

Wszechświat w mojej kieszeni



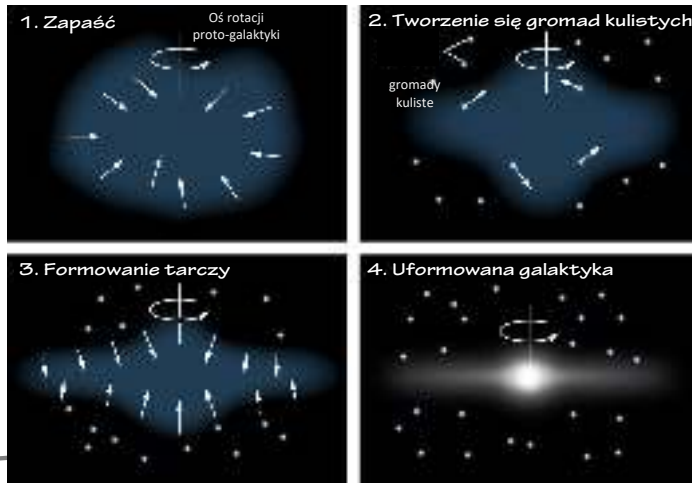
Narodziny i życie galaktyk



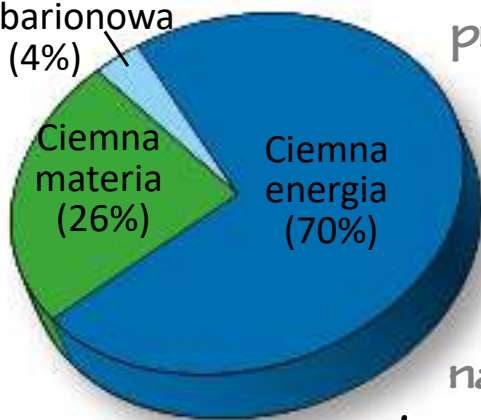
Marina Trevisan
Universidade Federal do
Rio Grande do Sul,
Brazylia

W modelu zaproponowanym w 1962 r. przez Olin Eggen'a, Donald Lynden-Bell'a i Allan Sandage'a, galaktyki uformo-

wały się z kolapsu gigantycznego obłoku gazu około 10 miliardów lat temu. Strzałki na rysunku wskazują kierunek ruchu gazu. Dziś wiemy, że proces formowania galaktyk jest bardziej złożony niż sugeruje to ten model.



Materia barionowa (4%)



W 1933 r. Fritz Zwicky zmierzył prędkości galaktyk w masywnej gromadzie, a znaczny rozrzut prędkości doprowadził go do wniosku, że masa gromady jest zdominowana przez niewidzialną ciemną materię. W 1998 r.

dwa zespoły badaczy odkryły, że Wszechświat rozszerza się w przyspieszonym tempie. Ponieważ nie znamy natury energii, która powoduje to przyspieszenie, nazwaliśmy ją ciemną energią.

Wszechświat galaktyk

W 1924 r. Edwin Hubble wykazał, że obserwowane mgławice spiralne są tak naprawdę innymi galaktykami podobnymi do naszej Drogi Mlecznej*. Minęło około 30 lat, zanim pojawiły się pierwsze modele wyjaśniające powstawanie tych obiektów - nasza wiedza na ten temat jest bardzo świeża.

Obecna teoria powstawania i ewolucji galaktyk jest zbudowana w kosmologicznych ramach zimnej ciemnej materii Lambda. W tym kontekście Wszechświat zawiera trzy główne składniki: około 26% zimnej ciemnej materii, 70% ciemnej energii i tylko 4% znanej nam materii, zwanej materią barionową. Proporcje pomiędzy tymi składnikami określają w jaki sposób tworzą się i ewoluują struktury we Wszechświecie. Do tej pory nie wiemy czym są wspomniane ciemne składniki.



