

Porównanie odległości gromad za pomocą VO



Szkoła średnia

Klasy I – IV

Doświadczenie konkursowe nr 3

Rok 2023

1. Wstęp teoretyczny

Gromada gwiazd: zgrupowanie gwiazd powstałych z grubsza w tym samym miejscu i czasie z tej samej materii międzygwiazdowej. Są związane grawitacyjnie. Ze względu na zwykle mały rozmiar gromady w stosunku do odległości gromady od Ziemi, można przyjąć, że wszystkie gwiazdy w gromadzie są od nas tak samo odległe oraz że są w tym samym wieku.

Gromada kulista: gromada gwiazd o sferycznej symetrii silnie związana grawitacyjnie. Może zawierać nawet milion gwiazd. Gromady kuliste występują poza dyskiem Galaktyki, w tzw. halo i składają się z gwiazd starszej populacji.



M80 (źródło: Wikipedia)

Gromada otwarta: gromada gwiazd słabiej związana grawitacyjnie niż gromady kuliste. Zwykle zawierają mniej gwiazd, do kilku tysięcy. Są stosunkowo młode i często występują wewnątrz obłoku, z którego powstały.



M67 (źródło: Wikipedia)

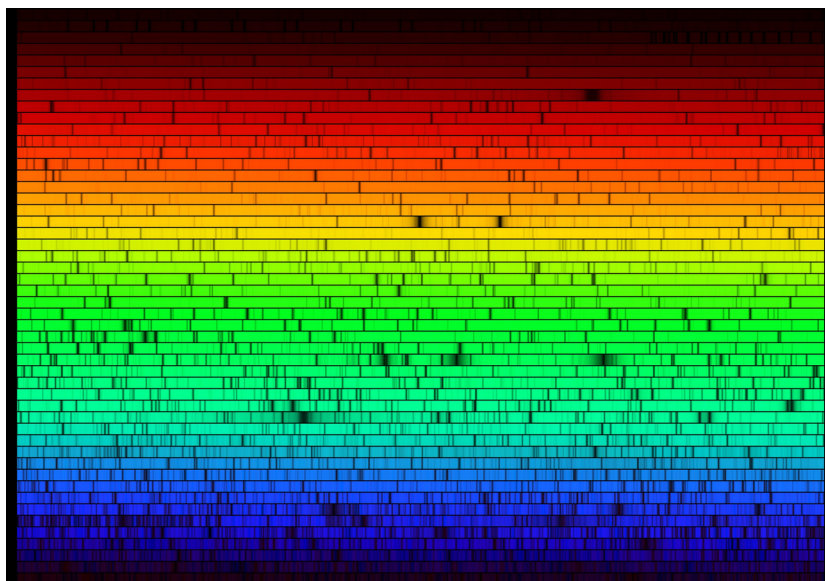
Wielkość gwiazdowa: skala astronomiczna określająca blask gwiazdy. Opiera się na podziale wprowadzonym w starożytności przez Ptolemeusza stanowiącym, że im jaśniejsza gwiazda, tym mniejsza wielkość gwiazdowa. Najśłabsze gwiazdy dostrzegalne gołym okiem mają 6. wielkość gwiazdową (czyli 6 magnitudo; skrót mag). Najjaśniejszym naturalnym obiektem na niebie jest Słońce: -26^{mag} , najjaśniejsza kolejna gwiazda na niebie to Syriusz: $-1,47^{\text{mag}}$.

Wielkość gwiazdowa absolutna: wielkość gwiazdowa, jaką miałaby gwiazda, gdyby znajdowała się w pewnej, konkretnej odległości od nas. Za odległość tą wybrano 10 parseków (pc, 1 parsek to odległość, z której orbita Ziemi widoczna jest pod kątem jednej sekundy łuku i jest 206265 razy większa niż średnica orbity Ziemi). Słońce w tej odległości miałoby blask $4,8^{\text{mag}}$ i jest to jego wielkość absolutna. Użycie wielkości absolutnej jest niezbędne do porównywania różnych obiektów. Takie same obiekty znajdujące się w różnej odległości miałyby różną widomą (obserwowaną) wielkość gwiazdową. Wielkość absolutna wiąże się z wielkością obserwowaną wzorem:

$$M = m - 5 \log_{10} r + 5$$

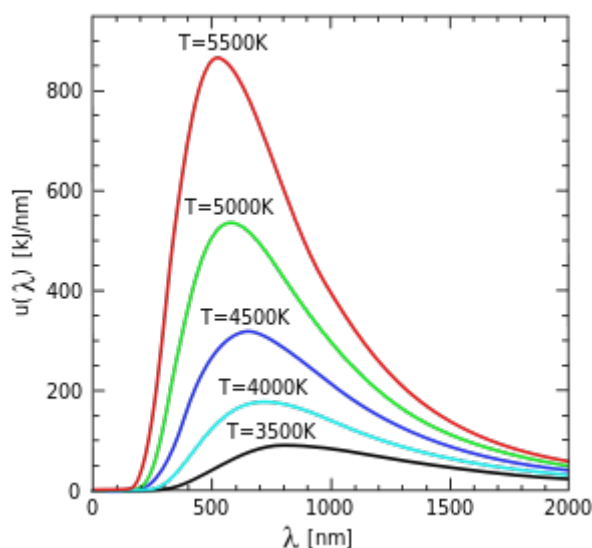
gdzie M – wielkość absolutna w magnitudo, m – wielkość obserwowana w magnitudo, r – odległość w parsekach.

Wskaźnik barwy: wszystkie ciała makroskopowe o temperaturze wyższej od zera absolutnego emitują promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie to określamy jako termiczne. Rozkład natężeń promieniowania w różnych częstotliwościach fal elektromagnetycznych nazywamy widmem. Jego część stanowi światło widzialne.



Widmo Słońca (Źródło: NOAO)

Obserwacji obiektów astronomicznych dokonuje się z wykorzystaniem filtrów wycinających fragment widma (kolor). Rozkład natężeń energii promieniowania termicznego ma maksimum w różnych miejscach zależnie od temperatury promieniującego ciała. Mierzając natężenie w dwu różnych punktach widma można wyznaczyć temperaturę danego ciała.



