



СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ.

Измерение энергетических величин, характеризующих излучение, называется **радиометрией**.

Измерение энергетических величин, характеризующих оптическое излучение, называется **оптической радиометрией**.

Измерение величин, характеризующих излучение по производимому им зрительному ощущению (в условиях, определяемых известными соглашениями), именуется **фотометрией**.

Оптическая радиометрия как область измерений охватывает, кроме фотометрии, и такие основные виды измерений, как колориметрия, спектрофотометрия и спектрорадиометрия излучения сложного спектрального состава, а также источников квазимонохроматического (светоизлучающие диоды) и монохроматическою (лазеры) излучений.

Колориметрией называется измерение цвета, основанное на свойствах глаза и выполняемое в соответствии с международными соглашениями.

Физические величины, характеризующие оптическое излучение, делятся на две системы — энергетическую и световую.

Поток излучения

В светотехнике принято пользоваться мощностью излучения, которая называется **поток излучением** (или лучистым потоком) – энергия излучения, переносимая потоком фотонов в единицу времени.

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$$

где dQ_e - доля энергии излучения в промежуток времени dt .

Единицей измерения потока излучения служит ватт (**Вт**).

Световой поток, Φ

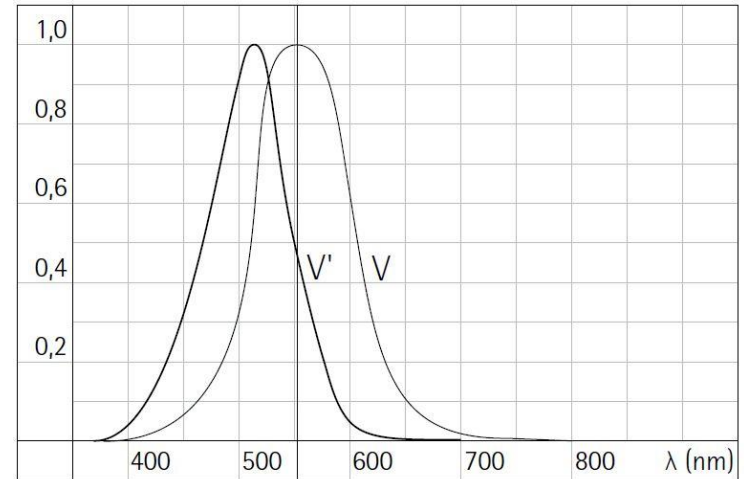
Единица измерения – люмен (лм)

Многочисленными измерениями установлено соотношение между единицами потока излучения и световыми единицами:

1 Вт однородного потока излучения с $\lambda=555\text{нм}$ равен 683 лм светового потока.

Для перехода от монохроматического потока излучения к монохроматическому световому потоку с той же длиной волны пользуются соотношением:

$$\Phi_{\lambda} = 683\Phi_{e\lambda}V_{\lambda}$$



Световой поток источника с линейчатым спектром:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda i} V_{\lambda i}$$

где $\Phi_{e\lambda i}$ - поток излучения линии, Вт; n – число линий.

Световой поток источника со сплошным спектром:

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Поскольку функция $V(\lambda)$ стремится к нулю при $\lambda < 380\text{нм} - 760\text{нм}>$:

$$\Phi = 683 \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Если $V(\lambda)$ и $\Phi_{e\lambda}$ заданы таблицами или графиками:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \varphi_{\lambda i} V_{\lambda i} \Delta\lambda$$

где n – число участков, на которые разбита видимая область спектра, φ_{λ} - значение спектральной плотности потока излучения для середины i-го участка; V_{λ} – значение спектральной чувствительности глаза для середины i-го участка; $\Delta\lambda$ – ширина спектрального интервала.

Таблица. Относительные спектральные световые эффективности излучения $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$

λ , нм	$V(\lambda)$ (дневное зрение)	$V'(\lambda)$ (ночное зрение)	λ , нм	$V(\lambda)$ (дневное зрение)	$V'(\lambda)$ (ночное зрение)
380	0,0000	0,000589	590	0,757	0,0685
390	0,0001	0,002209	600	0,631	0,03315
400	0,0004	0,00929	610	0,503	0,01593
410	0,0012	0,03489	620	0,381	0,00737
420	0,0040	0,0966	630	0,265	0,003335
430	0,0116	0,1998	640	0,175	0,001497
440	0,023	0,3281	650	0,107	0,000677
450	0,038	0,455	660	0,061	0,0003129
460	0,060	0,567	670	0,032	0,0001480
470	0,091	0,676	680	0,017	0,0000715
480	0,139	0,793	690	0,0082	0,00003533
490	0,208	0,904	700	0,0041	0,00001780
500	0,323	0,982	710	0,0021	0,00000914
510	0,503	0,997	720	0,00105	0,00000478
520	0,710	0,935	730	0,00052	0,000002546
530	0,862	0,811	740	0,00025	0,000001379
540	0,954	0,650	750	0,00012	0,000000760
550	0,995	0,481	760	0,00006	0,000000428
560	0,995	0,3288	770	0,00003	0,000000241
570	0,952	0,2076	780	0,000015	0,000000139
580	0,870	0,1212			

