Fotometria

2. Ekstynkcja atmosferyczna i międzygwiazdowa.

Andrzej Pigulski
Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

Produkty HELAS-a, 2010

Ekstynkcja atmosferyczna

Podczas przejścia przez atmosferę światło ulega osłabieniu(ekstynkcja atmosferyczna). Rozważmy najpierw przypadek osłabienia monochromatycznej wiązki o długości fali λ:

$$dI = -I\kappa\rho dx,$$

Ekstynkcja atmosferyczna

Podczas przejścia przez atmosferę światło ulega osłabieniu(ekstynkcja atmosferyczna). Rozważmy najpierw przypadek osłabienia monochromatycznej wiązki o długości fali λ:

$$dI = -I\kappa\rho dx,$$

$$I = I_0 \exp\left(-\int_0^x \kappa\rho dx'\right)$$

Ekstynkcja atmosferyczna

Podczas przejścia przez atmosferę światło ulega osłabieniu(ekstynkcja atmosferyczna). Rozważmy najpierw przypadek osłabienia monochromatycznej wiązki o długości fali λ:

$$dI = -I\kappa\rho dx,$$

$$I = I_0 \exp\left(-\int_0^x \kappa\rho dx'\right)$$

dla κ = const
w atmosferze

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa\int_0^x \rho dx'\right)$$

Ekstynkcja atmosferyczna

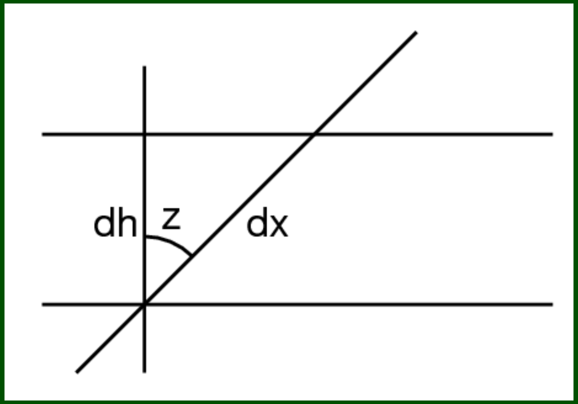
Podczas przejścia przez atmosferę światło ulega osłabieniu(ekstynkcja atmosferyczna). Rozważmy najpierw przypadek osłabienia monochromatycznej wiązki o długości fali λ:

$$dI = -I\kappa\rho dx,$$

$$I = I_0 \exp\left(-\int_0^x \kappa\rho dx'\right)$$

dla κ = const
w atmosferze

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa\int_0^x \rho dx'\right)$$



$$dx = \frac{dh}{\cos z} = dh \sec z,$$

z – odległość zenitalna

Ekstynkcja atmosferyczna

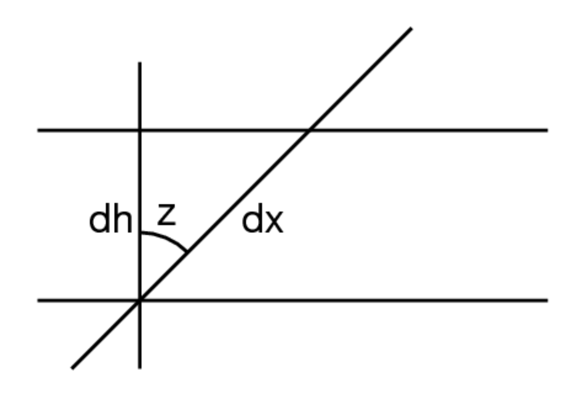
Podczas przejścia przez atmosferę światło ulega osłabieniu(ekstynkcja atmosferyczna). Rozważmy najpierw przypadek osłabienia monochromatycznej wiązki o długości fali λ:

$$dI = -I\kappa\rho dx,$$

$$I = I_0 \exp\left(-\int_0^x \kappa\rho dx'\right)$$

dla κ = const
w atmosferze

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa\int_0^x \rho dx'\right)$$



$$dx = \frac{dh}{\cos z} = dh \sec z,$$

z – odległość zenitalna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa\int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

Ekstynkcja atmosferyczna: masa powietrzna

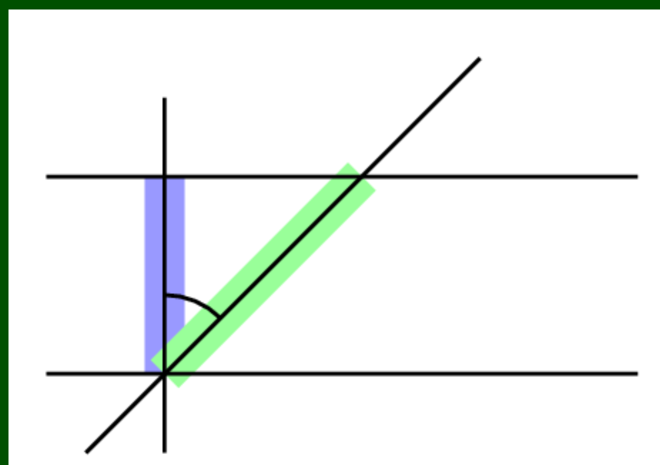
Masa powietrzna to bezwymiarowa wielkość definiowana następująco:

$$X = \frac{\int\limits_0^x \rho \sec z \, dh}{\int\limits_0^x \rho dh},$$

Ekstynkcja atmosferyczna: masa powietrzna

Masa powietrzna to bezwymiarowa wielkość definiowana następująco:

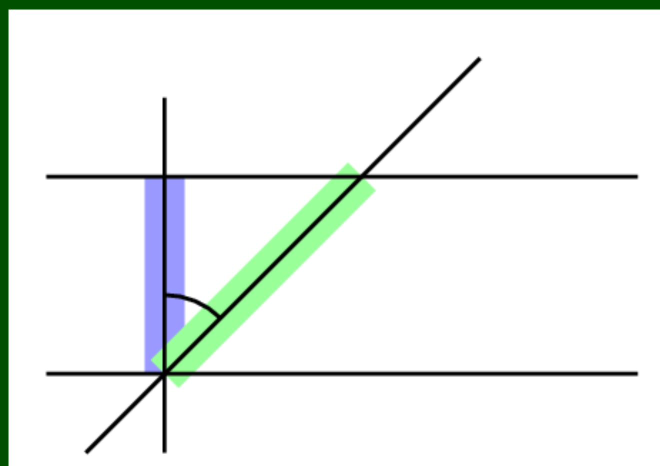
$$X = \frac{\int_0^x \rho \sec z \, dh}{\int_0^x \rho dh},$$



Ekstynkcja atmosferyczna: masa powietrzna

Masa powietrzna to bezwymiarowa wielkość definiowana następująco:

$$X = \frac{\int\limits_0^x \rho \sec z \, dh}{\int\limits_0^x \rho dh},$$

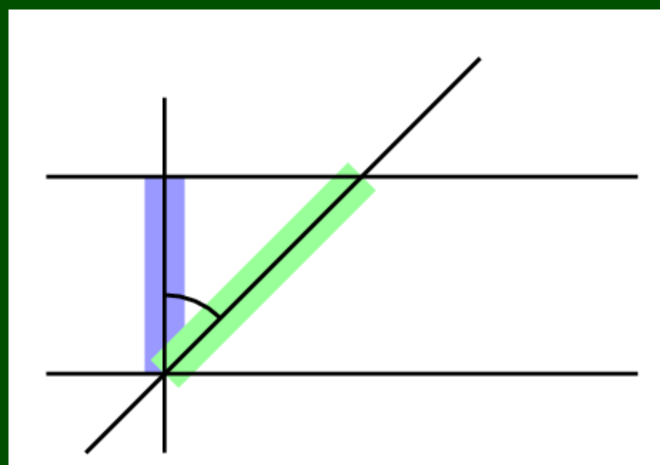


$X \approx \sec z$

Ekstynkcja atmosferyczna: masa powietrzna

Masa powietrzna to bezwymiarowa wielkość definiowana następująco:

$$X = \frac{\int_0^x \rho \sec z \, dh}{\int_0^x \rho \, dh},$$



$X \approx \sec z$

Emipiryczny wzór Bemporada dający prawidłowe wartości z dokładnością do 1% dla $X < 10$.

$$X = \sec z - 0.0018167(\sec z - 1) - 0.002875(\sec z - 1)^2 - 0.0008083(\sec z - 1)^3.$$

Ekstynkcja atmosferyczna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa \int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

Ekstynkcja atmosferyczna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa \int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa X(z) \int_0^h \rho dh'\right) = I_0 \mathrm{e}^{-\kappa X \alpha},$$

Ekstynkcja atmosferyczna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa \int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa X(z) \int_0^h \rho dh'\right) = I_0 \mathrm{e}^{-\kappa X \alpha},$$

$$\log I = \log I_0 - \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha.$$

Ekstynkcja atmosferyczna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa \int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa X(z) \int_0^h \rho dh'\right) = I_0 \mathrm{e}^{-\kappa X \alpha},$$

$$\log I = \log I_0 - \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha.$$

$$-2.5 \log E = -2.5 \log E_0 + 2.5 \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha.$$

$$m = m_0 + 2.5 \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha = m + k_\lambda X,$$

Ekstynkcja atmosferyczna

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa \int_0^h \rho \sec z dh'\right)$$

$$I = I_0 \exp\left(-\kappa X(z) \int_0^h \rho dh'\right) = I_0 \mathrm{e}^{-\kappa X \alpha},$$

$$\log I = \log I_0 - \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha.$$

$$-2.5 \log E = -2.5 \log E_0 + 2.5 \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha.$$

$$m = m_0 + 2.5 \log(\mathrm{e}) \kappa X \alpha = m + k_\lambda X,$$

$$k_\lambda = 2.5 \log(\mathrm{e}) \kappa \alpha \approx 1.086 \kappa \alpha$$

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej

Ekstynkcję atmosferyczną (monochromatyczną) można więc opisać prostym równaniem (prawo Bouguera).

$$m = m_0 + kX$$

gdzie:
m – mierzona jasność,
m_0 – jasność pozaatmosferyczna,
$k = k(\lambda)$ – współczynnik ekstynkcji atmosferycznej,
X – masa powietrzna.

