Звёздные величины. Формула Погсона

Человеческий глаз воспринимает яркость того или иного объекта не линейно. Например, видимая яркость полной Луны больше, чем видимая яркость Веги, примерно в 120000 раз. Тем не менее, мы вполне комфортно можем наблюдать как Вегу, так и полную Луну. Если бы глаз воспринимал яркость линейно, Вега казалась бы очень тусклой, почти невидимой. Либо Луна ослепляла бы нас своей яркостью.

Глаз воспринимает яркость логарифмически. Допустим, у нас есть объект A, обладающий некоторой яркостью, объект B, в χ раз ярче, чем A, и объект C, еще в χ раз ярче, чем B (или в χ^2 раз ярче, чем A). Человеку при этом кажется, что разница между яркостями объектов C и B такая же, как и между яркостями объектов B и A (тогда как на самом деле, совпадает не разница, а отношение яркостей, $L_C / L_B = L_B / L_A$. Разница же между яркостями C и B в χ раз больше, чем между B и A)

$$\frac{L_C - L_B}{L_B - L_A} = \frac{\chi^2 L_A - \chi L_A}{\chi L_A - L_A} = \frac{\chi^2 - \chi}{\chi - 1} = \chi$$

Поэтому глаз и называют логирифмическим прибором.

Можно сказать, что линейно мы воспринимаем не саму яркость, а логарифм яркости. Разница $\log_w L_C - \log_w L_B$ такая же, как и разница $\log_w L_B - \log_w L_A$, где w - некоторое основание, по которому мы прологарифмировали. Действительно:

$$\log_w L_C - \log_w L_B = \log_w (L_C / L_B) = \log_w \chi \qquad \log_w L_B - \log_w L_A = \log_w (L_B / L_A) = \log_w \chi$$

Получается, что $\log_w L_C$ больше, чем $\log_w L_B$ ровно на столько же, на сколько $\log_w L_B$ больше $\log_w L_A$.

В связи с этим целесообразно ввести логарифмическую шкалу яркости звезд и других небесных объектов (другая причина – линейная яркость различных объектов имеет весьма широкий разброс значений). Если имеется два объекта, и линейная яркость второго объекта больше, чем линейная яркость первого, в 100 раз, $L_2 / L_1 = 100$, то считается, что значение видимой звездной величины для первого объекта больше, чем для второго, на 5 единиц, $m_1 - m_2 = 5$. Пусть имеется третий объект, который ярче второго в 100 раз, $L_3 / L_2 = 100$ (и, соответственно, ярче первого в 10000 раз, $L_3 / L_1 = 10000$), тогда значение видимой звездной величины для второго объекта больше, чем для третьего, на 5 единиц, $m_2 - m_3 = 5$ (а значение видимой звездной величины для первого объекта больше, чем для третьего, на 10 единиц, $m_1 - m_3 = 5 + 5 = 10$). То есть, это обратная логарифмическая шкала: чем больше значение видимой звездной величины, тем объект тусклее.

Итак, при увеличении линейной яркости в 100 раз, значение видимой звёздной величины уменьшается на 5 единиц. Если же значение видимой звездной величины уменьшается на 1 единицу, то линейная яркость увеличивается в $100^{1/5} \approx 2.512$ раза. При уменьшении видимой звездной величины на 2 единицы, линейная яркость увеличивается в $100^{1/5} \cdot 100^{1/5} = 100^{2/5}$ раз. Если же уменьшить видимую звездную величину на 5 единиц, линейная яркость увеличивается в $100^{1/5} \cdot 100^{1/5} \cdot 100^{1/5} \cdot 100^{1/5} \cdot 100^{1/5} = 100^{5/5} = 100$ раз.

Линейные яркости и видимые звездные величины двух объектов можно связать при помощи формулы Погсона:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \lg(L_1 / L_2)$$

Здесь 2.5 – это половина от 5, и это значение не следует путать с 2.512 (которое есть $100^{1/5}$). Пусть $L_2 / L_1 = 100$, тогда $m_1 - m_2 = -2.5 \lg(L_1 / L_2) = -2.5 \lg(1/100) = -2.5 \cdot (-2) = 5$, все верно.

Считается, что видимая звездная величина Веги приблизительно равняется нулю. От видимой звёздной величины Веги отмеряются видимые звёздные величины всех остальных объектов, как в положительную сторону (более тусклые), так и в отрицательную (более яркие).