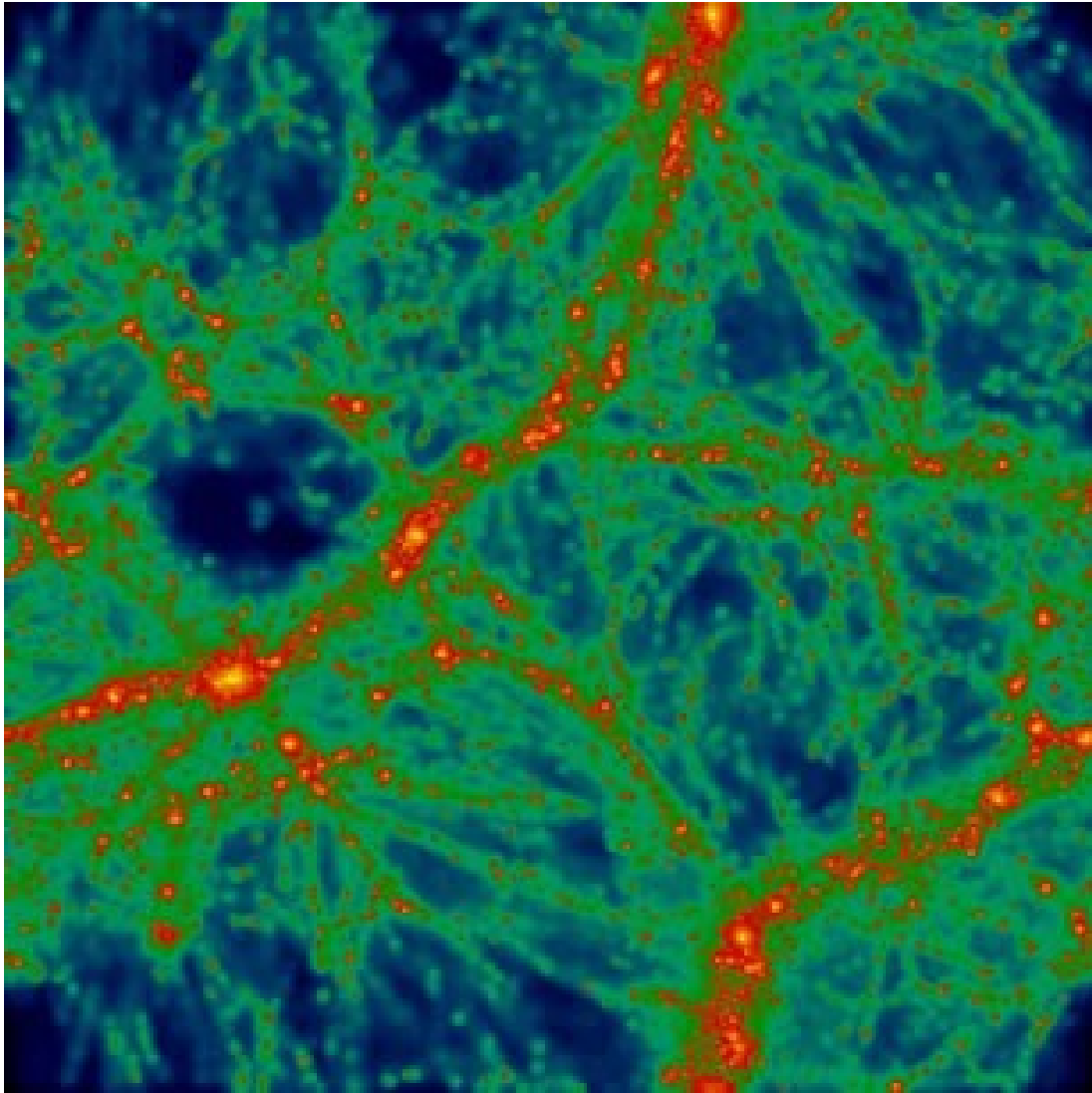


## Gwiazdy, galaktyki, grupy

### Wielkoskalowa struktura Wszechświata



A

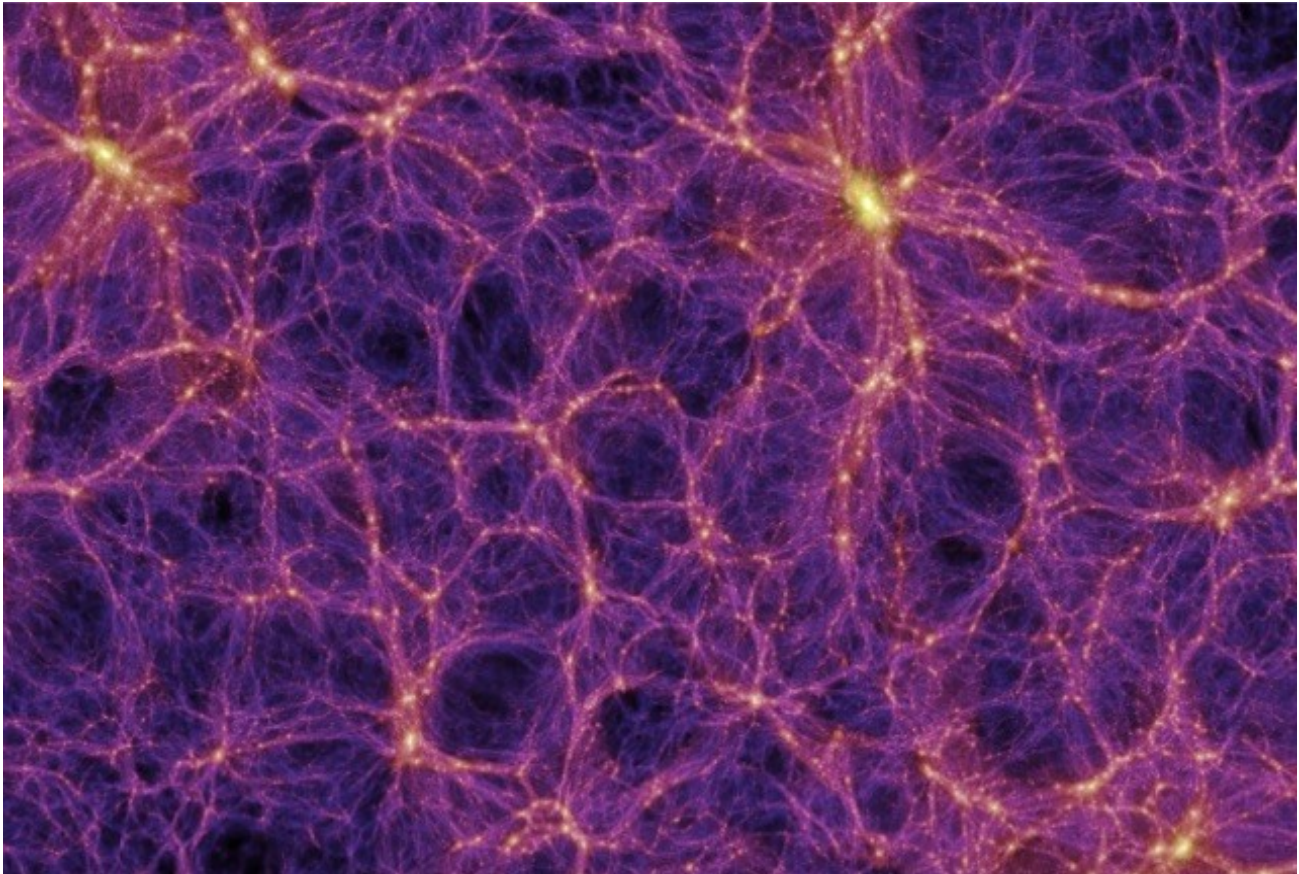
Symulacja wielkoskalowej struktury pobliskiego Wszechświata, z ciemną materią. Obraz ma rozmiar  $\sim 800$  milionów lat świetlnych (do kwadratu). Czerwone regiony to wysokie stężenia galaktyk, w tym supergromad i włókien galaktyk, podczas gdy niebieskie obszary odpowiadają niskiej gęstości galaktyk w tzw. pustkach.

Źródło: Chris Power, Swinburne University

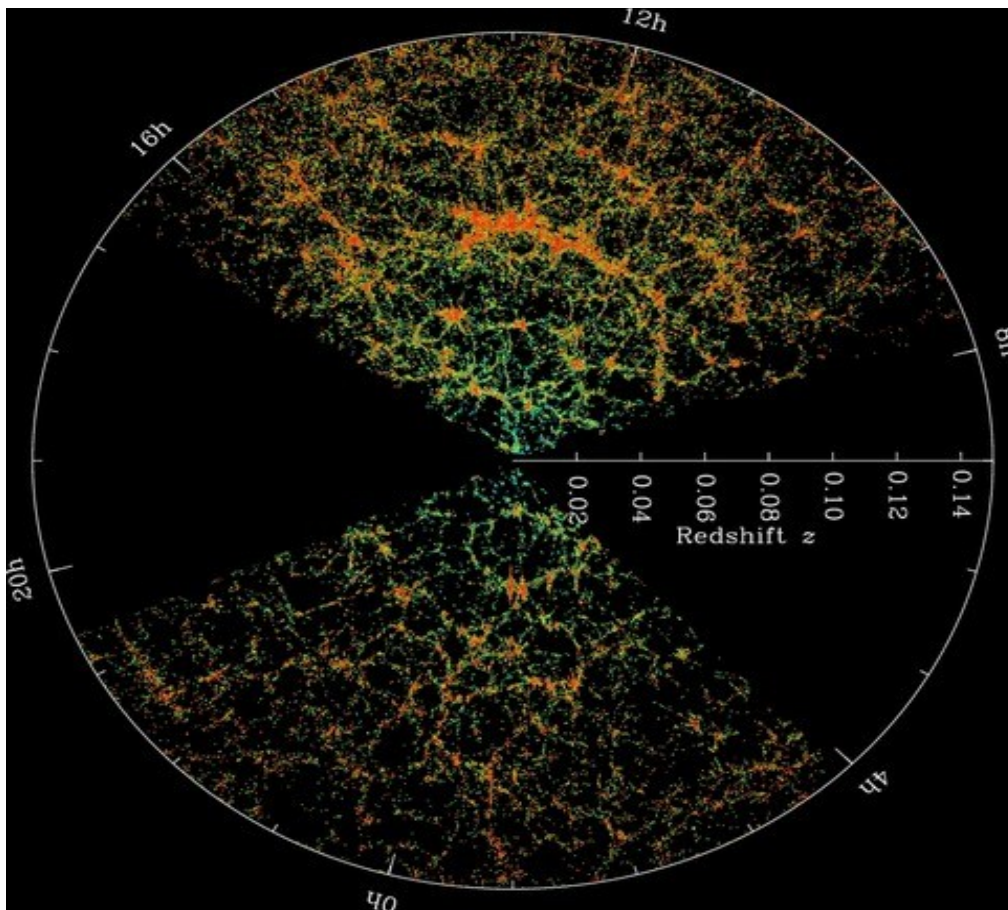
- W dużej skali nasza galaktyka Droga Mleczna zdaje się leżeć pośrodku „niczego”
- Odkąd Galileusz skierował swój teleskop na Jowisza i zobaczył księżycy na orbicie wokół tej planety, zaczęliśmy zdawać sobie sprawę, że nie zajmujemy centralnego, ważnego miejsca we Wszechświecie. W 2013 r. badania wielkoskalowej struktury Wszechświata

wykazały, że możemy być jeszcze bardziej na „odludziu” niż sądzono. Droga Mleczna leży w wielkiej pustce w strukturze włókienkowej Wszechświata.