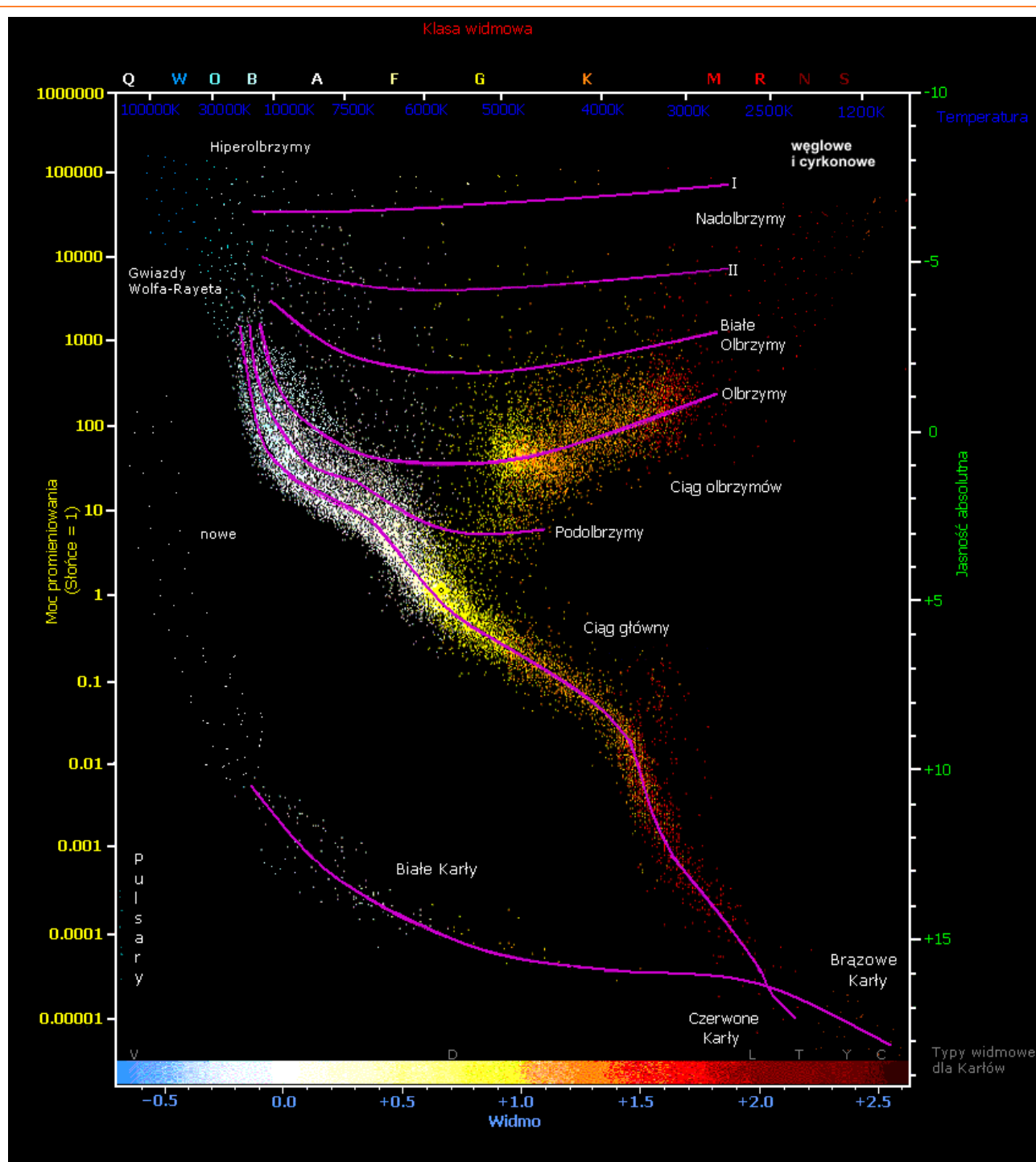
(Źródło: Wikipedia)

Jednym z podstawowych układów filtrów w astronomii jest tzw. fotometria UBV, z kolejno stosowanymi filtrami ultrafioletowym (U), niebieskim (B) i żółtym (V). Różnice pomiędzy natężeniami w poszczególnych filtrach nazywane są wskaźnikiem barwy, gdyż zależą od temperatury promieniującego ciała, czyli od położenia maksimum emitowanej energii, które określa dominujący kolor ciała. Często stosowany jest wskaźnik B – V najczęściej podawany w skali magnitudo wielkości gwiazdowych. Im mniejszy, tym gwiazda jest bardziej niebieska – gorętsza.

Diagram H-R: diagram Hertzsprunga-Russela, wykres ułatwiający klasyfikację gwiazd. Pozwala zrozumieć i prześledzić ich ewolucję. Na osiach współrzędnych znajdują się: x: wskaźnik barwy (lub inny parametr związany z widmem gwiazdy: temperatura, typ widmowy), y: jasność absolutna (lub inny parametr związany z ilością energii emitowanej przez gwiazdę, na przykład moc promieniowania). Na diagramie H-R gwiazdy nie są rozrzucone przypadkowo, lecz grupują się w układy związane z ich typem lub stanem ewolucyjnym. Wyróżnia się zwłaszcza tak zwany ciąg główny, miejsce w którym przebywa większość gwiazd (między innymi nasze Słońce) a także gałąź olbrzymów, czy też obszary karłów.

Ewolucja gwiazd: wszystkie gwiazdy się zmieniają. Jeśli zmiany są obserwowalne z grubszą za życia człowieka, klasyfikujemy takie obiekty jako fizycznie zmienne. Jednak także gwiazdy, które wydają się stałe w porównaniu z czasem życia człowieka, czy nawet istnienia całej ludzkości podlegają ewolucji i przekształceniom. Wynika to z procesów fizycznych zachodzących wewnątrz gwiazd i związanych z trwającymi w nich reakcjami termojądrowymi. Wciąż powstają kolejne gwiazdy, najstarsze zaś przechodzą do bardziej egzotycznych faz ewolucji. Rozwój gwiazd jest silnie zależny od ich masy. Bardziej masywne obiekty ewoluują szybciej, mogą też dokonać żywota jako najbardziej niezwykle obiekty: czarne dziury czy gwiazdy neutronowe. Lżejsze gwiazdy (jak nasze Słońce) czeka w przyszłości los białego karła. Na diagramie H-R gwiazdy o tym samym wieku i masie znajdują się w tym samym punkcie. Młode gwiazdy pojawiają się w okolicy ciągu głównego, na którym spędzają większość swego życia. Po zużyciu paliwa wodorowego w centrum gwiazdy, przekształca się ona w olbrzyma, co na diagramie H-R objawia się jej przesunięciem w prawo i w górę (olbrzymy mają chłodniejszą powierzchnię, ale emitują dużo więcej energii ze względu na swe ogromne rozmiary). Im wyżej na ciągu głównym występuje gwiazda, tym większa jest jej masa. A skoro tempo ewolucji zależy od masy, oznacza to, że jako pierwsze przesuną się na diagramie gwiazdy, które pojawiły się w górnej części ciągu głównego. Prowadzi to do powstania charakterystycznego załamania - styku ciągu głównego i gałęzi olbrzymów na diagramach dla gromad. Na podstawie położenia załamania można oszacować wiek gromady.

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Porównanie odległości gromad za pomocą VO
Doświadczenie konkursowe rok 2023



(Źródło: Wikipedia)

Wirtualne Obserwatorium: inicjatywa społeczności astronomicznej, której celem jest udostępnianie w możliwie jednolity sposób danych astronomicznych mogących posłużyć jako materiał do badań. Krajowe wirtualne obserwatoria łączą się w większe struktury, takie jak Europejskie Wirtualne Obserwatorium. Wszystkie zrzeszone są w międzynarodowej organizacji IVOA (International Virtual Observatory Alliance) rozwijającej niezbędne standardy i wspierającej tworzenie nowych, krajowych gałęzi. Każdy internauta może korzystać z Wirtualnego Obserwatorium.

UWAGA:

W zadaniu pomijamy kwestie związane z ekstynkcją międzygwiazdową (pochłanianiem promieniowania przez ośrodek międzygwiazdowy), populacjami gwiazd i metalicznością (zawartością pierwiastków cięższych od wodoru i helu). Ze względu na brak polskich wersji językowych programów przydatna jest znajomość języka angielskiego na poziomie „informatycznym”. Do wykonania niezbędny jest dostęp do Internetu.

2. Cel doświadczenia

Wykreślenie diagramów H-R dla dwu gromad: M67 i NGC 188 z wykorzystaniem narzędzi Wirtualnego Obserwatorium. Oszacowanie stosunku odległości gromad do Ziemi.

3. Opis wykonania doświadczenia

- Instalacja oprogramowania VO:

Niezbędne programy to Aladin i Topcat, które należy pobrać ze wskazanych poniżej stron.

Sposób instalacji:

Konieczne jest wcześniejsze zainstalowanie Javy. Dla Windows można ją pobrać z

https://www.java.com/pl/download/ie_manual.jsp

W Linuksach Java jest zwykle dostępna w repozytoriach danej wersji i należy ją zainstalować zgodnie z procedurami dla danego systemu, na przykład w Debianie i pochodnych:

```
sudo apt-get install default-jre
```

Aladin:

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

Windows: ściągnąć ze strony instalator **Aladin.msi** i zainstalować. Jeżeli jest aktywny firewall, konieczne jest zezwolenie na łączenie się programu z siecią.

Linux: ściągnąć archiwum **Aladin.tar** i rozpakować poleceniem

```
tar xvf Aladin.tar
```

W powstałej kartotece Aladin znajduje się skrypt o tej samej nazwie, którego należy użyć do uruchomienia programu.

