

Εξωγαλαξιακά συστήματα

Έτσι ονομάζουμε τα αστρικά συστήματα εκτός του Γαλαξία μας. Όσο αφορά τις αποστάσεις τους από εμάς, αυτές εξαρτώνται από την σταθερά του Hubble (συμπαντική διαστολή). Έχουμε 2 τιμές της, για τα κοντινά, μέχρι 200 Mpc απόσταση συστήματα 73 km/s/Mpc (μέτρηση με βάση εκρήξεις σουπερνόβα Ia) και 74 km/s/Mpc (μέτρηση δορυφόρου Planck, κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου). Η τελευταία τιμή από τον δορυφόρο Planck είναι 68 km/sec/Mpc, που είναι σύμφωνη με άλλες μεθόδους μέτρησής της (όπως τα βαρυτικά κύματα).

Γαλαξίες

Οι πολύ λαμπροί ονομάζονται από τον αστερισμό που βρίσκονται, οι λιγότερο λαμπροί από αριθμούς σε κάποιον κατάλογο και οι πιο αμυδροί από τις συντεταμένες τους.

Οι κατάλογοι γαλαξιών είναι

M (Messier), NGC (New General Catalogue of Nebulae and Clusters), IC I (Index catalogue), IC II (Second Index ...)

Η φαινόμενη κατανομή τους στον ουρανό.

α) Κατανομή χωρίς επεξεργασία. Είναι τελείως ακανόνιστη, με μια ζώνη χωρίς <νεφελώματα> (γαλαξίες) κατά μήκος του Γαλαξία, με πλάτος 10-40 μοίρες (zone of avoidance). Υπάρχει και μια ζώνη με λίγα <νεφελώματα>, και ο αριθμός τους αυξάνεται με το γαλαξιακό πλάτος.

Ο λόγος της εμφάνισης των 2 ζωνών αυτών είναι η μεσοαστρική απορρόφηση του φωτός. Αυτό σημαίνει ότι η κατανομή δεν υπάρχει πραγματικά, αλλά δεν μπορούμε να δούμε τους γαλαξίες σε αυτές τις ζώνες.

β) Κατανομή στον ουρανό με διόρθωση λόγω μεσοαστρικής απορρόφησης.

Σε μικρή κλίμακα η κατανομή είναι ακανόνιστη (μεμονωμένα συστήματα, σμήνη γαλαξιών), αλλά σε μεγαλύτερη (>4 μοίρες) είναι ομαλή, χωρίς συστηματικές διαφοροποιήσεις από το γαλαξιακό μήκος ή πλάτος. Άρα δεν έχουμε στο σύμπαν διαφοροποιήσεις πυκνότητας ή γαλαξιακά υπερ- συστήματα. Σε ενδιάμεση κλίμακα (μέχρι 4 μοίρες) η στατιστική ανάλυση μας δείχνει ότι υπάρχει μια ισχυρή τάση για δημιουργία γαλαξιακών σμηνών.

Κατηγοριοποίηση, γενική περιγραφή τύπων.

A) Κατηγοριοποίηση κατά Hubble-Sandage.

-Ομαλά συστήματα (με περιστροφική συμμετρία)

E ελλειπτικοί, S κανονικοί σπειροειδείς, SB σπειροειδείς με ράβδο

- Ir Ανώμαλα συστήματα.

Οι γαλαξίες E χαρακτηρίζονται ως προγενέστεροι και οι S ως μεταγενέστεροι, αλλά αυτή η διάκριση δεν έχει καμία σχέση με την χρονική τους εξέλιξη!

Ελλειπτικά συστήματα E0-E7

Η λαμπρότητα μειώνεται πολύ από το κέντρο του γαλαξία προς τις άκρες του, χωρίς άλλη εμφανής δομή. Οι υποκατηγορίες έχουν να κάνουν με το μέγεθος της πεπλάτυνσης. Η φαινόμενη πεπλάτυνση έχει να κάνει με την οπτική γωνία μας. Ένα σύστημα E0 μπορεί να είναι σφαιρικό αν το βλέπουμε κάθετα στον άξονά του ή πολύ πεπλατυσμένο αν το βλέπουμε κατά μήκος του άξονα. Αυτός ο διαχωρισμός είναι μόνο στατιστικά εφικτός. Με την παραδοχή της τυχαίας κατανομής των αξόνων στον χώρο μπορούμε, από τη φαινόμενη πεπλάτυνση, να υπολογίσουμε την αληθινή ελλειπτικότητα. Τα σφαιρικά και τα πολύ πεπλατυσμένα συστήματα είναι σπάνια. Στους ελλειπτικούς γαλαξίες κυριαρχεί η κοιλιά, που λόγω μεγάλης λαμπρότητας δεν μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε τον αμυδρό γαλαξιακό δίσκο.

Κανονικά σπειροειδείς συστήματα Sa-Sc

Έχουν λαμπρή και μόνο ασθενώς πεπλατυσμένη κεντρική περιοχή (κοιλιά, bulge), όμοια με αυτή στους ελλειπτικούς. Οι βραχίονες βρίσκονται στον δίσκο και εφαρμόζουν κάθετα στην κοιλιά (συνήθως ο ένας απέναντι στον άλλον). Η κοιλιά και ο δίσκος έχουν γύρω τους την άλω με τα Σφαιρωτά νέφη και τα παλαιά άστρα. Οι βραχίονες δεν είναι όλοι ίδιοι, έχουμε 2 μεγάλους συμμετρικούς, ή/ και μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων, πιο κοντών βραχιόνων σε πιο πυκνή διάταξη (σχήμα ροζέτας). Σπανίως δεν έχουμε εκτεταμένους βραχίονες, αλλά μόνο κοντά τμήματα.

Οι υποκατηγορίες έχουν να κάνουν με τη διαδοχική υποχώρηση της κοιλίας και το άνοιγμα των βραχιόνων. Στους Sa η κοιλιά κυριαρχεί σε σχεδόν όλο το σύστημα, ενώ στους Sc σχεδόν εξαφανίζεται. Σε θέα από πάνω έχουμε χαρακτηριστικό σπειροειδές σύστημα, σε ιδανική περίπτωση με 2 συμμετρικούς βραχίονες. Σε θέα στην κόψη έχουμε μια άτρακτο με σκοτεινές λωρίδες απορρόφησης.

Σπειροειδείς με ράβδο SBa- SBc.

Οι βραχίονες είναι αρχικά ακτινωτοί, μετά-πολλές φορές απότομα- κλείνουν προς τις σπείρες, ή έχουμε μια ραβδόμορφη κοιλιά (στη μέση πιο λαμπρή και χοντρή) και στο τέλος της εφάπτονται οι βραχίονες. Οι υποκατηγορίες δηλώνουν διαδοχική υποχώρηση της κοιλιάς και άνοιγμα των βραχιόνων. Οι SBa μοιάζουν οπτικά με Θ, με απότομη κλίση μεταξύ ράβδου και βραχιόνων, ενώ οι SBc σαν μεγάλο S, με την ράβδο και τους βραχίονες να συνδέονται χωρίς κλίση. Γενικά έχουν Μεγαλύτερη συμμετρία από τους κανονικούς σπειροειδείς. Ο βραχίονας είναι συνήθως επίπεδος σαν δίσκος, αλλιώς θα βλέπαμε στις σπείρες, σε πλευρική οπτική γωνιά προς το κέντρο, μια πάχυνση του συστήματος.

Συστήματα με μορφή άτρακτος ή φακοειδείς S0.

Πρόκειται για μεταβατικό στάδιο από S σε E. Η κοιλιά και το εξωτερικό σχήμα είναι όπως στους σπειροειδείς, αλλά χωρίς βραχίονες. Από τους E μέχρι τους Sc έχουμε αύξηση της μεσοαστρικής ύλης και των νεαρών αντικειμένων (μεγαλύτερη αστρογέννηση). Έχουμε μετάβαση από αστρικό πληθυσμό I σε II.

Ανώμαλα συστήματαIr.

α) Επέκταση των τύπων σε Sdm, Sm, Im (m είναι ο τύπος των Μαγγελανικών νεφών).

Χωρίς κοιλιά και συμμετρία περιστροφής, το περιεχόμενο σε άστρα είναι όμοιο με αυτό των μεταγενέστερων σπειρών, με σπειροειδείς δομές σε κάποιες περιπτώσεις. Με πολύ σκόνη και αέριο, και με μικρή λαμπρότητα επιφάνειας.

β) Γαλαξίες με μικρή λαμπρότητα επιφάνειας (low surface-brightness galaxies, LSB).

Είναι συνήθως γαλαξίες με μικρή απόλυτη λαμπρότητα, και με πολύ ουδέτερο υδρογόνο.

γ) Ιδιόρρυθμα αντικείμενα.

Έχουν άμορφη κατανομή της λαμπρότητας, δεν ταιριάζουν στους παραπάνω τύπους των γαλαξιών και διαφέρουν από τους γαλαξίες σε αλληλεπίδραση.

Γενικά έχουμε τους Sd, SBd να είναι με μικρή κοιλιά και κομβικούς, ανώμαλους βραχίονες.

Οι Im, Sm είναι οι ανώμαλοι τύπου Μαγγελανικών νεφών και dE οι ελλειπτικοί νάνοι γαλαξίες.

Η κατανομή συχνότητας των τύπων στο σύμπαν

α) Φαινομενική κατάταξη (Revised Shapley-Ames catalog)

Κανονικοί		Με βραχίονες	
E+E/S0	173	SB0+ SB0/SBa	48
S0+S0/a	142	SBa+ SBab	42
Sa+Sab	123	SBb+ SBbc	96
Sb+Sbc	187	SBc	77
Sc	293	SBcd+ SBd	8
Scd+Sd	26	SBm+ IBm	9
Sm+Im	13	SB	5
S	16		

Λοιποί 18
Σύνολο 991

285

β) Απόλυτη κατάταξη.

Είναι τελείως διαφορετική, αφού οι σπειροειδείς είναι γενικά μεγαλύτεροι και λαμπρότεροι από τους ελλειπτικούς. Ιδίως οι πολυάριθμοι νάνοι είναι σχεδόν πάντα τύπου E ή Ir. Έτσι έχουμε

τύπο	αναλογία	mag
E-S0	30%	-19,8
Irl	17	-17,5
Ir II	7	-19
Sa-Sb	12	-20
Sc	34	-19,2

B) Κατηγοριοποίηση κατά deVaucouleurs.

Είναι μια απόπειρα να καταχωρηθεί η κατηγοριοποίηση κατά Hubble σε μια συνέχεια

E- SO+- SO -SO--Sa- Sb- Sc- Sd- Sm- Irr

με παραμέτρους σε σχέση με τις σπείρες SA (κανονικός), SB (ραβδοειδής), SAB (ενδιάμεσος), και σε σχέση με τους βραχίονες s (γαλαξίας με ξεκάθαρες σπείρες), rs (ενδιάμεσος), R (πιο κυκλικός). Ακόμα μπορεί να μπει ο αριθμός των βραχιόνων (π.χ. 2+1 σημαίνει 2 κυρίως και έναν δευτερεύον βραχίονα). Για παράδειγμα, ο M33 είναι τύπου SA (s) 2 cm, με κανονικές, μεταγενέστερης μορφής σπείρες με 2 συμπαγείς κυρίως βραχίονες.

