Το Σύμπαν στο τσεπάκι μου

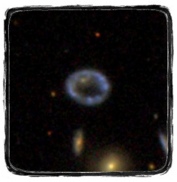
Η γέννηση και η ζωή των γαλαξιών

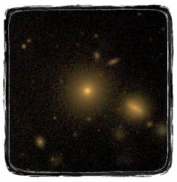
Marina Trevisan
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Βραζιλία

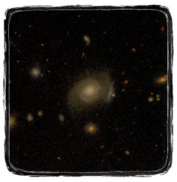
Αρ. 23

Κουίζ

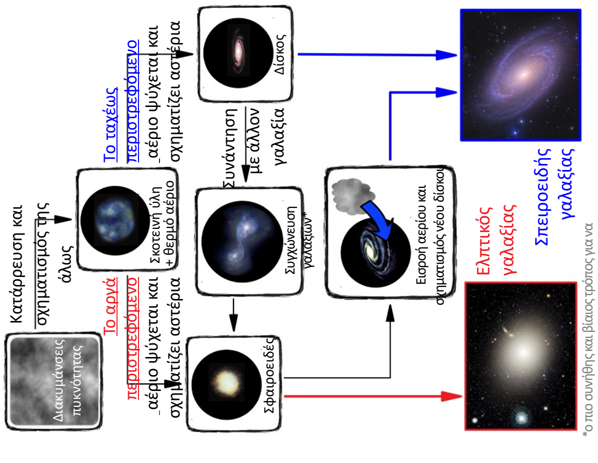
Μπορείτε να αναγνωρίσετε ποιες από αυτές τις εικόνες δημιουργήθηκαν από προσομοιώσεις και ποιες είναι πραγματικές παρατηρήσεις;







Απαντήσεις στο οπισθόφυλλο

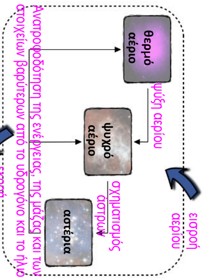

Διακυμάνσεις πυκνότητας
Κατάρρευση και σχηματισμός της άλως
Σκοτεινή ύλη + θερμό αέριο
Το αργά περιστρεφόμενο αέριο ψύχεται και σχηματίζει αστέρια
Το ταχέως περιστρεφόμενο αέριο ψύχεται και σχηματίζει αστέρια
Σφαιροειδές
Δίσκος
Συνάντηση με άλλον γαλαξία
Συγχώνευση γαλαξιών*
Εισροή αερίου και σχηματισμός νέου δίσκου
Ελλειπτικός γαλαξίας
Σπειροειδής γαλαξίας

*ο πιο συνήθης και βίαιος τρόπος για να καταστραφούν δίσκοι γαλαξιών και να μετατραπούν σε σφαιροειδείς γαλαξίες.

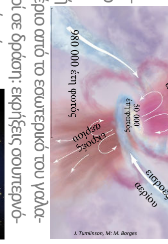
Από μικροσκοπικές διακυμάνσεις της πυκνότητας

Οποιαδήποτε θεωρία του σχηματισμού και της εξέλιξης των γαλαξιών έχει το δύσκολο έργο να εξηγήσει τι, πότε και πώς συμβαίνουν διάφορες φυσικές διεργασίες για τον σχηματισμό όλων των διαφορετικών τύπων γαλαξιών που παρατηρούμε σήμερα. Γνωρίζουμε ότι η ακολουθία Hubble* δεν είναι μια εξελικτική ακολουθία. Το διάγραμμα στην απέναντι σελίδα απεικονίζει τις διαδρομές που μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό ελλειπτικών και σπειροειδών γαλαξιών. Όλα ξεκινούν με μικροσκοπικές διακυμάνσεις της πυκνότητας στο πολύ, πολύ νεαρό Σύμπαν. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται**, η ένταση αυτών των διακυμάνσεων γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Τελικά, η βαρύτητα κερδίζει και η άλως σκοτεινής ύλης καταρρέει. Το καυτό αέριο έλκεται προς την άλω και ψύχεται, σχηματίζοντας αστέρια. Το αν το αποτέλεσμα θα είναι ένας ελλειπτικός ή ένας σπειροειδής γαλαξίας θα εξαρτηθεί από την περιστροφή και την ποσότητα αερίου στην άλω και από το αν θα συμβούν συγχωνεύσεις με άλλους γαλαξίες.

