



Uniwersytet
Wrocławski

Fotometria CCD

4. Fotometria profilowa i aperturowa

Andrzej Pigulski

Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

Produkty HELAS-a, 2010

Fotometria CCD

Proces wyznaczania jasności gwiazd na obrazie CCD obejmuje:

1. Znajdowanie gwiazd.
2. Wyznaczanie ich położenia.
3. Szacowanie poziomu tła nieba.
- 4A. Wyliczenie całkowitej ilości światła pochodzącego od gwiazd w danej aperturze (fot. aperturowa),
- 4B. Wyliczenie PSF i dopasowanie jej do obrazów gwiazd (fot. profilowa).

Znajdowanie gwiazd

Od programu, który będzie poszukiwał gwiazd na obrazie żądamy, aby potrafił:

- automatycznie znaleźć wszystkie gwiazdy,
- odróżnić obrazy gwiazd od: obrazów galaktyk, śladów po promieniach kosmicznych, gorących pikseli i innych defektów detektora.

Znajdowanie gwiazd

Od programu, który będzie poszukiwał gwiazd na obrazie żądamy, aby potrafił:

- automatycznie znaleźć wszystkie gwiazdy,
- odróżnić obrazy gwiazd od: obrazów galaktyk, śladów po promieniach kosmicznych, gorących pikseli i innych defektów detektora.

Przykładowa (dobra) implementacja: procedura FIND/Daophot.

Daophot: Stetson, 1987, PASP 99,191

Znajdowanie gwiazd

Od programu, który będzie poszukiwał gwiazd na obrazie żądamy, aby potrafił:

- automatycznie znaleźć wszystkie gwiazdy,
- odróżnić obrazy gwiazd od: obrazów galaktyk, śladów po promieniach kosmicznych, gorących pikseli i innych defektów detektora.

Przykładowa (dobra) implementacja: procedura FIND/Daophot.

Daophot: Stetson, 1987, PASP 99,191

Dla każdego piksela na oryginalnym obrazku D (i jego otoczenia) dopasowuje się dwuwymiarową funkcję Gaussa o zadanej szerokości. W oddzielnej tablicy zachowuje się wartości czynników skalujących H .

Znajdowanie gwiazd

$$D_{i,j} = H_{i_0,j_0} G(\Delta i, \Delta j, \sigma) + b$$

Znajdowanie gwiazd

$$D_{i,j} = H_{i_0,j_0} G(\Delta i, \Delta j, \sigma) + b$$

Powyższe równanie jest liniowe, więc można podać analityczne wyrażenie na H_{i_0,j_0} :

Znajdowanie gwiazd

$$D_{i,j} = H_{i0,j0} G(\Delta i, \Delta j, \sigma) + b$$

Powyższe równanie jest liniowe, więc można podać analityczne wyrażenie na $H_{i0,j0}$:

$$H_{i0,j0} = \frac{\sum (GD) - (\sum G)(\sum D)/n}{\sum(G^2) - (\sum G)^2/n}$$

Znajdowanie gwiazd

$$D_{i,j} = H_{i_0,j_0} G(\Delta i, \Delta j, \sigma) + b$$

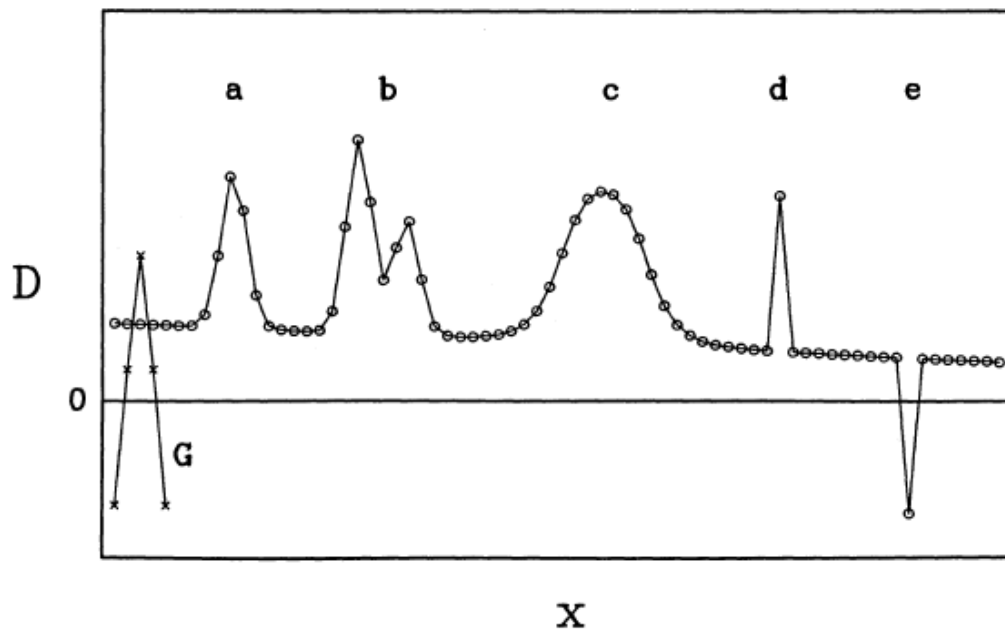
Powyższe równanie jest liniowe, więc można podać analityczne wyrażenie na H_{i_0,j_0} :

$$H_{i_0,j_0} = \frac{\sum (GD) - (\sum G)(\sum D)/n}{\sum (G^2) - (\sum G)^2/n}$$

Tablicy H używa się do poszukiwania gwiazd. Zalety używania H zamiast D są następujące:

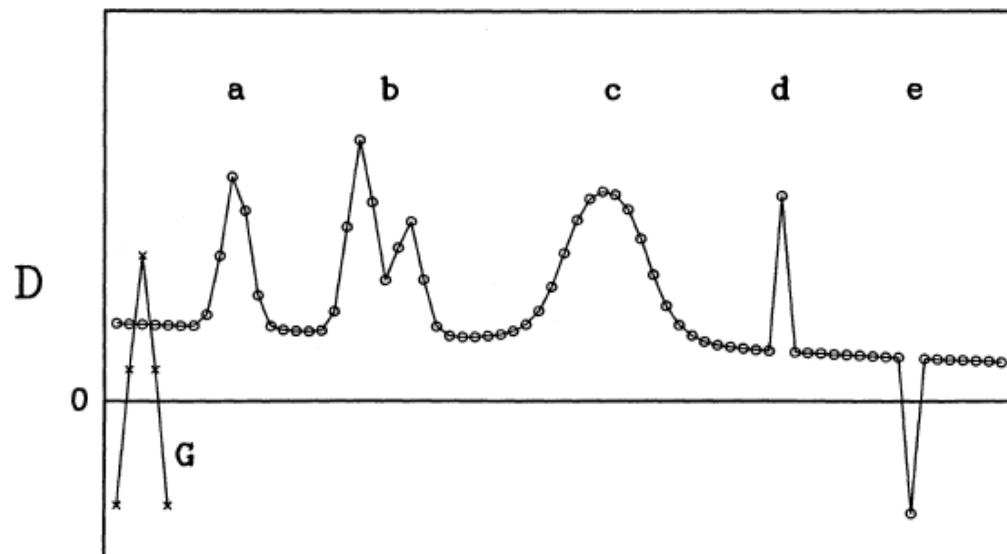
- poszukiwanie jest optymalne dla obiektów o kształtach (szerokościach) gwiazd,
- w obrazie H nie pojawia się lokalna wartość tła nieba,
- obrazy obiektów w H są węższe niż w D: lepsza rozdzielczość.

Znajdowanie gwiazd

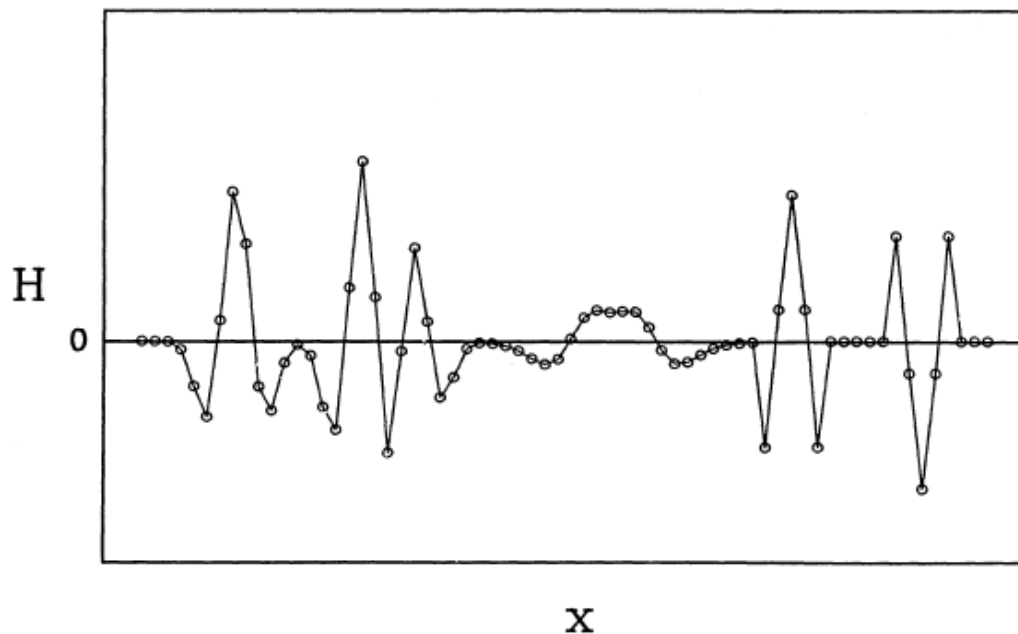


- a – gwiazda
- b – gwiazda podwójna
- c – galaktyka
- d – ślad po pr. kosm.
- e – wadliwy piksel

