

Porównanie oraz wyznaczenie odległości do gromad otwartych

Marcin Gładkowski

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika Polskiej Akademii Nauk
Internetowy Portal Astronomiczny AstroVisioN.pl

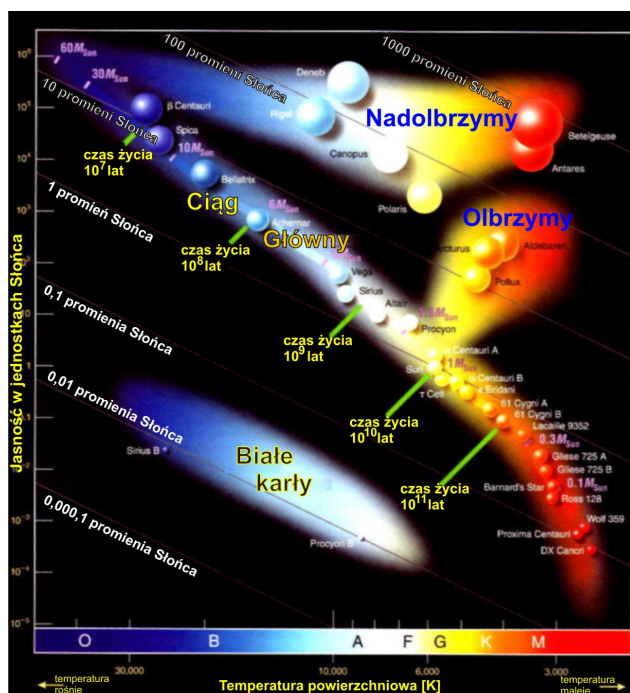
Wstęp teoretyczny

Na Rysunku 1 został przedstawiony wykres H-R (wykres Hertzsprunga-Russella) dla wybranych gwiazd. Odległości do bliskich gwiazd wyznacza się metodą paralaks trygonometrycznych. Diagram H-R dla pobliskich gwiazd (wykres poniżej przedstawia również odległe nadolbrzymy) można wykreślić znając moc promieniowania L (czasami nazywana dzielnością promieniowania) oraz temperaturę efektywną T_e dla każdej gwiazdy indywidualnie. Na osi pionowej najczęściej umieszcza się moc promieniowania wyrażoną w mocach promieniowaniach Słońca lub jasność absolutną. Na osi poziomej stosuje się temperaturę (rosnącą w lewo!), typ widmowy lub wskaźnik barwy B-V (różnice jasności gwiazdy w filtrze B i V).

Najbardziej charakterystycznym obszarem wykresu H-R jest pas ciągu głównego, na którym znajduje się większość gwiazd. Dzięki się tak dlatego, że gwiazdy spędzają większość swojego życia spokojnie spalając wodór w swoich jądrach. Rozmiary gwiazd na ciągu głównym są ponadto najmniejsze, ulegając zwiększeniu po odejściu od ciągu głównego.

Oprócz obszaru zwanego ciągiem głównym, można wyróżnić obszar gwiazd olbrzymów, nadolbrzymów oraz białych karłów. Łatwo zauważyć, że dla tego samego typu widmowego, np. typu F, można odnaleźć zarówno gwiazdę ciągu głównego (karła), jak i nadolbrzyma. Jak rozpoznać te dwie grupy obiektów o różnych klasach jasności? Gwieździe karły są stosunkowo małe i zbite. Ciśnienie w ich atmosferach jest na tyle duże, że atomy pierwiastków znajdują się bardzo blisko siebie. Wzajemna bliskość atomów powoduje, że ich pola elektryczne zaczynają ze sobą oddziaływać poszerzając linie widmowe. Gwiazdy olbrzymy/nadolbrzymy są rozedmione, zatem ciśnienie w ich atmosferach będzie dużo niższe i linie widmowe pozostaną wąskie. Dodatkowo, widma olbrzymów charakteryzują się występowaniem linii zjonizowanych metali, ponieważ jonizacja zachodzi chętniej przy mniejszym ciśnieniu.

Na diagramie H-R można odnaleźć gwiazdy, które mają te same moce promieniowania, ale różne temperatury (górny obszar w okolicy nadolbrzymów). Co różni niebieską, gorącą gwiazdę od czerwonej, chłodnej, jeśli posiadają tę samą moc promieniowania? Moc promieniowania zależy od temperatury i promienia gwiazdy. Jeśli temperatura gwiazdy jest niska wówczas musi ona „nadrobić brak” swoimi rozmiarami (zwiększyć powierzchnię z której emituje promieniowanie), aby wyrównać moc promieniowania z gorącą, niebieską gwiazdą.



Rys. 1: Wykres H-R.
Autor: L. Błaszkiwicz

Interpretacja powyższego rysunku jest dość skomplikowana, ponieważ gwiazdy znajdujące się na nim posiadają różne masy, inny skład chemiczny oraz są w różnym wieku. Co więcej, określenie odległości dla każdego obiektu z osobna to czasochłonne zajęcie.

Najbardziej komfortową sytuacją byłoby dysponowanie zbiorem gwiazd o takim samym początkowym składzie chemicznym, wieku i niemal tej samej odległości. Takie grupy gwiazd istnieją i nazywamy je gromadami.

Z obserwacji astronomów wynika, że istnieją dwa rodzaje gromad gwiazd (Rysunek 2). Gromady otwarte zawierają ok. 1000 gwiazd i znajdują się w dysku Galaktyki. Dodatkowo wykazują obfitość ciężkich pierwiastków dla gwiazd I populacji. Gromady kuliste zawierają ok. 1 mln gwiazd. Są rozlokowane w halo Galaktyki (poza jej dyskiem), a ich rozkład można uznać za sferyczny. Gromady kuliste gwiazd wykazują obfitość ciężkich pierwiastków typowe dla gwiazd II populacji. Rozmiary kątowe gromad są zawsze małe, co pozwala przyjąć założenie, że gwiazdy należące do gromady znajdują się w przybliżeniu w podobnej (nieznanej) odległości.



a) gromada otwarta Hiady



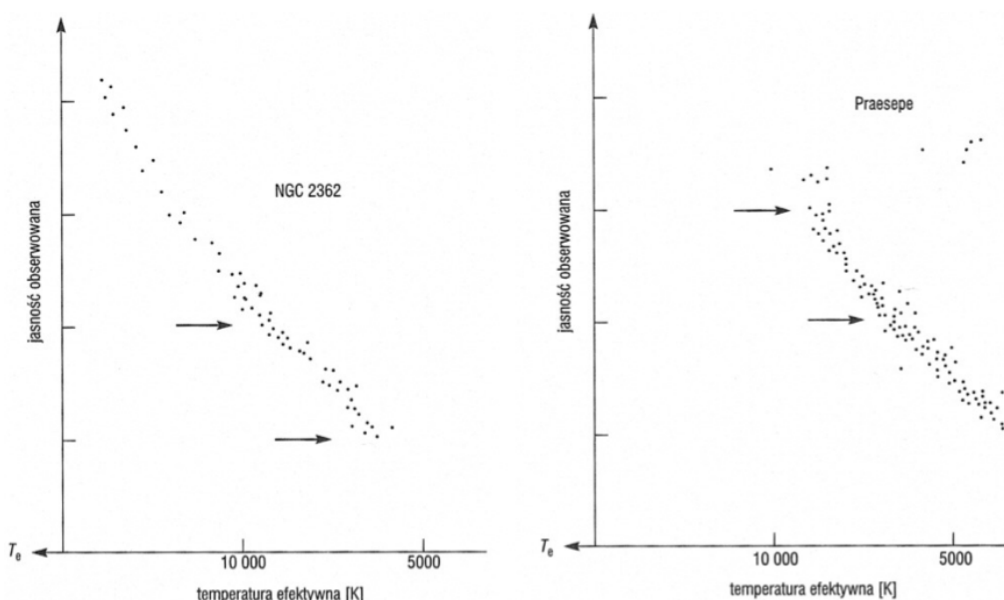
b) gromada kulista M13

Rys. 2: Dwa typy gromad gwiazdowych.
Autor: a) Jerry Lodriguss – astroPix.com | b) Zdzisław Koltek

Na Rysunku 3 zostały pokazane diagramy H-R dla dwóch gromad otwartych: NGC 2362 oraz Praesepe. Moc promieniowania L została zastąpiona jasnością obserwowaną, ponieważ jasność obserwowaną można zmierzyć bezpośrednio, a L nie. Kształt diagramu H-R nie ulegnie zmianie (z wyjątkiem skali), gdyż gwiazdy w danej gromadzie znajdują się w przybliżeniu w tej samej odległości.

