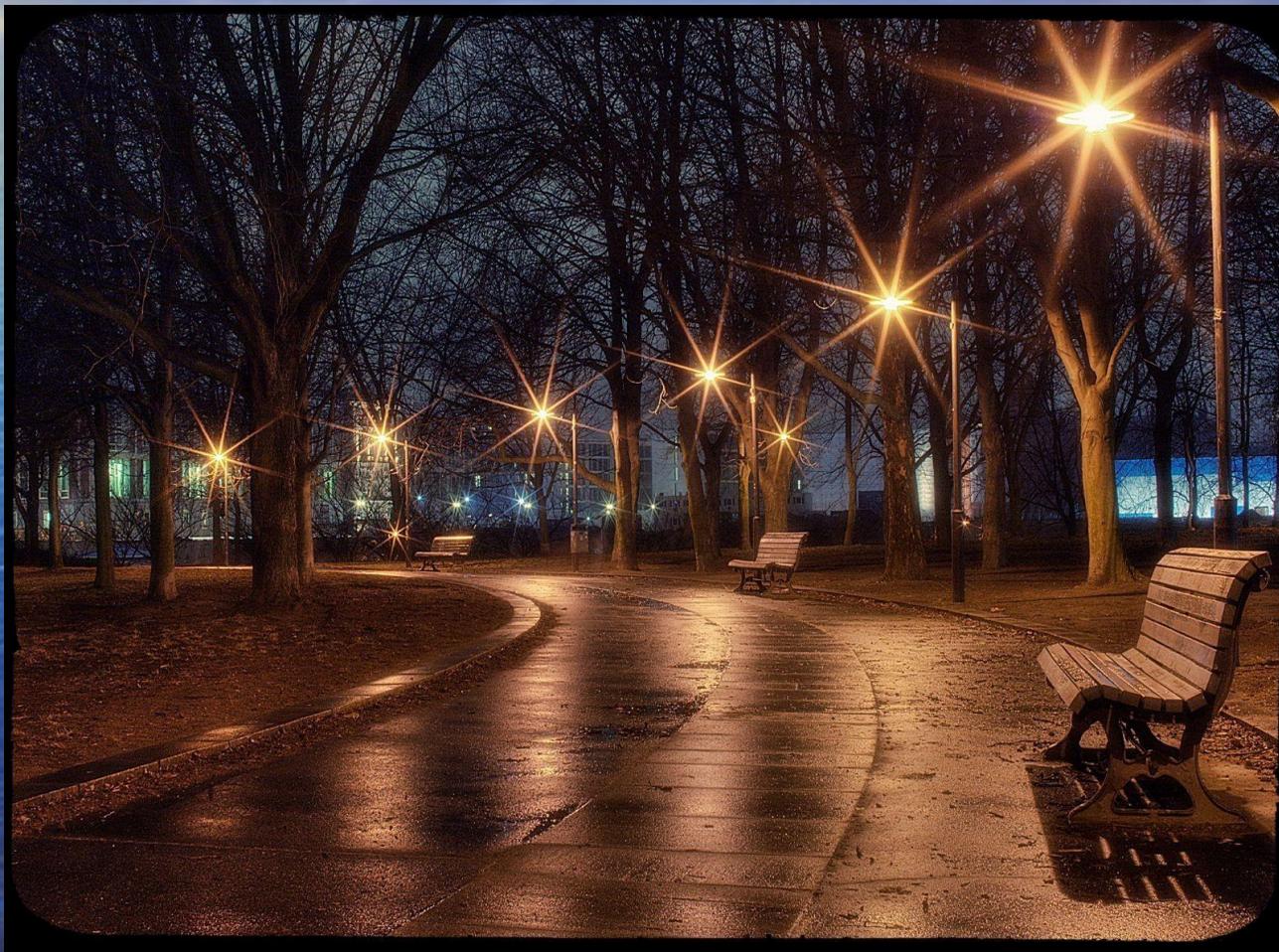
Зональный телесный угол – часть пространства, заключённая между двумя круглыми коническими поверхностями с общей осью



