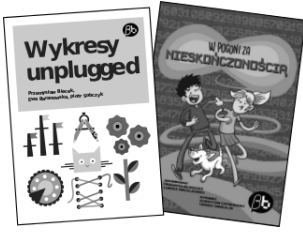


# Jeszcze w zielone gramy

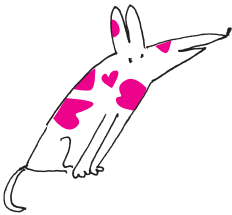
Janusz KRYWULT\*

\* Zakład Astrofizyki, Instytut Fizyki,  
Uniwersytet Jana Kochanowskiego



Jedną z cech decydujących o wspaniałości większości bajek Disneya jest ich „wielowarstwowość” – inaczej odbiera je małe dziecko, inaczej nastolatek, a jeszcze inaczej osoba dorosła; wszyscy jednak mogą się przy nich świetnie bawić i w każdym pozostawia coś wartościowego. Ciężko oprzeć się temu skojarzeniu podczas zapoznawania się z dwiema edukacyjnymi pozycjami – „W pogoni za nieskończonością” oraz „Wykresy unplugged”. Ich „wspólnym mianownikiem” jest Przemysław Bieчек, znany popularyzator wnioskowania opartego na danych (oraz autor *Delty!*). W tworzeniu pierwszej miał również udział Łukasz Maciejewski, a drugiej: Ewa Baranowska i Piotr Sobczyk. W „Pogoni za nieskończonością” towarzyszymy dwójce młodych bohaterów, Becie i Bitowi, w pięknie ilustrowanych przygodach, dzięki którym odkrywają oni różne aspekty nieskończoności. „Wykresy unplugged” to z kolei doskonały trening kreatywności, połączony z nauką podstaw wizualizacji danych. Wszystko ładnie wydane, cieszące oko i – podobnie jak bajki Disneya – dające radość i naukę zarówno małym jak i dużym. Polecamy!

Redakcja



Galaktyki z bliskiego nam Wszechświata wykazują dużą różnorodność budowy. Klasyczna, wprowadzona prawie sto lat temu, klasyfikacja Hubble’a dzieli je na podstawowe typy morfologiczne: galaktyki dyskowe, eliptyczne i nieregularne.

W galaktykach spiralnych, do których zaliczamy Drogę Mleczną, gwiazdy w dysku krążą wokół centralnie położonego jądra, a ich rozmieszczenie w ramionach spiralnych odpowiada za charakterystyczny kształt tych obiektów. Ciągłe zachodzące procesy gwiazdotwórcze zawdzięczają swą aktywność obłokom gazu i pyłu, a populacja młodych gwiazd nadaje tym obiektom kolor niebieski. Natomiast orientacja orbit gwiazd w galaktykach eliptycznych jest prawie izotropowa, nadając im kształt trójosiowych elipsoid. Obiekty te są niemal pozbawione gazowych obłoków i mają szczątkową aktywność gwiazdotwórczą. Dominująca w nich populacja starych gwiazd odpowiada za ich czerwoną barwę.

Niezmiernie ciekawym zagadnieniem jest powstanie i ewolucja galaktyk. Czy galaktyki różnych typów morfologicznych uformowały się na początku istnienia Wszechświata? A może z upływem czasu jedne z nich transformowały się w inne? Niewątpliwie skala czasowa tych zmian, wynosząca miliardy lat, nie pozwala prześledzić tego procesu dla jednego obiektu. Z pomocą przychodzą nam obserwacje odległych galaktyk. Ponieważ Wszechświat rozszerza się, więc obserwując dalsze jego rejony, sięgamy w przeszłość, a galaktyki widzimy jako młodsze od tych z najbliższego nam otoczenia. Tego typu badania – wymagające zebrania olbrzymiego, liczącego co najmniej setki tysięcy obiektów, materiału obserwacyjnego – stały się możliwe dopiero niedawno (m. in. dzięki projektom GAMA dla bliskich galaktyk czy VIPERS sięgającego do połowy obecnego wieku Wszechświata).

## Barwa galaktyk

Całe bogactwo informacji o budowie galaktyk dają ich widma. Jednak obserwacje spektroskopowe słabych obiektów wymagają bardzo długich czasów ekspozycji oraz wykorzystania największych teleskopów. Znacznie szybciej obszerny materiał obserwacyjny możemy zebrać z wielobarwnej fotometrii wykonanej w kilku filtrach, np. w klasycznym systemie Johnsona UBVRI. Dysponując tą prostą metodą, jesteśmy w stanie oszacować kolor galaktyki, wyznaczając różnicę jasności obiektu w kilku wybranych filtrach. Umożliwia ona określenie poziomu aktywności gwiazdotwórczej badanych obiektów, a tym samym identyfikację galaktyk dyskowych (niebieskich) i eliptycznych (czerwonych) oraz pozwala szybko sięgnąć w odległe zakątki Wszechświata.