C) Κατηγοριοποίηση κατά van deBergh.

Είναι η κατηγοριοποίηση κατά Hubble με κριτήρια λαμπρότητας.

D) Κατηγοριοποίηση κατά Morgan

Είναι μια κατηγοριοποίηση ανάλογα με την συγκέντρωση φωτός στο κέντρο του κάθε τύπου γαλαξία (πόσο πιο λαμπρό είναι το κέντρο σε σχέση με τον υπόλοιπο γαλαξία).

1) Παράμετροι σχήματος, όπως στην κατηγοριοποίηση Hubble, με αριθμούς για τον βαθμό πεπλατυσής. E (έλλειψη), S (σπείρα), B (ράβδος), I (ανώμαλος), L (μικρής επιφανειακής λαμπρότητας), N (λαμπρός πυρήνας), D (συμμετρία περιστροφής χωρίς σπείρες).

2) Παράμετροι συγκέντρωσης, σχετικά με τον βαθμό της συγκέντρωσης του φωτός στο κέντρο του γαλαξία (a-f-g-k). Το a σημαίνει σχετικά ίση κατανομή φωτός στον γαλαξία που μειώνεται μέχρι το k, η κατηγορία με μεγάλη κεντρική συγκέντρωση φωτός. Στους a υπερισχύουν οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου ενώ στους k οι μεταγενέστερου, βάσει φασμάτων. Για παράδειγμα, kE6 σημαίνει πολύ πεπλατυσμένος ελλειπτικός με μεγάλη συγκέντρωση φωτός στο κέντρο, και afS1 σπειροειδής που παρατηρούμε σχεδόν από πάνω με μικρή συγκέντρωση φωτός στο κέντρο.

Ανάλυση των γαλαξιών στα αντικείμενα που περιέχουν.

Με τα μεγάλα τηλεσκόπια μπορούμε να αναλύσουμε τα κοντινά μας εξωγαλαξιακά συστήματα (μέχρι μερικά Mpc απόσταση και με το HST γαλαξίες μέχρι το σμήνος της Παρθένου (15 Mpc)) σε μεμονωμένα αντικείμενα, αλλά μόνο τα πιο λαμπρά από αυτά. Το αποτέλεσμα αυτών των παρατηρήσεων είναι όμοιο με ότι ισχύει για τον Γαλαξία μας. Τα αντικείμενα που ξεχωρίζουν είναι

1) Κανονικά άστρα (OB), κόκκινοι υπεργίγαντες. Το πρόβλημα είναι να τα ξεχωρίσουμε από περιοχές (HII), που επίσης φαίνονται σημειακές, λόγω απόστασης. Τα λαμπρότερα άστρα είναι -9M, με όριο για τον γαλαξία της Ανδρομέδας τα -1,4M.

2) Μεταβλητοί.

- Κηφείδες. Πολύ συνηθισμένοι σε μεταγενέστερους τύπους γαλαξιών. Μόνο στα Μαγγελανικά νέφη παρατηρούμε πάνω από 3000. Λόγω της σχέσης περιόδου- λαμπρότητας μας χρησιμεύουν ως κερία αποστάσεων.

- RR-Λύρας. Είναι παρατηρήσιμοι μόνο στα κοντινά συστήματα. Η αδυναμία εύρεσής τους στον γαλαξία της Ανδρομέδας οδήγησε στην επανεκτίμηση των γαλαξιακών αποστάσεων.
- Μεταβλητοί μεγάλης περιόδου (Μίρα). Στα Μαγγελανικά νέφη εμφανίζονται να είναι λαμπρότεροι από αντίστοιχους ίδιας περιόδου του Γαλαξία μας. Παρουσιάζουν συχνά μεγάλες περιόδους, μέχρι και 740 ημέρες.
- Ανώμαλοι μεταβλητοί. Στα Μαγγελανικά νέφη παρατηρούμε πάνω από 100 μεταβλητούς κόκκινους γίγαντες.
- 3) Νόβα. Έχουμε παρατηρήσει μερικές 100αδες εξωγαλαξιακούς νόβα. Στην Ανδρομέδα ανακαλύπτουμε κατά μέσο όρο 25-30 τον χρόνο, ενώ στα Μαγγελανικά νέφη 1 το χρόνο.
- 4) Σουπερνόβα. Είναι πολύ σημαντικά αντικείμενα, αφού τα παρατηρούμε σε μεγάλες αποστάσεις. Φτάνουν τη συνολική λαμπρότητα του γαλαξία τους. Η λαμπρότητα της σουπερνόβα Ia αποτελεί κερύ αποστάσεων, πολύ σημαντικό για τη κοσμολογία (με σχεδόν σταθερή απόλυτη λαμπρότητα -19,2 mag. Οι τύποι σουπερνόβα II, Ib, Ic δεν εμφανίζονται στους ελλειπτικούς, άρα σε αυτούς η αστρογέννηση είναι υποβαθμισμένη.
- 5) Πλανητικά νεφελώματα. Είναι χρήσιμα ως κερύ λαμπρότητας, και είναι αρκετά τα γνωστά μας σε απόσταση μέχρι τα μερικά Mpc.
- 6) Αστρικά σμήνη. Είναι δύσκολο να τα ξεχωρίσουμε σε μεγάλες αποστάσεις, όπου εμφανίζονται σημειακά, με μικρή διάχυση. Γνωρίζουμε εκατοντάδες στα Μαγγελανικά νέφη και στην Ανδρομέδα και αρκετά σε άλλα συστήματα. Ο αριθμός των σφαιρωτών είναι ανάλογος της μάζας της κοιλιάς του γαλαξία τους. Ο M87, ένα μεγάλο σύστημα E0 στην παρθένο, έχει στην σφαιρική του άλω πάνω από 3000 σφαιρωτά.

Γενικές ιδιότητες των γαλαξιών.

Διάμετροι

A) Φαινόμενη διάμετρος

Η μέτρηση ενός γαλαξία στο οπτικό φάσμα έχει ως αποτέλεσμα να μετράμε μεγαλύτερη διάμετρο και αναλογικά μικρότερη πεπλάτυνση. Για παράδειγμα στον M31 στην οπτική παρατήρηση έχουμε 160'X40', ενώ στην μεγάλης διάρκειας έκθεση στο CCD (που καταγράφει και λίγο υπέρυθρο) 270'X230'.

B) Πραγματική διάμετρος

Η διασπορά των διαμέτρων είναι μεγάλη, ακόμα και για γαλαξίες του ίδιου τύπου. Οι γαλαξίες έχουν διάμετρο από 0,3 ως 50 kpc. Αυτό οφείλεται στους πολλούς νάνους-γαλαξίες. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι τύπου dE. Υπάρχουν και γαλαξίες cD με εκτεταμένη άλω, πάνω από 100 kpc (NGC4881, κόμη Βερενίκης).

Φωτεινότητα, λαμπρότητα, χρώμα.

A) Φαινόμενη λαμπρότητα.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος μέτρησης είναι οι ολοκληρωμένες B-λαμπρότητες (UBV-system) που προέρχονται από φωτοηλεκτρικές παρατηρήσεις. Εδώ έχουμε το πρόβλημα των αντικειμένων με επιφάνεια, δηλαδή η λαμπρότητα που παρατηρούμε (όχι η πραγματική) μειώνεται προς τις άκρες των αντικειμένων. Έτσι δεν μπορούμε να συμπεράνουμε σαφή όρια για κάποιον γαλαξία.

B) Απόλυτη λαμπρότητα

Οι σύνηθες γαλαξίες είναι λαμπρότητας μεταξύ -15 και -20 Mag. Ακραίες τιμές είναι τα -8,5 M (αμυδροί δορυφόροι της Ανδρομέδας) και -23 M (γαλαξίες cD μέσα σε γαλαξιακά σμήνη). Οι γαλαξίες με απόλυτη λαμπρότητα κάτω από 18 M περιγράφονται ως νάνοι και αυτοί με M>-22 ως γίγαντες (σχεδόν αποκλειστικά ελλειπτικοί γαλαξίες).

Γ) Επιφανειακή λαμπρότητα

Είναι ανεξάρτητη από την απόσταση. Οι τιμές είναι από 14M ως 21,7M, τιμή μόλις πάνω από

το συμπαντικό υπόβαθρο (22,5 M). Οι τιμές αυτές δεν είναι συμπτωματικές. Η συνολική λαμπρότητα των γαλαξιών είναι αναγνωρίσιμη μόνο σε αυτό το παράθυρο. Αν η τιμή είναι ενός γαλαξία είναι μικρότερη (λαμπρότερος) δεν ξεχωρίζει από τα λαμπρά μεμονωμένα αστέρια του πεδίου, ενώ αν είναι μεγαλύτερη δεν ξεχωρίζει από το υπόβαθρο.

Δ) Χρώμα

Όσο πιο κόκκινοι, τόσο πιο προγενέστεροι γαλαξίες.

Ε) Ολοκληρωμένος φασματικός τύπος.

Η φασματική διαφορά των γαλαξιών με τα άστρα του πεδίου είναι ότι

α) Οι γαλαξίες εμφανίζονται ως εκτεταμένα συστήματα. Ο φασματικός τύπος περιλαμβάνει όλο το σύστημα αν δεν έχουμε κεντρική συγκέντρωση φωτός (τύποι B-A), και μόνο την κοιλιά αν αυτή κυριαρχεί στην λαμπρότητα (τύποι G-K).

β) Είναι σύνθετα συστήματα. Η κατάταξη πρέπει να περιοριστεί σε μια φασματική περιοχή. Έτσι ο ολοκληρωμένος τύπος γίνεται πιο προγενέστερος (ισχυρότερη επίδραση από τα μεγάλης μάζας καυτά άστρα, που το ενεργειακό τους μέγιστο (εκπομπή) είναι στο μπλε). Οι φασματικοί τύποι είναι A Κύρια συμμετοχή από άστρα AV. Η κατάταξη είναι σαφής, η ισχυρή απορρόφηση στο υδρογόνο δεν μπορεί να εξηγηθεί με ανάμειξη από άστρα B, F. Πρόκειται για μεταγενέστερα συστήματα σπειρών S(B)c, Sc, Ir.

AF Φασματικός τύπος F0...F2. Η συμμετοχή αστερών AV είναι μικρότερη. Είναι κυρίως σπειροειδείς γαλαξίες Sc με μικρή συγκέντρωση φωτός στο κέντρο.

F Λίγο πιο μεταγενέστερος τύπος από τον AF. Πρόκειται για Sb και Sc γαλαξίες με ισχυρότερη συγκέντρωση στο γαλαξιακό κέντρο.

FG Φασματικός τύπος μεταξύ F και G, με αυξανόμενη συμμετοχή από άστρα F, G. Μεσαίοι σπειροειδείς γαλαξίες Sb.

K Κυρίως άστρα K-γίγαντες. Μεγάλη συγκέντρωση φωτός στο κέντρο. Προγενέστεροι σπειροειδείς γαλαξίες.

