



Uniwersytet
Wrocławski

Fotometria

1. Systemy fotometryczne.

Andrzej Pigulski

Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

Produkty HELAS-a, 2010

Fotometria

Fotometria to jedna z podstawowych technik obserwacyjnych. Pozwala w bardzo prosty sposób określić niektóre cechy obiektu emitującego światło. Wymaga jednak znajomości/oceny efektów, którym światło podlega po drodze do obserwatora:

- ekstynkcja atmosferyczna,
- ekstynkcja międzygwiazdowa,
- efekty związane z odbiornikiem i detektorem.

Niekorzystne efekty można niekiedy zminimalizować robiąc pomiary w sposób różnicowy (**fotometria różnicowa**).

Fotometria

Fotometria to jedna z podstawowych technik obserwacyjnych. Pozwala w bardzo prosty sposób określić niektóre cechy obiektu emitującego światło. Wymaga jednak znajomości/oceny efektów, którym światło podlega po drodze do obserwatora:

- ekstynkcja atmosferyczna,
- ekstynkcja międzygwiazdowa,
- efekty związane z odbiornikiem i detektorem.

Niekorzystne efekty można niekiedy zminimalizować robiąc pomiary w sposób różnicowy (**fotometria różnicowa**).

Używana w astronomii **skala jasności** jest spuścizną po katalogu Hipparcha (II w p.n.e.): gwiazdy 1-szej do 6-ej wielkości.

Wprowadzona w **1856** r. przez Pogsona nawiązuje do katalogu Hipparcha.

$$m = -2.5 \log E + C,$$

gdzie: m – wielkość gwiazdowa (jasność), E – natężenie oświetlenia lub wielkość do niego proporcjonalna, C – stała. Wielkości gwiazdowe wyrażamy w **magnitudo** (mag).

Fotometria

Stosunek natężeń oświetlenia dwu obiektów, których jasności różnią się o 1 mag wynosi:

$$1 = -2.5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{-0.4} = 2.512\dots$$

Fotometria

Stosunek natężeń oświetlenia dwu obiektów, których jasności różnią się o 1 mag wynosi:

$$1 = -2.5 \log \frac{E_1}{E_2}$$
$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{-0.4} = 2.512\dots$$

Jasności obserwowane to tzw. **jasności widome**, w naturalny sposób zależne od odległości D obiektu. Jeśli obiekt przesuniemy na odległość 10 pc, to E zmieni się o czynnik $(D/10)^2$. Zatem:

$$m - M = -2.5 \log \left(\frac{10}{D} \right)^2 = -2.5 \log 100 + 2.5 \log D^2 = 5 \log D - 5.$$

Fotometria

Stosunek natężeń oświetlenia dwu obiektów, których jasności różnią się o 1 mag wynosi:

$$1 = -2.5 \log \frac{E_1}{E_2}$$
$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{-0.4} = 2.512\dots$$

Jasności obserwowane to tzw. **jasności widome**, w naturalny sposób zależne od odległości D obiektu. Jeśli obiekt przesuniemy na odległość 10 pc, to E zmieni się o czynnik $(D/10)^2$. Zatem:

$$m - M = -2.5 \log \left(\frac{10}{D} \right)^2 = -2.5 \log 100 + 2.5 \log D^2 = 5 \log D - 5.$$

gdzie M jest jasnością tego obiektu obserwowanego z odległości 10 pc. Jasność tą nazywamy **jasnością absolutną**. Wielkość $(m-M)$ nazywamy **modułem odległości**. W obecności absorpcji międzygwiazdowej równanie powyższe przyjmuje postać:

$$m - M = 5 \log D - 5 + A.$$

Fotometria

Jasności są bardzo rzadko mierzone w taki sposób, że obejmują cały zakres fal EM. Jeśli jednak tak jest, nazywamy je **jasnościami bolometrycznymi**. Jasności bolometryczne wiążą się bezpośrednio z mocą promieniowania obiektów.

$$M_1 - M_2 = -2.5 \log \frac{L_1}{L_2}.$$

$$M_{\text{bol}} - M_{\text{bol}}^{\odot} = -2.5 \log L/L_{\odot},$$

$$M_{\text{bol}} = 4.72 - 2.5 \log L/L_{\odot}.$$

Jasność bolometryczna $M_{\text{bol}} = 0$ odpowiada moc promieniowania $L = 3 \times 10^{26}$ W.

Fotometria

Zwykle jednak obserwacje prowadzone są w jakimś paśmie fotometrycznym, czyli w ograniczonym zakresie długości fal. W ogólności można zapisać, że:

$$m_P = -2.5 \log \left(\int_0^{\infty} f(\lambda) A(\lambda) S(\lambda) T_P(\lambda) d\lambda \right) + C$$

gdzie:

m_P – jasność w paśmie P,

$f(\lambda)$ – rozkład strumienia (pozaatmosferycznego) z długością fali,

$A(\lambda)$ – przepuszczalność atmosfery,

$S(\lambda)$ – czułość detektora + odbijalność luster,

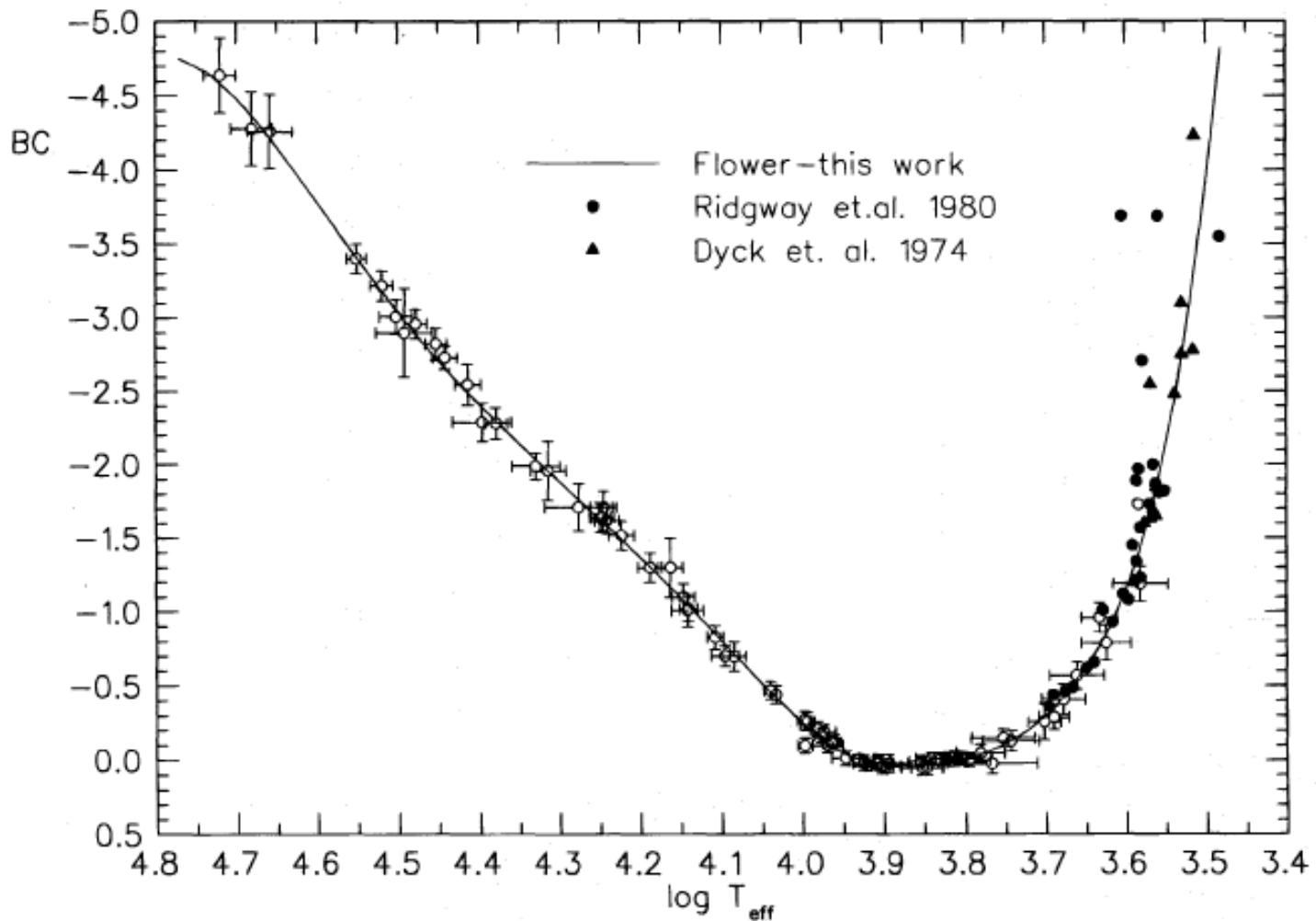
$T_P(\lambda)$ – przepuszczalność filtrów,

C – dowolna stała.

Dla przykładu, jasność fotometryczną w paśmie V Johnsona oznaczamy jako m_V . Różnica między jasnością bolometryczną a jasnością w paśmie V to tzw. **poprawka bolometryczna**:

$$BC = M_{bol} - M_V = m_{bol} - m_V$$

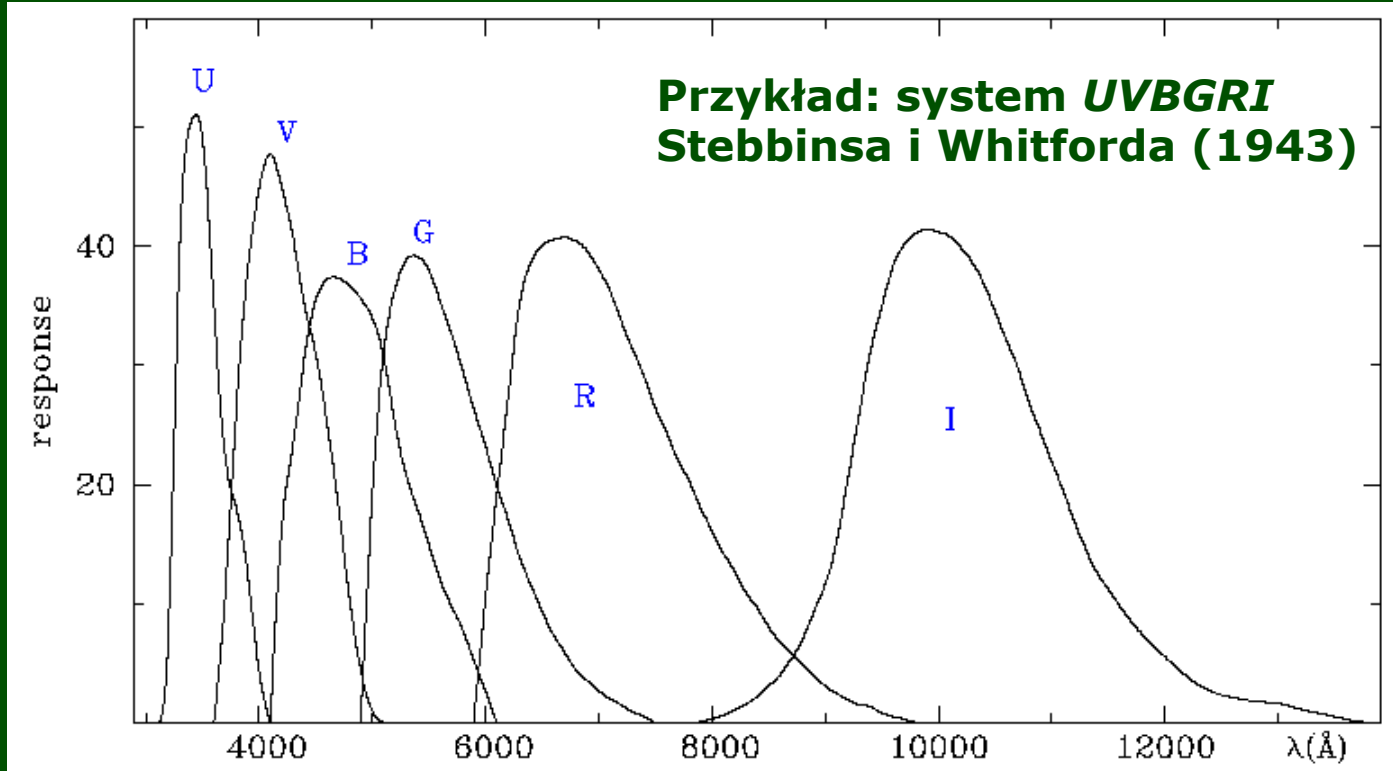
Poprawka bolometryczna



Flower (1996)