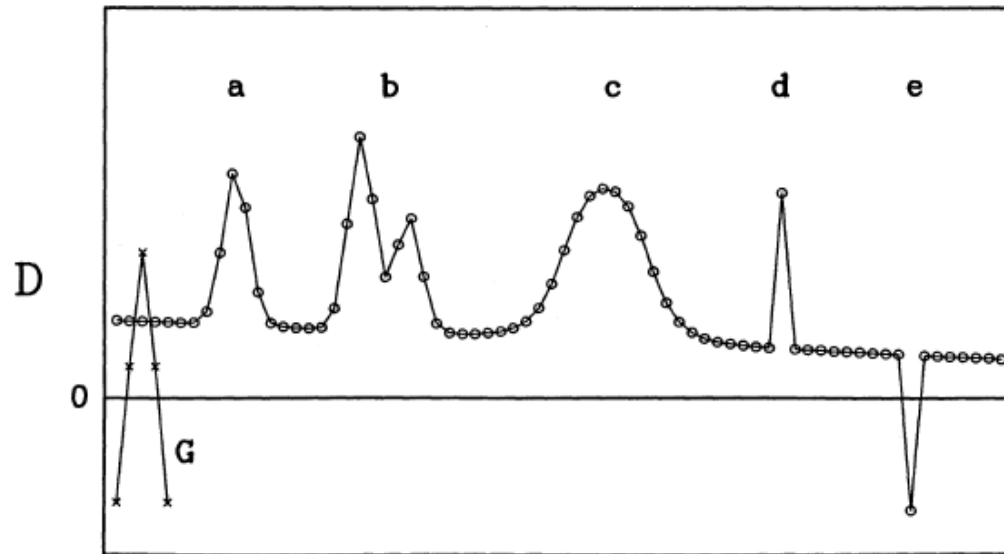
Znajdowanie gwiazd



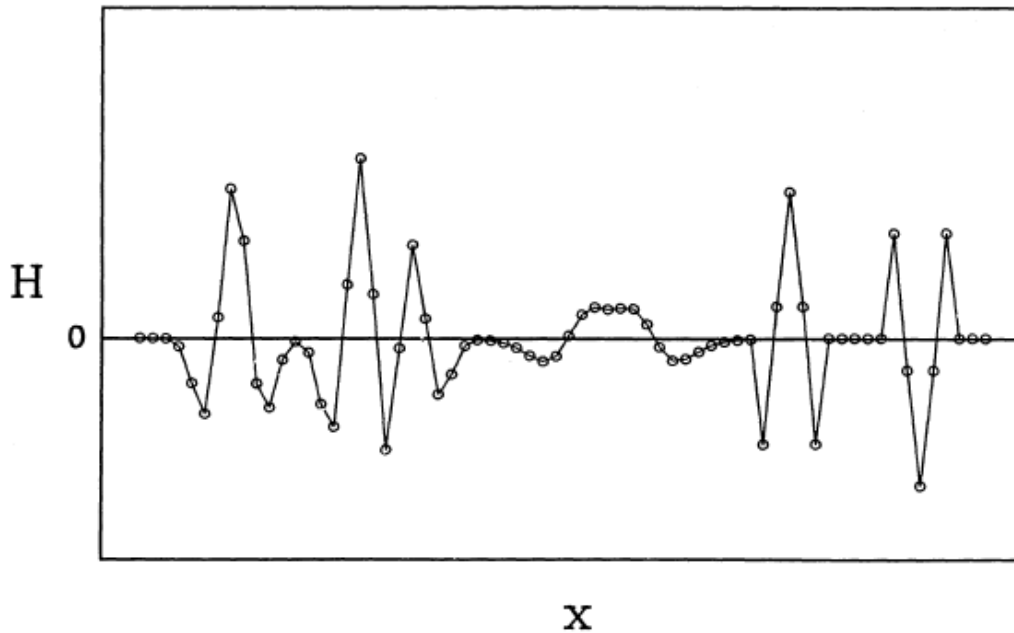
- a – gwiazda
- b – gwiazda podwójna
- c – galaktyka
- d – ślad po pr. kosm.
- e – wadliwy piksel



Znajdowanie gwiazd



- a – gwiazda
- b – gwiazda podwójna
- c – galaktyka
- d – ślad po pr. kosm.
- e – wadliwy piksel



Selekcja obiektów polega na przeszukiwaniu tabeli H w celu znalezienia pozycji lokalnych maksimów.

Znajdowanie gwiazd

Dodatkowe kryteria, które pozwalają odróżnić gwiazdy od innych obiektów:

Znajdowanie gwiazd

Dodatkowe kryteria, które pozwalają odróżnić gwiazdy od innych obiektów:

Parametr 1, okrągłość (roundness):

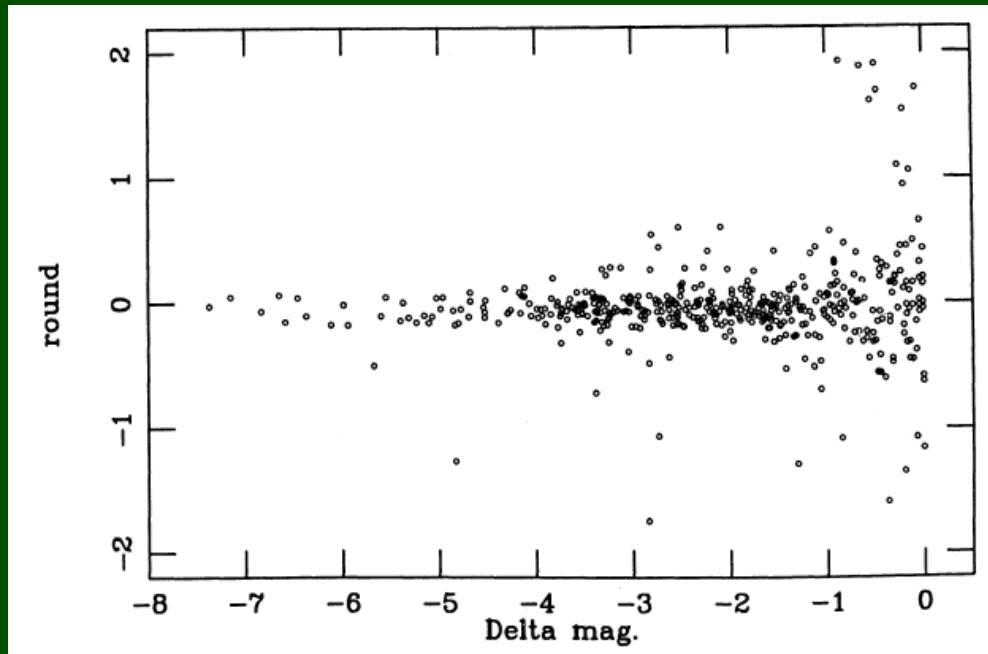
$$r = 2 \left(\frac{h_y - h_x}{h_y + h_x} \right) \quad \text{Dla gwiazd } r \approx 0$$

Znajdowanie gwiazd

Dodatkowe kryteria, które pozwalają odróżnić gwiazdy od innych obiektów:

Parametr 1, okrągłość (roundness):

$$r = 2 \left(\frac{h_y - h_x}{h_y + h_x} \right) \quad \text{Dla gwiazd } r \approx 0$$



Znajdowanie gwiazd

Parametr 2, ostrość (sharpness):

$$s = \frac{D_{i0,j0}}{H_{i0,j0} \langle D_{i,j} \rangle}$$

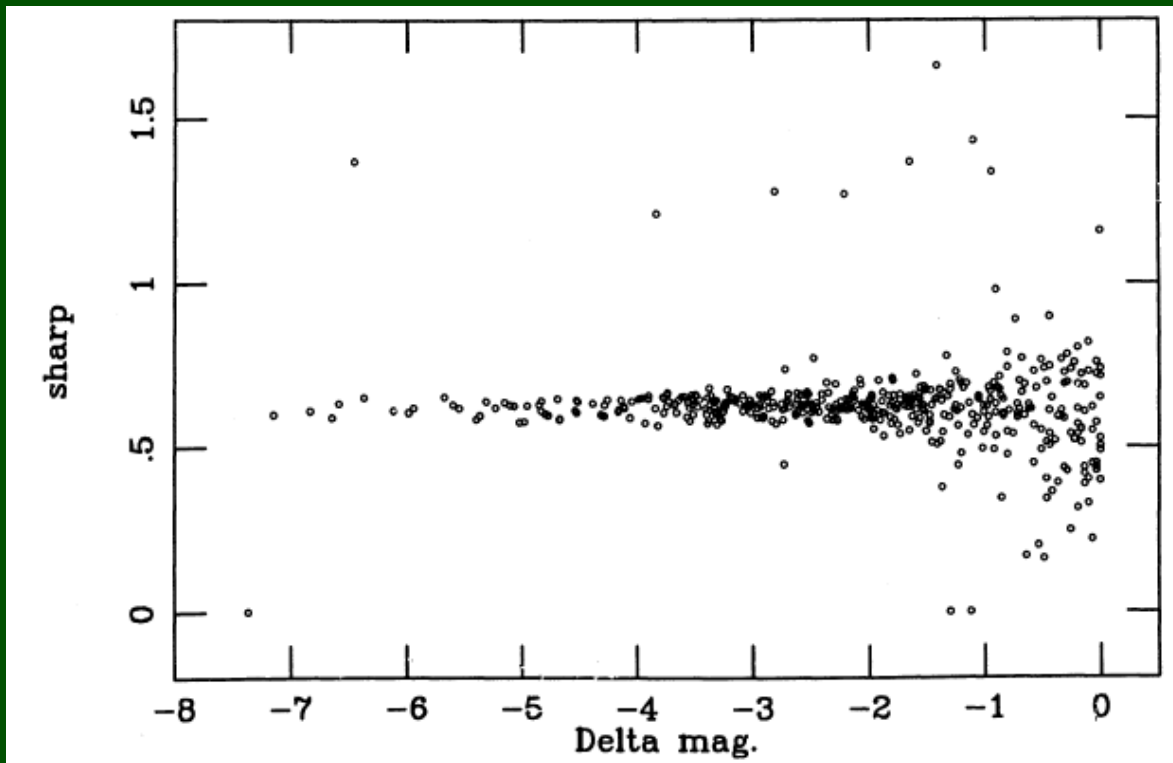
$s > 1$	dla śladów po p.k.
$s \approx 0$	dla galaktyk
$0 < s < 1$	dla gwiazd

Znajdowanie gwiazd

Parametr 2, ostrość (sharpness):

$$s = \frac{D_{i0,j0}}{H_{i0,j0} \langle D_{i,j} \rangle}$$

$s > 1$ dla śladów po p.k.
 $s \approx 0$ dla galaktyk
 $0 < s < 1$ dla gwiazd



Znajdowanie centrum obrazów

1. Metoda sum częściowych

W obszarze o boku $a \approx 5 \times \text{FWHM}$, którego środek pokrywa się z centralnym pikselem gwiazdy (i_0, j_0) , liczy się sumy brzegowe:

$$s_i = \sum D_{i,j} \quad s_j = \sum D_{i,j},$$

po czym dopasowuje do nich jednowymiarowe funkcje Gaussa w celu uzyskania wartości x_0, y_0 .