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej

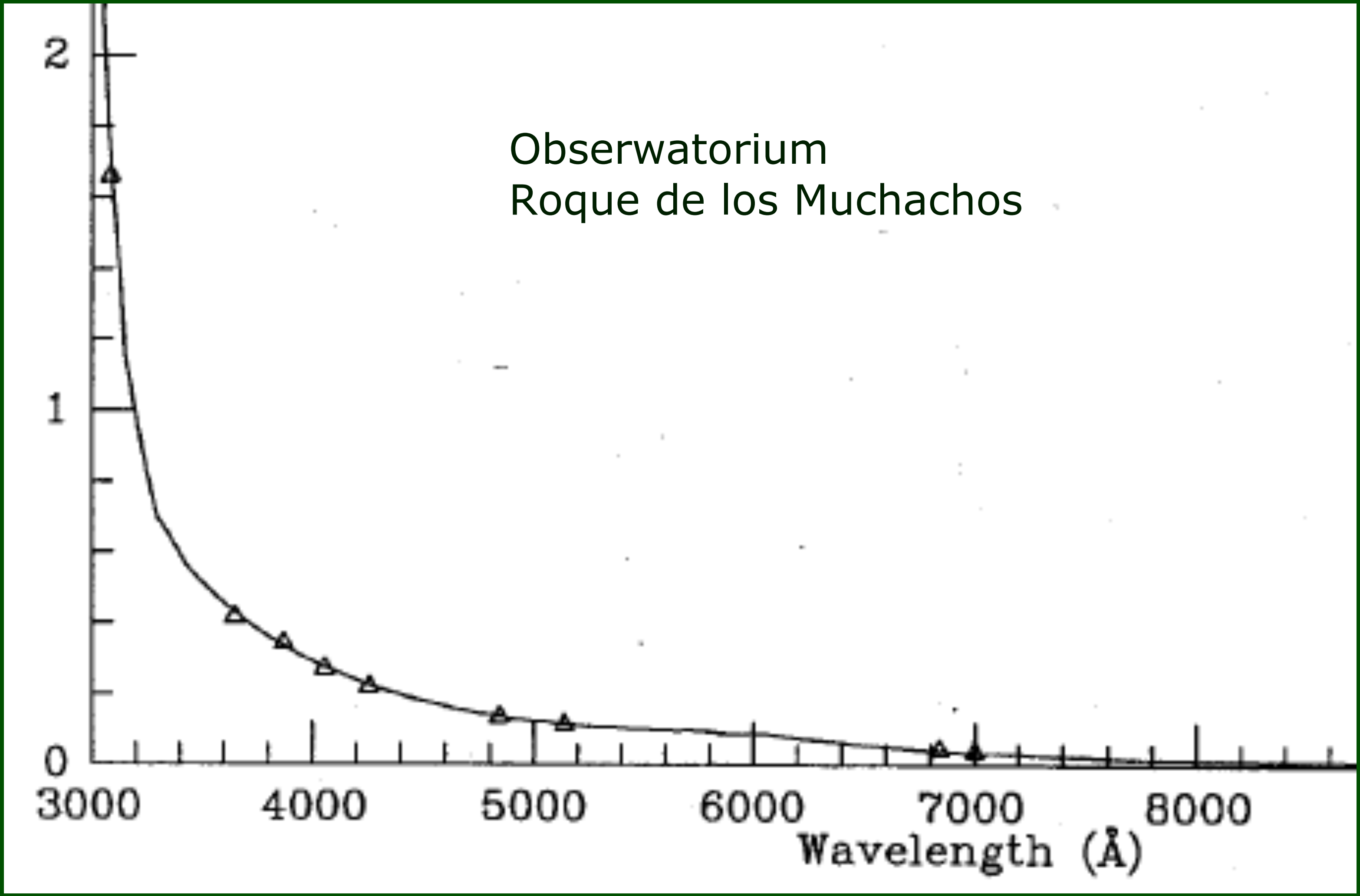
Ekstynkcję atmosferyczną (monochromatyczną) można więc opisać prostym równaniem (prawo Bouguera).

$$m = m_0 + kX$$

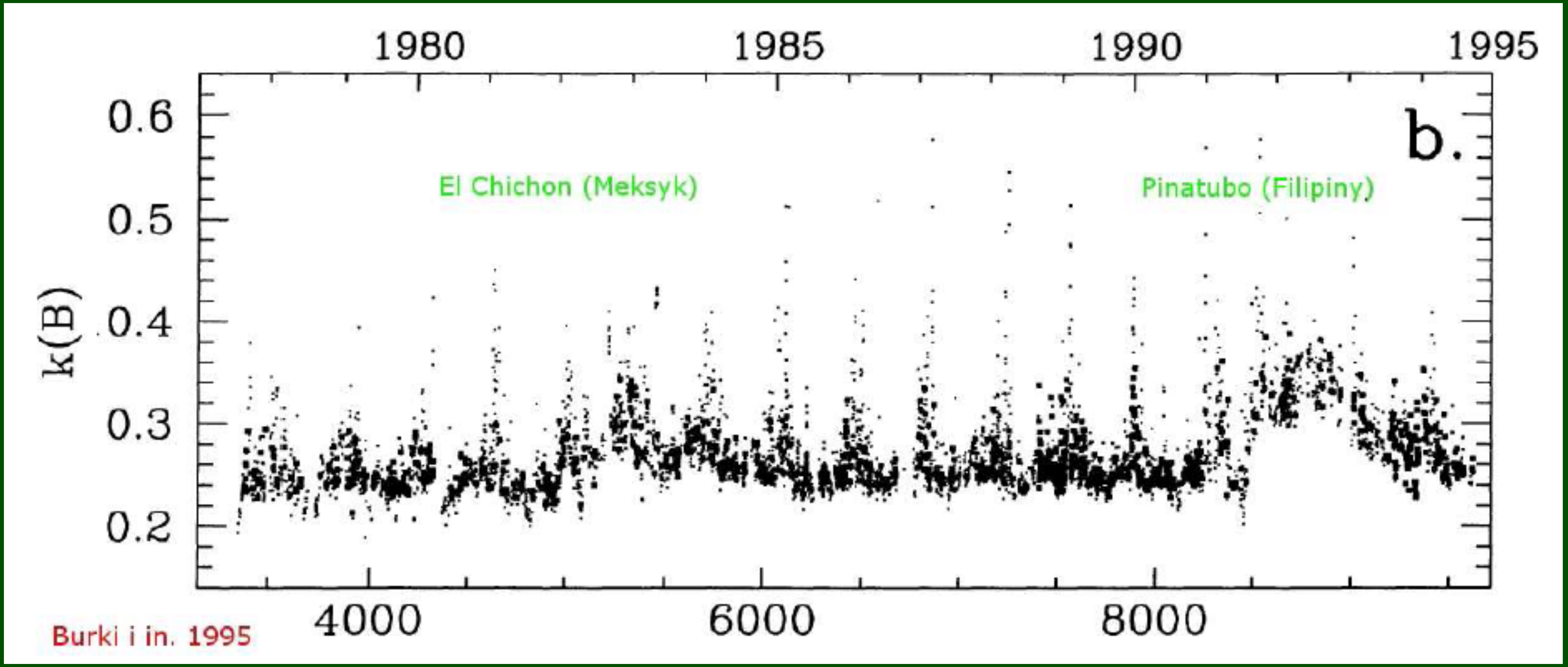
gdzie:
m – mierzona jasność,
m_0 – jasność pozaatmosferyczna,
$k = k(\lambda)$ – współczynnik ekstynkcji atmosferycznej,
X – masa powietrzna.

Sens fizyczny *k*: wielkość w mag, o jaką osłabiana jest jasność gwiazdy gdyby obserwować ją w zenicie.