Systemy fotometryczne

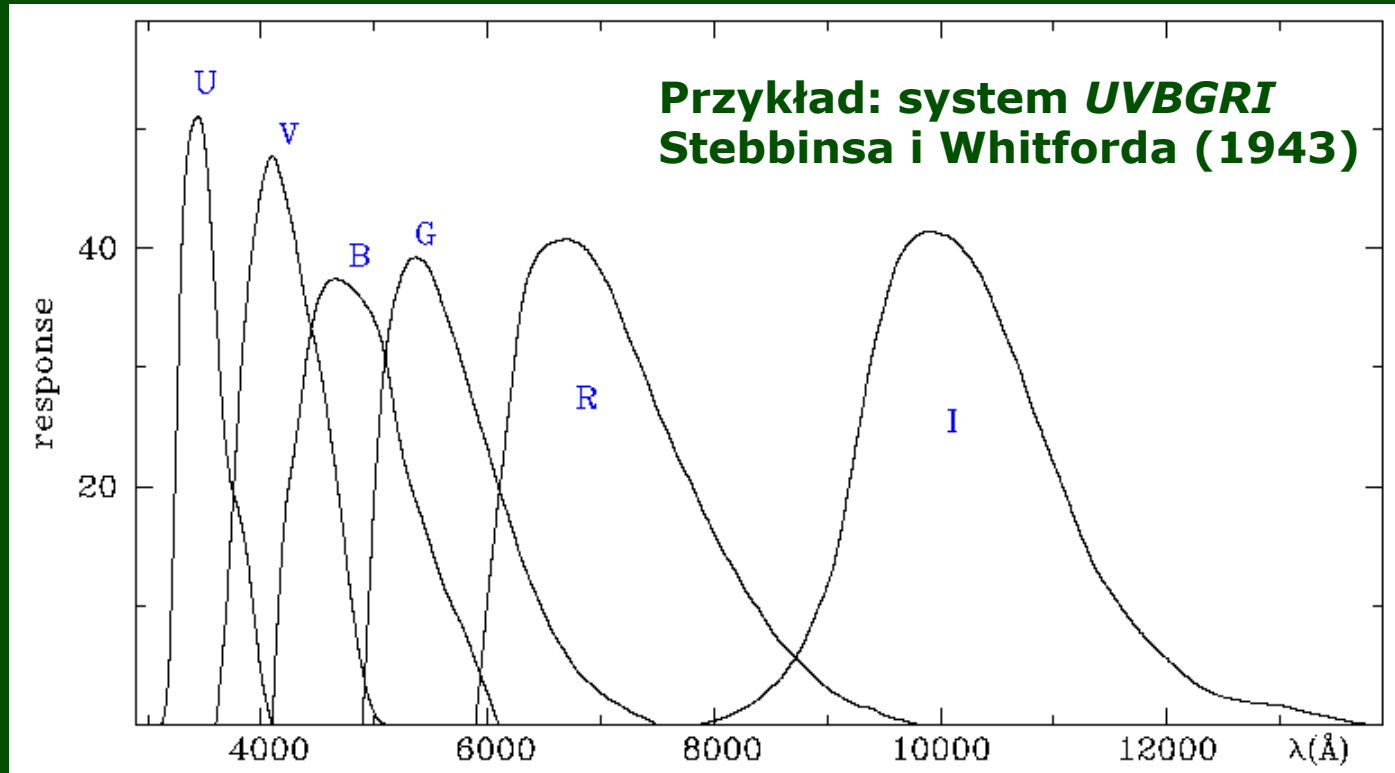
Istnieje kilkaset różnych systemów fotometrycznych, z których w powszechniejszym użyciu jest kilka. Każdy system fotometryczny składa się z **pasm fotometrycznych**.



W zależności od szerokości pasm mówi się o systemach szerokopasmowych, średniopasmowych i wąskopasmowych.

Systemy fotometryczne

Istnieje kilkaset różnych systemów fotometrycznych, z których w powszechniejszym użyciu jest kilka. Każdy system fotometryczny składa się z **pasm fotometrycznych**.

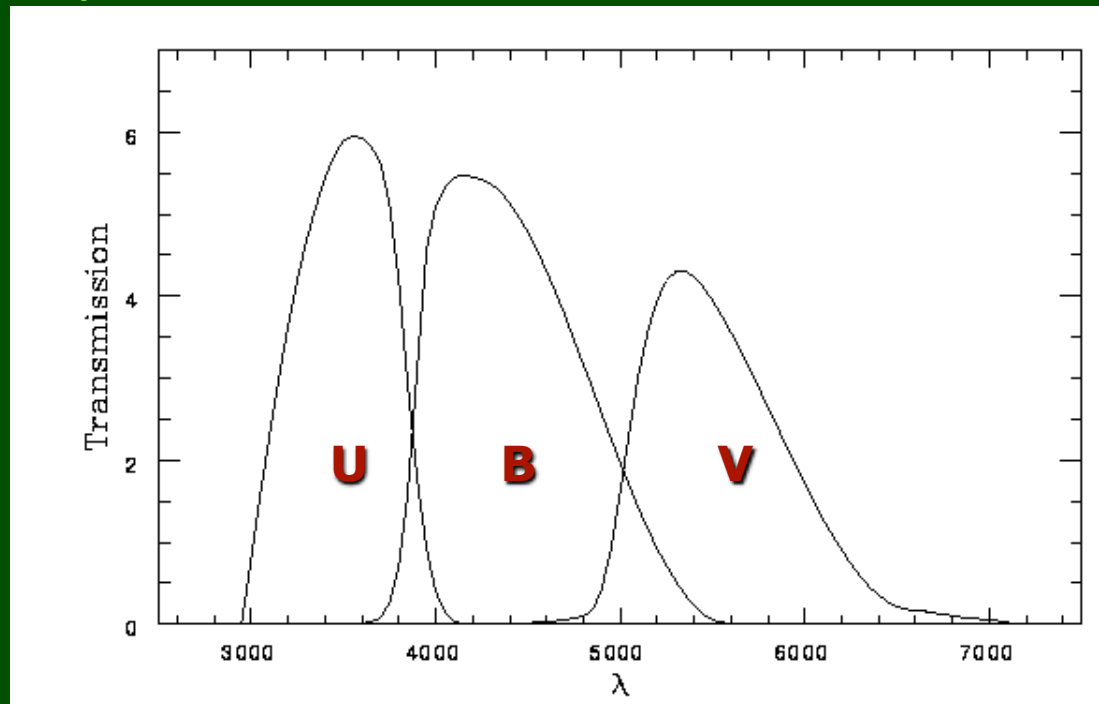


W zależności od szerokości pasm mówi się o systemach szerokopasmowych, średniopasmowych i wąskopasmowych.

<http://ulisse.pd.astro.it/Astro/ADPS/>

System UBV Johnsona

System *UBV* Johnsona i Morgana to jeden z najpopularniejszych systemów fotometrycznych, mimo tego, że jest nienajlepiej zdefiniowany.



U $\lambda_c = 3600 \text{ \AA}$, szerokość = 700 \AA

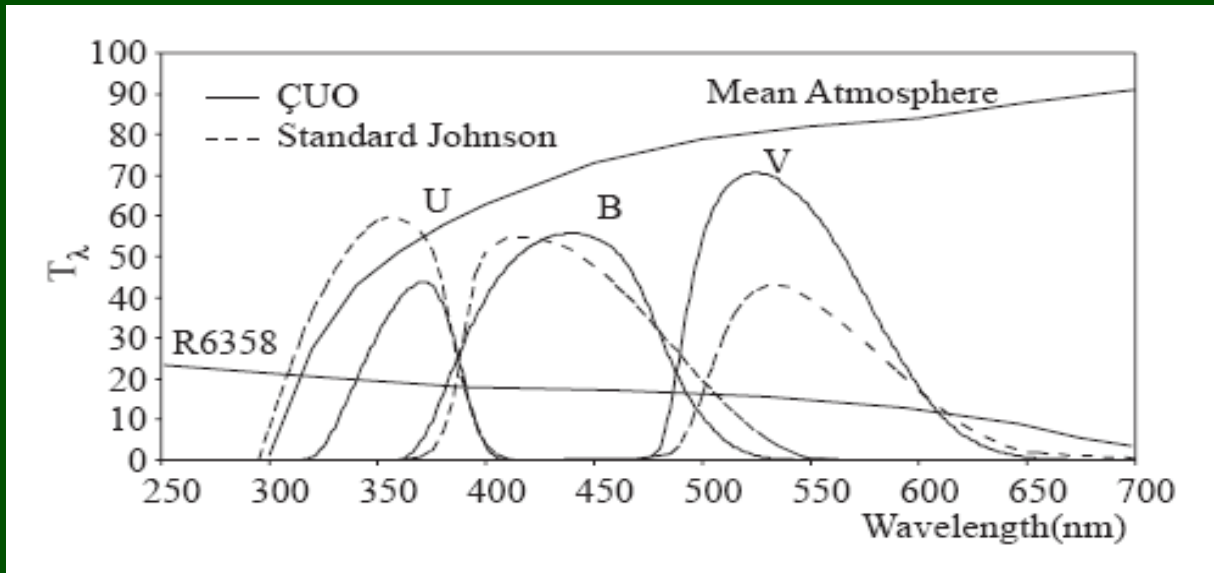
B $\lambda_c = 4400 \text{ \AA}$, szerokość = 1000 \AA

V $\lambda_c = 5500 \text{ \AA}$, szerokość = 900 \AA

Def.: Johnson & Morgan, 1951, ApJ 114,522
1953, ApJ 117,313

System UBV Johnsona

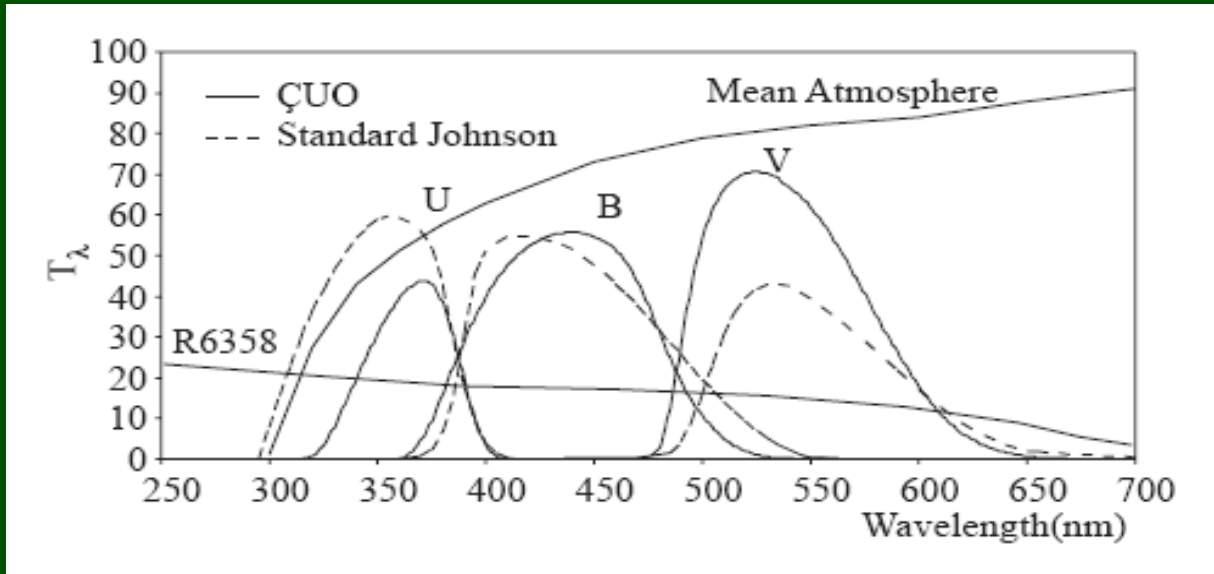
Systemu *UBV* Johnsona nie definiują same filtry. Filtry U i B przepuszczają także bliski ultrafiolet, filtr V jest górnoprzepustowy, a filtr U przepuszcza więcej UV niż atmosfera.