Metoda nie pracuje dobrze dla słabych gwiazd i bliskich gwiazd podwójnych.

Znajdowanie centrum obrazów

2. Metoda centrowania obrazu

- Znajdujemy współrzędne centralnego piksela: i_0, j_0 .
- Liczymy sumy brzegowe s_i i s_j w obszarze $2a \times 2a$, gdzie $a \sim \text{FWHM}$.
- Liczymy średnie wartości sum brzegowych:

$$\bar{X} = \frac{1}{2a+1} \sum_{i=i_0-a}^{i_0+a} s_i \qquad \bar{Y} = \frac{1}{2a+1} \sum_{j=j_0-a}^{j_0+a} s_j$$

- Liczymy x_0 i y_0 korzystając tylko z sum, w których sygnał jest większy niż odpowiednia średnia:

$$x_0 = \sum_i (s_i - \bar{X})i / \sum_i (s_i - \bar{Y}), \qquad y_0 = \sum_j (s_j - \bar{Y})j / \sum_j (s_j - \bar{X}),$$

- Jeśli x_0, y_0 leży zbyt daleko od i_0, j_0 , powtarzamy procedurę przyjmując piksel najbliższy x_0, y_0 za nowe i_0, j_0 .

Pracuje lepiej niż poprzednio dla bliskich gwiazd, ale zawodzi gdy separacja jest mniejsza niż $2a$.

Szacowanie tła nieba

Sygnał ten pochodzi od emisji nieba nocnego, słabych gwiazd, mgławic, światła rozproszonego, prądu ciemnego i in.

Szacowanie tła nieba

Sygnał ten pochodzi od emisji nieba nocnego, słabych gwiazd, mgławic, światła rozproszonego, prądu ciemnego i in.

Tło mierzy się w pierścieniu wycelowanym na danej gwiazdzie. Dobór promienia wewnętrznego i zewnętrznego.

Szacowanie tła nieba

Sygnał ten pochodzi od emisji nieba nocnego, słabych gwiazd, mgławic, światła rozproszonego, prądu ciemnego i in.

Tło mierzy się w pierścieniu wycelowanym na danej gwiazdzie. Dobór promienia wewnętrznego i zewnętrznego.

Tło liczy się biorąc pod uwagę piksele z pierścienia jako:

- zwykłą średnią: $S_s = \sum D_{i,j} / N$,
- wartość modalną: $S_{\text{mod}} = \max \text{ histogramu}$,
- medianę: $S_{\text{med}}: n(D_{i,j} < S_{\text{med}}) = n(D_{i,j} > S_{\text{med}})$,
- kombinację powyższych, np. $S = 3 \times S_{\text{med}} - 2 \times S_s$.

Szacowanie tła nieba

Sygnał ten pochodzi od emisji nieba nocnego, słabych gwiazd, mgławic, światła rozproszonego, prądu ciemnego i in.

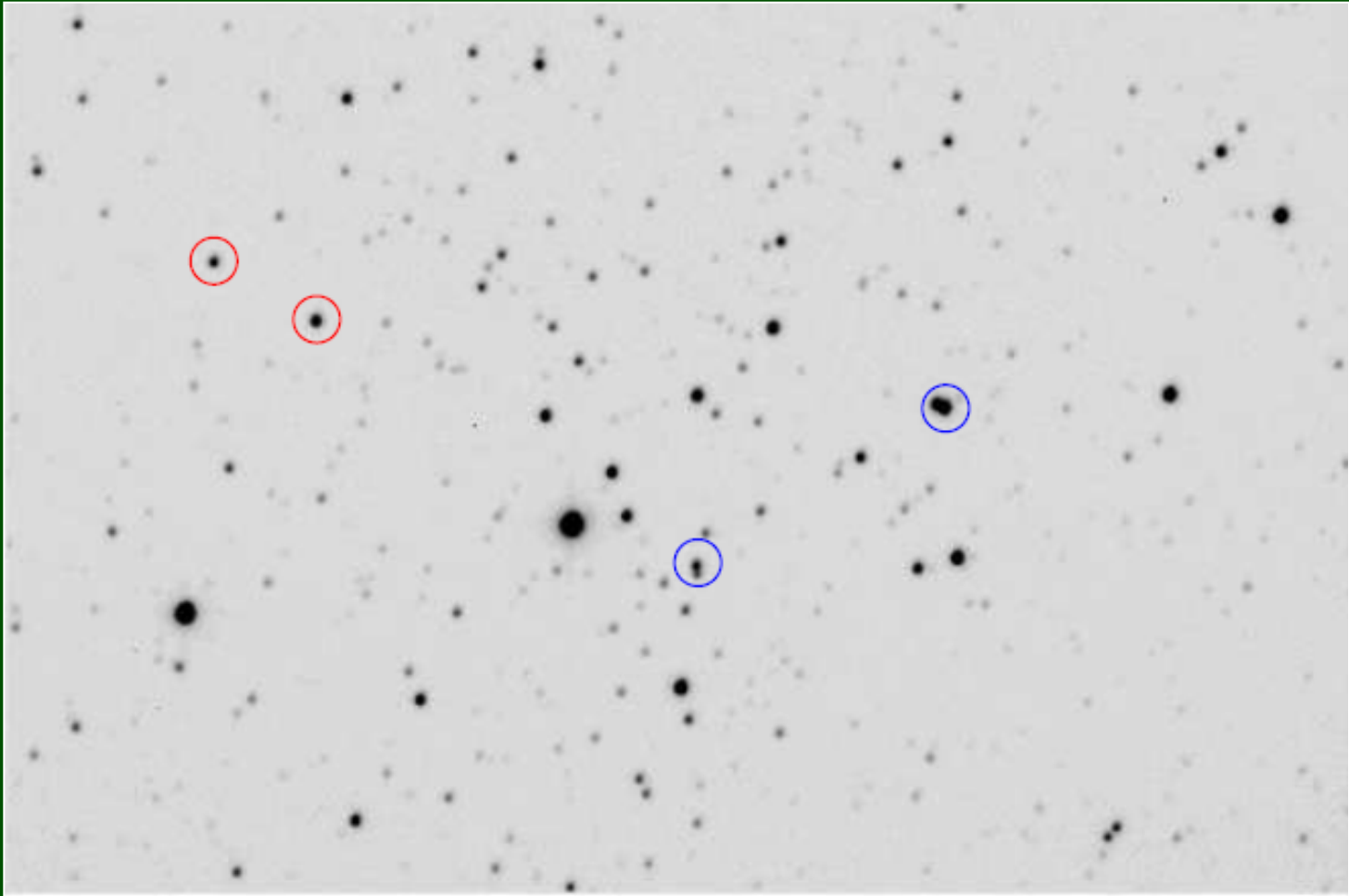
Tło mierzy się w pierścieniu wycentrowanym na danej gwiazdzie. Dobór promienia wewnętrznego i zewnętrznego.

Tło liczy się biorąc pod uwagę piksele z pierścienia jako:

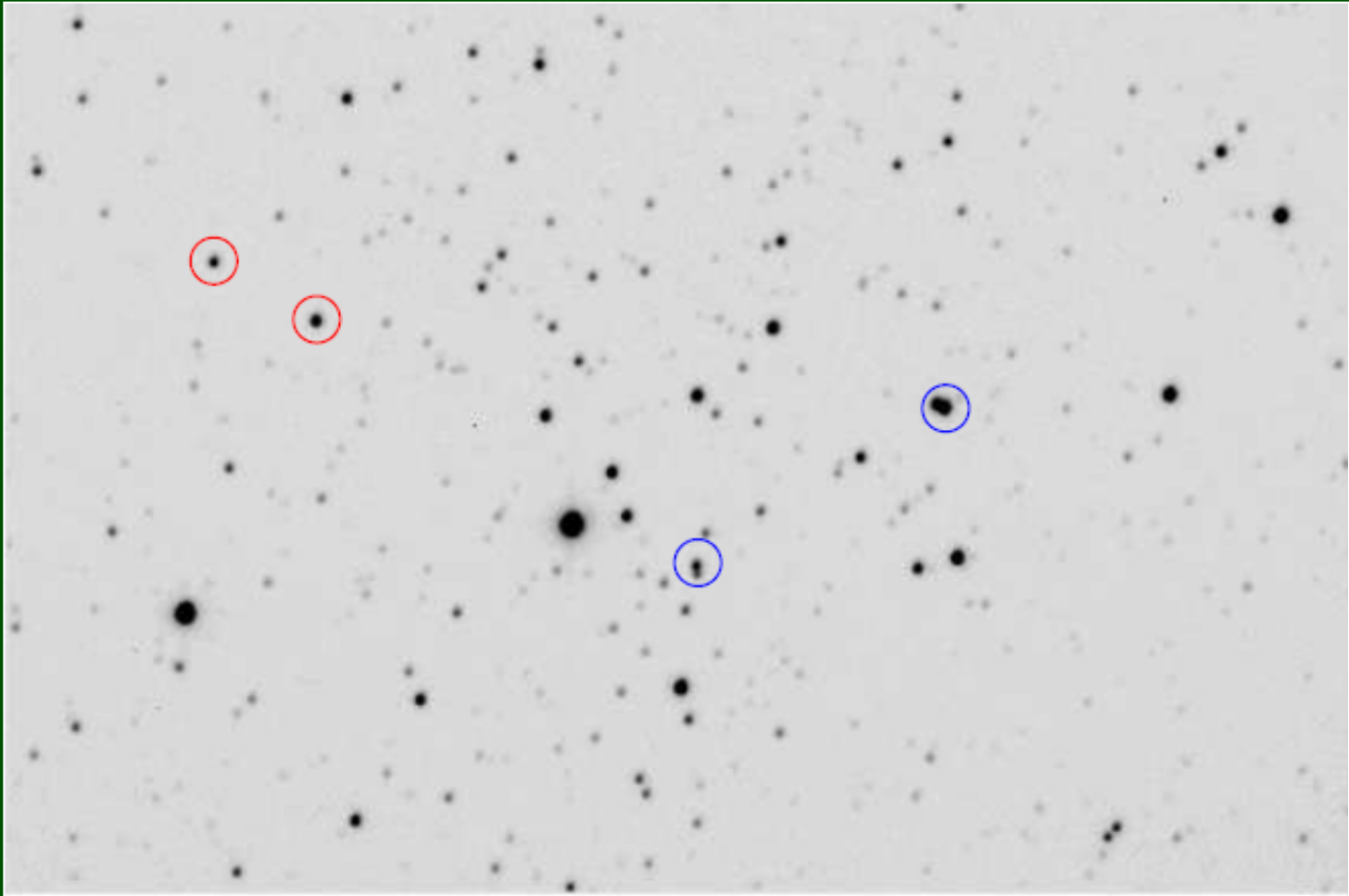
- zwykłą średnią: $S_s = \sum D_{i,j} / N$,
- wartość modalną: $S_{\text{mod}} = \max \text{ histogramu}$,
- medianę: $S_{\text{med}}: n(D_{i,j} < S_{\text{med}}) = n(D_{i,j} > S_{\text{med}})$,
- kombinację powyższych, np. $S = 3 \times S_{\text{med}} - 2 \times S_s$.