Dla obu gromad można wyróżnić ciąg główny. Jednak dla obu brakuje ich najniższych części. Dzieje się tak dlatego, że obserwacje są ograniczone przez pewną minimalną jasność obserwowaną. Strzałki na Rysunku 3 wyznaczają odcinki ciągu głównego w obu gromadach odpowiadające temu samemu zakresowi temperatur efektywnych. Gwiazdy leżące w obu tych obszarach mają przypuszczalnie ten sam zakres mas.

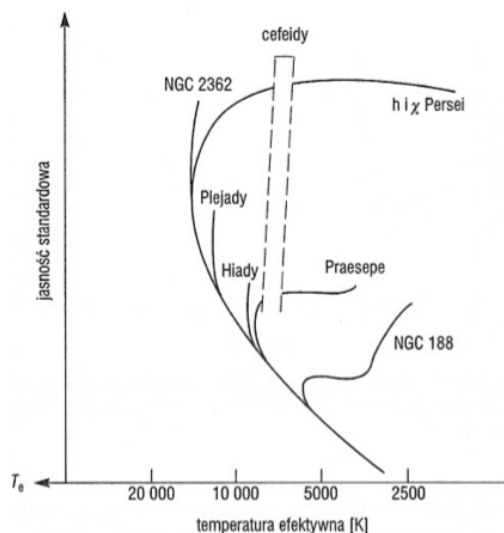
Fakt, że strzałki dla gromady Praesepe są położone wyżej niż dla gromady NGC 2362, musi oznaczać, iż gromada ta znajduje się bliżej nas, wskutek czego takie same gwiazdy wydają się jaśniejsze. Z tego powodu w przypadku gromady Praesepe jesteśmy w stanie obserwować gwiazdy położone niżej na ciągu głównym, ponieważ ta sama graniczna jasność obserwowana umożliwia dostrzeżenie słabszych gwiazd w gromadzie położonej bliżej nas.



Rys. 3: Diagramy H-R dla gromad otwartych NGC2362 oraz Praesepe.

Źródło: H. L. Johnson i W. W. Morgan, „Ap. J.”, 117, 1953, 313 oraz H. L. Johnson, „Ap. J.”, 116, 1952, 640

W celu przeprowadzenia rzetelnego porównania różnych gromad otwartych, musimy dokonać korekty uwzględniającej różnice w odległości. Pierwszym któremu się to udało był szwajcarsko-amerykański astronom Robert Trumpler. Przesuwał on obserwacyjny diagram H-R (z jasnością obserwowaną na osi Y) w górę lub w dół tak długo, aż odcinki ciągu głównego się pokryły. Odcinek, o który trzeba przesunąć diagram w górę lub w dół, zależy od tego, o ile dalej lub bliżej znajduje się gromada w stosunku do określonego standardu. Rysunek 4 przedstawia rezultat dla kilku gromad otwartych.

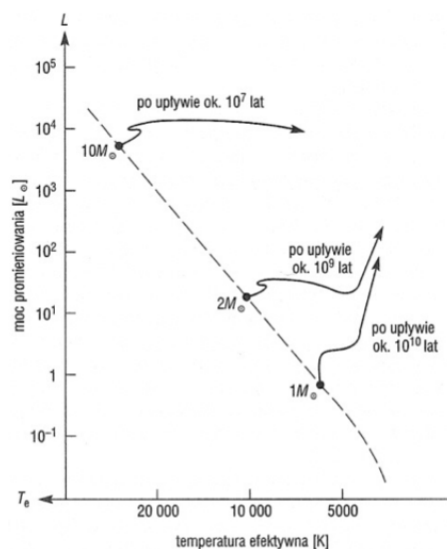


Rys. 4: Złożony diagram H-R dla gromad otwartych, których ciągi główne zostały dopasowane do ciągu głównego H-R.

Źródło: A. Sangade, „Ap. J.”, 125, 1957, 435

Wykres H-R dopasowany do H-R daje wiele informacji jeśli zostanie zinterpretowany na podstawie teorii ewolucji gwiazd. Załóżmy, że konstruujemy hipotetyczną gromadę gwiazd, zawierającą obiekty o różnych masach, ale o takim samym początkowym składzie chemicznym. W chwili początkowej wszystkie gwiazdy leżą na ciągu głównym wieku zerowego. Po ok. 10^7 latach wszystkie gwiazdy o masach większych niż $10 M_{\odot}$ wyewoluują do swoich końcowych stadiów (znajdą się poza ciągiem głównym). Gwiazdy o masach dokładnie równych $10 M_{\odot}$ właśnie będą opuszczać ciąg główny. Gwiazdy o masach mniejszych niż $10 M_{\odot}$ praktycznie wcale nie zmieniły jeszcze swoje położenia na wykresie. Po 10^9 latach wszystkie gwiazdy o masach powyżej $2 M_{\odot}$ znajdują się w swoich końcowych stadiach ewolucyjnych. Gwiazdy o masie $2 M_{\odot}$ będą właśnie po raz pierwszy rozpoczynały wstępowanie na gałąź czerwonych olbrzymów. Po upływie 10^{10} lat nawet gwiazdy o masie $1 M_{\odot}$ znajdują się na gałęzi czerwonych olbrzymów. Zatem zmiany w czasie położenia wszystkich gwiazd gromady na diagramie H-R będą przypominały zdejmowanie skórki z banana. Ten efekt jest widoczny na Rysunku 4. Kiedy przenosimy się od NGC 2362 aż do NGC 188, sekwencja gromad musi odpowiadać ich rosnącemu wiekowi. Astronomowie sądzą, że wiek NGC 2362 wynosi 10^7 lat, a wiek NGC 188 zawiera się w przedziale 6-10 miliardów lat.

Na Rysunku 5 została przedstawiona ewolucja gwiazd o różnych masach odchodzących od ciągu głównego.



Rys. 5: Ewolucja gwiazd o różnych masach.

Źródło: Icko Iben, „Ann. Rev. Astr. Ap.”, 5, 1967, 571

Oprogramowanie (Aladin oraz TOPCAT):

<http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl?frame=downloading>

<http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/#webstart>

Poza tym warto znać:

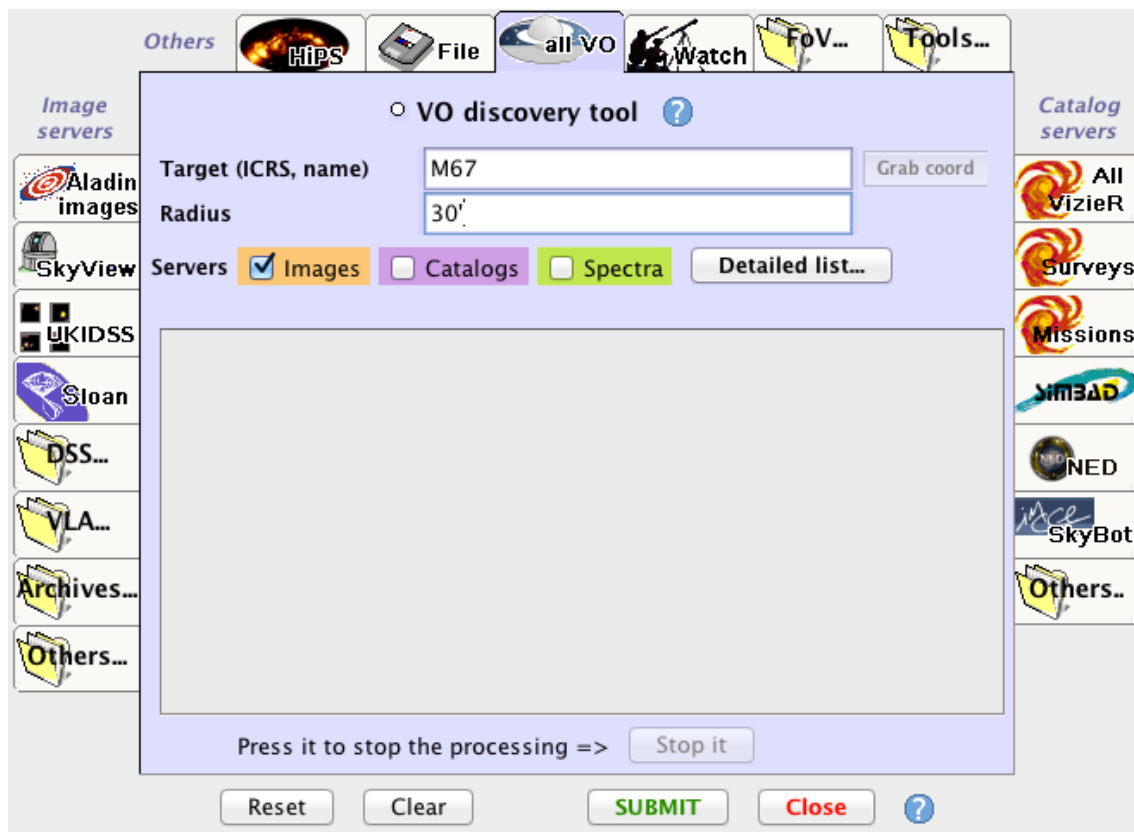
- **SIMBAD** (podstawowe informacje o obiektach): <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- **VIZIER** (baza katalogów): <http://vizier.u-strasbg.fr>
- **ADS** (publikacje): http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html
- **EURO-VO** (informacje o szkołach VO, baza tutoriali – po ang.): <http://www.euro-vo.org>

