

Rozdział 6. Transformacja danych

Dlaczego transformacja jest konieczna?

AAVSO ID (*Międzynarodowa Baza Danych AAVSO*) zawiera pomiary wykonane przez setki obserwatorów, w różnym czasie, z różnych miejsc na Ziemi. Największa zaleta takiego systemu polega na tym, że każdy zainteresowany obserwacjami może mieć swój wkład w tworzeniu bazy, co zapewnia dużą ciągłość obserwacji. W przeglądach nieba wykonywanych w obserwatoriach profesjonalnych jest to słaby punkt – zła pogoda, awaria sprzętu, cykl dnia i nocy czy problemy z finansowaniem mogą (i zwykle powodują) występowanie przerw w danych – których obecność jest dużym utrudnieniem, szczególnie w obserwacjach gwiazd wielookresowych. Obserwacje rozproszone nie są jednak bez wad – w przeciwieństwie do pomiarów wykonywanych jednym instrumentem, obciążone są one błędami spowodowanymi różnicami w stosowanych teleskopach, matrycach czy różnymi metodami obróbki. Błędy te są bardzo trudne do wyeliminowania.

Zakładając, że wszystkie kroki opisane w poprzednich rozdziałach poradnika zostały wykonane starannie i bez pomyłek, ewentualne błędy w wynikach obserwacji mogą nadal być obecne, głównie z powodu charakterystyki widmowej układu optycznego. Matryce CCD reagują z różną czułością w zależności od długości fali padającego światła. Szkło lub powłoki przeciwoodblaskowe użyte w układzie optycznym może wprowadzać fałszywą barwę obrazu (częsty jest żółty zafarb wprowadzany przez soczewki). Nawet dwa filtry fotometryczne wykonane w tej samej fabryce mogą posiadać drobne różnice w charakterystyce transmisji spowodowane niedoskonałością procesu produkcyjnego! Dlatego nawet mimo zastosowania sprzętu najwyższej klasy, konieczna jest poprawka związana z tymi możliwymi odchyłkami od idealnej charakterystyki transmisji.

Procedura, która zostanie opisana w tym rozdziale nazywa się *transformacją do systemu standardowego* i pozwala na stanowczą redukcję lub niemal wyeliminowanie błędów wynikających z tych czynników. Po jej przeprowadzeniu, obserwacje będą zgodne z obserwacjami dostarczonymi przez innych obserwatorów (jak również przez profesjonalne obserwatoria), zaś krzywa blasku gwiazdy znacznie zyska na wartości naukowej.

Jak dokonać transformacji do systemu standardowego?

Zasadniczo, nie wiemy jakie odchyłki i w jakiej barwie występują w naszym układzie teleskop-kamera. Pierwszym krokiem jest więc wyznaczenie ich. Drugim krokiem będzie zastosowanie wyliczonej poprawki do obserwacji.

Na początku proces ten może Ci się wydawać dość skomplikowany. Ponadto, wśród obserwatorów istniało wiele wątpliwości i zamieszania jak wykonać poprawnie tę transformację. Dzięki temu poradnikowi AAVSO mamy nadzieję, że te wątpliwości zostaną rozwiane. Osoby zainteresowane pogłębieniem wiedzy w tym temacie zachęcamy do zapoznania się z bibliografią na końcu tego przewodnika.

Postawowe założenia

Zakładamy w tym poradniku, że pomiar jest wykonywany za pomocą fotometrii różnicowej. Przypominamy, że oznacza to, że mierzoną wielkością jest *różnica* jasności gwiazdy badanej oraz znanej gwiazdy porównania.

Założmy, że badamy akurat dwie gwiazdy. Obie posiadają taką samą katalogową jasność zmierzoną w paśmie standardowym V (na przykład 5 magnitudo), jednak jedna z nich jest chłodną pomarańczową gwiazdą typu widmowego K, zaś druga – białoniebieską gwiazdą typu widmowego B. Po dokonaniu pomiaru stwierdzimy, że mimo iż obie gwiazdy posiadają takie same jasności katalogowe, nasze odczyty będą się różnić. Dokładnie w taki sposób objawiają się omawiane wcześniej różnice w charakterystyce widmowej instrumentu. Gdybyśmy obserwowali teleskopem idealnym bez obecności atmosfery, dostalibyśmy równe odczyty – tak jak to było w katalogu.

Musimy więc wyznaczyć jak nasz instrument zmienia widmo. Na szczęście to tylko brzmi skomplikowanie. W rzeczywistości musimy zmierzyć dwie wielkości: *różnicę jasności instrumentalnych* gwiazdy zmiennej względem gwiazdy porównania oraz kolor gwiazd, wyrażony przez *instrumentalny wskaźnik barwy*. Porównując *instrumentalny wskaźnik barwy* każdej gwiazdy porównania z wartościami

katalogowymi, będziemy mogli wyznaczyć zależność pozwalającą na transformację wskaźnika barwy *instrumentalnego* do *standardowego*. Następnie, poszukując liniowej relacji pomiędzy różnicą *jasności instrumentalnej* i *jasności standardowej*, a *wskaźnikiem barwy* w systemie standardowym, będziemy mogli wyznaczyć współczynnik poprawiający wyznaczoną jasność gwiazdy zmiennej ze względu na jej kolor. Po zastosowaniu tych dwóch transformacji otrzymamy *jasność gwiazdy w systemie standardowym*, która (teoretycznie) będzie mogła być porównana z wynikami innych obserwatorów.