* Βλέπε TUIMP 3
** Βλέπε TUIMP12

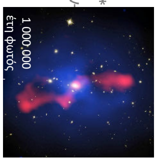

θερμό αέριο
ψύξη αερίου
ψυχρό αέριο
σχηματισμός άστρων
αστέρια
εισροή αερίου
εκροή αερίου
Ανατροφοδότηση της ενέργειας, της μάζας και των στοιχείων βαρύτερων από το υδρογόνο και το ήλιο

Αριστερά: Διάγραμμα που απεικονίζει τον κύκλο του αερίου και του σχηματισμού αστέρων σε έναν γαλαξία. Όσο ο γαλαξίας έχει ψυχρό αέριο, μπορούν να σχηματιστούν αστέρια.


ανακυκλωμένο αέριο
διάχυτο αέριο
εισροή αερίου
50 000 έτη φωτός
εκροές αερίου
980 000 έτη φωτός
J. Tumlinson, M: M. Borges

Δεξιά: Γαλαξίες μπορούν να αποκτήσουν αέριο από το περιβάλλον, όπως απεικονίζει η εικόνα. Ωστόσο, οι μηχανισμοί ανατροφοδότησης μπορούν να θερμάνουν το αέριο γύρω από το γαλαξία, εμποδίζοντας την εισροή αερίου, ή ακόμη και να εκτοξεύσουν αέριο από το εσωτερικό του γαλαξία. **Κάτω:** αυτοί οι μηχανισμοί σε δράση: εκρήξεις σουπερνόβα που προκαλούν εκροές αερίου (αριστερά)- και η ενέργεια που απελευθερώνεται από τον Ενεργό Γαλαξιακό Πυρήνα* που δρα εκτοξεύοντας και θερμαίνοντας το αέριο γύρω από τον γαλαξία (δεξιά).

16 000 έτη φωτός

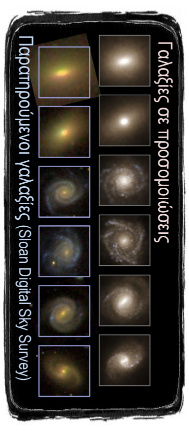

1 000 000 έτη φωτός

* Βλέπε TUIMP 6

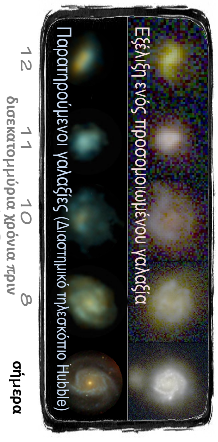
Μετατροπή αερίου σε αστέρια

Όσο ο γαλαξίας έχει αέριο και το αέριο είναι σε θέση να ψύχεται, μπορούν να σχηματιστούν αστέρια. Ωστόσο, οι εκρήξεις σουπερνόβα απελευθερώνουν ενέργεια που μπορεί να θερμάνει και να εκτοξεύσει αέριο από έναν γαλαξία. Αν ο γαλαξίας είναι μικρός, η βαρύτητα είναι πολύ αδύναμη για να εμποδίσει το αέριο να διαφύγει, και αυτή η διαδικασία ανατροφοδότησης των σουπερνόβα θα καταστείλει τον σχηματισμό άστρων. Σε μεγαλύτερους γαλαξίες, η ανατροφοδότηση των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων* (AGN) έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στον κύκλο σχηματισμού των άστρων του. Σε έναν AGN, η κεντρική υπερμεγέθης μαύρη τρύπα του γαλαξία, με μάζα εκατομμύρια έως δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από εκείνη του Ήλιου, καταβροχθίζει την ύλη και απελευθερώνει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας που θερμαίνει το περιβάλλον αέριο. Μελέτες δείχνουν ότι οι ιδιότητες των γαλαξιών εξαρτώνται από τη μάζα της κεντρικής τους μαύρης τρύπας, γεγονός που δείχνει ότι η ανατροφοδότηση από αυτά τα τέρατα παίζει θεμελιώδη ρόλο στην εξέλιξη των γαλαξιών.