Uzyskanie diagramów H-R

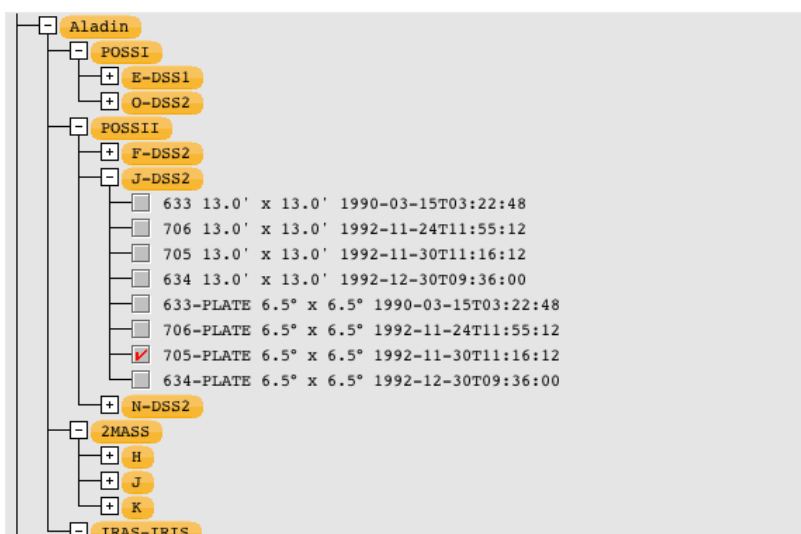
1) Na początku ćwiczenia uruchom Aladina i TOPCATA. Po otwarciu Aladina, wybierz z menu głównego **File** → **Load from the Virtual Observatory**.

Otworzy się nowe okno będące „wybozem serwera” (ang. server selector). Wybierz zakładkę „all VO”. W polu „**Target**” (ang. cel, obiekt nad którym chcemy pracować) wpisz nazwę gromady otwartej z katalogu Messiera „**M67**”. W polu „**Radius**” (ang. promień) wpisz **30'**. Odznacz pola „**Catalogs**” (ang. katalogi) oraz „**Spectra**” (ang. widma).

Kliknij przycisk „**SUBMIT**”.



2) W szarym polu wewnątrz omawianego wcześniej okna, pojawi się lista dostępnych zasobów. Zjedź myszką i z tej listy wybierz **Aladin** → **POSSII** → **J-DSS2**. Kliknij przycisk „+” aby rozszerzyć listę i wybierz obraz (kliknij kwadrat, aby się zaznaczył na czerwono) o numerze **705** (rozmiar 13' x 13').



Kliknij dwukrotnie myszą nazwę obrazu a pojawi się dodatkowe okienko z opisem obrazu (współrzędne, filtr, data obserwacji itp.) - „**Data Info Frame**”. Okienko można zamknąć za pomocą przycisku „**CLOSE**”.

Kliknij przycisk „**SUBMIT**” – po przejściu do głównego okna programu Aladin powinien pojawić się obraz gromady M67.

3) Wróć do wyboru okna wyboru serwera i wybierz zakładkę „All Vizier” i w polu listy „Astronomy” znajdź i wybierz „Photometry:wide-band” (ang. fotometria:szerokopasmowa), a następnie kliknij „SUBMIT”.

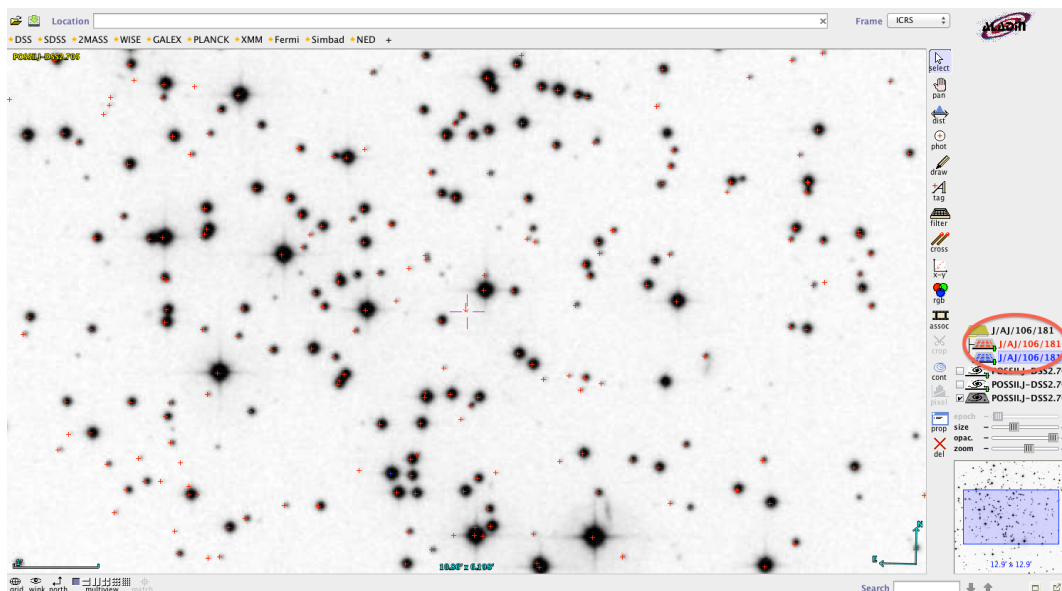
Pojawi się nowe okno z wyborem dostępnych katalogów. Wybierz katalog „J/AJ/106/181 CCD Photometry of open cluster M67” (ang. fotometria CCD gromady otwartej M67) i kliknij „SUBMIT”.