Bakiş i in. (2005)

System UBV Johnsona

Systemu *UBV* Johnsona nie definiują same filtry. Filtry U i B Przepuszczają także bliski ultrafiolet, filtr V jest górnoprzepustowy, a filtr U przepuszcza więcej UV niż atmosfera.

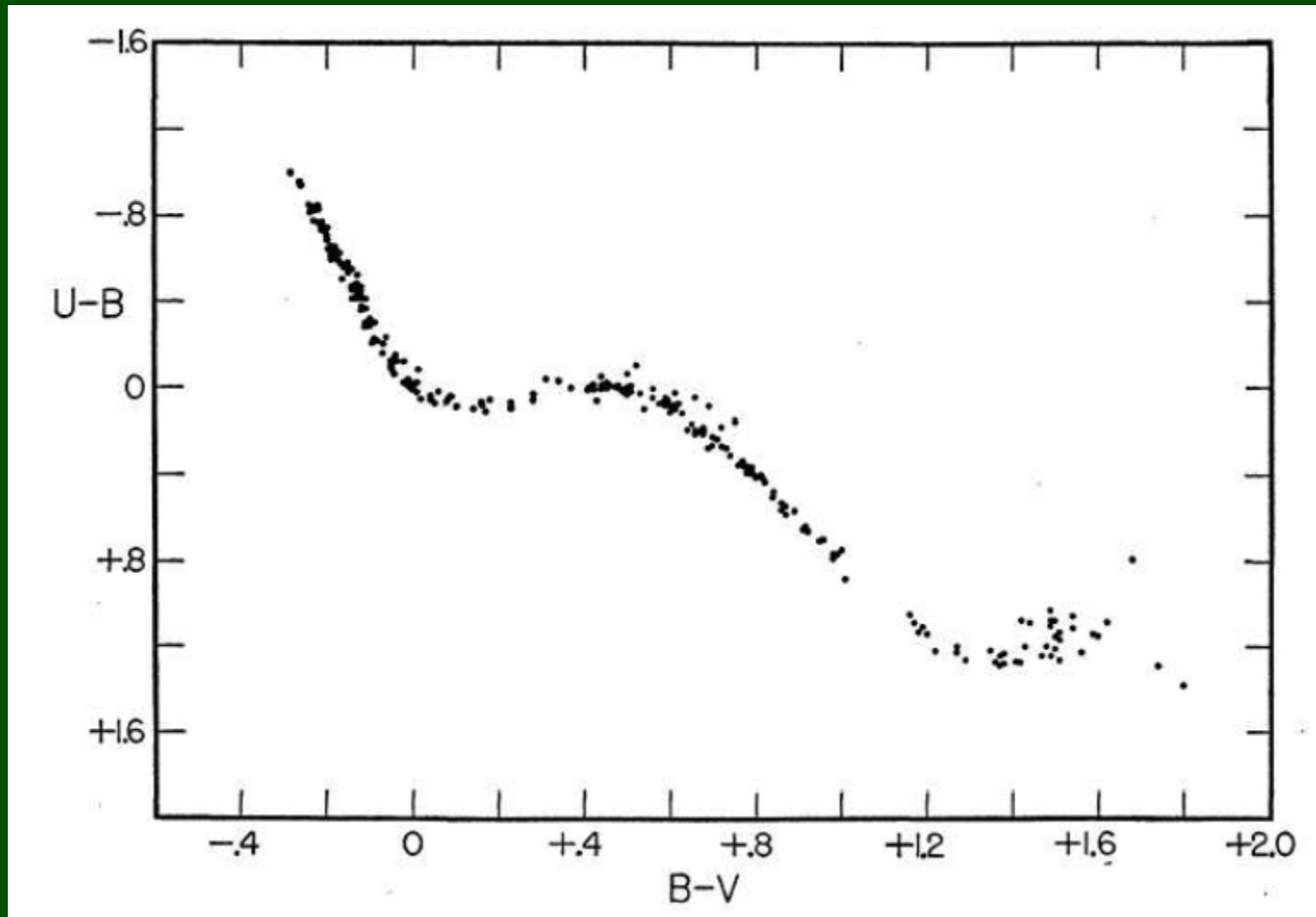


Bakiş i in. (2005)

O G R A N I C Z E N I E

Filtr	od strony krótkich λ	od strony długich λ
U	atmosfera	filtr, odcięcie RL
B	filtr	filtr, odcięcie RL
V	filtr	czułość fopow. 1P21

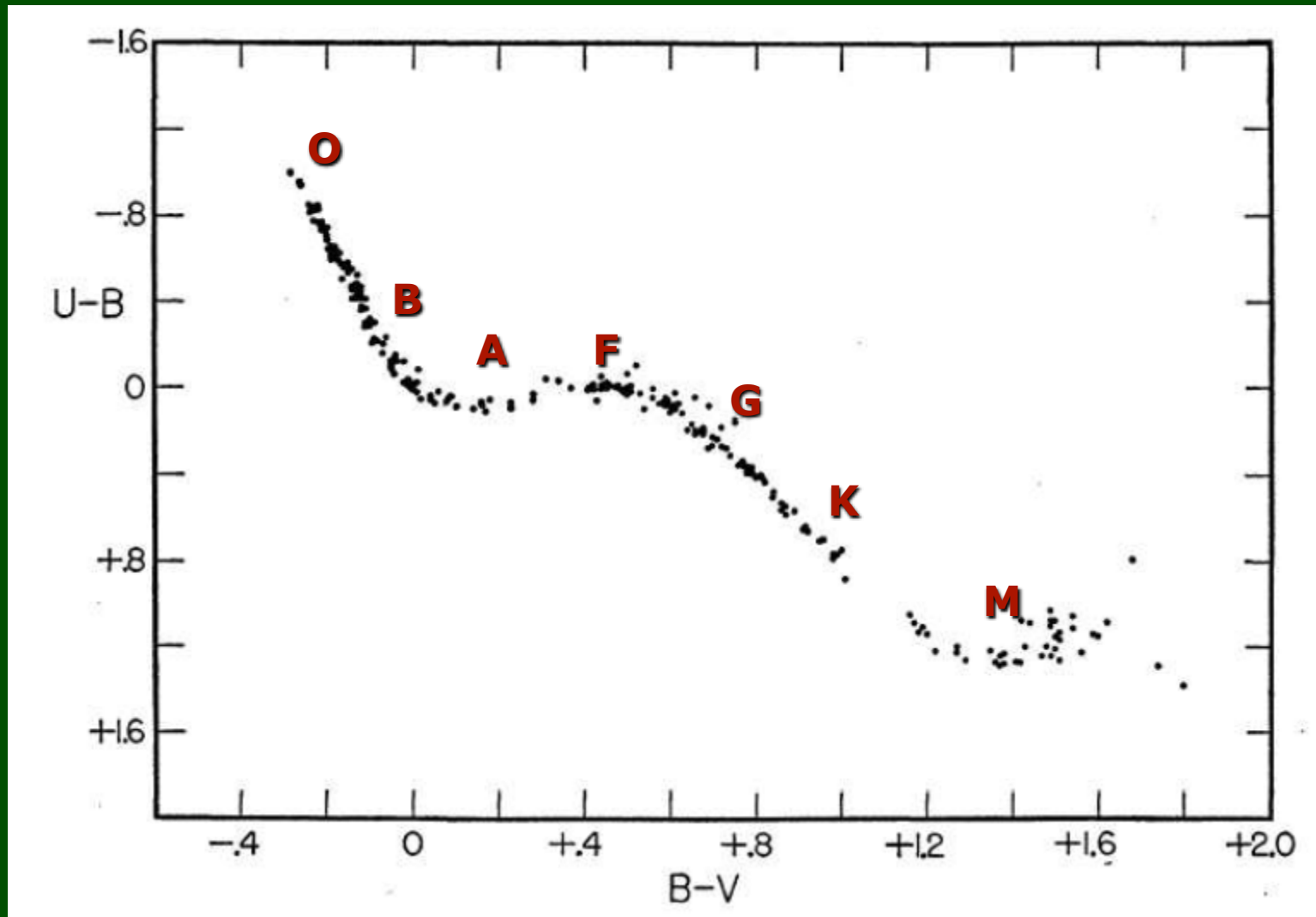
Wykres dwuwskaźnikowy: swoiste wskaźniki



Gwiazdy niepoczerwienione

Swoiste wskaźniki barwy = nie zmienione przez poczerwienienie

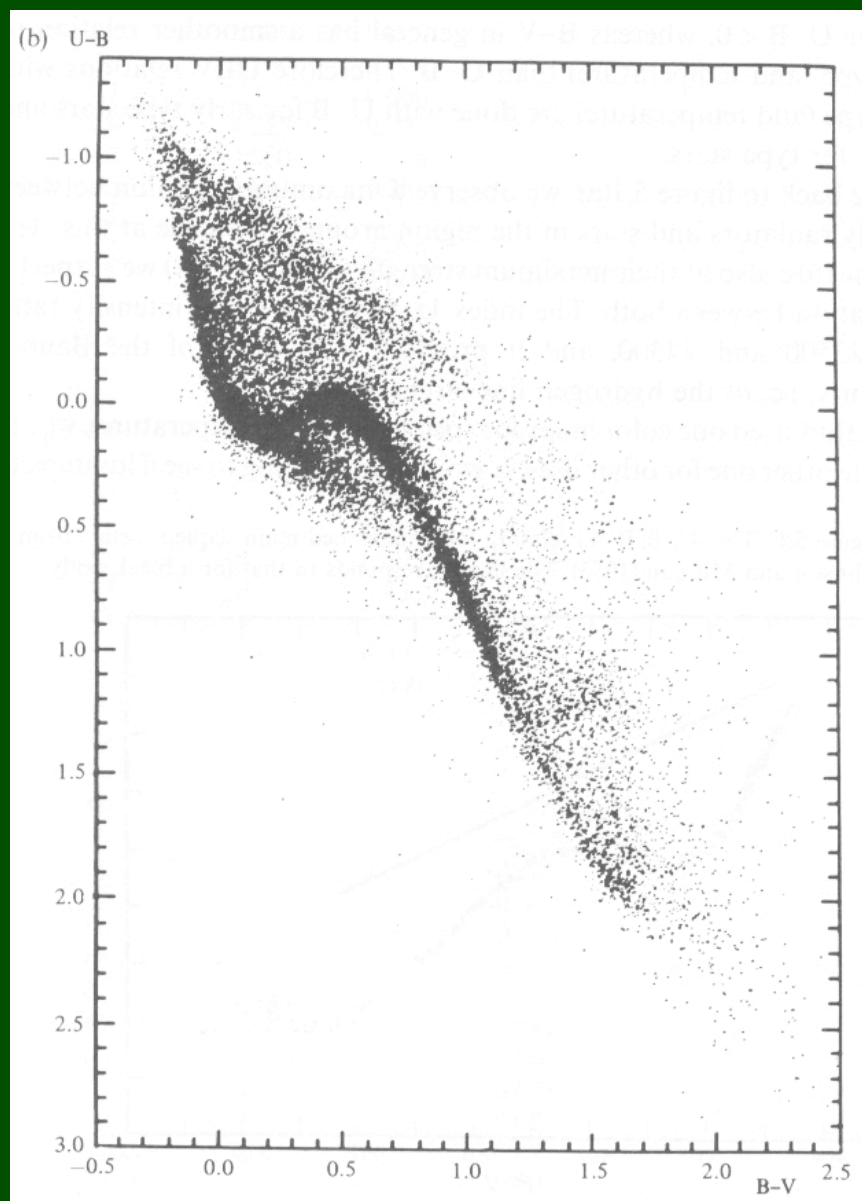
Wykres dwuwskaźnikowy: swoiste wskaźniki