Topcat:

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

lub <https://www.g-vo.org/topcat/topcat/#install>

Niezależnie od systemu ściągnąć plik **topcat-full.jar**.

W Windows program należy uruchomić na przykład z linii komend poleceniem:

```
java -jar topcat-full.jar
```

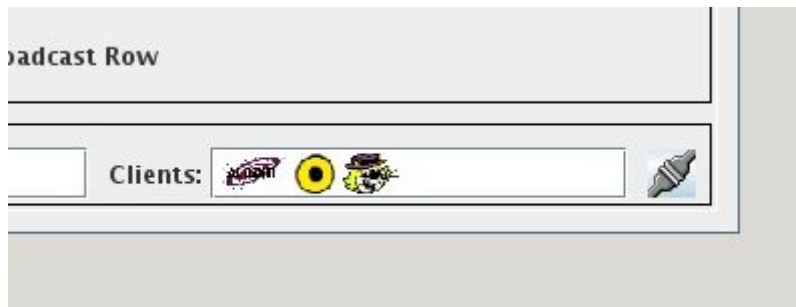
W Linuksie należy dodatkowo ściągnąć skrypt startowy **topcat** i nadać mu prawa wykonania:

```
chmod a+x topcat
```

Program należy uruchamiać skryptem.

- Uruchomienie programów

Uruchamiamy programy *Aladin* i *Topcat*. Ważne, by programy komunikowały się ze sobą. Informują o tym ikona Aladin oraz ikona połączenia w prawej, dolnej ramce okna programu Topcat



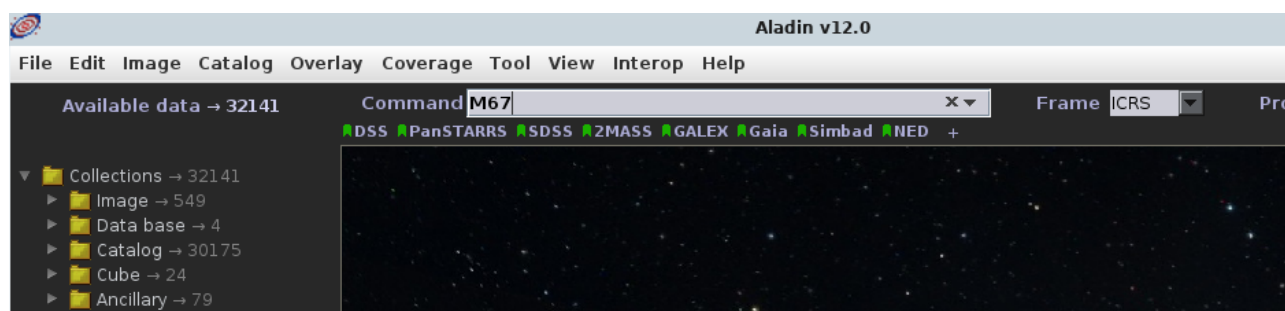
tudzież po wskazaniu kursorem ikony anteny w prawym, dolnym rogu okna programu Aladin pojawia się informacja „SAMP connected”.



- Wykonanie diagramów H-R

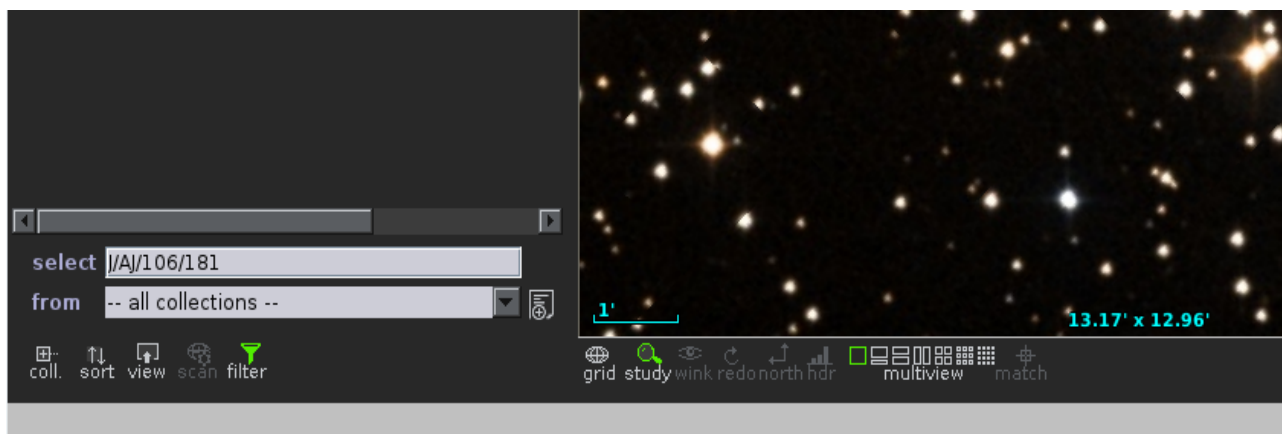
W programie *Aladin*:

W oknie *Command* wpisujemy *M67*. To oznaczenie jednej z gromad kulistych w katalogu Messiera.



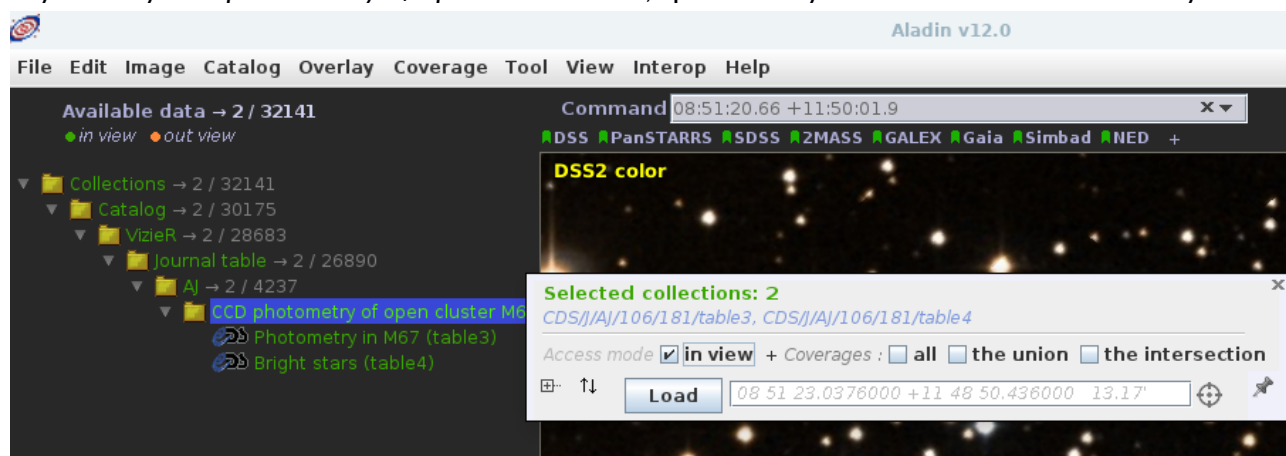
Po wciśnięciu *Enter* program odszuka i wyświetli zdjęcie gromady z katalogu DSS2. Zmieniamy przybliżenie obrazu (najłatwiej scrollm myszki) tak, by u dołu podana została skala około 13'x13':

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Porównanie odległości gromad za pomocą VO
Doświadczenie konkursowe rok 2023

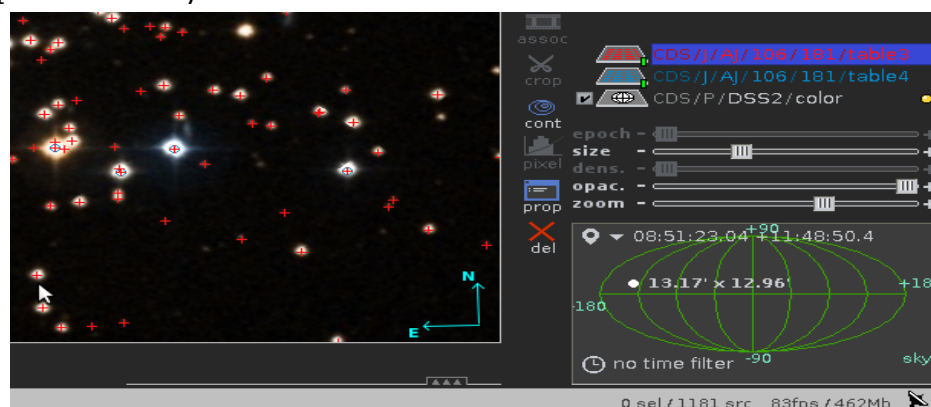


Lewy panel zawiera listę dostępnych źródeł danych. Jest ich bardzo dużo, więc w polu *select* wpisujemy *J/AJ/106/181*. Program automatycznie wyfiltruje dane pozostawiając tylko interesującą nas pozycję. (Rozmiary okien można dopasować, zarówno całego programu, jak i samego obrazka „chwytając” za brzegi.)