W astronomii obserwacyjnej kolor gwiazdy jest najczęściej wyrażony poprzez różnicę jasności gwiazdy w dwóch filtrach. Wybór filtrów jest zależny od potrzeb, ale najczęściej stosowanym wskaźnikiem barwy w zastosowaniach ogólnych jest **b-v** (czyli różnica jasności gwiazdy w filtrze Johnsona B i jasności w filtrze Johnsona V). Dlatego też niniejszy poradnik zakłada, że obserwator posiada przynajmniej te dwa filtry. Możliwe jest również wykonanie pomiaru posiadając tylko filtr V, lub używając kanałów niebieskiego i zielonego z lustrzanki cyfrowej, ale takie pomiary będą obciążone o wiele większym błędem. Jeżeli obserwator z kolei używa większej ilości filtrów, konieczna będzie odrębna poprawka barwna dla każdego z nich.

Wyznaczanie współczynników transformacji

Krok I – Wykonaj zdjęcia pola standardowego i zredukuj obrazy

Pierwszym krokiem w wyznaczeniu współczynników transformacji jest wykonanie zdjęcia **pola standardowego**, używając każdego z filtrów. Pola standardowe to rejony na niebie, w których jasności gwiazd zostały zmierzone bardzo dokładnie, a co za tym idzie – są używane do kalibracji instrumentów. Dla wygody obserwatorów i uwzględniając różnorodność stosowanych instrumentów, AAVSO przygotowało 6 gromad otwartych gwiazd dobrych do kalibracji. Brano pod uwagę m.in. rozmiar kątowy oraz różnorodność kolorów gwiazd w gromadzie.

Tabela 6.1 – gromady standardowe

Nazwa gromady	RA	Dec	Zakres jasności	Średnica (minuty kątowe)
NGC 1252	03:10:49	-57:46:00	8 – 15	300+
M67	08:51:18	+11:48:00	7 – 16	74
NGC 3532	11:05:39	-58:45:12	8 – 13.5	30
Coma Star Cluster	12:22:30	+25:51:00	5 – 10	450
M11	18:51:05	-06:16:12	8.5 – 17	20
NGC 7790	23:58:23	+61:12:25	10 – 20	7