S (B) 0 και E.

ΣΤ) Γραμμές εκπομπής

Η αναλογία τους στο φάσμα είναι σε πάνω από 50% σε όλους τους γαλαξίες, από 20% στους E ως 100% στους Sm/Im. Οι κυριότερες γραμμές είναι οι Balmer N1 (499,5nm), N2 (500,7nm) του (OIII), λ 386,9 του (NeIII), λ 372, 7 του (OII). Μερικά συστήματα έχουν μεγάλες και πλατιές γραμμές, αυτοί είναι οι ενεργοί γαλαξίες.

Κατανομή της λαμπρότητας.

Γενικά ισχύει ο κανόνας Tully- Fisher (αναλογία λαμπρότητας- διασποράς ταχυτήτων στον γαλαξία)

Στους ελλειπτικούς γαλαξίες.

Οι ελλειπτικοί καλύπτουν μεγάλο εύρος λαμπρότητας, από 1 εκατομμύριο ως 100 δις ηλιακές. Η λαμπρότητα γενικά καθορίζει τις υπόλοιπες ιδιαιτερότητες του γαλαξία. Οι ελλειπτικοί γαλαξίες ακολουθούν έναν κοινό νόμο λαμπρότητας, άρα έχουν αναπτυχθεί με τον ίδιο τρόπο.

Η κεντρική λαμπρότητά τους είναι ανάλογη με την ολική τους λαμπρότητα, σε αντίθεση με τους σπειροειδείς. Οι πιο λαμπροί ελλειπτικοί έχουν μικρότερη κεντρική λαμπρότητα.

Παρατηρήσεις του HST έδειξαν ότι οι λαμπροί ελλειπτικοί έχουν ένα κέντρο (core) με σταθερή λαμπρότητα, ενώ οι πιο αμυδροί μια κορυφή λαμπρότητας στο γαλαξιακό κέντρο (cusp). Σε σύγκριση με τους σπειροειδείς δείχνουν πιο λαμπρό πυρήνα. Μερικοί ελλειπτικοί έχουν κελύφη και τόξα στην άλω. Πρόκειται μάλλον για απομεινάρια συγχωνεύσεων με μικρότερους γαλαξίες. Τα ισόφωτα (γραμμές στον χάρτη του γαλαξία που οριοθετούν την λαμπρότητα, όπως οι υψομετρικές διαφορές σε γήινους χάρτες) δεν είναι ακριβώς έκκεντρες ελλείψεις. Αρχικά η πεπλάτυνση αυξάνεται προς τα έξω, φτάνει ένα μέγιστο και πολύ έξω ξαναμειώνεται. Το φαινόμενο σχήμα έχει να κάνει με την γωνία που βλέπουμε τον γαλαξία.

Από την παρατήρηση συμπεραίνουμε ότι οι πιο λαμπροί γαλαξίες είναι πιο σφαιρικοί, αλλά όχι με πολύ μικρή πεπλάτυνση. Άρα το πραγματικό τους σχήμα είναι τριαξονικό.

Η πεπλάτυνση γενικά δεν μπορεί να οφείλεται στην περιστροφή. Ο άξονας των ισόφωτων μπορεί να περιστρέφεται από μέσα προς τα έξω. Η μεταβολή στην εκκεντρικότητα από μέσα προς τα έξω (τριαξονική μορφή) μπορεί να προκαλέσει την προβολή της περιστροφής.

Οι σπειροειδείς ισόφωτες έχουν επιπλέον φως κατά μήκος του κυρίως άξονα, μεσαία λαμπρότητα και γρήγορη περιστροφή, με λιγότερο καυτό πλάσμα. Οι τετραγωνισμένες ισόφωτες είναι πιο λαμπρές με περιστροφή ισόφωτων (τριαξονικά), με πιο δυνατές εκπομπές στα ραδιοκύματα και στις ακτίνες Χ, και πιο αργή περιστροφή. (βλέπε σημείωση 1)

Στους σπειροειδείςγαλαξίες.

Υπάρχει μεγάλη διακύμανση λαμπρότητας στις διάφορες κατηγορίες. Δεν υπάρχει γενικός τύπος

Ο δίσκος.

Χωρίς να υπολογίζουμε την απορρόφηση, στον δίσκο έχουμε ελλειπτικές ισόφωτες με άξονα. Η λαμπρότητα αυξάνεται όταν βλέπουμε τον γαλαξία από πάνω (κάθετα). Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε 20% αύξηση λαμπρότητας στο μπλε φάσμα (νεαρά αστέρια μεγάλης μάζας) από ότι στο υπέρυθρο, επειδή οι εξωτερικές περιοχές των δίσκων είναι και πιο φτωχές σε μέταλλα, άρα έχουν λιγότερη σκόνη, που να λάμπει προς το ερυθρό. Όταν παρατηρούμε έναν δίσκο στην κόψη του η σκόνη τον κοκκινίζει. Μερικοί γαλαξίες που έχουν χοντρό δίσκο, όπως ο δικός μας, έχουν μικρότερη πτώση λαμπρότητας του δίσκου προς τα έξω.

Η κοιλιά.

Για γαλαξίες με μικρή διάμετρο έχουμε μεγαλύτερη αύξηση λαμπρότητας προς την κοιλιά. Η κατανομή είναι όπως στους ελλειπτικούς. Οι S0 έχουν την λαμπρότερη κοιλιά, με μείωση προς τους μεταγενέστερους (later) γαλαξιακούς τύπους. Όσο πιο μεταγενέστερος ο τύπος, τόσο πιο πολύ προς το γαλαξιακό κέντρο γίνεται η μετάβαση από τον δίσκο στην κοιλιά (υποχώρηση της κοιλιάς). Η απόσταση της μετάβασης από το κέντρο είναι ένα μέτρο του μεριδίου της λαμπρότητας που οφείλεται στην κοιλιά.

Οι βραχίονες έχουν αυξανόμενη λαμπρότητα από Sa σε Sc, δηλαδή μεταγενέστερους τύπους, και με τη μείωση του μήκος κύματος (κόκκινο-μπλε-υπεριώδεις). Ενώ στο μάτι διακρίνονται εύκολα, λόγω των νοητών τους γραμμών, στην πραγματικότητα αποτελούν μόλις το 10% της λαμπρότητας του γαλαξία, ανάλογα το μήκος κύματος που παρατηρούμε.

Το κέντρο των σπειροειδών είναι κόκκινο (παλιός πληθυσμός αστέρων), όπως και στους ελλειπτικούς. Οι εξωτερικές περιοχές τους είναι πιο μπλε, κάτι που οφείλεται στους βραχίονες, ενώ το υπόβαθρο δείχνει το χρώμα της κοιλιάς. Πιο μπλε είναι οι λαμπροί κόμβοι στους βραχίονες, με άστρα OB και γραμμές εκπομπής. Υπάρχει ασυμμετρία της κατανομής της λαμπρότητας κατά μήκος του μικρού άξονα. Η εξήγηση είναι η απορρόφηση φωτός στο κυρίως επίπεδο. Τα άστρα πίσω από αυτό το επίπεδο δεν συμμετέχουν στην λαμπρότητα. Η πλευρά που είναι πιο κοντά σε μας, όπως βλέπουμε τον δίσκο, είναι πιο αμυδρή, και πιο κόκκινη.

Διασπορά ενέργειας στο φάσμα.

Οι γαλαξίες με έντονη αστρογέννηση (starburst galaxies) δείχνουν στο φάσμα την υπογραφή νέων καυτών αστέρων, και τις περιοχές τους στο (HII) (αύξηση ροής στο υπεριώδες, ισχυρές γραμμές εκπομπής). Ενώ οι γαλαξίες Sc εκπέμπουν περισσότερο στο μπλε και στο κοντινό υπεριώδες, λόγω του φωτός από τα καυτά νεαρά αστέρια και τα ερεθισμένα νεφελώματα, οι S0 γαλαξίες έχουν φάσμα όμοιο με αυτό των ελλειπτικών, με αύξηση στο κόκκινο και γραμμές απορρόφησης μέσω ψυχρών αστέρων.

Τα ολοκληρωμένα φάσματα των ελλειπτικών γαλαξιών παρουσιάζουν ισχυρή αύξηση στο ερυθρό (συνεχές των ψυχρών αστέρων) και δείχνουν ισχυρές γραμμές απορρόφησης των βαρέων στοιχείων. Μόνο μια μικρή αναλογία της συνολικής ακτινοβολίας έχει μήκος κύματος μικρότερο από τα 350 nm, αφού έχουμε ελάχιστα νέα αστέρια. Οι πιο λαμπροί ελλειπτικοί έχουν ισχυρότερες

γραμμές απορρόφησης και είναι πιο κόκκινοι.

Σύνθεση αστρικού πληθυσμού.

Εδώ το πρόβλημα είναι ότι στους μακρινούς γαλαξίες δεν μπορούμε να διαχωρίσουμε μεμονομένα άστρα. Τα φάσματα που παίρνουμε είναι γενικά για όλον τον αστρικό πληθυσμό ενός μακρινού γαλαξία. Στόχος της παρατήρησης είναι η περιγραφή της χρονικής εξέλιξης του φάσματος του γαλαξία, δηλαδή ένα διάγραμμα χρώματος-λαμπρότητας ενός πληθυσμού, που θα μας δώσει πληροφορίες για την χρονική εξέλιξη της αστρογέννησης και τον εμπλουτισμό σε μέταλλα.

Πρέπει να κάνουμε τις παρακάτω παραδοχές.

Να ορίσουμε την αρχική κατανομή (συνιστώσα) μάζας των αστέρων, δηλαδή την αναλογία δημιουργίας μεγάλων με μικρά αστέρια (initial mass function), την αύξηση της μάζας ενός γαλαξία κατά την εξέλιξή του, την χρονική εξέλιξη του βαθμού αστρογέννησης (συνεχής μείωση ή ξέσπασμα της αστρογέννησης), την ανανέωση υλικού στην μεσοαστρική ύλη μέσω των αστρικών ανέμων και των σουπερνόβα, την χρονική εξέλιξη των αστρικών φασμάτων από την θεωρία της δημιουργίας των αστέρων, την εξέλιξη στο H/R, και τις ισόχρονες.

Επίσης πρέπει να υπολογιστούν οι γραμμές εκπομπής από τις περιοχές(HII) (ερεθισμένες από τους ανέμους των νεαρών αστεριών).

Βασικά συμπεράσματα.