Fluktuacje
gęstości

Zapadanie się i
tworzenie
halo



Ciemna materia
+ gorący gaz

Wolno rotujący gaz
chłodzi się i tworzy
gwiazdy

Szybko rotujący
gaz chłodzi się
i tworzy gwiazdy



Sferoida



Fuzja galaktyk*

Spotkanie
z inną
galaktyką



Płyta



Napływ gazu i
tworzenie się nowego dysku



**Galaktyka
eliptyczna**

**Galaktyka
spiralna**

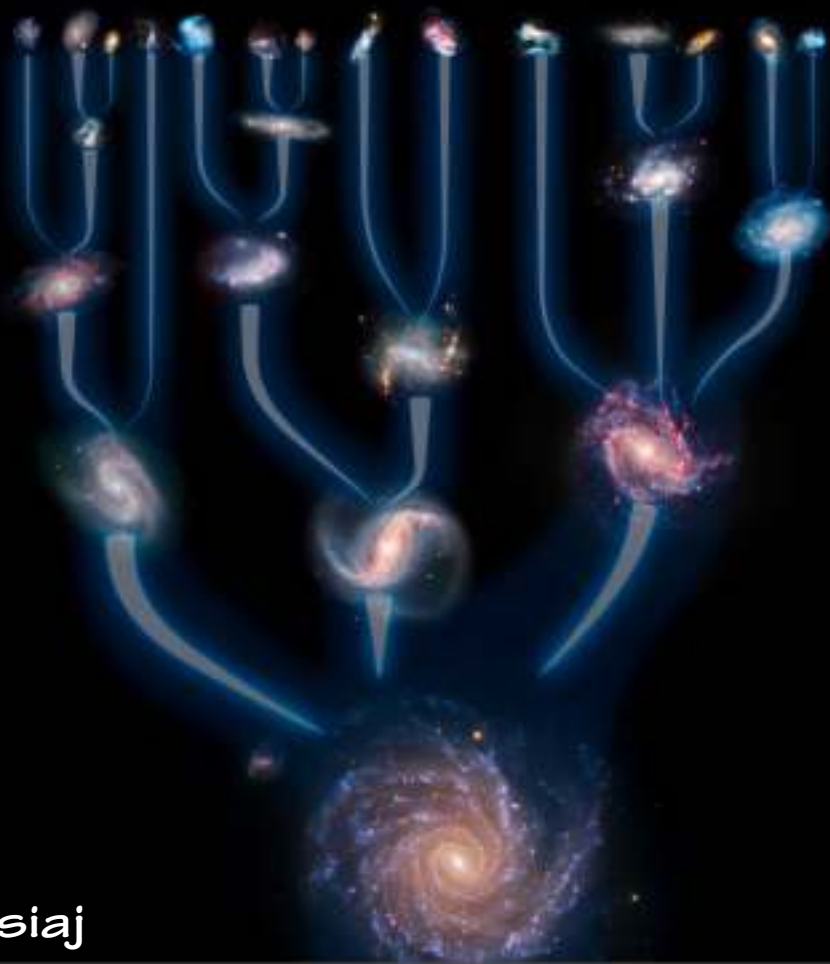


*najbardziej powszechny sposób
niszczenia dysków galaktyk
zamieniający je w sferoidy.

Z drobnych fluktuacji gęstości

Teoria powstawania i ewolucji galaktyk ma za zadanie wyjaśnić kiedy i w jaki sposób różne procesy fizyczne uformowały różne rodzaje galaktyk, które obserwujemy obecnie. Wiemy, że sekwencja Hubble'a* nie jest ewolucyjna. Diagram na przeciwnej stronie ilustruje ścieżki, które mogą prowadzić do powstania galaktyk eliptycznych i spiralnych. Wszystko zaczyna się od drobnych **fluktuacji gęstości** w bardzo młodym Wszechświecie. W miarę jak Wszechświat się rozszerza**, amplituda tych fluktuacji staje się coraz większa. W końcu **gravitacja zwycięża** i halo ciemnej materii zapada się. Gorący gaz jest przyciągany do halo i chłodzi się, tworząc gwiazdy. To, czy w rezultacie powstanie galaktyka eliptyczna czy spiralna, zależy od tego, jak dużo rotacji i gazu ma halo oraz czy dojdzie do fuzji z innymi galaktykami.