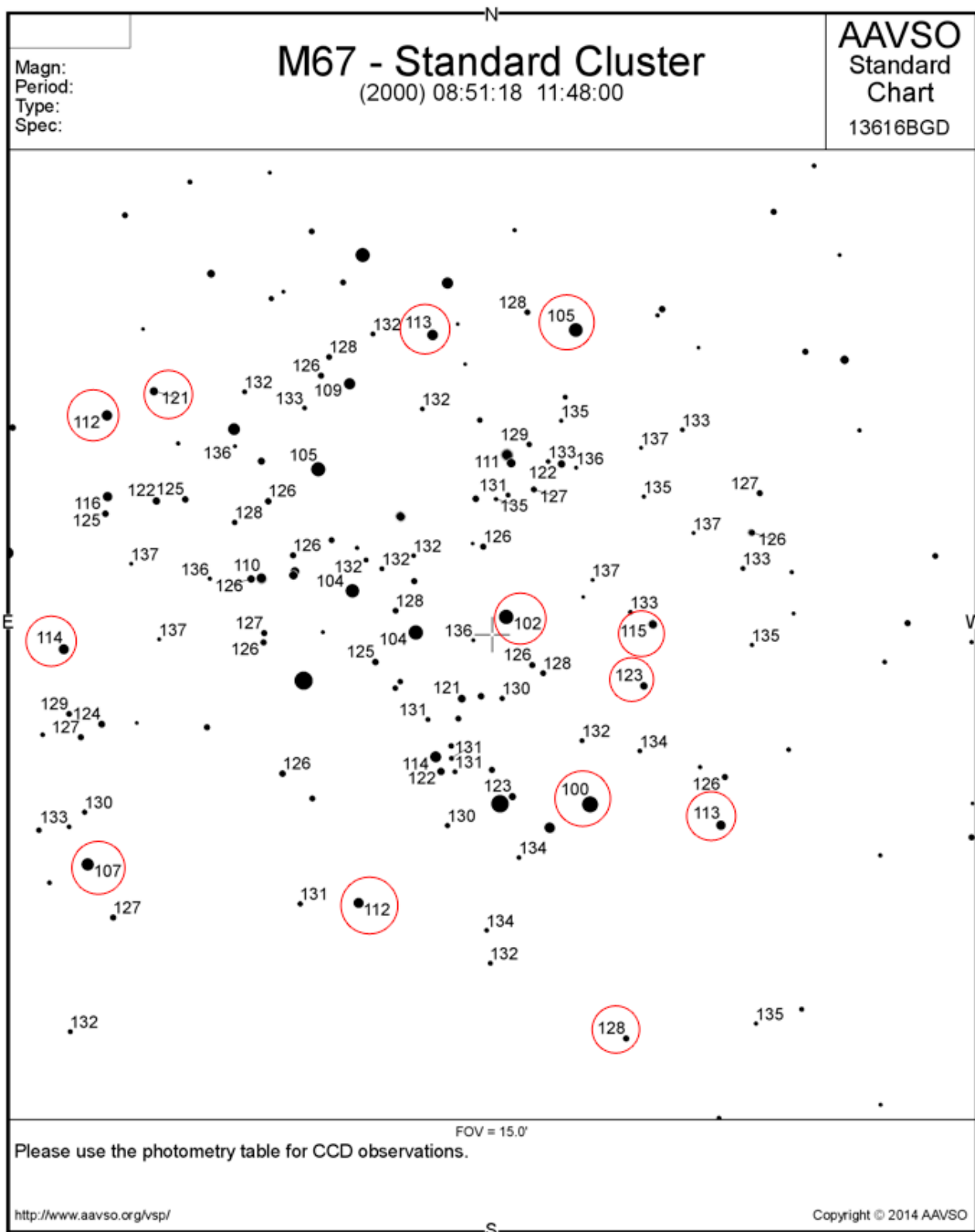
Możesz przygotować mapkę wybranego pola, używając narzędzia AAVSO *Variable Star Plotter (VSP)*. Po wpisaniu rektascensji i deklinacji odczytanej z powyższej tabeli, zaznaczeniu granicznej jasności używanego instrumentu i zaznaczeniu *Yes (Tak)* przy pytaniu *Would you like a standard field chart?* (Czy chcesz wygenerować mapkę pola standardowego?), program wygeneruje mapkę podobną do tej na Rys. 6.1. Możesz również wydrukować sobie tabelę zawierającą jasności wszystkich gwiazd zalecanych do kalibracji (*Photometry Table*). Będzie ona przydatna dla osób które nie używają oprogramowania automatycznie pobierającego fotometrię (patrz Rys. 6.2).

Zbierając dane trzeba wykonać kroki takie, jak przy każdej innej fotografii astronomicznej. Najlepiej wykonywać kalibrację kiedy gromada jest wysoko na niebie, dobrać czas ekspozycji zapewniający dobre naświetlenie gwiazd (ale by ich nie prześwietlić), a także wykonać kilkanaście ekspozycji, by poprawić stosunek sygnału do szumu. Obrazy powinny być skalibrowane na dark, bias oraz flatfield.

W celu minimalizacji nieprzewidzianego wpływu atmosfery, dobrze jest kalibrację wykonać w czasie kilku nocy i obserwować wszelkie zmiany. Na końcu można uśrednić wyniki tak, żeby współczynniki były jeszcze dokładniejsze.

Rys. 6.1. Mapa dla pola gromady M67

Ta przykładowa mapa została wygenerowana za pomocą narzędzia AAVSO VSP (Variable Star Plotter). Do programu wprowadzono rektascensję i deklinację gromady M67, pole widzenia 15 minut kątowych oraz jasność graniczną równą 13,8 magnitudo. Gwiazdy zakreślone czerwonym okręgiem zostały użyte w przykładzie w niniejszym przewodniku.



Rys. 6.2. Tabela fotometryczna dla pola gromady M67

Jest to fragment tabeli fotometrycznej dla mapy z Rys. 6.1, zawierający 10 najjaśniejszych gwiazd pola użytych do wyznaczenia współczynników korekcji w przykładzie (zakreślone kółkami). Są to te same gwiazdy, które zostały oznaczone na Rys. 6.1.

Variable Star Plotter (VSP)

■ Printable Version ■ Return & Replot

Field Photometry From the AAVSO Variable Star Database

Data includes all comparison stars within 0.12500° of RA: 08:51:18 (132.82500) & Decl.: 11:48:00 (11.80000).