- [iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/775/1/62/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/775/1/62/pdf)
- Pustka (ang. *void*) – obszar Kosmosu, który zawiera znacznie mniej galaktyk, gwiazd i planet, niż okoliczne, gęste włókna lub ściany galaktyk.
- „Nasza” pustka ma nazwę: to pustka KBC (Keenan, Barger, Cowie). Przy promieniu około 1 miliarda lat świetlnych KBC jest siedem razy większa niż średnia pustka i jest największą pustką, jaką znamy.



- **Wielkoskalowa struktura Wszechświata:** włókna i skupiska materii oddzielone pustkami, gdzie materii jest bardzo mało („tzw. ser szwajcarski”).
- **Włókna** składają się z gromad galaktyk i supergromad, które z kolei składają się z gwiazd, gazu, pyłu i planet.
- Nowe badania: pustka KBC ma mniej więcej kształt kuli o skorupie w rosnącą grubością materii zbudowanej z galaktyk, gwiazd i ciemnej materii.

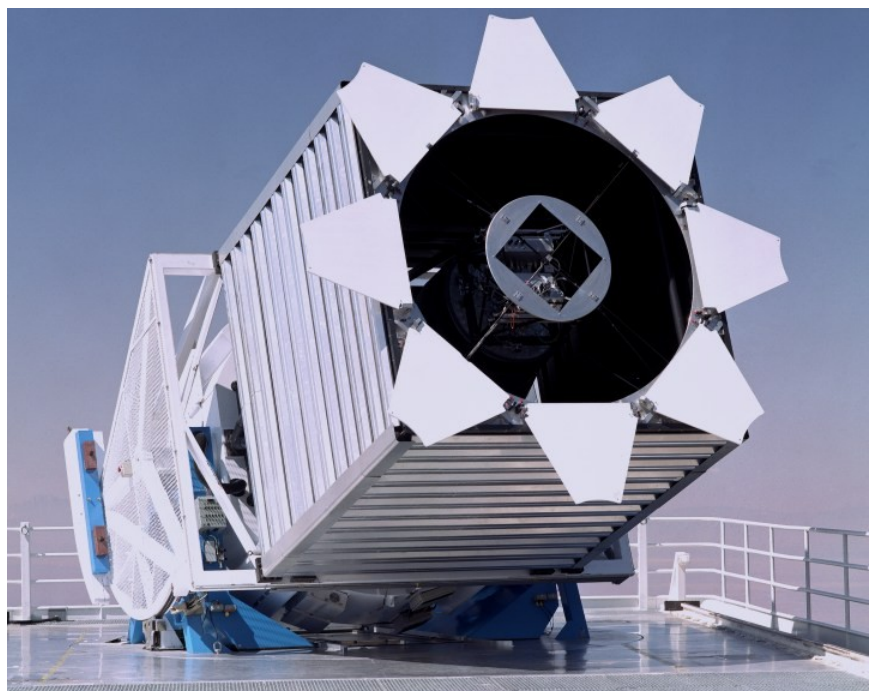


Mapa obserwowalnego Wszechświata z optycznego przeglądu nieba SDSS - [Sloan Digital Sky Survey](#). Pomarańczowe obszary wskazują na większą gęstość gromad galaktyk i włókien.

Źródło: Sloan Digital Sky Survey.

- SDSS – rok 2000, do chwili obecnej przyniósł odkrycie m.in. **930 tysięcy galaktyk** oraz ponad 120 tysięcy kwazarów po przejrzeniu ponad 1/4 całego nieba.

2,5-metrowy teleskop w Apache Point Observatory wykorzystywany w przeglądzie SDSS





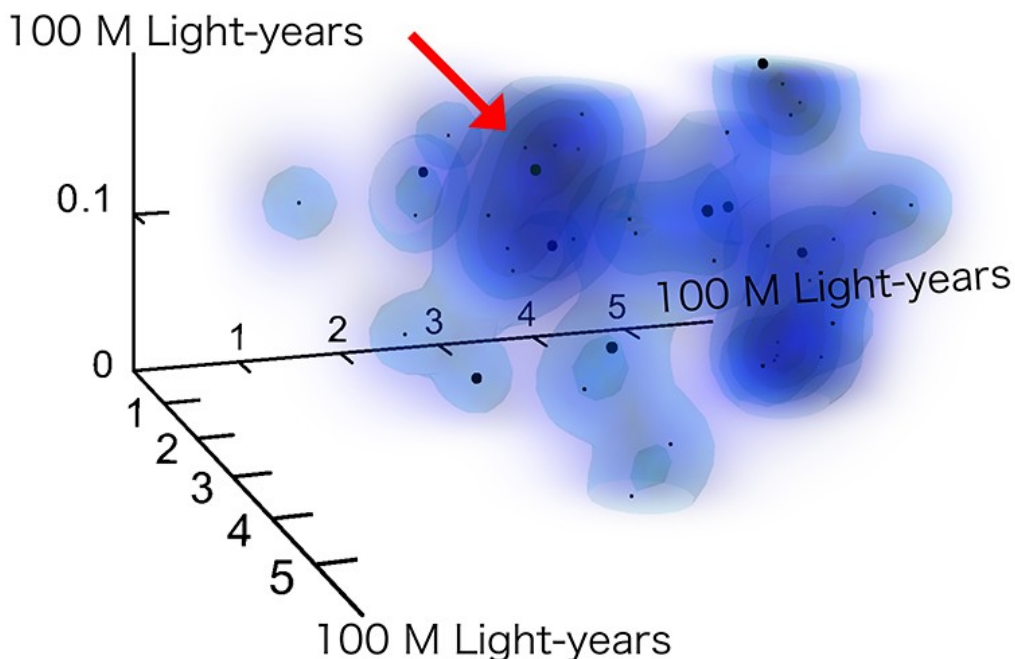
## Gromady i supergromady galaktyk



- **Gromady**: skupiska od kilkudziesięciu do kilku tysięcy galaktyk tworzących układ związany grawitacyjnie. Mniejsze ugrupowania nazywane są **grupami galaktyk**.
- Galaktyki w gromadzie poruszają się po skomplikowanych torach wokół środka masy gromady, zazwyczaj wokół największych galaktyk w gromadzie. Prędkości galaktyk: do prędkości rzędu 800 km/s w dużych gromadach.
- **Gromady** galaktyk nie zawsze mają dobrze określone centrum. W gromadach galaktyk występuje stosunkowo gęsty i gorący **ośrodek międzygalaktyczny**.
- **Gromady** to najbardziej masywne obiekty we Wszechświecie, złożone z tysięcy galaktyk połączonych grawitacyjnie w jedną, ogromną, potężną masę. Ich przyciąganie grawitacyjne tak silne, że mogą zniekształcać czasoprzestrzeń, zaginając Wszechświat i otaczające światło.

- Z pomocą teleskopów Subaru, Keck i Gemini międzynarodowy zespół astronomów [odkrył 12 pradawnych galaktyk](#), które istniały około 13,0 miliarda lat temu, w tym najstarszą gromadę, jaką kiedykolwiek zaobserwowano (2019 r.).

## 13.0 Billion Years Ago



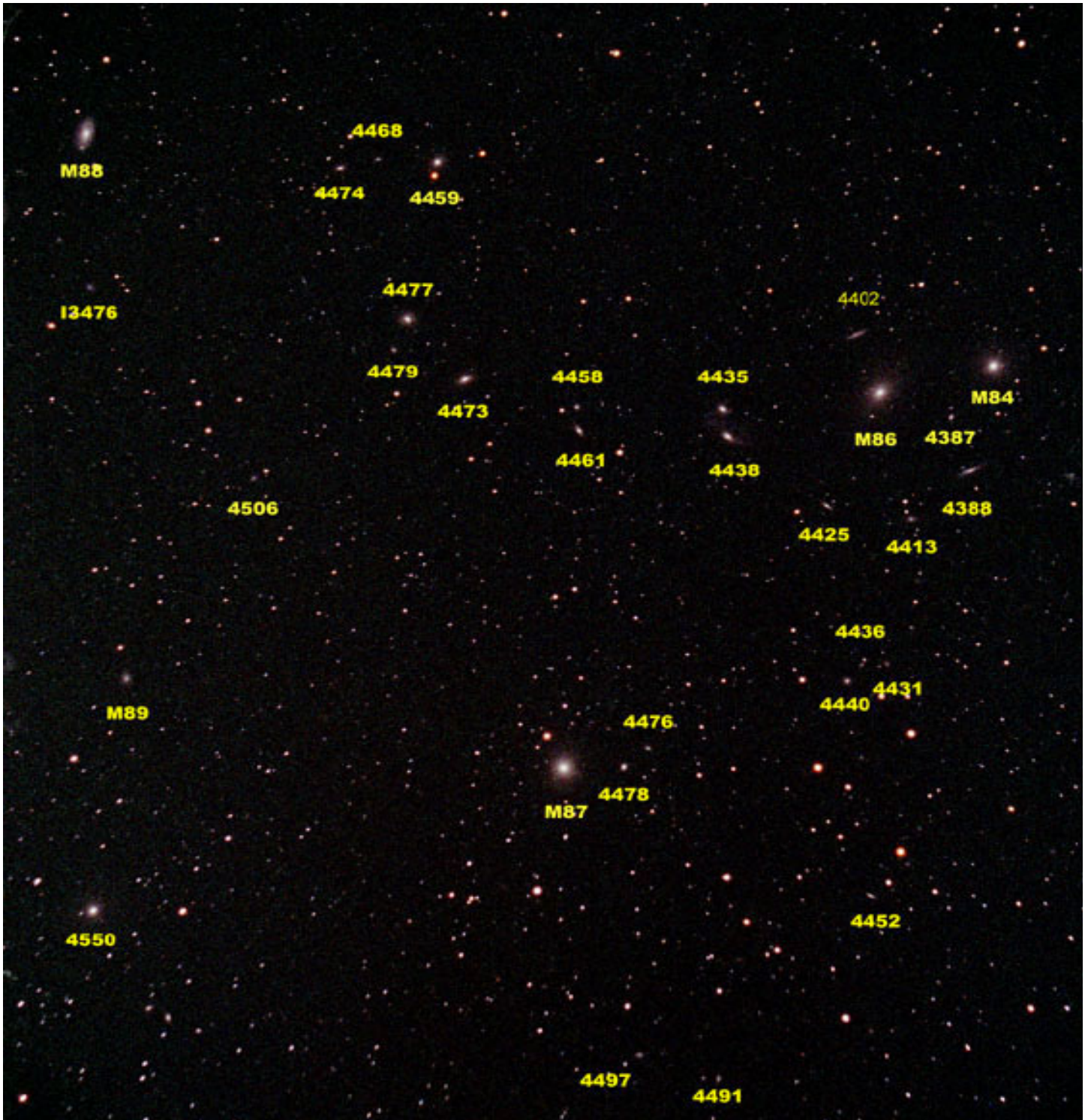
*Na wykresie: Trójwymiarowa mapa galaktyk uzyskana w badaniach. Czarne punkty wskazują położenia galaktyk, a niebieski kolor oznacza ich zwiększoną gęstość. Czerwona strzałka wskazuje najodleglejszą z wykrytych protogalaktyk.*