W przeszłości



Dzisiaj

Kredyty: ESO/L. Calçada

W hierarchicznym modelu powstawania galaktyk, najpierw tworzą się mniejsze galaktyki, które łączą się w coraz większe .

Drzewo fuzji pokazane na powyższym rysunku ilustruje ten proces. Modele wskazują, że im większa galaktyka, tym większy udział gwiazd uzyskanych w wyniku fuzji z mniejszymi układami.

Wszechświat hierarchiczny

W modelu kosmologicznym opisującym Wszechświat, początkowe fluktuacje gęstości mają większe amplitudy w mniejszych skalach. Najpierw powstają mniejsze halo ciemnej materii, które łączą się, tworząc coraz większe halo. Historia formowania się halo może być opisana przez **drzewo fuzji**. Mniejsze galaktyki znajdują się w mniejszych halo, więc formowanie galaktyk zachodzi w sposób **hierarchiczny**. Obserwacje pokazują, że mniejsze galaktyki formowały gwiazdy w późniejszym czasie niż galaktyki masywne. Ten efekt "**pomniejszenia**" występuje, gdyż masywne galaktyki wcześniej osiągnęły krytyczną masę całkowitą, co uniemożliwiło dalsze formowanie się gwiazd. Małe galaktyki mogą formować gwiazdy przez dłuższy czas. Prowadzi to do wydłużenia historii formowania się gwiazd i młodszych populacji gwiazdowych.

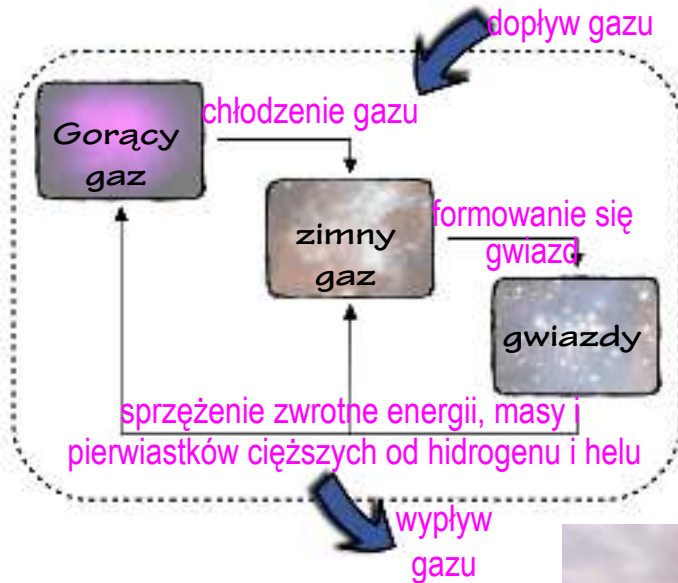


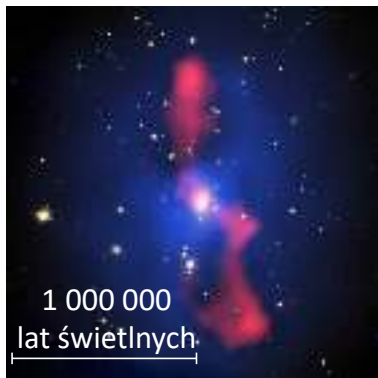
Diagram cyklu powstawania gazu i gwiazd w galaktyce. Jeśli w galaktyce znajduje się zimny gaz, mogą powstawać gwiazdy.

Po prawej: Jak pokazuje rysunek, galaktyki mogą pozyskiwać gaz z ich otoczenia. Jednak mechanizmy sprężenia zwrotnego mogą ogrzewać gaz wokół galaktyki, zapobiegając napływowi gazu, lub nawet wyrzucić jej gaz wewnętrzny.



J. Tumlinson, M. S. Peeples & J. K. Werk; edycja: B. M. Borges

Poniżej: Powyższe mechanizmy w działaniu: wybuchy supernowych powodujące wypływ gazu oraz energia uwalniana przez AGN* wyrzucająca gaz z galaktyki i podgrzewająca gaz wokół galaktyki.