Wybieramy *CCD photometry of open cluster M67*, sprawdzamy zaznaczenie *in view* i klikamy *Load*.

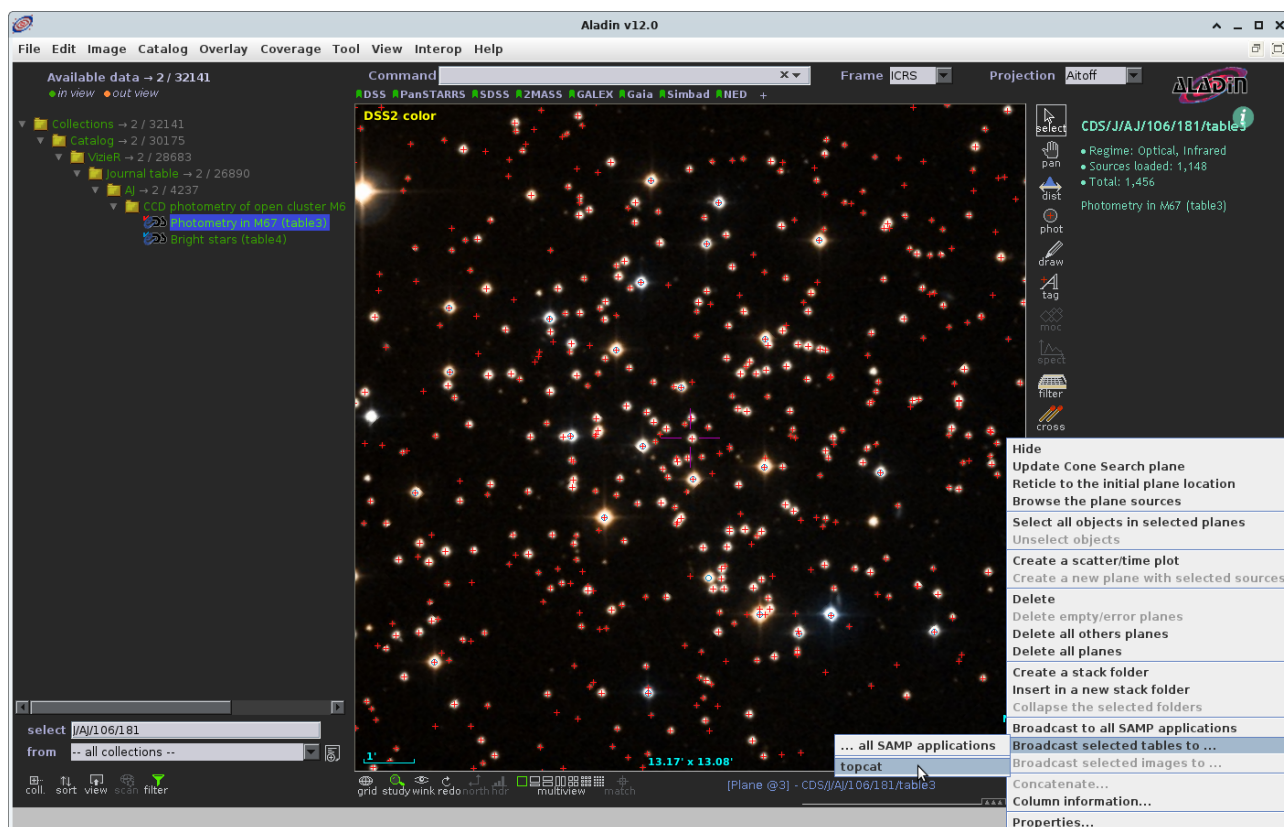


Obraz zostanie uzupełniony danymi z wybranego katalogu, a w prawym panelu pojawią się odpowiadające mu warstwy.

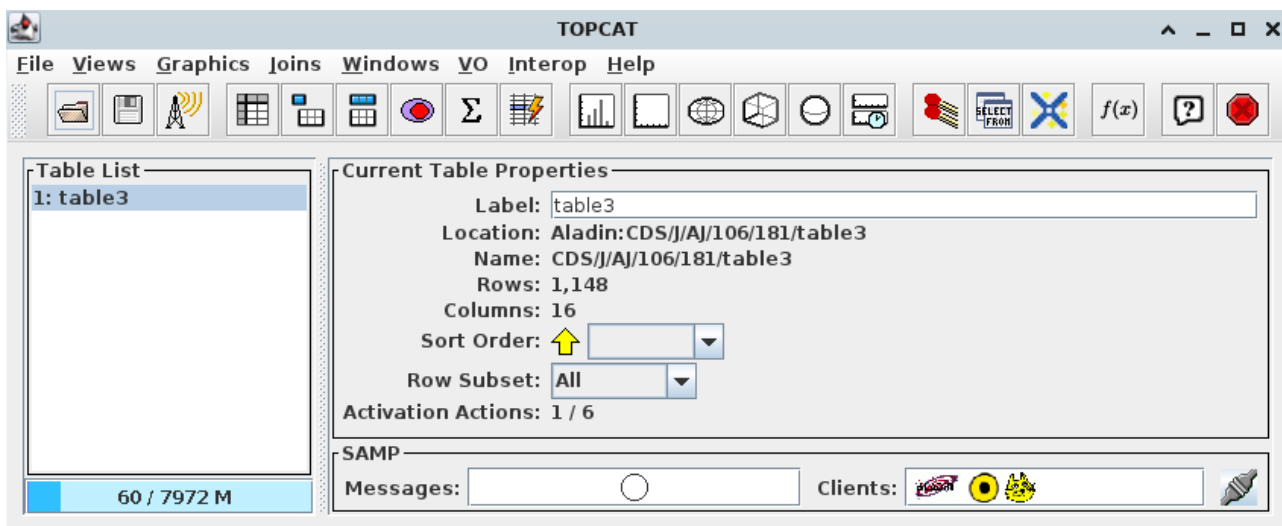


Klikamy prawym przyciskiem myszki w górną warstwę i wybieramy z rozwiniętego menu: *Broadcast selected tables to... -> Topcat*