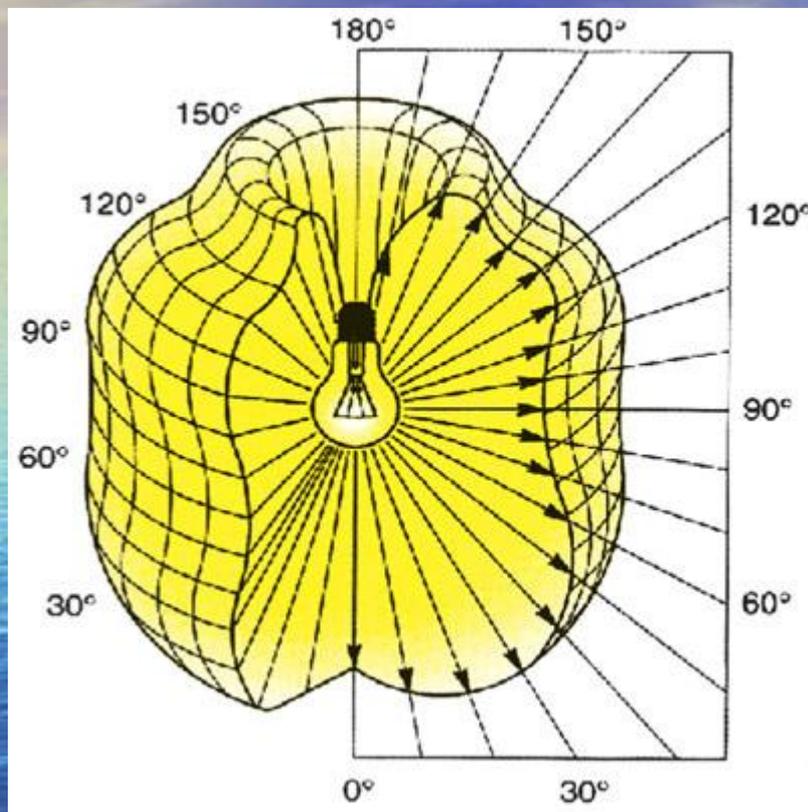
$$d\Omega = \int_{\beta=0}^{\beta=2\pi} \sin\alpha d\alpha d\beta = 2\pi \sin\alpha d\alpha$$

Точечный источник излучения –

излучатель, размеры которого намного меньше расстояния от него до данной точки



Распределение силы излучения в пространстве



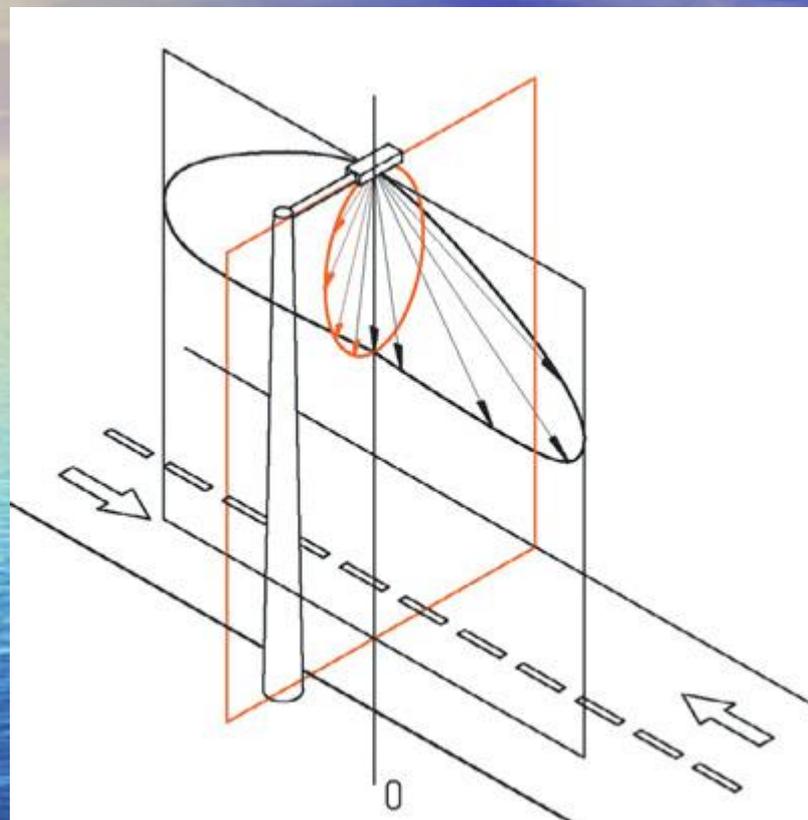
Сила излучения реальных источников зависит от направления в пространстве, задаваемого углами α , β