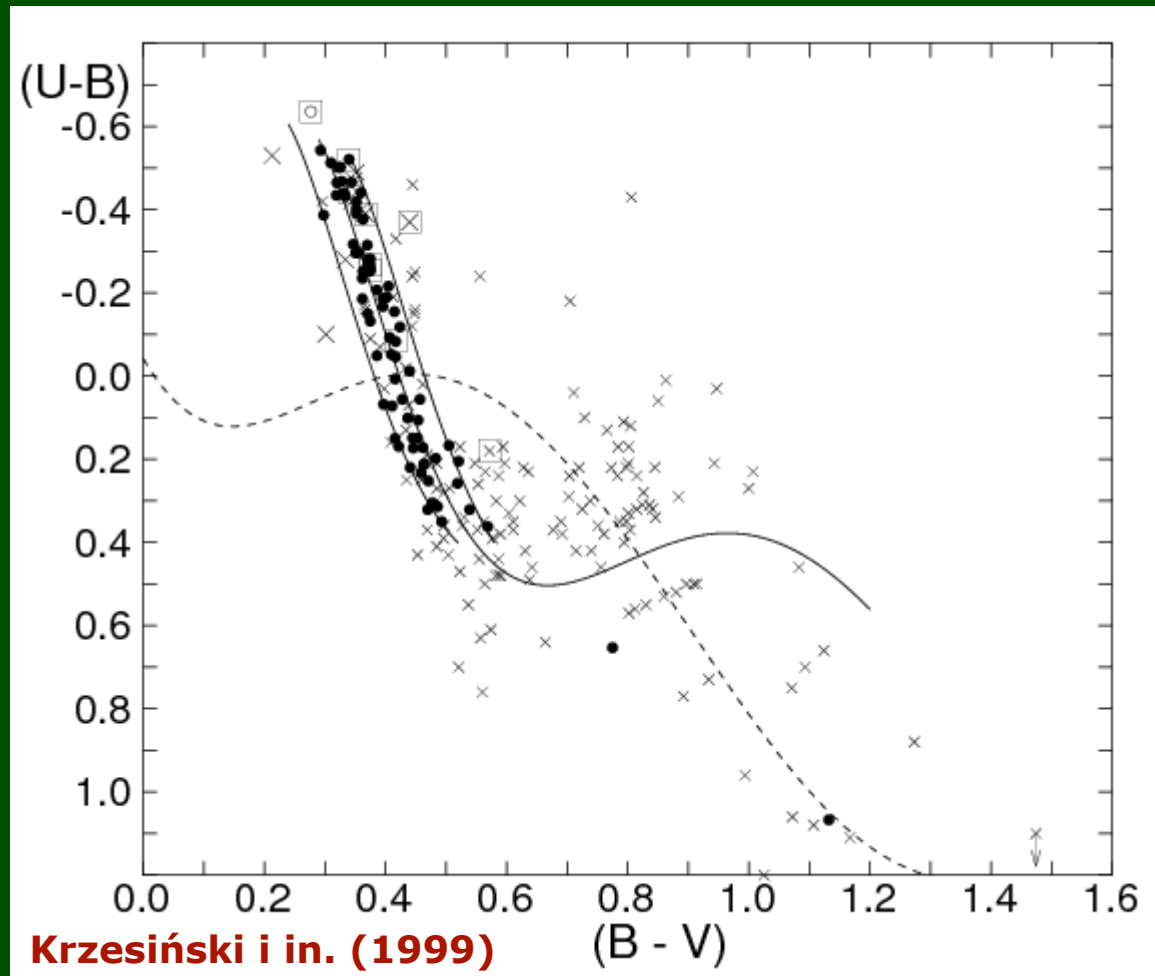
Gwiazdy niepoczerwienione

Swoiste wskaźniki barwy = nie zmienione przez poczerwienienie

Wykres dwuwskaźnikowy: mierzone wskaźniki

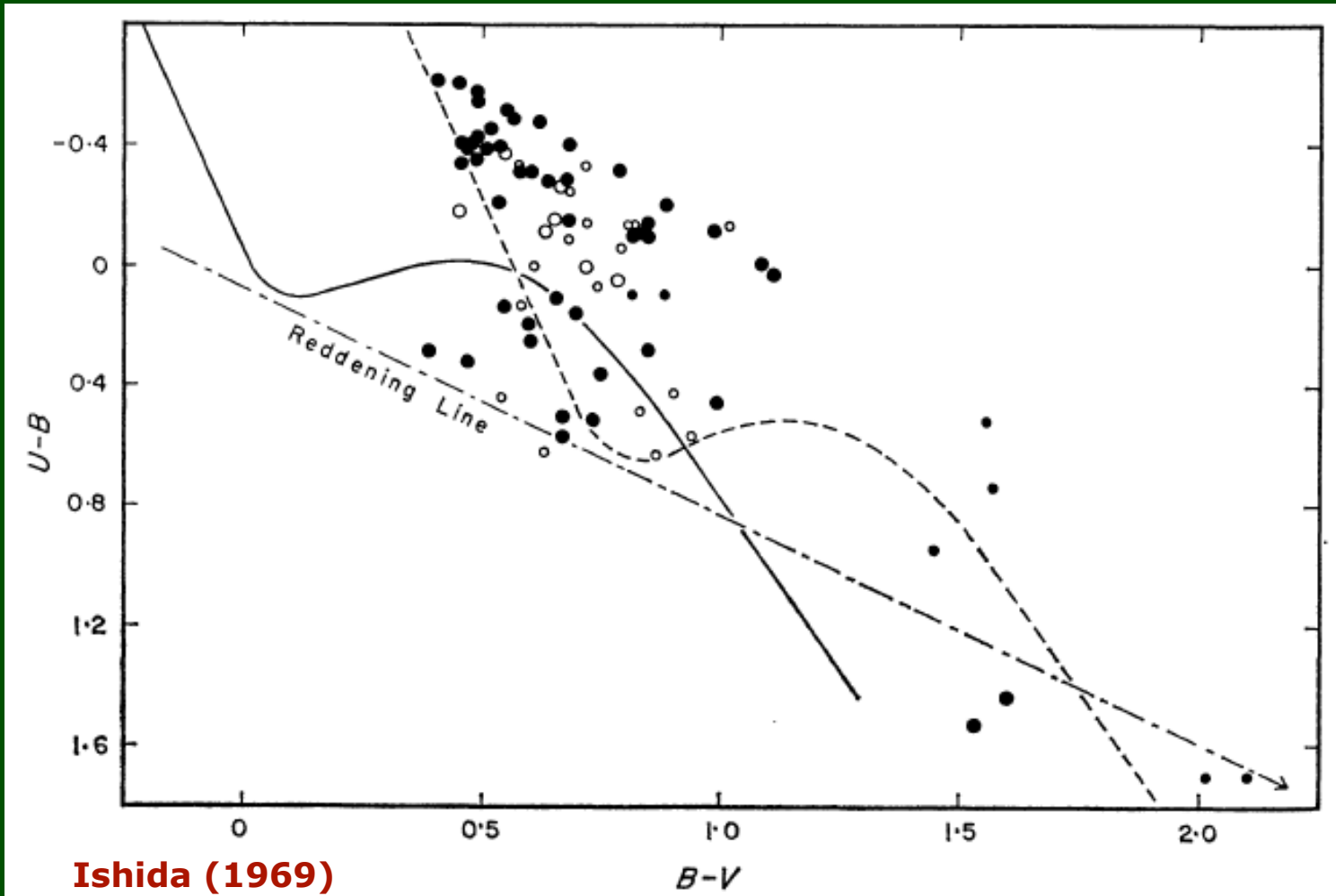


Poczerwienienie



Wykres dwuwskaznikowy dla gromady otwartej
NGC 884

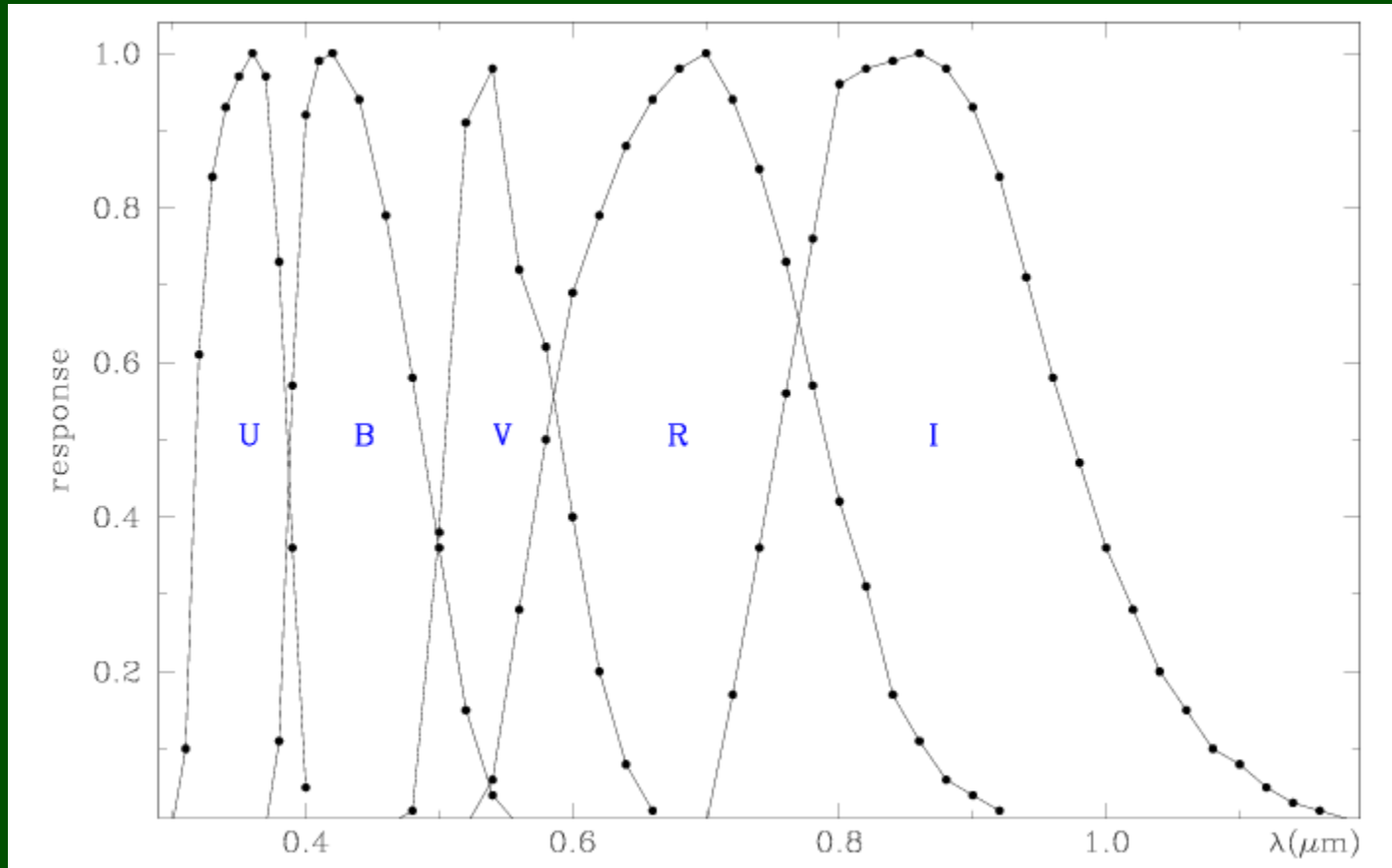
Różnicowe poczerwienienie



Ishida (1969)