## Bimodalność koloru

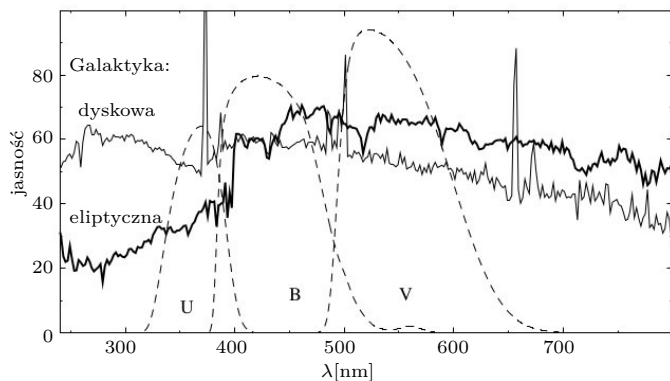
Analiza histogramu koloru galaktyk z bliskiego nam Wszechświata pokazała jego bimodalność. Obserwowany przez nas świat galaktyk podzielony jest na dwa obozy.

Niebieski obszar większego i szerszego maksimum dystrybucji koloru odpowiada galaktykom dyskowym, a węższe maksimum tworzą galaktyki eliptyczne.

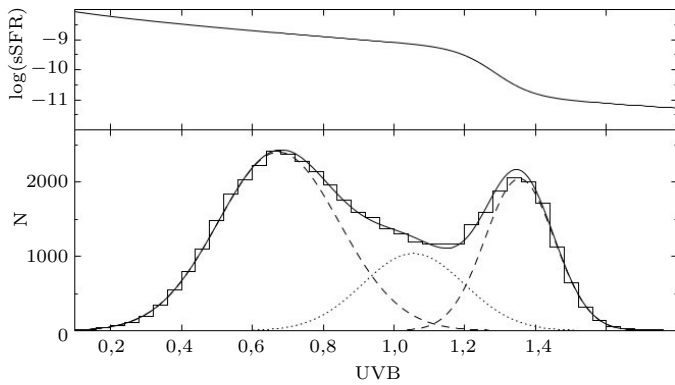
Dalsze badania stwierdzają, że już 8 miliardów lat temu istniał wyraźny podział na galaktyki dwóch głównych typów morfologicznych.

Istnienie dwóch populacji galaktyk rodzi pytania. Jak one powstały i jaki jest związek między nimi?

Jeżeli aktywność gwiazdotwórcza galaktyk dyskowych wskazuje na to, że są one młodsze od eliptycznych, to czy wszystkie galaktyki eliptyczne powstały dawno, w początkowych fazach ewolucji Wszechświata, czy też proces ich powstawania jest ciągły i trwa do chwili obecnej? Na dominację tego drugiego scenariusza



Rys. 1. Przykładowe widmo galaktyki dyskowej i eliptycznej oraz krzywe transmisji filtrów U, B i V. Barwa obiektu jest definiowana jako różnica jasności danego obiektu w dwóch różnych filtrach lub ich kombinacji.



Rys. 2. Histogram koloru galaktyk VIPERSa położonych w zakresie przesunięcia ku czerwieni 0,5–1,0. Skrajne przerywane linie obejmują kolejno populację galaktyk dyskowych i eliptycznych, a kropkowana – obiekty z zielonej doliny. Górny wykres szacuje aktywność gwiazdotwórczą galaktyk (sSFR) w funkcji koloru.

wskazują symulacje komputerowe formowania się struktur we Wszechświecie. W procesie hierarchicznego scenariusza, w wyniku łączenia się galaktyk dyskowych powstają galaktyki eliptyczne. Model ten wyjaśnia też wzrost liczebności galaktyk eliptycznych w miarę upływu czasu oraz większą masę gwiazdową typowych galaktyk eliptycznych od dyskowych. Jeżeli formowanie się galaktyk eliptycznych zachodzi również w chwili obecnej, to powinna istnieć grupa galaktyk będących w fazie transformacji. Obiekty te powinny mieć mniejszą aktywność gwiazdotwórczą na jednostkę masy gwiazdowej niż galaktyki dyskowe, ale większą niż eliptyczne.