*Źródło: NAOJ/Harikane et al.*

### **Przykład gromady „współczesnej”: Gromada galaktyk w Pannie**

- Ponad tysiąc galaktyk w Gromadzie galaktyk w Pannie (łac. *Virgo*)
- To najbliższa gromada względem grupy galaktyk, do której należy Droga Mleczna, czyli tzw. Grupy Lokalnej. Grupa Lokalna należy do *Virgo*.
- Obejmuje duży obszar na niebie.
- Dominuje w niej gigantyczna galaktyka eliptyczna M87.



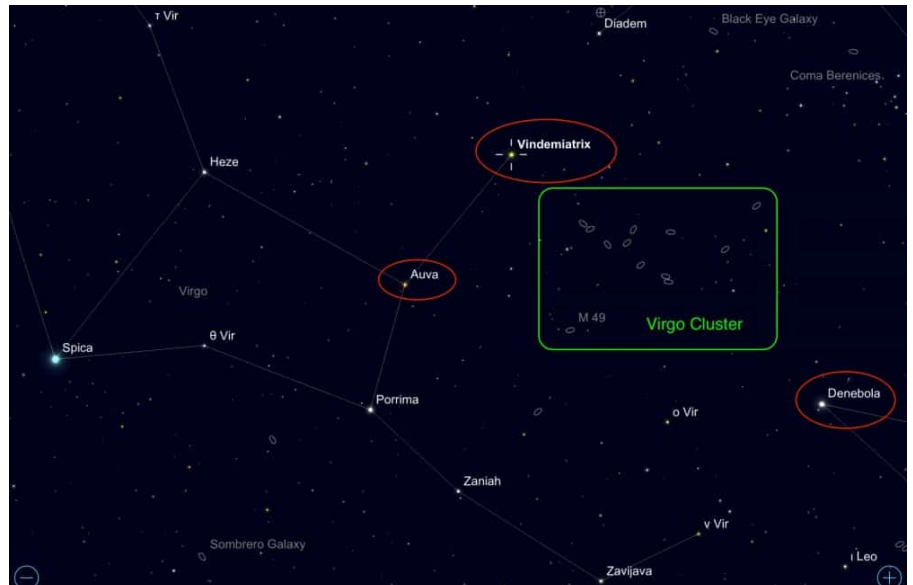


*Gromada galaktyk w Pannie*

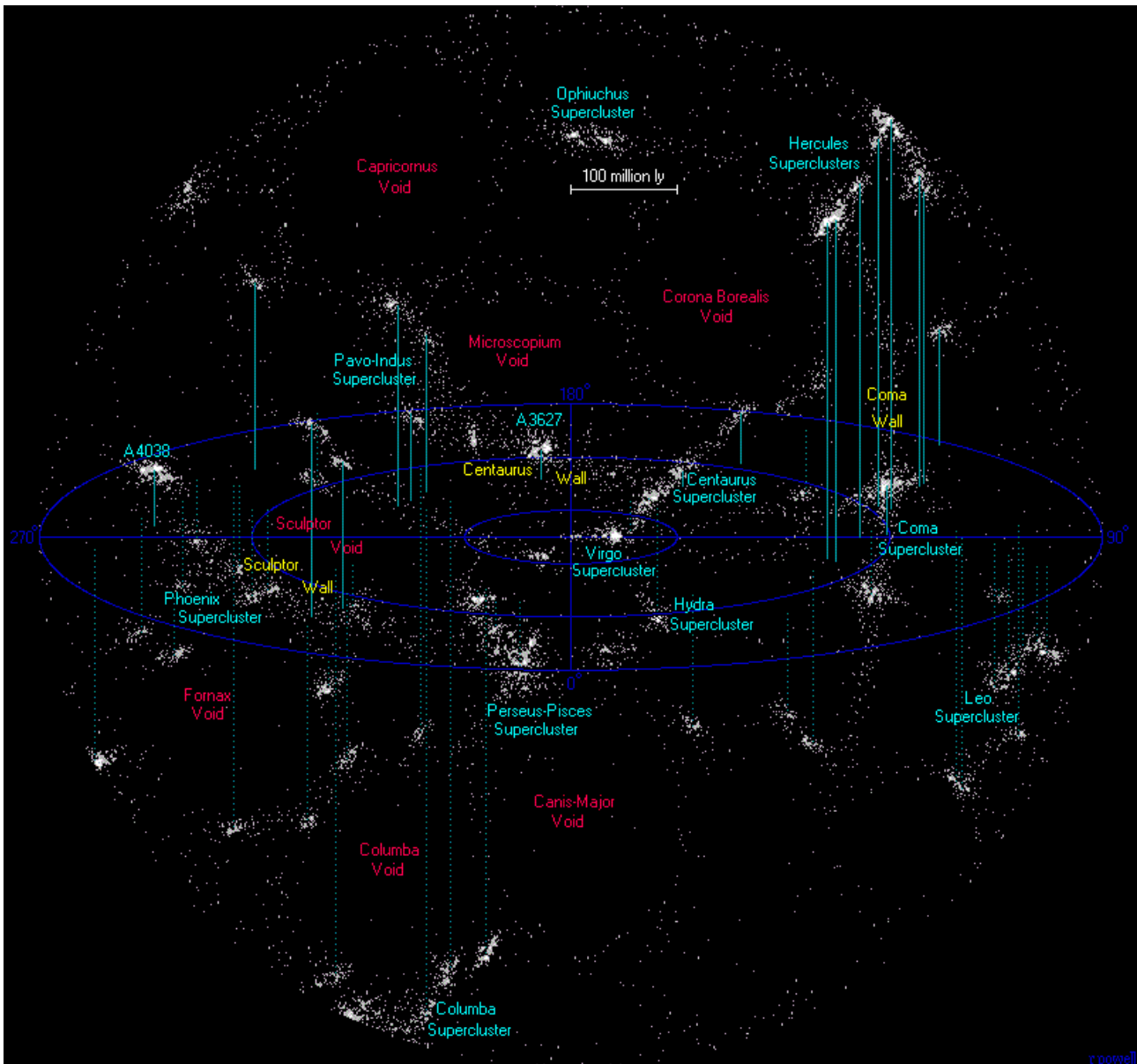


**M87**





- **Supergromady:** zgrupowania setek do tysięcy grup i gromad galaktyk.
- Jedne z największych struktur we Wszechświecie – poza włóknami i pustkami. Istnienie supergromad wskazuje na to, że galaktyki są rozłożone we Wszechświecie nierównomiernie w dużych skalach.
- **Supergromady** mogą mieć rozmiary rzędu setek milionów lat świetlnych. Nieznane są „gromady supergromad”; supergromady występują najczęściej w „ścianach” galaktyk, otaczających pustki,
- Ilość: ok 10 milionów
- Powstały prawdopodobnie we wczesnym Wszechświecie, gdy materia zaczęła się skupiać pod wpływem grawitacji. Supergromady nie są strukturami związanymi grawitacyjnie, bo ze względu na ich rozmiary, czas konieczny do osiągnięcia do równowagi dynamicznej jest dla nich większy niż czas ich istnienia (to różni je od gromad).
- **Nasz kosmiczny adres:** Ziemia → Układ Słoneczny → Droga Mleczna → Grupa Lokalna (jedna z ponad 100 grup i gromad Supergromady Lokalnej w Pannie) → Gromada galaktyk w Pannie → Supergromada w Pannie → pustka (?)