* Βλέπε TUIMP 6

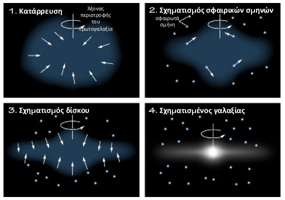

Γαλαξίες σε προσομοιώσεις
Παρατηρούμενοι γαλαξίες (Sloan Digital Sky Survey)

Σύγκριση μεταξύ πραγματικών παρατηρήσεων και εικόνων γαλαξιών που δημιουργήθηκαν από προσομοιώσεις σε υπερυπολογιστές του προγράμματος Illustris-TNG. **Σχήμα παραπάνω:** διαφορετικοί μορφολογικοί τύποι. **Εικόνα κάτω:** εξέλιξη ενός προσομοιωμένου γαλαξία σε σύγκριση με παρατηρημένους γαλαξίες παρόμοιας ηλικίας.

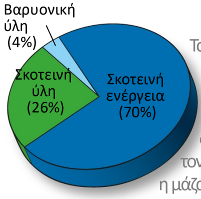

Εξέλιξη ενός προσομοιωμένου γαλαξία
Παρατηρούμενοι γαλαξίες (Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble)
12
11
10
8
σήμερα
δισεκατομμύρια χρόνια πριν

Δημιουργία γαλαξιών

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι κοσμολογικές προσομοιώσεις σε υπερυπολογιστές μας βοήθησαν να κατανοήσουμε πώς σχηματίστηκαν και εξελίχθηκαν οι γαλαξίες. Οι εικόνες στη διπλανή σελίδα δείχνουν τα αποτελέσματα μιας από τις μεγαλύτερες προσομοιώσεις που έχουν γίνει ποτέ μέχρι σήμερα. Οι προσομοιώσεις αυτές περιγράφουν περισσότερα από 13 δισεκατομμύρια χρόνια κοσμικής εξέλιξης ενός όγκου που περιέχει δεκάδες χιλιάδες γαλαξίες. Περιλαμβάνουν αέριο, αστέρια, σκοτεινή ύλη, σκοτεινή ενέργεια και διάφορες φυσικές διεργασίες όπως η αστρική εξέλιξη, ο χημικός εμπλουτισμός και οι μηχανισμοί ανατροφοδότησης. Παρά την τεράστια πολυπλοκότητα, βλέπουμε ότι οι προσομοιώσεις αναπαράγουν απίστευτα καλά τις ιδιότητες των πραγματικών γαλαξιών! Οι προσομοιώσεις αυτές είναι τόσο πολύπλοκες που, αν ήταν δυνατόν να τις εκτελέσουμε σε ένα συνηθισμένο υπολογιστή, θα χρειάζονταν εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια για να ολοκληρωθούν!


1. Κατάρρευση
Άξονας περιστροφής του πρωτογαλαξία
2. Σχηματισμός σφαιρικών σμηνών
σφαιρωτό σμήνος
3. Σχηματισμός δίσκου
4. Σχηματισμένος γαλαξίας

Στο μοντέλο που πρότειναν οι Olin Eggen, Donald Lynden-Bell και Allan Sandage το 1962, οι γαλαξίες σχηματίστηκαν από την **κατάρρευση ενός γιγάντιου νέφους αερίων** πριν από περίπου 10 δισεκατομμύρια χρόνια. Τα βέλη στο σχήμα υποδεικνύουν την κατεύθυνση της κίνησης του αερίου. Σήμερα, γνωρίζουμε ότι η διαδικασία σχηματισμού των γαλαξιών είναι πολύ πιο περίπλοκη από ό,τι υποδηλώνει αυτό το μοντέλο.