AUID	RA.	Dec.	Label	U	B	V	B-V	Rc	Ic	J	H	K	Comments
000-BLG-879	8:51:11.82 [132.79926d]	11:45:21.7 [11.75602d]	100	-	9.978 (0.050) ¹⁰	10.040 (0.029) ¹⁰	-0.062 (0.058)	10.059 (0.040) ¹⁰	10.086 (0.049) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-886	8:51:17.12 [132.82133d]	11:48:16.4 [11.80455d]	102	12.915 (0.038) ¹⁰	11.553 (0.023) ¹⁰	10.289 (0.016) ¹⁰	1.264 (0.028)	9.626 (0.021) ¹⁰	9.063 (0.027) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-887	8:51:22.83 [132.84512d]	11:48:02 [11.80056d]	104	12.583 (0.031) ¹⁰	11.562 (0.018) ¹⁰	10.453 (0.014) ¹⁰	1.109 (0.023)	9.886 (0.016) ¹⁰	9.386 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-888	8:51:26.87 [132.86194d]	11:48:40.7 [11.81131d]	104	11.118 (0.022) ¹⁰	11.064 (0.016) ¹⁰	10.489 (0.013) ¹⁰	0.575 (0.021)	10.149 (0.015) ¹⁰	9.822 (0.021) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-890	8:51:29.01 [132.87090d]	11:50:33.3 [11.84260d]	105	12.703 (0.030) ¹⁰	11.656 (0.018) ¹⁰	10.533 (0.012) ¹⁰	1.123 (0.022)	9.952 (0.014) ¹⁰	9.438 (0.017) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-889	8:51:12.71 [132.80298d]	11:52:42.6 [11.87850d]	105	12.620 (0.032) ¹⁰	11.617 (0.023) ¹⁰	10.524 (0.016) ¹⁰	1.093 (0.028)	9.961 (0.020) ¹⁰	9.471 (0.022) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-891	8:51:43.58 [132.93156d]	11:44:26.7 [11.74076d]	107	13.003 (0.029) ¹⁰	11.898 (0.019) ¹⁰	10.763 (0.016) ¹⁰	1.135 (0.025)	10.185 (0.020) ¹⁰	9.657 (0.023) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-892	8:51:27.04 [132.86266d]	11:51:52.8 [11.86467d]	109	11.117 (0.030) ¹⁰	11.042 (0.021) ¹⁰	10.946 (0.019) ¹⁰	0.096 (0.028)	10.902 (0.022) ¹⁰	10.844 (0.024) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-893	8:51:32.62 [132.88593d]	11:48:52.3 [11.81454d]	110	11.416 (0.027) ¹⁰	11.283 (0.019) ¹⁰	11.064 (0.017) ¹⁰	0.219 (0.025)	10.948 (0.020) ¹⁰	10.820 (0.024) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-894	8:51:17.07 [132.82111d]	11:50:46.7 [11.84630d]	111	13.192 (0.029) ¹⁰	12.221 (0.018) ¹⁰	11.132 (0.014) ¹⁰	1.089 (0.023)	10.560 (0.017) ¹⁰	10.059 (0.021) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-895	8:51:26.46 [132.86024d]	11:43:51 [11.73083d]	112	11.474 (0.027) ¹⁰	11.391 (0.019) ¹⁰	11.263 (0.016) ¹⁰	0.128 (0.025)	11.215 (0.017) ¹⁰	11.146 (0.023) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-896	8:51:42.39 [132.92662d]	11:51:23.3 [11.85648d]	112	13.307 (0.032) ¹⁰	12.342 (0.016) ¹⁰	11.266 (0.012) ¹⁰	1.076 (0.020)	10.697 (0.016) ¹⁰	10.187 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-897	8:51:21.78 [132.84074d]	11:52:38.1 [11.87724d]	113	12.060 (0.025) ¹⁰	11.911 (0.020) ¹⁰	11.305 (0.013) ¹⁰	0.606 (0.024)	10.945 (0.018) ¹⁰	10.609 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-898	8:51:03.54 [132.76474d]	11:45:03 [11.75083d]	113	11.727 (0.028) ¹⁰	11.604 (0.020) ¹⁰	11.314 (0.017) ¹⁰	0.290 (0.026)	11.149 (0.021) ¹⁰	10.988 (0.025) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-899	8:51:21.59 [132.83995d]	11:46:06.4 [11.76845d]	114	13.463 (0.031) ¹⁰	12.500 (0.017) ¹⁰	11.427 (0.014) ¹⁰	1.073 (0.022)	10.867 (0.016) ¹⁰	10.376 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-900	8:51:45.10 [132.93793d]	11:47:46.2 [11.79617d]	114	13.451 (0.026) ¹⁰	12.546 (0.016) ¹⁰	11.494 (0.011) ¹⁰	1.052 (0.019)	10.941 (0.014) ¹⁰	10.442 (0.017) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-901	8:51:07.84 [132.78265d]	11:48:09.5 [11.80264d]	115	11.912 (0.025) ¹⁰	11.949 (0.017) ¹⁰	11.544 (0.014) ¹⁰	0.405 (0.022)	11.293 (0.017) ¹⁰	11.050 (0.021) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-902	8:51:42.37 [132.92653d]	11:50:07.9 [11.83554d]	116	13.599 (0.029) ¹⁰	12.686 (0.017) ¹⁰	11.636 (0.012) ¹⁰	1.050 (0.021)	11.081 (0.015) ¹⁰	10.580 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-904	8:51:39.41 [132.91422d]	11:51:45.9 [11.86275d]	121	13.943 (0.027) ¹⁰	13.138 (0.016) ¹⁰	12.138 (0.012) ¹⁰	1.000 (0.020)	11.602 (0.018) ¹⁰	11.122 (0.021) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD
000-BLG-903	8:51:19.93 [132.83304d]	11:47:00.7 [11.78353d]	121	12.595 (0.024) ¹⁰	12.572 (0.016) ¹⁰	12.116 (0.013) ¹⁰	0.456 (0.021)	11.835 (0.015) ¹⁰	11.566 (0.020) ¹⁰	-	-	-	STD_FIELD