## Grupa lokalna

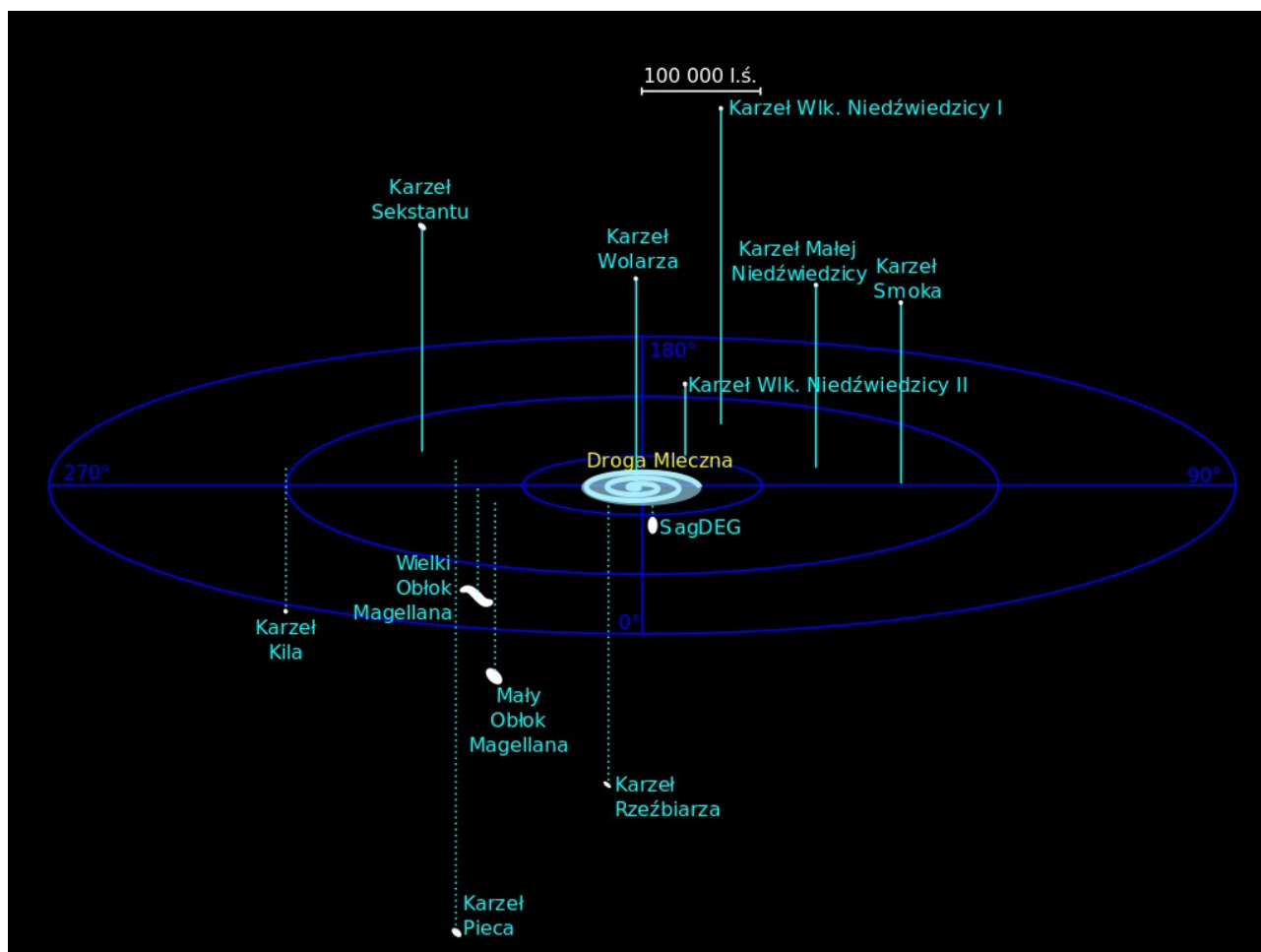
- Grupa galaktyk – układ niewielkiej liczby galaktyk (nie więcej niż 50) rozmieszczonych w obszarze o rozmiarach około 2 Mpc i masie rzędu  $10^{13} M_{\odot}$ .
- Na ogół w grupie dominuje jedna lub kilka jasnych galaktyk otoczonych przez obiekty słabsze, tzw. galaktyki satelitarne. Droga Mleczna i Wielka Mgławica Andromedy są dominującymi galaktykami Grupy Lokalnej (90% jej masy).



M31 -  
Andromeda



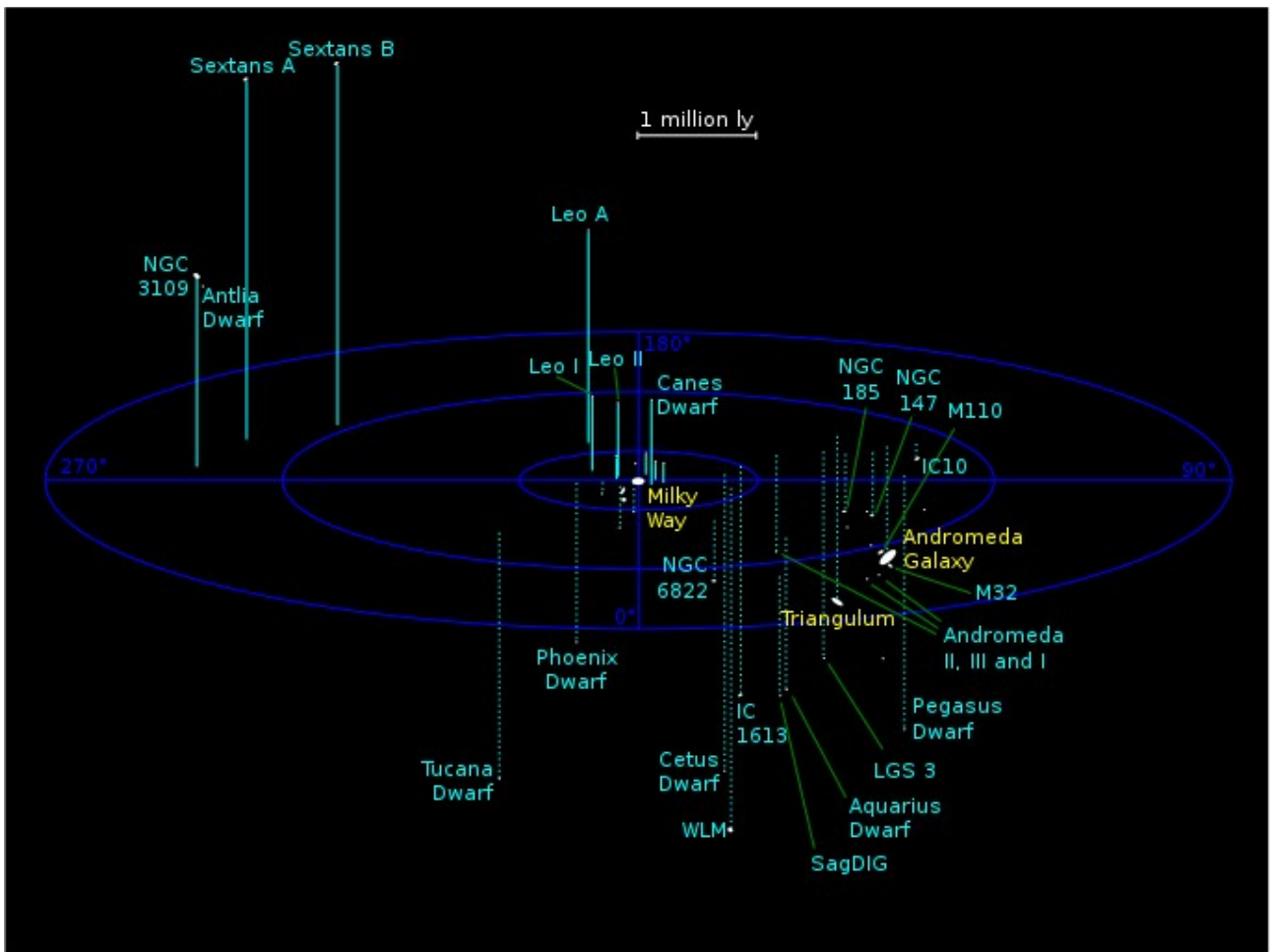
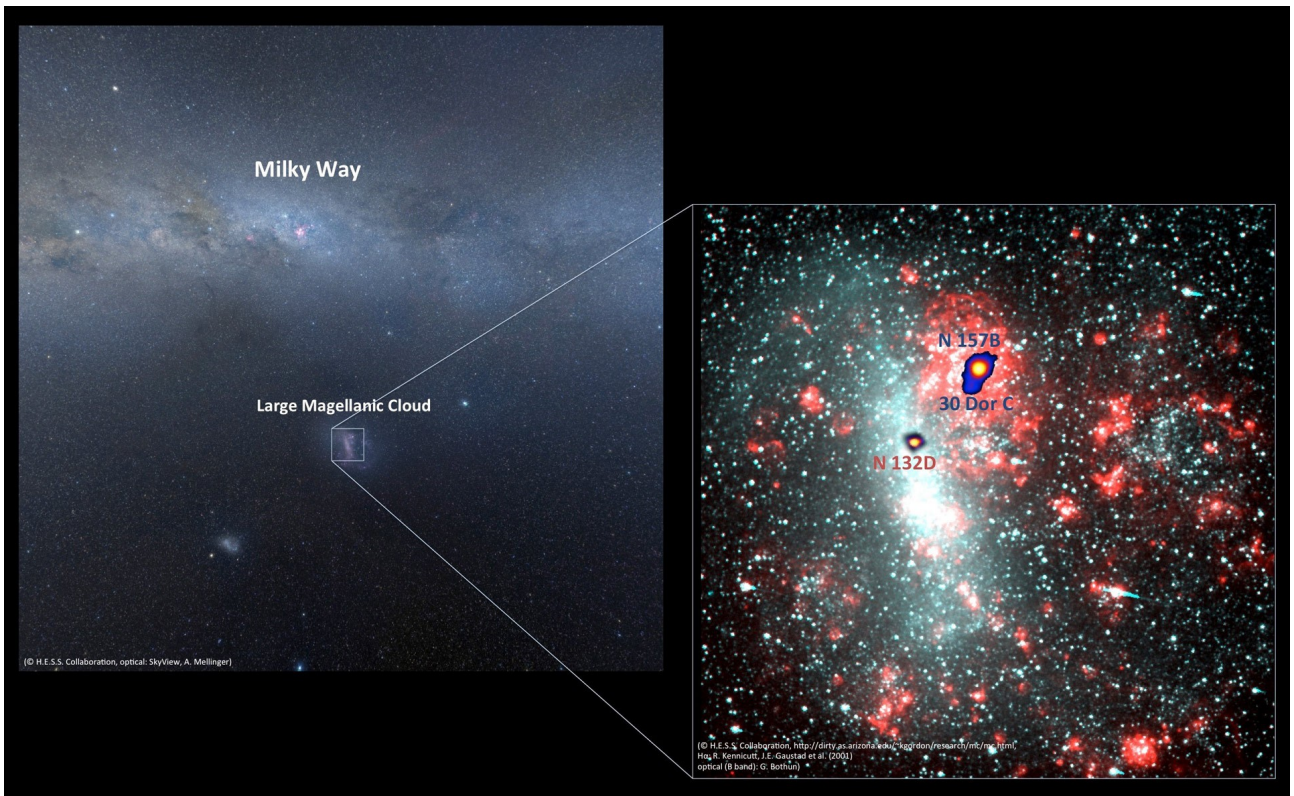
- **Obłoki Magellana** – nieregularne, karłowate galaktyki orbitujące wokół Drogi Mlecznej





© Gilbert Vancell Nature Photography | [gvancell.com](http://gvancell.com)