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej



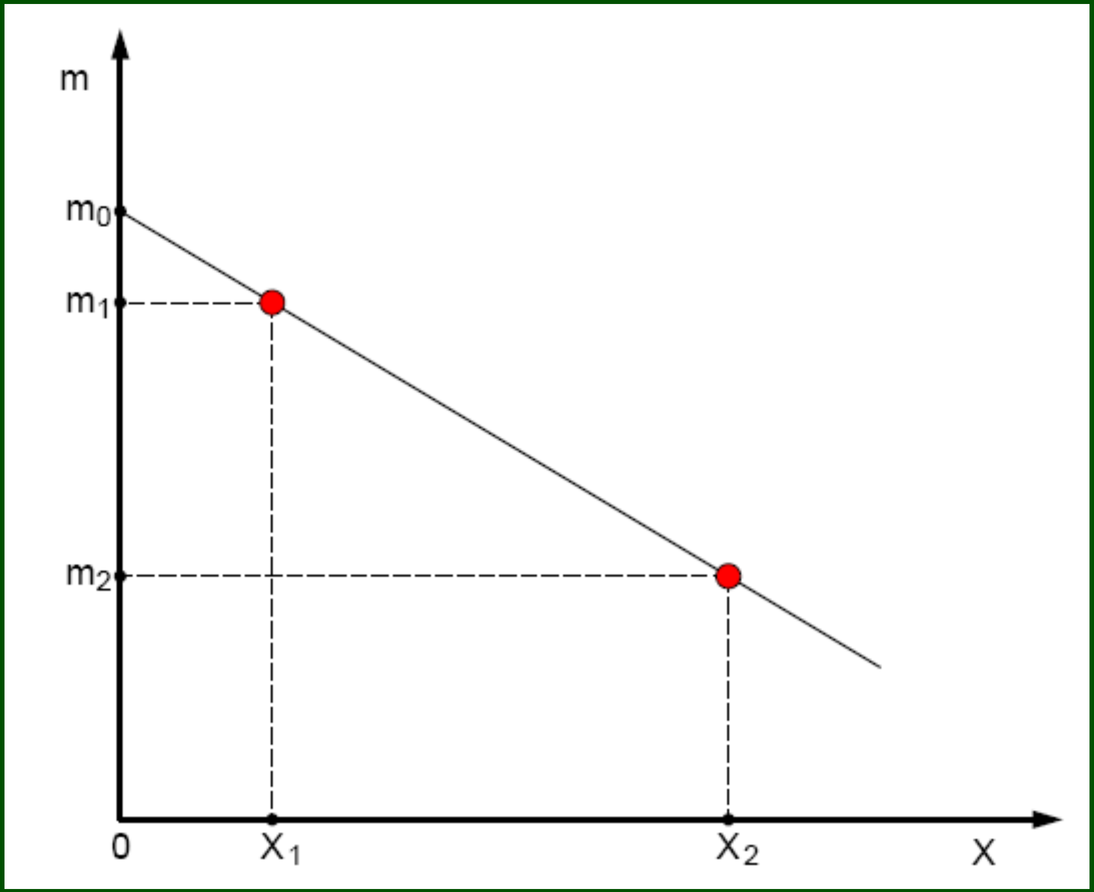
Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej



Współczynnik ekstynkcji zmienia się w czasie!

Przykład: wzrost ekstynkcji jako skutek dużych wybuchów wulkanów.
Zmiany sezonowe.

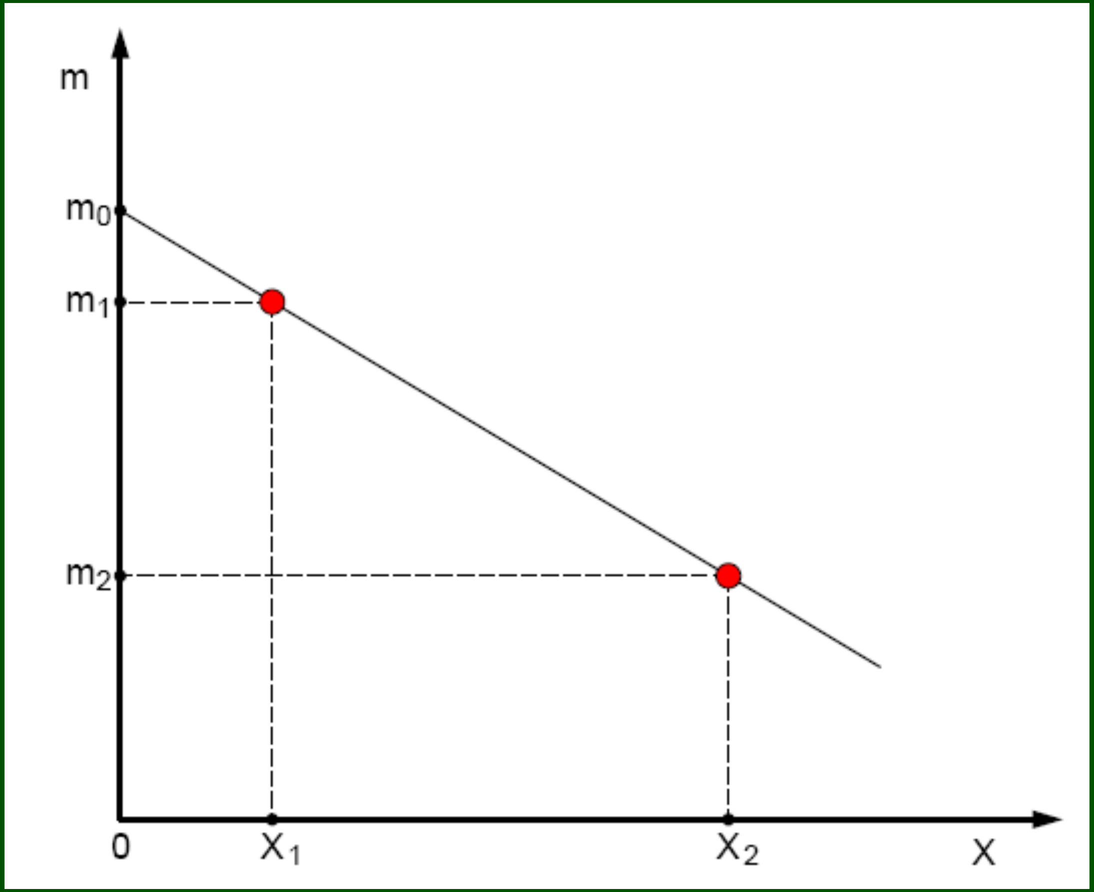
Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej



$$m_1 = m_0 + kX_1,$$

$$m_2 = m_0 + kX_2.$$

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej



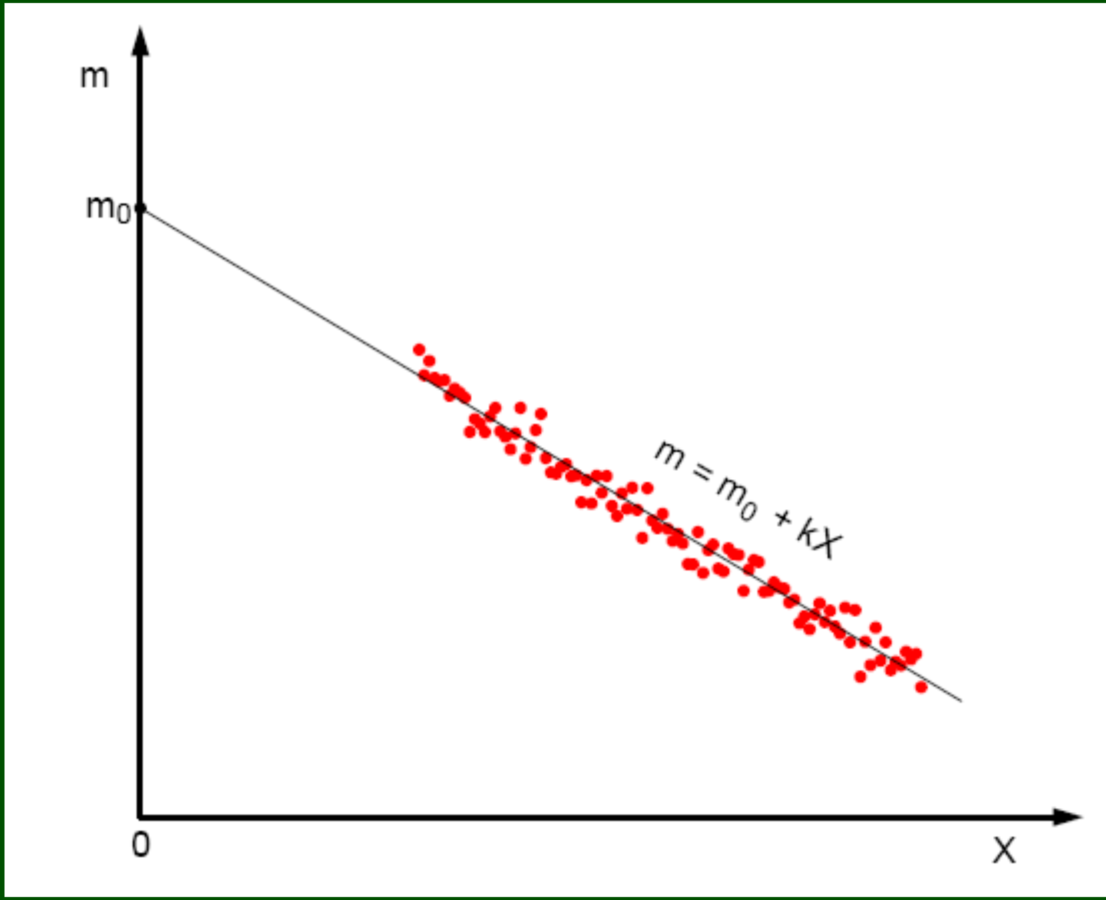
$$m_1 = m_0 + kX_1,$$

$$m_2 = m_0 + kX_2.$$

$$k = \frac{m_1 - m_2}{X_1 - X_2},$$

$$m_0 = m_1 - kX_1.$$

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej



$$m_1 = m_0 + kX_1,$$
$$m_2 = m_0 + kX_2.$$

$$k = \frac{m_1 - m_2}{X_1 - X_2},$$
$$m_0 = m_1 - kX_1.$$

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej

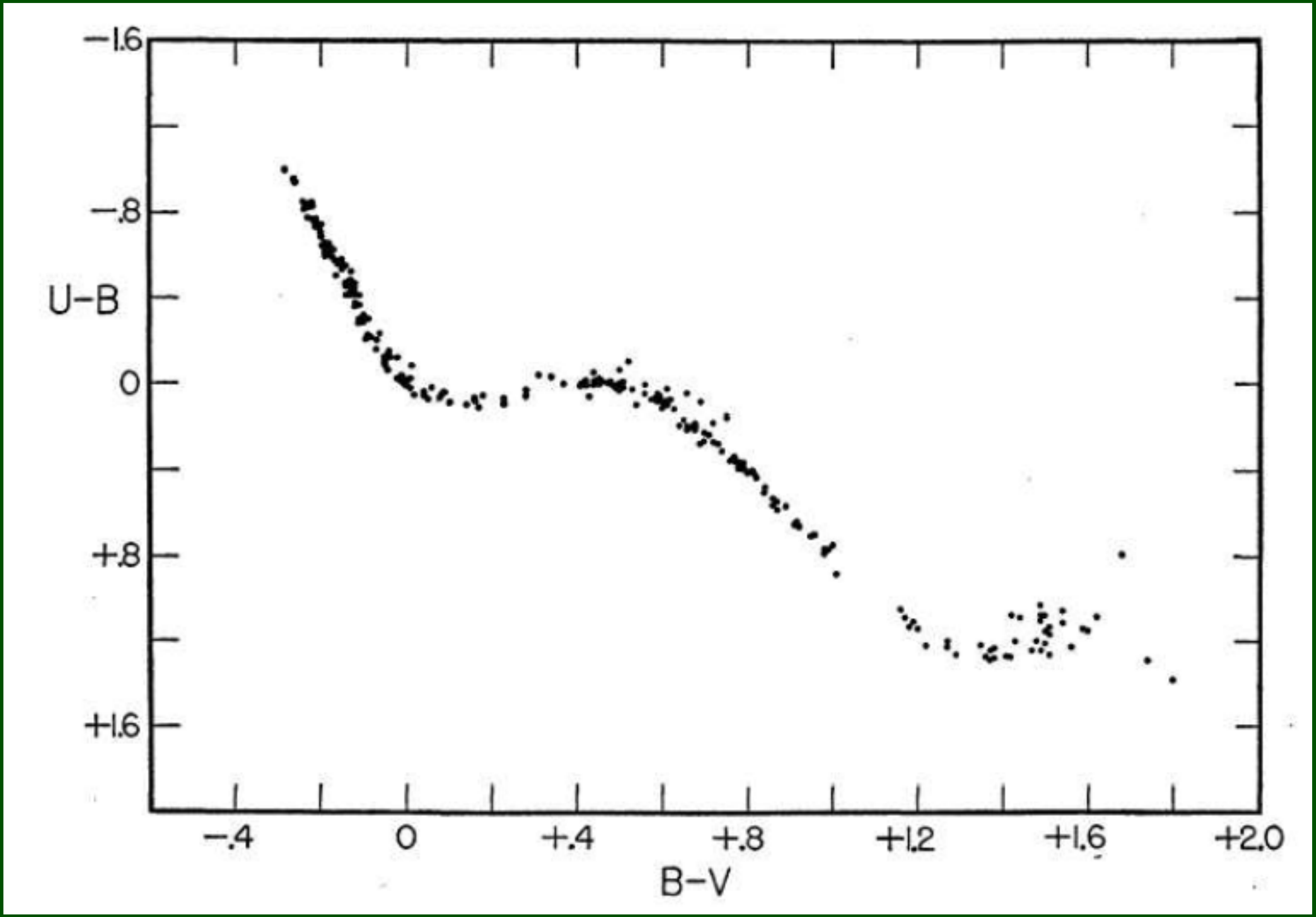
W przypadku heterochromatycznym równanie Bouguera komplikuje się nieco:

$$m = m_0 + (k_1 + k_2 C).$$

W równaniu tym:
C – wskaźnik barwy (różnica jasności w dwu pasmach) gwiazdy,
k_1 – współczynnik ekstynkcji I rzędu,
k_2 – współczynnik ekstynkcji II rzędu (kolorowej).

Współczynnik k_2 jest mało zmienny w czasie, wystarczy wyznaczyć go raz na jakiś czas. Zwykle do tego celu używa się pary (dwu par) gwiazd leżących blisko siebie, ale różniących się znacznie barwą.