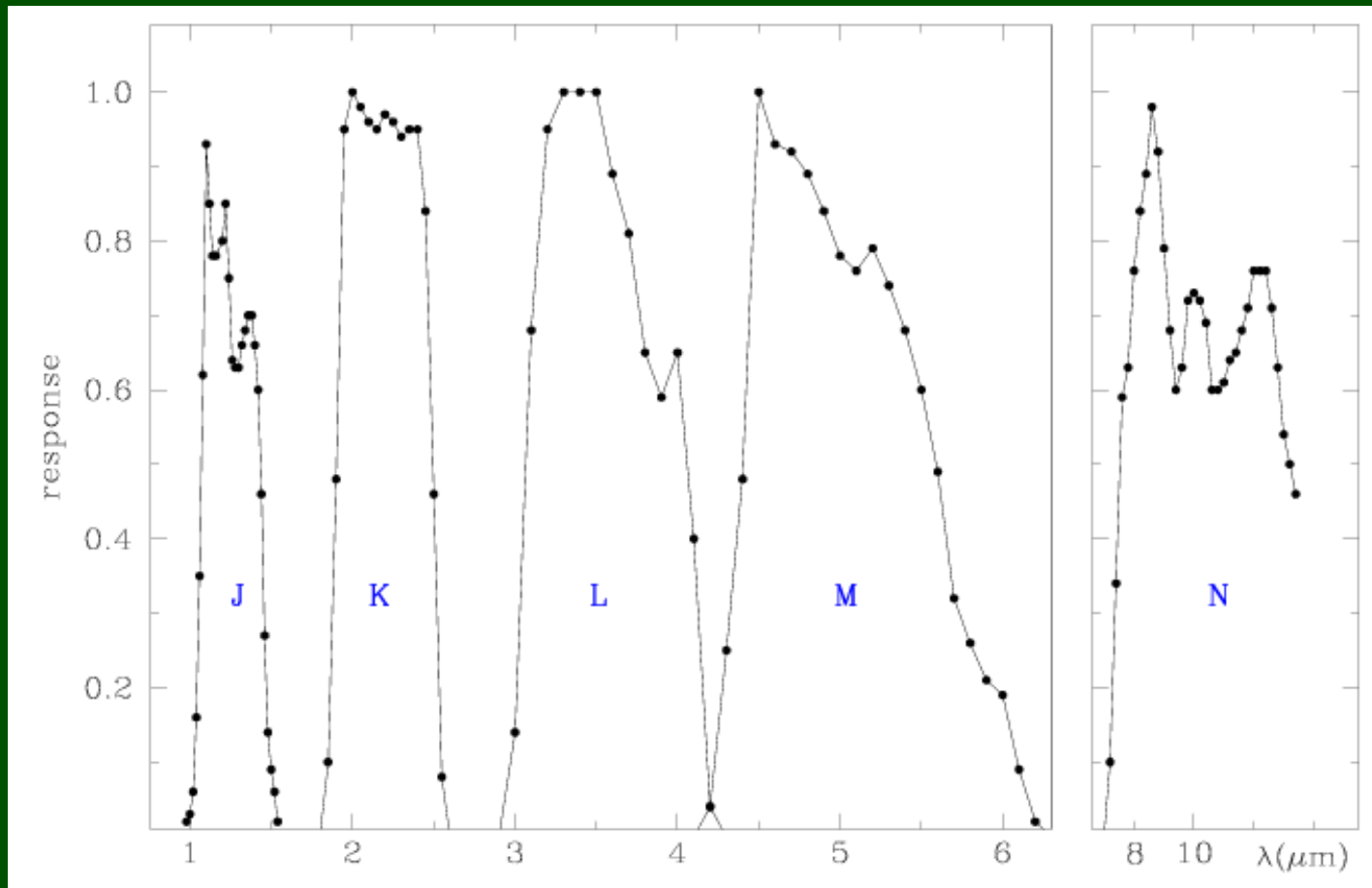
Wykres dwuwskaznikowy dla gromady otwartej
IC 1805

Rozszerzenie systemu Johnsona: pasma RIJKLMN



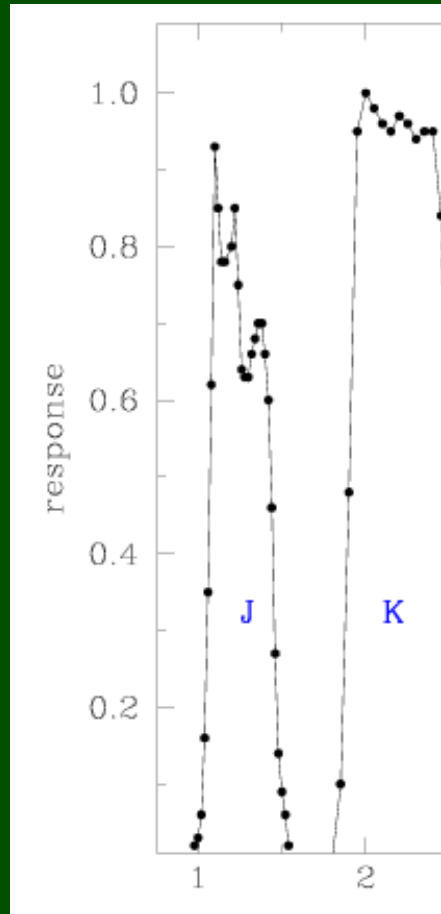
Johnson, 1965, ApJ 141, 923

Rozszerzenie systemu Johnsona: pasma RIJHKLMN



Johnson, 1965, ApJ 141, 923

Rozszerzenie systemu Johnsona: pasma RIJHKLMN



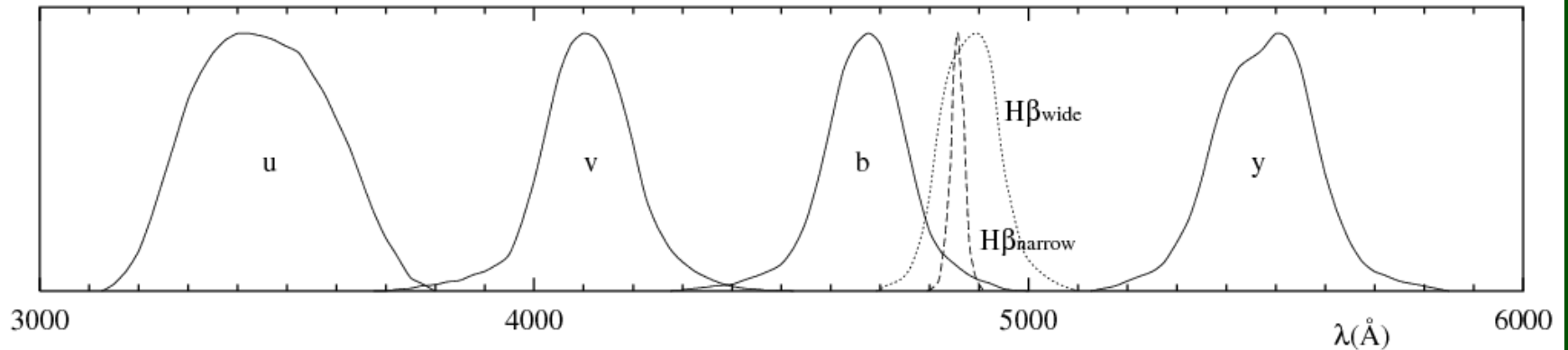
BANDS DESCRIPTION		
band	λ_0 (μm) [152]	half-width (μm) [285], pg. 292
<i>U</i>	0.36	0.04
<i>B</i>	0.44	0.10
<i>V</i>	0.55	0.08
<i>R</i>	0.70	0.21
<i>I</i>	0.90	0.22
<i>J</i>	1.25	0.3
<i>H</i> (##)	1.62	0.2
<i>K</i>	2.2	0.6
<i>L</i>	3.4	0.9
<i>M</i>	5.0	1.1
<i>N</i>	10.2	6.0

Johnson, 1965, ApJ 141, 923

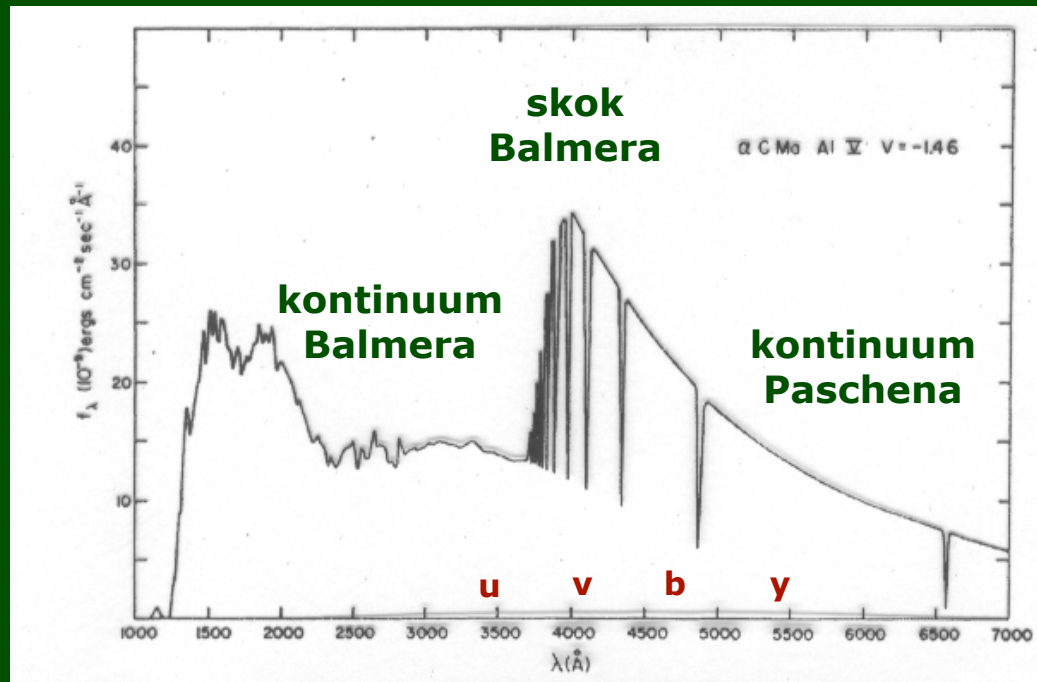
System Strömgrena (uvby β)

Filtr	λ_0 [Å]	$\Delta\lambda$ [Å]
<i>u</i> (ltraviolet)	3500	340
<i>v</i> (iolet)	4100	200
<i>b</i> (lue)	4700	160
<i>y</i> (ellow)	5500	240
H β_w	4860	150
H β_n	4860	30

Pasma zostały dobrane w ten sposób, aby ekstynkcja międzygwiazdowa w kolejnych filtrach zwiększała się o mniej więcej stałą wartość.



System Strömgrena (uvby β)



System średniopasmowy, określony w całości przez filtry.

Pasmo *u* – leży pomiędzy granicą przepuszczalności atmosfery (320 nm) a skokiem Balmera.

Pasmo *v* – pokrywa się z linią H δ i obejmuje wiele linii w gwiazdach późniejszych niż F.

Pasmo *b* – leży w obszarze linii H β , ale poza nią nie ma tam silnych linii.

Pasmo *y* – wybrane tak, żeby pokrywało się z V Johnsona. Poza tym leży w obszarze, gdzie nie ma silnych linii.

System Strömgrena (uvbyß)

W systemie Strömgrena definiuje się najczęściej następujące wskaźniki:

System Strömgrena (uvby β)

W systemie Strömgrena definiuje się najczęściej następujące wskaźniki:

$$c_1 = (u - v) - (v - b) = u - 2v + b.$$

c_1 jest dobrą miarą wysokości skoku Balmera.

System Strömgrena (uvby β)

W systemie Strömgrena definiuje się najczęściej następujące wskaźniki:

$$c_1 = (u - v) - (v - b) = u - 2v + b.$$

c_1 jest dobrą miarą wysokości skoku Balmera.

$$m_1 = (v - b) - (b - y) = v - 2b - y.$$

m_1 (wskaźnik metaliczności) jest dobrą miarą natężenia linii metali w obszarze kontinuum Paschena, a pośrednio – metaliczności.

System Strömgrena (uvby β)

W systemie Strömgrena definiuje się najczęściej następujące wskaźniki:

$$c_1 = (u - v) - (v - b) = u - 2v + b.$$

c_1 jest dobrą miarą wysokości skoku Balmera.

$$m_1 = (v - b) - (b - y) = v - 2b - y.$$

m_1 (wskaźnik metaliczności) jest dobrą miarą natężenia linii metali w obszarze kontinuum Paschena, a pośrednio – metaliczności.

Jako trzeciego wskaźnika używa się zwykle $b-y$, który mierzy nachylenie kontinuum Paschena.

System Strömgrena (uvby β)

W systemie Strömgrena definiuje się najczęściej następujące wskaźniki:

$$c_1 = (u - v) - (v - b) = u - 2v + b.$$

c_1 jest dobrą miarą wysokości skoku Balmera.

$$m_1 = (v - b) - (b - y) = v - 2b - y.$$

m_1 (wskaźnik metaliczności) jest dobrą miarą natężenia linii metali w obszarze kontinuum Paschena, a pośrednio – metaliczności.