- 1) Η γενική λαμπρότητα του αστρικού πληθυσμού μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.
 - 2) Σε αυξανόμενη μεταλλικότητα ο πληθυσμός γίνεται πιο αμυδρός σε μικρό μήκος κύματος (1μm), και πιο λαμπρός στα μεγαλύτερα μήκη.
 - 3) Γενικά το χρώμα γίνεται πιο κόκκινο με την αύξηση της ηλικίας και της μεταλλικότητας (κόκκινη ακολουθία των γαλαξιών, red sequence).
 - 4) Οι γραμμές των ουδέτερων μετάλλων ενισχύονται με την αύξηση της ηλικίας και της μεταλλικότητας, και οι γραμμές Balmer εξασθενούν μετά από 100 εκ. έτη.
- Μερικά προβλήματα στις παρατηρήσεις μας είναι ότι τα φάσματα που έχουμε στη διάθεσή μας δεν καλύπτουν όλες τις παραμέτρους. Η εκπομπή της σκόνης στα μεγάλα μήκη κύματος είναι αβέβαιη, όπως και η εξέλιξη των διπλών αστέρων. Για παράδειγμα, αν πάρουμε την εξέλιξη του φάσματος ενός πληθυσμού με βάση τη σύνθεσή του. Εκτός από ένα σύντομο ξέσπασμα αστρογέννησης, ο αστρικός πληθυσμός γενικά γερνάει. Μετά από 1 δις έτη θα έχουμε έντονη κυριαρχία των παλαιών, ψυχρών αστέρων.

Γαλαξιακές μάζες

Οι μέθοδοι μέτρησης της μάζας είναι

- α) Η καμπύλη περιστροφής (μόνο αξιοποιήσιμη όταν είναι γνωστή η ταχύτητες περιστροφής σε μεγάλο πλάτος του γαλαξία)
 - β) Τα διπλά συστήματα (γαλαξιών), συνοδοί (όμως η κλίση των τροχιών τους μας είναι άγνωστη).
 - γ) Η διαφορά ταχυτήτων των αστέρων ενός γαλαξία ή των γαλαξιών σε ένα σμήνος.
 - δ) Η σχέση μάζας- λαμπρότητας (ισχύει γενικά?).
 - ε) Οι γραμμές εκπομπής των 21 εκατοστών (από το πλάτος της γραμμής αυτής συμπεραίνουμε την συνολική γαλαξιακή μάζα, και από την έντασή της την μάζα σε (HII))
 - στ) Η κατανομή των ακτίνων X (είναι απαραίτητη η γνώση της εξέλιξης της θερμοκρασίας και του φάσματος στις ακτίνες X)
 - η) Η επίδραση ενός βαρυτικού φακού.
- Πιο αναλυτικά,

- α) Από την περιστροφή (για σπειροειδείς γαλαξίες) παίρνουμε συμπεράσματα για
 - 1) Την σημειακή μάζα, από την κίνηση του Kepler (νόμος βαρύτητας). Κατά κανόνα εφαρμόζεται σε εξωτερικές γαλαξιακές περιοχές, όπου η καμπύλη περιστροφής ακολουθεί αυτήν την κίνηση. Δεν παρατηρείται γενικά σε όλους τους γαλαξίες. Μας δίνει ένα κατώτερο όριο της μάζας.
 - 2) Την κατανομή της μάζας. Με την παραδοχή μοντέλων για την γαλαξιακή προέλευση και την

κατανομή της πυκνότητας, έχουμε τον υπολογισμό της πορείας των δυνάμεων και τελικά της γωνιακής ταχύτητας. Επίσης, έχουμε τις παραδοχές Wyse- Mayal, ενός λεπτού δίσκου και διαφόρων κατανομών πυκνότητας, Perek , μιας πεπλατυσμένης σφαίρας, και Schwarzschild, μιας σταθερής σχέσης μάζας- λαμπρότητας σε όλο το σύστημα (η πυκνότητα ισούται με την επιφανειακή λαμπρότητα).

Συγκριτικά, για τον M31(σε παρένθεση για τον M33) έχουμε εκτιμήσει την μάζα του (οι τιμές είναι σε δις ηλιακές) με τις ακόλουθες μετρήσεις.

Μέθοδος κεντρικής μάζας =170 (3.5), Wyse- Mayal =190 (3,5) , Perek =(4), Schwarzschild =140 (5), Προφίλ NFW =820 (με την άλω σκοτεινής ύλης), γραμμή 21cm =210.

β) Από τα διπλά συστήματα.

Προϋπόθεση εδώ είναι οι γαλαξίες να διαγράφουν κυκλικές τροχιές. Το πρόβλημα είναι πως αντίθετα από ότι ισχύει σε διπλά άστρα, όπου στα περισσότερα συστήματα έχουμε παρατηρήσει μια πλήρη περιφορά του ενός γύρω από τον άλλο, στους γαλαξίες δεν είναι μόνο η κλίση των τροχιών τους άγνωστη, αλλά και η γωνία μεταξύ της γραμμής σύνδεσής τους και εμάς τους παρατηρητές. Αυτή η μέθοδος μας δίνει μια μέση τιμή γαλαξιακής μάζας 80 δις ηλιακές μάζες. Μια πιο καλή εκτίμηση είναι ότι οι μισοί γαλαξίες έχουν περίπου 150 δις ηλ. μάζες και οι άλλοι μισοί μόνο 5 δις ηλ. μάζες. Οι σπειροειδείς και οι ανώμαλοι φαίνεται να έχουν 20 δις ηλ. μάζες, ενώ οι ελλειπτικοί και οι S0 600 δις ηλιακές μάζες.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι λόγω της προβολής χάνουμε πολύ πληροφορία. Σε αυτήν την μέθοδο οι γαλαξίες χαρακτηρίζονται ως σημειακές μάζες και οι τροχιές τους είναι κατά εκτίμηση.

γ) Από τη διασπορά ταχυτήτων .

Παίρνουμε την συνολική μάζα ενός σμήνους και την διαιρούμε στα μέλη του (μέση μάζα). Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε ακραία μεγάλες τιμές για τις μάζες των γαλαξιών.

δ) Από την σχέση μάζας- λαμπρότητας

Αν κάνουμε λάθος στην απόσταση επηρεάζουμε και την εκτίμηση της απόλυτης λαμπρότητας. Έχουμε σχέσεις μάζας- λαμπρότητας για διάφορους γαλαξιακούς τύπους. Αντικατοπτρίζουν διαφορετική ποσότητα σκοτεινής ύλης, 50% σε Sa, Sb και 80-90% σε Sd,Sm, και διαφορετική ανάμειξη των αστρικών πληθυσμών. Ο πληθυσμός αστερών I επηρεάζει πιο πολύ τη λαμπρότητα, ενώ ο πληθυσμός II την γαλαξιακή μάζα.

ε) Οι γραμμές εκπομπής των 21 εκ.

Με την βοήθεια της γραμμής αυτής παρατηρούμε την ταχύτητα περιστροφής να μας δίνει την μάζα ενός γαλαξία, και από την ένταση της ακτινοβολίας συμπεραίνουμε την μάζα του μεσοαστρικού ουδέτερου υδρογόνου.

στ) Από τη κατανομή των ακτίνων X.

Το καυτό πλάσμα στους ελλειπτικούς γαλαξίες είναι δείκτης της μάζας τους.

η) Από την επίδραση του βαρυντικού φακού.

Η εικόνα των μακρυνών γαλαξιών σε προβολή μας δίνει την μάζα του γαλαξία- φακού.

θ) Από την αστρική πληθυσμιακή σύνθεση.

Μέσω της πληθυσμιακής σύνθεσης βρίσκουμε τον τύπο του γαλαξία, άρα και την κατάταξή του σε ένα μοντέλο αστρικών πληθυσμών, που μας δίνει την σύνθεσή του. Η επεξεργασία της λαμπρότητας μας επιτρέπει την μέτρηση της αστρικής μάζας, αν γνωρίζουμε την απόσταση. Αυτή η μέθοδος μας δίνει μόνο την μάζα των αστεριών, όχι το αέριο και όχι την σκοτεινή ύλη!

Οι γαλαξίες στα ραδιοκύματα και στις υπέρυθρες.

Ραδιοκύματα (εδώ εξετάζουμε μονό την ακτινοβολία των κανονικών γαλαξιών, όχι τους ραδιογαλαξίες και τα Κβάζαρ).

A) Συνεχής ακτινοβολία

Την παρατηρούμε σε όλους τους σπειροειδείς, και σε ανώμαλους νάνους γαλαξίες. Στους ελλειπτικούς (E/S0) την παρατηρούμε μόνο, όταν έχουμε έστω και ίχνη ελάχιστης αστρογέννησης.

B) Θερμική ακτινοβολία.

Παρατηρούμε ελεύθερη-ελεύθερη ακτινοβολία σε περιοχές (HII) γύρω από νέα, καυτά Μεγάλης μάζας άστρα, στην περιοχή των εκατοστόμετρων. Η έντασή της εξαρτάται μόνο λίγο από την συχνότητα. Συνδέεται με αστρικό πληθυσμό I (περιοχές (HII), νεαρά αντικείμενα σε βραχίονες), άρα αποτελεί ένδειξη γαλαξία μεταγενέστερου τύπου.

Γ) Μη θερμική ακτινοβολία.

Πρόκειται για την σχετικιστική ακτινοβολία της κοσμικής ακτινοβολίας, που μάλλον προέρχεται από εκρήξεις σουπερνόβα, σε μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο. Η έντασή της εξαρτάται πολύ από την συχνότητα. Η κατανομή της είναι σχετικά ομαλή στον δίσκο, με μείωση προς τα έξω. Η μέτρηση μερικών συχνοτήτων μας επιτρέπει να καθορίσουμε την διάταξη του μαγνητικού πεδίου (κυρίως σε γαλαξίες που βλέπουμε από πάνω). Σχετικιστικά σωματίδια διαχέονται, μέχρι μερικά κpc ύψος, από τον δίσκο. Σε γαλαξίες που βλέπουμε από το πλάι η κατανομή της ακτινοβολίας είναι πολύ πιο εκτεταμένη από ότι παρατηρούμε στο ορατό φως.

Υπάρχει ισχυρή σχέση της λαμπρότητας στο υπέρυθρο και της έντασης στα ραδιοκύματα, λόγω του γεγονότος ότι η υπέρυθη ακτινοβολία προέρχεται από σκόνη που θερμάνθηκε μέσω υπεριώδους ακτινοβολίας από μεγάλα αστέρια, ενώ τα ραδιοκύματα έχουν ως πηγή τα υπολείμματα των σουπερνόβα. Και οι 2 περιπτώσεις αυτές είναι συνδεδεμένες με τον ρυθμό δημιουργίας νέων μεγάλης μάζας αστεριών, άρα της αστρογέννησης.

Η ακτινοβολία των 21 εκ. είναι η εκπομπή του ουδέτερου υδρογόνου. Το μέγιστό της παρατηρείται στους βραχίονες. Την έχουμε ανακαλύψει όμως και μακριά από το οπτικό όριο ενόσγαλαξια.

Υπέρυθη ακτινοβολία.

Στους ελλειπτικούς προέρχεται από γερασμένους πληθυσμούς, κυρίως μεταγενέστερων τύπων, με μέση λαμπρότητα στο υπέρυθρο (1 δις ηλιακές). Στους σπειροειδείς Sb, Sc είναι 10-100 δις, όπου συνδέεται με τον ρυθμό αστρογέννησης.