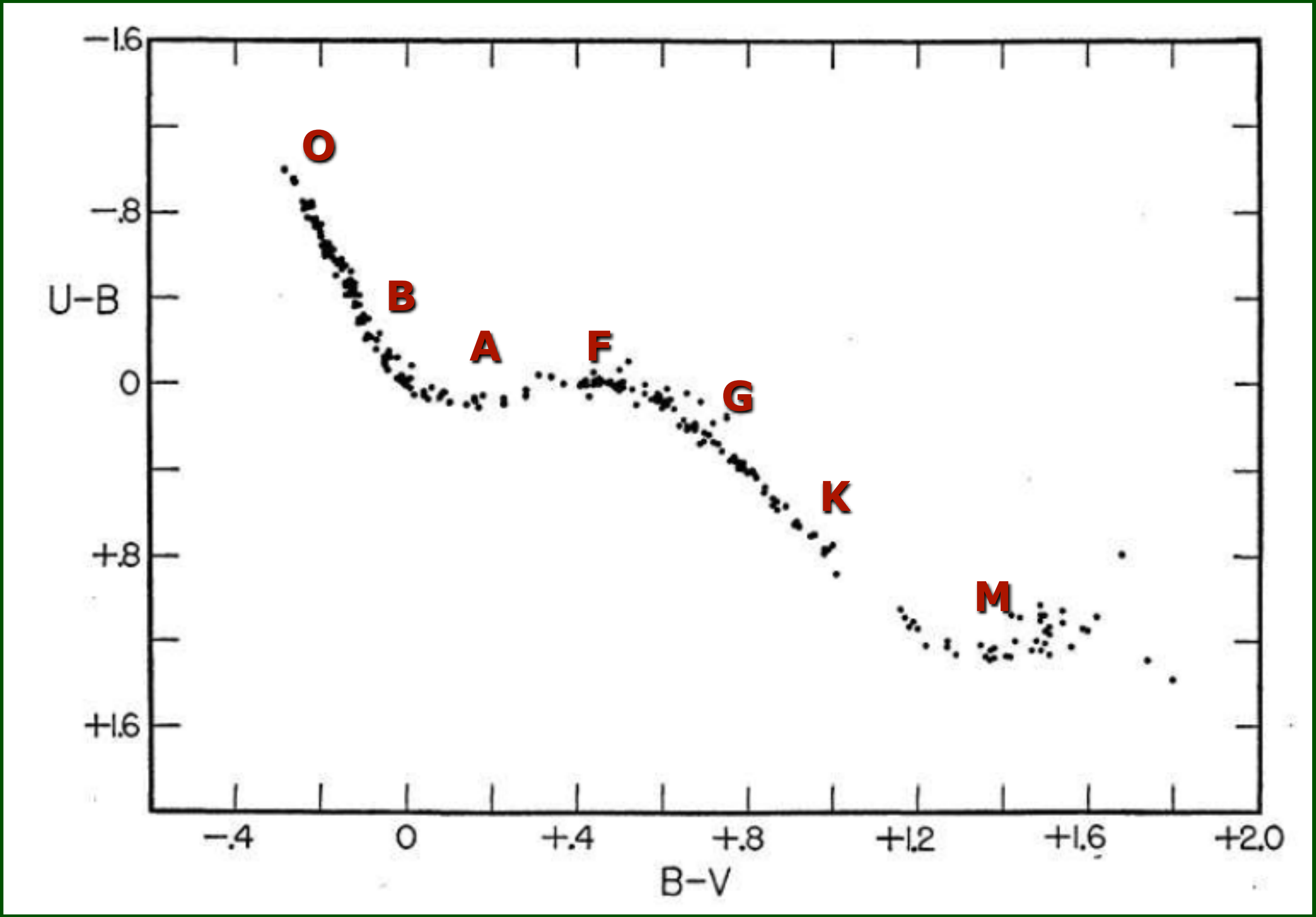
Wykres dwuwskaźnikowy w systemie UBV



Gwiazdy niepoczerwienione

Swoiste wskaźniki barwy = nie zmienione przez poczerwienienie

Wykres dwuwskaźnikowy w systemie UBV



Gwiazdy niepoczerwienione

Swoiste wskaźniki barwy = nie zmienione przez poczerwienienie

Wykres dwuwskaźnikowy

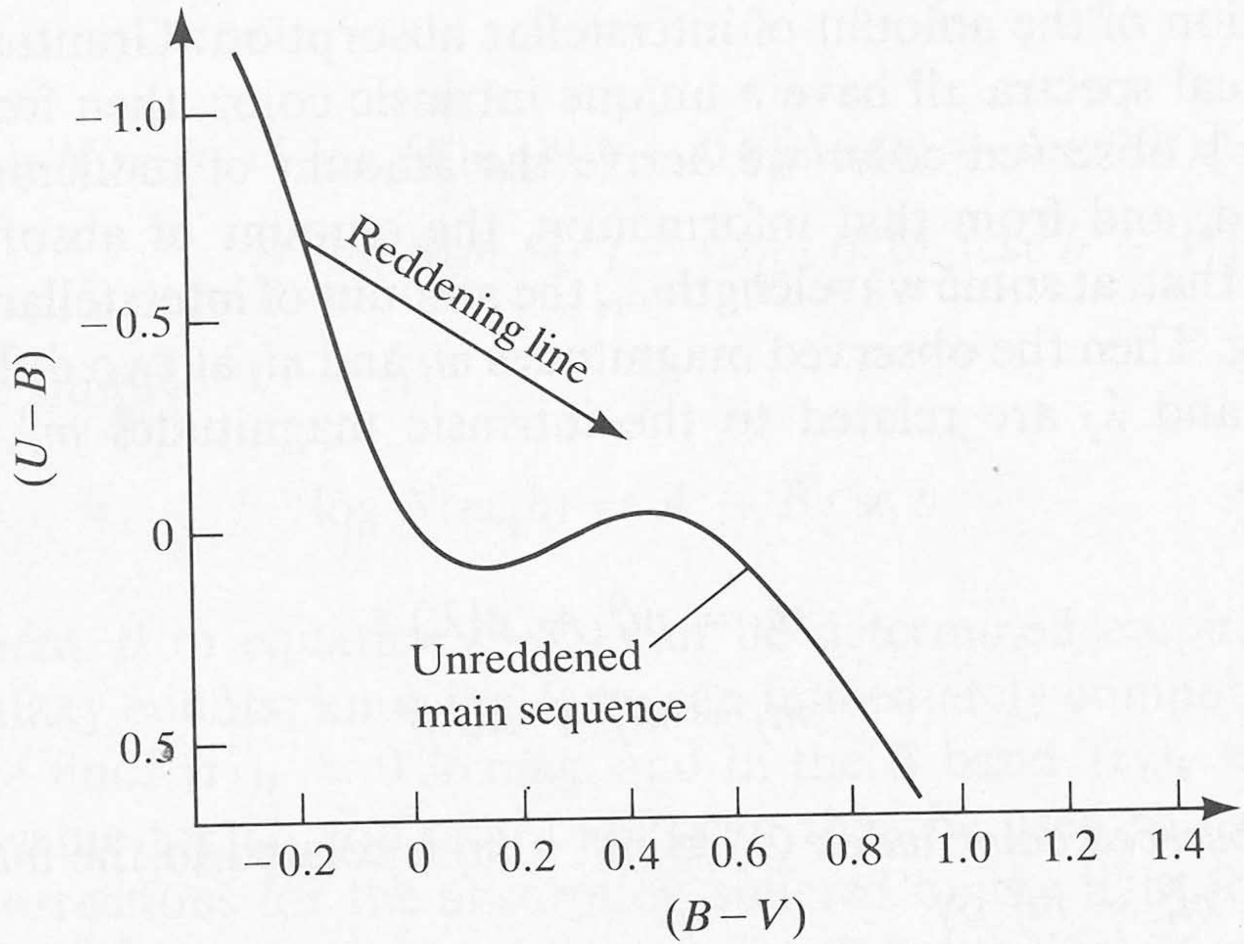


Figure 3-26. Effects of interstellar reddening in the *UBV* system two-color diagram.

Wykres dwuwskaźnikowy

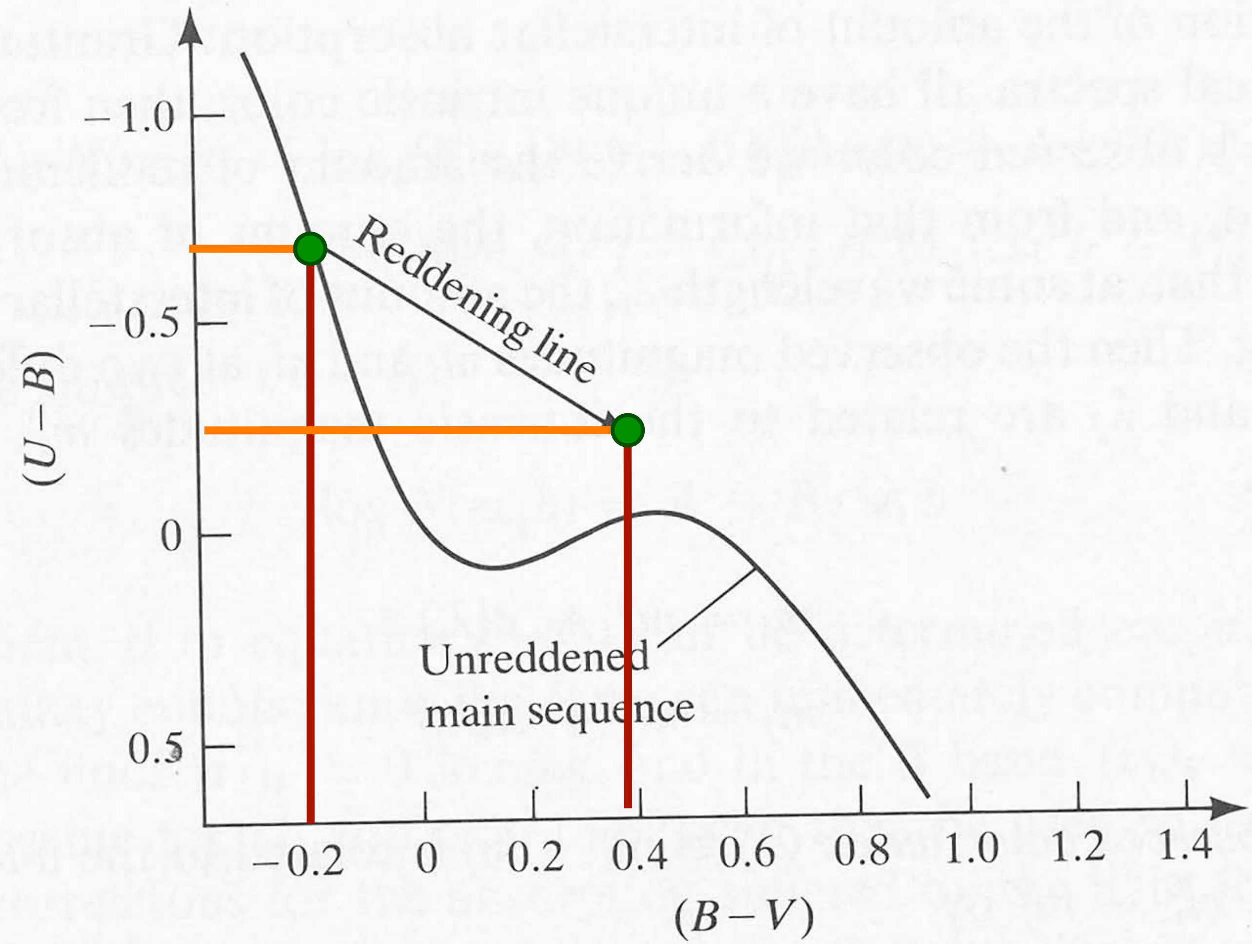


Figure 3-26. Effects of interstellar reddening in the *UBV* system two-color diagram.

Wykres dwuwskaźnikowy

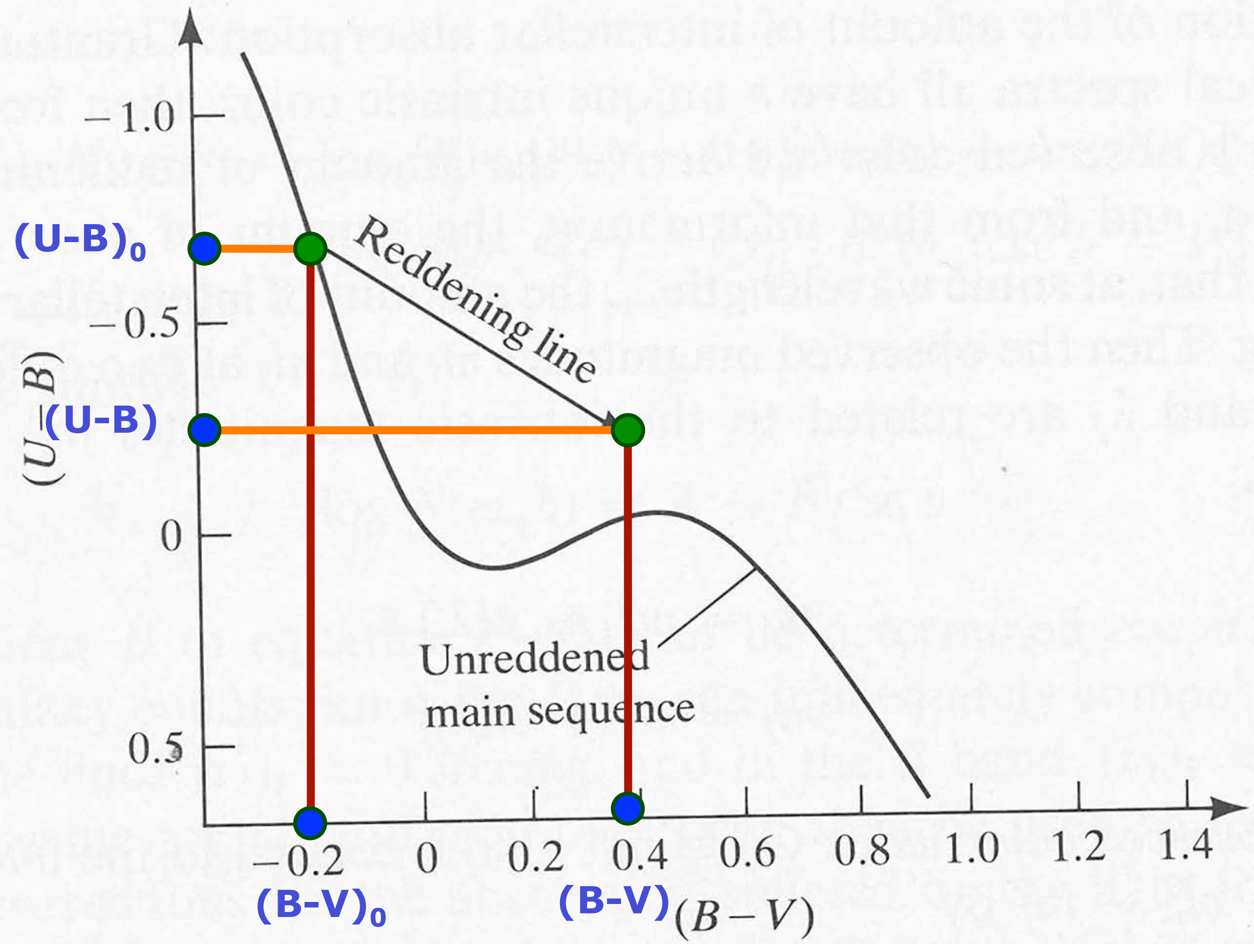


Figure 3-26. Effects of interstellar reddening in the *UBV* system two-color diagram.

