

# 1. Определение яркости отраженного излучения

Цель: создать проект для моделирования процесса получения изображения и реализовать расчет одного из радиометрических показателей.

## Порядок выполнения задания

Светлота пикселя изображения является функцией от положения поверхности, ее отражательной способности и освещения. Для работы с аргументами этой функции необходимо разобрать некоторые понятия из геометрии и радиометрии.

Телесный угол  $dw$  измеряется встерадиан (ср) (рис. 1).

$$dw = \frac{dA'}{r^2} = \frac{dA \cos \theta}{r^2}$$

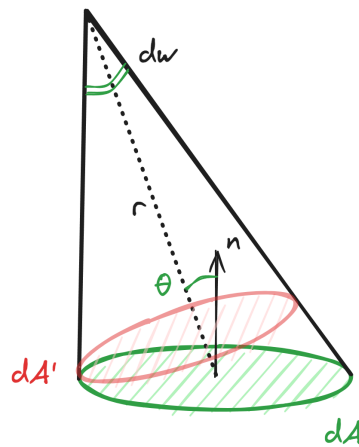


Рис. 1. Телесный угол  $dw$

Поток  $\Phi$  (Flux) измеряется в ваттах (Вт), также известный как мощность, представляет собой общее количество энергии, проходящей в единицу времени.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt},$$

где  $Q = \frac{hc}{\lambda}$  - энергия в джоулях (Дж) и рассчитывается через скорость света  $c$ , постоянную Планка  $h$  и длину волны  $\lambda$ .

Сила излучения/интенсивность (Radiant intensity)  $I$  измеряется в Вт/ср<sup>2</sup>.

$$I = \frac{d\Phi}{dw}$$

Облученность (Irradiance) характеризует поверхностную плотность мощности излучения, падающего на поверхность. Измеряется в Вт/м<sup>2</sup>.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{Idw}{dA} = \frac{I \frac{dA \cos \theta}{r^2}}{dA} = \frac{I \cos \theta}{r^2}$$

В случае точечного источника излучения облученность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2}$$

Энергетическая яркость (Surface Radiance) — это отношение потока излучения, переносимого в элементарном пучке лучей, проходящем через данную площадку и распространяющемся в телесном угле  $dw$ , содержащем данное направление, к площади проекции этой площадки на плоскость, перпендикулярную направлению распространения, и величине телесного угла. Измеряется в Вт/(м<sup>2</sup>ср) (рис. 2).

$$L = \frac{d^2\Phi}{(dA \cos \theta_o) dw}$$

Если дана яркость, то остальные радиометрические значения можно вычислить интегрированием яркости по площадям и направлениям. Также яркость остается постоянной вдоль лучей, про-

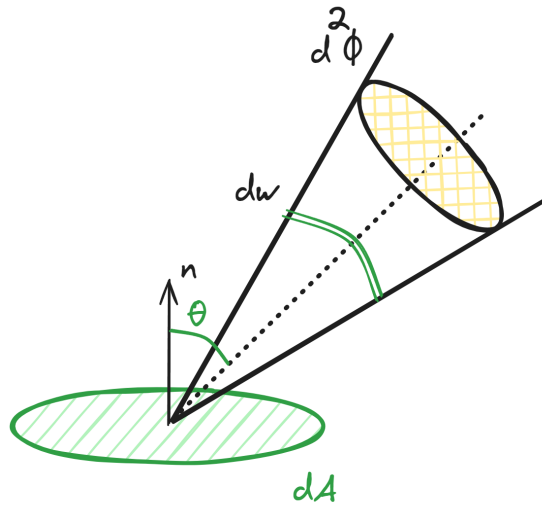


Рис. 2. Энергетическая яркость

ходящих через пустое пространство. Поэтому чаще всего используется именно эта величина.

Чтобы получить значение светлоты пикселя в изображении нам необходимо установить зависимость между облученностью источником в его направлении и яркостью в направлении источника.

Предположим, нам дано направление входящего света,  $w_i$ , и направление исходящего отраженного света,  $w_o$ , каждое из которых определено относительно небольшого элемента поверхности. BRDF (Двулучевая функция отражательной способности (ДФОС) Bidirectional Reflectance Distribution Function) определяется как отношение количества отраженного света в направлении  $w_o$  к количеству света, попадающего на поверхность из направления  $w_i$ . Для наглядности назовем количество света, отраженного от поверхности в направлении  $w_o$ ,  $L_o$ , а количество света, приходящего с направления  $w_i$ ,  $E_i$ . Где  $E$  - облученность (Irradiance) Вт/м<sup>2</sup>,  $L$  - энергетическая яркость (Radiance) Вт/(м<sup>2</sup> ср).

$$BRDF : f = \frac{L_o}{E_i}$$

Двулучевая функция отражательной способности неотрицательна  $BRDF > 0$ .

Для решения этой задачи воспользуемся Ламбертовым отражением. Незеркальная, или матовая, поверхность является диффузным отражателем, и количество энергии, отраженного под определенным углом от нормали к поверхности, пропорционально косинусу угла падения  $\theta_i$ , а BRDF является константой.

$$BRDF : f = \frac{c}{\pi},$$

где  $c$  - альбедо, иногда обозначается  $\rho_d$ .

### Результаты выполнения задания

Jupyter Notebook с реализованным расчетом  $L_o$  и тремя графиками, показывающими спектральные распределения для  $L_o$ ,  $E_i$  и  $c$ . У графиков должны быть названия, подписаны оси, единицы измерения. Для работы над заданием вы можете использовать Python, сервис Google colab и библиотеки Numpy и Matplotlib.

В качестве спектрального распределения мощности  $\Phi$  можно ориентироваться на значения на рисунке 3.

Для каждой длины волны рассчитываете облученность для случая точечного источника. Расстояние  $r$  до поверхности вы задаете самостоятельно.

Альбедо  $c$  также задайте через распределение по спектру в диапазоне 370-730 нм. В результате у вас будет двулучевая функция отражательной способности для Ламбертова отражения, что позволит вам рассчитать  $L_o$ .

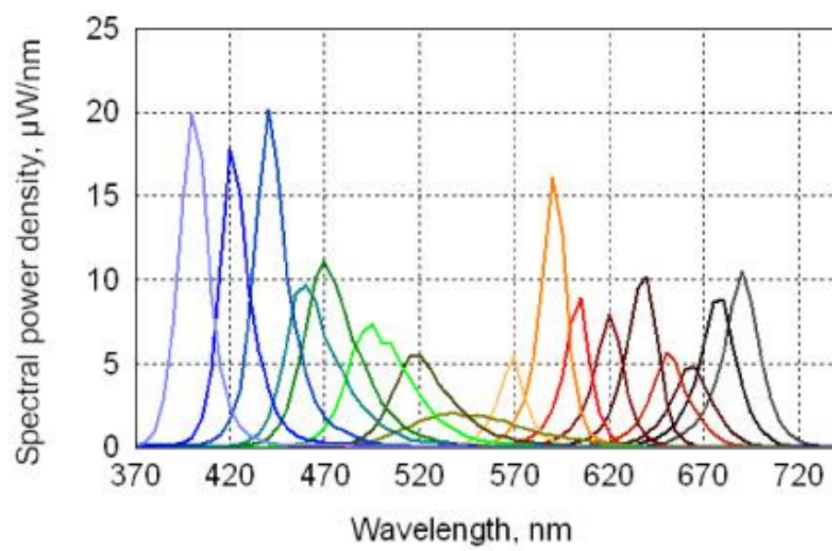


Рис. 3. Спектральные распределения мощности для светодиодов