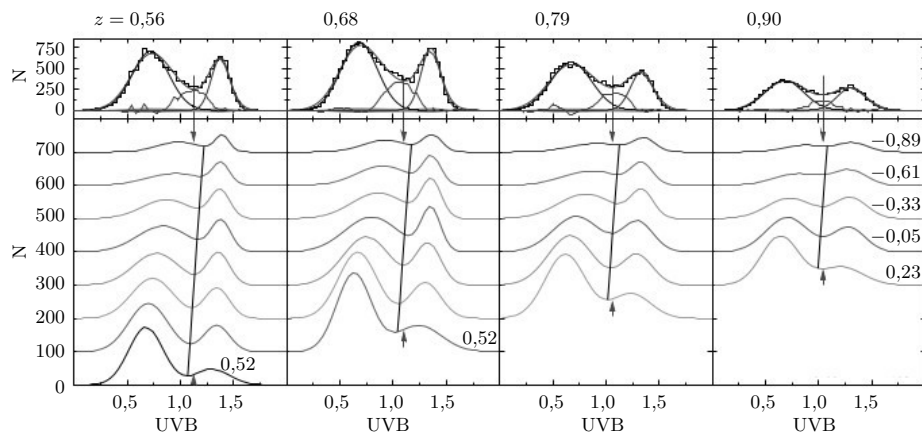
### Zielona dolina

Występujące na histogramie koloru dwa maksima wyraźnie identyfikują galaktyki dyskowe i eliptyczne. Spodziewamy się, że między nimi rozciąga się intrygujący obszar obiektów będących w fazie przejściowej, podróżujących z obszaru obiektów dyskowych do eliptycznych, tak zwanych galaktyk z zielonej doliny. Zielona dolina jest wygodnym i prostym sposobem identyfikacji obszaru galaktyk przejściowych, w których zachodzi szybki proces spadku aktywności gwiazdotwórczej i przebudowy fizycznego kształtu galaktyk. Galaktyki dyskowe nie umierają, a przekształcają się w eliptyczne – tracą dyski, a rozkład orbit gwiazd wokół jądra staje się niemal izotropowy. Procesowi temu towarzyszy utrata obłoków

gazu. Wzrasta populacja starych gwiazd i następuje poczerwienienie barwy galaktyk. Tak drastyczna zmiana może zajść w wyniku kolizji galaktyk, łącznie z połączeniem się ich w jeden obiekt. Modele fizyczne i symulacje komputerowe pokazują, że proces ten trwa około miliarda lat. Uwzględniając masy i rozmiary galaktyk, widzimy, że jest on bardzo gwałtowny.

Aktualnym pytaniem jest, w jakim stopniu ta trzecia populacja galaktyk jest jednorodna pod względem zachodzących w nich procesów i własności fizycznych. Histogram koloru wszystkich galaktyk pokazuje nie tylko jego bimodalną strukturę, ale również wyraźną nadwyżkę galaktyk w rejonie zielonej doliny ponad sumę dwóch rozkładów Gaussa. Zajrzyjmy teraz głębiej w ten obszar, w zakresie przesunięć ku czerwieni od  $z = 0,5$  do 1, i podzielmy galaktyki pod względem przesunięcia ku czerwieni oraz jasności absolutnych galaktyk. Obraz, który nam się pojawia, uwidacznia, że w każdym z przedziałów rozkład barwy galaktyk jest dobrze opisany sumą dwóch funkcji Gaussa. Wyraźnie też widać zależne od jasności i redshiftu przesunięcia położenia lokalnych minimów, maksimów oraz amplitud rozkładów, od których zależy liczebność każdej z populacji. Wskazują one, że z upływem czasu barwa jasnych, a więc masywnych galaktyk, gwałtownie czerwienieje. Odpowiada za to szybki spadek aktywności gwiazdotwórczej spowodowany utratą rezerwuaru gazu, z którego formują się gwiazdy. Tempo transformacji galaktyk dyskowych w eliptyczne jest szybkie i tak też powiększa się ich populacja. Natomiast mniej jasne galaktyki znacznie wolniej przekraczają obszar zielonej doliny.

Różne tempo tych przemian zakłóca czystą bimodalność koloru, gdy analizujemy obiekty w szerokim zakresie jasności absolutnej, a sumowanie poszczególnych dystrybucji prowadzi do wyraźnej liczbowej nadwyżki galaktyk w obszarze zielonej doliny. Nie tworzą one spójnego typu morfologicznego, a są konglomeratem galaktyk o różnych jasnościach i stadiach ewolucji. Wśród jasnych obiektów tego rejonu znajdujemy galaktyki dyskowe, natomiast eliptyczne obserwujemy raczej jako obiekty słabsze. Ciągłe płonie zielone światło dla badań budowy i ewolucji galaktyk nam bliskich i tych z odległych zakątków Wszechświata.



Rys. 3. Rozkład koloru galaktyk w czterech zakresach średniego przesunięcia ku czerwieni ( $z$ ) dla różnych wartości jasności absolutnej  $M_B$  [mag] podanych nad krzywymi.