$$I_{e\alpha\beta} = \frac{d\Phi_e}{d\Omega_{\alpha\beta}}$$

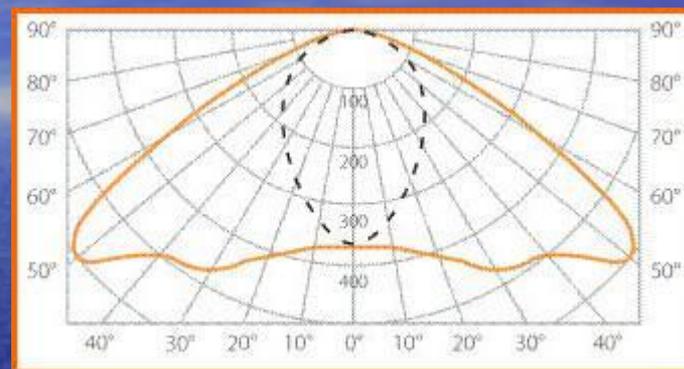
$$\Phi_e = \int_{4\pi} I_e(\alpha, \beta) d\Omega$$

Фотометрическое тело – часть пространства, содержащая вершины радиус-векторов силы излучения по различным направлениям $I_e(\alpha, \beta)$

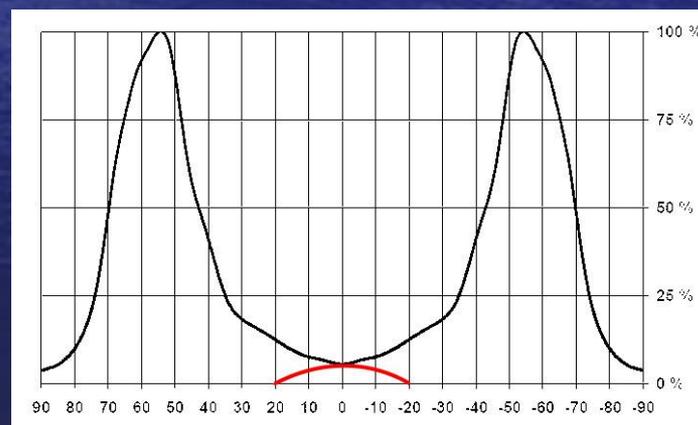
Кривая силы излучения



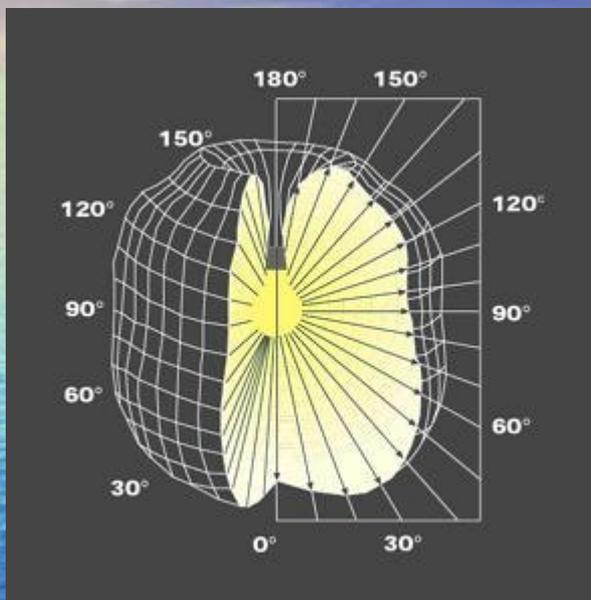
В полярных координатах



В декартовых координатах



Круглосимметричный источник – излучатель, обладающий одинаковыми значениями силы излучения $I_e(\alpha)$ для всех направлений, равноудалённых от его оси