Задача: Определим потоки излучения однородных излучений с $\lambda_1 = 400\text{ нм}$, $\lambda_2 = 555\text{ нм}$ и $\lambda_3 = 700\text{ нм}$, если световой поток каждого из этих излучений равен 683 лм.

Решение:

Задача: Найти световой поток ртутной лампы высокого давления, имеющей линейчатый спектр и следующее распределение потока излучения:

Длина волны, λ , нм	405	436	546	577-579
Поток излучения, $\Phi_{e\lambda}$, Вт	5,2	9,1	10,5	10,2
Значение $V(\lambda)$	0,007	0,0175	0,984	0,889

Решение:

Телесный угол, ω

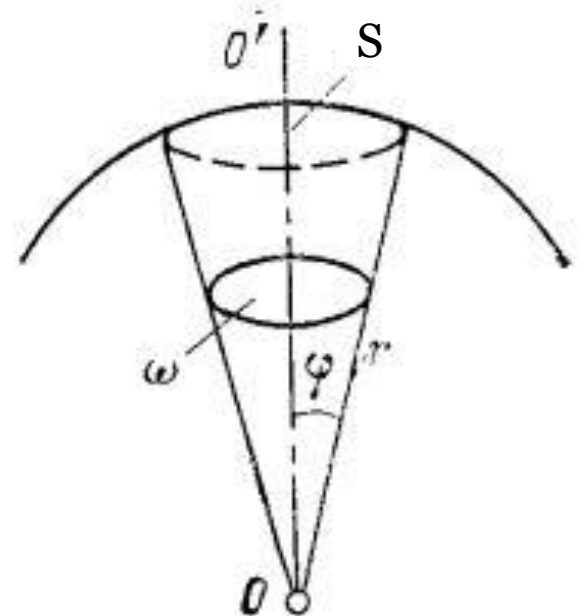
Единица измерения – стерadian, ср

Часть пространства, ограниченного конической поверхностью, образуемой множеством прямых линий, проходящих через общую точку – вершину телесного угла и замкнутым криволинейным контуром

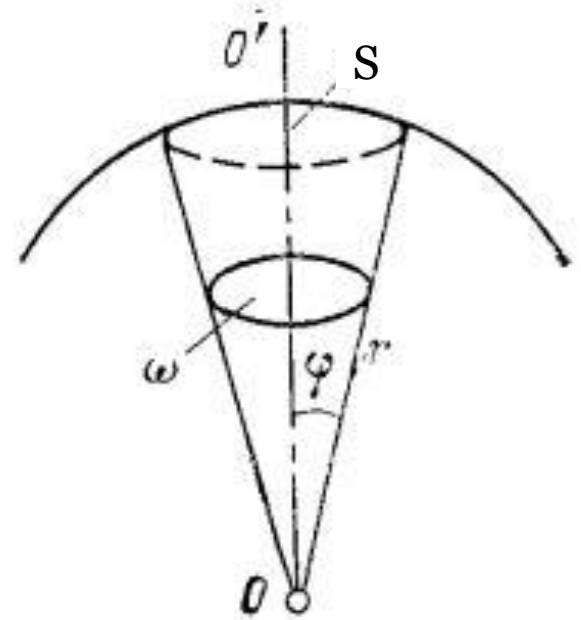
Если конус телесного угла имеет круговую форму, то плоский угол φ телесного угла связан с ω соотношением:

$$\omega = 2\pi(1 - \cos\varphi)$$

$$\frac{S}{r^2} = \omega = 1 \text{ ср}$$



Выведем зависимость:



Сила излучения, I_e

Характеризует пространственную (угловую) плотность поток Место для уравнения.а излучения.