Οι λαμπρότεροι υπέρυθροι γαλαξίες είναι οι LIRG (luminous infrared galaxies) με 100 δις φορές την ηλιακή υπέρυθη ακτινοβολία και οι ULIRG με 1 τρις φορές. Πρόκειται σχεδόν αποκλειστικά για γαλαξίες σε αλληλεπίδραση (γαλαξίες αστρογέννησης με πολύ σκόνη, που εκπέμπει στο υπέρυθρο). Με την μετατόπιση στο ερυθρό μεγαλώνει και η αναλογία των κανονικών σπειροειδών στους ULIRG. Είναι πολύ σπάνιοι, έχουμε παρατηρήσει μόλις έναν σε $z = 0.033$.

Η μεσοαστρική ύλη των γαλαξιών.

Τα συστατικά της.

α) Λαμπρά νέφη (εκπομπής). Τα παρατηρούμε σε μεγάλους αριθμούς, στον M33 έχουμε πάνω από 700 κόκκινα νέφη εκπομπής. Τα πιο λαμπρά νέφη εκπομπής στα Μαγγελανικά νέφη είναι τάξεις μεγέθους λαμπρότερα από αυτό του Ωρίωνα. Το 30 Doradus (Tarantula nebular) έχει απόλυτη λαμπρότητα -10mag, με διάμετρο 300pc, ενώ του Ωρίωνα είναι -3mag, με διάμετρο 10pc. Οι γραμμές εκπομπής στο συνεχές μας αποδεικνύουν έμμεσα την ύπαρξη τέτοιων νεφών.

β) Σκοτεινή σκόνη. Είναι καλά ορατή στα ξεχωριστά νέφη, επίσης την παρατηρούμε ως λωρίδες στους βραχίονες και ως δυναμικές λωρίδες απορρόφησης όταν βλέπουμε τους γαλαξίες στην κόψη (χαρακτηριστικός είναι ο M104 Sombrero). Οι άμορφοι γαλαξίες S0 έχουν μερικές φορές έναν δακτύλιο σκόνης / αερίων.

Γενικά παρατηρείται αύξηση της μεσοαστρικής μάζας από E σε S, και σε Ir συστήματα (μετάβαση από αστρικό πληθυσμό II σε I).

γ) Ουδέτερο υδρογόνο (HI).

Το παρατηρούμε μέσω της γραμμής των 21 εκ. Η διασπορά είναι συνήθως μεγαλύτερη από το οπτικό όριο του γαλαξία, με διακοπές στις εξωτερικές περιοχές και ελάχιστο στα κέντρα των σπειροειδών.

δ) Ακτινοβολία Χ

Σε σπειροειδείς και ανώμαλους γαλαξίες αυτή οφείλεται σε υπολείμματα σουπερνόβα και μεμονωμένες πηγές όπως οι διπλοί αστέρες ακτίνων Χ, ενώ στους ελλειπτικούς και S0 σε καυτό πλάσμα της μεσοαστρικής ύλης και παλιότερους διπλούς ακτίνων Χ.

Η μεσοαστρική ύλη στους σπειροειδείς γαλαξίες.

.Το ψυχρό αέριο

Αποτελείται κυρίως από ουδέτερο (HI) και ιονισμένο (HII) υδρογόνο που παρατηρούμε στις γραμμές επανασύνδεσης Lyman, Balmer ή ανώτερες σειρές ανάλογα το εύρος μήκους κύματος και της μετατόπισης στο ερυθρό, και μέσω ελεύθερης- ελεύθερης ακτινοβολίας (συνεχές ραδιοκυμάτων).

Η κατανομή του (HI). Γενικά είναι αδύναμο οπτικά στην γραμμή των 21 εκ, με διασπορά πέρα του ορατού μέρος του δίσκου. Η μέση πυκνότητά του είναι όμοια σε όλους τους σπειροειδείς. Οι S0 δεν παρουσιάζουν (HI) στον δίσκο, και μερικοί δείχνουν (HI) μόνο έξω από τον δίσκο σε δακτυλίους.

.Το μοριακό αέριο.

Το (H2) παρατηρείται δύσκολα, αφού το ψυχρό (H2) δεν ακτινοβολεί. Το (CO) είναι σημαντικό ως δείκτης του (H2), από την παραδοχή της αναλογίας (CO)/(H) = -100000. Αυτή η αναλογία δεν είναι καθολική για όλους τους γαλαξίες, εξαρτάται από την μεταλλικότητα και τις γενικές συνθήκες κάθε γαλαξία. Στο κέντρο ενός γαλαξία, η αναλογία του (CO) αυξάνεται (το αέριο εκεί είναι κυρίως μοριακό). Σε αντίθεση με το (HI), η διασπορά του μοριακού αερίου δεν εκτείνεται πέρα από τον ορατό (με άστρα) γαλαξιακό δίσκο.

.Ο ρυθμός αστρογέννησης.

Οι παρατηρήσεις της μεσοαστρικής ύλης μας επιτρέπουν να βγάλουμε συμπεράσματα για τον ρυθμό αστρογέννησης (star formation rate) ενός γαλαξία, σε ηλιακές μάζες. Η κατάσταση ιονισμού των νεφών αποτελεί συνέπεια της πυκνότητας της ιονισμένης ακτινοβολίας, που εξαρτάται από τον αριθμό των νέων, καυτών αστεριών. Την μετράμε από τις γραμμές επανασύνδεσης και τις <απαγορευμένες> γραμμές (αυτές που δεν υπάρχουν στις συνθήκες στην Γη), που εξαρτώνται από την μεταλλικότητα και την ροή της ακτινοβολίας στο μακρινό υπέρυθρο. Αυτή προέρχεται από σκόνη που έχει απορροφήσει υπεριώδης ακτινοβολία από νεαρά άστρα και εκπέμπει στο υπέρυθρο.

Η μεσοαστρική ύλη στους ελλειπτικούς γαλαξίες.

Αυτοί περιέχουν πολύ μικρό ποσοστό σε ψυχρό αέριο και σκόνη. Την έχουμε μετρήσει μόνο στο 5-10% των ελλειπτικών γαλαξιών. Προέρχεται κυρίως από συγχωνεύσεις με σπειροειδείς γαλαξίες. Υπάρχει καυτό αέριο στο κέλυφος (>30kpc) των ελλειπτικών γαλαξιών, με θερμοκρασία 10 εκ. βαθμοί και μάζα 1- 100 δις ηλιακές, και μεταλλικότητα 0,5 αυτής του Ηλίου. Προέρχεται από αστρικούς ανέμους γιγάντων και αστερών στον ασυμπτωτικό κλάδο, καθώς και εκρήξεις σουπερνόβα.

Η κίνηση της ύλης.

Παρατηρούμε την περιστροφή ενός γαλαξία και διαπιστώνουμε ότι αυτή έχει ως αποτέλεσμα την κλίση των φασματικών γραμμών σε σχέση με γραμμές σύγκρισης (μετατόπιση στο ερυθρό ή στο κυανό ανάλογα το μέρος του γαλαξία που μας πλησιάζει ή απομακρύνεται όπως αυτός περιστρέφεται), ενώ μια ακανόνιστη κίνηση θα μας έδινε μόνο μια πεπλάτυνση των γραμμών.

Στους σπειροειδείς γαλαξίες.

Οι δίσκοι μας δείχνουν περιστροφή με κανονικότητα. Το αέριο και τα αστέρια κινούνται σε σχεδόν κυκλικές τροχιές. Η μέτρηση της περιστροφής γίνεται μέσω της μετατόπισης Ντόπλερ της γραμμής

των 21 εκ, ή των οπτικών φασματικών γραμμών από περιοχές (HII).

Μπορούμε να συμπεράνουμε ποια πλευρά του γαλαξία κινείται προς εμάς και ποια απομακρύνεται, αλλά όχι το ποια είναι μπροστά και ποια πίσω, όπως βλέπουμε τον γαλαξία.

Η γωνιακή ταχύτητα, ως δείκτης της απόστασης από το κέντρο ενός γαλαξία, μας τον αναλύει σε 3 περιοχές του.

.Η κεντρική περιοχή. Λόγω μικρής χωρικής ανάλυσης έχει μελετηθεί μόνο σε λίγους γαλαξίες. Οι μεγάλες τιμές γωνιακής ταχύτητας κοντά στο κέντρο είναι αποτέλεσμα της περιστροφής γύρω από την κεντρική μαύρη τρύπα. Έχουμε γρήγορη πτώση ταχύτητας προς τα έξω, σύμφωνα με τους νόμους του Κεπλερ.

.Ο δίσκος. Η γωνιακή ταχύτητα αυξάνεται ως στο μέγιστο σε απόσταση 5-6 kpc, σε γαλαξίες μεγάλης μάζας τύπου Sb. Η μορφή της καμπύλης περιστροφής μας δίνει τη κατανομή της μάζας στον δίσκο, και γενικά εξαρτάται από την συνολική γαλαξιακή λαμπρότητα. Οι πιο λαμπροί γαλαξίες έχουν μικρή πτώση λαμπρότητας προς τα έξω (η λαμπρότητα των κεντρικών περιοχών και του δίσκου είναι πιο όμοιες). Η καμπύλη αυτή γίνεται επίπεδη σε μεσαίας λαμπρότητας γαλαξίες και ανεβαίνει μονότονα προς τα έξω σε λιγότερο λαμπρούς γαλαξίες.

.Η άλως. Οι καμπύλες περιστροφής της είναι επίπεδες, και μόνο σε λίγες περιπτώσεις ακολουθούν τους νόμους του Κεπλερ. Η επίπεδες καμπύλες φανερώνουν την κυριαρχία της μεγάλης μάζας σκοτεινής ύλης. Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής μειώνεται από 300 σε 175 km/s, από γαλαξίες Sa σε Sb. Ο λόγος είναι η μείωση της γαλαξιακής μάζας και της συγκέντρωσής της. Σε αντίθεση με τους μεγάλους ελλειπτικούς γαλαξίες, στους σπειροειδείς οι κοιλίες περιστρέφονται με τη μέγιστη δυνατή, βάσει φυσικών νόμων, ταχύτητα.

Η ράβδος δεν είναι στατική, αλλά περιστρέφεται. Δεν αποτελεί κύμα συμπύκνωσης όπως οι σπείρες, έτσι τα πιο πολλά αστέρια παραμένουν σε αυτήν κατά την γαλαξιακή περιστροφή.

Η σπειροειδής δομή.

Η κυρίαρχη δομή των σπειροειδών γαλαξιών είναι οι βραχίονες, που επικαλύπτουν τον δίσκο και αποτελούνται από νέα αστέρια με περιοχές (HII), σκόνη και ισχυρή εκπομπή(HI). Οι βραχίονες είναι περιοχές εντατικής αστρογέννησης. Στη κλίμακα του Hubble οι βραχίονες ανοίγουν (οι Sa έχουν τους πιο κλειστούς). Από όσο γνωρίζουμε, κινούνται σύμφωνα με την περιστροφή, άρα η κατεύθυνση είναι από την άκρη προς την ράβδο. Αποτελούν κύματα πυκνότητας, έτσι δεν είναι συμπαγείς, άρα δεν τυλίγονται λόγω διαφορεικής ταχύτητας περιστροφής, όπως θα περιμέναμε να γίνει αν ήταν συμπαγείς.