Энергетические характеристики излучения

- *Энергетическая светимость* –
поверхностная плотность потока излучения

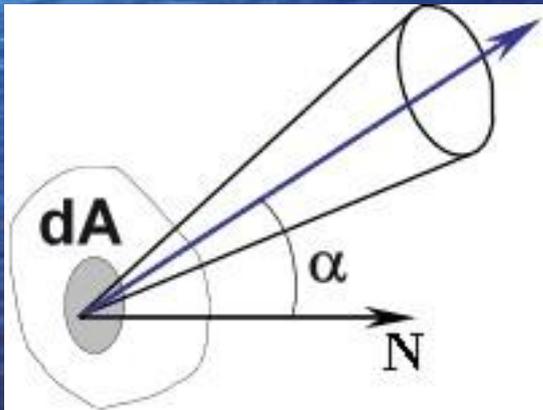
$$M_e \text{ [Вт/м}^2\text{]}$$

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA_u} \quad M_{e,cp} = \frac{\Phi_e}{A_u}$$

Энергетические характеристики излучения

- *Энергетическая яркость* – сила излучения с единицы площади проекции поверхности излучателя на плоскость, перпендикулярную направлению излучения

$$L_e \text{ [Вт/м}^2 \cdot \text{ср]}$$



$$L_{e\alpha\beta} = \frac{dI_{e\alpha\beta}}{\cos \alpha dA} = \frac{d^2\Phi_{e\alpha\beta}}{\cos \alpha dA d\Omega_{\alpha\beta}}$$

Равнояркие излучатели – источники излучения, яркость которых не зависит от направления наблюдения

$$L_e = \frac{I_{e\alpha\beta}}{A_{\alpha\beta}}$$

Сила излучения элементарного участка равнояркой поверхности

$$dI_{e\alpha\beta} = L_{e\alpha\beta} \cos \alpha dA = L_e \cos \alpha dA$$

Поток, излучаемый элементарным участком равнояркой поверхности

$$d\Phi_e = 2\pi L_e dA \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi/2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = \pi L_e dA$$

Для равнояркой поверхности конечных размеров

$$\Phi_e = \pi L_e A \quad L_e = \frac{M_e}{\pi} \quad M_e = \pi L_e$$

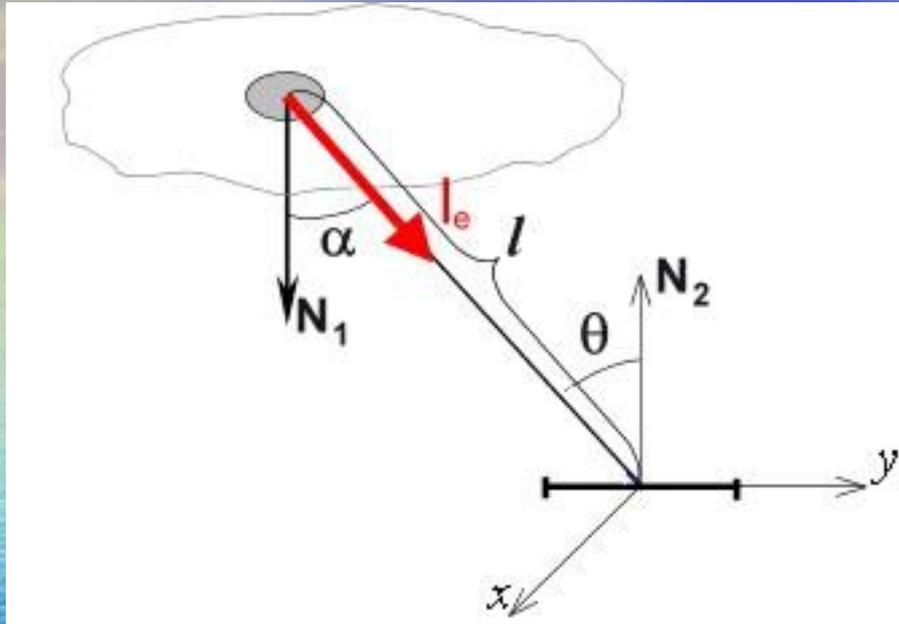
Энергетические характеристики излучения

- *Энергетическая освещённость (облучённость)* – плотность падающего потока излучения по облучаемой поверхности

$$E_e \text{ [Вт/м}^2\text{]}$$

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_o} \quad E_{e,cp} = \frac{\Phi_e}{A_o}$$