Można też obliczać go iteracyjnie odrzucając w kolejnych iteracjach najbardziej odstające piksele.

Fotometria CCD

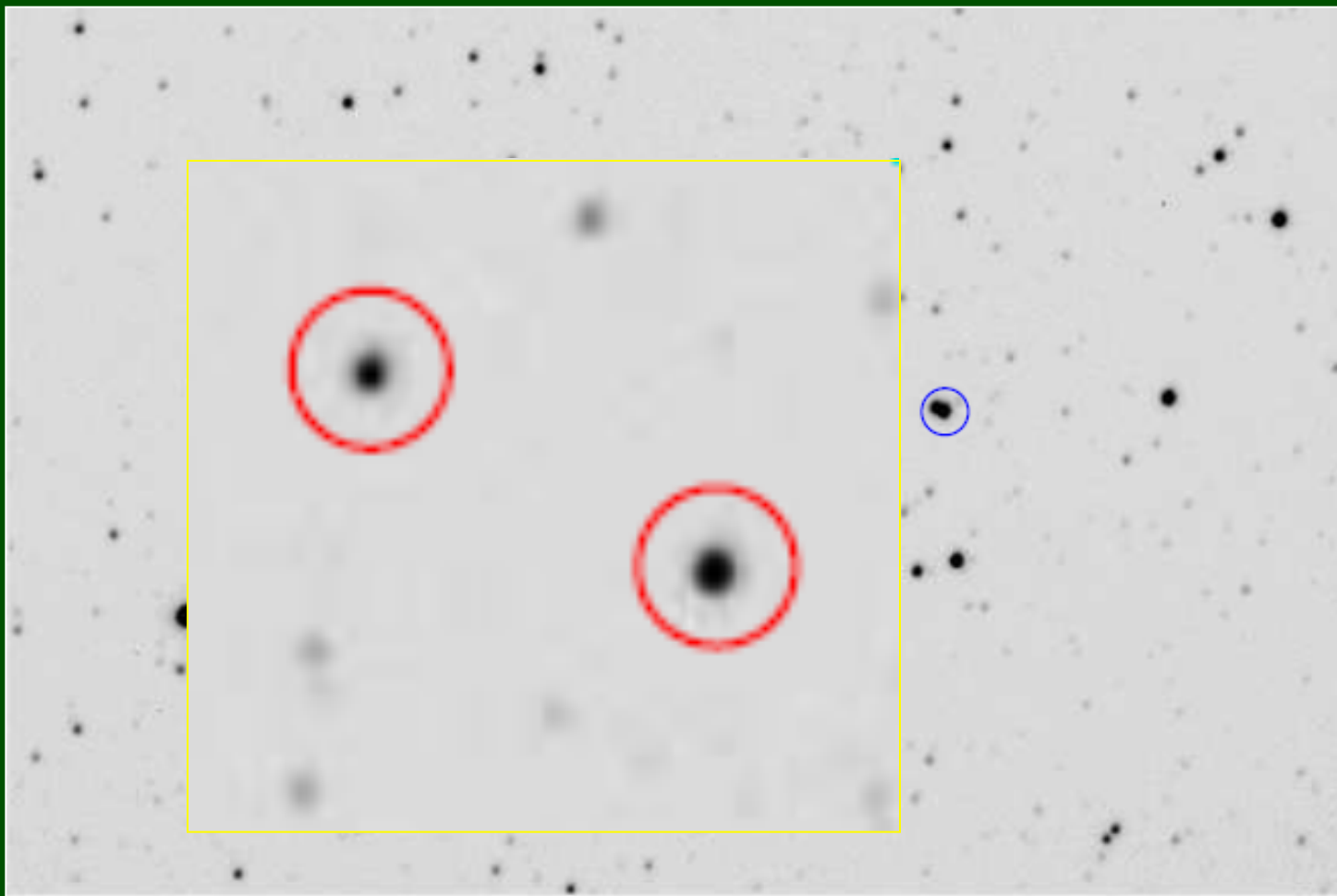


Fotometria CCD



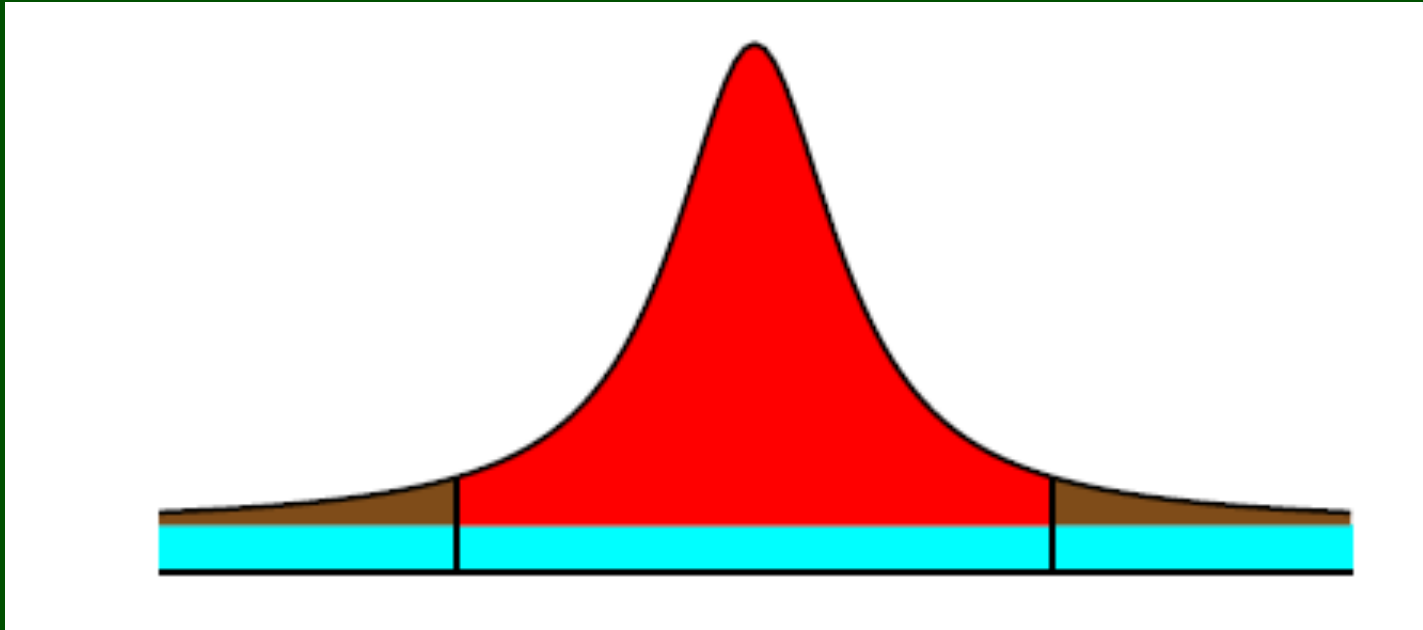
Fotometria aperturowa: przypomina
fotometrię fotoelektryczną *post factum*