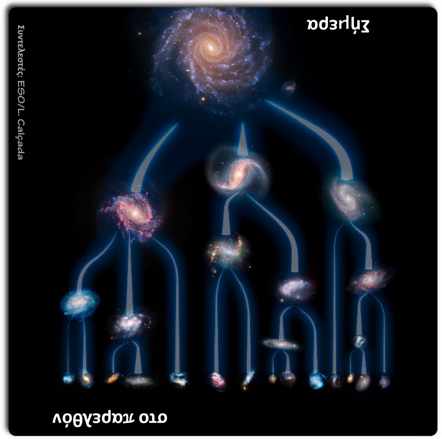


Το 1933, ο Fritz Zwicky μέτρησε τις ταχύτητες των γαλαξιών σε ένα τεράστιο σμήνος, και η υψηλή διασπορά στις ταχύτητες τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η μάζα του σμήνους κυριαρχείται από αόρατη **σκοτεινή ύλη**. Το 1998, δύο ομάδες ερευνητών ανακάλυψαν ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Καθώς δεν γνωρίζουμε τη φύση της ενέργειας που προκαλεί αυτήν την επιτάχυνση, την ονομάσαμε **σκοτεινή ενέργεια**.

Ένα σύμπαν γαλαξιών

Το 1924, ο Έντουιν Χαμπλ έδειξε ότι τα παρατηρούμενα σπειροειδή νεφελώματα ήταν στην πραγματικότητα άλλοι γαλαξίες παρόμοιοι με τον Γαλαξία μας*. Πέρασαν περίπου 30 χρόνια μέχρι να εμφανιστούν τα πρώτα μοντέλα που εξηγούσαν τον σχηματισμό αυτών των αντικειμένων. Ως εκ τούτου, οι γνώσεις μας για το θέμα αυτό είναι πολύ πρόσφατες.
Η τρέχουσα θεωρία για το σχηματισμό και την εξέλιξη των γαλαξιών βασίζεται στο πλαίσιο της κοσμολογικής σταθεράς Λ και της ψυχρής σκοτεινής ύλης. Στο πλαίσιο αυτό, το Σύμπαν περιέχει τρία κύρια συστατικά: περίπου το 26% είναι ψυχρή σκοτεινή ύλη, το 70% είναι σκοτεινή ενέργεια και μόνο το 4% είναι η κανονική ύλη που γνωρίζουμε (αναφέρεται ως βαρυονική ύλη). Η αναλογία μεταξύ αυτών των συστατικών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται και εξελίσσονται οι δομές στο Σύμπαν. Ωστόσο, μέχρι τώρα, δεν γνωρίζουμε ποια είναι αυτά τα σκοτεινά συστατικά.

* Βλέπε TUIMP 3

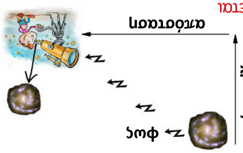


Συντελεστής: ESO/L. Calçada

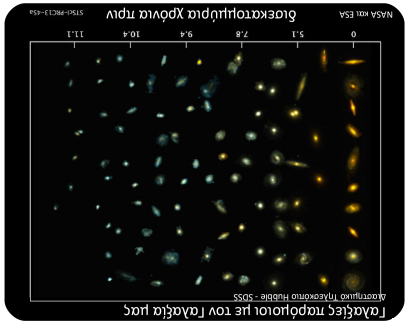
Στο ιεραρχικό μοντέλο σχηματισμού γαλαξιών, οι μικρότεροι γαλαξίες σχηματίζονται πρώτοι και συγχωνεύονται για να σχηματίσουν όλο και μεγαλύτερους γαλαξίες. Το **δέντρο συγχώνευσης** που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα απεικονίζει αυτή τη διαδικασία. Τα μοντέλα δείχνουν ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο γαλαξίας, τόσο μεγαλύτερο είναι το κλάσμα των αστέρων που αποκτήθηκαν μέσω συγχωνεύσεων με μικρότερα συστήματα.