Wykres dwuwskaźnikowy

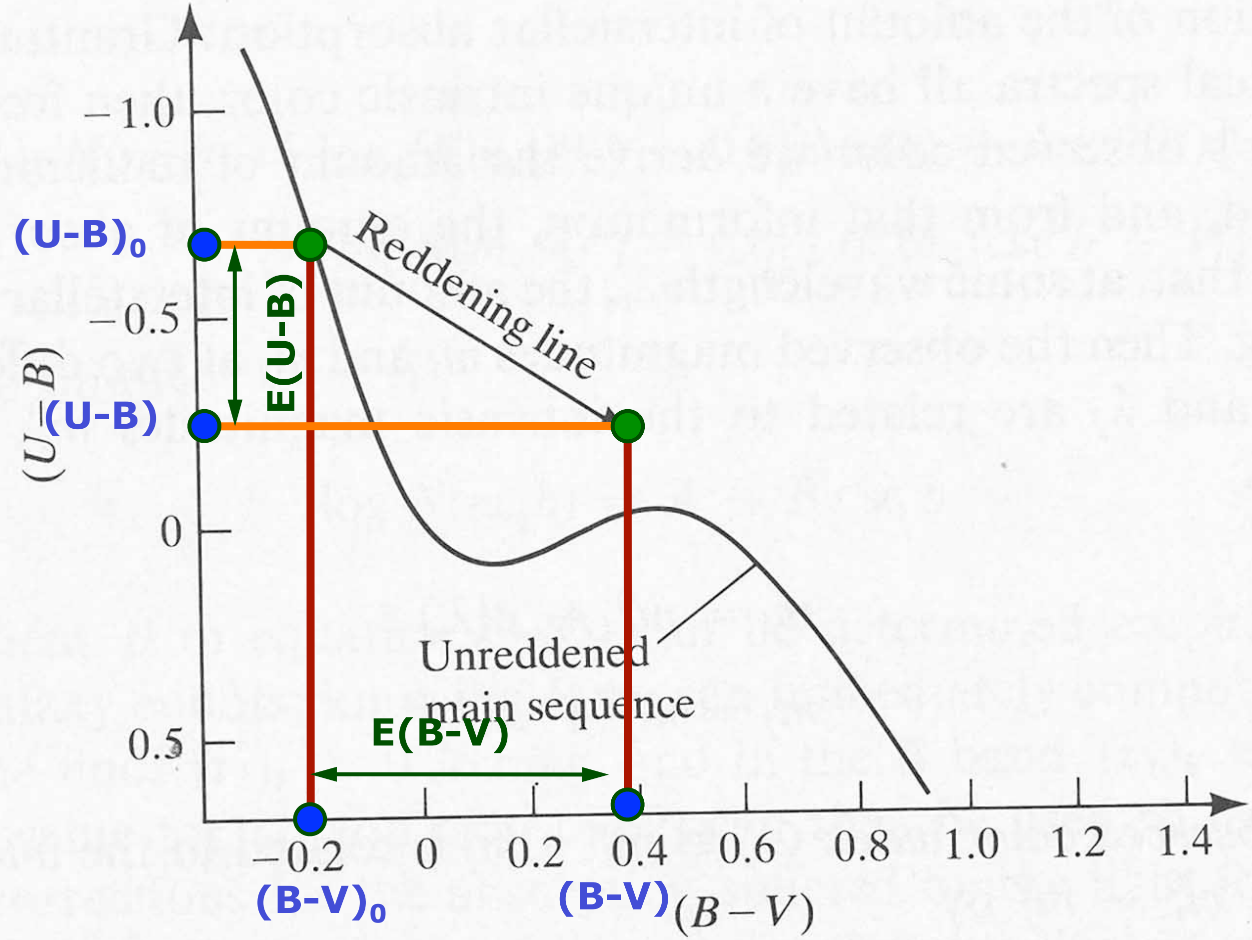
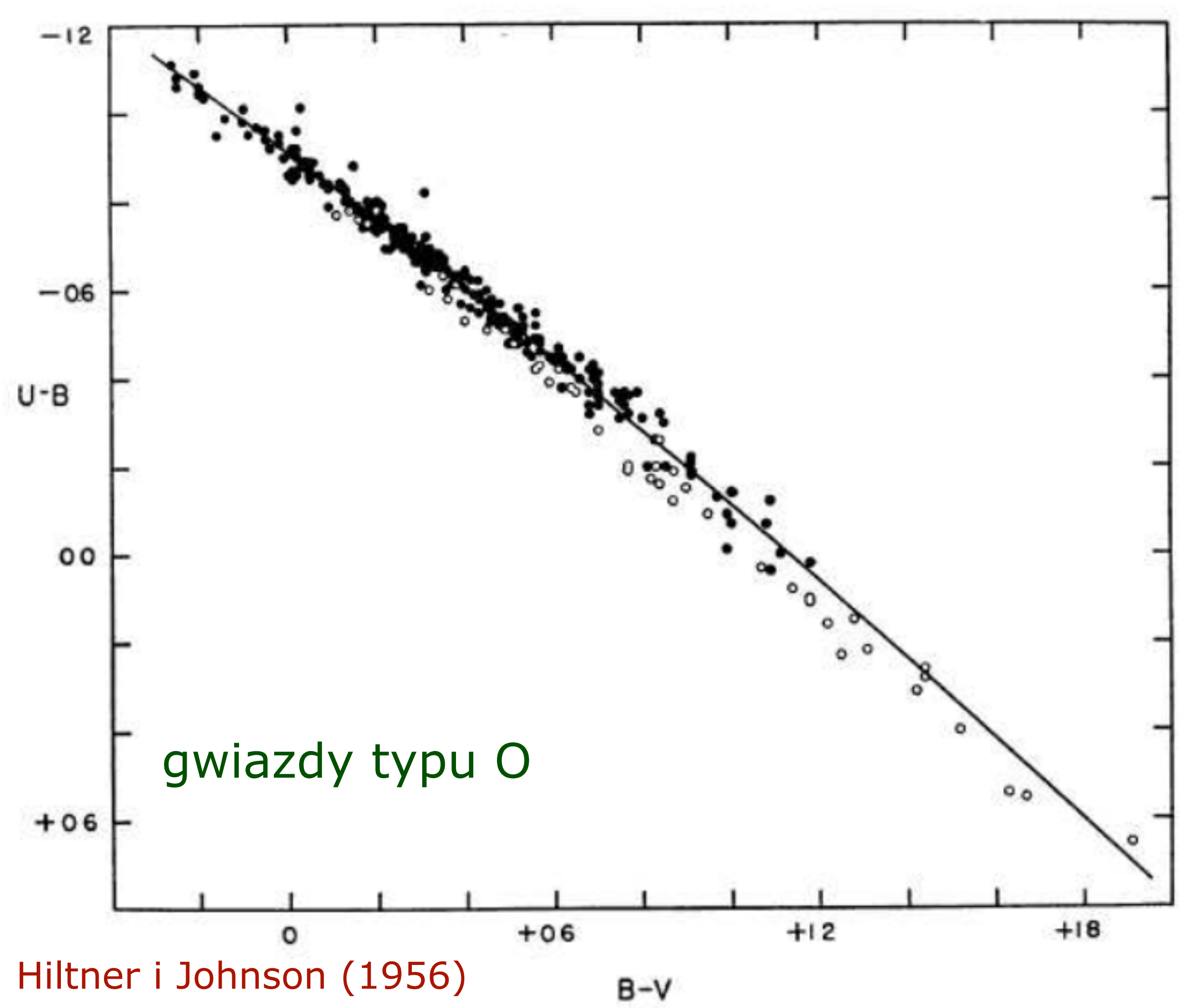