Fotometria CCD



Fotometria aperturowa: przypomina
fotometrię fotoelektryczną *post factum*

Fotometria aperturowa



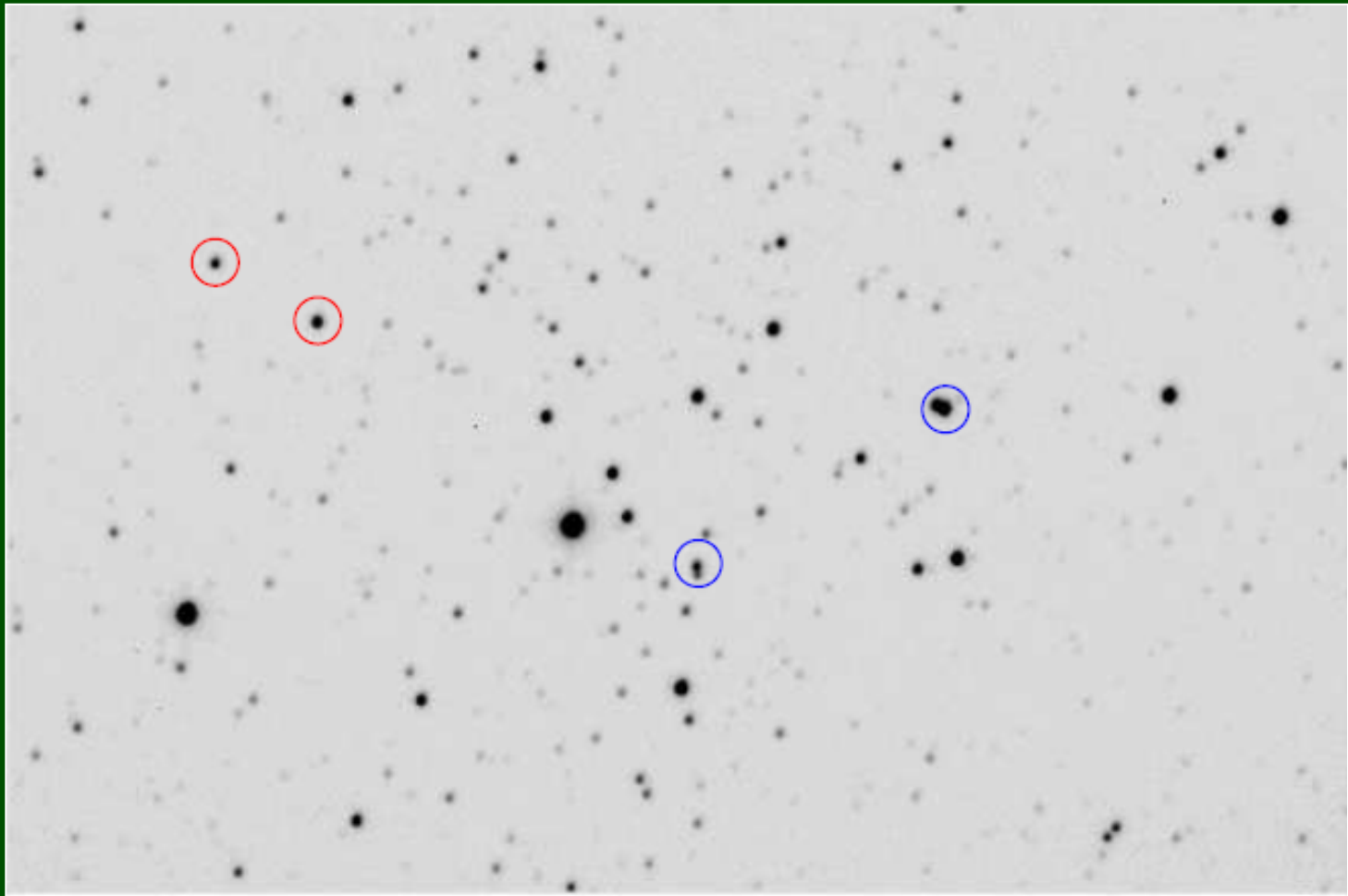
$$m = -2,5 \log D + C,$$

gdzie

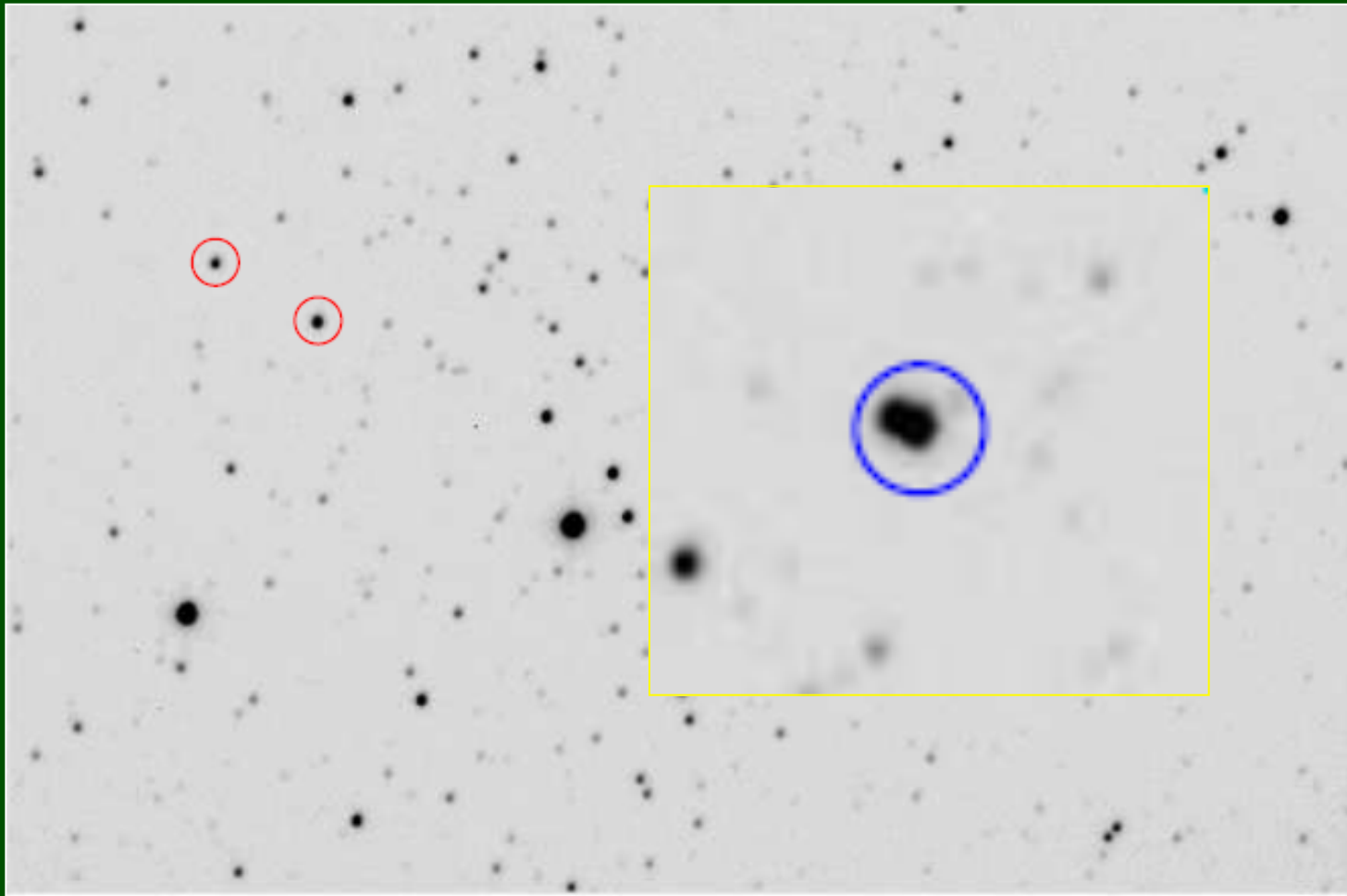
$$D = \sum_{i,j} D_{i,j} - NS$$

N – liczba pikseli w danej aperturze,
S – poziom tła (ADU).