Το ιεραρχικό Σύμπαν

Στο κοσμολογικό μοντέλο που περιγράφει το Σύμπαν μας, οι αρχικές διακυμάνσεις της πυκνότητας έχουν μεγαλύτερα πλάτη σε μικρότερες κλίμακες. Αυτό σημαίνει ότι σχηματίζονται πρώτα μικρότερες άλω σκοτεινής ύλης και συγχωνεύονται, σχηματίζοντας όλο και μεγαλύτερες άλω. Η ιστορία σχηματισμού μιας άλω σκοτεινής ύλης μπορεί να περιγραφεί από ένα δέντρο συγχωνεύσεων. Επειδή οι μικρότεροι γαλαξίες βρίσκονται σε μικρότερες άλως σκοτεινής ύλης, ο σχηματισμός των γαλαξιών γίνεται ιεραρχικά. Ωστόσο, οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι οι μικρότεροι γαλαξίες σχημάτισαν τα αστέρια τους σε μεταγενέστερους χρόνους σε σύγκριση με τους μαζικούς γαλαξίες. Αυτό το φαινόμενο της "σμίκρυνσης" συμβαίνει επειδή οι ογκώδεις γαλαξίες έφτασαν νωρίτερα σε μια κρίσιμη συνολική μάζα, η οποία εμπόδισε τον περαιτέρω σχηματισμό άστρων. Από την άλλη πλευρά, οι μικροί γαλαξίες μπορούν να σχηματίζουν αστέρια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, οδηγώντας σε εκτεταμένες ιστορίες σχηματισμού αστέρων και νεότερους αστρικούς πληθυσμούς.



Στα δεξιά: Το φως έχει πεπερασμένη ταχύτητα. Έτσι, όσο πιο μακρινός είναι ένας γαλαξίας, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται το φως του να φτάσει σε εμάς - δηλαδή, τόσο πιο πίσω στο παρελθόν τον βλέπουμε. Εικόνα παρακάτω: παρατηρήσεις πολύ μακρινών γαλαξιών που δείχνουν πώς ήταν πριν από πολύ καιρό.



Παρατηρώντας το παρελθόν

Το φως ταξιδεύει με ταχύτητα 300.000 χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο, η οποία είναι υψηλή, αλλά πεπερασμένη τιμή. Η συνέπεια είναι ότι οι βαθιές παρατηρήσεις του ουρανού μας ανοίγουν ένα παράθυρο στο παρελθόν. Με τα διαστημικά τηλεσκόπια, μπορούμε να παρατηρήσουμε γαλαξίες τόσο μακριά που το φως που εκπέμπεται από αυτούς ταξίδεψε στο διάστημα για περίπου 13 δισεκατομμύρια χρόνια πριν φτάσει σε εμάς. Επομένως, βλέπουμε αυτούς τους γαλαξίες όπως ήταν πριν από 13 δισεκατομμύρια χρόνια! Στο παρελθόν, ήταν πιο ακανόνιστοι, είχαν περισσότερο αέριο και σχημάτιζαν αστέρια με πολύ υψηλότερο ρυθμό από ό,τι οι γαλαξίες σήμερα. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble έβγαλε εκπληκτικά ευκρινείς εικόνες των γαλαξιών, επιτρέποντάς μας να ανακαλύψουμε πολλές πτυχές της πρώιμης εξέλιξής τους. Το επερχόμενο διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb θα είναι σε θέση να αποκτήσει λεπτομερείς εικόνες γαλαξιών σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, επιτρέποντάς μας να παρατηρήσουμε τους πρώτους γαλαξίες!

Απαντήσεις

Η προσομοίωση εικόνες είναι από το πρόγραμμα Illustris- οι παρατηρήσεις είναι από την ψηφιακή επισκόπηση του ουρανού Sloan.
Είναι δύσκολο να ξεχωρίσει κανείς τη μία από την άλλη, έτσι δεν είναι;

Προσομοίωση

Παρατήρηση

Προσομοίωση

Προσομοίωση

Παρατήρηση

Το σύμπαν στο τσεπάκι μου Αρ. 23

Αυτό το φυλλάδιο γράφτηκε το 2021 από τη Marina Trevisan από το Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Βραζιλία) και αναθεωρήθηκε από τον Allan Schnorr Müller (UFRGS, Βραζιλία) και τον Gary Mamon (Institut d'Astrophysique de Paris, Γαλλία).

Εικόνα εξωφύλλου: σπειροειδής γαλαξίας σήμερα, 4 δισεκατομμύρια και 11 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.
Πηγή: NASA, ESA.

Για να μάθετε περισσότερα για τη σειρά αυτή και για τα θέματα που παρουσιάζονται σε αυτό το φυλλάδιο, επισκεφθείτε τη διεύθυνση http://www.tuimp.org.

Μετάφραση: Τζίνα Πανοπούλου
TUIMP Creative Commons
BY NC SA