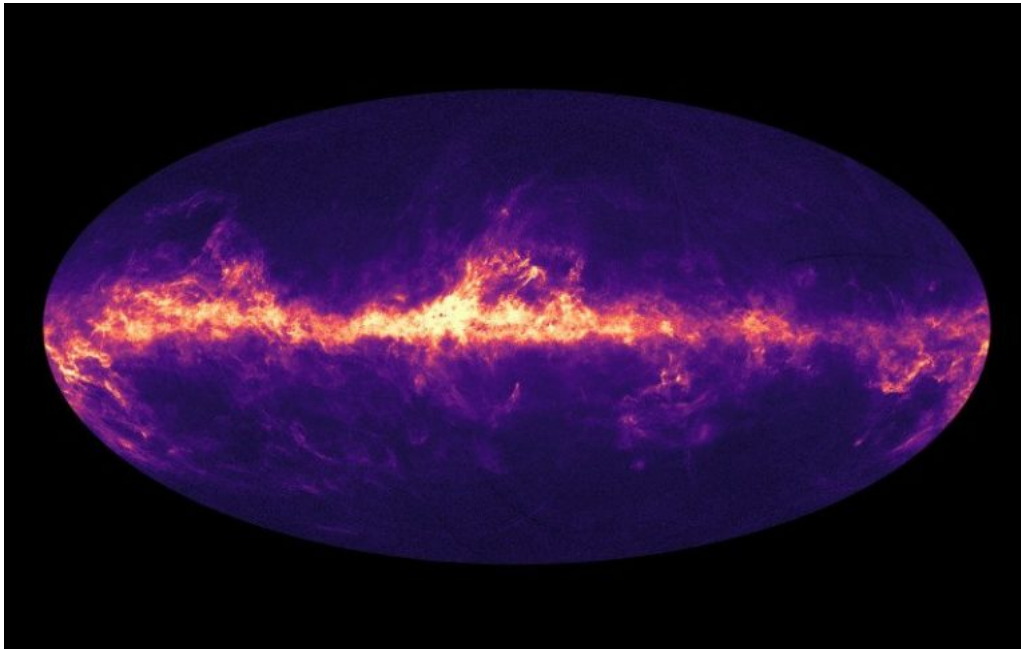
## Ultragłębokie Pole Hubble'a

- (ang. *Hubble Ultra Deep Field*, HUDF) – obraz niewielkiego obszaru nieba w gwiazdozbiornie Pieca.
- Zdjęcie powstało dzięki serii 800 obserwacji Kosmicznym Teleskopem Hubble'a, w ciągu których okrążył on Ziemię 400 razy od 2003 do 2004 r. Sfotografowany obszar ma rozmiary kątowe 3' (rektascensja  $3^{\text{h}}32^{\text{m}}40,0^{\text{s}}$ , deklinacja  $-27^{\circ}47'29''$  (J2000)). Do momentu opublikowania Ekstremalnie Głębokiego Pola Hubble'a było to najdalej sięgające zdjęcie astronomiczne, jakie wykonano w świetle widzialnym. Pokazuje Wszechświat sprzed 13 miliardów lat. Zawiera obrazy około 10 000 galaktyk.



Więcej:

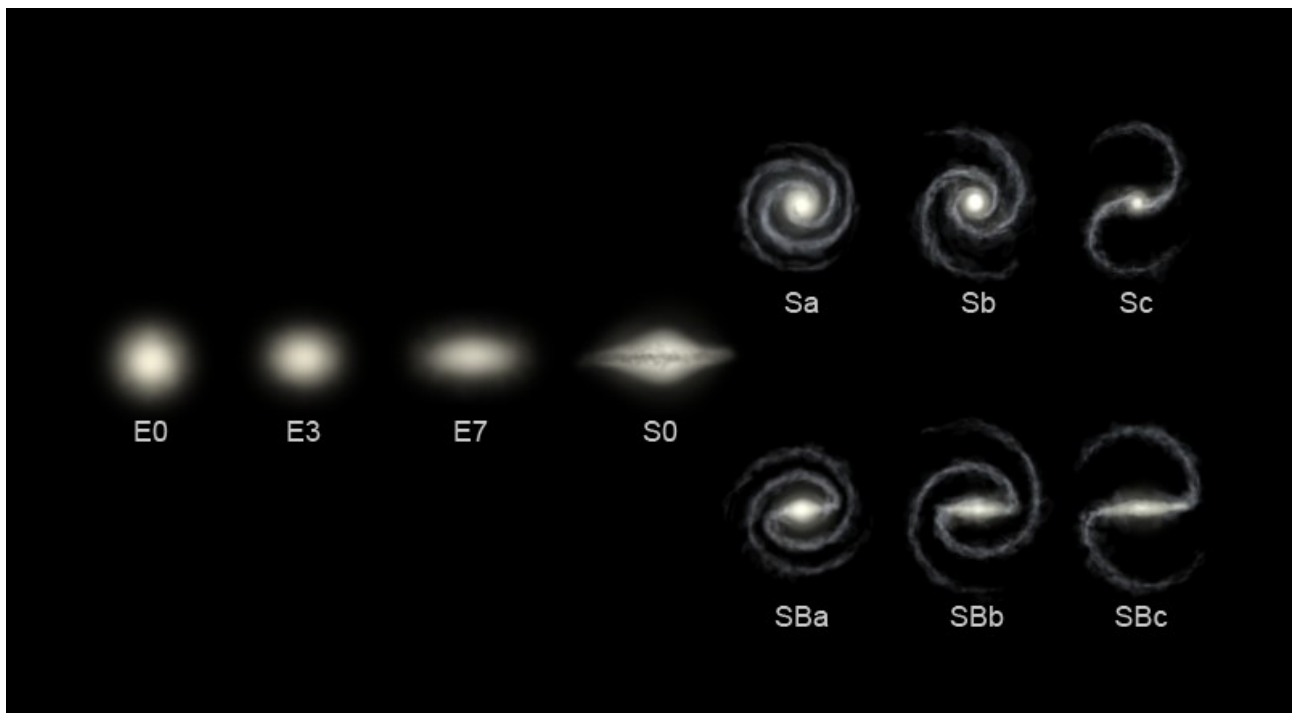
Misja Gaja: <https://esero.kopernik.org.pl/najwieksza-mapa-3d-naszej-galaktyki/>



Więcej:

<http://cosmicweb.uchicago.edu/filaments.html>

### Rodzaje galaktyk – klasyfikacja Hubble’a



## Eliptyczne - E



**Soczewkowate – S0** - np. galaktyka Wrzeciono. Tym pośredni między E i S. Posiadają dysk, ale bez śladów struktury spiralnej. Nie zawierają młodych gwiazd ani materii międzygwiazdnej, co jest typowe dla galaktyk eliptycznych.



**Spiralne – S** – np. Droga Mleczna, M31. Dysk jest płaskim rotującym zbiorowiskiem materii międzygwiazdnej, młodych gwiazd I populacji i otwartych gromad gwiazd.. Większość galaktyk jest typu S.





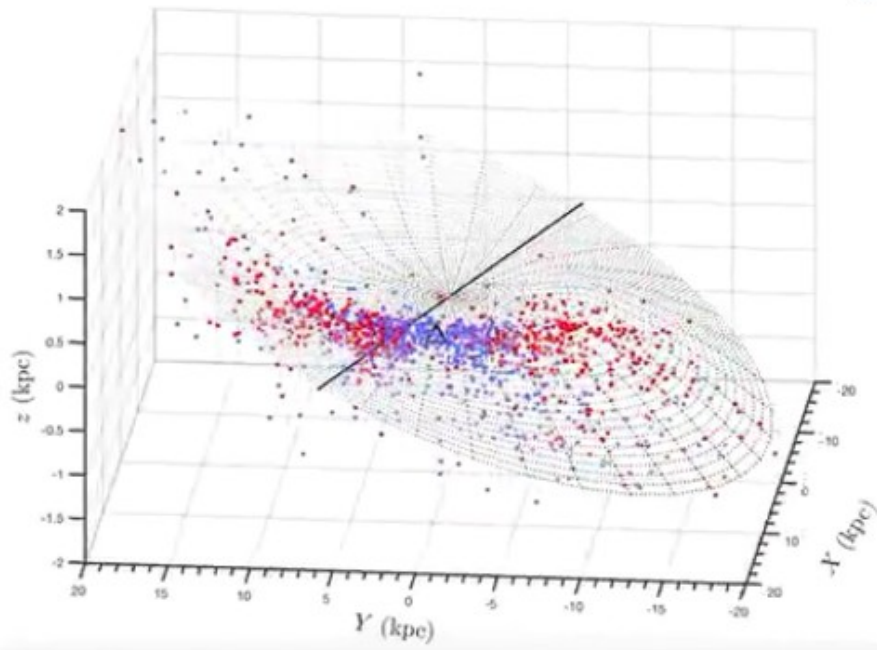


Galaktyka spiralna [NGC 3370](#) Zdjęcie wykonane przez teleskop Hubble'a

## Droga Mleczna

- Jest silnie wygięta ku brzegom (jeden z naszych 1 wykładów w tym semestrze)
- Układ ok. około 200 mld gwiazd.
- Centrum – supermasywna czarna dziura Sgr A
- Ma średnicę około 100 000 i grubość ok. 1000 lat świetlnych.
- Oglądamy jej dysk „od środka”, Układ Słoneczny znajduje się w pobliżu jego płaszczyzny. Droga Mleczna jest najjaśniejsza w kierunku jej centrum w gwiazdozbioru Strzelca. Płaszczyzna równika galaktycznego jest nachylona do płaszczyzny równika niebieskiego i silnie nachylona do płaszczyzny ekliptyki, czyli orbity ziemskiej.