59 catalog(s) found around M67

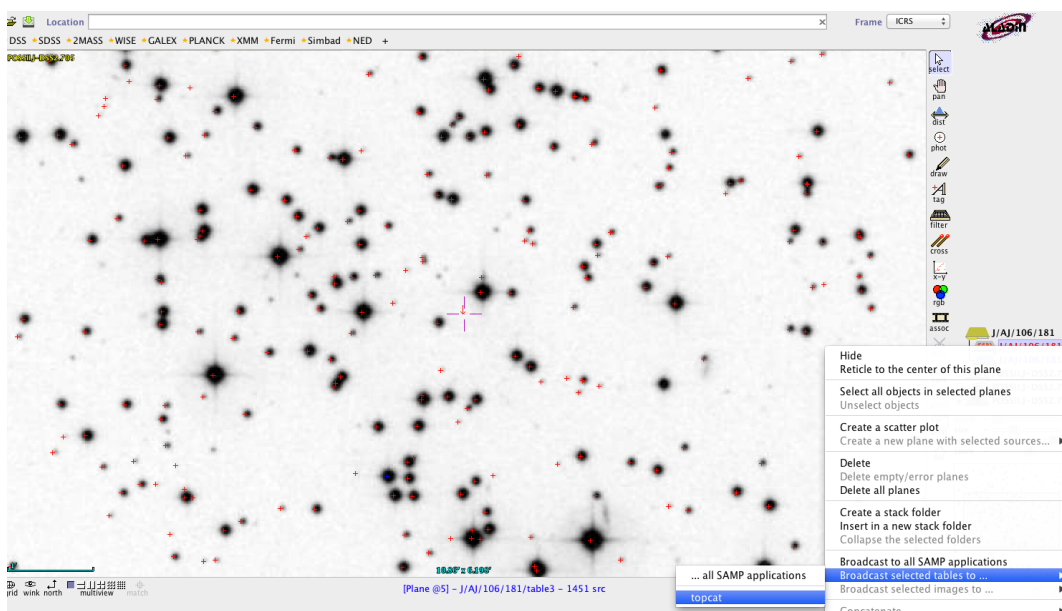
Name	Category	Density	Description
☐ V/139	optical	75	The SDSS Photometric Catalog, Release 9...
☐ II/294	optical	53	The SDSS Photometric Catalog, Release 7...
☐ J/ApJS/176/262	optical	32	VRI photometry and theta values in open...
☐ J/AJ/134/1890	optical	23	Secondary standard stars in u'g'r'i'z' (...)
☐ J/BaltA/13/1	optical	22	M67 CCD Vilnius photometry (Laugalys+, 2...
☐ II/272	optical	21	Guide Star Photometric Catalog V2.4 (Buc...
☐ J/BaltA/7/369	optical	19	M67 CCD photometry (Boyle+, 1998)
☐ J/A+A/484/609	IR	16	BVI photometry and proper motions in M67...
☒ J/AJ/106/181	IR	10	CCD photometry of open cluster M67 (Mont...
☐ II/7A	IR	9	UBVRIJKLMNH Photoelectric Catalogue (Mor...
☐ I/300	optical	8	PM2000 Bordeaux Proper Motion catalogue...
☐ VI/135	IR	8	All-sky spectrally matched Tycho2 stars...
☐ J/MNRAS/419/80	optical	7	Photometric Classification Catalogue of...
☐ V/24	optical	6	Catalogue of Geneva Photometric Boxes (N...
☐ J/A+A/527/A126	optical	6	2XMMi/SDSS DR7 cross-correlation (Pineau...
☐ J/AJ/136/2050	optical	6	SEGUE stellar parameter pipeline. II. (L...
☐ J/AJ/141/89	optical	6	SEGUE stellar parameter pipeline. IV. (S...
☐ V/52	optical	5	Photometry and Proper Motions in M67 (Fr...
☐ J/A+A/525/A90	IR	5	Thick disc vertical properties (Katz+, 2...
☐ II/143A	optical	4	Guide Star Photometric Catalog, Updated...

SUBMIT Reset Close

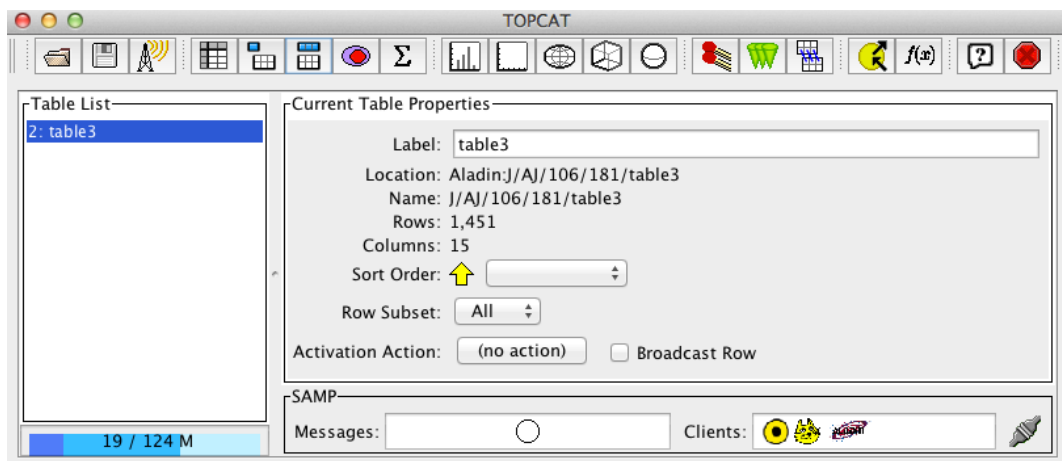
W oknie głównym programu Aladin powinny pojawić się dodatkowe warstwy odpowiadające katalogowi (zwróć uwagę na czerwone zaznaczenie po prawej stronie na poniższym rysunku). Innymi słowy, na obraz gromady zostały nałożone dane katalogowe (czerwone lub niebieskie krzyżyki).



4) Kliknij prawym przyciskiem myszy na podstawowej warstwie (czerwona czcionka) i wybierz „**Broadcast selected tables to...**” (ang. transmituj wybrane tabele do...), a następnie wybierz opcję „**topcat**”.

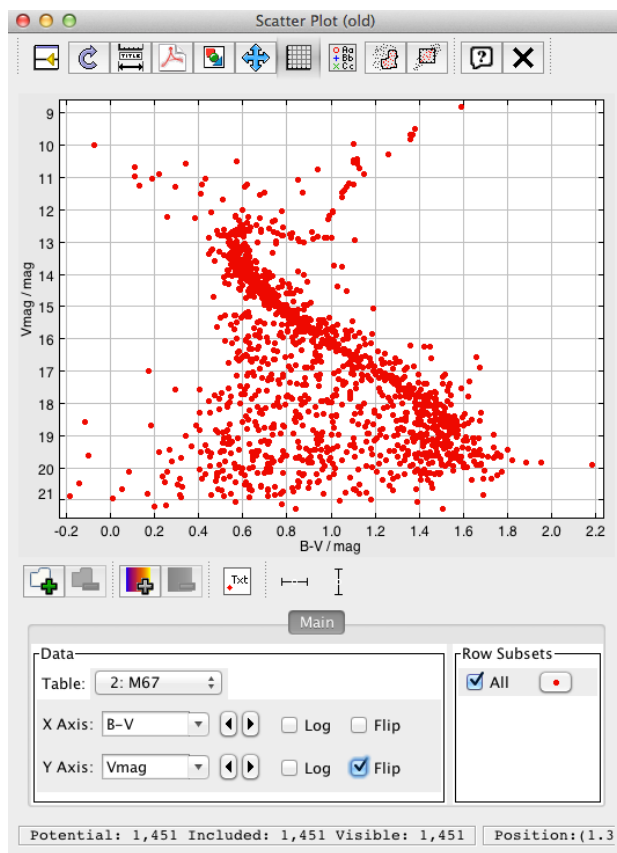


Przeniesiona tabela ukaże się w oknie programu TOPCAT. W polu „**Label**” zmień jej nazwę z „**table3**” na „**M67**” i kliknij „**Enter**”.



5) Wykreśl diagram kolor-jasność. Z menu głównego programu TOPCAT wybierz opcję **Graphics → 2D Plot (old)**. Pojawi się nowe okno z możliwością wykonywania wykresów.

Na dole okna znajduje się kilka rozwijanych list umożliwiających m.in. wybór odpowiednich kolumn dla osi X oraz Y. Dla osi **X** (X axis) wybierz wskaźnik barwy „**B-V**”, a dla osi **Y** jasność obserwowaną w filtrze V: „**Vmag**”. Ze względu na skalę jasności wyrażoną w magnitudo odwróć oś **Y** odznaczając pole „**Flip**” (ang. przerzuć). **Mamy już wykres H-R dla M67!**



6) Wróć do Aladina. Wyczyść istniejące warstwy przez wybranie jednej z nich, kliknięcie prawym przyciskiem myszy i wybranie opcji „**delete all planes**”.