Krok 2 – Wykonaj fotometrię na obrazach, by otrzymać jasności różnicowe

Używając swojego ulubionego oprogramowania służącego do wykonywania fotometrii (np. DAOPHOT lub IRIS), należy zmierzyć jasność instrumentalną jak największej ilości gwiazd. W przypadku gęstych pól gwiazdowych (na przykład w obrębie Drogi Mlecznej lub gromady otwartej) zwróć uwagę na to, czy mierzona gwiazda nie „nachodzi” na inną gwiazdę – mogłoby to zafałszować pomiar. Bądź również ostrożny, zwracając uwagę na oznaczenia gwiazd – w przypadku wątpliwości, warto sprawdzić, czy współrzędne mierzonej gwiazdy (rektascensja i deklinacja) są zgodne z katalogowymi.

Krok 3 – Wyznacz współczynniki transformacji

Obserwatorzy sieci AAVSO stworzyli narzędzia ułatwiające obliczenie współczynników transformacji do systemu standardowego oraz zastosowanie transformacji do zmierzonych gwiazd (programy oraz informacje na ich temat znajdują się na witrynie www.aavso.org/transform). Aby jednak zrozumieć zasadę, na której opiera się transformacja, w tym przykładzie wykonamy obliczenia „na piechotę”, używając arkusza kalkulacyjnego.

Najłatwiej jest zaprezentować tę metodę używając prawdziwych danych obserwacyjnych. Dzięki temu unikniemy nadmiaru teorii i trudnych równań matematycznych. W ostateczności, jeżeli zajdzie taka potrzeba, będzie można podmienić dane w tabeli i użyć jej do swoich obliczeń.

W przykładzie założono, że obserwator postępuje zgodnie z ogólnie przyjętą praktyką w AAVSO i obserwuje gwiazdę w dwóch filtrach – V (zielony) oraz B (niebieski) systemu Johnsona. Aby nie komplikować, zostało zmierzonych tylko 13 gwiazd gromady M67, ale w swoich obserwacjach lepiej użyć większej liczby – od 30 do 50. W tabeli, dane zmierzone ze zdjęć zapisane są w kolumnie „moje dane”. W dalszej części tego przewodnika, małymi literami (np. b, v) będziemy oznaczać jasności instrumentalne zmierzone ze zdjęć, zaś wielkimi literami (np. B, V) – wartości w systemie standardowym. Pierwszym zadaniem jest wyznaczenie współczynnika transformacji koloru T_{bv} oraz dwóch współczynników dla strumieni, odpowiednio zielonego i niebieskiego: $T_{b,bv}$ i $T_{v,bv}$.

Rozpoczynamy od zidentyfikowania gwiazd na naszej fotografii przez porównanie z mapką i wyznaczenie ich jasności w użytych filtrach za pomocą ulubionego programu fotometrycznego. Spisujemy je w postaci tabeli w arkuszu kalkulacyjnym. Jednocześnie, w kolumnach obok wpisujemy wartości odczytane z katalogu dla analogicznych filtrów.

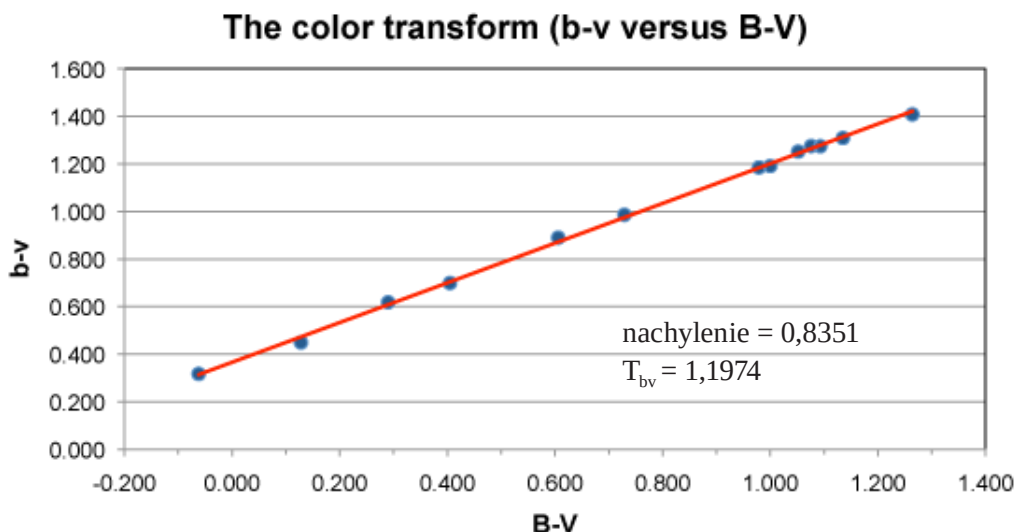
Tabela 6.2 – Przykładowe dane dla gromady M67