Закон квадрата расстояния



$$E_e = \frac{l_e}{l^2} \cos \theta$$

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA} = \frac{d\Phi_e}{l^2 d\Omega} = \frac{l_e}{l^2} \cos \theta$$

Энергетические характеристики излучения

- **Энергетическая экспозиция** – энергия излучения, упавшая на единицу площади облучаемой поверхности за определённое время

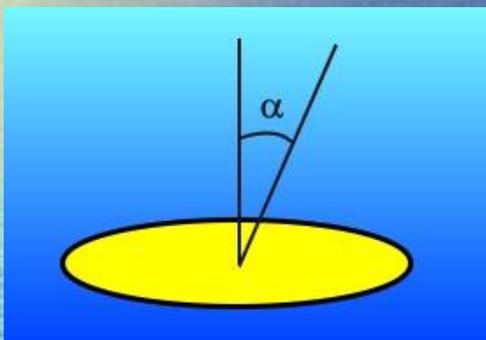
$$H_e \text{ [Дж/м}^2\text{]}$$

$$H_e = \frac{dQ_e}{dA_o} \quad H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e(t) dt$$

Если $E_e(t) = \text{const}$: $H_e = E_e t$

Стандартные равнояркие источники

- *Односторонний диск/плоскость*



$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_0 \cos \alpha = I_0 \cos \alpha$$

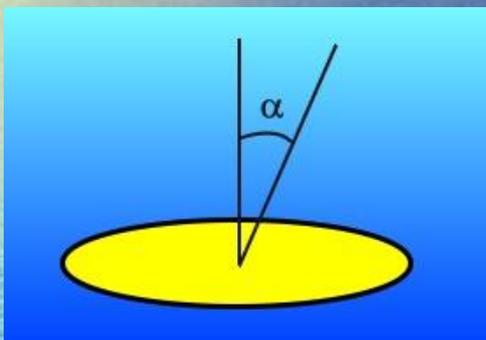
$$\Phi_{\Omega} = \int_{(\Omega)} I(\alpha) d\alpha = 2\pi \int_0^{\alpha_K} I(\alpha) \sin \alpha d\alpha =$$

$$= 2\pi I_0 \int_0^{\alpha_K} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = 2\pi I_0 \int_0^{\sin \alpha_K} \sin \alpha d(\sin \alpha) =$$

$$= \pi I_0 \sin^2 \alpha_K$$

Стандартные равнояркие источники

- *Односторонний диск/плоскость*



$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_0 \cos \alpha = I_0 \cos \alpha$$

$$\Phi_{\Omega} = \int_{(\Omega)} I(\alpha) d\alpha = 2\pi \int_0^{\alpha_K} I(\alpha) \sin \alpha d\alpha =$$

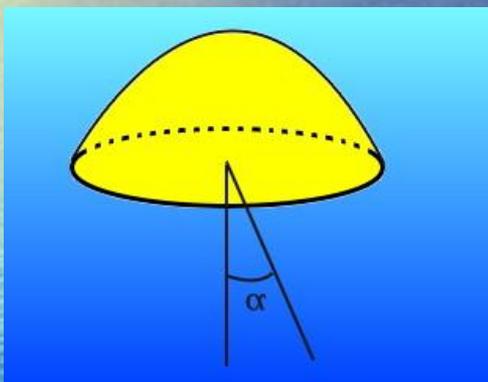
$$= 2\pi I_0 \int_0^{\alpha_K} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = 2\pi I_0 \int_0^{\sin \alpha_K} \sin \alpha d(\sin \alpha) =$$

$$= \pi I_0 \sin^2 \alpha_K$$

$$\Phi_{2\pi} = \pi I_0$$

Стандартные равнояркие источники

- Полусфера (внешняя поверхность)