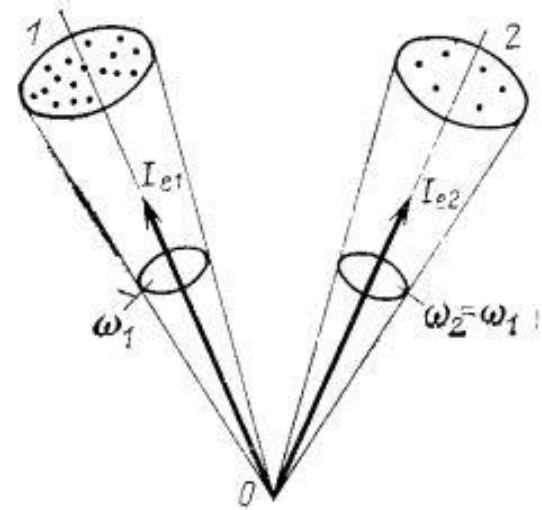
Применимо к **точечным источникам**:

$$l/d \leq 5$$

где d – максимальный линейный размер источника; l – расстояние до точки наблюдения.

$$I_e = d\Phi_e/d\omega$$

Сила излучения, или энергетическая сила света источника в некотором направлении, это отношение потока излучения $d\Phi_e$, исходящего от источника и распространяющегося внутри телесного угла $d\omega$, имеющего заданное направление, к этому элементарному телесному углу.



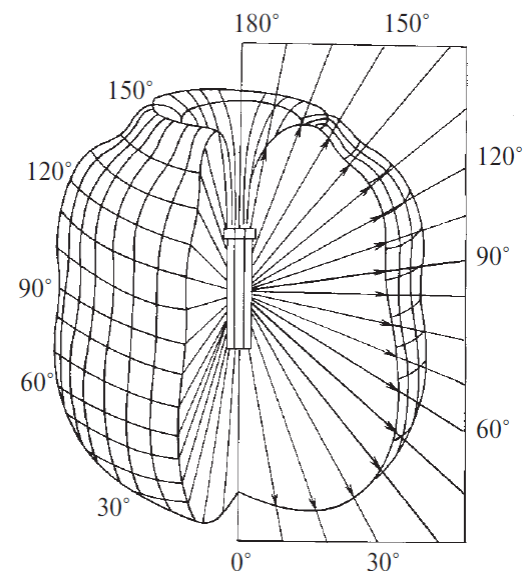
*Единицей силы излучения является **Вт/ср** – сила излучения источника в направлениях, в которых он испускает поток излучения, равный 1 Вт, и равномерно распределенный внутри телесного угла 1 ср.*

Для наглядности представления силы излучения в пространстве пользуются понятием **фотометрического тела**.

Для того чтобы построить фотометрическое тело источника, от точечного источника в разных направлениях пространства откладывают значения силы излучения этого источника и через их концы проводят поверхность фотометрическое тело.

Фотометрическое тело — это часть пространства, ограниченное поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов силы излучения.

Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через точечный источник, определяет **кривую силы излучения** источника для данной плоскости сечения.



Симметричный источник

Сила излучения в любом направлении пространства определяется углом α , который отсчитывается от вертикали.

Продольные кривые силы излучения строятся либо в полярной, либо в прямоугольной системе координат.

Прямоугольная система обычно используется, когда поток излучения источника концентрируется в пределах малого телесного угла.

При этом обычно изображается половина кривой для углов $\alpha=0-90^\circ$.

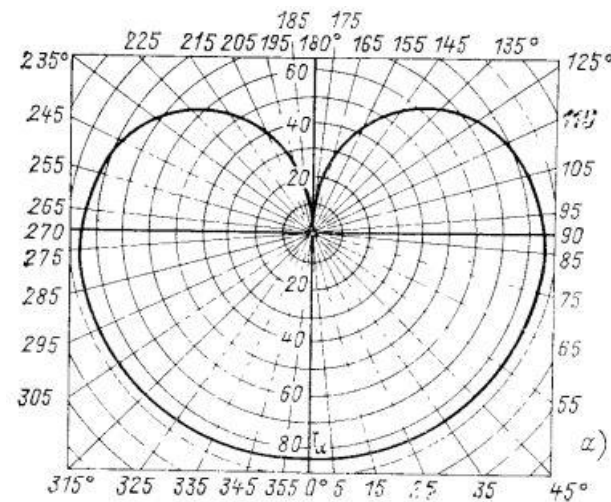


Рис1. Продольная кривая силы излучения в полярной системе координат

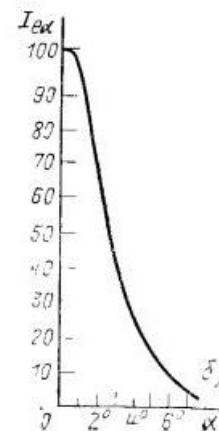
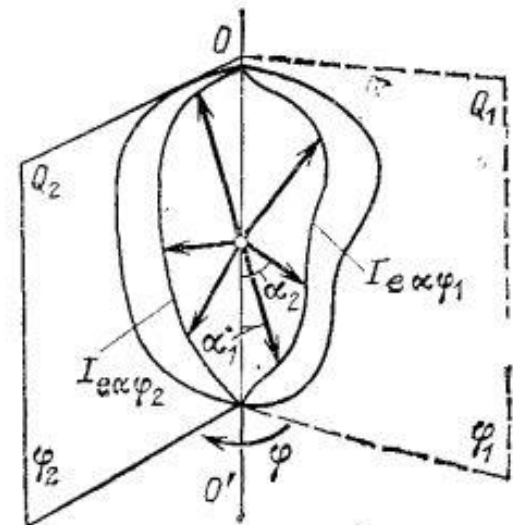


Рис2. Продольная кривая силы излучения в прямоугольной системе координат

Несимметричный источник

Фотометрическое тело не является телом вращения и, следовательно, продольные кривые силы излучения неодинаковые.