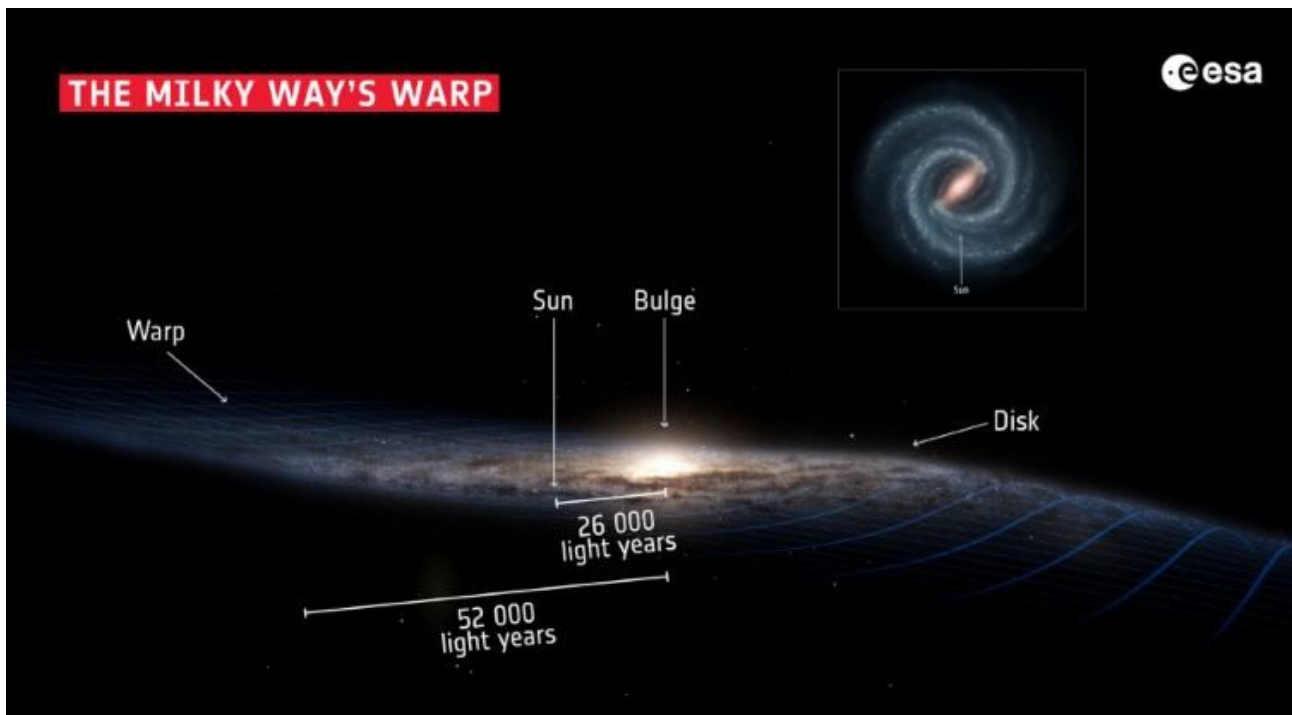
Źródło:

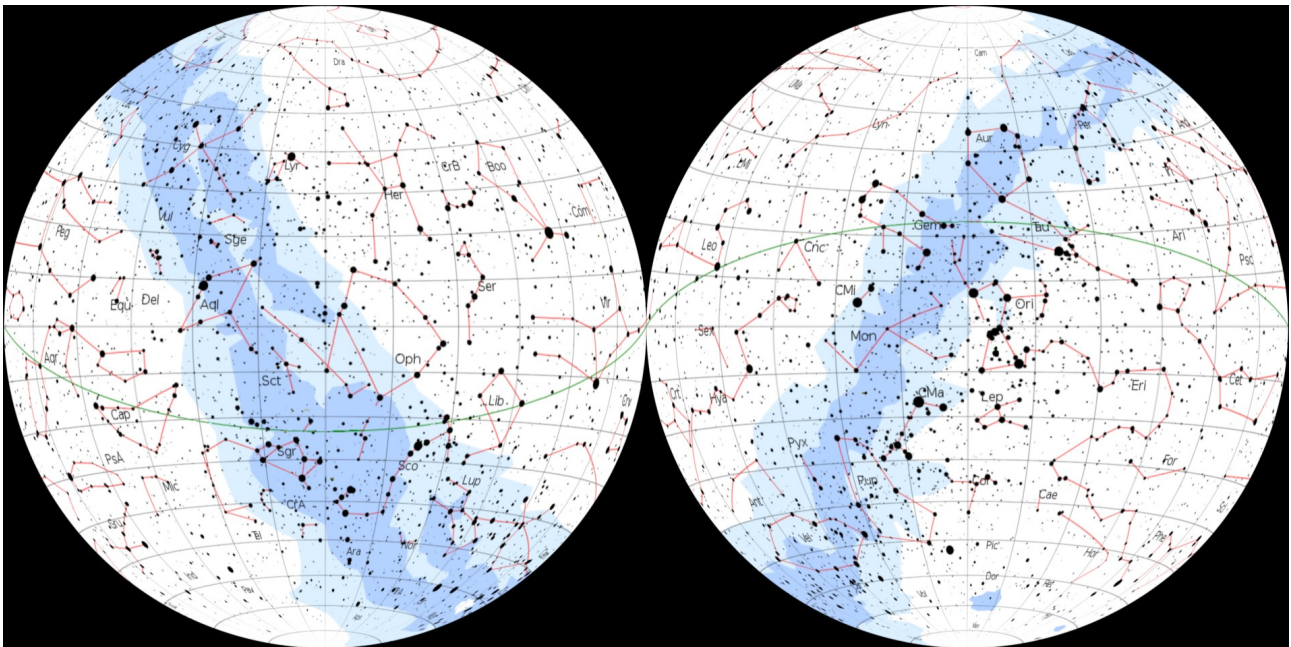


 **Nature Astronomy**   
@NatureAstronomy



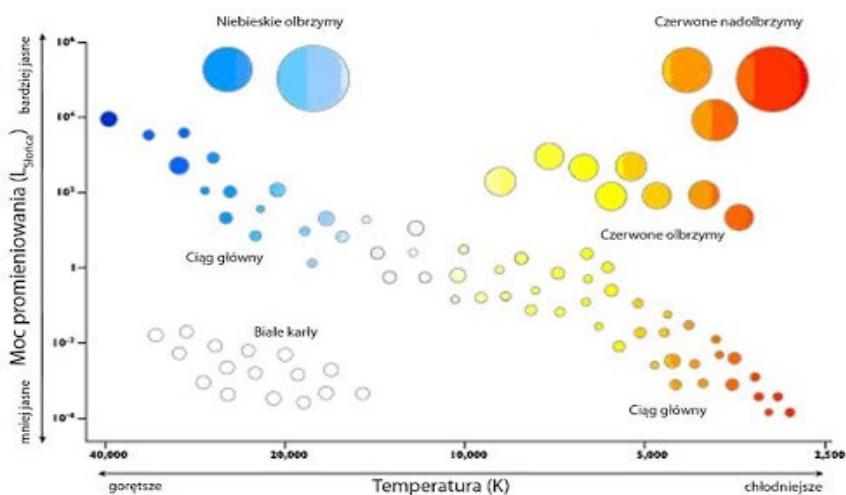
<https://www.urania.edu.pl/wiadomosci/naukowcy-wyznaczyli-dokladny-ksztalt-drogi-mlecznej-1>





## Gwiazdy

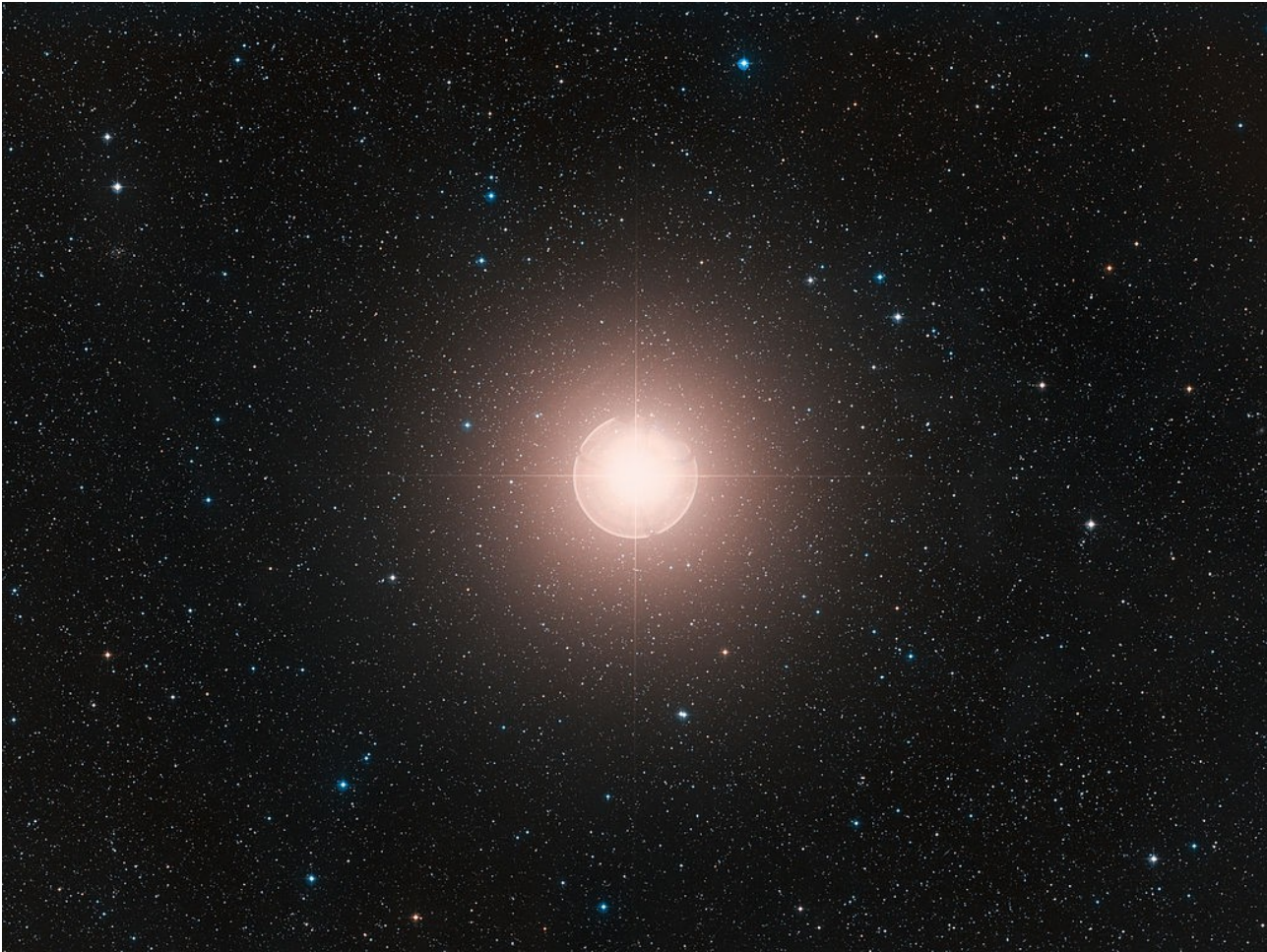
- Osiągają różne wielkości i barwy – największe nadolbrzymy (np. Betelgeza) mają rozmiary kilkaset razy większe od Słońca.
- Kolor zależy od temperatury powierzchni. Poszczególne typy gwiazd przedstawia **diagram Hertzsprunga-Russella**. Miejsce gwiazdy na diagramie na ciągu głównym zależy od jej temperatury (i barwy) oraz jasności. W trakcie ewolucji gwiazda przemieszcza się po ciągu głównym przez czas od kilku milionów (największe i najgorętsze gwiazdy), miliardów (gwiazdy o średniej masie, np. Słońce) do dziesięciu bilionów lat (czerwone karły, gwiazdy o takiej gęstości, że zamiana wodoru w hel zachodzi w nich bardzo powoli).
- Zejście gwiazdy z ciągu głównego: po skończeniu się wodoru lub innego paliwa w jądrze. Tworzone są coraz bardziej masywne pierwiastki, rośnie gęstość gwiazdy, spada też przewodnictwo cieplne gazu → spada temperatura powierzchni i rośnie temperatura wnętrza gwiazdy, przez co zapadają się zewnętrzne warstwy materii. Temperatura gwiazdy nagle wzrasta, zewnętrzne warstwy są znów wypychane i gwiazda rośnie do dużych rozmiarów (olbrzymy, nadolbrzymy)
- Proces ten nie jest stabilny, prawie wszystkie czerwone olbrzymy są gwiazdami zmiennymi.