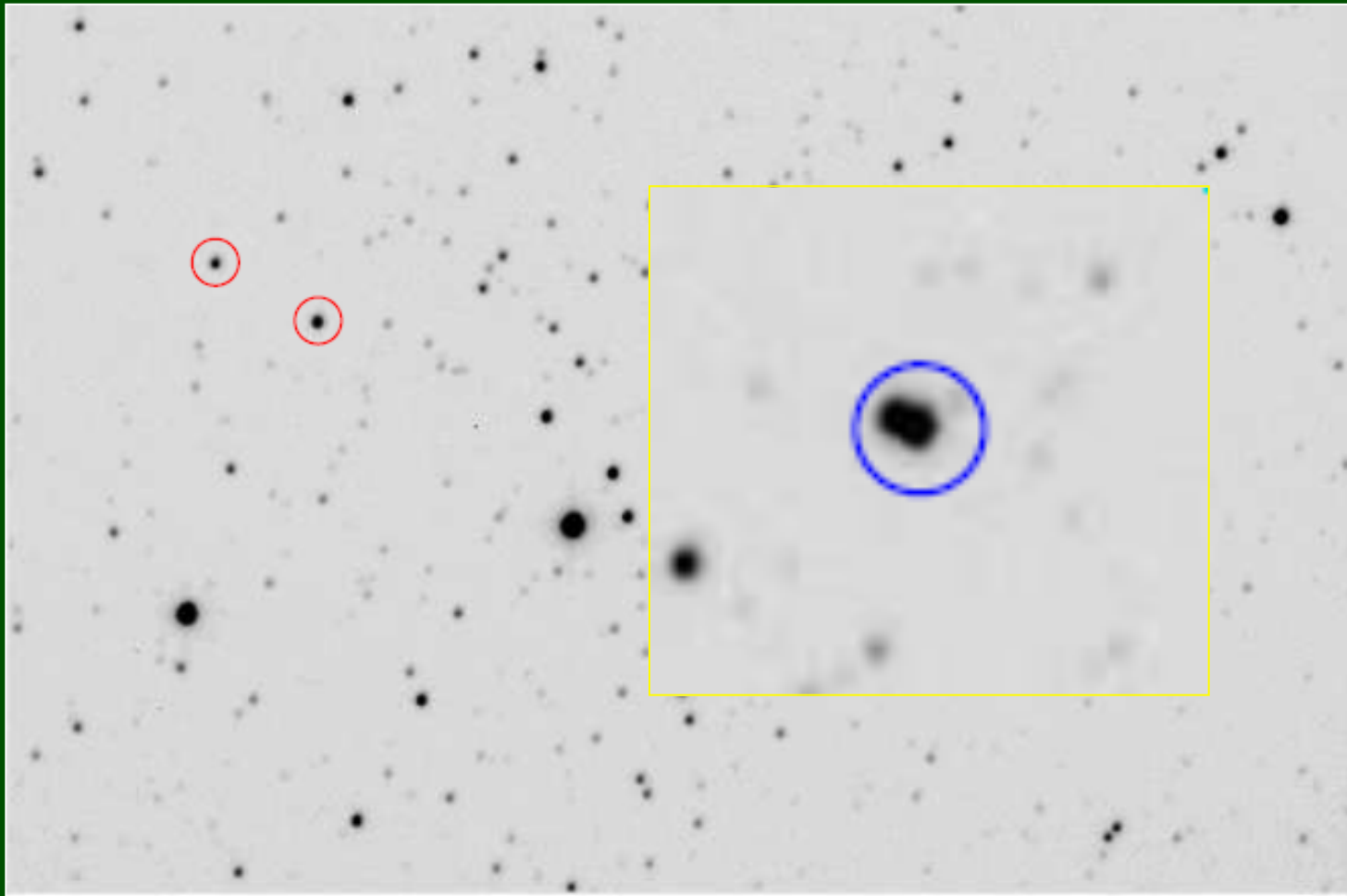
Fotometria profilowa/PSF



Fotometria profilowa/PSF

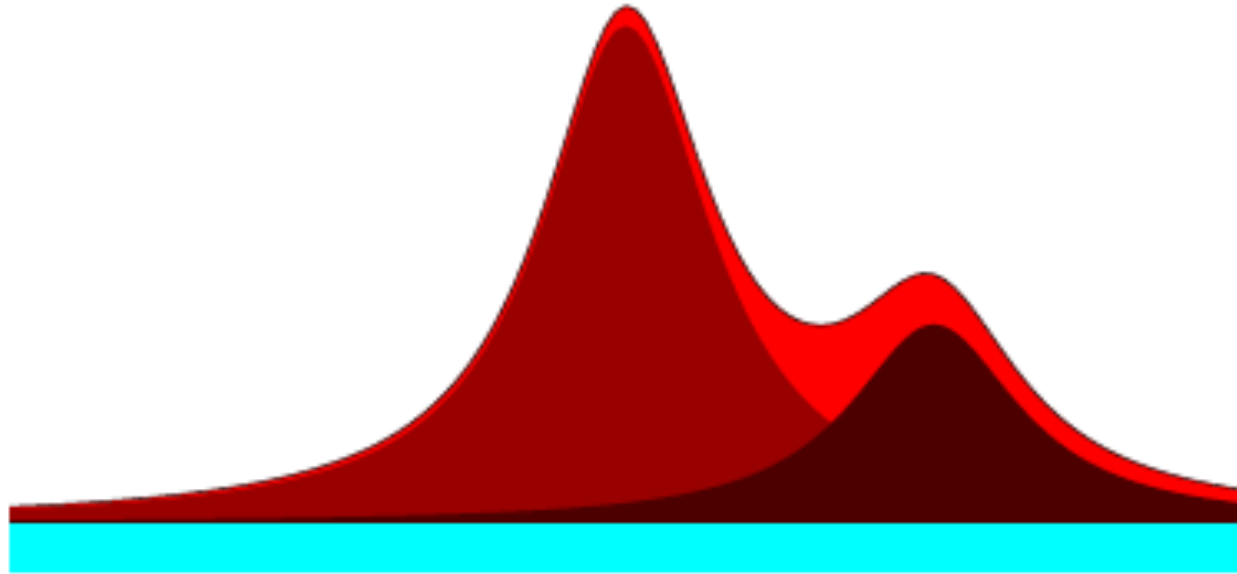


Fotometria profilowa/PSF

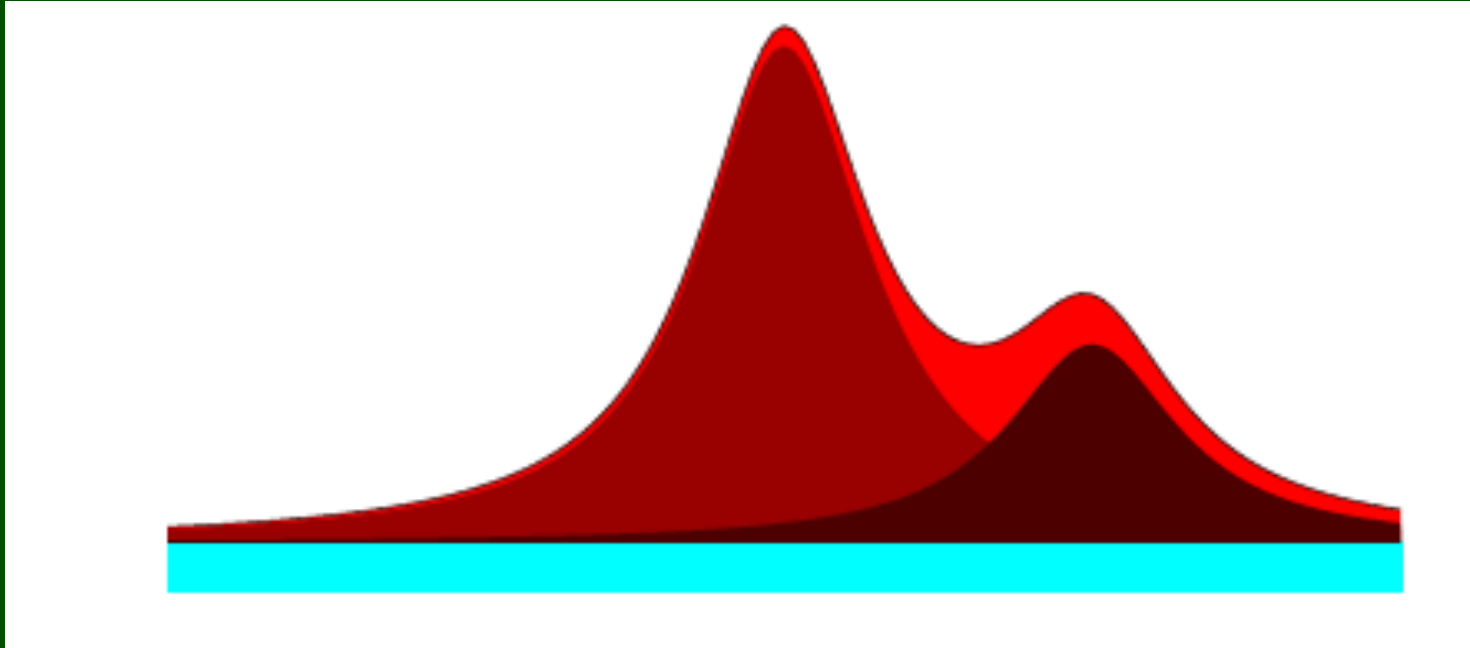


Fotometria profilowa (profile/PSF photometry)

Fotometria profilowa/PSF

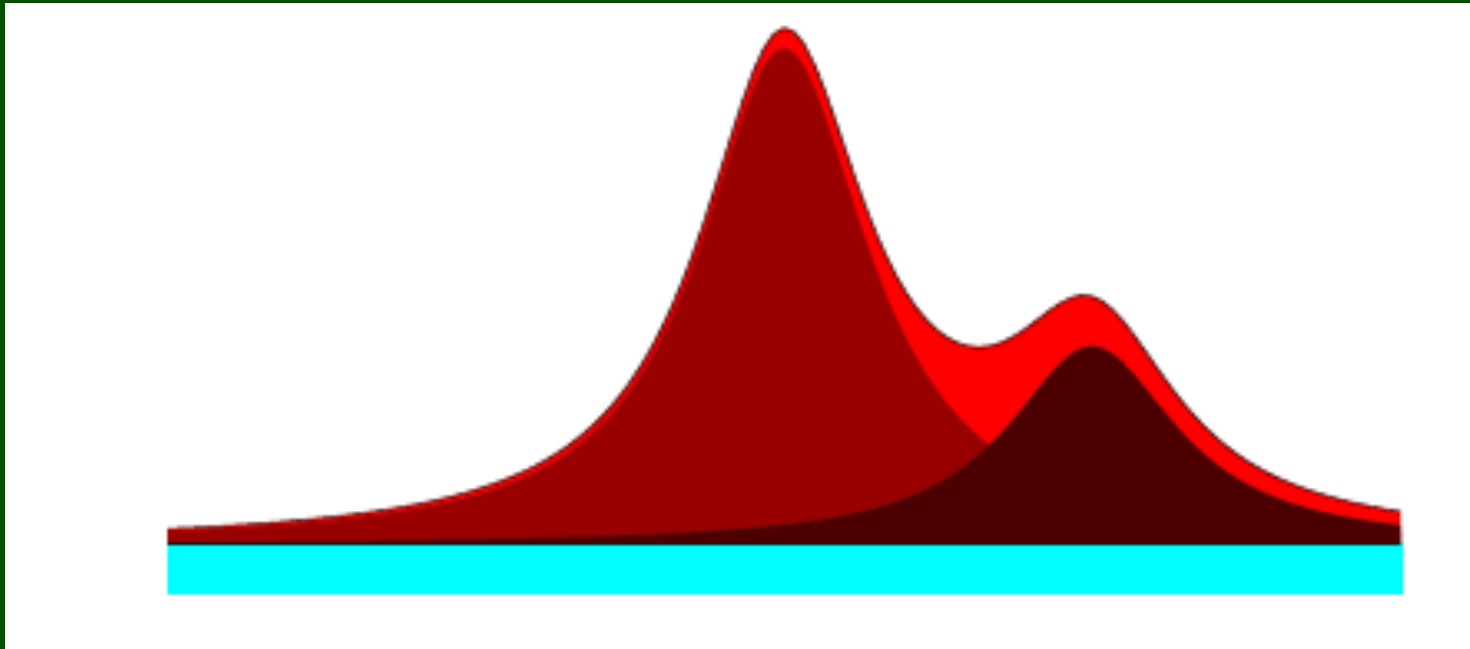


Fotometria profilowa/PSF



Trzeba najpierw wyznaczyć dwuwymiarowy profil gwiazdy,
(point spread function, PSF).