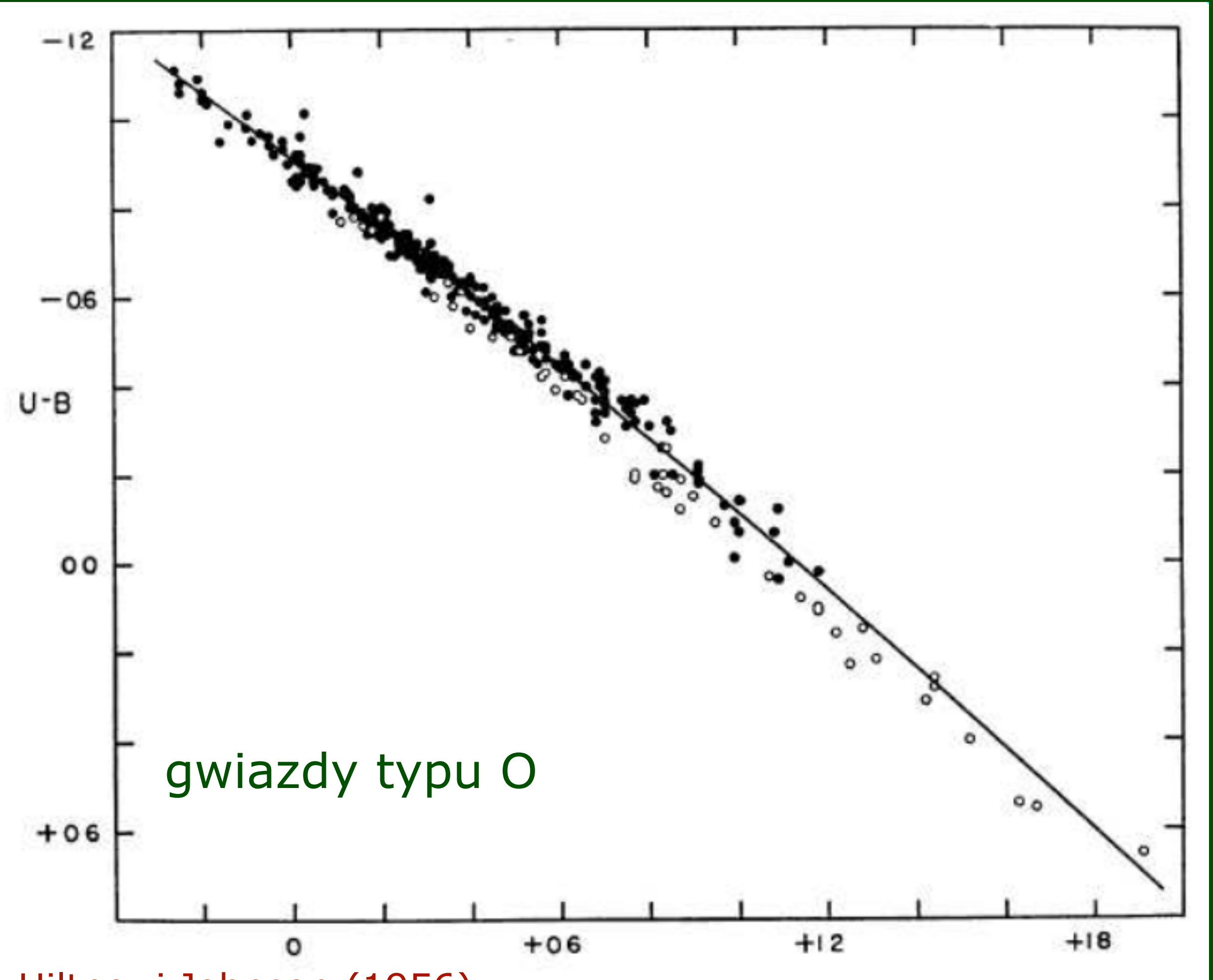
Figure 3-26. Effects of interstellar reddening in the *UBV* system two-color diagram.

Linia poczerwienienia



Hiltner i Johnson (1956)

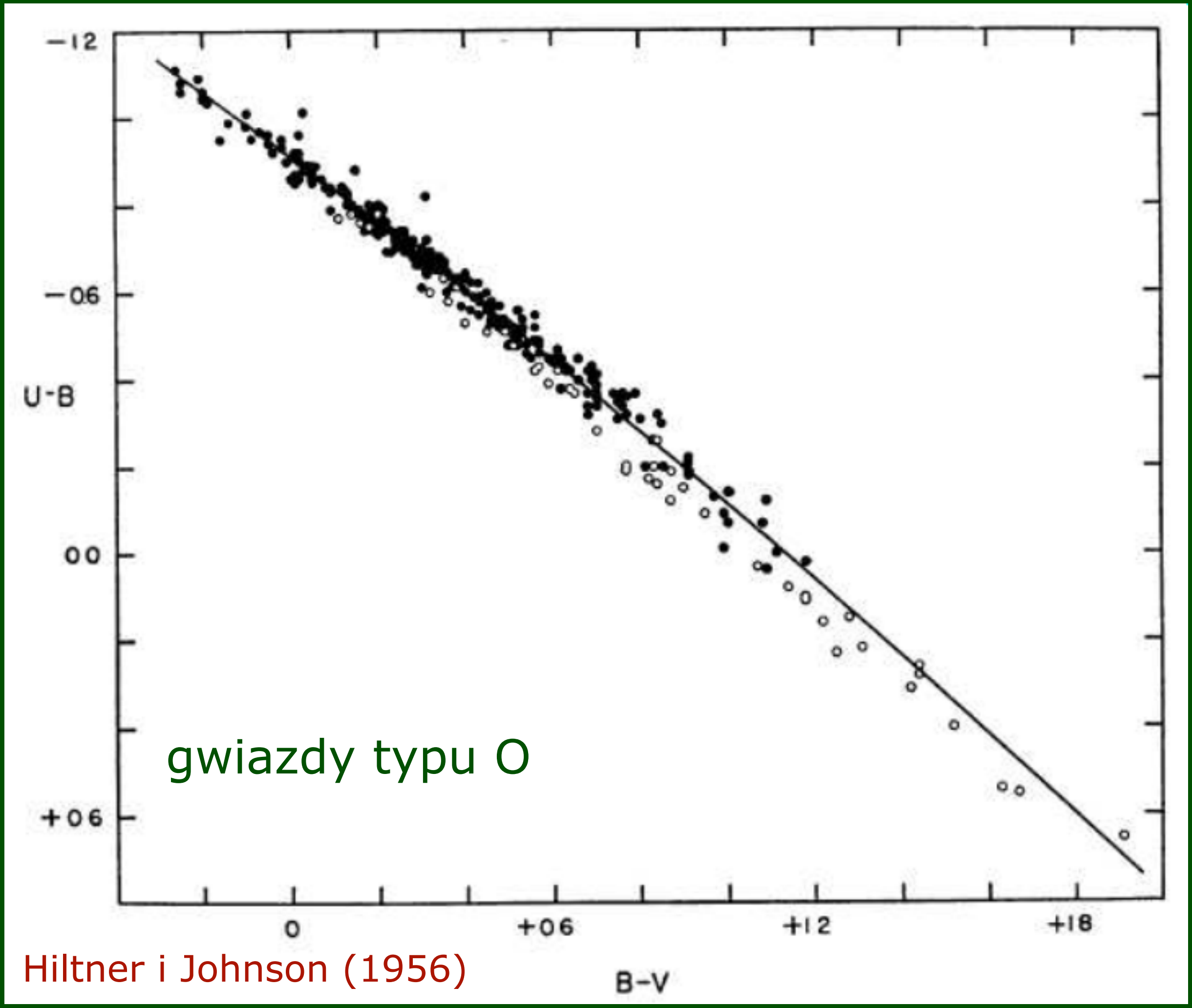
Linia poczerwienienia



Hiltner i Johnson (1956)

$$\frac{E(U-B)}{E(B-V)} = 0.72 + 0.05E(B-V).$$

Linia poczerwienienia



Hiltner i Johnson (1956)

$$\frac{E(U-B)}{E(B-V)} = 0.72 + 0.05E(B-V).$$

Dla niektórych obszarów *E(U-B)/E(B-V)* jest inne !

0.65 – 0.80

Wykres dwuwskaźnikowy

$$U = U_0 + A_U, \qquad B = B_0 + A_B, \qquad V = V_0 + A_V$$

$$A_U > A_B > A_V$$

$$U - B = U_0 - B_0 + A_U - A_B = (U - B)_0 + E(U - B),$$

$$B - V = B_0 - V_0 + A_B - A_V = (B - V)_0 + E(B - V),$$

Wykres dwuwskaźnikowy

$$U = U_0 + A_U, \qquad B = B_0 + A_B, \qquad V = V_0 + A_V$$

$$A_U > A_B > A_V$$

$$U - B = U_0 - B_0 + A_U - A_B = (U - B)_0 + E(U - B),$$

$$B - V = B_0 - V_0 + A_B - A_V = (B - V)_0 + E(B - V),$$

mierzone wskaźniki barwy

Wykres dwuwskaźnikowy

$$U = U_0 + A_U, \qquad B = B_0 + A_B, \qquad V = V_0 + A_V$$

$$A_U > A_B > A_V$$

$$U - B = U_0 - B_0 + A_U - A_B = (U - B)_0 + E(U - B),$$

$$B - V = B_0 - V_0 + A_B - A_V = (B - V)_0 + E(B - V),$$

mierzone wskaźniki barwy

swoiste wskaźniki barwy

Wykres dwuwskaźnikowy

$$U = U_0 + A_U, \qquad B = B_0 + A_B, \qquad V = V_0 + A_V$$

$$A_U > A_B > A_V$$

$$U - B = U_0 - B_0 + A_U - A_B = (U - B)_0 + E(U - B),$$

$$B - V = B_0 - V_0 + A_B - A_V = (B - V)_0 + E(B - V),$$

mierzone wskaźniki barwy

nadwyżki barwy

swoiste wskaźniki barwy

Wskaźnik Q

W systemie *UBV* Johnsona definiuje się nieczuły na poczerwienienie wskaźnik *Q*:

$$Q \equiv (U - B) - \frac{E(U - B)}{E(B - V)}(B - V).$$

Wskaźnik Q

W systemie *UBV* Johnsona definiuje się nieczuły na poczerwienienie wskaźnik *Q*:

$$Q \equiv (U-B) - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V).$$

$$Q = (U-B)_0 + E(U-B) - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V)_0 - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}E(B-V) =$$

$$= (U-B)_0 - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V)_0.$$

Wskaźnik Q

W systemie *UBV* Johnsona definiuje się nieczuły na poczerwienienie wskaźnik *Q*:

$$Q \equiv (U-B) - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V).$$

$$Q = (U-B)_0 + E(U-B) - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V)_0 - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}E(B-V) =$$

$$= (U-B)_0 - \frac{E(U-B)}{E(B-V)}(B-V)_0.$$

Dla gwiazd OB swoiste wskaźniki $(B\text{-}V)_0$ zależą tylko od *Q*.