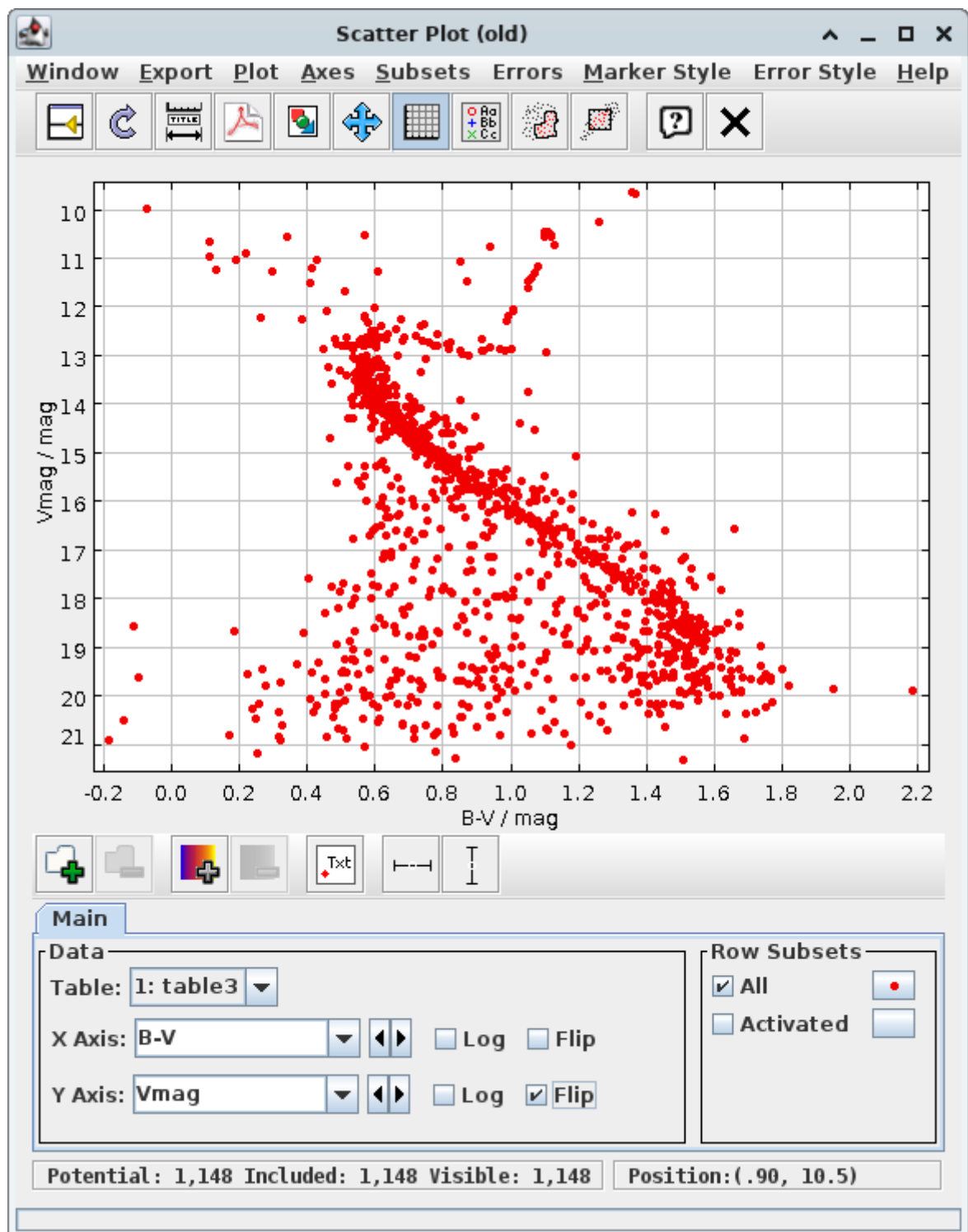
Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Porównanie odległości gromad za pomocą VO
Doświadczenie konkursowe rok 2023



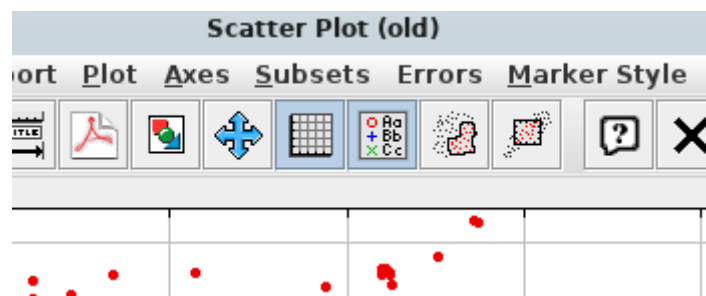
W programie *topcat* pojawi się przesłana tabela (numer może się różnić):



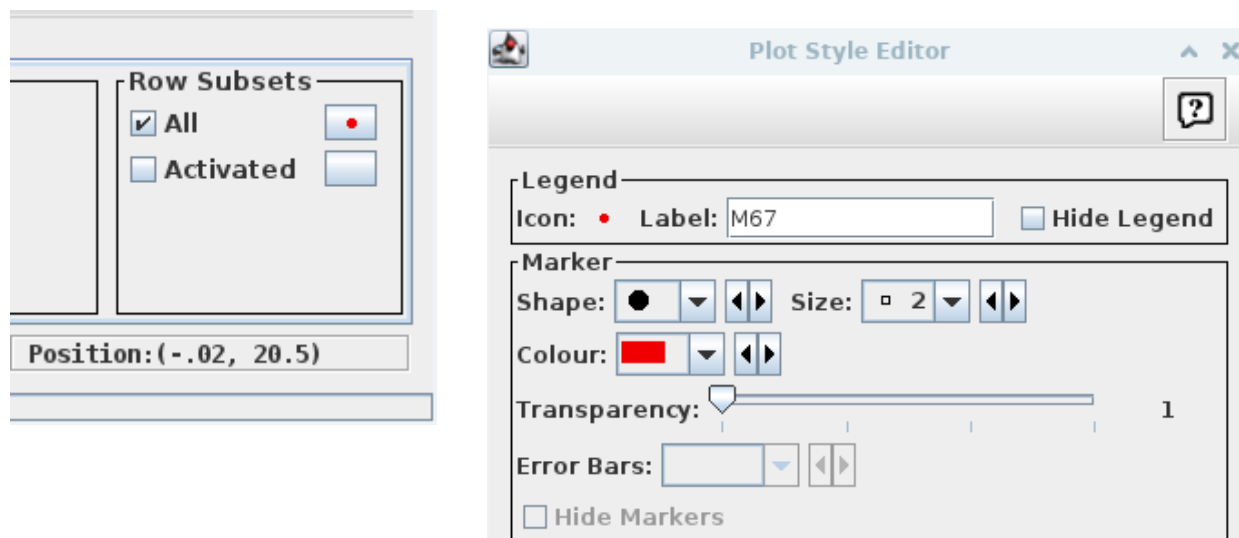
rysujemy wykres poleceniem *Graphics* → *2D Plot (old)* wybierając stosowne parametry: dla osi X: indeks barwy **B-V**; dla osi Y: jasność obserwowaną **Vmag**. Dodatkowo, ponieważ skala magnitudo jest „odwrotna” (wyższa wartość – niższa jasność) zaznaczamy zmianę kierunku osi *Flip*.