Η μεσοαστρική ύλη συμπυκνώνεται λόγω μεγαλύτερης πίεσης της περιοχής, με αποτέλεσμα να καταρρέουν τα νεφελώματα και να έχουμε αστρογέννηση. Η γραμμή απορρόφησης (HI) και αυτή της σκόνης διακόπτεται από το μέγιστο της πυκνότητας νέων αστέρων (περιοχές (HII)).

Η μορφή των βραχιόνων είναι συνήθως συμμετρική προς την ράβδο, και δεν τυλίγονται πάνω από 1,5 φορές γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Σε γαλαξίες με πολλούς βραχίονες είναι πολλές φορές αδύνατο να παρακολουθήσουμε έναν βραχίονα σε όλη την έκτασή του. Λόγω μεσοαστρικής εξάλειψης (περιοχές αστρογέννησης) έχουμε καλύτερη εικόνα τέτοιων γαλαξιών στο υπέρυθρο.

Η δυναμική των ελλειπτικών γαλαξιών.

Το φάσμα τους επικαλύπτεται από φάσματα μεμονωμένων αστέρων με διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες. Το συμπέρασμα είναι ότι η κινητική ενέργεια των αστέρων στους ελλειπτικούς γαλαξίες κυριαρχείται από τυχαίες κινήσεις και όχι από την περιστροφή του γαλαξία. Η αιτία της πεπλάτυνσης είναι οι ανισοροπίες των ταχυτήτων.

Η περιστροφή κυριαρχεί μόνο σε μικρής λαμπρότητας ελλειπτικούς γαλαξίες. Οι μεγάλης λαμπρότητας ελλειπτικοί γαλαξίες έχουν και μεγαλύτερη διασπορά ταχυτήτων.

Νάνοι γαλαξίες.

Οι νάνοι γαλαξίες δεν ταιριάζουν στην κλασική κατηγοριοποίηση. Θεωρούνται οι θεμέλιοι λίθοι των μεγάλων γαλαξιών. Η απόλυτη λαμπρότητά τους φτάνει τα -18mag. Μόνο στην τοπική ομάδα γαλαξιών έχουμε αναλυτική φασματοσκοπία. Με το HST μπορούμε να εξετάσουμε φωτομετρικές λεπτομέρειες σε κοντινές ομάδες. Οι περιοχές εκπομπής(HII) και τα πλανητικά νεφελώματα στους

νάνους μπορούν να μας δώσουν λεπτομερές φάσμα και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, χάρη στις ισχυρές γραμμές εκπομπής τους.

Ελλειπτικοί νάνοι(dE).

Η εικόνα τους είναι σφαιρική ή ελλειπτική, και η λαμπρότητά τους φτάνει μέχρι -17mag . Έχουν μικρή επιφανειακή λαμπρότητα ως κανονικές ελλείψεις και συχνά μεγάλη αστρική πυκνότητα στο κέντρο, το οποίο μπορεί να φτάσει το 20% της συνολικής λαμπρότητας. Η μάζα τους είναι στα 1-10 δις ηλιακές, με τα 100 εκ. ηλιακές μάζες να είναι σε μορφή (HI), με μικρή, αλλά ακόμα ενεργή αστρογέννηση. Συνήθως δεν παρουσιάζουν περιστροφή, παρουσιάζουν αστρογέννηση εδώ και πολλά δις έτη, και έχουν σημαντικό εμπλουτισμό σε μέταλλα. Συνήθως βρίσκονται σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας από γαλαξίες, κυρίως ως δορυφόροι μεγάλων γαλαξιών και σε γαλαξιακά σμήνη. Η λαμπρότητά τους και η μεταλλικότητά τους είναι σχετικές μεταξύ τους.

Ανώμαλοι νάνοι (dIrr).

Έχουν ακανόνιστο οπτικό σχήμα και κυριαρχούνται από περιοχές (HII). Σε αυτούς τα αστέρια παλαιών πληθυσμών είναι πιο ομαλά κατανεμημένα. Έχουν μεγαλύτερη επιφανειακή λαμπρότητα, η μάζα τους φτάνει μέχρι τα 10 δις ηλιακές, με το 1 δις ηλιακές να είναι σε μορφή (HI) κατανεμημένο σε συμπυκνώσεις, και να εκτείνεται πέρα του αποτελούμενου από αστέρια μέρος του νάνου. Η περιστροφή είναι άκαμπτη σε μεγάλης μάζας νάνους dIrr, και δεν έχουμε αστρικά κύματα συμπύκνωσης. Η αστρογέννηση ποικίλλει σε ένταση σχετικά με την εξέλιξή τους. Τους βρίσκουμε περισσότερο σε πιο αραιές περιοχές (πεδίο, γαλαξιακή ομάδα). Η απόλυτη λαμπρότητα, η επιφανειακή λαμπρότητα και η μεταλλικότητά τους είναι σχετικές μεταξύ τους, και δεν έχουμε βρει διαβαθμίσεις μεταλλικότητας, όπως συμβαίνει στους σπειροειδείς. Φαίνεται να αποτελούν τους θεμέλιους λίθους του Γαλαξία μας.

Σφαιρικοί νάνοι(dSph).

Η εμφάνισή τους είναι διφορούμενη, με μικρή συγκέντρωση στο κέντρο (εκτός από τους νέους πληθυσμούς). Η γωνιακή λαμπρότητα είναι μικρή και είναι οι πιο αμυδροί γαλαξίες (μέχρι -14mag). Η λαμπρότητά τους είναι εκθετική και η μάζα τους φτάνει μόλις τα 10 εκ. ηλιακές, κάνοντάς τους να είναι γαλαξίες με την μικρότερη μάζα που γνωρίζουμε. Κυριαρχούνται από σκοτεινή ύλη και δεν παρατηρούμε αέριο, ούτε αστρογέννηση, παρά μόνο σημάδια έντονης αστρογέννησης που έγινε στο παρελθόν.

Η μεταλλικότητά τους είναι χαμηλή με μεγάλες διακυμάνσεις. Δεν περιστρέφονται και τους συναντάμε σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας, κυρίως ως δορυφόρους.

Νάνοι σπειροειδείς.

Είναι οι S0-, Sa-, Sb-, Sc-, Sd-γαλαξίες με λαμπρότητα μέχρι -18mag , στους οποίους οι πληθυσμοί μεγάλης ηλικίας είναι πιο ομαλά κατανεμημένοι. Έχουν μεγάλη σχέση μάζας- λαμπρότητας και η μεταλλικότητά τους κυμαίνεται πολλές φορές αρκετά, όπως και στους μεγάλους σπειροειδείς, λόγω ποικιλίας αστρικών πληθυσμών. Η αστρογέννηση σε αυτούς είναι συνεχής. Οι προγενέστερου τύπου (early) έχουν δίσκους που υποστηρίζονται από την περιστροφή με εκθετική λαμπρότητα, ενώ οι μεταγενέστερου τύπου (late) άκαμπτη περιστροφή.

Οι μεταγενέστερου τύπου έχουν μικρότερη μεταλλικότητα και λιγότερο μέρος σε μορφή (HI). Η δομή των σπειρών ποικίλλει, από καλά ανοιγμένες σπείρες μέχρι ακανόνιστα σχήματα, και δεν τους βρίσκουμε σε περιοχές μέγιστης γαλαξιακής πυκνότητας.

Μπλε συμπαγείς νάνοι (BCD).

Είναι μπλε, άμορφοι γαλαξίες που κυριαρχούνται από το (HII). Στο οπτικό φάσμα έχουν στενές γραμμές εκπομπής σε μπλε συνεχές. Τα αστέρια, το αέριο και η αστρογέννηση έχουν συγκέντρωση προς το κέντρο. Παρουσιάζουν μικρή επιφανειακή λαμπρότητα, με ανάμεικτο προφίλ λαμπρότητας. Η μάζα τους είναι 100 εκ -10 δις ηλιακές, με 1 δις σε μορφή (HI). Όσοι έχουν πολύ (HI) παρουσιάζουν χαμηλή μεταλλικότητα και είναι πιο συμπαγείς. Η περιστροφή τους είναι κυρίως άκαμπτη, αλλά υπάρχουν και χαώδεις κινήσεις, όπου το αέριο στις εξωτερικές περιοχές τους κινείται ανεξάρτητα. Έχουμε ενδείξεις ύπαρξης σκοτεινής ύλης. Στους BCD ανήκουν οι φτωχότεροι σε μέταλλα γαλαξίες αστρογέννησης, και φαίνονται ως δείγματα νεαρών τοπικών

γαλαξιών.

Όμως η μελέτη τους μας δείχνει ότι έχουν παλαιούς αστρικούς πληθυσμούς. Μερικοί έχουν σημάδια αλληλεπίδρασης που μπορεί να προξένησε αστρογέννηση, και τους συναντάμε σε περιοχές μικρής γαλαξιακής πυκνότητας.

Υπερ- συμπαγείς νάνοι(UCD).

Είναι πολύ συμπαγείς λαμπροί νάνοι, που μοιάζουν με σφαιρωτά σμήνη. Η φύση τους είναι άγνωστη, και συζητείται αν έχουν σκοτεινή ύλη, αν πρόκειται για μεγάλης μάζας σφαιρωτά ή αν ήταν πυρήνες μεγάλων γαλαξιών που απογυμνωθήκαν από τα εξωτερικά άστρα τους. Η απόλυτη λαμπρότητά τους είναι από -11mag ως -14mag . Φτάνουν σε διάμετρο τα 10 - 30 pc. Μερικές φορές περιβάλλονται από κέλυφος μικρής πυκνότητας, μεγέθους 80- 120 pc. Η μάζα τους είναι 20 - 90 εκ. ηλιακές. Έχουν τυπική ηλικία 8 δις έτη και υπάρχουν κυρίως σε γαλαξιακά σμήνη.

Γαλαξιακά κέντρα.

Γενικά στα κέντρα των γαλαξιών υπάρχει μια μεγάλης μάζας μαύρη τρύπα, και η δράση των ενεργών γαλαξιών οφείλεται στον δίσκο προσάυξησης της γαλαξιακής κεντρικής μαύρης τρύπας. Οι τεράστιες μάζα αυτές μ. τρύπες είναι παρόλα αυτά χωρικά πολύ μικρές για να τις δούμε, έτσι τις συμπεραίνουμε έμμεσα, από την μεγάλη αύξηση της διασποράς της ταχύτητας προς το κέντρο, και σε πηγές Maser από την κινηματική ασυμφωνία στην καμπύλη περιστροφής. Έχουμε μετρήσει τις μάζες των μ. τρυπών σε 49 γαλαξίες. Η μάζα τους είναι συνδεδεμένη με την διασπορά σε ταχύτητα βάσει λαμπρότητας των αστέρων στην κοιλιά.

Στατιστικές ιδιότητες.

Για στατιστικές μελέτες χρειάζονται μεγάλα δείγματα από γαλαξίες με γνωστές αποστάσεις (από την μετατόπιση στο ερυθρό). Αυτό το πετυχαίνουμε μόνο με φασματογράφους σε μεγάλους χρόνους χρήσης τηλεσκοπίων.