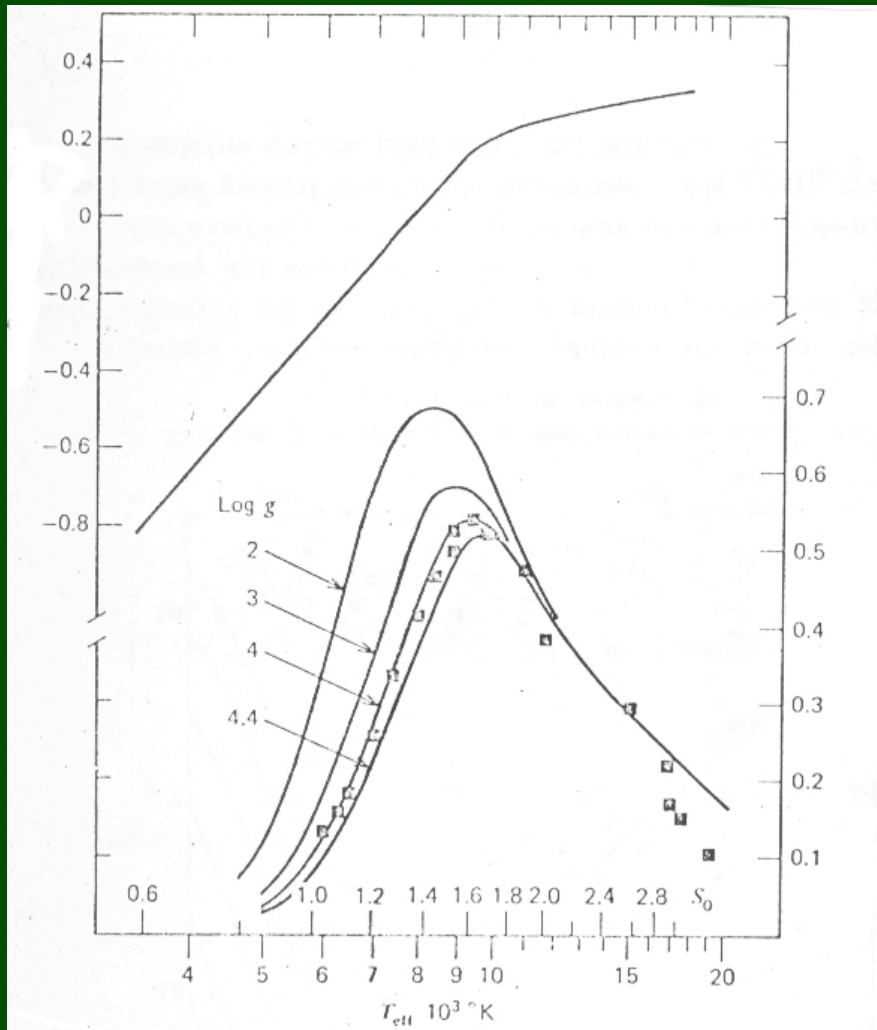
Jako trzeciego wskaźnika używa się zwykle $b-y$, który mierzy nachylenie kontinuum Paschena.

Niezależnym wskaźnikiem, jedynym, który nie jest czuły na poczerwienienie międzygwiazdowe jest wskaźnik β definiowany jako:

$$\beta = m_w - m_n,$$

System Strömgrena (uvby β)

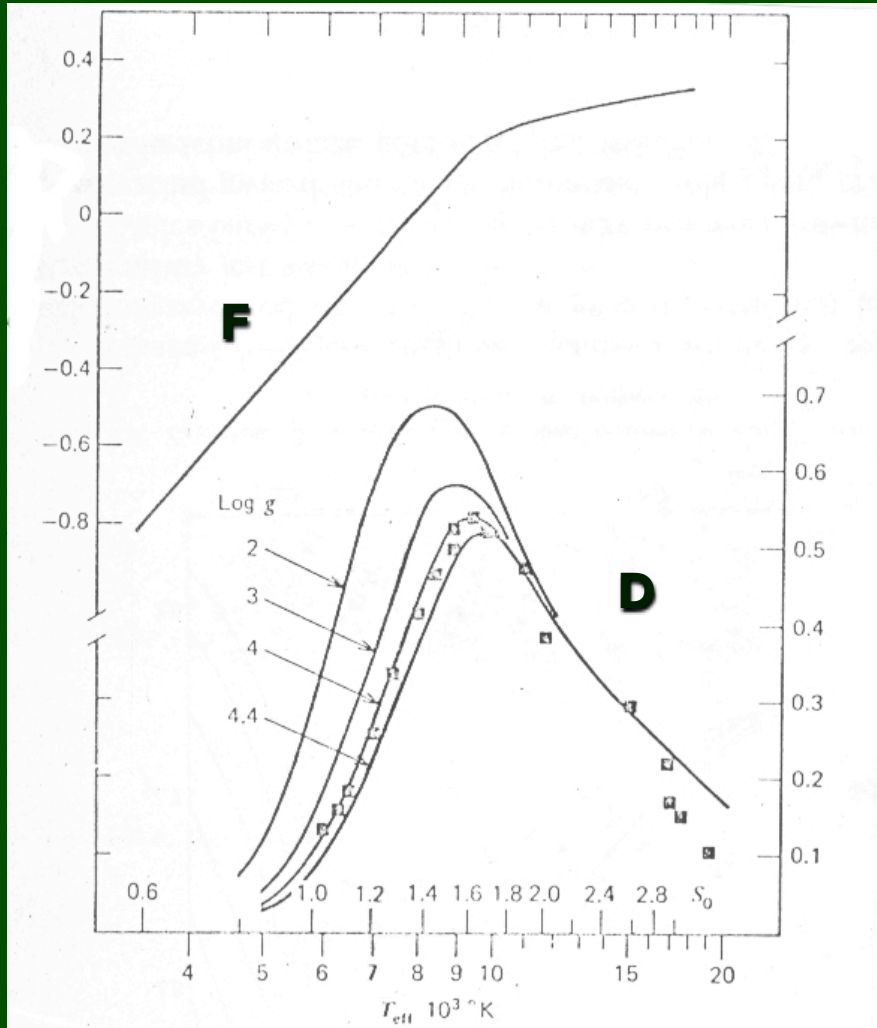
Aby zrozumieć kształt wykresów dwuwskaźnikowych w systemie Strömgrena, należy odwołać się do zależności wysokości skoku Balmera i nachylenia kontinuum Paschena od temperatury efektywnej gwiazdy.



By zrozumieć kształt wykresów dwuwskaźnikowych w systemie Strömgrena, należy odwołać się do zależności wysokości skoku Balmera i nachylenia kontinuum Paschena od temperatury efektywnej gwiazdy.

System Strömgrena (uvby β)

Aby zrozumieć kształt wykresów dwuwskaznikowych w systemie Strömgrena, należy odwołać się do zależności wysokości skoku Balmera i nachylenia kontinuum Paschena od temperatury efektywnej gwiazdy.

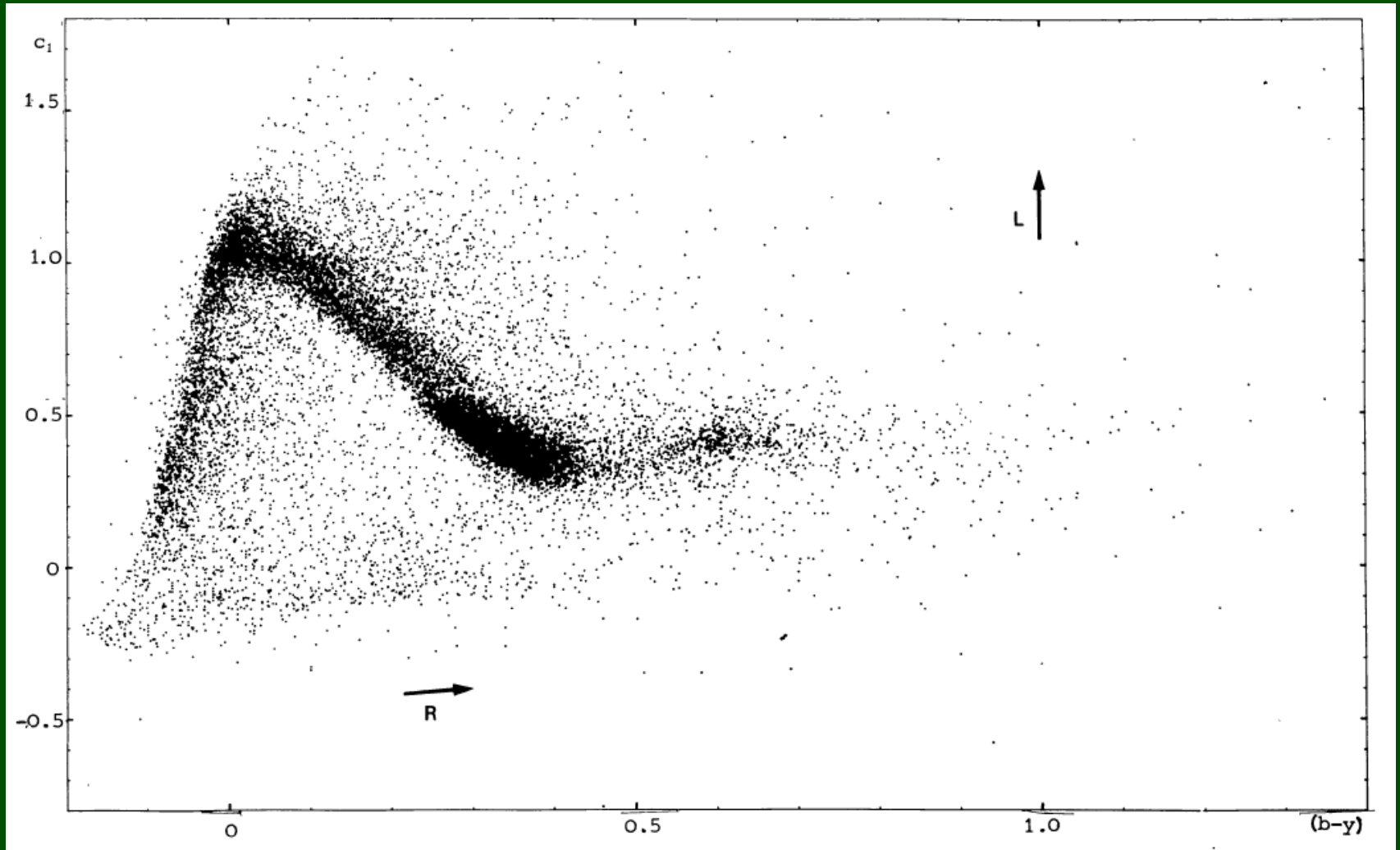


Balmera i nachylenia kontinuum Paschena od temperatury efektywnej gwiazdy.

F mierzy nachylenie kontinuum Paschena.