$$(B-V)_0 = -0.009 + 0.337Q.$$

Ekstynkcja międzygwiazdowa

$$E(\lambda - V) = A_\lambda - A_V,$$

$$\lim_{\lambda \to \infty} \frac{A_\lambda - A_V}{E(B-V)} = -\frac{A_V}{E(B-V)} = -R,$$

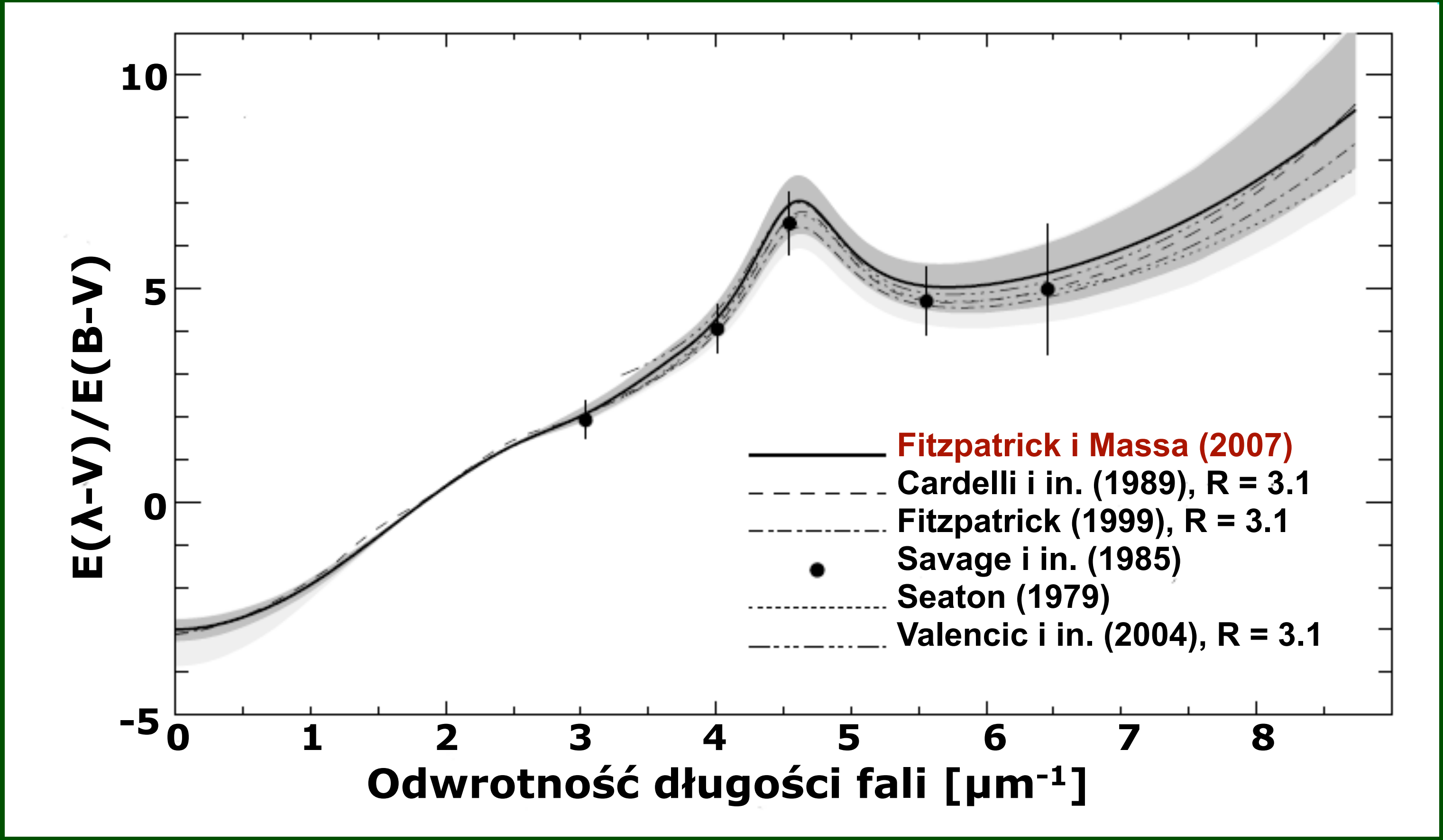
R – stosunek absorpcji całkowitej do selektywnej

Ekstynkcja międzygwiazdowa

$$E(\lambda - V) = A_\lambda - A_V,$$

$$\lim_{\lambda \to \infty} \frac{A_\lambda - A_V}{E(B-V)} = -\frac{A_V}{E(B-V)} = -R,$$

R – stosunek absorpcji całkowitej do selektywnej

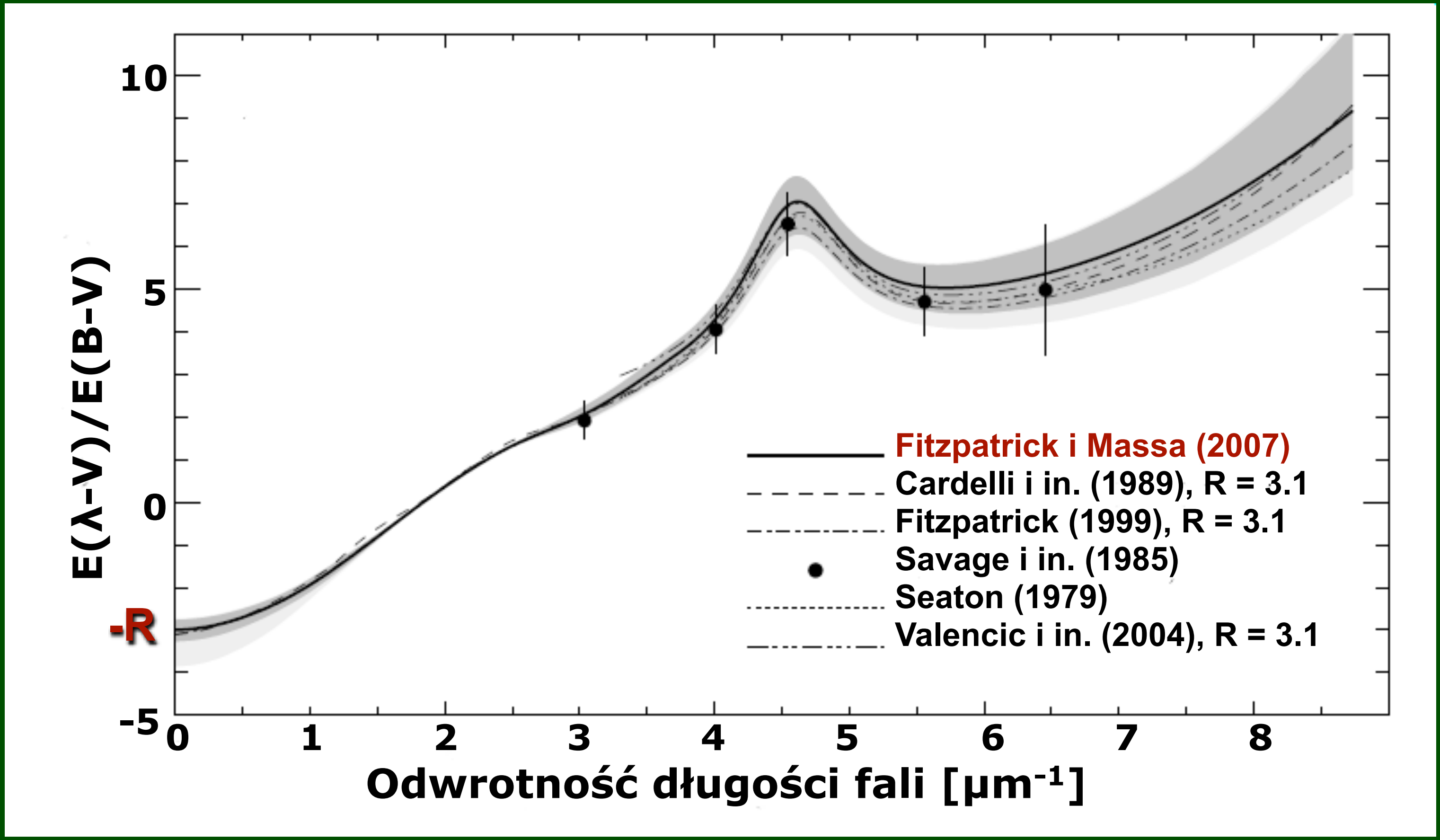


Ekstynkcja międzygwiazdowa

$$E(\lambda - V) = A_\lambda - A_V,$$

$$\lim_{\lambda \to \infty} \frac{A_\lambda - A_V}{E(B-V)} = -\frac{A_V}{E(B-V)} = -R,$$

R – stosunek absorpcji całkowitej do selektywnej



Ekstynkcja międzygwiazdowa

$$E(\lambda - V) = A_\lambda - A_V,$$

$$\lim_{\lambda\to\infty} \frac{A_\lambda - A_V}{E(B-V)} = -\frac{A_V}{E(B-V)} = -R,$$

R – stosunek absorpcji całkowitej do selektywnej