Φωτομετρική ερυθρολίσηση.

Παίρνουμε λήψεις με χρήση πολλών φίλτρων, που καλύπτουν όλο το ορατό φάσμα, και σε $z > 1$ το κοντινό υπέρυθρο. Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με φάσματα από αρχεία που περιλαμβάνουν άστρα, AGN και γαλαξίες διαφόρων τύπων, για παράδειγμα στο χρώμα τους. Με αυτόν τον τρόπο κάθε έξω-γαλαξιακό αντικείμενο μας δίνει την φωτομετρική ερυθρολίσηση και τον γαλαξιακό του τύπο.

Συνιστώσα λαμπρότητας.

Η συνιστώσα λαμπρότητας μας δίνει τον αριθμό των γαλαξιών προς το διάστημα λαμπρότητας. Μας δίνει την μέση πυκνότητα σε γαλαξίες και την μέση λαμπρότητα των γαλαξιών.

Η εξέλιξη με την ερυθρολίσηση.

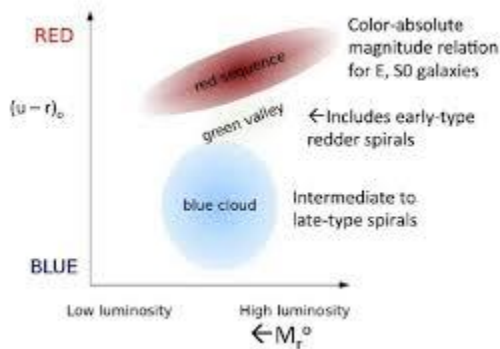
Το πρόβλημα είναι ότι όσο αυξάνεται η μετατόπιση στο ερυθρό ανεβαίνει το όριο λαμπρότητας που χρειάζεται να έχουν οι γαλαξίες, για να είναι ορατοί. Σε $z = 1$ δεν έχουμε εξετάσει γαλαξίες λιγότερο λαμπρούς από τον δικό μας. Από την χρωματική εξέλιξη και την εκτίμηση της εξέλιξης στη σχέση μάζας- λαμπρότητας, καθώς και την αστρογέννηση συμπεραίνουμε ότι οι κόκκινοι γαλαξίες έχουν παθητική εξέλιξη χωρίς σημαντική αστρογέννηση μετά από την ηλικία $z=1$. Γίνονται πιο κόκκινοι και αμυδρότεροι, αφού με τον χρόνο ο πληθυσμός των άστρων της κυρίας ακολουθίας σε αυτούς περιορίζεται σε πιο ψυχρά και αμυδρά άστρα, που είναι μικρότερης μάζας και μακροβιότερα. Όλο και περισσότεροι γαλαξίες μπαίνουν στην κατηγορία των κόκκινων. Στους μπλε γαλαξίες (μπλε σύννεφο), η αρχικά έντονη αστρογέννηση μειώνεται αργά, και αυτοί γίνονται λιγότερο μπλε και αμυδρότεροι. Η κατανομή συχνότητας δεν διαφοροποιείται.

Εικόνα συρρίκνωσης (downsizing).

Οι σημερινοί γαλαξίες μεγάλης μάζας δημιουργήθηκαν πρώτοι και σε μικρό χρονικό διάστημα. Όσο μικρότερη μάζα έχει ο γαλαξίας, τόσο πιο μεταγενέστερα και σε αργό ρυθμό έγινε η δημιουργία του. Αυτό εξηγεί την σημερινή σχέση στους γαλαξίες μεταξύ μάζας, ηλικίας και αστρογέννησης και την μείωση της αστρογέννησης τα τελευταία 10 δις έτη.

Κόκκινη ακολουθία και μπλε σύννεφο.

Τα δείγματα των γαλαξιών με ερυθρολίση μας δίνουν μια νέα κατάταξή τους. Οι παραδοσιακοί διαχωρισμοί προγενέστερων και μεταγενέστερων γαλαξιακών πληθυσμών χαρακτηρίζουν τους γαλαξίες σε αυτούς που βρίσκονται στην κόκκινη διαδοχή (προγενέστεροι) και αυτούς στο μπλε σύννεφο (μεταγενέστεροι), στην κατανομή τους στο διάγραμμα χρώματος- λαμπρότητας. Η κόκκινη διαδοχή περιλαμβάνει γαλαξίες χωρίς αστρογέννηση και με μεγάλη μάζα, ενώ το μπλε σύννεφο γαλαξίες με συνεχής αστρογέννηση και μικρότερη μάζα, κυρίως σπειροειδείς. Οι πρώτοι έχουν κυρίαρχη την γαλαξιακή κοιλιά, με γηραιούς κόκκινους αστρικούς πληθυσμούς, ελάχιστη πια αστρογέννηση και μεγάλη συγκέντρωση φωτός στο κέντρο, ενώ οι δεύτεροι έχουν κυρίαρχο τον γαλαξιακό δίσκο, με νέους μπλε αστρικούς πληθυσμούς με ενεργή αστρογέννηση και μικρή συγκέντρωση φωτός στο κέντρο.



Πως εξελίσσονται οι γαλαξίες

Η συνολική μάζα των γαλαξιών στην κόκκινη ακολουθία έχει διπλασιαστεί από την εποχή $z=1$. Οι γαλαξίες δημιουργούνται στο μπλε σύννεφο και μεταναστεύουν από εκεί στην κόκκινη διαδοχή, με την αστρογέννηση να εξαλείφεται σε αυτήν την εξέλιξη.

Ένα σενάριο εξέλιξης είναι ότι πρώτα έγινε η μετάβαση (δηλαδή, από νωρίς υποβαθμίστηκε η αστρογέννηση) και μετά συγχωνεύθηκαν οι γαλαξίες που δεν είχαν ή είχαν πολύ λίγο αέριο (dry mergers).

Ένα άλλο είναι ότι οι συγχωνεύσεις έγιναν ακόμα μέσα στο μπλε σύννεφο (wet mergers) και μετά έγινε η μετάβαση στην κόκκινη διαδοχή, άρα η υποβάθμιση της αστρογέννησης έγινε αργότερα. Η υποβάθμιση της αστρογέννησης μπορεί να συμβεί με την εξάντληση των αερίων μετά από την συγχώνευση 2 γαλαξιών ή με την επίδραση του περιβάλλοντος ενός γαλαξία.

Κλιμακωτές σχέσεις στους γαλαξίες.

Στους ελλειπτικούς κλιμακώνεται με την λαμπρότητα η διασπορά ταχύτητας στο κέντρο, ενώ στους σπειροειδείς σχετίζεται η ταχύτητα περιστροφής με τη λαμπρότητα.

Η παρατηρησιακή συσχέτιση ανάμεσα στην διάμετρο και την μέση λαμπρότητα ανά επιφάνεια μας δίνει ένα βασικό μέγεθος του γαλαξία. Η διάχυση μηδενίζεται όταν παρατηρούμε την προβολή του γαλαξία στο επίπεδο (τον γαλαξία από πάνω).

Με μετρήσεις που είναι ανεξάρτητες από την απόσταση μπορούμε να βρούμε την λαμπρότητα ενός γαλαξία μέσω του μεγέθους του. Η σχέση αυτή υπάρχει για τους ελλειπτικούς γαλαξίες και τις κοιλίες των σπειροειδών. Η μέτρηση δεν εξαρτάται από το κοσμικό περιβάλλον, η κοσμική διάχυση μπορεί να επηρεάσει μόνο κατά μερικά ποσοστά το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Κατανομή στον χώρο.

Υπάρχουν οι συμπυκνώσεις γαλαξιακών σμηνών, αλλά σε μεγάλη κλίμακα αυτές μειώνονται, άρα το σύμπαν είναι ισότροπο σε μεγάλες κλίμακες.

Γαλαξίες σε μεγάλη μετατόπιση στο ερυθρό.

Λόγω των αμέτρητων γαλαξιών σε ένα πεδίο, με διαφορετική λαμπρότητα και μετατόπιση στο ερυθρό (απόσταση), χρειάζεται να έχουμε τεχνικές διαχωρισμού για την αναγνώριση των μακρινότερων γαλαξιών.

Αμυδροί μπλε γαλαξίες (faint blue galaxies).

Είναι ο πληθυσμός γαλαξιών του πεδίου με μεγάλη ανάλυση, μέχρι $z=1$ (στο βαθύ πεδίο του Hubble μέχρι $z=3$). Από την μελέτη αυτού του πληθυσμού συμπεραίνουμε ότι η αστρογέννηση αυξάνεται δυναμικά μέχρι $z=1$ και μετά μειώνεται με μικρότερο ρυθμό.

Καμπή Lyman

Η φασματική κατανομή ενέργειας των γαλαξιών με μεγάλη αστρογέννηση (starburst) μας δείχνει μια εκτεταμένη καμπή Lyman (καμπή ιονισμού του υδρογόνου στις ατμόσφαιρες των μεγάλης μάζας αστέρων). Η ισχύ της καμπής μπορεί να ενισχυθεί από την απορρόφηση του αερίου (HI) μέσα ή μπροστά από τον γαλαξία. Οι λήψεις ενός πεδίου με φίλτρο σε μήκος κύματος ηρεμίας μικρότερο από αυτό της καμπής και άλλων φίλτρων σε μήκος κύματος ηρεμίας πάνω από την καμπή μας επιτρέπει τον διαχωρισμό των γαλαξιών σε ορισμένο πεδίο μετατόπισης στο ερυθρό, βάσει διαλείψεων (dropout).

Γαλαξίες Lyman- α .

Οι γαλαξίες με εκτεταμένη αστρογέννηση δείχνουν την γραμμή εκπομπής υδρογόνου Lyman- α με υψηλό ισοδύναμο πλάτος. Το συνεχές στην πλευρά του μικρού μήκος κύματος αυτής της γραμμής (ανάλογα την μετατόπιση στο ερυθρό) χάνεται από μεσογαλαξιακή απορρόφηση, έτσι έχουμε μια ασυνέχεια σε αυτήν την γραμμή.

Οι βαρυτικοί φακοί στην εύρεση μακρινών γαλαξιών.

Πρόκειται για την χρήση μεγάλης μάζας γαλαξιακών σμηνών ως φυσικών <τηλεσκοπίων>, που ενισχύουν το φως από γαλαξίες που βρίσκονται πίσω τους. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να δούμε πολύ αμυδρούς γαλαξίες που με άμεση παρατήρηση δεν είναι ανιχνεύσιμοι, κάτι πολύ σημαντικό για την εξέλιξη της λαμπρότητας των γαλαξιών. Ακόμα, μπορούμε να κατασκευάσουμε πιστούς χάρτες της σκοτεινής ύλης των σμηνών που αποτελούν τους βαρυτικούς φακούς επειδή αυτοί χρησιμοποιούν το βαρυτικό πεδίο τους για τα λειτουργήσουν ως βαρυτικοί φακοί.

Γαλαξίες στα υπό- χιλιοστά (sub- mm (SCUBA) galaxies).