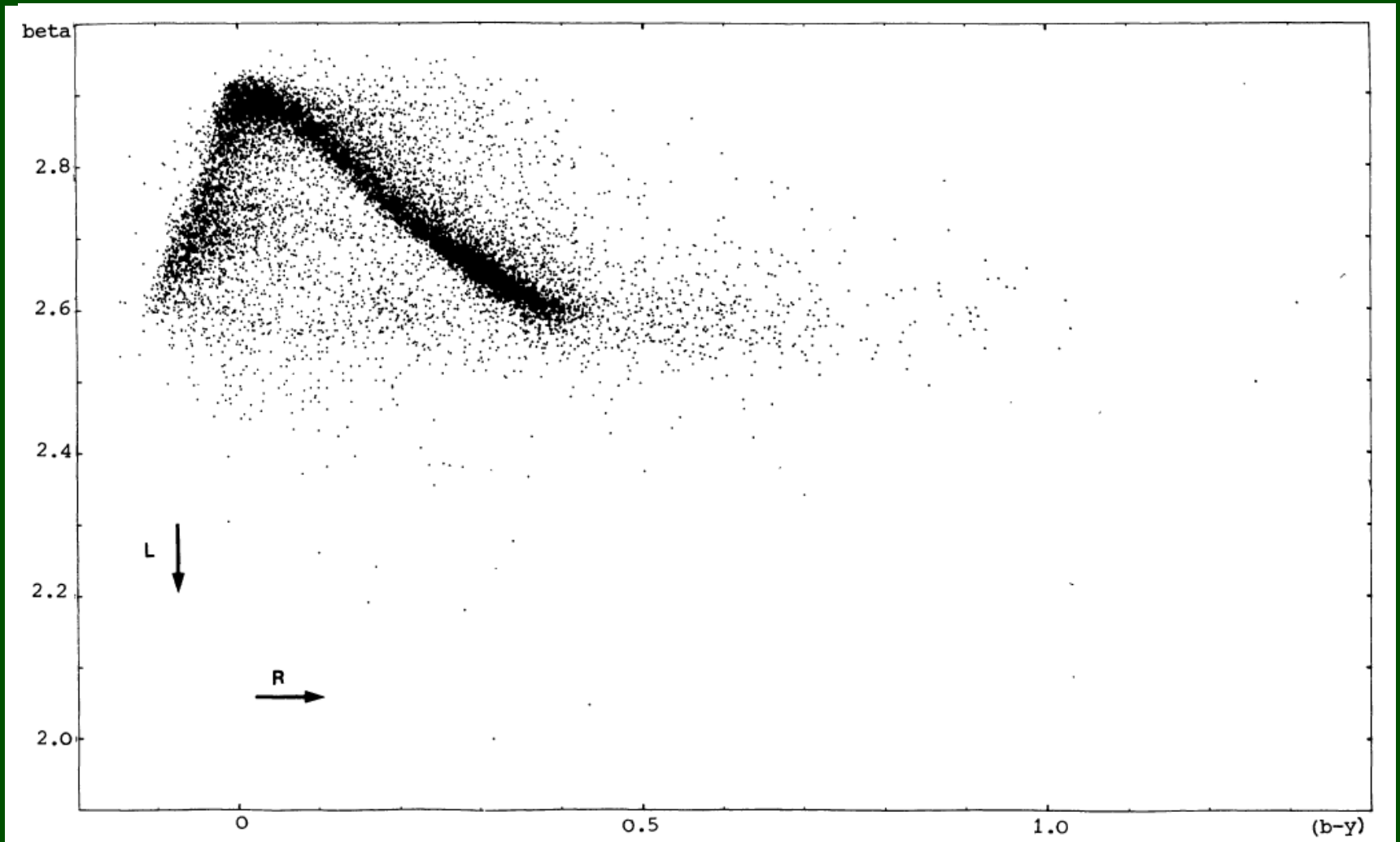
D mierzy wysokość skoku Balmera

Wykresy dwuwskaznikowe w systemie Strömgrena



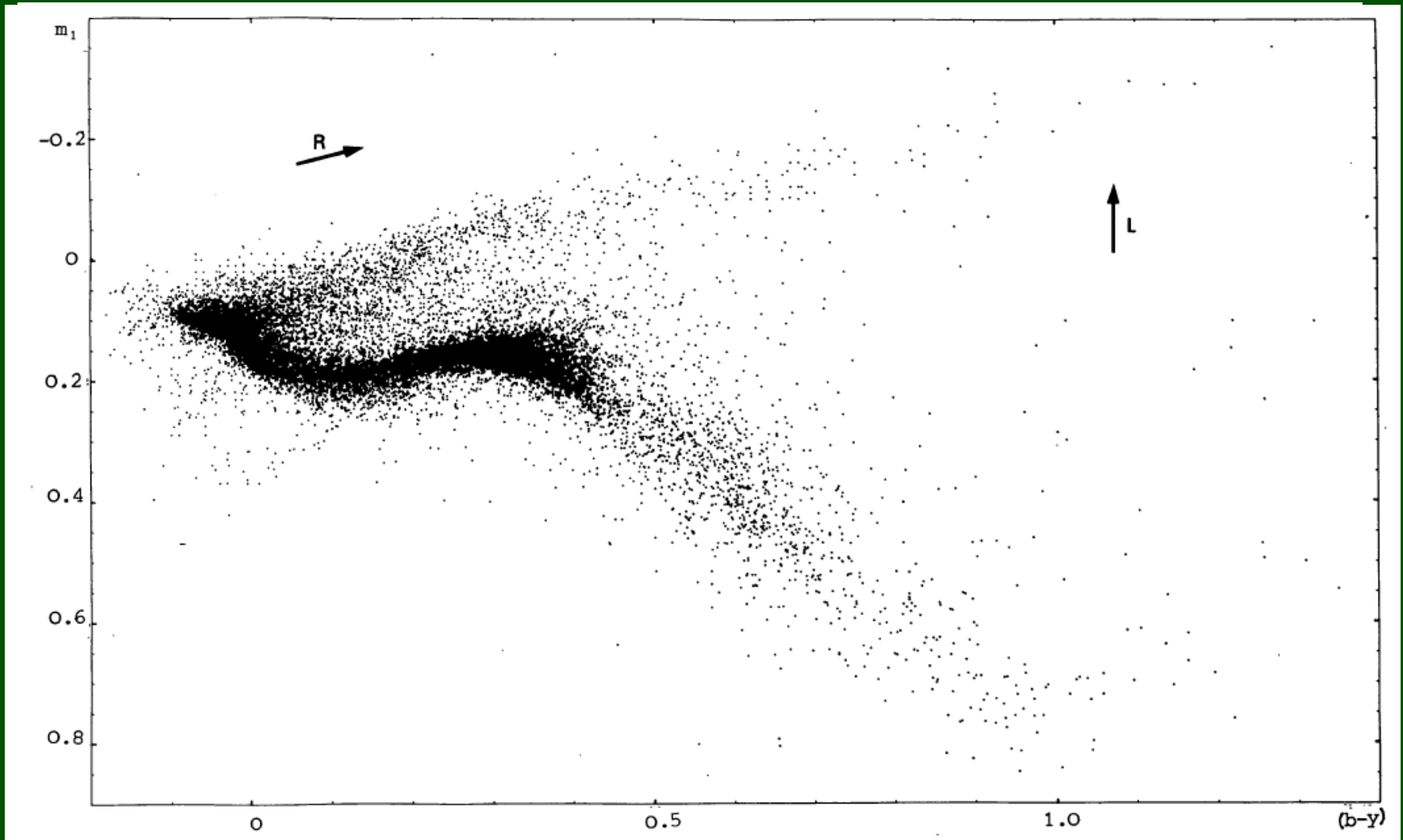
Philip i Egret (1980)

Wykresy dwuwskaznikowe w systemie Strömngrena



Philip i Egret (1980)

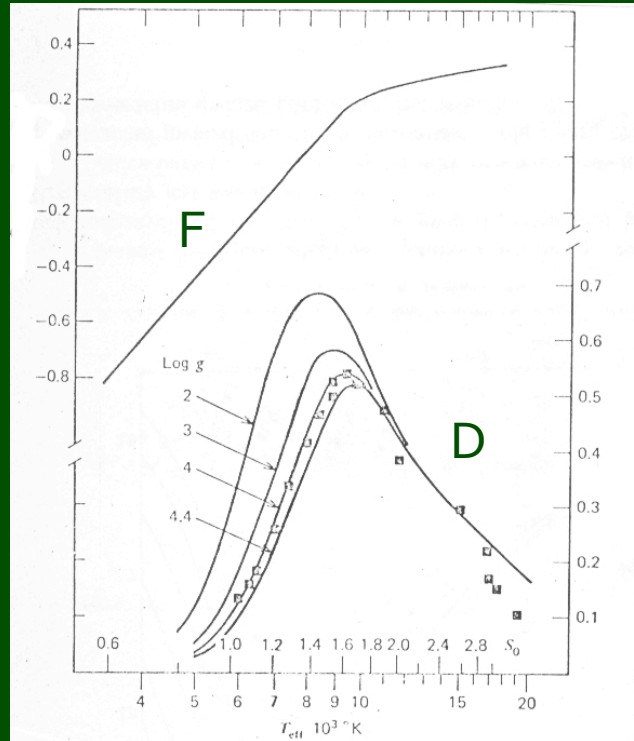
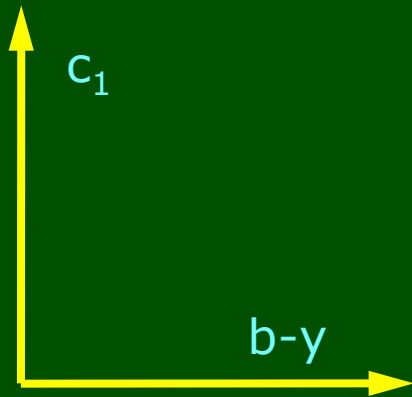
Wykresy dwuwskaznikowe w systemie Strömögrena



Philip i Egret (1980)

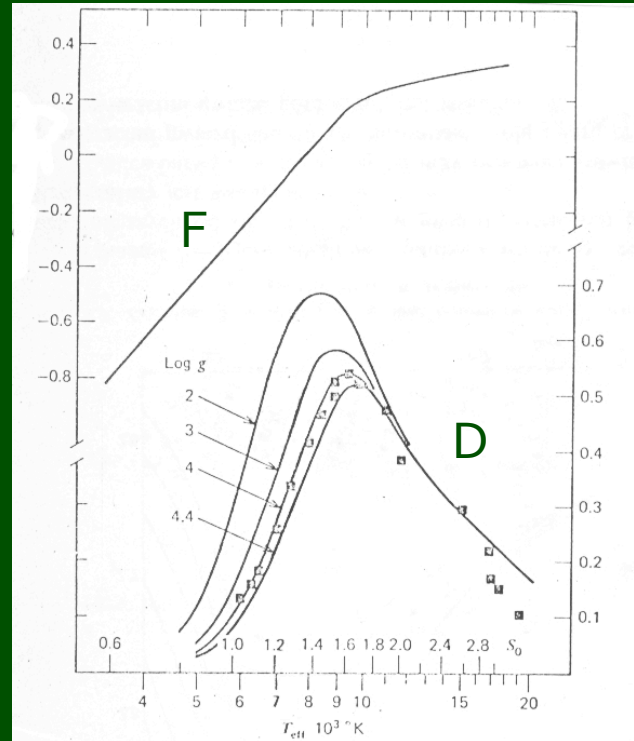
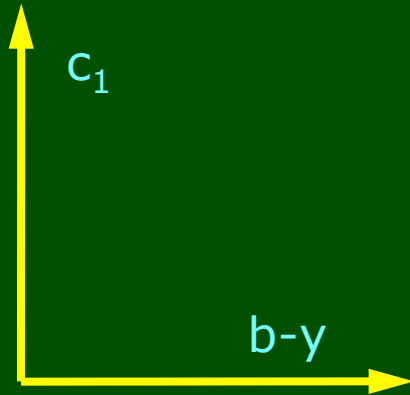
Obserwacyjne wykresy H-R w systemie Strömgrena

Gwiazdy chłodne:

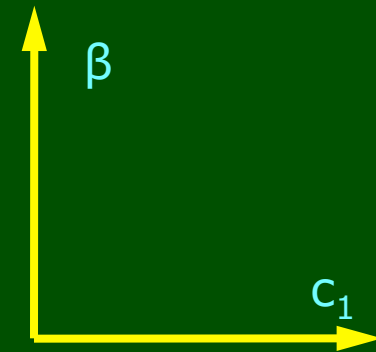


Obserwacyjne wykresy H-R w systemie Strömgrena

Gwiazdy chłodne:

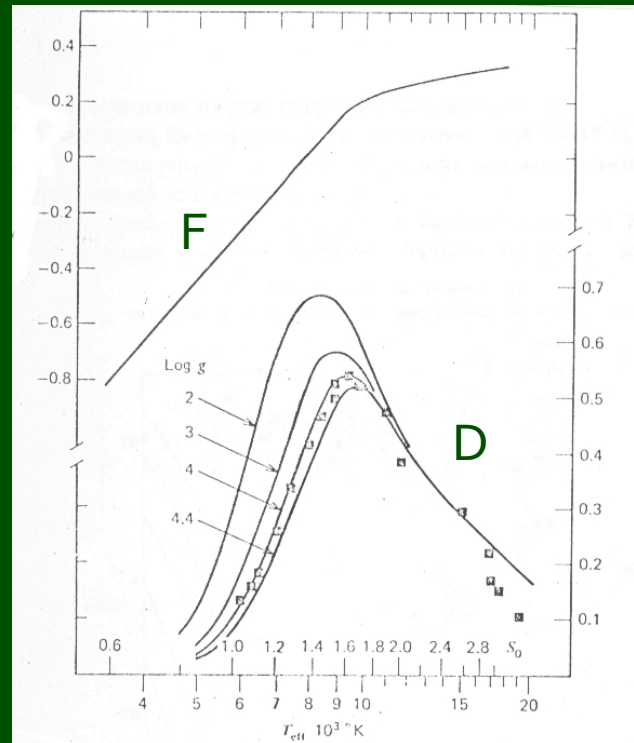
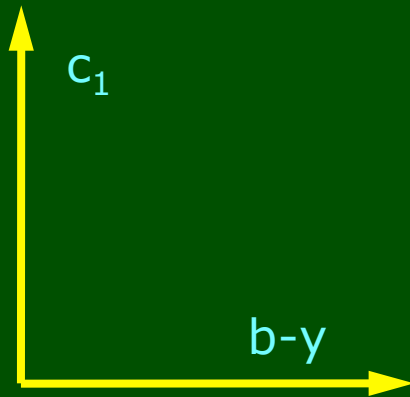