Włączamy legendę

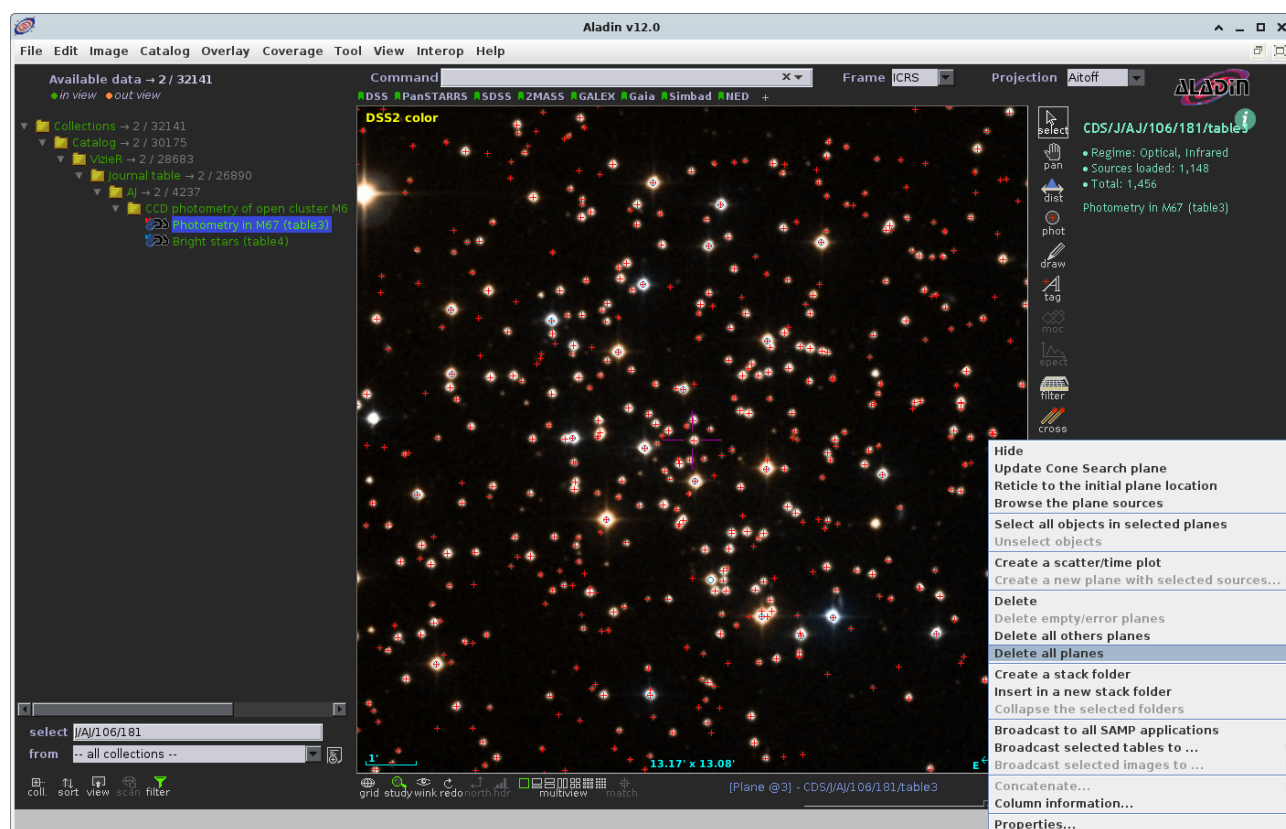


A po kliknięciu w przycisk z kropką ustawiamy opis:



Otrzymaliśmy diagram H-R dla gromady M67.

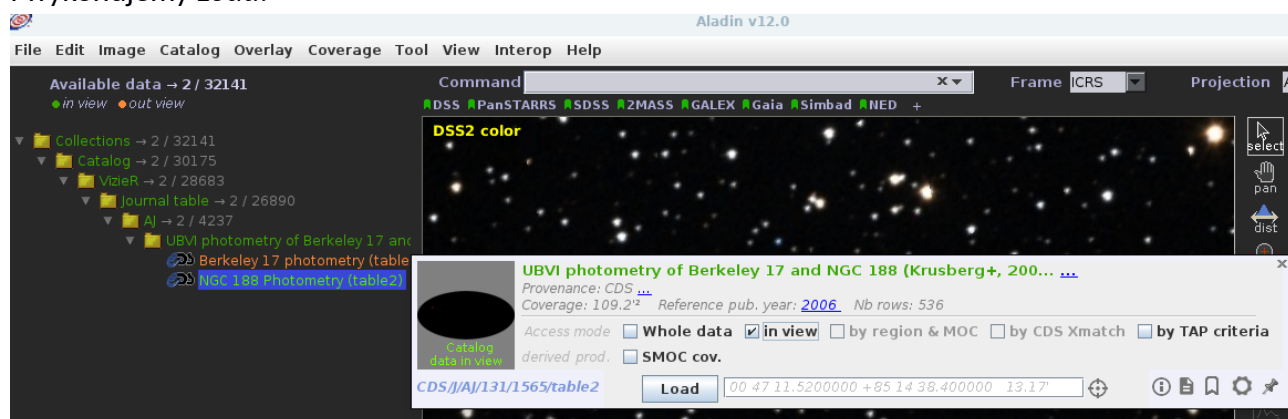
Wracamy do programu *Aladin*, by wczytać dane dla kolejnej gromady **NGC 188**. Najpierw usuwamy poprzednie wybory. Po kliknięciu prawym przyciskiem myszy w dowolną warstwę wydajemy polecenie *Delete all planes*.



W oknie *Command* wpisujemy NGC 188, zaś w oknie *select* oznaczenie katalogu J/AJ/131/1565. Ponownie ustawiamy powiększenie tak, by wyświetlany był obraz o rozmiarze mniej więcej 13'x13'. W lewym panelu wyboru źródeł klikamy w NGC 188 Photometry (table 2), zaznaczamy *in view*

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Porównanie odległości gromad za pomocą VO
Doświadczenie konkursowe rok 2023

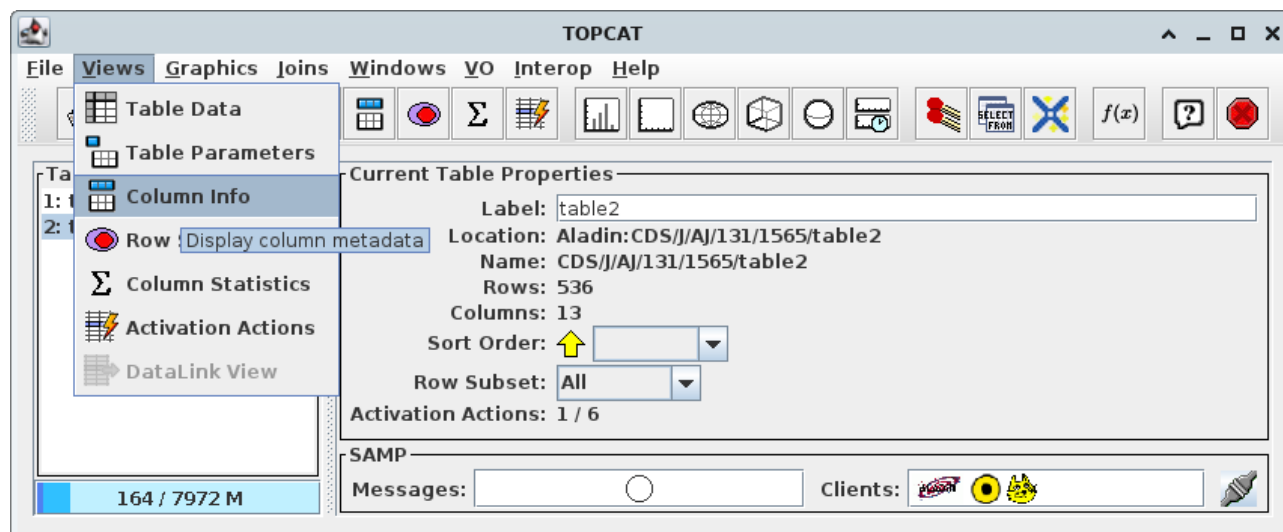
i wykonujemy Load.