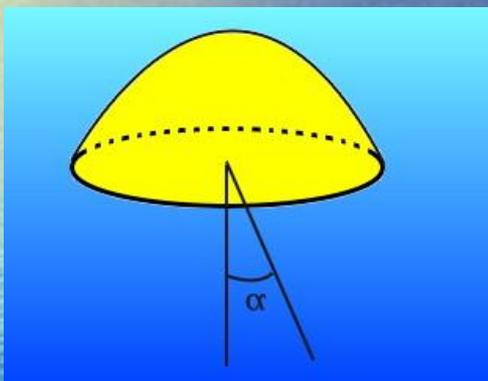
$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_{180} \frac{1 - \cos \alpha}{2} = I_{180} \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

$$\Phi_{\Omega} = \pi I_{180} \left[1 - \cos \alpha_{\kappa} - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha_{\kappa} \right]$$

$$\Phi_{4\pi} = 2\pi I_{180}$$

Стандартные равнояркие источники

- *Полусфера (внешняя поверхность)*



$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_{180} \frac{1 - \cos \alpha}{2} = I_{180} \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

$$\Phi_{\Omega} = \pi I_{180} \left[1 - \cos \alpha_{\kappa} - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha_{\kappa} \right]$$

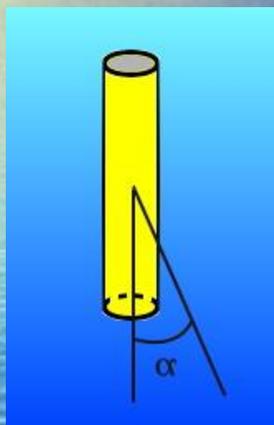
$$\Phi_{4\pi} = 2\pi I_{180}$$

- *Полушар (обе поверхности)* = полусфера (внешняя поверхность) + диск

$$\Phi_{4\pi} = 3\pi I_{0/180}$$

Стандартные равнояркие источники

- Цилиндр (боковая поверхность)



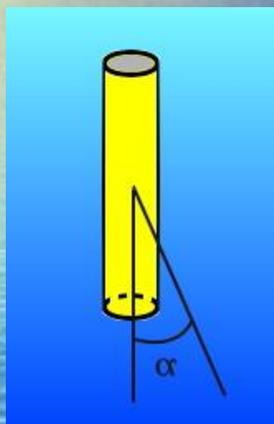
$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_{90} \sin \alpha = I_{90} \sin \alpha$$

$$\Phi_{\Omega} = \pi I_{90} \left[\alpha_K - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_K \right]$$

$$\Phi_{4\pi} = \pi^2 I_{90}$$

Стандартные равнояркие источники

- *Цилиндр (боковая поверхность)*



$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_{90} \sin \alpha = I_{90} \sin \alpha$$

$$\Phi_{\Omega} = \pi I_{90} \left[\alpha_k - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_k \right]$$

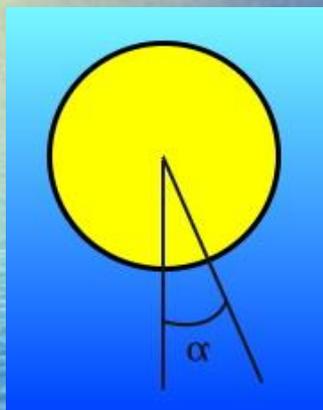
$$\Phi_{4\pi} = \pi^2 I_{90}$$

- *Цилиндр (вся поверхность)* = цилиндр (боковая поверхность) + 2 диска

$$\Phi_{4\pi} = \pi^2 I_{90} + 2\pi I_0$$

Стандартные равнояркие источники

- Шар



$$I_{\alpha} = LA_{\alpha} = LA_0 = I_0 = \text{const}$$

$$\Phi_{\Omega} = \int_{(\Omega)} I_0 d\Omega = I_0 \Omega$$

$$\Phi_{4\pi} = 4\pi I_0$$