M67		Moje Dane			Standardowe Dane		
Star ID	AUID	b	v	i	b	v	i
100	000-BLG-879	-7.981	-8.298	-7.501	9.978	10.040	10.086
102	000-BLG-886	-6.575	-7.983	-8.462	11.553	10.289	9.063
105	000-BLG-889	-6.487	-7.761	-8.102	11.617	10.524	9.471
107	000-BLG-891	-6.194	-7.503	-7.866	11.898	10.763	9.657
112	000-BLG-895	-6.591	-7.040	-6.421	11.391	11.263	11.146
112	000-BLG-896	-5.725	-7.000	-7.337	12.342	11.266	10.187
113	000-BLG-897	-6.111	-7.001	-6.960	11.911	11.305	10.609
113	000-BLG-898	-6.364	-6.982	-6.562	11.604	11.314	10.988
114	000-BLG-900	-5.511	-6.763	-7.072	12.546	11.494	10.442
115	000-BLG-901	-6.054	-6.753	-6.493	11.949	11.544	11.050
121	000-BLG-904	-4.929	-6.120	-6.400	13.138	12.138	11.122
123	000-BLG-908	-4.709	-5.894	-6.121	13.359	12.380	11.409
128	000-BLG-929	-4.508	-5.494	-5.497	13.541	12.812	12.033

Następnie musimy utworzyć wykres, który umożliwi nam wyznaczenie transformacji barwy (Wykres 6.3). Na osi poziomej umieszczamy katalogowy wskaźnik barwy (B-V), natomiast na pionowej wskaźnik zmierzony przy pomocy naszego zestawu (b-v). Kreśląc wykres możemy od razu ocenić, czy nasze dane pomiarowe są skorelowane liniowo oraz odrzucić te pomiary, które wyraźnie odstają od reszty.

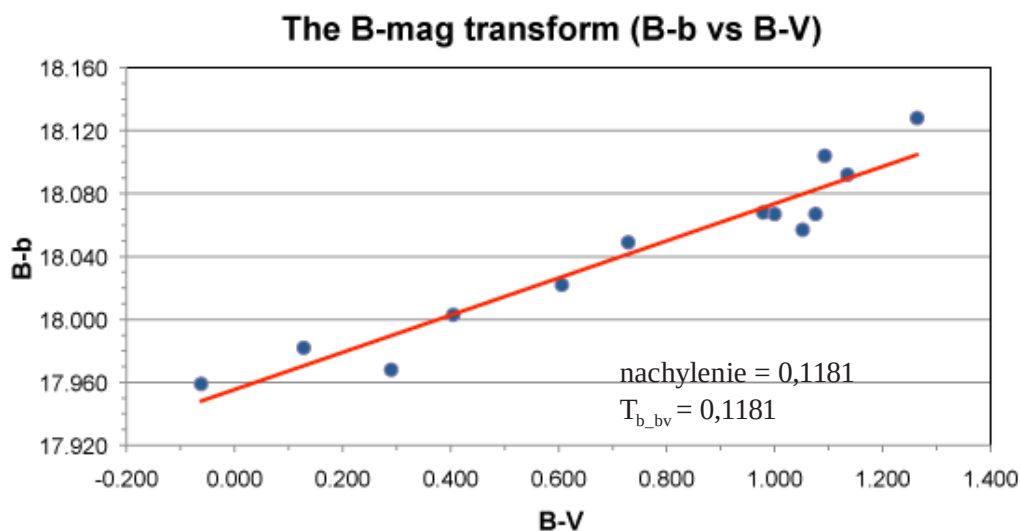
Wykres 6.3 – Transformacja barwy

B-V	b-v
-0.062	0.317
1.264	1.408
1.093	1.274
1.135	1.309
0.128	0.449
1.076	1.275
0.606	0.890
0.290	0.618
1.052	1.252
0.405	0.699
1.000	1.191
0.979	1.185
0.729	0.986