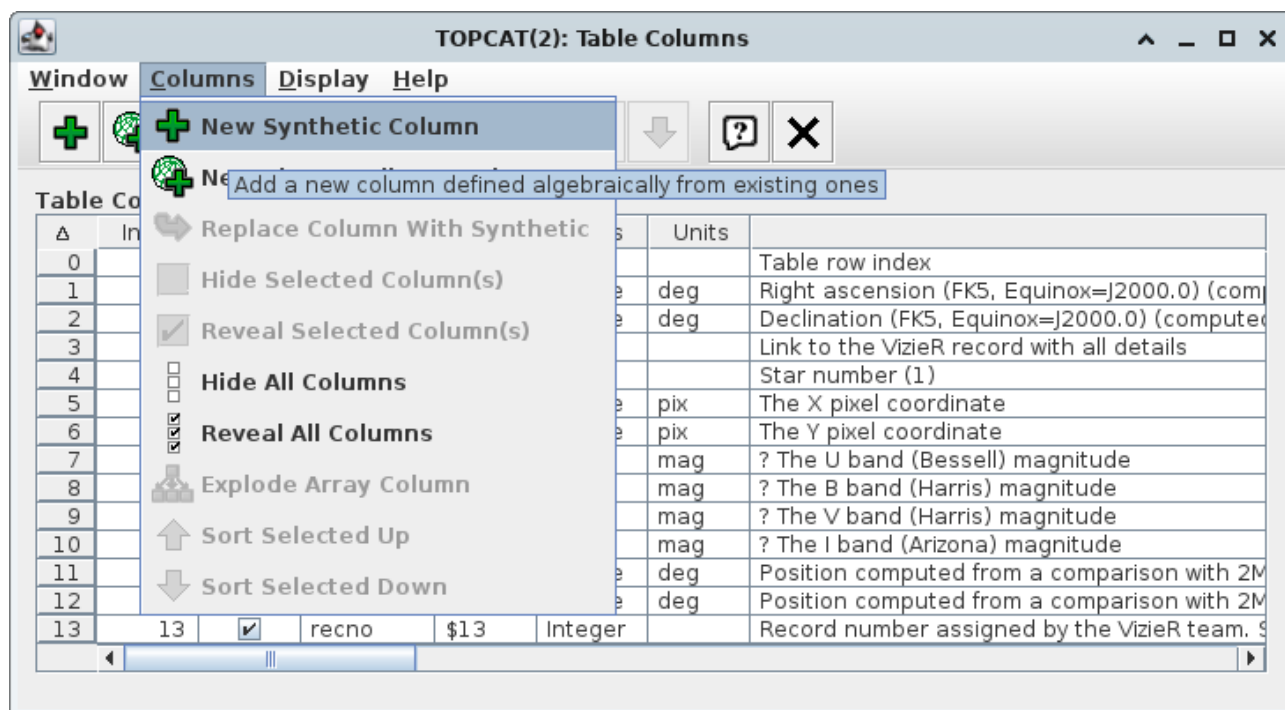
Podobnie jak poprzednio obraz zostanie uzupełniony danymi, a w prawym panelu wyświetlą się odpowiadające im warstwy. Dane górnej warstwy przesyłamy analogicznie jak poprzednio do programu Topcat.

Ponownie Topcat

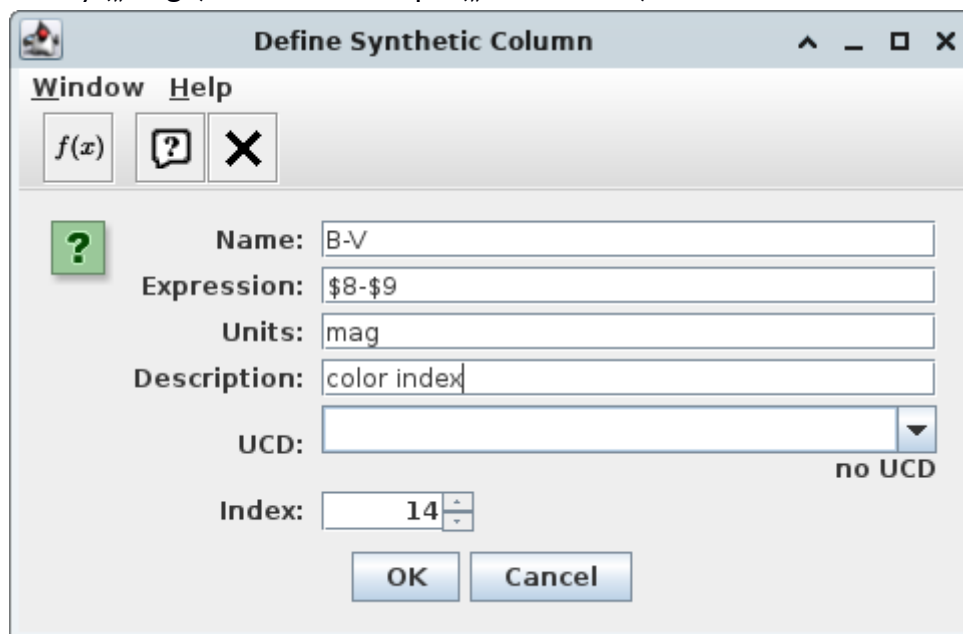
W programie Topcat pojawi się kolejna tabela (w przykładzie table2). Zglądając do opisu kolumn tabeli (Views → Column Info), można się przekonać, że nie zawiera ona wskaźników barwy.



Odpowiedni wskaźnik barwy (B-V) należy zatem wyliczyć korzystając z dostępnych danych za pomocą polecenia dodającego nową, „syntetyczną” kolumnę.

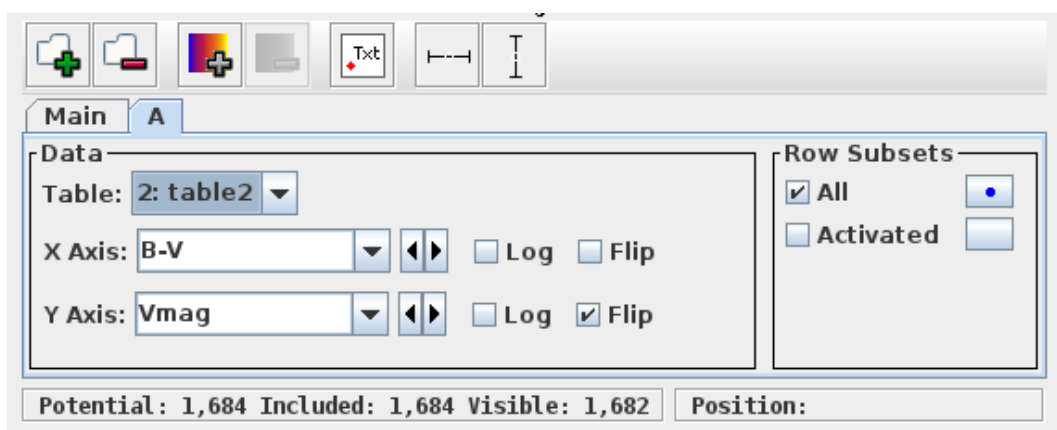


i wpisując odpowiednio nazwę nowej kolumny (na przykład „**B-V**”), formułę do wyliczania wartości: ponieważ jasność w filtrze B podana jest w 8 kolumnie, a w filtrze V w 9, będzie to „**\$8 - \$9**”, jednostkę kolumny („**mag**”) i ewentualnie opis („**color index**”)