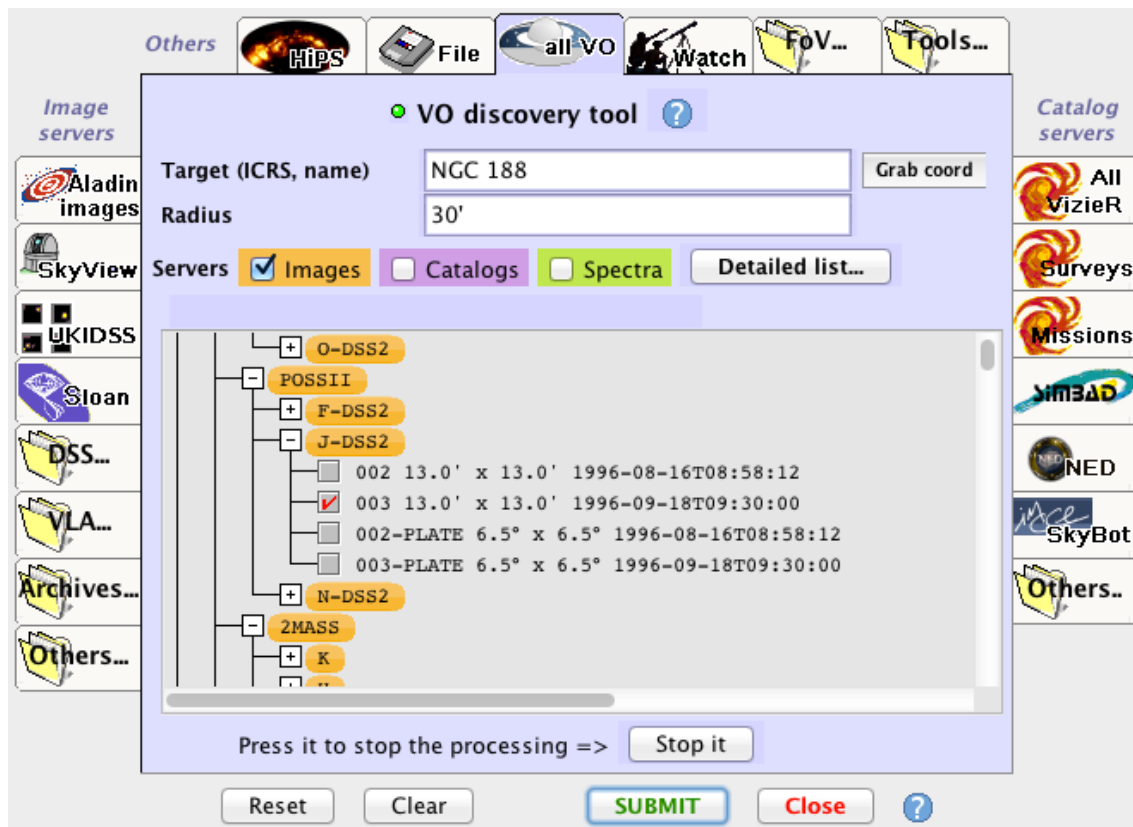
Postępuj dokładnie tak samo jak poprzednio i załaduj zdjęcie dla kolejnej gromady otwartej o nazwie **NGC 188**.

7) Wróć do okna z wyborem serwera w programie Aladin. Wybierz zakładkę „**all VO**”. W polu „**Target**” wpisz nazwę gromady otwartej, czyli „**NGC 188**”. W polu „**Radius**” (ang. promień) wpisz **30'**. Upewnij się, że pola „**Catalogs**” oraz „**Spectra**” nie są zaznaczone

Kliknij przycisk „**SUBMIT**”.

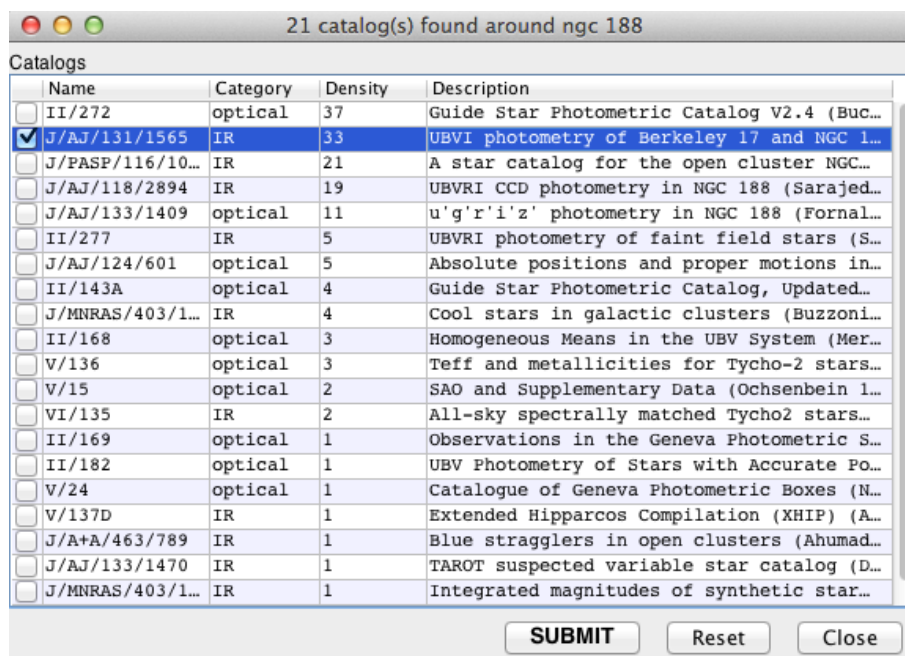
8) W szarym polu wewnątrz omawianego wcześniej okna, pojawi się lista dostępnych zasobów. Zjedź myszką i z tej listy wybierz **Aladin → POSSII → J-DSS2**. Kliknij przycisk „**+**” aby rozszerzyć listę i wybierz obraz (kliknij kwadrat, aby się zaznaczył na czerwono) o numerze **003 13.0' x 13.0'**.

Kliknij przycisk „**SUBMIT**” – po przejściu do głównego okna programu Aladin powinien pojawić się obraz gromady NGC 188.



9) Wróć do wyboru okna wyboru serwera i wybierz zakładkę „All Vizier” i w polu listy „Astronomy” znajdź i wybierz „Photometry:wide-band”, a następnie kliknij „SUBMIT”. Upewnij się, że w polu promienia znajduje się wartość 30’.

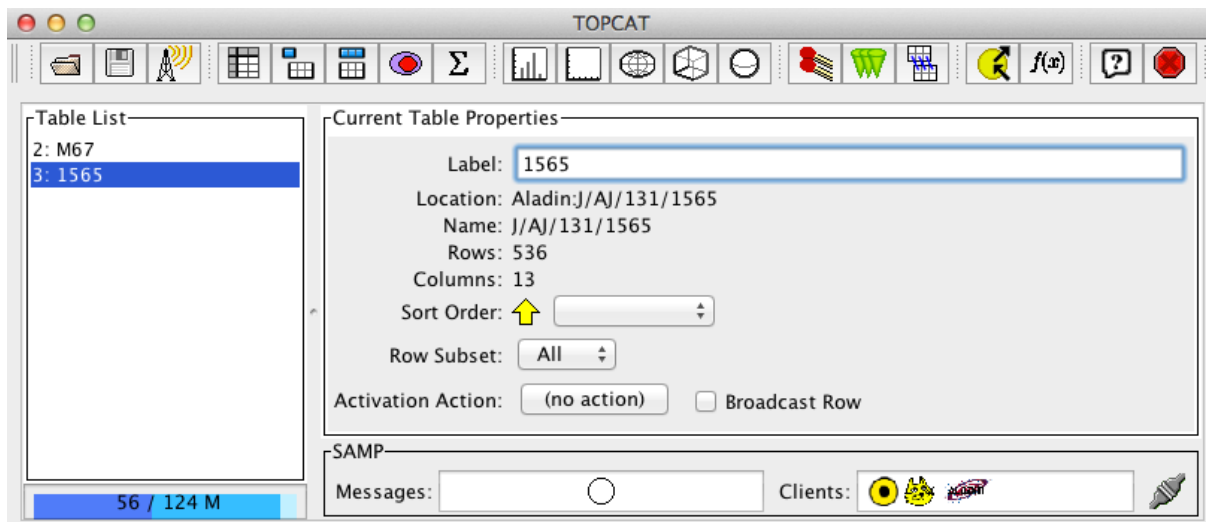
Pojawi się nowe okno z wyborem dostępnych katalogów. Wybierz katalog „J/AJ/131/1565 ... UBVI photometry of Berkeley 17 and NGC 188” i kliknij „SUBMIT”.