Fotometria profilowa/PSF

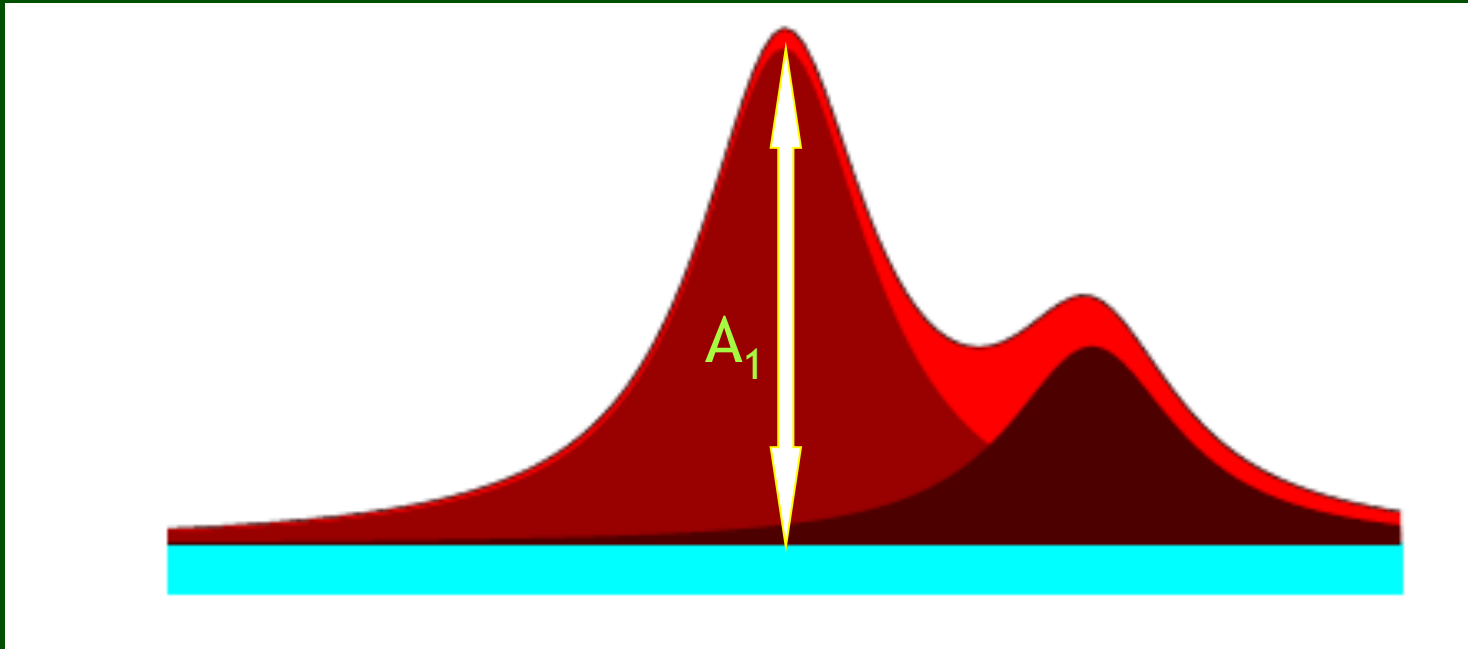


Trzeba najpierw wyznaczyć dwuwymiarowy profil gwiazdy,
(point spread function, PSF).

$$m = -2,5 \log A + C,$$

gdzie A – czynnik skalujący PSF (wysokość profilu)

Fotometria profilowa/PSF

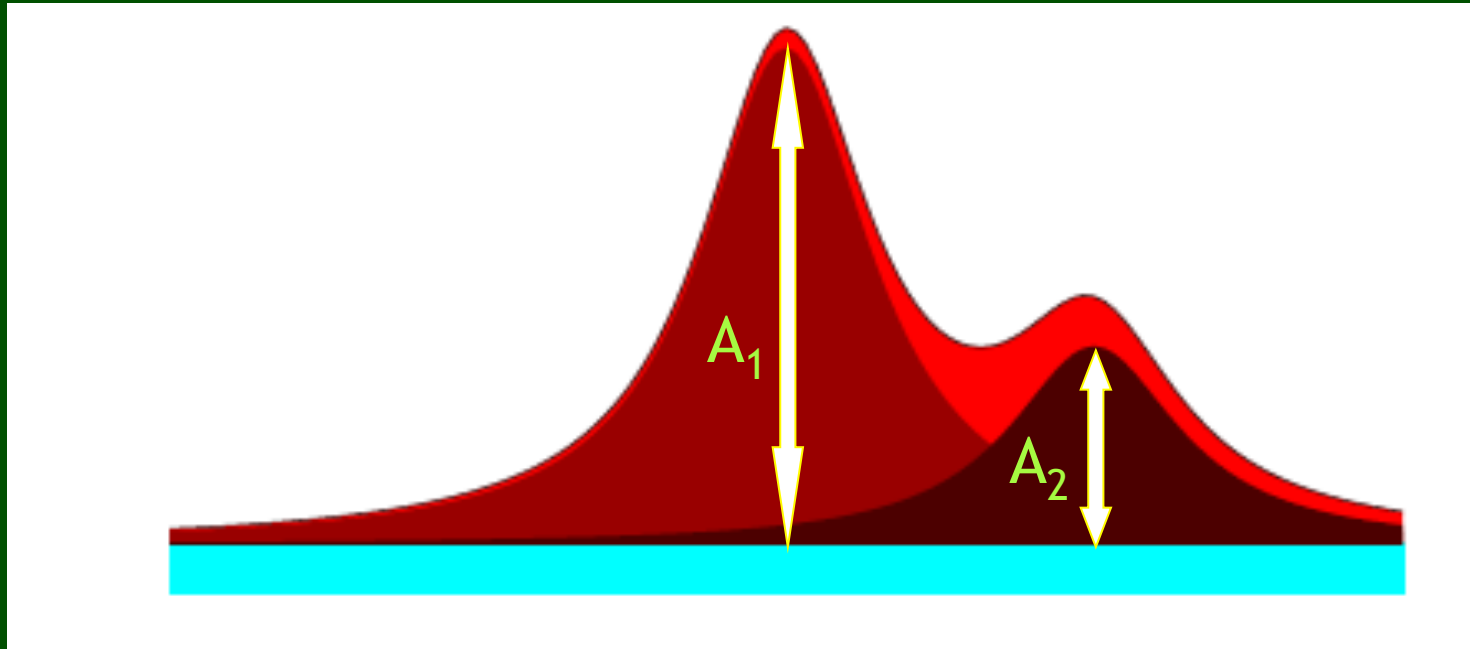


Trzeba najpierw wyznaczyć dwuwymiarowy profil gwiazdy,
(point spread function, PSF).

$$m = -2,5 \log A + C,$$

gdzie A – czynnik skalujący PSF (wysokość profilu)

Fotometria profilowa/PSF

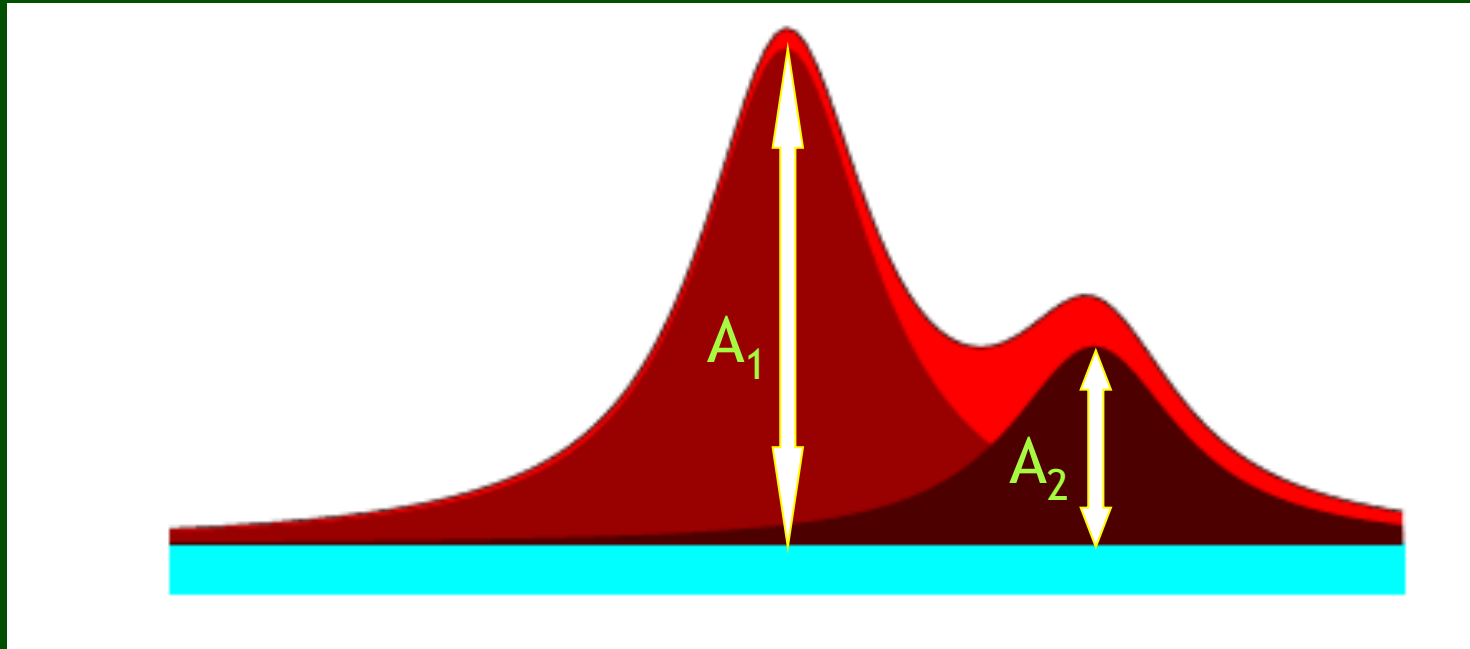


Trzeba najpierw wyznaczyć dwuwymiarowy profil gwiazdy,
(point spread function, PSF).

$$m = -2,5 \log A + C,$$

gdzie A – czynnik skalujący PSF (wysokość profilu)