Στην περιοχή του μήκος κύματος των υπό-χιλιοστών είναι εφικτή η αναγνώριση γαλαξιών με μεγάλη αστρογέννηση από την εκπομπή της σκόνης τους. Η μέθοδος αυτή μας επιτρέπει παρατηρήσεις σε μεγάλη μετατόπιση στο ερυθρό. Με την μετατόπιση στο ερυθρό το παράθυρο παρατήρησης μετακινείται στο μήκος κύματος όπου παρουσιάζεται το μέγιστο της εκπομπής της σκόνης.

Απομακρυσμένοι κόκκινοι γαλαξίες και πολύ κόκκινα αντικείμενα (distant red galaxies and extremely red objects, ERO)

Μετά την καμπή της αστρογέννησης ο αστρικός πληθυσμός εξελίσσεται παθητικά και το χρώμα ενός γαλαξία γίνεται πιο κόκκινο. Μπορεί και να ενισχύεται το κόκκινο χρώμα από την αποχρωμάτιση λόγω της σκόνης, έτσι οι ομάδα αυτών των γαλαξιών είναι ανομοιογενής.

Γαλαξίες με αποσβεσμένη γραμμή Lyman - α (damped Lyman - α systems, DLA)

Παρουσιάζουν πολύ ισχυρές γραμμές απορρόφησης που παραπέμπουν σε αέριο που απορροφάει κατά μήκος της γραμμής θέασης, κάτι τυπικό για δίσκους σπειροειδών γαλαξιών.

Σημείωση 1

Ελλειπτικοί σε συγχώνευση

Κοντά στο κέντρο του γαλαξιακού σμήνους SDSSJ1531+3414 στη Νότια Κορώννα, δύο ελλειπτικοί γαλαξίες είναι σε φάση συγχώνευσης. Συνήθως συγχωνεύονται σπειροειδείς γαλαξίες, με αποτέλεσμα την έντονη αστρογέννηση. Στην σπάνια αυτή συγχώνευση εμφανίζεται μια ακανόνιστη μπλε λωρίδα με μήκος 100000 έτη φωτός, κάτι που απεικονίζει την ήδη υπάρχουσα έντονη αστρογέννηση.

Η γέννηση μεγάλων μπλε αστέρων σημαίνει ότι όλη η διαδικασία δεν γίνεται για περισσότερο από 10 εκ. έτη, λόγω της μικρής διάρκειας ζωής τους και της έντονης κατανάλωσης του διαθέσιμου για την αστρογέννηση αερίου. Αργότερα η φωτεινότητα θα μειωθεί και το φως θα γίνει πιο κόκκινο. Η λωρίδα αυτή περιέχει σκόνη και αέριο που λόγω των παλιρροϊκών δυνάμεων των 2 γαλαξιών απομακρύνθηκε από αυτούς. Κανονικά δεν θα υπήρχε διαθέσιμο αέριο και σκόνη σε ελλειπτικούς γαλαξίες. Αυτή η παρατήρηση μας πληροφορεί ότι ίσως τελικά να μην είναι τόσο στείροι οι ελλειπτικοί γαλαξίες. Τέλος, η τεράστια συνολική μάζα τους κάνει το φως των γαλαξιών πίσω τους να καμπυλώνεται έντονα (φαινόμενο βαρυτικού φακού).

Σημείωση 2

Τύποι γαλαξιών και τα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Μια απλοποιημένη κατάταξη των γαλαξιών.

Κανονικοί σπειροειδείς. Πολύ επίπεδοι δίσκοι που υποστηρίζονται από την περιστροφή τους, με σπειροειδείς βραχίονες (όπου έχουμε αστρογέννηση) και μια κεντρική ράβδο (απαλλαγμένη από νεαρά άστρα). Μάζα 1 δις- 1 τρις ηλιακές, μέγεθος 6-100 κpc, λαμπρότητα 100 εκ.- 100 δις ηλιακές.

Προγενέστερου(early) τύπου. Με πολύ λίγη σκόνη και αέριο, κυριαρχούνται από μεγάλης ηλικίας αστέρια. Μάζα 1 εκ- 100 τρις ηλιακές, μέγεθος 1- 150 κpc και λαμπρότητα 1 εκ- 1 τρις ηλιακές.

Ραβδωτοί. Σπειροειδείς με σπείρες αερίων και σκόνης που καταλήγουν σε μπάρα που διασχίζει τον πυρήνα. Όμοιες μάζες και λαμπρότητες με τους σπειροειδείς.

Ανώμαλοι. Δεν κυριαρχεί ένας δίσκος ή μια μπάρα, με το 10%- 20% της μάζας τους να είναι αέριο. Μάζα 1 εκ- 100 δις ηλιακές, διάμετρος 1- 10 κpc και λαμπρότητα 1 εκ- 1 δις ηλιακές.

Αστρογέννησης. Μεγαλο απόθεμα αερίων και υψηλός βαθμός αστρογέννησης. Μπορεί να είναι κανονικοί ή ακανόνιστοι στο σχήμα. Μάζα 1 εκ- 10 δις ηλιακές, μέγεθος 100-1000 κpc, λαμπρότητα 1 δις- 100 τρις ηλιακές.

LIRG (Luminousinfraredgalaxies). Λαμπροί στο υπέρυθρο, χωρίς ή με όχι ισχυρούς AGN.

U(ultra)LIRG. Με πολύ σκόνη, πιθανώς περιέχουν ισχυρούς AGN, μεγαλύτερης λαμπρότητας από 1 τρις ηλιακές. Μεγάλη λαμπρότητα στο υπέρυθρο.

E(extreme)LIRG. Ακόμα πιο λαμπροί στο υπέρυθρο, με υπερμεγέθη μ. τρύπα στο κέντρο.

Νάνοι. Πολύ αμυδροί γαλαξίες, μάζας 1 εκ. ηλιακής και έκτασης 1000 pc.

Σημείωση 3

Ο λαμπρότερος γαλαξίας

Ο γαλαξίας WISEJ224607.57-052635.0 έχει απόσταση $z = 4,6$. Άρα το φως του μας έρχεται από πριν 12,5 δις έτη. Η λαμπρότητά του είναι 300 τρις φορές αυτή του Ηλίου (λόγω μεγάλης ερυθρολίσθησης η λαμπρότητά του κορυφώνεται στο υπέρυθρο). Αυτός ο γαλαξίας ανήκει στην νέα κατηγορία ELIRG (extreme luminous infrared galaxies), που είναι ακόμα πιο λαμπροί από τους U(ultra)LIRG. Οι τελευταίοι είναι κλασσικοί γαλαξίες αστρογέννησης με πολύ σκόνη, όπως ο M82.

Η μεγάλη λαμπρότητά του οφείλεται στην υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο του, που υπολογίζεται να έχει δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες. Αυτή ακτινοβολεί έντονα λόγω της μεγάλης συσσώρευσης αερίων στον ορίζοντα γεγονότων της, και θερμαίνει την σκόνη γύρω της, που έτσι λάμπει στο υπέρυθρο. Η μάζα της φαίνεται να ξεπερνάει τα όρια της θεωρίας εξέλιξης των κεντρικών μαύρων τρυπών, ίσως να είχε μεγάλη αρχική μάζα ή να περιστρέφεται πολύ αργά, με συνέπεια την πιο αποτελεσματική τροφοδοσία της.

Σημείωση 4

Μια μαύρη τρύπα προγενέστερου τύπου ανατρέπει τα δεδομένα της θεωρίας γαλαξιακής εξέλιξης.

Η υπερμεγέθης (7 δις ηλιακές μάζες) μαύρη τρύπα του γαλαξία CID947 μας στέλνει φως από 11 δις έτη πριν. Οι μεγαλύτερες μαύρες τρύπες που είχαμε ανακαλύψει μέχρι τώρα είχαν το πολύ το 1% της συνολικής μάζας του γαλαξία. Αυτή έχει το 10%, και είναι εντυπωσιακό το πώς μεγάλωσε τόσο γρήγορα (2 δις έτη μετά την μεγάλη έκρηξη). Η προσαύξησή της δεν είναι πια σημαντική, άρα έχει φτάσει στο τελικό της μέγεθος. Δεν εμπόδισε την αστρογέννηση μέσω των ανέμων της, και όσο και να μεγαλώσει ο γαλαξίας (που είναι ένας τυπικός γαλαξίας), θα υπάρχει αυτή η δυσαναλογία μάζας ανάμεσα στην μαύρη τρύπα και στον γαλαξία της.

Σημείωση 5

Το ALMA ανακαλύπτει συνέλευση γαλαξιών στο πολύ νεαρο σύμπαν.

Ανακαλύψαμε την εκπομπή του (CII) στον BDF3239, σε ηλικία του σύμπαντος μόλις 800 εκατομμύρια έτη. Πρόκειται για κανονικό γαλαξία (όχι Κβαζαρ), και η εκπομπή αυτή δεν προέρχεται από το κέντρο του. Τα κεντρικά νέφη του διαταράχτηκαν από την κοντινή αστρογέννηση (αστρικοί άνεμοι και σουπερνόβα). Το ιονισμένο (CII) μας δείχνει τις περιοχές ψυχρού αερίου, που συσσωρεύονται στον γαλαξία από την μεσογαλαξιακή ύλη. Για πρώτη

φορά μπορούμε να υπολογίσουμε για έναν τόσο μακρινό γαλαξία παραμέτρους όπως οι άνεμοι των αστεριών, η βιωσιμότητα των μοριακών νεφών, η διαφυγή της ακτινοβολίας ιονισμού και η πολύπλοκη δομή της μεσοαστρικής ύλης. Ο γαλαξίας αυτός αποτελεί τυπικό δείγμα συνεισφοράς στον συμπαντικό επαναϊονισμό.

Σημείωση 6

Ο τεράστιος ελλειπτικός γαλαξίας M87 συνεχίζει να μεγαλώνει.

Από την ανάλυση των κινήσεων 300 πλανητικών νεφών του M87 (ελλειπτικός γαλαξίας μάζας 1 τρις ηλιακές, την πενταπλάσια του δικού μας Γαλαξία) βρέθηκε ότι πριν ένα δις έτη <κατάπαι> έναν γαλαξία. Τα πλανητικά νέφη της έρευνας βρίσκονται στις εξωτερικές περιοχές του γαλαξία. Τα πλανητικά έχουν το πλεονέκτημα ότι εκπέμπουν σε αυστηρά καθορισμένα μήκη κύματος (ορατό και υπέρυθρο). Αυτά τα πλανητικά προήλθαν από τον γαλαξία που συγχωνεύτηκε με τον M87. Με αυτήν την πρόσφατη συγχώνευση (οι περισσότερες στο σύμπαν έγιναν πολλά δις έτη πριν) εξηγείται η μεγάλη λαμπρότητα της άλως του γαλαξία. Τα πλανητικά νέφη διαρκούν για μερικές δεκάδες χιλιάδες έτη, έτσι δεν προϋπήρχαν στον γαλαξία που συγχωνεύτηκε. Όμως ακολουθούν την κίνηση των (σχετικά μικρής μάζας) αστέρων, τώρα λευκών νάνων, που είναι πολύ πιθανό να ανήκαν στον γαλαξία που συγχωνεύτηκε στον M87.