W oknie głównym programu Aladin powinny pojawić się dodatkowe warstwy odpowiadające katalogowi.

10) Kliknij prawym przyciskiem myszy na podstawowej warstwie (czerwona czcionka) i wybierz „Broadcast selected tables to...”, a następnie wybierz opcję „topcat”.

W oknie programu TOPCAT pojawi się druga tabela. W polu „Label” zmień jej nazwę z „1565” na „NGC188” i kliknij „Enter”.

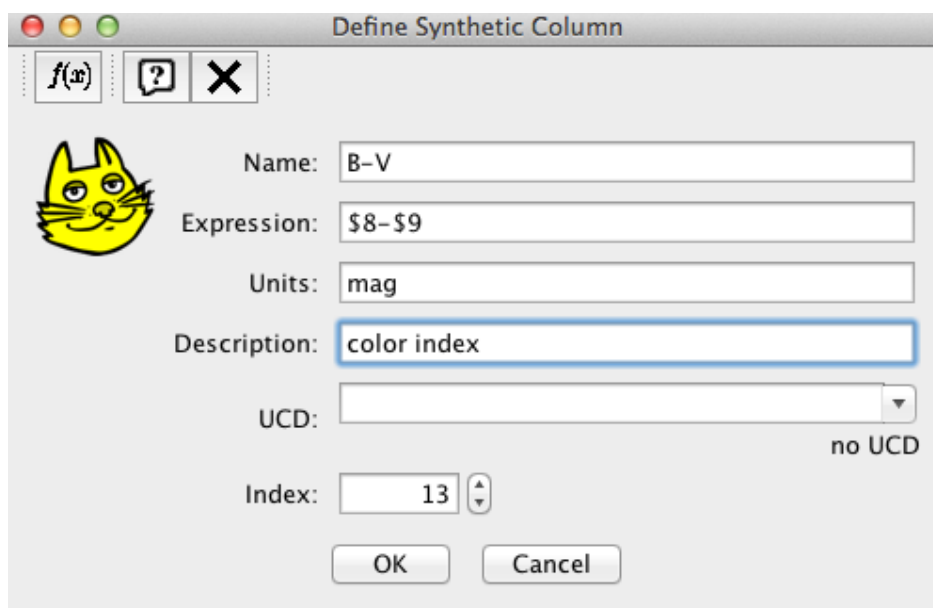


11) W oknie głównym programu TOPCAT kliknij . Pojawi się nowe okienko z informacjami o kolumnach (ang. Column Info). Ten sam efekt uzyskamy wybierając z menu głównego opcję **Views → Column Info**.

Zauważ, że żadna z kolumn tej tabeli nie zawiera wskaźnika barwy B-V!

12) Wskaźnik barwy B-V można uzyskać poprzez stworzenie dodatkowej kolumny. W tym celu w otwartym oknie „Column Info”, kliknij .

Pojawi się kolejne okienko umożliwiające zdefiniowanie nowej kolumny. W polu „Name” (ang. nazwa) wpisz „B-V”, w polu „Expression” (ang. wyrażenie/formuła) wpisz „\$8-\$9”, w polu „Units” (ang. jednostki) wpisz „mag”, a w polu „Description” (ang. opis) wpisz „color index” (ang. wskaźnik barwy). Na koniec kliknij przycisk „OK”.

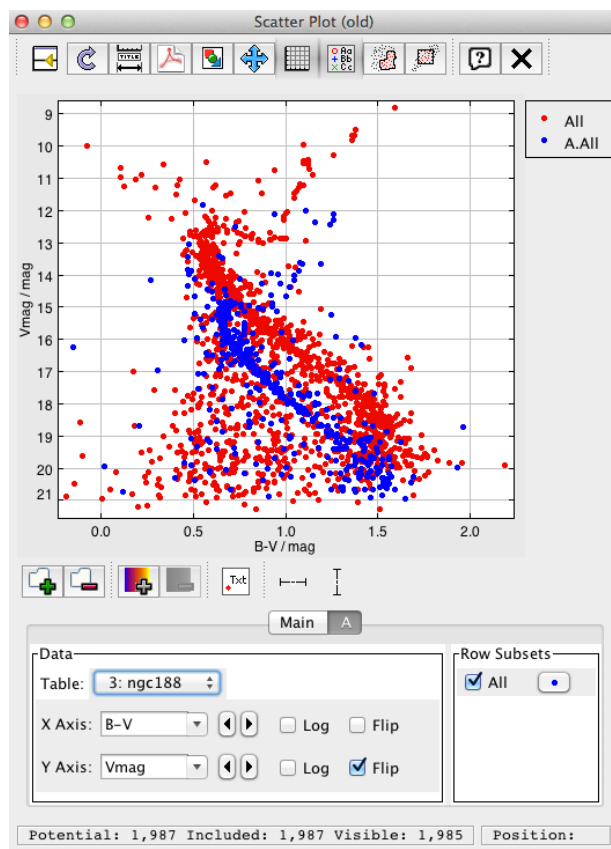


13) Mając dodatkową kolumnę ze wskaźnikiem barwy, można już wykreślić wykres H-R dla drugiej gromady.

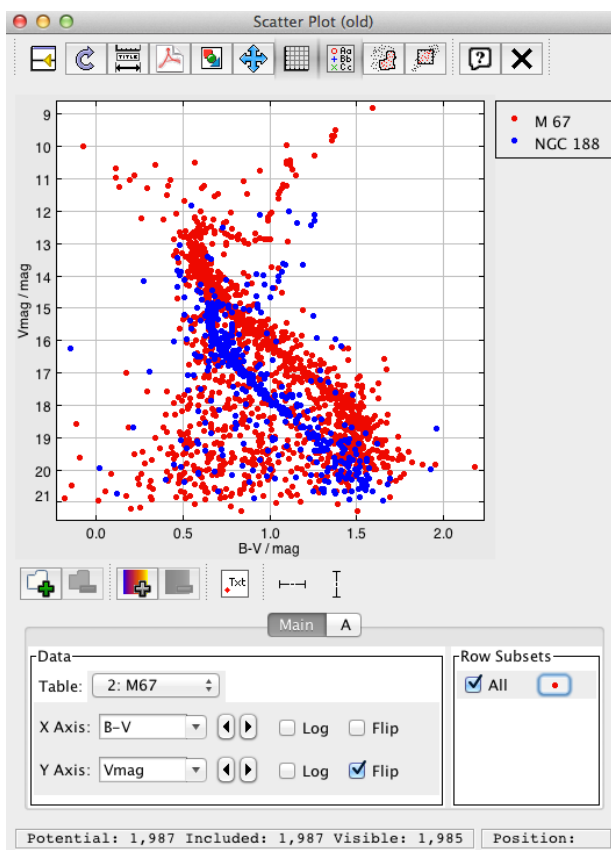
W oknie z poprzednim wykresem H-R kliknij , co spowoduje stworzenie dodatkowej zakładki o nazwie „A” , poza już istniejącą zakładką o nazwie „Main” (ang. główny).

W polu „Data” wybierz odpowiednią tabelę – w tym przypadku „NGC 188”. Jako oś X wybierz kolumnę zawierającą wskaźnik barwy „B-V”, zaś jako oś Y jasność obserwowaną w filtrze V: „Vmag”.

Teraz masz już wykresy H-R dla obu gromad otwartych!



Na tym etapie warto zmienić wygląd legendy  na bardziej czytelny. Wybierając ikonę punktu (np. ) w zakładce „Main” lub „A”, zmień nazwy w legendzie na „M67” dla punktów czerwonych i na „NGC 188” dla punktów niebieskich. Po pojawieniu się nowego okna, nazwę można zmienić w polu „Label” (ang. etykieta). Oprócz tego można zmienić kształt punktów – opcja „Shape”, rozmiar – opcja „Size”, kolor – opcja „Colour”, a także przezroczystość punktów – opcja „Transparency”, dzięki czemu punkty nie będą się wzajemnie zasłaniały. Aby zatwierdzić zmiany kliknij „OK”.