Fotometria profilowa/PSF



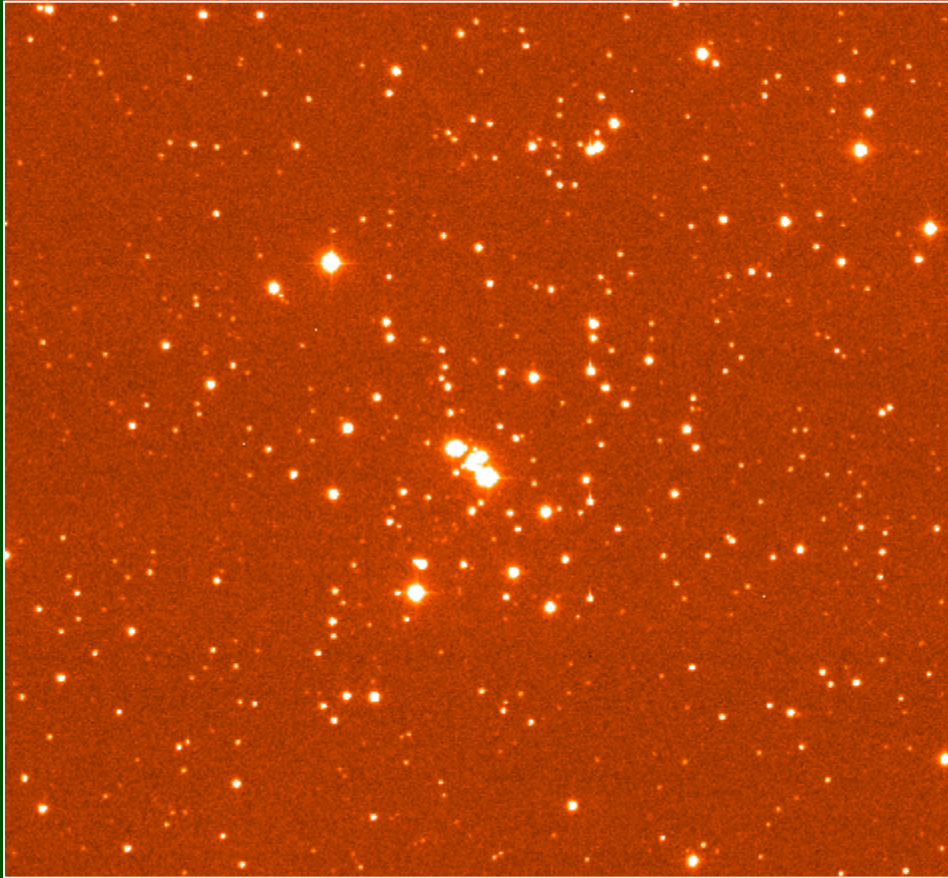
Trzeba najpierw wyznaczyć dwuwymiarowy profil gwiazdy, (point spread function, PSF).

$$m = -2,5 \log A + C,$$

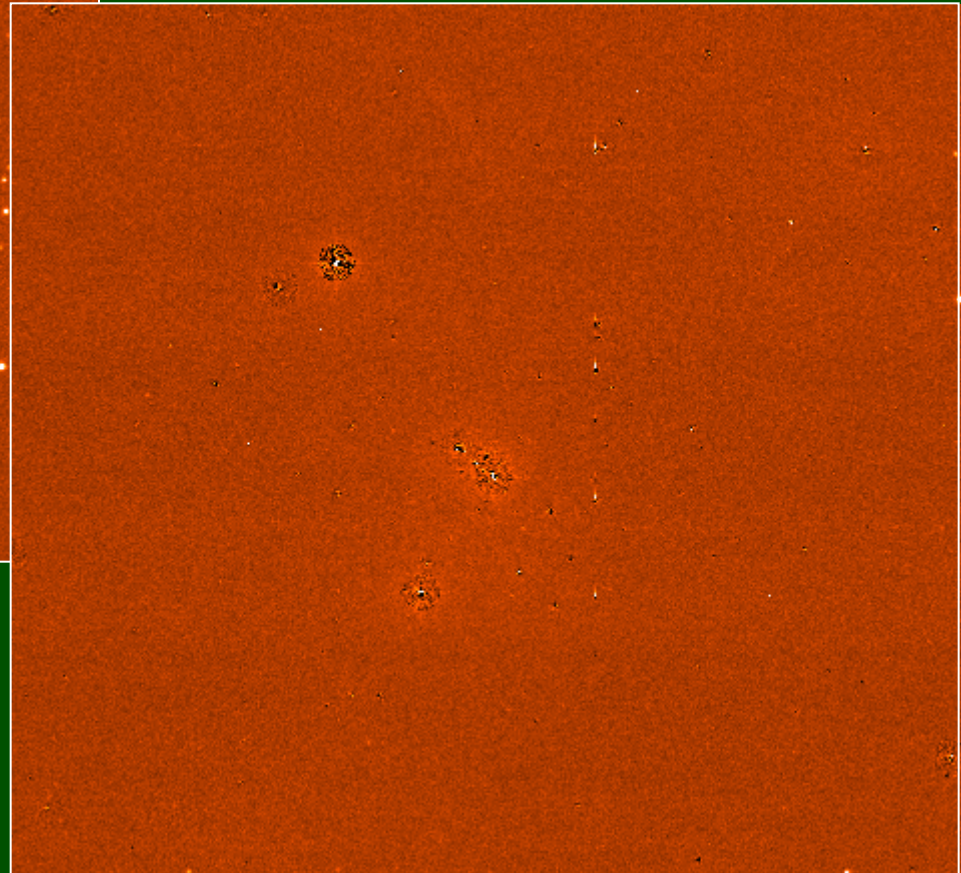
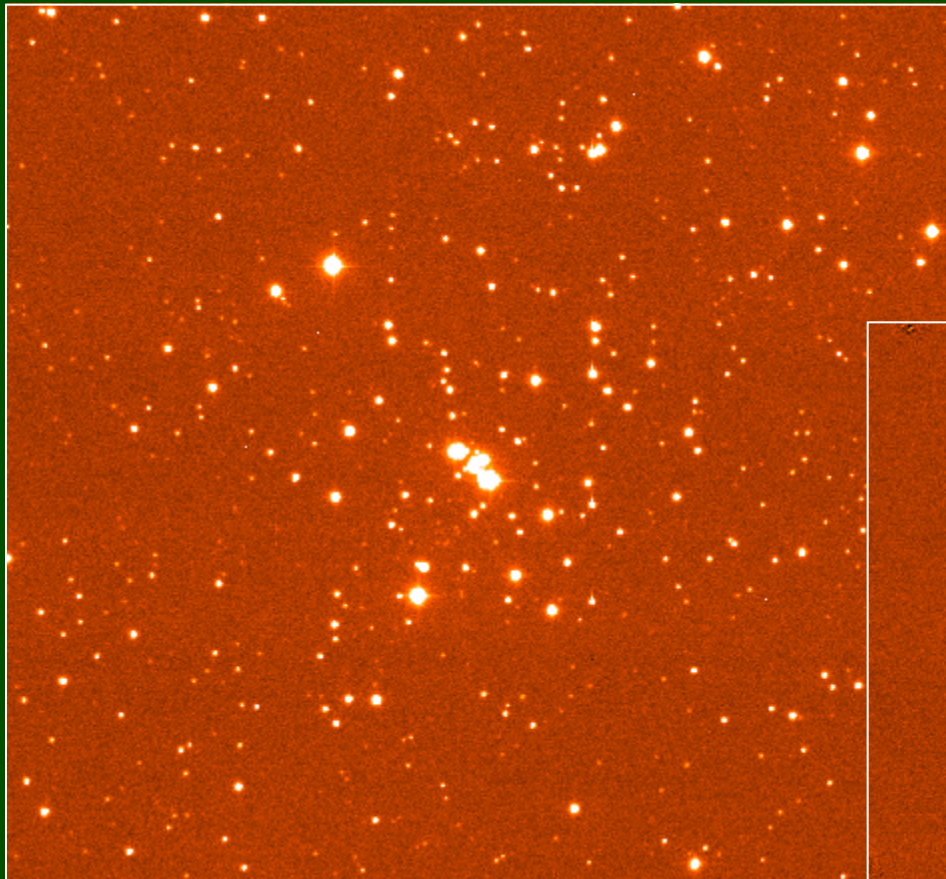
gdzie A – czynnik skalujący PSF (wysokość profilu)

Dopasowanie daje też położenie centrum gwiazdy (x_0, y_0) oraz poziom tła.

Fotometria profilowa/PSF



Fotometria profilowa/PSF



Fotometria profilowa: zmienna PSF

Powody zmienności PSF na obrazie CCD:

- wady optyczne teleskopu (ujawniają się zwłaszcza przy większym polu widzenia),
- nieprostokątność detektora do osi optycznej,
- inne.

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Powody zmienności PSF na obrazie CCD:

- wady optyczne teleskopu (ujawniają się zwłaszcza przy większym polu widzenia),
- nieprostokątność detektora do osi optycznej,
- inne.

Modele PSF:

Analityczna PSF, np.:

- 2-wymiarowa funkcja Gaussa (2 parametry),
- funkcja Moffata, $f(x,y) = A/(1 + z^2)^\beta$, gdzie
 $z^2 = x^2/a^2 + y^2/b^2 + cxy$, $\beta = 1,5$ lub $2,5$.
(3 parametry),
- funkcja Penny (suma f.Gaussa i Moffata) (4 lub 5 parametrów).

Empiryczna PSF, określona na siatce pikseli.

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Analityczna:

zalety: łatwość interpolacji, wady: nie oddaje dobrze rzeczywistego profilu.

Empiryczna:

zalety: łatwość całkowania, wady: błędy interpolacji przy wąskim profilu.

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Analityczna:

zalety: łatwość interpolacji, wady: nie oddaje dobrze rzeczywistego profilu.

Empiryczna:

zalety: łatwość całkowania, wady: błędy interpolacji przy wąskim profilu.

DAOPHOT:

PSF jako suma funkcji analitycznej i tablicy poprawek zdefiniowanej na siatce pikseli.

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Stała PSF:

$$\text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi,)$$

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Stała PSF:

$$\text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi,)$$

Liniowo zmienna PSF:

$$\text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi) + x T_1(v,\xi) + y T_2(v,\xi)$$

Fotometria profilowa: zmienna PSF

Stała PSF:

$$\text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi,)$$

Liniowo zmienna PSF:

$$\text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi) + x T_1(v,\xi) + y T_2(v,\xi)$$

Kwadratowo zmienna PSF:

$$\begin{aligned} \text{PSF}(x,y) = A(x,y) + T_0(v,\xi) + x T_1(v,\xi) + y T_2(v,\xi) + \\ + x^2 T_3(v,\xi) + y^2 T_4(v,\xi) + xy T_5(v,\xi) \end{aligned}$$