Значение энергетической силы света в данном случае в каком-либо определенном направлении пространства задается не одним углом α , а двумя α и φ .



Сила света, I

Пространственная плотность светового потока в заданном направлении в системе световых величин.

Единица измерения – кандела (кд)

Равна отношению элементарного светового потока $d\Phi$ к элементарному телесному углу $d\omega$, в пределах которого заключен и равномерно распределен этот световой поток:

$$I = d\Phi / d\omega$$

Задача: Каково значение силы света равномерно светящей точки, излучающий световой поток $\Phi=125,6$ лм с одинаковой плотностью во всех направлениях пространства?

Решение:

Энергетическая светимость, M_e

Реальный источник излучения имеет конечные размеры, пренебречь которыми при решении ряда практических задач нельзя. Для оценки равномерности распределения потока излучения по поверхности источника вводится понятие **энергетической светимости** $dS_{\text{и}}$.

Энергетическая светимость равна отношению элементарного потока излучения $d\Phi_e$ к площади элементарного, т.е. бесконечно малого, излучающего элемента $dS_{\text{и}}$.

$$M_e = d\Phi_e / dS_{\text{и}}$$

Для излучателя, имеющего поверхность конечных размеров с равномерно распределенным потоком излучения по всей ее площади:

$$M_e = \Phi_e / S_{\text{и}}$$

Единица измерения – Вт/м².

Она численно равна поверхностной плотности потока излучения, при которой поверхность площадью 1м² испускает поток излучения равный 1 Вт.

Энергетическая освещенность (облученность), E_e

- плотность потока излучения на поверхности, на которую он падает.

Энергетическая освещенность равна отношению элементарного потока излучения $d\Phi_e$, падающего на элементарный элемент приемной поверхности и равномерно распределенного на ней, к площади этого элемента dS_o :

$$E_e = d\Phi_e / dS_o$$

Для облучаемой поверхности конечных размеров и равномерно распределенного по ней потока излучения:

$$E_e = \Phi_e / S_o$$

Единица измерения – Вт/м².

Она численно равна значению энергетической освещенности поверхности площадью 1м², на которую падает поток излучения равный 1 Вт.

Зависимость энергетической светимости и облученности:

$$M_e = \rho_e E_e$$

где ρ_e – интегральный коэффициент отражения.

Задача: Определить облученность поверхности листа металла, имеющего коэффициент отражения $\rho_e=0,5$, если энергетическая светимость отраженного излучения $M_e=100\text{Вт/м}^2$.

Решение:

Задача: Точечный источник с потоком излучения 12,56 Вт находится в центре сферы радиусом 1 м и излучает равномерно по всем направлениям. Определить силу излучения и облученность сферической поверхности.

Решение:

Задача: Определить энергетическую светимость излучающей поверхности площадью $S_{\text{и}}=1\text{м}^2$, если она излучает равномерно по всей поверхности поток излучения 10 Вт.

Решение:

Освещенность, E

- отношение светового потока Φ к площади поверхности S , на которую он падает.

Для равномерного распределения светового потока по освещаемой им поверхности конечного размера S :

$$E = \Phi / S$$

для неравномерного распределенного светового потока:

$$E = d\Phi / dS$$

где dS -элементарный участок освещаемой поверхности, в пределах которого элементарный световой поток $d\Phi$ можно считать равномерно распределенным.

Единица освещенности – люкс (лк).

Энергетическая яркость (лучистость), L_e

Источник излучения принято характеризовать энергетической яркостью, а источник света – яркостью.

Под **энергетической яркостью** участка поверхности понимают отношение силы излучения этого участка в данном направлении к площади его проекции на площадь, перпендикулярную данному направлению.

За единицу энергетической яркости ($\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$) принимают энергетическую яркость плоской поверхности в 1 м^2 , которая в перпендикулярном направлении имеет силу излучения $1 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Энергетическая яркость плоской поверхности, которую можно считать точечным источником:

$$L_{e\alpha} = I_{e\alpha} / S \cos \alpha$$

Яркость, L