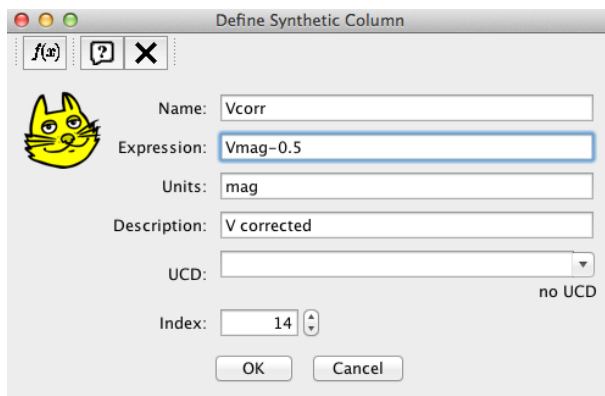


Wyznaczenie stosunku odległości

1) Najprostszą drogą do określenia stosunku odległości jest wzajemne pokrycie ciągów głównych gromad przez dopasowanie (zmianę) jasności obserwowanych.

Można to zrobić przez stworzenie nowej kolumny, tak jak to zostało zrobione dla wskaźnika barwy.

Z listy tabel w oknie głównym wybierz „NGC188” i kliknij ikonę , a następnie ikonę . Pojawi się kolejne okienko umożliwiające zdefiniowanie nowej kolumny. W polu „Name” (ang. nazwa) wpisz „Vcorr”, w polu „Expression” (ang. wyrażenie/formuła) wpisz „Vmag-0.5”, w polu „Units” (ang. jednostki) wpisz „mag”, a w polu „Description” (ang. opis) wpisz „V corrected” (ang. V poprawione). Na koniec kliknij przycisk „OK”.



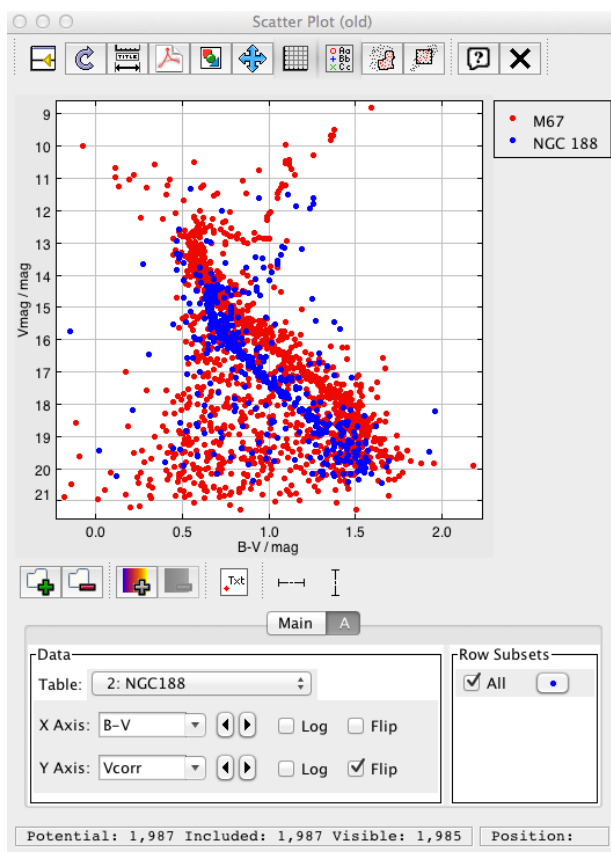
The image shows a dialog box titled "Define Synthetic Column". It contains the following fields and controls:

- Name:** Vcorr
- Expression:** Vmag-0.5
- Units:** mag
- Description:** V corrected
- UCD:** no UCD
- Index:** 14
- Buttons: OK, Cancel

2) W oknie z wykresami H-R zmień oś Y dla **NGC 188** na nową kolumnę „Vcorr”. Zauważ, że wykres podniósł się nieco do góry. Przesunięcie może być użyte do oszacowania stosunku odległości.

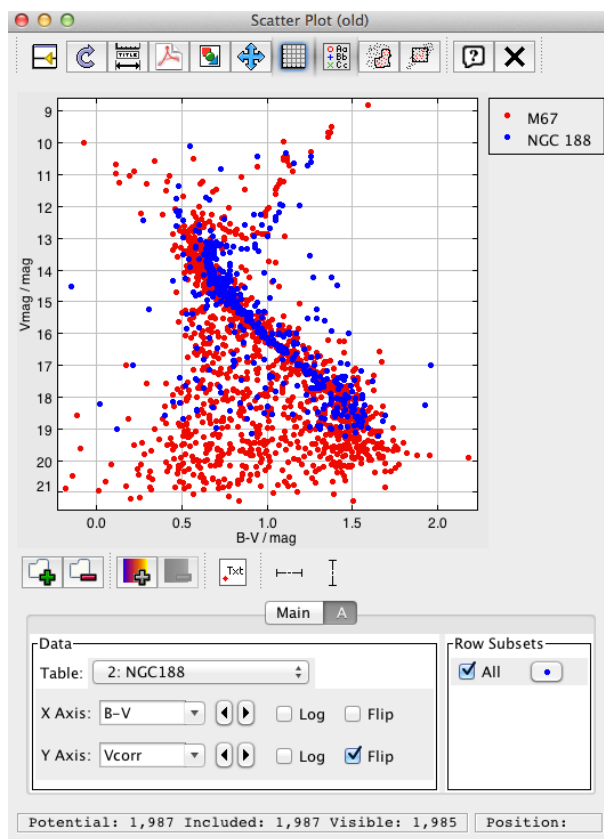
W razie gdyby wykres się nie odświeżył użyj opcji „Replot” (ang. narysuj ponownie) oznaczonej ikoną .

Zwróć uwagę na to, że przesunięcie jest za małe, ponieważ ciągi główne nie pokryły się.



3) Aby przesunąć wykres H-R do góry o większą wartość, kliknij ikonę , a następnie kliknij dwa razy myszką w kolumnie nr 14 pole „Expression”, co spowoduje edycję zawartej tam formuły.

Zmień wartość 0.5 np. na 1.7! W oknie z wykresami użyj znowu opcji .



Teraz, ciągi główne obu gromad są dopasowane! Różnica w jasności obserwowanej wynosi 1,7 mag.

Trochę matematyki

Różnica w jasności obserwowanej $dm = m_1 - m_2 = 1.7$.

Oszacowanie stosunku odległości gromad opiera się na założeniu, że różnica w jasności gwiazd na ciągu głównym (np. o podobnych typach widmowych), jest wynikiem jedynie różnicy w odległościach (ignorując ekstynkcję międzygwiezdową w tym przypadku) i ich absolutna jasność jest taka sama.

Dlatego:

Korzystając z formuły modułu odległości: $m - M = 5 \log(d) - 5 + A$,

gdzie:

m – jasność obserwowana,

M – jasność absolutna,

d – odległość,

A – ekstynkcja,

otrzymujemy:

$M = m_1 - 5 \log_{10}(r_1) + 5$ dla **NGC 188**,

$M = m_2 - 5 \log_{10}(r_2) + 5$ dla **M 67**.

Po odjęciu drugiego równania od pierwszego otrzymujemy:

$$r_1/r_2 = 10^{(1.7/5)} = 10^{0.34} = 2.188$$

Innymi słowy, NGC 188 znajduje się dwa razy dalej niż M 67. Faktyczne odległości do tych gromad wynoszą 2 608 lat świetlnych (0,8 kpc) w przypadku M67 i 5 216 lat świetlnych (1.6 kpc) dla NGC 188.

Wyznaczenie odległości do NGC 188

Odległości do gromad otwartych są mierzone w oparciu o znany standard odległości, jakim jest gromada otwarta Hiad. Odległość do tej gromady została wyznaczona metodą tzw. „gromady ruchomej” i wynosi ok. 151 lat świetlnych (0,046 kpc).

Spróbuj samemu wyznaczyć odległość np. do NGC 188 dopasowując ciąg główny NGC 188 do ciągu głównego Hiad. Tym razem zostanie użyta bezpośrednio baza Vizier.

1) Wejdź na stronę Viziera: <http://vizier.u-strasbg.fr>

Na stronie głównej kliknij „**Advanced search**” (ang. wyszukiwanie zaawansowane).