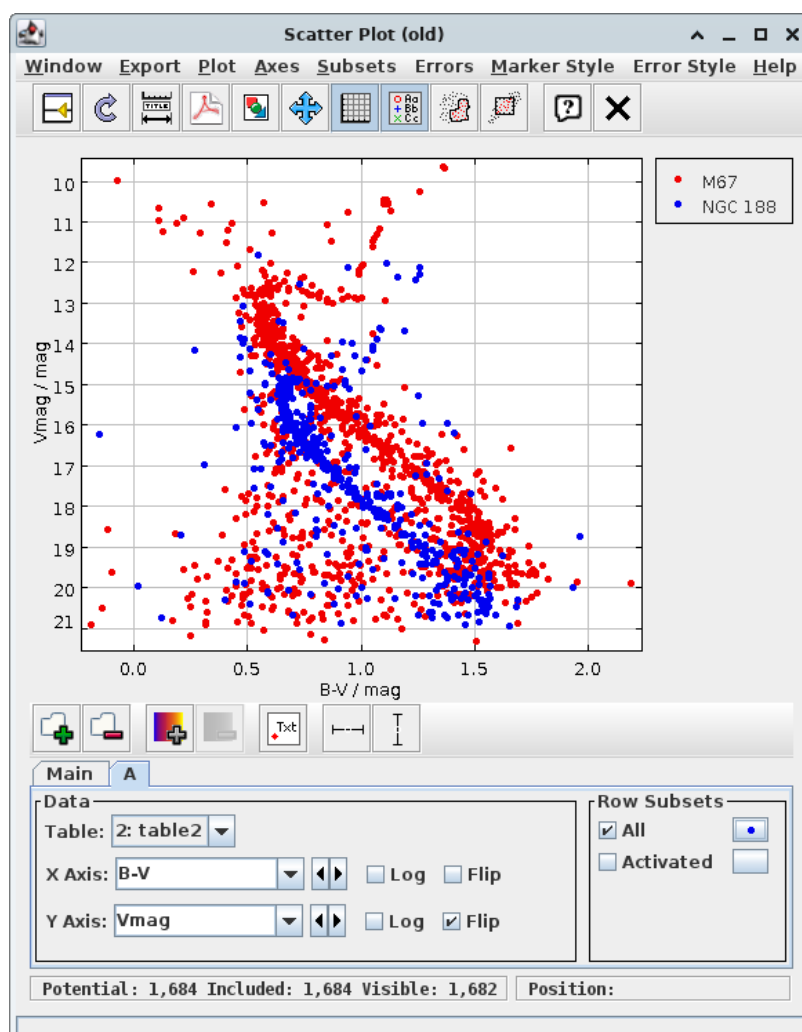


Po zdefiniowaniu danych przystępujemy do wyrysowania diagramu w oknie wykresu *Scatter Plot (old)*. Klikamy w przycisk dodawania danych (zielony plus po lewej) i wybieramy nazwę drugiej tabeli.

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Porównanie odległości gromad za pomocą VO
Doświadczenie konkursowe rok 2023



Jeśli użyliśmy nazw kolumn jak w przykładzie, program wybierze je automatycznie. W innym wypadku należy wybrać stosowne kolumny. Otrzymujemy dwa diagramy H-R na jednym wykresie dla dwu gromad. Klikając w przycisk z kropką ustawiamy nazwę drugiej gromady w legendzie. Ostatecznie diagram:



- Ocena różnicy odległości

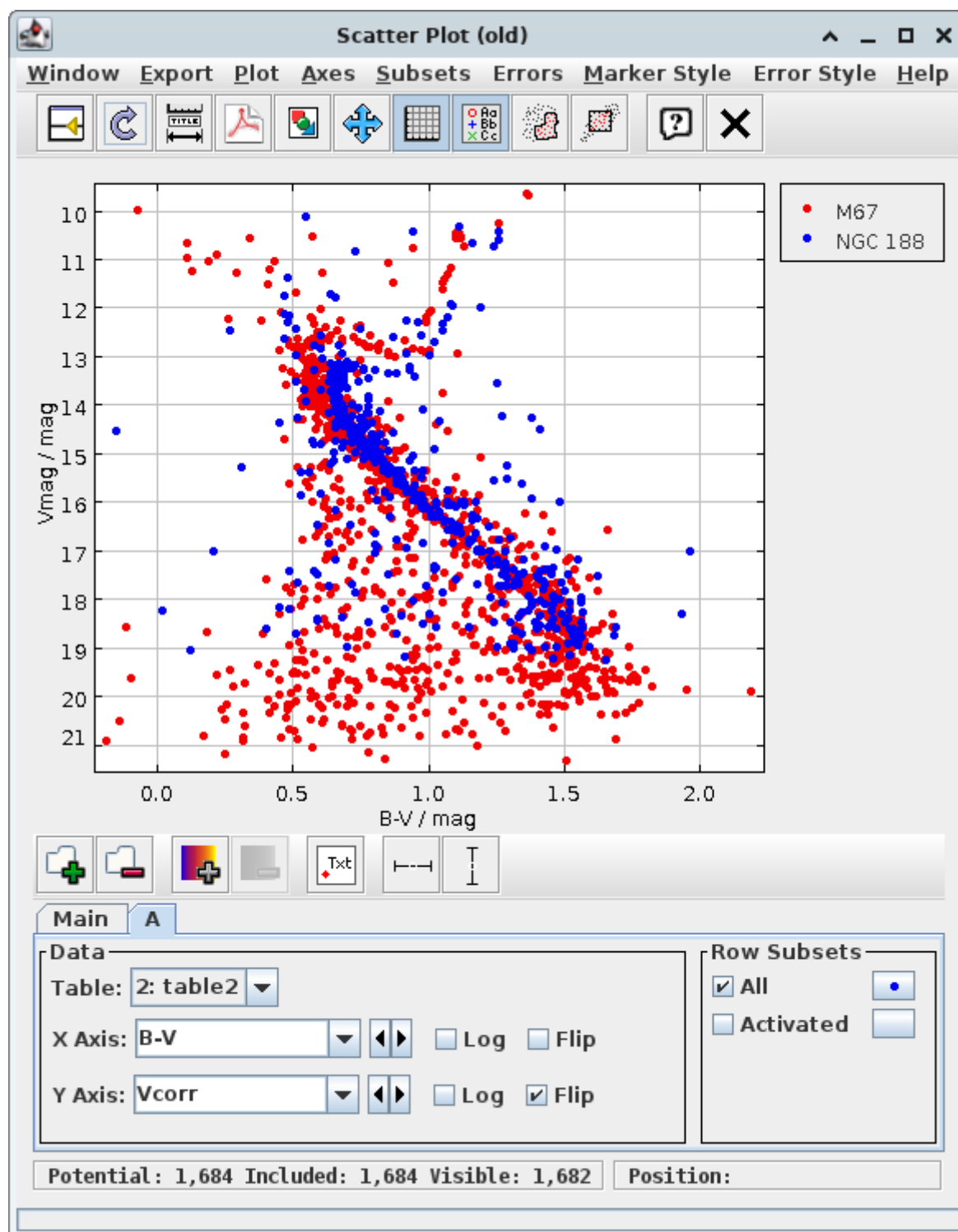
Widać, że diagramy obu gromad nie pokrywają się. Wynika to przede wszystkim z różnicy odległości pomiędzy nimi a Ziemią (pomijając ekstynkcję i zależność ewolucji gwiazd od metaliczności). Zgodnie z teorią ewolucji gwiazd, obiekty o tej samej masie i takim samym wieku powinny znajdować się w tym samym punkcie diagramu H-R, czyli na przykład na ciągu głównym. Ale na naszym wykresie ciągi główne nie pokrywają się. Wynika to z faktu, że do jego zbudowania użyliśmy wielkości gwiazdowych widomych (obserwowanych) a nie absolutnych. Różnica w wielkości widomej dwu takich samych gwiazd (a więc o takiej samej wielkości absolutnej) wynika z różnicy ich odległości. Przesunięcie wykresów w osi Y (wielkości gwiazdowej w filtrze V_{mag}) mierzy różnicę odległości pomiędzy gromadami a Ziemią.

Najprostszą metodą oszacowania stosunku odległości jest „nasunięcie” ciągów głównych na wykresie. Zrobimy to analogicznie do tworzenia indeksu barwy dla drugiego zbioru danych. Ponownie dołożymy nową kolumnę (o nazwie np. **Vcorr**) będącą „poprawioną” jasnością gwiazd w gromadzie **NGC 188**.

Podajemy utworzoną kolumnę, jako oś Y dla wykresu dla NGC 188

Wykres na rysunku przesunie się. Powtarzamy operację korzystając z polecenia *Columns → Replace Column with Syntetic* w oknie *Topcata* z opisem kolumn drugiej tabeli lub edytując wyrażenie

w opisie kolumny (po podwójnym kliknięciu) pamiętając o odświeżaniu okna wykresu (*Redraw the plot*) aż do uzyskania zadowalającej wzrokowo zgodności pomiędzy wykresami. Wartość, jaką trzeba było użyć do nałożenia ciągów głównych umożliwi określenie stosunku odległości.



- Zadanie obliczeniowe:

Wiedząc, że zależność jasności absolutnej od obserwowanej dla gwiazd wyraża się wzorem:

$$M = m - 5 \log_{10} r + 5$$

gdzie M – wielkość absolutna, zdefiniowana jako wielkość obserwowana z odległości 10 pc,
 m – wielkość obserwowana, r – odległość od gwiazdy wyrażona w parsekach, wylicz stosunek odległości obu gromad.