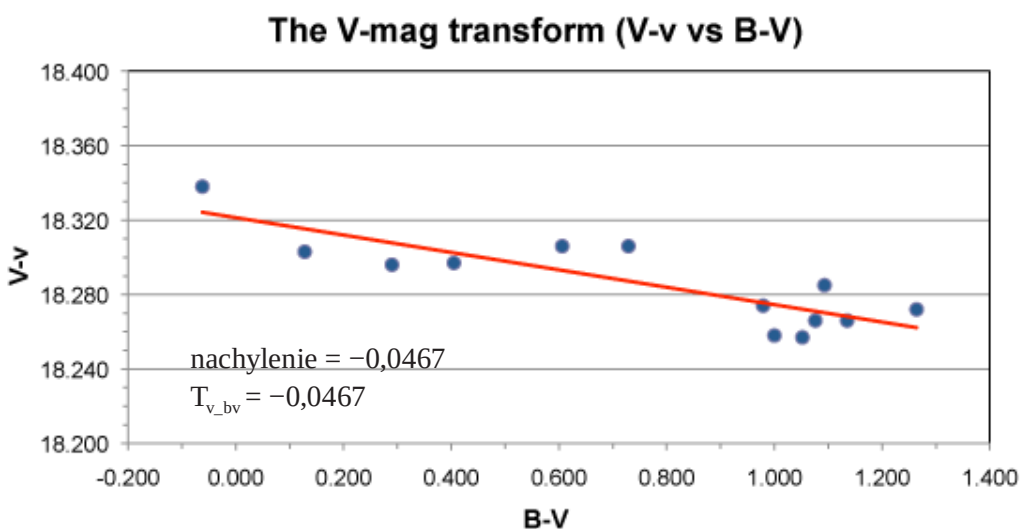
Wykres 6.4 – Transformacja B

B-V	B-b
-0.062	17.959
1.264	18.128
1.093	18.104
1.135	18.092
0.128	17.982
1.076	18.067
0.606	18.022
0.290	17.968
1.052	18.057
0.405	18.003
1.000	18.067
0.979	18.068
0.729	18.049



Wykres 6.5 – Transformacja V

B-V	V-v
-0.062	18.338
1.264	18.272
1.093	18.285
1.135	18.266
0.128	18.303
1.076	18.266
0.606	18.306
0.290	18.296
1.052	18.257
0.405	18.297
1.000	18.258
0.979	18.274
0.729	18.306



Dla tak stworzonego wykresu została dodana linia trendu, a obliczone nachylenie tej linii wynosi w tym przykładzie 0,8351. Ponieważ transformacja barwy zdefiniowana jest jako odwrotność tego współczynnika $1/0,8351$, to w naszym przypadku będzie ona równa $T_{bv} = 1,1974$. W celu obliczenia transformacji dla B i V należy dane z tabeli 6.2 przedstawić w postaci wykresów wielkości gwiazdowej instrumentalnej (B-b) lub (V-v) w funkcji wskaźnika barwy (B-V) jak na wykresach 6.4 i 6.5.

Współczynnik nachylenia linii trendu dla danych pomiarowych można obliczyć bez kreślenia wykresów, ale przedstawienie wyników w formie graficznej pozwala na łatwą ocenę jakości danych pomiarowych oraz ułatwia odrzucenie punktów o potencjalnie dużym błędzie.

Co w przypadku, gdy używam więcej niż dwóch barw lub innej pary filtrów?

W zależności od rodzaju użytych filtrów, wyznaczenie transformacji może być dokładniejsze przy użyciu koloru opartego na innej parze filtrów niż B i V (na przykład R oraz I). Obliczenia wykonujemy w sposób analogiczny do koloru B-V. Przykładowo, jeżeli poza filtrami B i V używasz do obserwacji filtra podczerwonego I, będzie konieczne obliczenie dwóch dodatkowych współczynników (pamiętajmy: oznaczenia małymi literami i, v to wartości mierzone przez nas, podczas gdy V, I – odczytane z katalogu.):

$$T_{vi} = 1/\text{nachylenie wykresu } v\text{-i w zależności od } V\text{-I}$$

$$T_{i,v} = 1/\text{nachylenie wykresu } I\text{-i w zależności od } V\text{-I}$$

W zależności od zastosowania, można używać różnych wariacji tej metody. Dla przykładu, jeżeli obserwujemy mirydę w minimum, jej silnie czerwona barwa sprawia, że może być poza zasięgiem naszego teleskopu w filtrze niebieskim B. Wtedy możemy oprzeć naszą transformację na następujących współczynnikach:

$$T_{v,vi} = 1/\text{nachylenie wykresu } V\text{-v w zależności od } V\text{-I}$$

lub

$$T_{v,vr} = 1/\text{nachylenie wykresu } V\text{-v w zależności od } V\text{-R}$$

Jak często muszę obliczać transformację?

Współczynniki transformacji powinny być obliczane co najmniej raz na rok lub gdy w układzie optycznym teleskopu dokonamy jakiejś zmiany (nowe filtry, nowa kamera, flattener, soczewka itp.).

Uwzględnianie współczynników w obserwacjach

Mając policzone współczynniki, można ich użyć do transformacji naszych danych obserwacyjnych do systemu standardowego. W poniższym przykładzie założyliśmy, że obserwator używa tylko jednej gwiazdy odniesienia. Transformacja obserwacji wykonywanych za pomocą wielu gwiazd odniesienia jest o wiele trudniejsza oraz jest, wrażliwa na dobór tych gwiazd. W takim wypadku lepiej pozostawić obliczenia programom fotometrycznym.