W polu „**Find catalogs ...**” (ang. szukaj katalogów) wpisz angielską nazwę Hiad – „**Hyades**” i kliknij „**Find...**” (ang. znajdź).

2) Pojawi się strona z różnymi katalogami zawierającymi dane dla Hiad. Zjedź w dół myszką i wybierz katalog „**J/AJ/132/111 - BV(RI) photometry of 77 Hyades stars (Joner+, 2006)**” (ang. fotometria BV(RI) 77 gwiazd Hiad), a następnie kliknij przycisk „**Query selected Catalogs**”.

3) Na nowej stronie wybierz opcję „**List of Targets**” (ang. lista obiektów). W lewym panelu o nazwie „**Preferences**”, wybierz **max** → „**unlimited**” (ang. nieograniczony), a zamiast „**HTML Table**” wybierz „**VoTable**”, a potem wybierz „**single table**” (ang. pojedyncza tabela). Na koniec kliknij „**Submit**”.

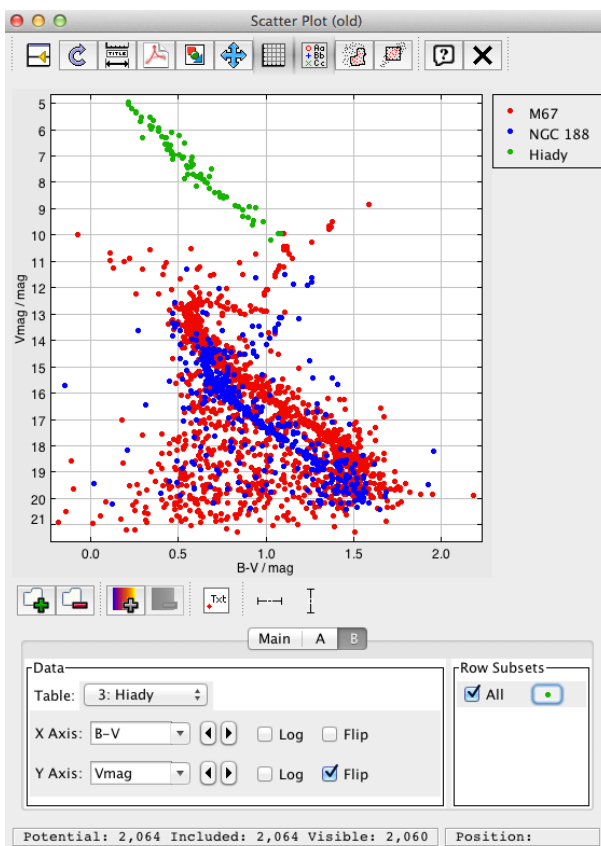
To spowoduje pobranie pliku o nazwie „**vizier_votable.vot**”.

4) Wczytaj pobrany plik do TOPCATA: **File** → **Load Table** → **FileStore Browser**. Znajdź ten plik, a w polu „**Table Format**” wybierz „**VoTable**” i kliknij „**OK**”.

W polu „**Label**” zmień nazwę tabeli z „**vizier_votable.vot**” na „**Hiady**”.

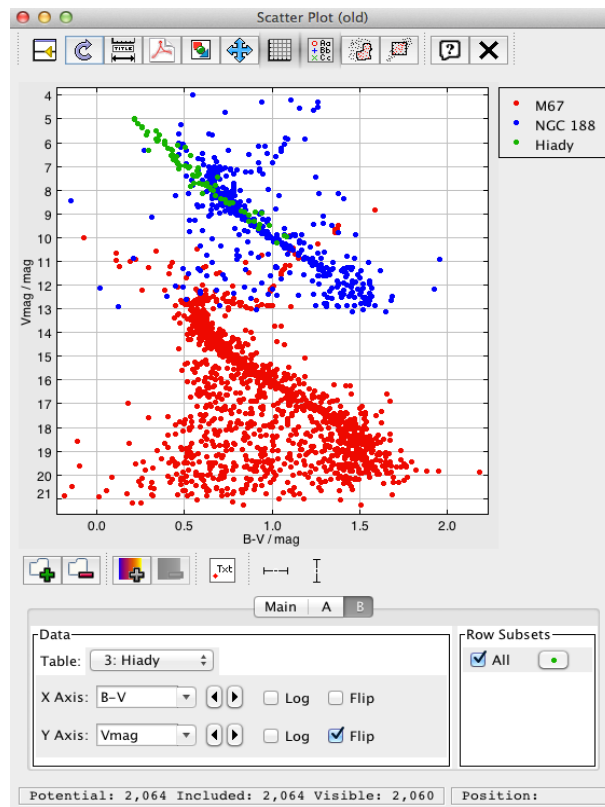
5) W oknie z wykresami kliknij  i w polu „**Table**” wybierz „**Hiady**”, za oś **X** wybierz wskaźnik barwy „**B-V**”, a za oś **Y** wybierz „**Vmag**”.

Pojawi się kolejny wykres H-R (zielony) na tle M67 i NGC 188 – tym razem dla Hiad.



6) Dopasuj ciąg główny NGC 188 do Hiad, edytując wcześniej stworzoną kolumnę „**Vcorr**” dla NGC 188. W polu formuły zmień wartość z wcześniejszego „**1.7**” na „**7.8**”, dwukrotnie klikając myszką.

W oknie wykresów kliknij ikonę . Zauważ, że teraz ciągi główne Hiad i NGC 188 nakładają się.



Korzystając ponownie z modułu odległości:

$$M = m_3 - 5 \log_{10}(r_3) + 5 \quad \text{dla NGC 188,}$$

$$M = m_4 - 5 \log_{10}(r_4) + 5 \quad \text{dla Hiady.}$$

Po odjęciu drugiego równania od pierwszego otrzymujemy:

$$r_3/r_4 = 10^{(7,8/5)} = 10^{1,56} = 36.307$$

Odległość podawana w literaturze dla NGC 188 wynosi 1,6 kpc, a dla Hiady 0,046 kpc. Gromada otwarta NGC 188 znajduje się ok. 36,307 razy dalej niż Hiady.

Pomnóż 0,046 kpc x 36,307 co daje wynik **D = 1,67 kpc** (5 444 lat świetlnych)!

Właśnie policzyłeś odległość do NGC 188!!

7) Końcowy obraz zapisz w formacie PDF lub GIF klikając odpowiednio ikonkę  lub  w oknie z wykresami.

8) Zapisz swoją pracę klikając **File → Save Table(s)/Session**. Pojawi się nowe okno z opcjami zapisu. Możesz zapisać tylko tabelę, na której obecnie pracujesz – opcja „**Current Table**”, zapisać kilka tabel – opcja „**Multiple Tables**” lub zapisać całą sesję – opcja „**Session**”. W „**Output Format**” wybierz format, w którym chcesz zapisać swoją pracę, np. „**votable-tabledata**”, albo „**fits**”. Wybór należy do Ciebie!

Po ponownym uruchomieniu programu TOPCAT wystarczy wczytać odpowiednią tabelę/sesję. Może pojawić się potrzeba podania jej formatu.

Uwaga Końcowa!

Jeśli wchodząc na stronę główną bazy Vizier nie wiesz, którego katalogu użyć, ponieważ nie znasz żadnych nazw przeglądów, możesz użyć oprócz okna „**Astronomy**” również „**Wavelength**” oraz „**Mission**”. Wybierz w oknie „**Wavelength**” np. opcję „**optical**” (ang. optyczne). W panelu po lewej stronie w polu „**max**” wybierz „**unlimited**” zamiast „**50**” i kliknij „**Find...**”. Dzięki temu wygenerujesz listę katalogów, które zawierają dane w zakresie optycznym. Jeśli po kliknięciu opcji „**Find...**” lista katalogów będzie wciąż ograniczona do 100 pozycji z widocznym, czerwonym napisem „**List of catalogs truncated to 100**” (ang. lista katalogów skrócona do 100), kliknij przycisk z napisem „**Get the Full List of 8615 matching catalogs**” (ang. pobierz pełną listę 8615 pasujących katalogów). To spowoduje, że będzie widoczna lista wszystkich katalogów. Przy każdym katalogu znajduje się pomarańczowy pasek , oznaczający popularność danej pozycji (popularity) oraz obraz w kształcie elipsy , przedstawiający pokrycie na niebie danego katalogu.