* Patrz TUIMP 6

Przekształcanie gazu w gwiazdy

Dopóki w galaktyce znajduje się gaz i może się on ochładzać to mogą powstawać gwiazdy. Jednakże wybuchy supernowych uwalniają energię, która może ogrzewać i wyrzucać gaz z galaktyki. Jeśli galaktyka jest mała, grawitacja jest zbyt słaba, aby zapobiec ucieczce gazu, a proces **sprężenia zwrotnego po wybuchu supernowej** będzie hamował powstawanie gwiazd. W większych galaktykach sprężenie zwrotne w postaci **AGN*** ma większy wpływ na cykl powstawania gwiazd. W AGN, centralna supermasywna czarna dziura, miliony lub miliardy razy masywniejsza od Słońca, pochłania materię i uwalnia ogromne ilości energii, która ogrzewa otaczający gaz. Badania pokazują, że właściwości galaktyk zależą od masy ich centralnej czarnej dziury, co wskazuje, że ich sprężenie odgrywa fundamentalną rolę w ewolucji galaktyk.

* Patrz TUIMP 6

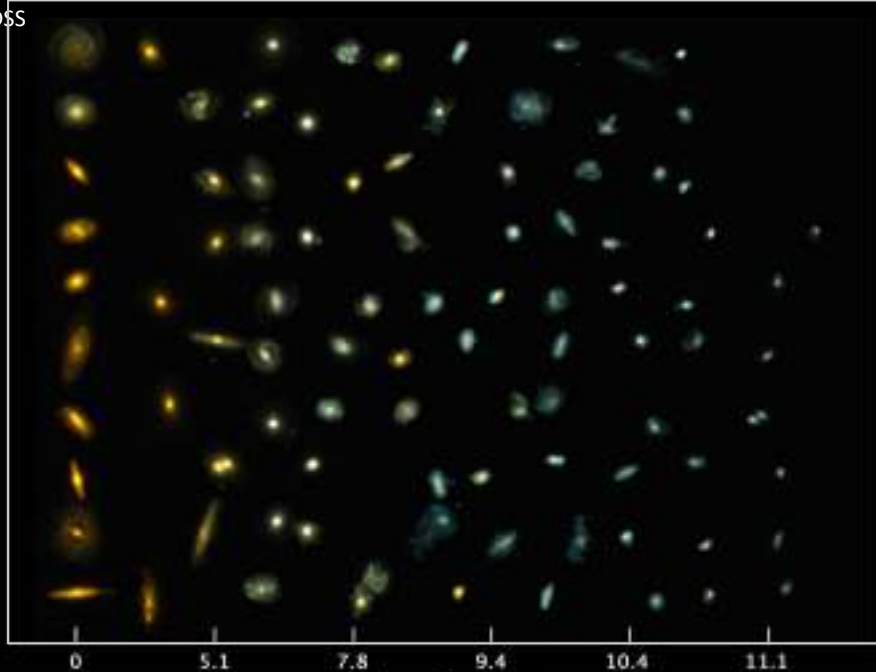
Po prawej: Światło ma skończoną prędkość. Zatem, im dalej są galaktyki, tym dłużej światło emitowane przez nie dociera do nas, czyli widzimy je bardziej w przeszłości.



Rysunek poniżej: obserwacje bardzo odległych galaktyk pokazujące, jak wyglądały one dawno temu.

Galaktyki podobne do Drogi Mlecznej Kosmiczny Teleskop Hubble'a -

SDSS



NASA i ESA

miliardy lat temu

STScI-PRC13-45a

Obserwacje przeszłości

Światło porusza się z prędkością 300 tys. km/s, co jest wartością wysoką, ale skończoną. W konsekwencji głębokie obserwacje nieba **otwierają nam okno do przeszłości**. Dzięki teleskopom kosmicznym możemy obserwować galaktyki tak odległe, że emitowane przez nie światło przemierzało kosmos przez ok. 13 miliardów lat, zanim do nas dotarło. Widzimy je więc takimi, jakie były 13 miliardów lat temu! W przeszłości były one bardziej nieregularne, miały więcej gazu i tworzyły gwiazdy w znacznie szybszym tempie niż galaktyki dzisiaj. Kosmiczny teleskop Hubble'a umożliwił uzyskanie wyraźnych obrazów galaktyk, dzięki czemu odkryto wiele aspektów wczesnej ewolucji galaktyk. Nowy **teleskop kosmiczny James Webb'a** będzie w stanie uzyskać wyraźne obrazy galaktyk na większych odległościach, co pozwoli na zaobserwowanie pierwszych galaktyk!