Gwiazdy gorące:

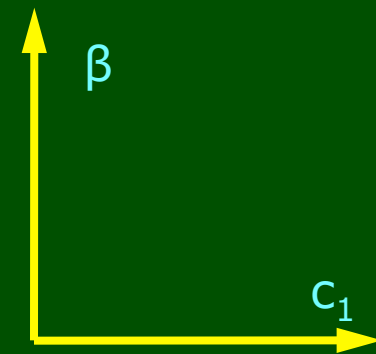


Obserwacyjne wykresy H-R w systemie Strömgrena

Gwiazdy chłodne:

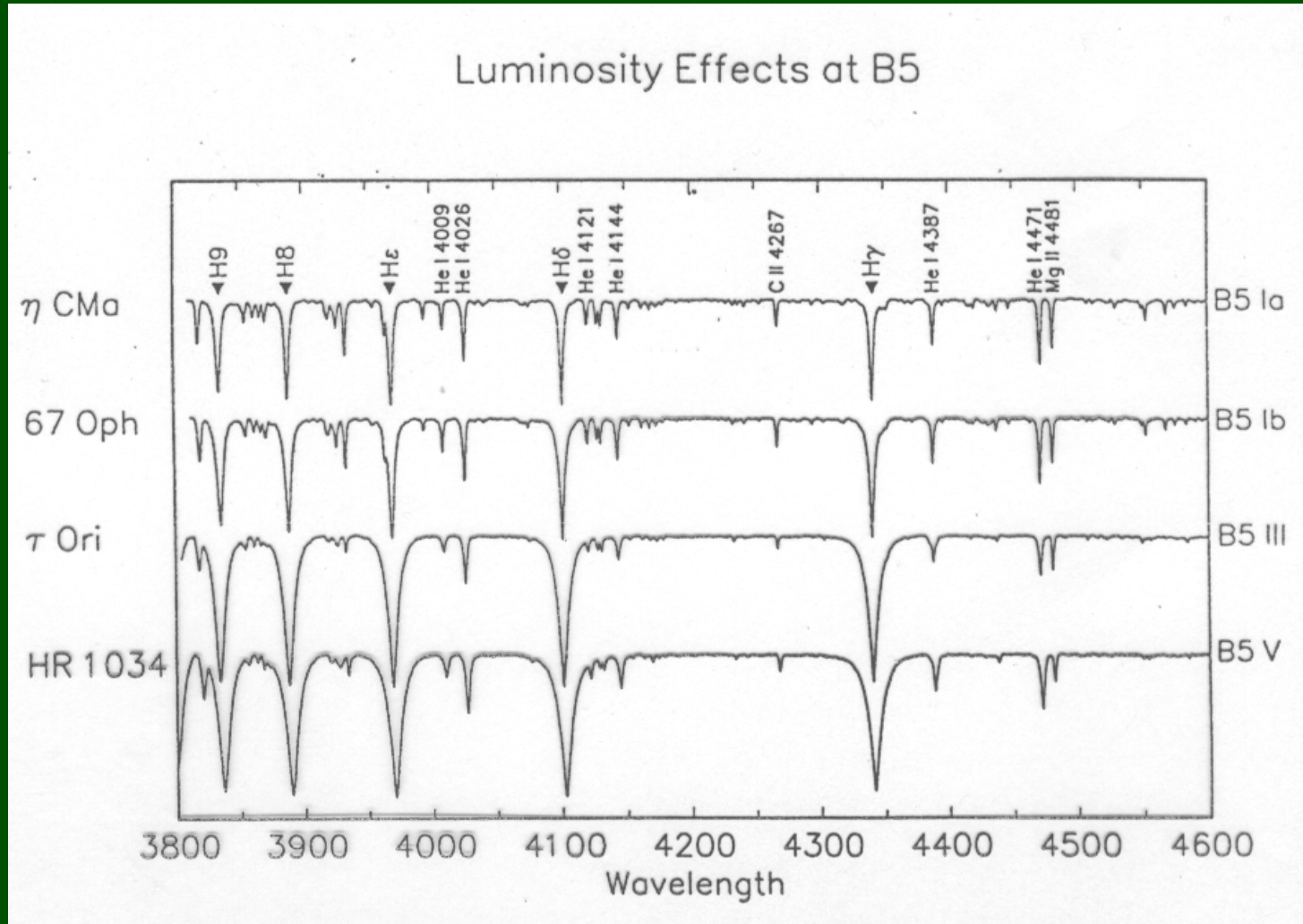


Gwiazdy gorące:



Dla gwiazd chłodnych T_{eff} mierzy dobrze $b-y$, dla gorących c_1 .
Z kolei dobrą miarą mocy promieniowania (oś rzędnych na wykresie H-R) jest dla gwiazd gorących β , a dla gwiazd chłodnych – c_1 .

Obserwacyjne wykresy H-R w systemie Strömghena



Szerokość równoważna linii H β (mierzona przez wskaźnik β) jest dobrą miarą $\log g$ i mocy promieniowania dla gwiazd gorących.

Procedura odpoczerwieniania w systemie uvby β

Źródło:

Crawford (1978, AJ 83,48: gwiazdy typu B),
Crawford (1979, AJ 84,1858: gwiazdy typu A),
Crawford (1975, AJ 80,955: gwiazdy typu F).

Procedura odpoczerwieniania w systemie uvby β

Źródło:

Crawford (1978, AJ 83,48: gwiazdy typu B),
Crawford (1979, AJ 84,1858: gwiazdy typu A),
Crawford (1975, AJ 80,955: gwiazdy typu F).

Dla gwiazd typu F:

$$(b - y)_0 = 0.222 + 1.11\Delta\beta + 2.7(\Delta\beta)^2 - 0.05\delta c_1 - (0.1 + 3.6\Delta\beta)\delta m_1,$$

$$\Delta\beta = 2.720 - \beta,$$

$$\delta c_1 = c_1(\text{standardowe}) - c_1(\text{obserwowane})$$

$$\delta m_1 = m_1(\text{standardowe}) - m_1(\text{obserwowane})$$

Procedura odpoczerwieniania w systemie uvby β

Źródło:

Crawford (1978, AJ 83,48: gwiazdy typu B),
Crawford (1979, AJ 84,1858: gwiazdy typu A),
Crawford (1975, AJ 80,955: gwiazdy typu F).

Dla gwiazd typu F:

$$(b - y)_0 = 0.222 + 1.11\Delta\beta + 2.7(\Delta\beta)^2 - 0.05\delta c_1 - (0.1 + 3.6\Delta\beta)\delta m_1,$$

$$\Delta\beta = 2.720 - \beta,$$

$$\delta c_1 = c_1(\text{standardowe}) - c_1(\text{obserwowane})$$

$$\delta m_1 = m_1(\text{standardowe}) - m_1(\text{obserwowane})$$

Niepoczerwienione wskaźniki znajduje się korzystając z zależności między nadwyżkami barwy:

$$E(b - y) = (b - y)_0 - (b - y)$$

$$E(c_1) = 0.24E(b - y)$$

$$E(m_1) = -0.32E(b - y)$$

$$E(u - b) = 1.61E(b - y)$$

$$E(b - y) = 0.74E(B - V) \quad \text{dla gwiazd typu O}$$

Procedura odpoczerwieniania w systemie uvby β

Dla gwiazd typu B:

$$(b - y)_0 = 0.099c_0 - 0.117.$$

Procedura odpoczerwieniania w systemie uvby β

Dla gwiazd typu B:

$$(b - y)_0 = 0.099c_0 - 0.117.$$

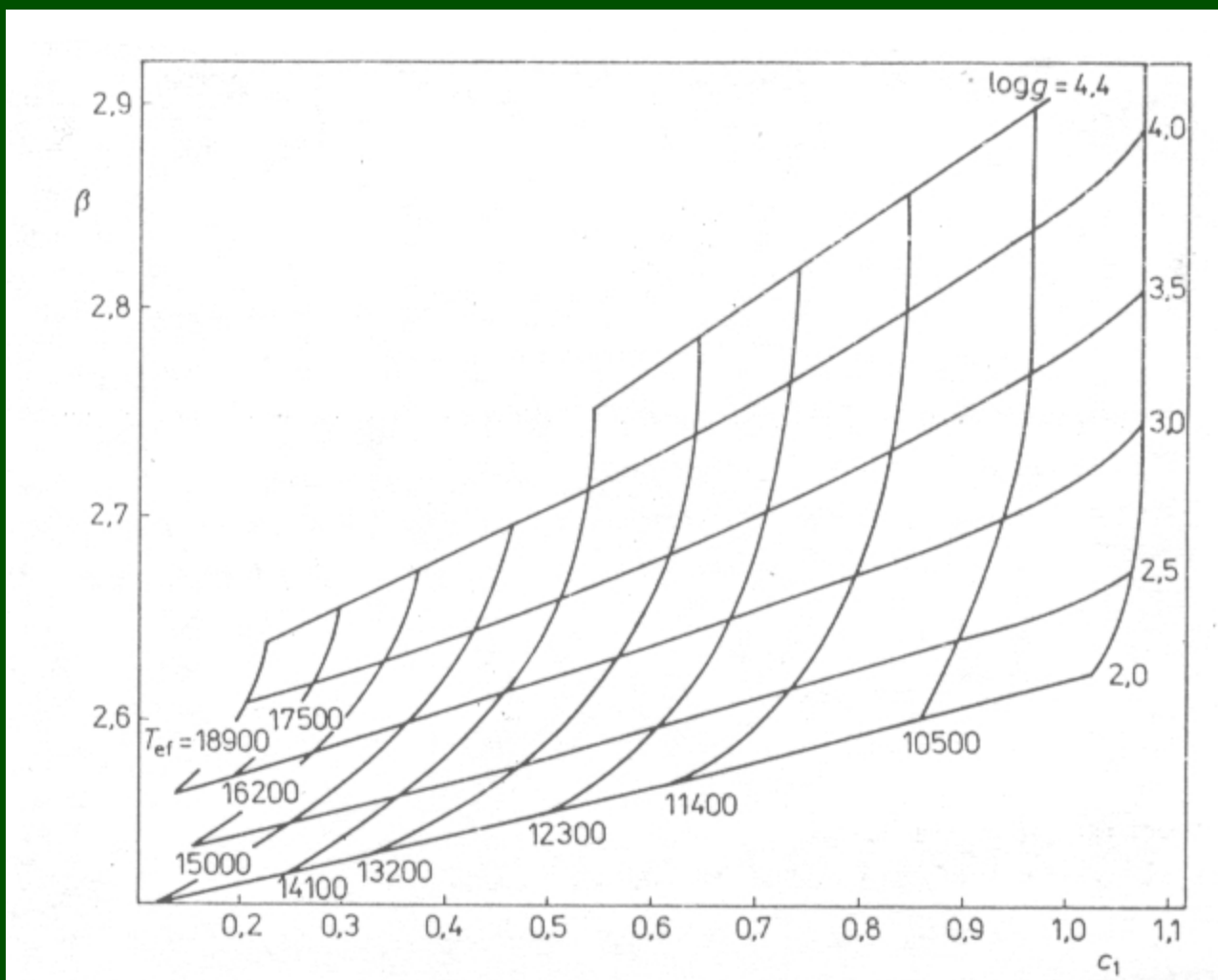
Dla gwiazd typu A:

$$(b - y)_0 = 2.943 - 1.0\beta - 0.09\delta c_1 - 0.2\delta m_1.$$

Czynnik $-0.2\delta m_1$ uwzględnia się tylko wtedy, gdy $\delta m_1 < 0$.

Kalibracja wskaźników strömgenowskich

Przykład kalibracji wskaźników strömgenowskich w funkcji T_{eff} i $\log g$.



Kalibracja wskaźników strömgenowskich

Przykład kalibracji wskaźników strömgenowskich w funkcji T_{eff} i $\log g$.