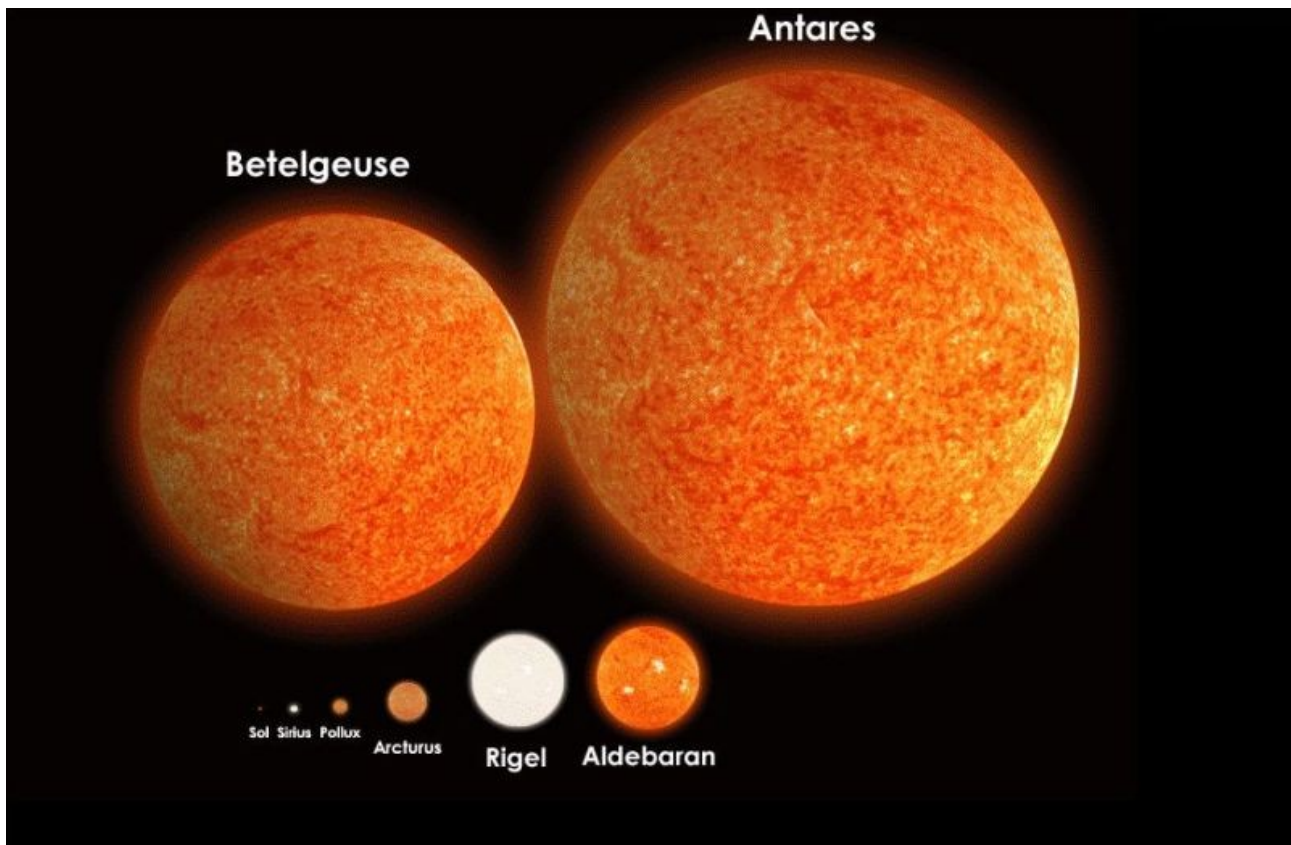




UY Scuti

Sun





## Prawo Wiena

Powstała we wnętrzu gwiazd energia jest transportowana ku powierzchni Słońca, skąd „świeci”. Czyniąc pewne uproszczenia - fotosfera słoneczna promieniuje jak ciało doskonale czarne możemy, posiłkując się prawem Stefana-Boltzmann, zapisać:

$$E = \sigma T^4$$

a stąd obliczyć temperaturę efektywną powierzchni Słońca (6000 K).

Ilość energii emitowanej przez jednostkę powierzchni ciała doskonale czarnego opisana jest wzorem Plancka. Gdybyśmy dokonywali pomiaru wprost na emitującej powierzchni, to dla ustalenia temperatury ciała wystarczyłby pomiar natężenia na jednej długości fali. Wtedy przekształcając wzór Plancka otrzymalibyśmy temperaturę – jako jedyną niewiadomą w równaniu. Nie możemy jednak dokonać pomiarów bezpośrednio na powierzchni Słońca. Mierzymy natężenia oświetlenia promieniowaniem słonecznym w pewnym oddaleniu. W miarę oddalania się od świecącego obiektu natężenie to maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Gdybyśmy znali dokładnie odległość  $r$  pomiędzy źródłem promieniowania a obserwatorem, to mierząc natężenie oświetlenia dla pewnej długości fali i mnożąc je przez pole powierzchni sfery o promieniu  $r$  otrzymalibyśmy natężenie oświetlenia dla tej długości fali na powierzchni źródła, a stąd poprzez wzór Plancka samą temperaturę.

Ale: Temperaturę gwiazd można też otrzymać obserwując rozkład natężenia promieniowania w funkcji długością fali. Jeśli uda się określić długość fali  $\lambda_{\max}$ , której odpowiada maksimum

natężenia światła gwiazdy to, przy założeniu, że gwiazda promieniuje jak ciało doskonale czarne, możemy określić jej temperaturę z **prawa Wiena**:

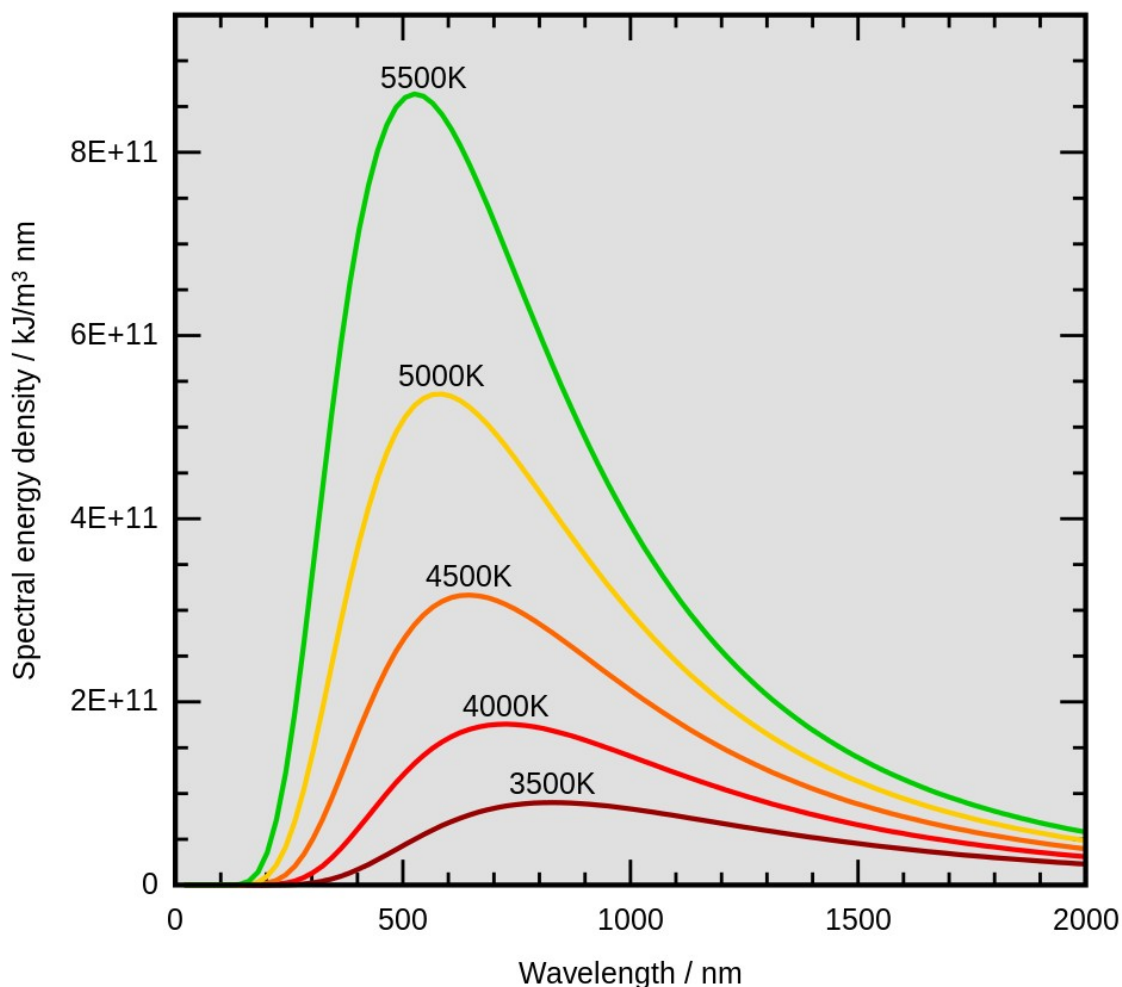
$$\lambda_{\max} T = \text{const} = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

**Prawo Wiena** – opisuje promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez ciało doskonale czarne. Ze wzrostem temperatury widmo promieniowania ciała doskonale czarnego przesuwa się w stronę fal krótszych, zgodnie ze wzorem:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