Podstawowe równanie transformacji jest następujące:

$$V_{\text{var}} = \Delta v + T_{v,bv} \times \Delta(B-V) + V_{\text{comp}}$$

Wyjaśnienia współczynników:

- Δv to różnica jasności instrumentalnych gwiazdy zmiennej i gwiazdy odniesienia: $v_{\text{var}} - v_{\text{comp}}$,
- V_{comp} to jasność katalogowa w paśmie V gwiazdy odniesienia,
- $T_{v,bv}$ to obliczony współczynnik poprawki dla pasma V,
- $\Delta(B-V)$ to różnica kolorów (w systemie standardowym) gwiazdy zmiennej i gwiazdy odniesienia. Jednak ponieważ kolor gwiazdy zmiennej nie jest znany a priori, wyraz ten musi zostać obliczony z zależności: $\Delta(B-V) = T_{bv} \times \Delta(b-v)$.

Innymi słowy, można wyliczyć wyraz $\Delta(B-V)$ mnożąc wyliczony wcześniej współczynnik T_{bv} przez różnicę kolorów instrumentalnych.

Tak możemy postąpić, jeżeli posiadamy obserwacje w dwóch filtrach. Jeżeli mamy obserwacje tylko w jednym filtrze, nie będziemy w stanie wyznaczyć koloru. Można wtedy współczynnik $\Delta(B-V)$ wyznaczyć na podstawie katalogu. Należy jednak pamiętać, że taka metoda jest narażona na błędy systematyczne, ponieważ wiele gwiazd zmienia swój kolor w cyklu zmienności.

Tak jak poprzednio, najłatwiej będzie zrozumieć ten przykład na rzeczywistych danych. Poniżej w tabeli kilka przykładowych danych:

Gw. zmienna: zmierzona		Gw. odn.:zmierzona		Gw. odn.: katalogowa	
b	v	b	v	B	V
-6.223	-7.855	-6.202	-7.109	11.779	11.166

Warto też zapisać w arkuszu kalkulacyjnym wyznaczone wcześniej współczynniki:

$$T_{bv} = 1,1974; T_{b,bv} = 0,1181; T_{v,bv} = -0,0467.$$

Najpierw obliczamy współczynnik $\Delta(b-v)$:

$$\Delta(\mathbf{b-v}) = (\mathbf{b-v})_{\text{var}} - (\mathbf{b-v})_{\text{comp}}$$

$$(\mathbf{b-v})_{\text{var}} = -6,223 - (-7,855) = 1,632$$

$$(\mathbf{b-v})_{\text{comp}} = -6,202 - (-7,109) = 0,907$$

$$\Delta(\mathbf{b-v}) = 1,632 - 0,907$$

$$\Delta(\mathbf{b-v}) = 0,725$$

Następnie, mnożymy go przez poprawkę koloru, by uzyskać $\Delta(B-V)$:

$$\Delta(\mathbf{B-V}) = T_{bv} \times \Delta(\mathbf{b-v})$$

$$\Delta(\mathbf{B-V}) = 1,1974 \times 0,725$$

$$\Delta(\mathbf{B-V}) = 0,868$$

Obliczamy Δv :

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_{\text{var}} - \mathbf{v}_{\text{comp}}$$

$$\Delta \mathbf{v} = -7,855 - (-7,109)$$

$$\Delta \mathbf{v} = -0,746$$

Ostatecznie:

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = \Delta \mathbf{v} + T_{v,bv} \times \Delta(\mathbf{B-V}) + \mathbf{V}_{\text{comp}}$$

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = -0,746 + (-0,0467 \times 0,868) + 11,166$$

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = 10,379$$

Dla porównania, gdybyśmy nie przetransformowali naszych obserwacji, otrzymalibyśmy błędny wynik:

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = \Delta \mathbf{v} + \mathbf{V}_{\text{comp}}$$

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = -0,746 + 11,166$$

$$\mathbf{V}_{\text{var}} = 10,420 \text{ (nie przetransformowane!)}$$

Transformacja obserwacji w filtrze B odbywa się w identyczny sposób:

$$\mathbf{B}_{\text{var}} = \Delta \mathbf{b} + T_{b,bv} \times \Delta(\mathbf{B-V}) + \mathbf{B}_{\text{comp}}$$

gdzie:

$$\Delta \mathbf{b} = \mathbf{b}_{\text{var}} - \mathbf{b}_{\text{comp}},$$

$T_{b,bv}$ = współczynnik transformacji dla pasma B,

$\Delta(\mathbf{B-V})$ – jak wyżej,

\mathbf{B}_{comp} to jasność katalogowa gwiazdy odniesienia w paśmie B.

Proponujemy dla ćwiczenia obliczyć na podstawie tych samych danych jasność gwiazdy w paśmie B w systemie standardowym. Po poprawnym wykonaniu obliczeń wynik powinien wynosić: $\mathbf{B}_{\text{var}} = 11,861$.