Galaktyki w symulacjach



Obserwowane galaktyki (Sloan Digital Sky Survey)

Porównanie obserwacji z obrazami galaktyk powstałymi w wyniku symulacji przeprowadzonych na superkomputerach w ramach projektu Illustris-TNG. Powyżej: różne typy morfologiczne. Poniżej: ewolucja symulowanej galaktyki w porównaniu z obserwowanymi galaktykami o podobnym wieku.

Ewolucja symulowanej galaktyki

Zaobserwowane galaktyki (Kosmiczny Teleskop Hubble'a)

12 11 10 8 dzisiaj
miliardy lat temu

12

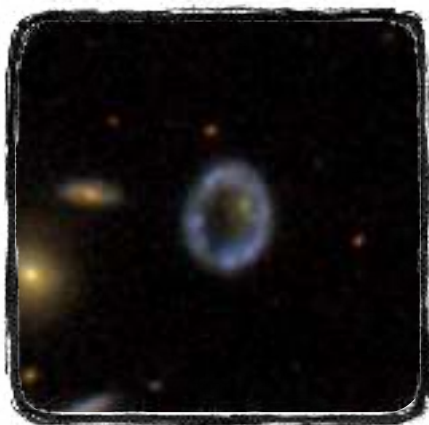
Powstawanie galaktyk

W ostatnich dziesięcioleciach **symulacje kosmologiczne** wykonywane na superkomputerach pomogły zrozumieć jak formowały się i ewoluowały galaktyki. Zdjęcia na drugiej stronie przedstawiają wyniki jednej z największych symulacji, jakie kiedykolwiek wykonano. Opisują one ponad 13 miliardów lat kosmicznej ewolucji objętości Wszechświata zawierającego dziesiątki tysięcy galaktyk. Obejmują one gaz, gwiazdy, ciemną materię i energię oraz kilka procesów fizycznych: ewolucję gwiazd, wzbogacanie chemiczne i mechanizmy sprzężenia zwrotnego. Pomimo ogromnej złożoności widzimy, że symulacje niesamowicie dobrze odtwarzają własności prawdziwych galaktyk! Symulacje te są tak złożone, że gdyby zostały uruchomione na zwykłym komputerze, ukończenie ich zajęłoby od setek do tysięcy lat!



Quiz

Czy potrafisz określić, które z tych obrazów powstały na podstawie symulacji, a które są prawdziwymi obserwacjami?



Odpowiedzi na
odwrocie



Symulacja



Obserwacja

Odpowiedzi

Symulowane
obrazy pochodzą z
projektu Illustris;
obserwacje
pochodzą ze Sloan
Digital Sky Survey.
Trudno odróżnić
jedno od drugiego,
prawda?



Symulacja



Symulacja



Obserwacja

Wszechświat w mojej kieszeni nr 23

Ta książeczka została napisana w 2021 roku przez Marinę Trevisan z Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Brazylia) i poprawiona przez Allana Schnorra Müllera (UFRGS, Brazylia) oraz Gary'ego Mamona (Institut d'Astrophysique de Paris, Francja).

Zdjęcie na okładce: galaktyka spiralna
dziś, 4 miliardy i 11 miliardów lat temu.
Kredyt: NASA, ESA.



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii oraz o tematach przedstawionych w tej broszurze, odwiedź stronę <http://www.tuimp.org>.

Tłumaczenie: DeepL, weryfikacja:
Natalia Żywucka-Hejzner
TUIMP Creative Commons