T – temperatura ciała doskonale czarnego mierzona w kelwinach, b – pewna stała

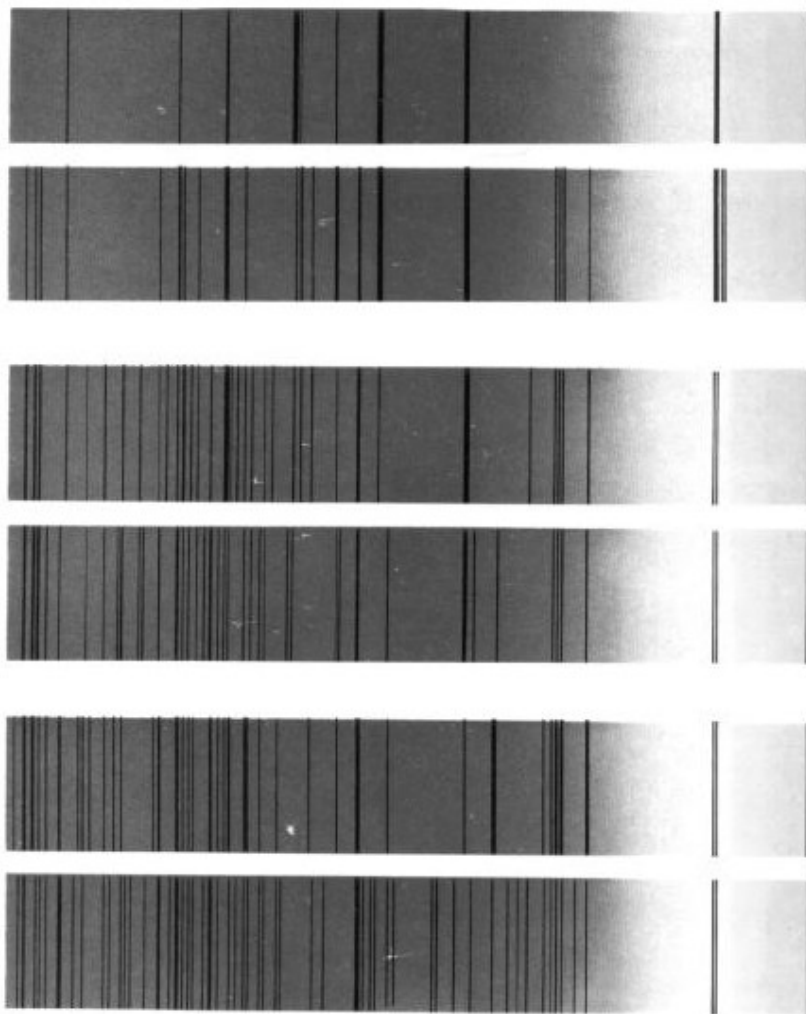
Prawo Wiena zostało odkryte przez Wilhelma Wiena, który sformułował je na podstawie danych doświadczalnych w 1893 roku. Teoretycznie prawo to można wyprowadzić z rozkładu Plancka promieniowania ciała doskonale czarnego (Planck, 1900).



Rozkład Plancka dla różnych temperatur. Moc (kJ/s) promieniowana przez ciało o powierzchni 1m<sup>2</sup> do pełnego kąta bryłowego w zakresie długości fal od 0 do 2 μm.



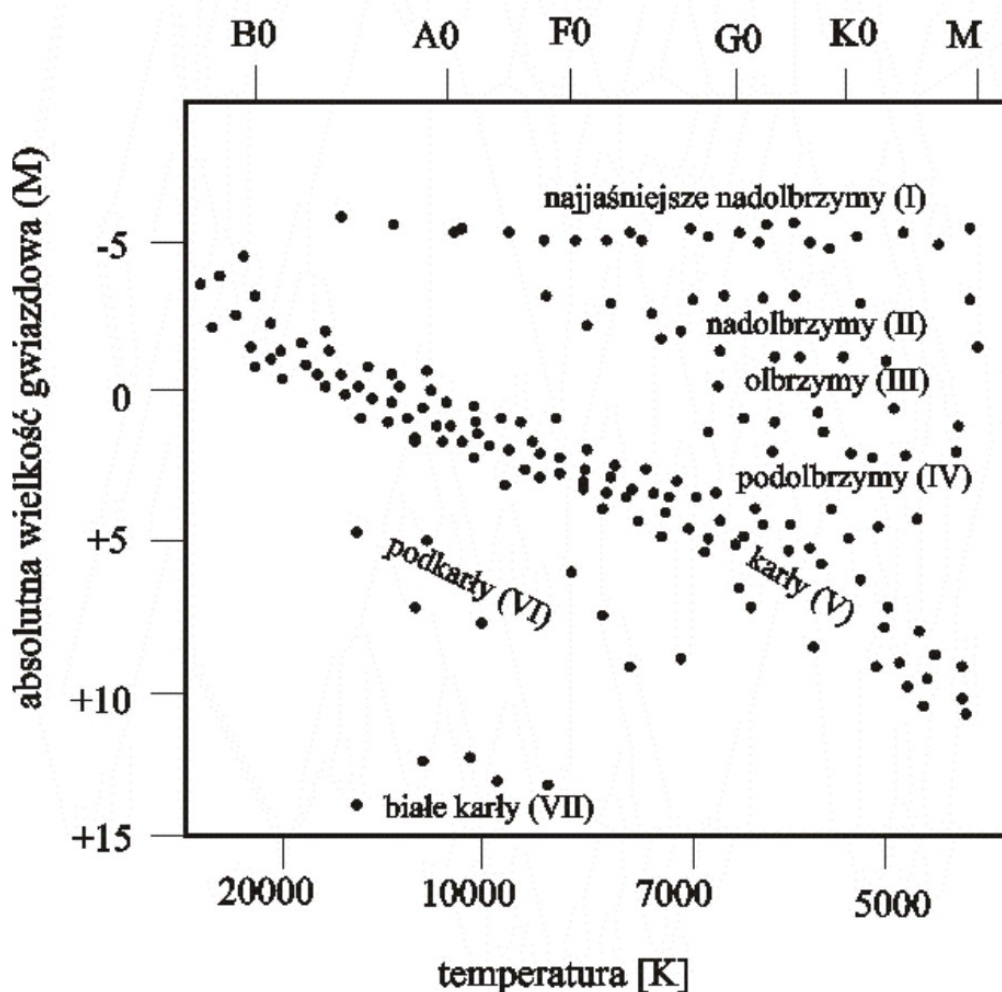
- Obserwuje się duży rozrzut jasności i barw gwiazd. Rozrzut wynika zarówno z niejednakowych mocy promieniowania poszczególnych gwiazd, jak również z niejednakowych odległości dzielących obserwatora od gwiazdy.
- Sporo cennych informacji o gwiazdzie możemy uzyskać, gdy docierające od niej światło rozszczepimy z użyciem spektrografu - uzyskamy jej widmo. Widma niemal wszystkich gwiazd składają się z widma ciągłego z nałożonymi na nie liniami absorpcyjnymi
- Gdy opanowano technikę masowego otrzymywania widm gwiazdowych z użyciem pryzmatów obiektywowych, stwierdzono duże zróżnicowanie wśród tych widm. Ze względu na samą obecność lub brak linii absorpcyjnych różnych pierwiastków, a także w oparciu o mierzone stosunki natężeń obserwowanych linii podzielono umownie gwiazdy na siedem typów widmowych: O, B, A, F, G, K oraz M. Później dodano: R, N i S.



Dla zainteresowanych: <https://www.urania.edu.pl/wiadomosci/klisze-harvardu-klasyfikacja-gwiazd-kobiety-astronomii-3182.html>

- Wśród gwiazd klasyfikowanych jako dany typ dokonuje się jeszcze podziału na podtypy numerowane od 0 do 9. Kryterium przynależności do danego typu (podtypu) widmowego jest stosunek natężeń wybranych linii absorpcyjnych w widmie gwiazdy.
- Podział gwiazd na typy widmowe jest równocześnie podziałem ze względu na temperatury fotosfer. Wygląd widma gwiazdy zależy wyraźnie od jej temperatury.
- Gwiazdy najgorętsze - typ O5 – ok. 50 000 K
- A0 - około 10 000 K
- M0 - 3500 K.

- W funkcji temperatury zmienia się nie tylko widmo absorpcyjne gwiazd, ale i ich widmo ciągłe. Zgodnie z prawami promieniowania dla ciała doskonale czarnego gwiazdy gorące będą emitować intensywniej w krótkofalowej części widma niż gwiazdy chłodniejsze.
- Dlatego gwiazdy wczesnych typów widmowych będą bardziej niebieskie (Wega, Syriusz, Altair, Deneb) niż gwiazdy późnych typów (Betelgeza, Antares, Aldebaran).
- Ale też: związek barwy i temperatury z etapem życia gwiazdy. Na różnych etapach ewolucji gwiazda może w sposób wyraźny zmieniać swoje rozmiary, a co za tym idzie, powierzchnię fotosfery. Im większa powierzchnia fotosfery przy ustalonej temperaturze, tym gwiazda mocniej promieniuje, czyli jej jasność absolutna jest większa. Dla ustalonej temperatury gwiazdy, czyli dla ustalonego typu widmowego możemy mieć do czynienia z gwiazdami o różnym stopniu ewolucyjnego zaawansowania. Te różne stopnie ewolucji znajdują odbicie w różnych jasnościach absolutnych gwiazd.
- Początek XX wieku - **Diagram Hertzsprunga-Russella (H-R)** - czy jasności absolutne gwiazd korelują się z ich typami widmowymi, a zatem i temperaturą? Hertzsprung i Russell sporządzili wykres dla tych wielkości i zauważyli ciekawe korelacje.



### **Diagram HR a odległości do gwiazd**

- Czasem gwiazda jest zbyt odległa, by dało się dla niej zmierzyć paralaksę trygonometryczną. Wtedy przydaje się diagram H-R.
- Musimy najpierw uzyskać widmo gwiazdy i ustalić jej typ widmowy oraz klasę jasności.
- Typ widmowy pozwala ustalić położenie gwiazdy wzdłuż osi poziomej diagramu H-R

- Klasa jasności - wzdłuż osi pionowej. Na tej osi odczytujemy absolutną wielkość gwiazdową.
- Mając zmierzoną widomą wielkość gwiazdową interesującego nas obiektu, ze wzoru na moduł odległości wyliczymy jego odległość. To tzw. **paralaksa spektroskopowa**.

Przykład:

