

3D μελέτη των γαλαξιών 2.

Ανάδραση και περιβάλλον.

OMEGA, η χαρτογράφηση OSIRIS των γαλαξιών γραμμής εκπομπής στο Abell 901/902.

Θα παρουσιάσουμε τα πρώτα αποτελέσματα του ESO Large Program, που μας έδωσε το όργανο OSIRIS του 10 μέτρων τηλεσκοπίου GTC, στο La Palma. Παρατηρήσαμε ένα μεγάλο δείγμα γαλαξιών της περιοχής του συστήματος σμηνών Abell 901/902 ($z=0,165$). Λάβαμε χάρτες χωρικής και φασματικής ανάλυσης των εκπομπών (H α) και (NII) για ένα μεγάλο δείγμα γαλαξιών, που καλύπτουν μεγάλο εύρος γαλαξιακών περιβαλλόντων. Ο συνδυασμός των δεδομένων μας με παρατηρήσεις από άλλα τηλεσκόπια, σε διάφορα μήκη κύματος, μας βοηθάει στην μελέτη της αστρογέννησης και της δραστηριότητας των AGN ως συνέπειες των περιβαλλόντων και γαλαξιακών ιδιοτήτων, όπως η λαμπρότητα, η μάζα και η μορφολογία. Ο μεγάλος στόχος μας είναι η λεπτομερής κατανόηση της επίδρασης του περιβάλλοντος στην αστρογέννηση και στην δραστηριότητα των AGN.

Οι ιδιότητες των γαλαξιών αλλάζουν, ως μια συνέπεια του περιβάλλοντος. Γαλαξίες σε περιοχές μικρής πυκνότητας τείνουν να είναι μπλε αντικείμενα αστρογέννησης με μορφολογία δίσκου, ενώ αυτοί που βρίσκονται σε πυκνότερες περιοχές τείνουν να είναι κόκκινα, παθητικά αντικείμενα, με πιο σφαιροειδείς μορφολογίες. Τα περιβάλλοντα φαίνεται να επιδρούν επίσης στις πιθανότητες ενός γαλαξία να έχει ενεργό πυρήνα. Μελετώντας αυτό το σύστημα πολλών σμηνών σε $z=0,165$, ο κύριος στόχος μας είναι η καλύτερη κατανόηση του ρόλου του περιβάλλοντος στον μετασχηματισμό των γαλαξιών από ενεργούς αστρογέννησης σε παθητικούς, με την επακόλουθη μορφολογική τους μεταβολή, και η σχέση ανάμεσα στα AGN και το γαλαξιακό περιβάλλον.

Η επισκόπηση OMEGA.

Η επισκόπηση OSIRIS Mapping off Emission- Line Galaxies in A019/2 (OMEGA) σχεδιάστηκε για αυτή την μελέτη. Εκτείνεται σε 5X5 Mpc², και περιέχει μεγάλο εύρος καλά μελετημένων περιβαλλόντων. Εκτός από τα ήδη διαθέσιμα δεδομένα, είναι σημαντικό να έχουμε οπτικές διαγνώσεις όπως τα φάσματα εκπομπής, ώστε να κατανοήσουμε πραγματικά τους ρόλους της σκιασμένης και μη σκιασμένης αστρογέννησης, και την αναλογία των AGN μικρής λαμπρότητας που δεν παρουσιάζουν εκπομπές ακτίνων X. Η γραμμή εκπομπής του (H α) ανιχνεύει πολύ καλά την αστρογέννηση, ενώ σε συνδυασμό με αυτή του (NII) μας δίνει διάγνωση της δραστηριότητας των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων.

Ανάλυση και τα πρώτα αποτελέσματα.

Μελετώντας τις χωρικές διασπορές των πηγών βρήκαμε ότι και οι γαλαξίες AGN και οι αστρογέννησης <αποφεύγουν> τις πιο πυκνές περιοχές (στα σμήνη). Επίσης υπάρχει απόδειξη, μέσω της σχέσης ρυθμού αστρογέννησης/ αστρικής μάζας, ότι έχουμε εκτεταμένη υποβάθμιση της αστρογέννησης στους γαλαξίες σε σμήνη από ότι σε αυτούς του ευρύτερου πεδίου. Ο βασιζόμενος στη ροή του (H α) εκτιμώμενος ρυθμός αστρογέννησης συμφωνεί καλά με τους δείκτες αστρογέννησης.

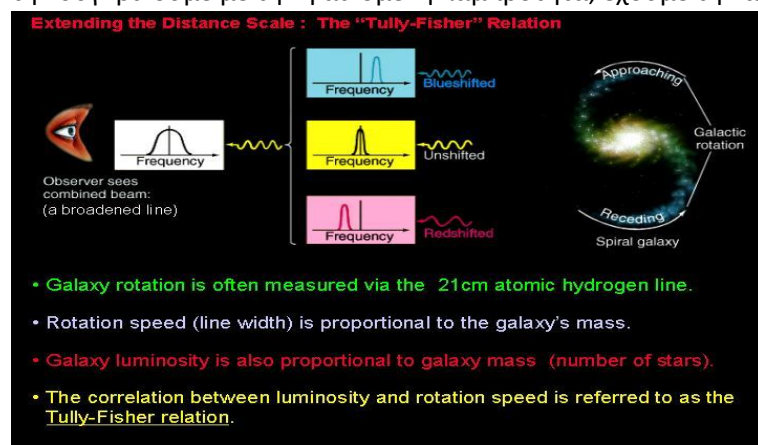
Συμπεράσματα.

Η ανάλυση του μόλις 20% των δεδομένων της επισκόπησής μας δείχνει ότι αυτές οι παρατηρήσεις είναι πολύ χρήσιμες για τον καθορισμό των ροών των γραμμών εκπομπής, σε μεγάλο αριθμό γαλαξιών συγκεκριμένου z.

Τρισδιάστατες μελέτες γαλαξιών σε συμπαγείς ομάδες.

Τα δεδομένα από ομάδες γαλαξιών μας έδειξαν ότι η σχέση Tully-Fisher, σε όλες τις φωτομετρικές μπάντες, για γαλαξίες με μέγιστη ταχύτητα > 100 km/s, είναι πολύ όμοια με αυτή για γαλαξίες σε λιγότερο πυκνά περιβάλλοντα. Όμως, στο άκρο μικρής λαμπρότητας των ομάδων γαλαξιών μερικές συμπαγείς ομάδες γαλαξιών υπερβαίνουν την σχέση, προφανώς επειδή είναι πολύ λαμπροί για την μάζα τους. Θα δείξουμε ότι αν η μάζα είναι κατάλληλα υπολογισμένη από την φασματική διασπορά ενεργειακής τροφοδότησης ή τα μοντέλα μάζας, για τους μικρής λαμπρότητας γαλαξίες, οι θέσεις τους στην σχέση αστεριών (λαμπρότητας) -μάζας (ή βαρυονική Tully- Fisher) είναι οι αναμενόμενες. Επίσης η προς τα έξω θέση που παρατηρείται στην σχέση B και K Tully- Fisher μπορεί να εξηγηθεί μέσω φωτεινότητας των υπό αλληλεπίδραση μικρής λαμπρότητας γαλαξιών, κατά τη διάρκεια ισχυρής αστρογέννησης ή δραστηριότητας του AGN.

Η σχέση αυτή εκφράζεται ανάμεσα στην λαμπρότητα των γαλαξιών και στην ταχύτητα περιστροφής τους. Όσο μεγαλύτερος είναι ένας γαλαξίας τόσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα περιστροφής του. Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζουμε την ταχύτητα περιστροφής ενός γαλαξία μπορούμε μέσω της σχέσης αυτής να γνωρίζουμε την απόλυτη λαμπρότητα του. Αν την συγκρίνουμε με την φαινόμενη λαμπρότητα, έχουμε την απόσταση του γαλαξία.



Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την χρήση της σχέσης Tully- Fisher (TF) ως το μέσο της κατηγοριοποίησης της γαλαξιακής εξέλιξης, ως συνέπεια της ερυθρολίσθησης. Όμως, πριν την χρήση της παραπάνω σχέσης για αυτό το σκοπό πρέπει να κατανοήσουμε το πως έχουμε παρέκκλιση και <τομές> σε αυτήν ανάλογα με την πυκνότητα του περιβάλλοντος.

Οι γαλαξίες στις συμπαγείς ομάδες Hickson είναι συχνά υπό αλληλεπίδραση, άρα έχουν ιδιαιτερότητες στην κινηματική ή στην μορφολογία τους. Αποτελούν καλά πεδία δοκιμής της σχέσης TF, υπό την επίδραση πυκνών περιβάλλοντων. Είναι σημαντικό να βρούμε αν οι γαλαξίες αυτοί ακολουθούν την παραπάνω σχέση όπως οι γαλαξίες σε λιγότερο πυκνά περιβάλλοντα.

Μετά από προσεκτικό καθορισμό των γωνιακών θέσεων, κλίσεων και κινηματικών κέντρων των γαλαξιών, και υπολογίζοντας την παρουσία μη κυκλικών κινήσεων, οι περισσότεροι γαλαξίες βρίσκονται στην μπάντα B της σχέσης, με λίγους μικρής μάζας γαλαξίες να είναι εκτός αυτής. Οι μικρής μάζας γαλαξίες τείνουν προς μικρή ταχύτητα περιστροφής σε αναλογία με την λαμπρότητά τους, ή μεγάλη λαμπρότητα για την ταχύτητα περιστροφής που μετράμε σε αυτούς. Αυτοί οι γαλαξίες επηρεάζουν πολύ τον καθορισμό της παρέκκλισης και του σημείου 0 της σχέσης TF. Έτσι δοκιμάζουν τις μελέτες εξέλιξης των γαλαξιών με την ερυθρολίση, μέσω της σχέσης TF. Μελετώντας την μπάντα K, την βαρυονική και την αστρική σχέση από την TF, μπορούμε να ερευνήσουμε αν οι μάζες των γαλαξιών είναι περικυκλωμένες από τις αλληλεπιδράσεις, ή αν μια έκρηξη της αστρογέννησης μπορεί να είναι τόσο ισχυρή ώστε να αυξήσει την λαμπρότητα αυτών των αντικειμένων, βγάζοντάς τα έξω από τα όρια της σχέσης TF.

Αποτελέσματα.

Για την σύγκριση της σχέσης TF γαλαξιών που είναι μέλη πυκνών ομάδων, με αυτή γαλαξιών σε λιγότερα πυκνά περιβάλλοντα, χρησιμοποιούμε ένα δείγμα ελέγχου, το GHASP. Το δείγμα αυτό όμως αποτελείται κυρίως από μεγάλους γαλαξίες. Δεδομένο ότι μας ενδιαφέρει η θέση των μικρής μάζας γαλαξιών των ομάδων Hickson στην σχέση TF, όπως αυτή καθορίζεται από γαλαξίες σε λιγότερο πυκνά περιβάλλοντα, ολοκληρώσαμε το δείγμα GHASP με γαλαξίες πλούσιους σε αέριο.

Τα αποτελέσματα της B μπάντας, της K μπάντας και της αστρικής σχέσης TF μας δείχνουν ότι 1) Οι κοιλιές των γαλαξιών σε συμπαγείς ομάδες ακολουθούν την σχέση. 2) Υπάρχουν μερικοί γαλαξίες που βρίσκονται εκτός των κατωτέρων ορίων μάζας της K και της B μπάντας της σχέσης, και αν τους συμπεριλάβουμε θα επηρεάσουν την παρέκκλιση και την τομή της σχέσης. 3) Για τους γαλαξίες μικρότερης μάζας σε πυκνές ομάδες, η αύξηση ευκρίνειας στις 2 μπάντες K και B από αλληλεπιδράσεις ή δράση από AGN θα επηρεάσει την σχέση. 4) Δεν υπάρχουν γαλαξίες εκτός σχέσης στην βαρυονική και αστρική TF, αφού οι μάζες των χαμηλής μάζας γαλαξιών υπολογίστηκαν με την χρήση της διασποράς φασματικής ενέργειας (SED, spectral energy distribution), ή της ανάλυσης μοντέλων μάζας.

Συμπεράσματα.

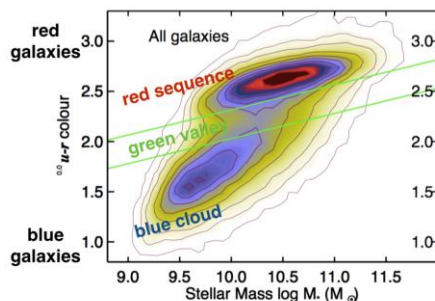
Οι τρισδιάστατες κινηματικές μελέτες των γαλαξιών σε συμπαγείς ομάδες αποκαλύπτουν την σημασία της σωστής μέτρησης των κινηματικών παραμέτρων, των γαλαξιακών κέντρων, της γωνιακής θέσης και της κλίσης αυτών των υπό αλληλεπίδραση γαλαξιών. Επίσης και την συνεισφορά στην κινηματική των μη κυκλικών κινήσεων. Τα παραπάνω είναι σημαντικά για όλους τους υπό αλληλεπίδραση γαλαξίες. Οι 3διστατοι χάρτες ταχυτήτων είναι απαραίτητοι στην μελέτη της εξέλιξης των ιδιοτήτων των γαλαξιών σε διαφορετικά περιβάλλοντα και χρόνους, για τον αυξανόμενο με την ερυθρολίση αριθμό γαλαξιών που βρίσκονται υπό αλληλεπίδραση.

Για τον σωστό υπολογισμό των παρεκκλίσεων και των τομών της σχέσης TF για γαλαξίες υπό αλληλεπίδραση πρέπει να προσέχουμε ότι, ειδικά για γαλαξίες με ταχύτητα

περιστροφής κάτω από 100 km/s, οι μάζες που έχουν παρατηρηθεί σε SED ανάδραση ή σε μοντέλα μάζας μας δείχνουν ότι οι τιμές των B και K αυτών των γαλαξιών μπορεί να έχουν αυξημένη ευκρίνεια λόγω αστρογέννησης ή AGN, επηρεάζοντας τα αποτελέσματα για τους υπό αλληλεπίδραση γαλαξίες.

(CO) και (CII) με το τηλεσκόπιο Herschel και την επισκόπηση CARMA σε συμπαγείς ομάδες Hickson (Hickson Compact Groups of galaxies).

Η κατανόηση της εξέλιξης των γαλαξιών, από το μπλε σύννεφο αστρογέννησης στην αδρανή κόκκινη ακολουθία, έχει αναβαθμιστεί από τις παρατηρήσεις του Herschel και της ανάπτυξης των συμβολομετρικών παρατηρήσεων στα χιλιοστόμετρα. Έτσι οι αστρονόμοι μπορούν, με πρωτοφανής ακρίβεια, να αναγνωρίσουν την ψυχρή σκόνη και την ψυχρή μεσοαστρική ύλη σε ένα μεγάλο δείγμα γαλαξιών. Οι πρόσφατες παρατηρήσεις του Herschel των λαμπρών στο (H₂) HCG (Hickson Compact Groups of galaxies), έδειξε ότι το (CII) μπορεί να είναι αυξημένο σε διάχυτα αέρια που δέχτηκαν κρουστικό κύμα. Οι παρατηρήσεις του CARMA στο (CO1-0) των πλούσιων σε (CII) HCG, έδειξε ότι αυτά τα ταραχώδη συστήματα μπορεί επίσης να παρουσιάσουν καταστολή της αστρογέννησης. Εδώ θα παρουσιάσουμε τα πρώτα αποτελέσματα αυτών των παρατηρήσεων και τις ιδιότητες των (CO1-0), (CII) ώστε να δούμε πως τα κρουστικά μέτωπα επηρεάζουν τις γαλαξιακές μεταβάσεις (από το μπλε σύννεφο στην κόκκινη ακολουθία), και την αστρογέννηση.



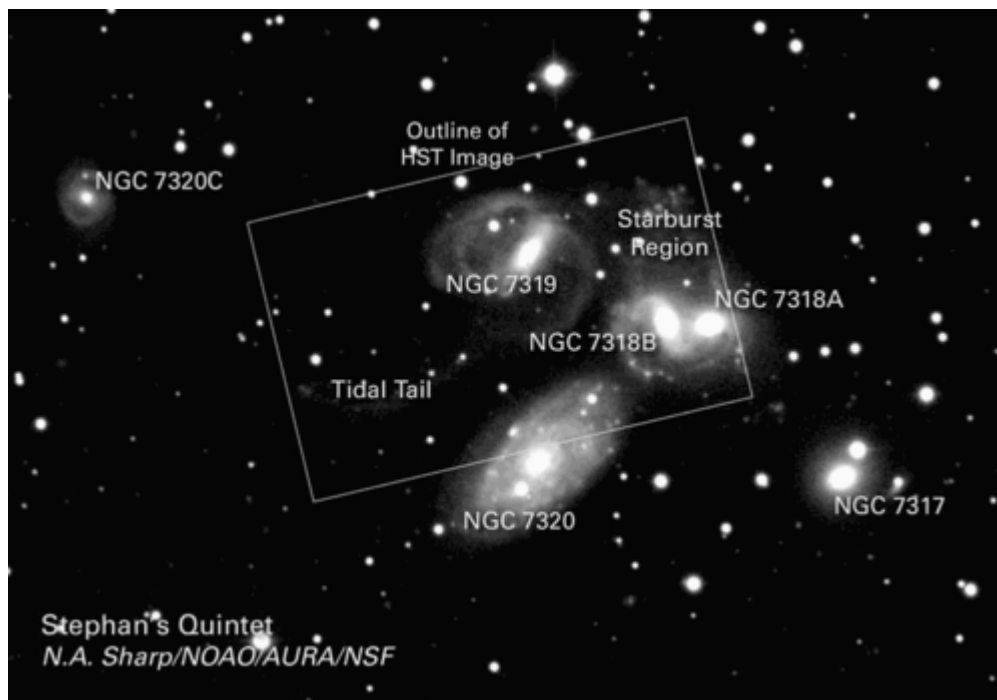
Οι συμπαγείς γαλαξιακές ομάδες είναι μικρά, σχετικά απομονωμένα συστήματα με τυπικά 4-5 γαλαξίες πολύ κοντά ο ένας στον άλλο. Έχουν μεγάλη αναλογία από προγενέστερου τύπου (S0,E) γαλαξίες, που αποτελεί απόδειξη παλιρροϊκής αλληλεπίδρασης. Είναι μεγάλης πυκνότητας με μικρή διασπορά ταχύτητας, και γενικά ελλειπείς σε (HI). Οι συμπαγείς ομάδες φαίνεται να περνάνε μια φάση εξέλιξης που μπορεί να ανιχνευτεί από την μεγάλη ελάττωση του ουδέτερου αερίου σε αυτούς, όπου οι γαλαξίες στο μεγαλύτερο πεδίο δράσης τους δεν περιέχουν την δική τους μεσοαστρική ύλη, αλλά βρίσκονται μέσα σε ένα κοινό πέπλο ύλης.

Υπάρχει ένα κενό υπέρυθρου (infrared gap) σε αυτές τις ομάδες, με πολύ λίγους γαλαξίες να βρίσκονται ανάμεσα στο μπλε σύννεφο και στην κόκκινη ακολουθία. Οι γαλαξίες αυτοί παρουσιάζουν εκπομπή θερμού υδρογόνου, που ενισχύεται από όσο δικαιολογείται μέσω της απλής διαδικασίας ακτινοβολίας. Τους θεωρούμε γαλαξίες εκπομπής μοριακού

υδρογόνου (Molecular Hydrogen Emissions Galaxies, MOHEGS). Η αυξημένη εκπομπή (H₂) εξηγείται εύκολα από τα κρουστικά κύματα. Η ζώνη μετάβασης στο υπέρυθρο φαίνεται να είναι πιο γενική, με το όριο ανάμεσα σε προγενέστερου και μεταγενέστερου τύπου γαλαξίες να παρουσιάζεται σε ένα μεγάλο δείγμα γαλαξιών. Η κατανόηση αυτής της μετάβασης χρειάζεται μια προσέγγιση με ευρεία επισκόπηση και καλά επιλεγμένες μελέτες.

Σε κανονικούς γαλαξίες το (CII) μπορεί να είναι καλός ανιχνευτής της αστρογέννησης, αλλά αυτή η σχέση αλλοιώνεται όταν κάποιος αρχίζει να ερευνά τις ακραίες περιπτώσεις γαλαξιών. Οι παρατηρήσεις μας έδειξαν ότι σε τοπικούς γαλαξίες, η σχέση λαμπρότητας (CII)/ λαμπρότητας στο μακρινό υπέρυθρο (FIR) ελαττώνεται σε περιβάλλοντα εντατικής αστρογέννησης και σε μεγάλο z κβάζαρ, αλλά η ελάττωση αυτή μπορεί να έχει σχέση με την ένταση του πεδίου ακτινοβολίας στις υπέρυθρες. Η ελάττωση αυτή είναι συνέπεια της υπέρυθρης λαμπρότητας των LIRG. Άρα το (CII) <υποτιμάει> τον πραγματικό ρυθμό αστρογέννησης σε αυτούς τους γαλαξίες. Στους περισσότερους κανονικούς γαλαξίες η αναλογία αυτή (L(CII)/L(FIR)) σπάνια ξεπερνάει το 1%. Πολλές περιοχές σε αυτά τα κυριαρχούμενα από κρουστικά μέτωπα αντικείμενα ξεπερνάνε αυτό το 1%. Αυτό μας δείχνει ότι χρειάζεται μεγάλη προσοχή όταν χρησιμοποιούμε την λαμπρότητα του (CII) για να καθορίσουμε την αστρογέννηση σε ένα αντικείμενο, αλλά και ότι το (CII) είναι ικανό να μας επισημάνει την ταραχή στα γαλαξιακά συστήματα.

Οι γαλαξίες σε συμπαγείς ομάδες που έχουν ταραχώδη μεσοαστρική ύλη, όπως λόγω άμεσων συγκρούσεων που προκαλούν τα κρουστικά μέτωπα, είναι επίσης οι γαλαξίες που φαίνεται να έχουν το πιο αναποτελεσματικό μοριακό αέριο. Αυτή η παρατήρηση ενισχύεται από το γεγονός ότι και το Stephan's Quintet και το HCG 57 δείχνουν ενίσχυση της αναλογίας (CII)/LFIR και σημάδια καταστολής της αστρογέννησης.



Δεν βρέθηκε διαφορά στην αποτελεσματικότητα αστρογέννησης των MOHEG σε σχέση με μη MOHEG γαλαξίες, από μελέτες των ιδιοτήτων του (CO) σε MOHEG και μη MOHEG πηγές

σε HCGS. Αυτό σημαίνει ότι η ενισχυμένη εκπομπή(H2) δεν επηρεάζει την αστρογέννηση ενός ολόκληρου γαλαξία.

Πολλοί από τους γαλαξίες του HCG παρουσιάζουν ελαττωμένη σχέση Kennicutt- Smidt (K-S), που εκφράζει την σχέση πυκνότητας αερίου και ρυθμού αστρογέννησης. Δεδομένο ότι οι γαλαξίες αυτοί είναι πιθανότερο να δεχτούν εξωτερικές αλληλεπιδράσεις από τους υπόλοιπους του πεδίου, αποτελούν ιδανικά πεδία δοκιμών για το πώς η διαταραχή μπορεί να επηρεάσει την αστρογέννηση. Το γεγονός ότι αυτά τα συστήματα είναι πιθανότερο να βρεθούν κάτω και όχι πάνω από την κανονική σχέση K-S, είναι ενδιαφέρον (η διαταραχή να εμποδίζει και όχι να ενισχύει την αστρογέννηση). Αυτό πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί με μεγαλύτερο αριθμό συστημάτων και πιο λεπτομερείς μελέτες.

Παρακολουθούμε αυτούς τους γαλαξίες ώστε να καθορίσουμε που βρίσκονται στο γενικό πλαίσιο, αν έχουν βρεθεί στη οπτική πράσινη περιοχή ή στην υπέρυθη ζώνη μετάβασης, ώστε να δούμε αν η καταστολή της αστρογέννησης είναι αιτία ή σύμπτωμα της μετάβασης.

Μοντέλα της ανάδρασης των AGN

Δεν γνωρίζουμε ακόμα καλά τις φυσικές διαδικασίες που αποτελούν την αιτία του <σκουπίσματος> του μεσοαστρικού αερίου σε έναν γαλαξία από τον ενεργό πυρήνα του, και σε μερικές περιπτώσεις το εκσφενδονίζουν από τον γαλαξία.

Ο βασικός μηχανισμός της απομάκρυνσης αερίου από τον ενεργό πυρήνα ενός γαλαξία είναι γενικά γνωστός. Πρόκειται για τις εκροές του Κβάζαρ ή για ραδιοακτινοβολία, που πραγματοποιούνται ή ως εκροές με διατήρηση ροπής ή ως εκροές με ενεργειακή διατήρηση, ή κάτι ενδιάμεσο. Μέσω των παρατηρήσεων θέλουμε να δούμε αν μπορεί να εξηγηθεί η σχέση M- sigma (σχέση ανάμεσα στην διασπορά ταχύτητας και την μάζα της υπερμεγέθους κεντρικής μαύρης τρύπας), αν οι εκροές καταστέλλουν την αστρογέννηση ή αν προσφέρουν ανάδραση για αυτήν, και πως το ιστορικό προσαύξησης της μαύρης τρύπας σχετίζεται με αυτό της αστρογέννησης.

Η ανατροφοδότηση των AGN είναι το μέσο για τον σχηματισμό μεγάλης μάζας γαλαξιών σε υπερβολικό βαθμό, και της κατανόησης της σχετικά μικρής αναλογίας βαρυονικής μάζας σε αυτούς. Η αναλογία σκοτεινής/ βαρυονικής ύλης μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός γαλαξία.

Είναι ξεκάθαρο ότι η ανάπτυξη μεγάλης μ. τρύπας στο κέντρο ενός γαλαξία απελευθερώνει αρκετή ενέργεια ώστε να έχει μεγάλη επίδραση στον γαλαξία, αν αυτή η ενέργεια επηρεάζει αποτελεσματικά την ύλη. Λαμβάνοντας υπόψη την γνωστή αναλογία ανάμεσα σε μ. τρύπα και μάζα της γαλαξιακής κοιλιάς (M μ. τρύπας =1 ως 2 X(10στη-3) M κοιλιάς) και την αποτελεσματικότητα ακτινοβολίας της συσσώρευσης (δίσκος προσαύξησης) στην μ. τρύπα (10%), γνωρίζουμε την ενέργεια που δέχεται η κοιλιά. Έτσι δεν αντιμετωπίζουμε πρόβλημα στον υπολογισμό της ολικής ενέργειας, αλλά μπορεί να απομακρυνθεί ενέργεια από ακτινοβολία μέσω επιμήκης κοιλότητας κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο, με αποτέλεσμα να είναι άγνωστη η πραγματική επίδραση της ενέργειας από το AGN στον γαλαξία.

Υπάρχουν 2 τρόποι ανάδρασης των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων.

- 1) Ο τρόπος των Κβάζαρ, μέσω ακτινοβολίας ή ανέμων, όταν η λαμπρότητα του AGN είναι μεγάλη, κοντά στο όριο Eddington (η μέγιστη λαμπρότητα για συγκεκριμένη επιφάνεια που ισορροπεί από την βαρύτητα και την πίεση της ακτινοβολίας). Αυτό συμβαίνει στα νεαρά Κβάζαρ, σε μεγάλο z . Υπολογίζουμε την ισορροπία ανάμεσα στην βαρύτητα και την πίεση ακτινοβολίας στο εισερχόμενο προς τη μ . τρύπα ιονισμένο αέριο. Επίσης, κάνουμε το ίδιο σε μεγαλύτερη ακτίνα για το ουδέτερο αέριο, μαζί με την πίεση στην σκόνη. Βρίσκουμε ότι η μάζα που μπορεί να συσσωρεύεται στην κοιλιά έχει ένα όριο, που είναι πολύ κοντά στην παρατηρήσιμη μάζα της κοιλιάς.
- 2) Ο τρόπος της ράδιο- ακτινοβολίας, ή κινητικός τρόπος με ράδιο- πίδακες, όταν η λαμπρότητα του AGN είναι μικρή, >0.01 του ορίου Eddington. Συνήθως πρόκειται για μικρού z και μεγάλης μάζας γαλαξίες, όπως οι τοπικοί ράδιο- ελλειπτικοί. Η διαδικασία σε αυτούς δεν είναι καταστροφική, και διατηρεί ισορροπία ανάμεσα στην θέρμανση και την ψύξη. Αυτή η περίπτωση συμβαίνει σε ψυχρούς πυρήνες σμηνών, από το AGN του κεντρικού γαλαξία. Ακόμα, συνδέεται με την χαμηλή λαμπρότητα των AGN στους Seyfert. Επίσης μπορεί να συνδέεται με την ροή αναποτελεσματικής ακτινοβολίας ADAF (Advection Dominated Accretion Flow), που κυριαρχείται από ροή συσσώρευσης οριζόντιας μεταφοράς ύλης.

Η ανάδραση των AGN ως συντονιστής της ροής αέριου στα σμήνη με ψυχρούς πυρήνες.

Είναι σύνθηρες να βλέπουμε σε σμήνη με ψυχρούς πυρήνες μια εκτεταμένη εμβολή από τον κεντρικό ράδιο- πίδακα, με φούσκες και κοιλότητες να αποτυπώνονται από το καυτό αέριο ακτίνων X, και ψυχρά νήματα και ραβδώσεις να παρατηρούνται στις εκπομπές (CO) και (Ha). Στο πρότυπο σμήνος του Περσέα έχει παρατηρηθεί ένα μεγάλο δίκτυο νημάτων ψυχρού μοριακού αερίου. Πρόσφατα (2014) έχει ανιχνευτεί ένας πληθυσμός από πολύ νέα, συμπαγή αστρικά σμήνη σε κλίμακα Kpc, που σχετίζεται με το δίκτυο των νημάτων. Αυτά τα αστέρια μπορούν να εμπλουτίσουν την αστρική άλω του κεντρικού γαλαξία NGC1275.

Οι παρατηρήσεις μας λένε ότι το δίκτυο νημάτων είναι απόρροια και της εισροής, αλλά και της εκροής ύλης. Ένα μέρος του αέριου ψύχει και τροφοδοτεί τον κεντρικό ενεργό γαλαξιακό πυρήνα, οι πίδακες του οποίου μπαίνουν στο μοριακό αέριο του κεντρικού γαλαξία που προέρχεται από παλαιότερα επεισόδια ψύξης. Το αέριο που ανυψώθηκε έχει εμπλουτιστεί σε μέταλλα μέσα στον γαλαξία πριν ανακατευτεί με το υπόλοιπο αέριο. Αυτό το ανακάτεμα θα το ψύξει. Έτσι μπορεί να ακτινοβολεί στο (CO). Οι φούσκες δημιουργούν ανομοιογένειες, και περαιτέρω ψύξη. Αυτό δεν εμφανίζεται μόνο στα κέντρα των σμηνών, αλλά και αρκετά μακριά, δημιουργώντας ανομοιογένειες στην πυκνότητα και τοπικές συμπυκνώσεις. Η παρατηρήσιμη ταχύτητα του αέριου στα νήματα είναι πολύ μικρότερη από αυτή της ελεύθερης πτώσης. Έχουμε αναπαραστήσει αυτήν την διαδικασία με ποσοτικές προσομοιώσεις. Έντονες φούσκες παράγουν συμπίεση και ψύξη του αέριου στις επιφάνειες των κοιλοτήτων, και ανακατεύονται με το ψυχρό αέριο που ανυψώνεται από το AGN.

Έχουν γίνει πολλές προσομοιώσεις των AGN και της ανάδρασης, στα σμήνη ή σε μεγάλης μάζας ελλειπτικούς, και με διαφορετικές προσεγγίσεις. Διαφοροποιούνται στον ρυθμό ψύξης ή στην θεωρία της συσσώρευσης. Καμία δεν είναι αυτό- συνεπής και ικανή να μπορεί να αναπαραστήσει τον ρυθμό συσσώρευσης, που εξαρτάται από λεπτομέρειες της φυσικής. Ο μηχανισμός της πίεσης της ακτινοβολίας φαίνεται να μην είναι

αποτελεσματικός για την παρατηρήσιμη εμβολή. Χρειάζεται μηχανική τροφοδότηση με πίδακες ή ανέμους (από το AGN). Οι πιο πρόσφατες προσομοιώσεις (2012) έχουν επιτυχία στον συντονισμό της ψύξης και διατηρούν τον ψυχρό πυρήνα στη δομή του, ενώ οι παλαιότερες τον αποδημούσαν λίγο. Ο βαθμός επίδρασης ανάμεσα στην κινητική ενέργεια των πιδάκων και την ενέργεια συσσώρευσης μπορεί να κλιμακώνεται ανάλογα την δομή, με $\epsilon = 3X$ (10στη-4) για του ελλειπτικούς και $5X$ (10στη-3) για τα σμήνη.

Κατά την συγχώνευση γαλαξιών, συσσωρευμένο αέριο τροφοδοτεί και την αστρογέννηση, αλλά και τον AGN. Υπολογίζουμε σε μια επιβράδυνση της δραστηριότητας του AGN, επειδή η τροφοδοσία της αστρογέννησης είναι πολύ ισχυρή στην αρχή.

Μοριακές εκροές.

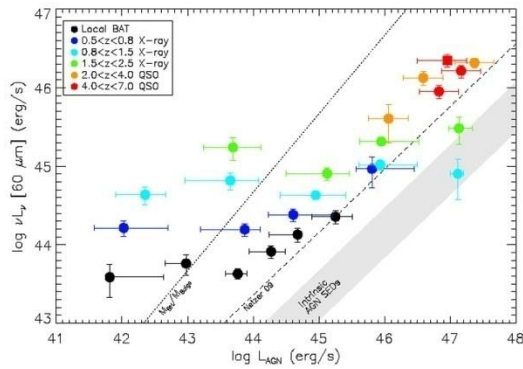
Τα τελευταία χρόνια η ανακάλυψη πολλών εκροών μεγάλης μάζας μοριακού αερίου μας παρουσιάζει την ανάδραση των AGN. Στο πρότυπο Mkr231 και η αστρογέννηση αλλά και ο AGN συμβάλλουν στην εκροή αερίου, με περίπου 700 ηλιακές μάζες το έτος. Μερικές εκροές, με μέγεθος λίγων Kpc , έχουν αναλυθεί παρατηρησιακά. Είναι αρκετά σημαντικές ώστε να εμβολίσουν τον γαλαξία, και προσφέρουν κάποιες αποσβέσεις. Η κινηματική ισχύς είναι της τάξης των $2X$ (10στη44) erg , άρα είναι απαραίτητη η ενέργεια του AGN για αυτή την μεγάλη ισχύ. Μέσω των μορίων (HCN), (HCO^+) έχουμε ανιχνεύσει μεγάλες πυκνότητες στις εκροές. Σε μεγάλο z έχουμε ανιχνεύσει ακόμα πιο ισχυρές εκροές.

Υπάρχουν ενδιαφέρων σχέσεις ανάμεσα στους ρυθμούς εκροής και τις ιδιότητες των AGN, γνωστές μας αναλογίες για τις εκροές μοριακού αερίου. Για γαλαξίες που έχουν ενεργό πυρήνα ο ρυθμός εκροής σχετίζεται με την ισχύ του AGN. Η ορμή της εκροής είναι ανάλογη της ορμής φωτονίου ($20 L_{AGN}/c$). Αυτό μας βοηθάει στον περιορισμό του φυσικού μηχανισμού της εκροής. Αυτή η ώθηση της ορμής μπορεί να εξηγηθεί με εκροές κινούμενες από ενέργεια.

Το ερώτημα της ύπαρξης πολύ γρήγορων μοριακών εκροών είναι ακόμα αναπάντητο. Το αέριο που εκρέει επιταχύνεται από κρουστικά μέτωπα και θερμαίνεται σε 1- 10 εκατομμύρια βαθμούς Κέλβιν. Τα μόρια θα έπρεπε να διαλύονται σε τέτοιες θερμοκρασίες. Ακόμα και αν δημιουργούνται ψυχρές συμπυκνώσεις κατά την ροή, θα πρέπει να υπάρχουν μερικά ίχνη των κρουστικών μετώπων. Μια λύση είναι η ψύξη μέσω ακτινοβολίας να είναι αρκετά γρήγορη ώστε να μεταλλάξει τα μόρια σε μια μεγάλη κλίμακα του υλικού της εκροής. Με ταχύτητες $1000 km/s$ και εκροή 1000 ηλιακές μάζες/έτος η αποτελεσματική ψύξη παράγει ύλη ποικίλων φάσεων, που θα τροφοδοτήσει την αστρογέννηση.

Μηχανισμοί.

Η μετά κρουστικών μετώπων μεσοαστρική ύλη φαίνεται να ψύχεται αποτελεσματικά (εκπομπή ελεύθερη- ελεύθερη (free- free emission), ψύξη από τα μέταλλα), και η εκροή γίνεται ασταθής. Αν το κλάσμα της πίεσης ακτινοβολίας με την πίεση του αερίου είναι μικρότερο από 0,5, τότε το αέριο καταρρέει σε συμπυκνώματα, και αποδεσμεύεται από την καυτή ροή.

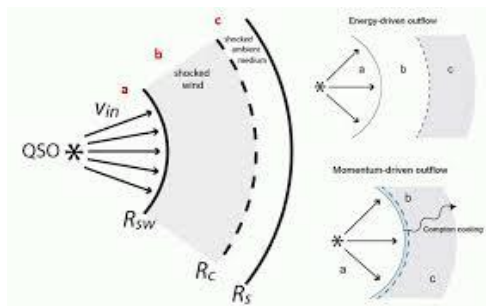


Στο σχήμα φαίνεται η αναλογία ανάμεσα στον ρυθμό εκροής και στην λαμπρότητα ενός AGN.

Το χρονοδιάγραμμα της ψύξης είναι πολύ μικρότερο από 1 εκ. έτη, και επάγεται η αστρογέννηση. Αυτό μπορεί να εξηγήσει την στενή σχέση ανάμεσα στην αστρογέννηση και το AGN. Ακόμα, μπορεί να αποδειχτεί δύσκολο να ξεχωρίσουμε τις σουπερνόβα (τους ανέμους τους) από τις εκροές των ενεργών πυρήνων. Όλα μπορεί να ξεκίνησαν από την δράση των AGN.

Εκροές που διατηρούν ενέργεια ή ορμή.

Αν η περιοχή του ανέμου από τα κρουστικά μέτωπα ψυχθεί αποτελεσματικά, τότε η ενέργεια δεν διατηρείται, αλλά μόνο η ορμή, άρα έχουμε μια εκροή διατήρησης ροπής (momentum conserving outflow). Για πολύ γρήγορους ανέμους (>10000 km/s), και μέχρι 50000 km/s, οι απώλειες μέσω ακτινοβολίας είναι αργές, και σχεδόν όλη η ενέργεια μπορεί να διατηρηθεί. Τότε έχουμε μια εκροή διατήρησης ενέργειας. Μπορεί να υπάρξει μια μεγάλη ώθηση της ορμής της εκροής. Αυτό εξηγεί γιατί παρατηρούμε τις μοριακές εκροές με τέτοια ορμή. Είναι η επίδραση της ώθησης από το αέριο που βρίσκεται μετά το κρουστικό μέτωπο, που ωθεί την ορμή και την ταχύτητα της σαρωμένης από την εκροή ύλης. Σε μερικές περιπτώσεις, ακόμα και αργοί άνεμοι (1000 km/s) που παράγονται από την πίεση της ακτινοβολίας στην σκόνη, μπορεί να είναι άνεμοι διατήρησης ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο της αδιαβατικής φάσης σε υπολείμματα σουπερνόβα. Αυτή η ώθηση της ροπής αυξάνει στους γαλαξίες την ανάδραση από τις σουπερνόβα.



Βλέπουμε μια αναπαράσταση των κρουστικών κυμάτων και ανέμων ενός AGN.

Εκτοξεύσεις αερίων.

Στην προς το κέντρο κατεύθυνση έχουμε παρατηρήσει, σε γραμμές απορρόφησης στο υπεριώδες ή από το στέμμα ακτίνων X, πολύ γρήγορες εκροές (Ultra-fast outflows, UFO), ή σχετικιστικούς ανέμους. Αυτοί οι άνεμοι μπορεί να εκτοξεύονται από τον δίσκο προσαύξησης, μέσω πολλών φυσικών μηχανισμών. Η θέρμανση Compton κάνει το αέριο να

αποκτήσει εύκολα ταχύτητα διαφυγής. Η πίεση ακτινοβολίας των ηλεκτρονίων (super Eddington regime), ή ακόμα και η πίεση της ακτινοβολίας στην σκόνη, η κίνηση λόγω μαγνητικής επιρροής, αυτοί οι μηχανισμοί μπορεί να είναι πιθανά αίτια. Το πιο ρεαλιστικό είναι να συνυπάρχουν όλοι οι μηχανισμοί.

Οι προσομοιώσεις της λειτουργίας των Κβάζαρ (Quasar mode) εκτελούνται λαμβάνοντας υπόψη την πολλαπλής φύσεως μεσοαστρική ύλη. Δείχνουν ότι η περισσότερη από την κινητική ενέργεια της εκροής διαφεύγει από τα κενά. Το ψυχρό αέριο ωθείται από την πίεση εμβολής, αλλά υπάρχει περισσότερη ανάδραση σε αέριο μικρής πυκνότητας. Και η αρνητική, και η θετική ανάδραση έχουν παρατηρηθεί. Οι προσομοιώσεις της λειτουργίας της ράδιο- ακτινοβολίας (radio mode) εκτελούνται με μια φράκταλ δομή του αερίου. Οι σχετικιστικοί πίδακες παράγουν μια πολύ αποτελεσματική ανάδραση και εμβολή στον γαλαξία, σε αντίθεση με το πορώδες χαρακτηριστικό της μεσοαστρικής ύλης.

Θετική ανάδραση των AGN.

Πολλές προσομοιώσεις δείχνουν σημάδια θετικής ανάδρασης. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο δύσκολο να παρατηρηθεί, αλλά μερικά συστήματα δείχνουν αποδείξεις αστρογέννησης μέσω πιδάκων, όπως το αντικείμενο Minkowski, το A του Κενταύρου και το νεαρό AGN 4C12.50. Η περιοχή της εκροής βρίσκεται σε απόσταση 100 pc από τον γαλαξιακό πυρήνα, όπου οι πίδακες αλληλεπιδρούν με την μεσοαστρική ύλη.

Η ανατροφοδότηση σε AGN μικρής λαμπρότητας.

Και σε αυτούς μπορεί να έχουμε ανάδραση που σχετίζεται με αστρογέννηση. Η πιο <απαλής μορφής> εμβολή σε αυτούς τους γαλαξίες αντισταθμίζεται από το πλήθος τέτοιων AGN. Πρόσφατα το ALMA παρατήρησε, σε ανάλυση 25 pc της γραμμής (CO3-2), μια μοριακή εκροή στον μικρό άξονα στον σπειροειδή ραβδωτό NGC1433. Το 7% της μοριακής μάζας που μετρήσαμε ανήκει στην εκροή, με ταχύτητα 100 km/s, με αβεβαιότητα λόγω κακής γνώσης της κλίσης του γαλαξία. Αυτή είναι η μικρότερη εκροή που έχουμε ανακαλύψει ποτέ. Το μοριακό αέριο εκεί ακόμα πέφτει στον AGN.

Διαδικασίες απόσβεσης.

Υπάρχουν 2 βασικές διαδικασίες. Μια γρήγορη με χρονική κλίμακα 100 εκ. έτη, σε γαλαξιακές συγχωνεύσεις, με ανάδραση από AGN και σουπερνόβα. Και μια αργή, με 2-4 δις έτη χρονοδιάγραμμα, ή μέσω μορφολογικών αποσβέσεων μετά τον σχηματισμό της κοιλιάς, ή μέσω <στραγγαλισμού> (strangulation), όπου παύει η αναπλήρωση του αερίου του δίσκου. Μια ήπια ανάδραση μπορεί να καθυστερήσει την αστρογέννηση, σε καθολική κλίμακα. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι η ταυτόχρονη εξέλιξη των γαλαξιών και των μαύρων τρυπών τους δεν ισχύει για γαλαξίες μικρής μάζας, που κυριαρχούνται από την καθολική εξέλιξη. Δεν είναι βέβαιο αν χρειάζεται η ανάδραση ώστε να εξηγηθεί η παραπάνω σχέση. Οι προσομοιώσεις, με ανάπτυξη που είναι περιορισμένη από την ροπή κεντρικής μαύρης τρύπας, έχουν ανακτήσει την σχέση χωρίς καμία ανάδραση.

Οι γαλαξίες και η κεντρική μαύρη τρύπα αναπτύσσονται κυρίως λόγω συσσώρευσης αερίου, και σε κάποιες περιπτώσεις, συγχωνεύσεων. Η θεωρία της ανάδρασης των AGN σε συγχωνεύσεις έχει αναπτυχθεί καλά. Όμως, ο βαθμός ανάδρασης και το πόσο η αποτελεσματικότητα αυτή συνδέεται με τους γαλαξιακούς δίσκους είναι άγνωστο. Μια πρόσφατη μελέτη δείχνει ότι η επίδραση της απόσβεση μέσω των AGN είναι αμελητέα στην

αστρογέννηση, γιατί ένα σημαντικό μέρος του καυτού αερίου εκτοξεύεται στον μεσογαλαξιακό χώρο.

Επίσης βρέθηκε ότι η διαδικασία κινουμένη από την ενέργεια είναι πολύ πιο αποτελεσματική. Η συνολική μάζα του ψυχρού αερίου ανέρχεται στο 1 δις ηλιακές, αν το μετά κρουστικών κυμάτων αέριο ψύχεται μέσω μετάλλων.

Συμπεράσματα.

Η ανάδραση των AGN είναι πολύ αποτελεσματική στο να μετριάξει την ψύξη σε σμήνη ψυχρού πυρήνα. Ο μηχανισμός εδώ είναι οι ράδιο-πίδακες και η συσσώρευση ψυχρού αερίου. Οι μοριακές εκροές παρατηρούνται συχνά γύρω από AGN, με ταχύτητες 200- 1200 km/s και μάζες εκροής 10 εκ- 1 δις ηλιακές. Ο μηχανισμός ποικίλει από ανέμους κινουμένους από Κβάζαρ με ισχυρά AGN ως σε ράδιο-πίδακες για πιο μεγάλης μάζας γαλαξίες με μικρότερη αναλογία Eddington, άρα και μικρότερου z. Η ανάδραση γίνεται ή από μεσογαλαξιακή ύλη ή από συγχωνεύσεις.

Η περιοχή της στενής φασματικής γραμμής (Narrow line region) σε 3 διαστάσεις. Χαρτογραφώντας την σίτιση και ανάδραση των AGN.

Οι παλαιότερες μελέτες των κοντινών γαλαξιών Seyfert μας έδωσαν την εικόνα που δείχνει την περιοχή στενής γραμμής ως μια κωνική περιοχή αερίου ιονισμένο από ακτινοβολία ως κεντρική πηγή ενέργειας, που είναι ευθυγραμμισμένη με έναν κύλινδρο σκόνης, όπου εκρέει το αέριο. Με την τρισδιάστατη απεικόνιση θα δείξουμε ότι 1) Πράγματι η περιοχή της μέγιστης εκπομπής είναι ευθυγραμμισμένη (και σε κάποιες περιπτώσεις κωνοειδής), αλλά υπάρχει και κατώτερο επίπεδο εκπομπής πέρα από τον κώνο ιονισμού, υποδεικνύοντας ότι η ακτινοβολία του AGN διαρρέει μέσα από τον κύλινδρο. 2) Εκτός από τις εκροές, η κινηματική του αερίου περιλαμβάνει επίσης περιστροφή στο γαλαξιακό επίπεδο και εισροές ύλης. 3) Σε πολλές περιπτώσεις οι εκροές είναι συμπαγείς και περιορισμένες στο εσωτερικό, σε λίγες εκατοντάδες pc. Νομίζουμε ότι αυτό είναι το αρχικό στάδιο μιας εκροής που θα εξελιχτεί σε κωνοειδής εκροή με ανοιχτό άκρο. Παρατηρήθηκαν εισροές στο ιονισμένο αέριο σε LINERs (Low Ionization Nuclear Emission- line Region), και σε θερμό μοριακό αέριο στους πιο λαμπρούς AGN, συνήθως για μερικές εκατοντάδες pc. Ο ρυθμός εκροής του ιονισμένου αερίου είναι της τάξης των μερικών ηλιακών μαζών το έτος, ενώ οι εισροές στον ρυθμό των δεκάδων ηλιακών μαζών το έτος. Ο ρυθμός εισροής σε θερμό μοριακό αέριο είναι 4-5 τάξεις μεγέθους χαμηλότερος, αλλά αυτές οι εισροές φαίνεται να είναι οι μόνοι ανιχνευτές του πιο μεγάλης μάζας ψυχρού μοριακού αερίου, που θα έπρεπε να ανιχνεύεται στα χιλιοστόμετρα.

Οι φυσικές διαδικασίες που συνδέουν την ανάπτυξη της υπερμεγέθους μαύρης τρύπας (super massive black hole, SMBH) με τον γαλαξία της εμφανίζονται σε λίγα εσωτερικά kpc. Αυτό συμβαίνει όταν ο πυρήνας γίνεται ενεργός, λόγω συσσώρευσης μάζας από την μαύρη τρύπα. Η ακτινοβολία που εκλύει το ενεργό γαλαξιακό κέντρο (AGN) ιονίζει το αέριο κοντά στον πυρήνα, σχηματίζοντας την περιοχή στενής φασματικής γραμμής (narrow line region, NLR). Οι άνεμοι που κινούνται από το AGN αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον αέριο και δημιουργούν τις εκροές που παρατηρούμε στις NLR. Αυτές φτάνουν σε ταχύτητες

εκατοντάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Επίσης απορρέουν σχετικιστικοί πίδακες από το AGN και αλληλοεπιδρούν και αυτοί με τις NLR. Και τα δύο είδη εκροών δημιουργούν ανάδραση, που είναι ένα σημαντικό συστατικό στα μοντέλα γαλαξιακής εξέλιξης, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία υπερμεγεθών γαλαξιών. Η σημασία των NLR πηγάζει από το γεγονός ότι αναλύονται χωρικά, εκτείνονται σε εκατοντάδες κpc από το κέντρο και παρουσιάζουν ισχυρές γραμμές εκπομπής. Αυτές οι ιδιότητες επιτρέπουν την παρατήρηση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο AGN και το περικεντρικό αέριο του γαλαξία, α) με την παρατήρηση της γεωμετρίας της NLR και τις ιδιότητες διέγερσης, που περιορίζουν την δομή του AGN και της πηγής ιονισμού, και β) μέσω της κινηματικής του αερίου, που χαρτογραφεί τις διαδικασίες τροφοδοσίας του AGN και της ανάδρασης.

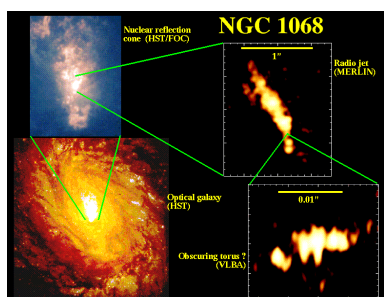
Παρουσιάσαμε χάρτες της διασποράς της ροής του αερίου και της κινηματικής, όπως και εκτιμήσεις των ρυθμών εισροής και εκροής αερίου, από παρατηρήσεις του ιονισμένου και του μοριακού αερίου.

Μια κωνική εκροή με σχήμα κλεψύδρας.

Σε απόσταση 14,4 Mpc βρίσκεται ο πρότυπος Seyfert 2 γαλαξίας NGC1068. Η χωρική ανάλυση των παρατηρήσεών μας είναι 7pc. Ενώ το θερμό μοριακό αέριο έχει διασπορά σε έναν δακτύλιο 100 pc, η διασπορά της ροής είναι πολύ όμοια με αυτήν στην εκπομπή του (OIII) στο ορατό φάσμα. Η διασπορά της ιονισμένης ροής στο (FeII) ξεχωρίζει από αυτήν του (Br γ) δείχνοντας μια μορφή κλεψύδρας, που μοιάζει με κάποια πλανητικά νεφελώματα. Αποδίδουμε αυτές τις διαφορές σε 1) Το γεγονός ότι το μοριακό αέριο βρίσκεται στον γαλαξιακό δίσκο, ενώ η εκπομπή αερίου (Br γ) εκτείνεται σε μεγαλύτερα γαλαξιακά πλάτη, όπου πραγματοποιούνται οι εκροές του. 2) Οι εκπομπές (Br γ) είναι περιορισμένες στην περιοχή του μεγαλύτερου ιονισμού, όπου συμπίπτουν οι ευθυγραμμισμένες ακτινοβολίες του AGN. 3) Η εκπομπή του (FeII) προέρχεται από τη μεγαλύτερη μερικώς ιονισμένη περιοχή, που εκτείνεται πέρα από την πλήρως ιονισμένη περιοχή, και είναι καλύτερος ανιχνευτής της ολικής εκροής από το AGN.

Οι χάρτες των περιοχών των προφίλ εκπομπών των (FeII) και (H2) είναι συγκρίσιμοι. Ενώ η εκπομπή του (FeII) παρατηρείται σε εκροές (ακολουθώντας το σχήμα της κλεψύδρας που εκτείνεται σε μεγάλα γαλαξιακά πλάτη) σε μετατοπίσεις στο μπλε και στο ερυθρό μέχρι και 800 km/s, η εκπομπή του (H2) παρατηρείται μόνο σε μικρές ταχύτητες (100 km/s), κάτι που είναι συνεπές με μια κινηματική που κυριαρχείται από την περιστροφή (και διαστολή σε αυτή την περίπτωση) του γαλαξιακού δίσκου.

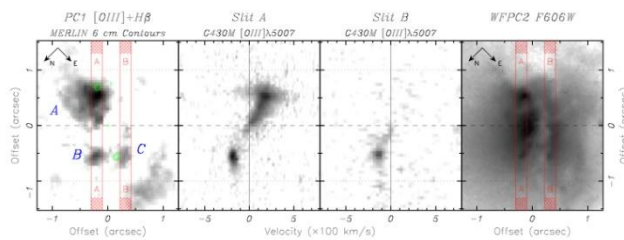
Η NLR του NGC1068 έχει το αναμενόμενο κωνικό σχήμα, όπου το αέριο είναι σε εισροή. Αλλά αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν περισσότερο εξαίρεση παρά τον κανόνα. Στην πράξη, μια μελέτη 60 NLR ενεργών γαλαξιών μας έδειξε ότι μόνο στο 1/3 του δείγματος η κινηματική των NLR ταιριάζει με μια κωνική εκροή.



Άλλοι τύποι εκροών.

Ας δούμε την περίπτωση του NGC 5929. Οι παρατηρήσεις μας στο κοντινό υπέρυθρο του NLR αυτού του Seyfert γαλαξία μας επιτρέπουν ανάλυση σε 18 pc. Η εσωτερική (300pc) διασπορά ροής στην εκπομπή του (FeII) είναι πιο εκτεταμένη κατά τη διεύθυνση που συνδέει δύο σημεία ράδιο- εκπομπής. Υπάρχει μια λωρίδα υψηλής διασποράς ταχύτητας, που <τρέχει> κάθετα στον ράδιο- πίδακα. Αυξημένη διασπορά ταχύτητας έχει παρατηρηθεί και στην περιοχή των καυτών σημείων ράδιο- εκπομπής. Αυτή μπορεί να αποδοθεί σε αλληλεπίδραση ανάμεσα στον ράδιο- πίδακα και το περιβάλλον αέριο.

Τα προφίλ εκπομπής κατά μήκος της λωρίδας υψηλής ταχύτητας ταιριάζουν καλύτερα σε 2 μέρη ταχύτητας, ένα με μετατόπιση προς το μπλε και το άλλο με ερυθρολίσθηση (το ένα κινείται προς εμάς και το άλλο απομακρύνεται, όπως συμβαίνει σε περιστρεφόμενα αντικείμενα). Αυτή η 3διαστατη απεικόνιση του πεδίου ταχύτητας μας δείχνει ότι το περισσότερο από το αέριο περιστρέφεται, με έναν κύριο άξονα που συμπίπτει περίπου με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής της ραδιοεκπομπής, αλλά υπάρχει και μια εκροή κατά μήκος του ισημερινού επιπέδου του AGN. Αυτή ερμηνεύεται ότι έχει προέλευση από έναν άνεμο δίσκου προσαύξησης που κινείται σχεδόν παράλληλα με την επιφάνεια του δίσκου, και/ή έναν άνεμο που απορρέει από τον κύλινδρο του AGN.



Βρήκαμε εκροές που είναι κάθετες στον άξονα ιονισμού σε 3 άλλες περιπτώσεις. Στον Apr102B η κινηματική της γραμμής εκπομπής(Hα) απεικονίζει αέριο σε περιστροφή, στο εσωτερικό 1 kpc, αλλά δείχνει και μια εκροή κάθετα στον άξονα ιονισμού και τον ράδιο-πίδακα, στα εσωτερικά 200 pc. Στον Seyfert NGC2110 βρήκαμε επιμήκης εκπομπή που εκτείνεται για 800 pc από τον πυρήνα, που ερμηνεύεται ως ιονισμός από ευθυγραμμισμένη κεντρική πηγή. Η κινηματική του αερίου μας φανερώνει ότι το περισσότερο από το αέριο είναι σε περιστροφή στον γαλαξιακό δίσκο, ενώ στα εσωτερικά 300 pc υπάρχει μεγάλη διασπορά ταχύτητας, που αποδίδεται σε πυρηνική εκροή.

Μια άλλη περίπτωση συμπαγούς εκροής από τον πυρήνα είναι στον γαλαξία Seyfert NGC1386, όπου οι παρατηρήσεις μας καλύπτουν τα εσωτερικά 500 pc. Βρήκαμε όμοια αποτελέσματα με αυτά του NGC2110. Ενώ η εκπομπή αερίου είναι ευθυγραμμισμένη και εκτείνεται στα όρια του πεδίου, με αποτέλεσμα να μπορεί να ερμηνευτεί με ιονισμό από ευθυγραμμισμένη πυρηνική πηγή, οι κινηματικές δείχνουν πάλι ότι το περισσότερο από το αέριο περιστρέφεται στον γαλαξιακό δίσκο. Μόνο στα εσωτερικά 50 pc υπάρχει μια περιοχή μεγάλης διασποράς ταχύτητας και 2 μερών ύλης, που ερμηνεύεται ως εκροή από τον πυρήνα.

Εισροές.

Οι παρατηρήσεις των NLR που είδαμε παραπάνω, μας έδειξαν ότι σε πολλές περιπτώσεις η εκπομπή αερίου είναι ευθυγραμμισμένη ή έχει σχήμα κώνου, αλλά οι κινηματικές κυριαρχούνται από περιστροφή στον γαλαξιακό δίσκο. Μόνο στις πιο εσωτερικές περιοχές παρατηρούμε εκροές. Έτσι το AGN λειτουργεί ως φάρος που φωτίζει το περιβάλλον αέριο που συνήθως περιστρέφεται στον γαλαξιακό δίσκο. Αυτό το γεγονός μας επέτρεψε να δούμε και εισροές στο αέριο, που συνήθως συνδέονται με βραχίονες σπειρών του πυρήνα ή νήματα με σκόνη. Παρατηρήσαμε εισροές σε ιονισμένο αέριο γύρω από πυρήνες LINER, όπου οι εκροές είναι πολύ ασθενείς ή ανύπαρκτες, επιτρέποντάς μας να δούμε τις εισροές. Παραδείγματα γαλαξιών, στους οποίους παρατηρήσαμε εισροές σε ιονισμένο αέριο είναι οι NGC1097, NGC6951, M81 και NGC7213.

Ο τελευταίος είναι καταχωρημένος ως LINER/ Seyfert 1 γαλαξίας. Έχουμε δεδομένα για τα εσωτερικά 500 pc του. Η εξαιρετική αναλογία σήματος/θορύβου των δεδομένων μας επιτρέπει να αντλήσουμε την αστρική κινηματική της περιοχής, διαπιστώνοντας μεγάλη διασπορά ταχύτητας (200 km/s) και ταχύτητας περιστροφής (πλάτος 50 km/s). Παρατηρήθηκε εκπομπή αερίου σε όλο το πεδίο, που δείχνει περιστροφή, αλλά με πλάτος γραμμών πολύ μεγαλύτερο από αυτό των αστεριών. Το πεδίο ταχύτητας αερίου είναι συγκρίσιμο με το μοντέλο του αστρικού πεδίου ταχύτητας. Βρέθηκαν μεγάλα υπολείμματα σε ερυθρολίσθηση στην κοντινή πλευρά, και σε μετατόπιση στο μπλε στην μακρινή πλευρά του γαλαξία. Αυτά τα υπολείμματα ακολουθούν ένα σπειροειδές πρότυπο που συνδέεται με μια σπείρα σκόνης. Με την παραδοχή ότι το αέριο βρίσκεται στο γαλαξιακό επίπεδο, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι μετατοπίσεις αυτές έχουν να κάνουν με εισροές κατά μήκος των σπειρών. Ο εκτιμώμενος ρυθμός εισροής μάζας κατά μήκος αυτών των σπειρών είναι 0,4 ηλιακές το έτος στα 400 pc, και 0,1 ηλιακές μάζες στα 100 pc από τον πυρήνα.

Επίσης βρήκαμε από τις παρατηρήσεις 3 διαστάσεων της γραμμής εκπομπής του (H₂), στα 2,122 μm (κοντινό υπέρυθρο), υπογραφές εισροών σε θερμό μοριακό αέριο. Αυτή η γραμμή μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε εισροές ακόμα και σε λαμπρούς Seyfert. Η μελέτη μας υποδεικνύει ότι αυτή η γραμμή συνήθως ερεθίζεται από ακτινοβολία X των AGN, που διεισδύει στον γαλαξιακό δίσκο. Η προέλευση του δίσκου υποστηρίζεται από την κινηματική του (H₂), που είναι συνήθως αρκετά διακριτή από αυτή του ιονισμένου αερίου, που επίσης παρατηρούμε στο κοντινό υπέρυθρο. Ενώ το ιονισμένο αέριο (H⁺, FeII) δείχνει μεγαλύτερη διασπορά ταχύτητας, περιστροφή και εκροές, η κινηματική του (H₂) δείχνει μικρότερη διασπορά ταχύτητας, περιστροφή και εισροές, υποστηρίζοντας την τοποθεσία της στον δίσκο. Έχουμε βρει εισροές (H₂) στους NGC4051, Mrk1066, Mrk79. Στην περίπτωση του Mrk766 βρήκαμε περιστροφή στον δίσκο, κάτι που επίσης ενισχύει την άποψη ότι αυτό το αέριο τροφοδοτεί τον AGN. Οι ρυθμοί εισροής μάζας θερμού μοριακού αερίου σε έναν συμπαγή δίσκο είναι 4-5 τάξεις μεγέθους μικρότεροι από αυτούς του ιονισμένου αερίου. Έτσι το θερμό μοριακό αέριο μπορεί να είναι μόνο το θερμό κάλυμμα ενός πολύ μεγαλύτερου αποθέματος (και εισροής) ψυχρού μοριακού αερίου, που θα έπρεπε να είναι παρατηρήσιμο στα χιλιοστόμετρα.

Συμπεράσματα.

Παρουσιάσαμε τις 3 διαστάτες παρατηρήσεις των NLR κοντινών γαλαξιών, με την χρήση φασματοσκόπησης ολοκληρωμένου πεδίου, σε χωρική ανάλυση 10-100 pc. Αυτές οι παρατηρήσεις μας αποκαλύπτουν ότι η ακτινοβολία των AGN λειτουργεί σαν φακός που φωτίζει, θερμαίνει και ιονίζει το αέριο της περι-πυρηνικής περιοχής. Το ιονισμένο αέριο δεν υπάρχει μόνο κατά μήκος του άξονα ευθυγράμμισης του AGN, αλλά σε όλες τις

κατευθύνσεις. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει διαρροή της ακτινοβολίας μέσα από τα τοιχώματα του κυλίνδρου του AGN. Το φωτισμένο, θερμασμένο ή ιονισμένο αέριο μπορεί να εκρέει, να εισρέει ή να περιστρέφεται στον γαλαξιακό δίσκο. Οι εκροές παρατηρήθηκαν να ακολουθούνε έναν κώνο ή μια κλειψύδρα, ως γεωμετρία, ή μια συμπαγή δομή στα εσωτερικά 50-300 pc. Αυτές οι συμπαγείς εκροές μπορεί να σημαίνουν τη φάση μιας εκροής που να εξελιχθεί σε κωνοειδής. Πέρα από αυτή την περιοχή, παρατηρούμε εισροές και περιστροφή στον γαλαξιακό δίσκο. Σε μερικά LINER δεν βλέπουμε εκροή, αλλά μόνο εισροή και περιστροφή του αερίου στον γαλαξιακό δίσκο. Οι ταχύτητες των εκρών είναι 200-800 km/s, και οι ρυθμοί εκροής μάζας είναι της τάξης μερικών ηλιακών μαζών το έτος. Έχουμε παρατηρήσει εισροές κατά μήκος σπειρών στον πυρήνα, συνήθως της κλίμακας των 100 pc, με τυπικούς ρυθμούς εισροής 0,1- 1 ηλιακές μάζες. Αυτοί οι ρυθμοί εισροής είναι πολύ μεγαλύτεροι από τους τυπικούς ρυθμούς συσσώρευσης των AGN ((10στη-3) ηλιακές μάζες το έτος), και μάλλον οδηγούνε στον σχηματισμό νέων αστεριών στην περί- πυρηνική περιοχή.

Εξερευνώντας τις δραστηριότητες του AGN και της αστρογέννησης μέσω των παρατηρήσεων πολλαπλών γραμμών του ALMA, στον ενδιάμεσης φάσης εξέλιξης και λαμπρό στο υπέρυθρο, γαλαξία συγχώνευσης VV114.

Θα παρουσιάσουμε έναν κύκλο παρατηρήσεων (0) του λαμπρού γαλαξία συγχώνευσης VV114 με το ALMA. Ένας από τους πιο σημαντικούς στόχους είναι να εξερευνήσουμε τους μηχανισμούς εμπλουτισμού των αναλογιών των μοριακών γραμμών εκπομπής. Στον γαλαξία αυτόν βρίσκονται, ως κεντρική νηματοειδής δομή (6 kpc), περιοχές με υψηλή αναλογία των γραμμών εκπομπής (12CO 1-0)/(13CO 1-0) και (12CO 3-2)/(12CO 1-0). Τα νήματα αποτελούνται από τον ανατολικό πυρήνα και την περιοχή επικάλυψης, όπου συγκρούονται οι γαλαξιακοί δίσκοι. Επίσης ερευνούμε αυτές τις αναλογίες μοριακών γραμμών εκπομπής στον νόμο Kennicutt- Schmidt KS (αναλογία ανάμεσα στην πυκνότητα του αερίου και την αστρογέννηση). Ο γαλαξίας αυτός συμπληρώνει ένα κενό ανάμεσα στην ακολουθία αστρογέννησης και την ακολουθία κανονικών δίσκων. Προτείνουμε ότι αυτές οι μεγάλες αναλογίες των παραπάνω μοριακών γραμμών στον VV114 προέρχονται από δραστηριότητες αστρογέννησης και στους δύο προ γεννήτορες πυρήνες, και την περιοχή επικάλυψης από την συγχώνευση.

Οι αναλογίες των μοριακών γραμμών είναι ένα πολύτιμο διαγνωστικό εργαλείο των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των εξωγαλαξιακών αντικειμένων. Η αναλογία των γραμμών (12CO 3-2)/(12CO 1-0) μπορεί να ανιχνεύσει τις συνθήκες διέγερσης του μοριακού αερίου (πυκνότητα και θερμοκρασία) άμεσα, ενώ η αναλογία των γραμμών (12CO 1-0)/(13CO 1-0) είναι γνωστή ως ανιχνευτής δραστηριότητας αστρογέννησης. Ενώ έχουν γίνει πολλές παρατηρήσεις ώστε να κατανοήσουμε τον εμπλουτισμό αυτής της αναλογίας σε λαμπρούς γαλαξίες, ο περιορισμός στην γωνιακή ανάλυση και στο μέγεθος των δειγμάτων δεν μας το επέτρεψε. Με τον μεγάλης ανάλυσης κύκλο 0 του ALMA παρατηρήσαμε τις αναλογίες των μοριακών γραμμών ώστε να εξερευνήσουμε τις συνθήκες του αερίου στον VV114 και την σύνδεση ανάμεσα στο αέριο και την δραστηριότητα αστρογέννησης, στην παρατήρηση αλλά και στον νόμο KS. Ο γαλαξίας αυτός είναι ένας

κοντινός (στα 82 Mpc), πλούσιος σε αέριο (50 δις ηλιακές μάζες αερίου) LIRG (50 δις ηλιακές λαμπρότητες) γαλαξία αλληλεπίδρασης. Ένας <σκιασμένος> AGN στον ανατολικό γαλαξία βρέθηκε με φασματοσκοπία μέσου υπέρυθρου, ακτίνες Χ, και παρατηρήσεις των μοριακών γραμμών στα υπό χιλιοστόμετρα. Αυτό μας δείχνει ότι η αστρογέννηση αλλά και η δραστηριότητα του AGN πυροδοτήθηκαν από την συγχώνευση, που είναι ακόμα σε εξέλιξη.

Παρατηρήσεις και αποτελέσματα.

Οι εκπομπές του (12CO 1-0) ανιχνεύουν δομές σαν βραχίονες στα νοτιά και βόρεια (12X10 kpc), και η πιο μεγάλη κορυφή δεν συμπίπτει με κανέναν από τους 2 πυρήνες, αλλά βρίσκεται στην περιοχή αλληλοεπικάλυψης των 2 γαλαξιών. Οι δύο βραχίονες συμπίπτουν με γραμμές εκπομπής της σκόνης. Από την άλλη, η εκπομπή (13CO 1-0) παρουσιάζει μια νηματοειδής δομή (6kpc) στην κεντρική περιοχή του (CO) του γαλαξία. Τα νήματα συμπίπτουν με την εκπομπή Paschen α. Αυτό σημαίνει ότι η γραμμή του (13CO) είναι καλύτερος ανιχνευτής της δραστηριότητας αστρογέννησης από την (12CO 1-0).

Οι αναλογίες των γραμμών στην παρατήρηση.

Ο νότιος και ο βόρειος βραχίονας δείχνει μικρή αναλογία γραμμών R3-2/ 1-0 και R12/ 13 (0,2-0,5 και <10), ενώ οι δύο πυρήνες και η περιοχή αλληλοεπικάλυψης έχουν μεγάλες αναλογίες (0,5 -0,8 και 20-50). Ο ανατολικός πυρήνας δείχνει την μεγαλύτερη 3-2/ 1-0 (0,8), ενώ η μικρότερη (0,4) μετρήθηκε κοντά στον δυτικό πυρήνα. Οι διαφορές αυτές μπορεί να έχουν να κάνουν με ισχυρές πηγές θέρμανσης. Η αναλογία R3-2/ 1-0 του γαλαξία ταυριάζει με αυτή των συγχωνεύσεων σε αρχικό στάδιο, όπως οι γαλαξίες- κεραίες. Στον ανατολικό γαλαξία βρέθηκε ένα σκιασμένο AGN και αστρογέννηση στον πυρήνα, ενώ στον δυτικό φαίνεται μόνο εκτεταμένη αστρογέννηση.

Οι αναλογίες των γραμμών στον νόμο KS.

Γενικά φαίνεται οι περιοχές αστρογέννησης στο γαλαξία να συμπληρώνουν ένα κενό ανάμεσα σε δύο ακολουθίες γαλαξιακής εξέλιξης (αστρογέννησης και κανονικού δίσκου). Ο VV114 μπορεί να είναι σε μια φάση μετάβασης από σπειροειδή σε λαμπρό γαλαξία συγχώνευσης. Οι πολύ διεγερμένες περιοχές του δείχνουν ήδη συγκέντρωση αερίου και εντατική αστρογέννηση, ενώ το διάχυτο αέριο κατά μήκος των βραχιόνων είναι ανενεργό. Παρόμοια, και οι περιοχές μεγάλης αναλογίας 12/13 δείχνουν ενεργή αστρογέννηση.

Συμπεράσματα.

Μελετήσαμε τις αναλογίες των παραπάνω μοριακών γραμμών. Και οι δύο αναλογίες είναι αυξημένες στην περιοχή επικάλυψης και στους πυρήνες. Ακόμα, οι περιοχές εντατικής αστρογέννησης (με μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα αερίου) μας δείχνουν τις αυξημένες αναλογίες. Προτείνουμε, από την διασπορά των αναλογιών στην παρατήρηση και στον νόμο KS, ότι οι αυξημένες αυτές αναλογίες προέρχονται από την δραστηριότητα αστρογέννησης.



S7, διερευνώντας την φυσική των γαλαξιών Seyfert μέσω των ENLR (Extended narrow line region) και (HII) περιοχών τους.

Θα παρουσιάσουμε τα πρώτα αποτελέσματα της επισκόπησης Sitting Spring Southern Seyfert Spectroscopic Snapshot Survey (S7), που ασχολείται με την έρευνα 140 ανιχνευμένων στα ραδιοκύματα ενεργών γαλαξιών του νοτίου ουρανού, με $z < 0.02$. Χρησιμοποιούμε τον φασματογράφο ευρέως πεδίου WiFeS, που μας δίνει <κύβους> δεδομένων της κεντρικής περιοχής των γαλαξιών, με ανάλυση 1 δευτερόλεπτο της μοίρας. Αυτά τα δεδομένα μας προσφέρουν την μορφολογία, την κινηματική και την δομή της διέγερσης της εκτεταμένης περιοχής στενής γραμμής (narrow line). Ακόμα, ανιχνεύουν τις σχέσεις ανάμεσα στα χαρακτηριστικά της κεντρικής μαύρης τρύπας και του γαλαξία, μετράνε τον βαθμό των αφθονιών του γαλαξία, και καθορίζουν τις αφθονίες των στοιχείων στις περιοχές του (HII). Από μοντέλα φωτισμού μπορούμε να καθορίσουμε το σχήμα του φάσματος ιονισμού του AGN, να ανακαλύψουμε αν η μεταλλικότητα του AGN διαφέρει από τις αφθονίες στον γαλαξιακό πυρήνα (από τις αφθονίες που καθορίστηκαν από τις περιοχές (HII)), και να διερευνήσουμε την καταστροφή της υφής (grain) στην περιοχή των AGN.

Η μελέτη των κοντινών Seyfert μας προσφέρει καλή γνώση όχι μόνο της φυσικής των ιδίων των ενεργών γαλαξιών, αλλά και του γαλαξιακού περιβάλλοντος, που τροφοδοτεί την πυρηνική δραστηριότητα του γαλαξία. Βάσει του στάνταρ μοντέλου των AGN και της επέκτασής τους, βλέπουμε τους γαλαξίες Seyfert 1 από τον πόλο τους, σχετικά με τον δίσκο προσαύξησης. Έτσι λαμβάνουμε πολύ πλατιές, επιτρεπόμενες (permitted) γραμμές εκπομπής που προέρχονται από το γρήγορα κινούμενο αέριο, που βρίσκεται κοντά στον πυρήνα. Στους Seyfert 2, ο παχύς, κυλινδρικού τύπου, και με πολύ σκόνη δίσκος προσαύξησης επισκιάζει τον κεντρικό μηχανισμό. Συχνά παρατηρούμε και μια ENLR (εκτεταμένη περιοχή εκπομπής στενής γραμμής), που είναι περιορισμένη μέσα σε έναν κώνο ιονισμού.

Αυτές οι ENLR μπορούν να μας προσφέρουν ζωτικές πληροφορίες για την φύση της κεντρικής μαύρης τρύπας, και τον μηχανισμό εκπομπής συνεχούς ακραίου υπεριώδους (Extreme UV). Οι γαλαξίες Seyfert είναι γνωστοί για το ότι καταλαμβάνουν ένα πολύ συγκεκριμένο εύρος αναλογίας φασματικών γραμμών. Ο λόγος είναι μάλλον ότι οι ENLR κυριαρχούνται από την πίεση της ακτινοβολίας. Σε αυτό το μοντέλο, η πίεση ακτινοβολίας (στο αέριο και στην σκόνη) συμπιέζει το αέριο κοντά στο μέτωπο του ιονισμού. Σε αρκετά μεγάλη πίεση ακτινοβολίας, η πυκνότητα κοντά στο μέτωπο ιονισμού κυμαίνεται όσο και η

πίεση ακτινοβολίας, και η παράμετρος τοπικού ιονισμού στην εκπομπή του ENLR στο οπτικό φάσμα γίνεται σταθερή. Αυτό επιδράει στο φάσμα της ENLR, που είναι πρακτικά ανεξάρτητο από την εισαγόμενη παράμετρο ιονισμού. Για ENLR με σκόνη, η πίεση ακτινοβολίας κυριαρχεί σε αυτήν του αερίου, και το φάσμα οπτικής εκπομπής γίνεται αμετάβλητο, με την εισαγωγή παραμέτρου ιονισμού.

Εκτός από τη σταθερότητα του φάσματος εκπομπής σε μεγάλες παραμέτρους ιονισμού, οι αναλογίες των γραμμών εκπομπής παραμένουν ευαίσθητες στην μορφή του εισαγομένου EUV φάσματος. Όσο <σκληραίνει> το πεδίο ακτινοβολίας αυξάνεται η θέρμανση ανά φωτοϊονισμό, και το σύνολο των ροών των <απαγορευμένων> γραμμών (καταστάσεις ιονισμού που δεν συμβαίνουν στις συνθήκες στην Γη μας) γίνεται μεγαλύτερο σε σχέση με τις γραμμές επανασύνδεσης. Ακόμα, οι μεμονωμένες αναλογίες γραμμών είναι ευαίσθητες με διαφορετικούς τρόπους στην μορφή του φάσματος EUV, και αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να συμπεράνουμε την μορφή του φάσματος EUV. Όπως και να έχει, για αυτή τη μέθοδο εργασίας χρειαζόμαστε να έχουμε καλή γνώση των χημικών αφθονιών στις ENLR.

Η επισκόπηση 7S

Πρόκειται για μια επισκόπηση ολοκληρωμένου πεδίου, στο οπτικό 140 γαλαξιών Seyfert και LINER. Το δείγμα των γαλαξιών προέρχεται από τον κατάλογο ενεργών γαλαξιών Veron-Cetty & Veron (2006). Επειδή θέλουμε να εξερευνήσουμε την αλληλεπίδραση των διπολικών πιδάκων πλάσματος με την περιοχή στενής γραμμής εκπομπής και την μεσοαστρική ύλη του γαλαξία, περιορίζουμε το δείγμα σε γαλαξίες με αρκετά μεγάλες πυκνότητες ροής ραδιοακτινοβολίας, ώστε να επιτρέπουν την παρατήρηση της σύνθεσης των ραδιοκυμάτων. Θέσαμε τα ακόλουθα κριτήρια.

.Η κλίση να είναι <10 μοίρες, ώστε να αποφύγουμε παρατηρήσεις με πολύ μεγάλη απόσταση από το ζενίθ.

.Το γαλαξιακό ύψος να είναι <20 μοίρες (με ελάχιστες εξαιρέσεις), ώστε να αποφύγουμε την υπερβολική γαλαξιακή εξάλειψη.

.Η πυκνότητα της ροής ραδιοακτινοβολίας στα 20 εκατοστά να είναι <20 mJy για τους στόχους με κλίση N των -40 μοιρών, που έχουν μετρήσεις NVSS.

.Η ερυθρολίση να είναι <0,02. Αυτό το κριτήριο (αποστάσεις μέχρι 80 Mpc) μας διασφαλίζει ότι η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι καλύτερη από 400 pc το δευτερόλεπτο μοίρας. Έτσι μπορούμε να αναλύσουμε τις ENLR και να διασφαλίσουμε ότι η σημαντικές διαγνωστικές γραμμές (SII) είναι μέσα στο εύρος της ανάλυσης του WiFe.

Οι κύβιοι δεδομένων έχουν βαθμονομηστεί για το μήκος κύματος, έχει διορθωθεί η ευαισθησία τους, έχουν βαθμονομηστεί φωτομετρικά, και έχουν αφαιρεθεί οι επιδράσεις της κοσμικής ακτινοβολίας. Έτσι αποκτήσαμε (για το αέριο μέρος) χάρτες της ροής των γραμμών εκπομπής, χάρτες αναλογίας γραμμών, χάρτες ταχύτητας του αερίου, και χάρτες διασποράς ταχύτητας του αερίου. Από αυτούς μπορούμε να αντλήσουμε χάρτες χημικής αφθονίας, αστρογέννησης και εξάλειψης από τη σκόνη. Για το αστρικό μέρος, έχουμε συνεχές χάρτες για την αστρική μάζα, την εξάλειψη, τις αστρικές ταχύτητες και την διασπορά τους. Από αυτούς πάλι βρίσκουμε την διασπορά ηλικίας, μεταλλικότητας κ.λ.π.

Τα πρώτα αποτελέσματα.

Στα πρώτα αποτελέσματα για 50 περίπου Seyfert και LINER (μέχρι το τέλος του 2014) ερευνήσαμε πολλές ιδιότητες. Τα κύρια σημεία είναι

Το σχήμα του φάσματος EUV.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, το φάσμα της ENLR μας δίνει ισχυρό περιορισμό του εύρους του φάσματος EUV από τον πυρήνα των Seyfert, με την προϋπόθεση ότι η παράμετρος ιονισμού και οι χημικές αφθονίες στις ENLR μπορούν να τεκμηριωθούν. Ως πρώτο δείγμα εξετάσαμε λεπτομερώς τον NGC 5427. Χρησιμοποιώντας κεντρικά και απόκεντρα πεδία, μπορέσαμε να εκτιμήσουμε τον βαθμό αφθονίας και να καθορίσουμε τις πυρηνικές αφθονίες από τις ισχυρές γραμμές εκπομπής των ανεξάρτητων πεδίων (HII).

Περιοχές στεμματικής εκπομπής.

Από τα μεγάλης ανάλυσης φάσματα γαλαξιακών πυρήνων είδαμε ότι όχι μόνο κάποιοι γαλαξίες του καταλόγου έχουν μπει σε λάθος κατηγορία, αλλά η κατηγοριοποίηση που χρησιμοποιούμε στα Seyfert είναι υπερβολικά λεπτομερής. Έτσι ίσως υπομονεύει την αίσθηση της ενότητας και της συνέχειας ανάμεσα στις διάφορες υποκατηγορίες. Από τα δεδομένα μας φαίνεται ξεκάθαρα ότι υπάρχουν συστηματικές τάσεις από αντικείμενο σε αντικείμενο, και αυτό θα επιδιώξουμε να απεικονίσουμε μέσα στο περιορισμένο εύρος των αντικειμένων που παρουσιάζουν ξεκάθαρα μια στεμματική εκπομπή, από ιόντα όπως τα (FeV), (FeVII), (FeX), (FeXIV). Η σχετική ισχύ και διέγερση της στεμματικής εκπομπής συνδέεται με το πάχος της γραμμής του (Ha) και την πυκνότητα ηλεκτρονίων στην περιοχή εκπομπής (OII). Η πυκνότητα σε μικρής διέγερσης αέριο συνδέεται επίσης με το πάχος της γραμμής (Ha). Αυτό μας λέει ότι αυτές οι μικρής διέγερσης γραμμές εκπέμπονται από μια περιοχή που είναι φυσικά διακριτή από την περιοχή εκπομπής των ιόντων του στέμματος.

Οι γραμμές του στέμματος εκπέμπονται από ένα πυκνό αέριο που εκτοξεύεται από τον εσωτερικό κύλινδρο σκόνης, με πολύ μεγάλη παράμετρος ιονισμού, και επιταχύνεται από την πίεση της ακτινοβολίας, σε τελική ταχύτητα μερικών εκατοντάδων km/s. Σε αυτήν την παράμετρο ιονισμού το αέριο θερμαίνεται από το φαινόμενο Compton στους 1 εκ. βαθμούς ή περισσότερο με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η σκόνη στην περιοχή εκπομπής στέμματος. Με αυτόν τον τρόπο οι απαγορευμένες γραμμές του σιδήρου φτάνουν σε τόση μεγάλη ένταση, σε σχέση με τις γραμμές του υδρογόνου. Οι συστηματικές αλλαγές του πλάτους, της διέγερσης και της πυκνότητας είναι συνεπείς με διαφορετικές ακτίνες (περιοχές) του εσωτερικού κυλίνδρου.

Τι σημαίνουν οι σουπερνόβα Ia για τους γαλαξίες.

Θα εφαρμόσουμε το απλό σενάριο εκφύλισης (Single Degenerate, SD) που προτείνεται για τους προ γεννήτορες των σουπερνόβα Ia. Θα αναλύσουμε την χημική εξέλιξη των γαλαξιών τύπου με έντονη κοιλιά (bulge-type), σε συνδυασμό με τις παρατηρήσιμες συσχετίσεις των ρυθμών σουπερνόβα Ia με τα χαρακτηριστικά του γαλαξία, όπως και τον ρυθμό αστρογέννησης του γαλαξία. Τα μοντέλα αναπαριστούν τις παρατηρήσιμες υπογραφές των αναλογιών(O)/(Fe) στην γαλαξιακή κοιλιά, και τον σημερινό ρυθμό δημιουργίας των Ia. Παρατηρήσαμε ότι η παρατηρησιακή συσχέτιση ανάμεσα στον ειδικό ρυθμό αστρογέννησης (specific star formation rate, SSFR) και τον ρυθμό εκρήξεων Ia κατά μονάδα της γαλαξιακής μάζας (SSN Ia R) αυξάνεται φυσικά. Αυτή η ανάλυση μας βοηθάει να θέσουμε πιο αυστηρά όρια στα μοντέλα γαλαξιακής εξέλιξης, και μας δίνει μια βοήθεια στο πρόβλημα των προ γεννητόρων.

Τα μοντέλα γαλαξιακής εξέλιξης χρησιμοποιούν μεθόδους υπό- πλέγματος, ώστε να περιλαμβάνουν πολύπλοκες φυσικές διαδικασίες που δεν μπορούν να αναλυθούν ποσοτικά, όπως για παράδειγμα οι εκρήξεις Ia. Η ακόμα άγνωστη ταυτότητα των προγεννητόρων των Ia είναι μεγάλο πρόβλημα για τα μοντέλα. Από αυτήν επηρεάζονται η ρύθμιση της χημικής και ενεργειακής ανάδρασης στην δυναμική των αέριων και στην γενική αστρική εξέλιξη. Έτσι είναι υψίστησης σημασίας να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των μοντέλων με τις παρατηρήσεις ώστε να μάθουμε περισσότερα για τον σχηματισμό των γαλαξιών, και να δοκιμάσουμε την αξιοπιστία των υποθέσεων που υιοθετούμε. Η πληροφορία που μας παρέχεται από χημικά μοτίβα που αποτύπωσαν τα προϊόντα της θερμοπυρηνικής σύνθεσης του αστρικού πληθυσμού, μπορούν να μας δώσουν αυστηρά όρια για τα μοντέλα σχηματισμού των γαλαξιών. Εναλλακτικά, οι παρατηρήσεις που συσχετίζουν τον ρυθμό των Ia με τα χαρακτηριστικά του γαλαξία όπως η μορφολογία, τα χρώματα και ο ρυθμός αστρογέννησης, μπορούν να μας δώσουν τα όρια για τους προγεννήτορες των Ia.

Το σενάριο απλής εκφύλισης είναι ένα από τα πιο δημοφιλή για την εξήγηση των Ia. Βασίζεται στην θερμοπυρηνική έκρηξη του λευκού νάνου που αποτελείται (στο εσωτερικό του) από (C)- (O) ενώ ξεπερνάει το όριο μάζας Chandrasekhar, λόγω συσσώρευσης μάζας από μη εκφυλισμένο συνοδό αστέρα. Η συσσώρευση μάζας μπορεί να έχει πολλές μορφές. Χρησιμοποιούμε το σενάριο της SD με την Ia να προέρχεται από διπλά συστήματα, με έναν λ. νάνο (C)-(O) και έναν ερυθρό γίγαντα. Οι χρόνοι έκρηξης ανταποκρίνονται σε αστέρια με μάζα 0,8- 8 ηλιακές. Το πρώτο σύστημα, με δύο αστέρια 8 ηλιακών μαζών έδωσε έκρηξη Ia σε 30-40 εκατομμύρια χρόνια μετά την γέννησή τους.

Οι προσομοιώσεις.

Χρησιμοποιούμε μια μέθοδο που περιλαμβάνει αστρογέννηση, χημικό εμπλουτισμό από ανάδραση μέσω των σουπερνόβα, ψύξη που εξαρτάται από τα μέταλλα, και ένα μοντέλο πολλών φάσεων για το αέριο μέρος του γαλαξία. Αρχικά το αέριο αντιπροσωπεύει το 65% του συνόλου της βαρυονικής μάζας, και είναι διάσπαρτο στον δίσκο. Η τελική κοιλιά σχηματίζεται από κυρίως διάχυτη ύλη, και μια κεντρική ράβδο συγκεντρώνεται στα εσωτερικά 3 kpc. Η αστρική μάζα είναι ίδια για όλες τις προσομοιώσεις μας, 35 δις ηλιακές. Είναι τυπική για μικρούς ελλειπτικούς ή την κοιλιά ενός σπειροειδή γαλαξία. Ακόμα, η ανάλυση του ρυθμού αστρογέννησης της κοιλιάς δείχνει ότι τα αστέρια της σχηματίζονται κατά την έντονη αστρογέννηση. Σε αυτήν την φάση το ψυχρό αέριο εξαντλήθηκε σε 1 δις έτη. Έτσι τα νέα αστέρια που σχηματίστηκαν και παρακολουθούμε τις χημικές αφθονίες τους είναι κυρίως μέρος της γαλαξιακής κοιλιάς. Σε ένα μοντέλο (Scannapieco) οι χρόνοι διάρκειας ενός διπλού συστήματος που εξερράγη ως Ia, υπολογίζονται να έχουν τυχαία διασπορά σε ένα εύρος 0,1 ως 1 δις έτη. Αυτό το μοντέλο αναφέρεται ως το αυθεντικό, ώστε να διαχωρίζεται από την εκτέλεση των SD που είδαμε παραπάνω. Έτσι, θέτουμε έναν μεγαλύτερο ελάχιστο χρόνο διάρκειας για την διασπορά της δευτερεύουσας μάζας, συγκριτικά με την πρόβλεψη του σεναρίου SD.

Προσαρμόζοντας το σενάριο SD.

Το σενάριο SD περιέχει μια ελεύθερη παράμετρο A, που σχετίζεται με το κλάσμα των διπλών συστημάτων αστέρων, του είδος που είναι απαραίτητα για την έκρηξη σουπερνόβα Ia. Αυτή η τιμή πρέπει να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει με τον σημερινό ρυθμό Ia. Χρησιμοποιούμε τον ρυθμό των Ia από σφαιροειδείς γαλαξίες. Προκύπτει ότι έχουμε για το SD-1 $A=0,0015$, ρυθμός σουπερνόβα Ia = 0,002 το έτος, για το SD-4 $A=0,0075$,

$I_a=0,0016/\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma$, και για το αυθεντικό μοντέλο $A=0,0015$ και $I_a=0,0027/\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma$. Βλέπουμε ότι οι τιμές είναι παρόμοιες. Ακόμα ζητήσαμε να αναπαρίσταται στα μοντέλα η αναμενόμενη καμπή (knee) στην διασπορά των αναλογιών (O)/ (Fe), (Fe)/ (H). Για αυτό υπολογίσαμε τον μέσο όρο της αφθονίας της αστρικής μάζας των αναλογιών (O)/ (Fe) και (Fe)/ (H) από τα αστέρια στην κοιλιά και σε κάθε μοντέλο, και τον συγκρίναμε με αστέρια της κοιλίας του Γαλαξία μας. Αυτή την σύγκριση την θεωρούμε ενδεικτική. Το μοντέλο SD-4 έχει σημείο 0 των δεδομένων, ακολουθώντας την παρατηρήσιμη τάση, στο (Fe)/ (H) =-0,25. Το SD-1 έχει δεδομένα για μεγαλύτερο εύρος αναλογίας μετάλλων. Αυτά τα μοντέλα προβλέπουν ένα μεγάλο πεδίο αναλογίας (O)/ (Fe) και μία καμπή να εμφανίζεται σε μεγάλη αναλογία (Fe)/ (H), σύμφωνα με τις παρατηρήσεις. Σε μεγάλη μεταλλικότητα όμως, η κλίση των 2 μοντέλων δεν ακολουθεί τόσο καλά την αναλογία (O)/ (Fe) που παρατηρούμε. Αυτό μπορεί να είναι συνέπεια του ότι δεν περιλαμβάνει την απώλεια μάζας από τα αστέρια μεγάλης μάζας. Τα δεδομένα του αυθεντικού μοντέλου, αν και είναι αρκετά απλό, ταιριάζουν σε όλο το εύρος μεταλλικότητας.

Ρυθμοί SN Ia και συσχέτιση SSFR.

Η σχέση αυτή επιβεβαιώθηκε σε ένα δείγμα κοντινών γαλαξιών, καταταγμένοι σύμφωνα με την μορφολογία τους. Δεν βρέθηκε να επηρεάζεται αυτή η σχέση από το z.

Δοκιμάσαμε αν τα μοντέλα μπορούν να αναπαραστήσουν αυτήν την σχέση. Έτσι εκτιμήσαμε τις τιμές των SN Ia, SSFR σύμφωνα με την εξέλιξη των γαλαξιών, με την υπόθεση ότι στην παρατήρηση παίρνουμε δεδομένα από γαλαξίες σε διαφορά στάδια εξέλιξης. Αρχικά βρήκαμε ότι η σχέση προκύπτει φυσιολογικά από τα μοντέλα. Αυτό είναι εντυπωσιακό, αφού δεν είχαμε ανάλογη προσαρμογή τους. Από την άλλη, το αυθεντικό μοντέλο, μολονότι αναπαριστά τον ρυθμό των SN Ia και την αναλογία (O)/ (Fe), δεν ακολουθεί την τάση των δεδομένων, δείχνοντας μικρότερη κλίση.

Όλα τα άλλα μοντέλα δείχνουν ότι η SSN Ia R(rate) αυξάνεται απότομα σε μεγάλες τιμές της SSFR, πριν φτάσει την παρατηρήσιμη τάση. Για να καταλάβουμε αυτή την συμπεριφορά, η απότομη αύξηση της SSN Ia R για μεγάλη τιμή της SSFR αντικατοπτρίζει την εμφάνιση των SN Ia, και το πόσο γρήγορα αυτή φτάνει την μέγιστη τιμή της. Το αυθεντικό μοντέλο διαφέρει από τα SD, δείχνοντας μια καθυστερημένη κορυφή με πιο απότομη κλίση μετά τη μέγιστη τιμή. Για όλα τα μοντέλα, μετά το μέγιστο οι τιμές των SS Ia R και SSFR μειώνονται, περίπου στις παρατηρήσιμες σχέσεις. Για πολύ αργή SSFR, υπάρχει ένα υπόλοιπο SSN Ia R, επειδή η παραγωγή των Ia καθυστέρησε χρονικά, και έτσι χάθηκε η παραπάνω αναλογία.

Η ανατομία των γαλαξιακών αερίων με την γαλαξιακή επισκόπηση SAMI.

Μελετήσαμε έναν γαλαξία κανονικής αστρογέννησης ($z=0,05$) μέσω της επισκόπησης γαλαξιών SAMI, και παρουσιάσαμε τη σκοπιμότητα και δυνητικότητα της χρήσης της επισκόπησης φασματοσκοπίας μεγάλου ολοκληρωμένου πεδίου, ώστε να ερευνήσουμε την επικράτηση των εκρών γαλαξιακής κλίμακας στο τοπικό σύμπαν. Χρησιμοποιήσαμε την φασματική ανάλυση ώστε να διαχωρίσουμε τα μέρη διαφορετικής κινηματικής που επικαλύπτονται στην κατεύθυνση της γραμμής θέασης, με συνέπεια τα λοξά προφίλ των

γραμμών, στα δεδομένα ολοκληρωμένου πεδίου. Τα τρία μέρη κινηματικής παρουσιάζουν ευδιάκριτα διαφορετικές αναλογίες γραμμών και κινηματικές ιδιότητες. Μοντελοποιήσαμε της αναλογίες γραμμών με τον κωδικό κρουστικών κυμάτων/ φωτοιονισμού MAPPINGSIV, και δείξαμε ότι οι διαφορετικές ιδιότητες των γραμμών εκπομπής προκαλούνται από τεράστιες γαλαξιακές εκροές που διεγείρουν την ύλη μέσω κρουστικών κυμάτων, μαζί με τον φωτοϊονισμό.

Οι εκροές γαλαξιακής κλίμακας ή γαλαξιακοί άνεμοι είναι ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς ανάδρασης, που ρυθμίζει την συγκέντρωση μάζας και τις δραστηριότητες αστρογέννησης των γαλαξιών, κατά την εξέλιξή τους στον κοσμικό χρόνο. Εκτός τον σημαντικό ρόλο των εκροών στην εξέλιξη των γαλαξιών, η επικράτηση και τα μεγέθη των εκροών δεν είναι καλά οριοθετημένα. Οι παρατηρήσεις εκπομπής στο ορατό και στις μετατοπισμένες προς το μπλε γραμμές απορρόφησης, μας δείχνουν ότι οι άνεμοι που καθοδηγούνται από την αστρογέννηση είναι συνήθεις στους τοπικούς γαλαξίες, που παρουσιάζουν ακραία μεγάλη αστρογέννηση και μεγάλη αναλογία επιφανειακής πυκνότητας του ρυθμού αστρογέννησης (>0.1 ηλιακές μάζες/έτος/κpc-2).

Για τον πληθυσμό γαλαξιών κανονικού ρυθμού αστρογέννησης στο τοπικό σύμπαν είναι δύσκολο να ανιχνεύσουμε σημάδια εκροών μεμονωμένων γαλαξιών με τις επισκοπήσεις που έχουμε στη διάθεσή μας, εκτός από την μέθοδο ανάλυσης στακαρίσματος. Χωρίς χωρικά αναλυμένα δεδομένα ενός στατιστικού δείγματος η επικράτηση και ο βαθμός των εκροών γαλαξιακής κλίμακας σε γαλαξίες κανονικής αστρογέννησης παραμένουν πολύ ασαφείς.

Η παραπάνω επισκόπηση μας παρέχει την δυνατότητα να αποσαφηνίσουμε τον πληθυσμό γαλαξιακών ανέμων του τοπικού ($z=0,05$) σύμπαντος. Το 2014 δείξαμε ότι με την αξιοποίηση της χωρικής ανάλυσης του SAMI μπορούμε να αναγνωρίσουμε γαλαξιακούς ανέμους με την έρευνα των αναλογιών των γραμμών εκπομπής, και των κινηματικών των γαλαξιακών μερών.

Κρουστικά μέτωπα και εκροές στον SDSSJ 0900005.05+000446.7

Στο ολοκληρωμένο πεδίο του, που μας έδωσε η επισκόπηση SAMI, ο παραπάνω γαλαξίας παρουσίασε λοξεμένα προφίλ γραμμών, που άλλαζαν με την τοποθεσία στον γαλαξία. Αυτό συμβαίνει λόγω των μερών (συστατικών) με διαφορετική κινηματική, που επικαλύπτονται στην κατεύθυνση της γραμμής θέασης.

Τα γαλαξιακά μέρη με διαφορετικές κινηματικές παρουσίασαν εντελώς διαφορετικές κινηματικές ιδιότητες και αναλογίες φασματικών γραμμών. Οι αναλογίες των γραμμών εκπομπής των διαφορετικών μερών είναι ευδιάκριτα διαφορετικές, με το <στενό> (φασματικά) μέρος c1 να ταιριάζει με φωτοϊονισμό, το πλατύ c2 με μικρού ιονισμού περιοχές εκπομπής στενών γραμμών, και το ενδιάμεσο c2 μέλος να ταιριάζει με ενδιάμεσες αναλογίες γραμμών. Είναι εμφανείς οι ξεκάθαρες σχέσεις ανάμεσα στις αναλογίες των γραμμών και στις διασπορές ταχυτήτων. Οι αυξημένες αναλογίες γραμμών και διασπορές ταχυτήτων στο πλατύ μέρος c3 έχουν να κάνουν με την παρουσία μεσοαστρικών κρουστικών κυμάτων (με ταχύτητες 200-300km/s), που παράγονται από τους γαλαξιακούς ανέμους. Τα μοντέλα μας δείξαν ότι το στενό μέλος c1 διεγείρεται από καθαρό φωτοϊονισμό που προέρχεται από περιοχές αστρογέννησης του δίσκου, και το ενδιάμεσο μέλος c2 διεγείρεται από συνδυασμό φωτοϊονισμού και κρουστικών μετώπων.

Η παρουσία των μεσοαστρικών κρουστικών μετώπων οφείλεται επίσης άμεσα στην συμπίεση των αερίων, με συνέπεια την αύξηση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων, που ανιχνεύουμε με την ευαίσθητη αναλογία των γραμμών (SII λ6716)/(SII λ6731). Οι βαθμοί της συμπίεσης είναι σχετικοί με τις ταχύτητες των κρουστικών μετώπων. Οι αυξημένες πυκνότητες ηλεκτρονίων του φασματικά πλατύ, διεγερμένου μέσω των κρουστικών μετώπων μέλος c3, παρατηρήθηκαν στα δεδομένα μας και συνδέονται με τεκμηριωμένες ταχύτητες των κρουστικών μετώπων της τάξης των 200-300 km/s. Οι μεγάλες πυκνότητες ηλεκτρονίων του c3 συμφωνούν με τις προβλέψεις του μοντέλου, δείχνοντας την σημαντικότητα της διέγερσης από κρουστικά μέτωπα και την παρουσία μεγάλων γαλαξιακών ανέμων στον συγκεκριμένο γαλαξία.

Η θεωρία του σχηματισμού των γαλαξιών που παρατηρούμε στα υπο-χιλιοστόμετρα.

Οι γαλαξίες αυτοί (850 μm- selected Sub millimeter Galaxies, SMG) είναι οι λαμπρότεροι, μεγάλης αστρογέννησης γαλαξίες του σύμπαντος. Ενώ αυτό το πεδίο έχει ερευνηθεί παρατηρησιακά για πάνω από μια 15ετια, οι θεωρητικοί εργάζονται για την εξέλιξη ενός μοντέλου που να είναι σύμφωνο με την προέλευση αυτών των γαλαξιών. Εδώ θα αναπτύξουμε τις κυριότερες θεωρητικές προσπάθειες σε αυτό το πεδίο. Επίσης, θα παρουσιάσουμε ένα μοντέλο νέας εξέλιξης για την προέλευση αυτού του αινιγματικού πληθυσμού γαλαξιών.

Οι πιο λαμπροί από αυτούς τους γαλαξίες είναι και οι λαμπρότεροι του σύμπαντος, και δημιουργούν κάθε χρόνο αστέρια με συνολική μάζα μερικές χιλιάδες ηλιακές. Αυτοί οι γαλαξίες καλύπτονται από αρκετή σκόνη, και το λιγότερο λαμπρό υποσύνολό τους (που δημιουργεί μόνο δεκάδες με εκατοντάδες ηλιακές μάζες το έτος) συνεισφέρει σημαντικά στο κοσμικό υπόβαθρο υπέρυθρων. Οι γαλαξίες αυτοί βρίσκονται γενικά σε $z=2-3$, αλλά έχουν παρατηρηθεί και σε $z=6$. Ενώ δεν ξέρουμε την ακριβή μάζα τους, γνωρίζουμε ότι αυτή είναι πάνω από μερικά τρις ηλιακές μάζες, σε μετρήσεις γαλαξιών με $z=2$.

Η θεωρητική πρόκληση.

Η κατανόηση της φυσικής προέλευσης αυτών των συστημάτων αποδείχτηκε πηγή μεγάλων εκπλήξεων και αναθεωρήσεων στις θεωρίες σχηματισμού των γαλαξιών. Η βασική δυσκολία είναι η εξής. Ο προγενέστερος μηχανισμός σχηματισμού γαλαξιών που παρουσιάζουν αστρογέννηση >1000 ηλιακές μάζες το έτος, σε $z=2-3$, μας λέει ότι οι γαλαξίες αυτοί (SMG) δημιουργήθηκαν από συγχωνεύσεις γαλαξιών που ήταν πλούσιοι σε αέρια. Όμως, με την εξέταση μεγάλων κοσμολογικών προσομοιώσεων (μόνο της σκοτεινής ύλης) φαίνεται ότι δεν υπάρχουν αρκετές τέτοιες συγχωνεύσεις γαλαξιών σε $z=2-3$, που να είναι υπολογίσιμες για τον πληθυσμό των SMG. Ακόμα, οι γαλαξίες υπο συγχώνευση (συγχωνευτές) είναι πολύ αναποτελεσματικοί στην εκπομπή φωτονίων στα υπο-χιλιοστόμετρα. Στους συγχωνευτές γαλαξίες υπάρχει πολύ μικρή εξάρτηση ανάμεσα στην πυκνότητα της ροής στα 850 μm και στο ρυθμό αστρογέννησης. Αυτό συμβαίνει επειδή οι συγχωνευτές (mergers) παράγουν συμπαγείς εκρήξεις αστρογέννησης, που θερμαίνουν πολύ την σκόνη. Έτσι η εκπομπή μετατοπίζεται προς το μπλε, και δίνει σχετικά αμελητέα

αύξηση στην μπάντα των υπο- χιλιοστόμετρων. Από την άλλη, το τυπικό ιστορικό αστρογέννησης των γαλαξιών που έχουν παρόμοια μάζα με τους SMG που παρατηρούμε, κορυφώνεται στις προσομοιώσεις σε $z=4-6$. Έτσι δεν είναι ικανοί να παρέχουν αρκετή ακτινοβολία υπέρυθρου ώστε να επανεξετάσουμε την άφθονη λαμπρότητα στα υπό- χιλιοστόμετρα, που βλέπουμε τυπικά στους SMG.

Αυτή η θεμελιώδης πρόκληση έχει αναλυθεί σε πολλά φυσικά μοντέλα στην βιβλιογραφία, με μεγάλο εύρος προβλεπόμενων φυσικών ιδιοτήτων των SMG. Σε ένα μοντέλο (2005), βρέθηκε ότι οι SMG πρέπει να προέρχονται κατά 22% από μεγάλους συγχωνευτές και 77% μικρής (αναλογίας 1/3) μάζας συγχωνευτές.

Μια σημαντική ιδιαιτερότητα αυτού του μοντέλου είναι ότι η αστρική αρχική συνιστώσα μάζας (η διασπορά της αρχικής μάζας σε έναν αστρικό πληθυσμό, δηλαδή η αναλογία των αστέρων συγκεκριμένης μάζας που θα δημιουργηθούν, IMF initial mass function) ήταν επίπεδη (ίδια) για τα συστήματα αστρογέννησης. Το μοντέλο αυτό έχει ήδη αναβαθμιστεί. Επειδή χρειάζεται μια πολύ μεγάλη IMF, το μέγεθος αυτής της κλίσης είναι πολύ πιο ακραίο.

Οι κοσμολογικές προσομοιώσεις υδροδυναμικής είχαν παρόμοιες μεγάλες δυσκολίες στην πλήρη ταύτιση με τις παρατηρήσεις των SMG. Το 2010 σε ένα μοντέλο αναλύθηκε μια περιοχή 100 Mpc, και είδαμε ότι οι γαλαξίες με την μεγαλύτερη αστρογέννηση ήταν οι SMG. Στην προσπάθεια ταύτισής τους με την παρατηρήσιμη αφθονία των SMG, πρέπει ο καθένας τέτοιος γαλαξία να έχει αστρογέννηση 180-600 ηλιακές μάζες το έτος. Αυτό το μοντέλο μπόρεσε να ταιριάζει τις τεκμηριωμένες αστρική μάζες, τις μεταλλικότητες, τις αναλογίες αέριων και τις μετρήσεις των σμηνών των SMG. Οι τυπικοί ρυθμοί αστρογέννησης ήταν 2-3 φορές χαμηλότεροι σε αυτά τα μοντέλα από ότι τεκμηριώνεται από τις παρατηρήσεις. Αυτή η διαφορά μπορούσε να εξαιρεθεί από αβεβαιότητα της εκτιμώμενης αστρικής IMF σε εκρήξεις αστρογέννησης σε μεγάλο z (δηλαδή αστρογέννηση με περισσότερα μεγάλα αστέρια αλλά συνολικά λιγότερα αστέρια το έτος, με την ίδια συνολική λαμπρότητα των πολλών μικρών αστεριών). Το σημαντικό είναι ότι σε αυτά τα μοντέλα σχεδόν κανένας γαλαξίας δεν πέρασε μεγάλη συγχώνευση.

Τέλος, σε μια υβριδική προσέγγιση, ώστε να κατανοήσουμε την προέλευση των SMG, οι ερευνητές προέβησαν σε έναν μεγάλο συνδυασμό υδροδυναμικών προσομοιώσεων ιδανικών γαλαξιακών δίσκων και συγχωνεύσεων γαλαξιών (με μεγάλο εύρος αναλογίων μάζας συγχωνεύσεων και γαλαξιακών μαζών), με υπολογισμούς μετάβασης της ακτινοβολίας της σκόνης. Μετά οι ερευνητές συνέλεξαν τις υπολογισμένες εκπομπές στα 850 μm αυτών των γαλαξιών με την παρατηρήσιμη στο οπτικό φάσμα συνιστώσα αστρικής μάζας και τις αναλογίες συγχώνευσης γαλαξιών από προσομοιώσεις που περιλαμβάνουν μόνο την σκοτεινή ύλη, ώστε να εισάγουν τα θεωρητικά αριθμητικά ποσά. Ενώ αυτά τα μοντέλα είχαν επιτυχία στην ταύτιση με την παρατηρούμενη αφθονία σε SMG, δεν κατάφεραν να πετύχουν τα ρεαλιστικά περιβάλλοντα των υπό σχηματισμό SMG.

Μια νέα εικόνα σχηματισμού SMG.

Με αφορμή τα παραπάνω, συνδέσαμε ένα πλήθος προσομοιώσεων κοσμολογικής υδροδυναμικής του σχηματισμού των γαλαξιών (2014). Ο στόχος αυτών είναι να προσομοιώσουν τα κοσμικά περιβάλλοντα των γαλαξιών που θα μπορούσαν δυνητικά να εξελιχθούν σε SMG, διατηρώντας παράλληλα σχετικά μεγάλη χωρική ανάλυση. Η άλως της προσομοίωσης είναι 60 τρις ηλιακές μάζες. Περιλάβαμε πολλές μορφές αστρικής

ανάδρασης (εναπόθεση ορμής ακτινοβολίας, εναπόθεση ενέργειας από σουπερνόβα και αστρικούς ανέμους, ανάδραση από περιοχές (HII)).

Στην προσπάθεια να υπολογίσουμε τις τεκμηριωμένες φωτομετρικές ιδιότητες αυτών των υδροδυναμικών προσομοιώσεων, εξελίξαμε ένα νέο πακέτο μετάδοσης ακτινοβολίας από τη σκόνη (POWDERDAY).

Το αποτέλεσμα ήταν ένας γαλαξίας με αυξανόμενο ιστορικό αστρογέννησης, που κορυφώνεται σε $z=2-3$. Η αστρογέννηση κορυφώνεται αργά σε σχέση με τα περισσότερα γαλαξιακά μοντέλα αυτής της μάζας, κάτι που οφείλεται στις αστρικές αναδράσεις σε αυτές τις προσομοιώσεις (οι αναδράσεις από προγενέστερη αστρογέννηση δημιουργούν φούσκες αερίου που παρέχουν απόθεμα υλικού για μεταγενέστερη αστρογέννηση). Μέχρι τότε η μεσοαστρική ύλη έχει εμπλουτιστεί αποτελεσματικά με μέταλλα, ώστε ο γαλαξίας να είναι ορατός ως λαμπρός στα υπό- χιλιοστόμετρα.

Η μορφολογία αυτού του συστήματος είναι ιδιαίτερα χονδροειδής. Ενώ εξελίσσεται ο κεντρικός γαλαξίας, πολλές υπό- άλως βομβαρδίζουν το κέντρο του, παρέχοντας περισσότερη ύλη για αστρογέννηση. Ο γαλαξίας του μοντέλου μας έχει αστρική μάζα και ρυθμό αστρογέννησης που είναι σύμφωνα με τις παρατηρήσεις. Δεν ταιριάζει με το κλασικό σενάριο γαλαξιακής συγχώνευσης. Επίσης συμφωνεί με την παρατήρηση SMG σε μεγάλο z .

Η κινηματική των υπέρπυκνων γαλαξιών σε σμήνη.

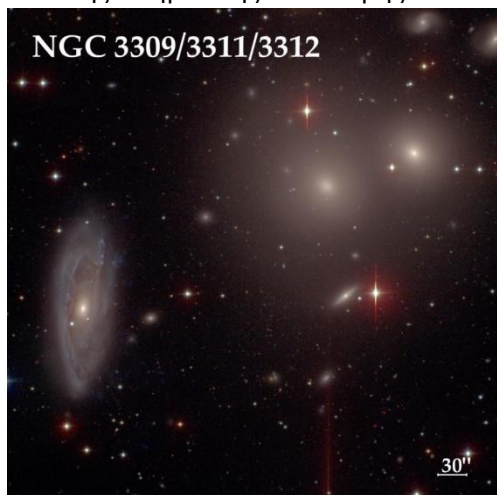
Θα παρουσιάσουμε τα πρώτα αποτελέσματα που λάβαμε από ανάλυση της λεπτομερής κινηματικής ενός υπό- δείγματος 9 πυκνών γαλαξιών μεγάλης μάζας, που πετύχαμε με την επισκόπηση WINGS. Οι γαλαξίες που παρατηρήσαμε είναι μεγάλης ηλικίας (οι λαμπρότητες και η μάζες τους δείχνουν ηλικίες πάνω από 10 δις έτη), ενώ μοιάζουν πιο τυπικοί γαλαξίες σε άλλα χαρακτηριστικά τους. Η απόλυτη αναλογία μάζας/λαμπρότητας καθορίστηκε με την χρήση, ως ελευθέρων παραμέτρων, της ανισοτροπίας β και της γαλαξιακής κλίσης i .

Στο δείγμα κοντινών ($0,04 < z < 0,07$) σμηνών γαλαξιών WINGS βρέθηκαν αρκετοί μεγάλης μάζας πυκνοί γαλαξίες (30-400 δις ηλιακές μάζες με πυκνότητα 3 δις ηλιακές μάζες / kpc^2). Δεν έχει βρεθεί κάτι ανάλογο σε άλλες επισκοπήσεις. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι συλλέγοντας τους ήδη παθητικούς (χωρίς σημαντική αστρογέννηση) γαλαξίες συλλέγουμε και τους πιο πυκνούς. Με την παραδοχή ότι δεν παρουσιάζουν αστρογέννηση σε μεταγενέστερο στάδιο, τα μεγέθη των μεγάλου z γαλαξιών πρέπει να συγκριθούν με αυτά των γηραιότερων κοντινών γαλαξιών, ώστε να αποφύγουμε προ γεννητορικές προκαταλήψεις. Λαμβάνοντας αυτό υπ' όψιν, βρήκαμε ότι για πυκνούς γαλαξίες σε περιβάλλοντα μικρής πυκνότητας δεν είναι απαραίτητη η σημαντική εξέλιξη του μεγέθους τους.

Μια τρισδιάστατη άποψη του πυρήνα του γαλαξιακού σμήνους Ύδρα Ι.

- 1) Κινηματικές υπο- δομές.

Μετρήσαμε την μεγάλης κλίμακας τρισδιάστατη κινηματική γύρω από τον κεντρικό γαλαξία του σμήνους Ύδρα Ι, τον NGC3311. Τα δεδομένα μας δείχνουν ότι το πεδίο διασποράς ταχύτητας κυμαίνεται ως συνέπεια της ακτίνας και της γωνίας του αζιμούθιου, και της παραβίασης της σημειακής συμμετρίας. Ακόμα, το πεδίο ταχύτητας δείχνει παρόμοια ανεξαρτησία, αφού η αστρική άλω του NGC3311 είναι μια δυναμική νέα γαλαξιακή δομή. Οι κινηματικές ανωμαλίες συμπίπτουν με τη θέση της εκτοπισμένης διάχυτης άλω νότιο-ανατολικά του γαλαξία, και με τις παλιρροϊκές δομές μιας ομάδας διαταραγμένων νάνων γαλαξιών. Αυτό μας δείχνει ότι η υπέρθεση των διαφορετικών μελών ταχύτητας είναι η αιτία της κινηματικής υπό-δομής στον πυρήνα του σμήνους.



Ο καθορισμός της μάζας των κεντρικών γαλαξιών στα σμήνη βασίζεται σε κινηματικά δεδομένα, που συνήθως χρησιμοποιούν απλοποιημένες παραδοχές ισορροπίας και σφαιρικής συμμετρίας. Η σφαιρική εμφάνιση αυτών των γαλαξιών και η απαλή διασπορά του καυτού αερίου, που εκπέμπει ακτίνες Χ, ίσως μας προτείνουν ότι οι παραδοχές αυτές είναι δικαιολογημένες. Από την άλλη, είδαμε ότι οι άλως των μεγάλης μάζας ελλειπτικών γαλαξιών μεγαλώνουν κατά παράγοντα 4 σε μάζα, από $z=2$. Η αύξηση της μάζας κυριαρχείται από την συσσώρευση γαλαξιών μικρής μάζας (μικρές συγχωνεύσεις). Έτσι αναμέναμε τα γεγονότα προσαύξησης να αφήνουν κινηματικά ίχνη στον χώρο του εξωτερικού αστρικού πληθυσμού, ειδικά σε γαλαξίες στα κέντρα των σμηνών.

Εδώ θα παρουσιάσουμε την ενεργή περίπτωση του κεντρικού ελλειπτικού γαλαξία του σμήνους Ύδρα Ι, NGC3311. Αυτό το κυριαρχούμενο από προγενέστερου τύπου γαλαξίες σμήνος φαίνεται να έχει εξελιχτεί δυναμικά. Πρόσφατες φωτομετρικές και κινηματικές μελέτες του διάχυτου αστρικού φωτός, των πλανητικών νεφελωμάτων και των σφαιρωτών σμηνών στον πυρήνα του Ύδρα Ι, μας έδειξαν ότι 1) Ο NGC3311 παρουσιάζει ένα απότομα αυξανόμενο προφίλ διασποράς ταχύτητας, 2) τα προφίλ διασποράς ταχύτητας διαφέρουν μεταξύ τους σε διαφορετικές αζιμουθιακές κατευθύνσεις, και 3) Το διάχυτο φως δεν επικεντρώνεται γύρω από το κυρίως σφαιροειδές μέρος του NGC3311, αλλά είναι εκτοπισμένο προς τα νότιο-ανατολικά, περίπου κατά 15 kpc.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Τα κύρια αποτελέσματα της έρευνάς μας είναι ότι 1) Υπάρχουν σαφής αζιμουθιακές διακυμάνσεις στην γωνιακή ταχύτητα και στην διασπορά ταχύτητας, ως συνέπεια της απόστασης από το κέντρο του γαλαξία, που εξηγούν τις παραπάνω προαναφερθείσες αποκλίσεις από προηγούμενα αποτελέσματα ερευνών. 2) Στα νότιο-ανατολικά υπάρχουν σημαντικές, μικρής κλίμακας διακυμάνσεις της γωνιακής ταχύτητας και της διασποράς

ταχύτητας. 3) Οι πολύ μεγάλες τιμές της διασποράς της ταχύτητας σε μερικές περιοχές του πυρήνα του σμήνος (>500 km/s) πιθανώς να σημαίνουν μια υπέρθεση των κινηματικών υπό- δομών. 4) Η εκτοπισμένη διάχυτη άλω γύρω από τον NGC3311 συμπίπτει με περιοχές που έχουν θετικές τιμές κλίσης και κύρτωση, μια ακόμα απόδειξη για την ύπαρξη πολλαπλών ταχυτήτων στην αστρική άλω.

Συμπεραίνουμε ότι η αστρική άλως γύρω από τον γαλαξία NGC3311 στον πυρήνα του σμήνος Ύδρα I σχηματίζεται ακόμα, και δεν είναι σε δυναμική ισορροπία. Πιθανώς μια ομάδα εισρεόντων νάνων γαλαξιών και οι ουρές τους ευθύνονται για τις κινηματικές υπό-δομές. Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι πρέπει να είναι κάνεις προσεκτικός όταν συμπεραίνει τις ιδιότητες της άλως της κεντρικής σκοτεινής μάζας γύρω από τον NGC3311, χρησιμοποιώντας κινηματικά δεδομένα.

2) Αστρικοί πληθυσμοί

Πολλές παρατηρήσεις της κεντρικής περιοχής του γαλαξιακού σμήνος Ύδρα I επικεντρώνονται σε ένα ιστορικό σύνδεσης πολλών εποχών. Χαρτογραφήσαμε την, βάσει της λαμπρότητας, ηλικία και τις διασπορές των $(Fe)/(H)$, $\alpha/(Fe)$ των αστρικών πληθυσμών γύρω από τον τύπου cD γαλαξία NGC 3311. Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι ο αστρικός πληθυσμός ακολουθεί την τάση των φωτομετρικών υπό- δομών. Παρουσιάζει διακριτές ιδιότητες που μπορεί να βοηθήσουν στην εξέλιξη των σεναρίων εξέλιξης για τον σχηματισμό του πυρήνα του σμήνος.

Ενώ παλαιά θεωρούσαμε ότι έχουμε ένα σύστημα σε ισορροπία, οι παρατηρήσεις του σμήνος Ύδρα I, που κυριαρχείται από τον NGC3311, έδειξαν αντίθετα μια πολύπλοκη, συνεχιζόμενη διαδικασία σύνδεσης της μάζας. Ανακαλύψαμε ότι υπάρχει ένα, αχνής επιφανειακής λαμπρότητας, κελύφος. Η υπό- δομές του κελύφους έχουν διασπορά ταχύτητας κατά την γραμμή θέασης. Είναι διακριτές από τις γύρω περιοχές, κάτι που έχει σχέση με μια ομάδα εισρεόντων νάνων γαλαξιών.

Το αστρικό περιεχόμενο στην περιοχή του κελύφους είναι διαφορετικό από ότι σε άλλες περιοχές, κάτι που επιβεβαιώνει ότι οι αστρικοί πληθυσμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και τον καθορισμό των διαδικασιών που έχουν σχέση με την γαλαξιακή διαταραχή και το κτίσιμο των μεγάλης μάζας γαλαξιών cD. Όπως και να έχει, χρειαζόταν μια μελέτη χωρικής ανάλυσης για την παρατήρηση του σχήματος και της επέκτασης των δομών αστρικού πληθυσμού. Έτσι θα συμβάλλουμε στην παρουσίαση της φύσης του πυρήνα του σμήνος Ύδρα I, που ακόμα σχηματίζεται ενεργά, με την χρήση αστρικών πληθυσμών ως ανιχνευτές της προηγούμενης εξέλιξης του συστήματος.

Τα αποτελέσματα.

Παρουσιάσαμε αποτελέσματα για την ηλικία βάσει της λαμπρότητας, τις μεταλλικότητες, και την αφθονία σε στοιχεία α . Αυτά συμφωνούν με το σενάριο σχηματισμού 2 φάσεων (2 stages formation scenario). Δηλαδή ότι οι κεντρικές περιοχές σχηματίζονται πρώτα, τοπικά (in situ), πιθανώς με μια σχεδόν μονολιθική κατάρρευση, με βίαιες εκρήξεις αστρογέννησης (starburst). Οι εξωτερικές περιοχές αναπτύσσονται με προσαύξηση συστημάτων μικρότερης μάζας, με πιο εκτεταμένες (όχι τόσο απότομες) περιόδους αστρογέννησης.

Κατανοώντας την μετάβαση των σπειροειδών γαλαξιών σε φακοειδείς.

Μελετώντας τα μεμονομένα ιστορικά αστρογέννησης των κοιλιών και δίσκων των φακοειδών γαλαξιών (S0) μπορούμε να κατασκευάσουμε μια ακολουθία γεγονότων, που μπορεί να οδηγήσει στην παύση της αστρογέννησης και συνεπώς την μετάβαση σε φακοειδή, από τον προ γεννήτορα σπειροειδή γαλαξία. Στην προσπάθεια διαχωρισμού του αστρικού πληθυσμού της κοιλιάς από αυτόν του δίσκου, αναλύσαμε τα φάσματα μακράς σχισμής των S0 γαλαξιών του σμήνους της Παρθένου σε μέρη κοιλιών και δίσκων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ένα σενάριο όπου η αστρογέννηση στους δίσκους των σπειροειδών αποσβέστηκε, και ακολουθεί ένα τελευταίο επεισόδιο αστρογέννησης στις κεντρικές περιοχές (κοιλίες), από το αέριο που εισέρρευσε σε αυτές από τους δίσκους.

Οι φακοειδείς γαλαξίες θεωρούνται πολλές φορές ως το τελικό στάδιο της γαλαξιακής εξέλιξης των σπειροειδών. Αυτό γιατί έχουν την ίδια μορφολογία δίσκου με τους σπειροειδείς, αλλά περιέχουν παλαιότερο αστρικό πληθυσμό (κόκκινη ακολουθία). Για να μεταβεί ένας σπειροειδής σε φακοειδή πρέπει να περικοπεί η αστρογέννηση στον δίσκο, και να αυξηθεί η λαμπρότητα της κοιλιάς. Έτσι, για να κατανοήσουμε πως εμφανίζονται αυτά τα δυο φαινόμενα χρειάζεται η μελέτη των ανεξάρτητων ιστορικών αστρογέννησης της κοιλιάς και του δίσκου.

Διαχωρίζοντας τα ιστορικά αστρογέννησης του δίσκου και της κοιλιάς.

Χρησιμοποιήσαμε ένα δείγμα 12 cD γαλαξιών του σμήνους της Παρθένου, με λαμπρότητες μπάντας B μεγέθους 17.3-22.3 mag, και κλίσεις μέχρι 40 μοίρες, ώστε να περιορίσουμε την <μόλυνση> από κακή κατηγοριοποίηση ελλειπτικών γαλαξιών. Πήραμε ένα φάσμα μακράς σχισμής (long-slit) από τον κύριο άξονα κάθε γαλαξία. Αυτά τα αναλύσαμε με την χρήση της τεχνικής φασματοσκοπικού διαχωρισμού κοιλιάς- δίσκου. Σε αυτήν το προφίλ φωτός ενός γαλαξία σε κάθε μήκος κύματος χωρίζεται σε κοιλιακό και δίσκου με την χρήση ανάλογων μοντέλων. Βρίσκοντας την καλύτερη εφαρμογή και αποκτώντας τις παραμέτρους αναδόμησης για κάθε μήκος κύματος, το συνολικό φως από κάθε μέρος (κοιλιά ή δίσκο) υπολογίζεται με ολοκλήρωση (integration), και συναρτηθεί του μήκος κύματος δημιουργείται ένα φάσμα δύο διαστάσεων, που αντιπροσωπεύει ξεκάθαρα το φως της κοιλιάς και του δίσκου.

Οι ηλικίες, οι μεταλλικότητες και οι αναλογίες (Mgb)/(Fe) των κοιλιών και των δίσκων μετρήθηκαν με την βοήθεια των χαρακτηριστικών απορρόφησης στα φάσματα μετά από ανάλυσή τους. Οι κοιλίες περιέχουν συστηματικά νεαρότερους, με πιο πλούσια σε μέταλλα αστρικούς πληθυσμούς από τους δίσκους (στους S0), δείχνοντας ότι εμφανίζεται ένα τελευταίο γεγονός αστρογέννησης στην κοιλιά κατά την μετάβαση. Εναλλακτικά, μια σύγκριση της αναλογίας (Mgb)/(Fe) ανάμεσα σε κοιλίες και δίσκους μας δείχνει την σχέση των ιστορικών αστρογέννησής τους.

Συμπεράσματα.

Βρήκαμε ότι κατά την μετάβαση από σπειροειδή σε φακοειδή ο δίσκος έχει απογυμνωθεί από αέριο αρκετά ομαλά, ώστε να μην διακρίνονται σημαντικά γεγονότα αστρογέννησης σε αυτόν. Ταυτόχρονα ένα τελικό γεγονός αστρογέννησης εμφανίζεται στην περιοχή της κοιλιάς, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πιο νέων, πλουσίων σε μέταλλα αστεριών στην περιοχή. Το πιο πιθανό είναι ότι το αέριο για την αστρογέννηση προήλθε από εισροή από

τον δίσκο. Αυτό φαίνεται από την καθαρή σχέση του χημικού εμπλουτισμού της κοιλιάς και του δίσκου. Αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ένα σενάριο για την μετάβαση από σπειροειδή σε S0 στο οποίο ο δίσκος απογυμνώνεται ομαλά από το αέριο, ενώ το υπόλοιπο αέριο οδηγείται στο εσωτερικό του γαλαξία. Αυτό το αέριο θα πυροδοτήσει μια τελική αστρογέννηση στην κοιλιά, που θα το καταναλώσει όλο, και θα εκτινάξει την λαμπρότητα της κοιλιάς σε σχέση με αυτή του δίσκου. Τότε ο γαλαξίας θα <ξεθωριάσει> σε γαλαξία τύπου S0.

Το άφθονο μοριακό αέριο και η υποβάθμιση της αστρογέννησης σε <ουρές> με αέριο που προέρχεται από απογύμνωση γαλαξία, λόγω της πίεσης εμβολής μέσα στα γαλαξιακά σμήνη.

Για πρώτη φορά σε κάποιον απογυμνωμένο γαλαξία από την πίεση εμβολής (από σύγκρουση με εξωγαλαξιακή ύλη, όπως άλλος γαλαξίας), ανιχνεύσαμε μεγάλες ποσότητες ψυχρού μοριακού αερίου. Αυτό συνέβη στην λαμπρή στις ακτίνες X ουρά αστρογέννησης του ESO137-001, στο σμήνος Norma. Βρήκαμε αποδείξεις πολύ μικρής αστρογέννησης στο αέριο της ουράς, όμοια μικρή με αυτήν σε εξωτερικές περιοχές των δίσκων, όπου όμως δεν είναι ανιχνεύσιμο το μοριακό αέριο.

Η πίεση εμβολής της μεσογαλαξιακής ύλης (ram pressure off the inter-cluster medium, ICM) μπορεί να απογυμνώσει έναν γαλαξία μεταγενέστερου τύπου, που βρίσκεται σε ένα σμήνος, από το απόθεμά του σε ψυχρή μεσοαστρική ύλη αστρογέννησης. Η ύλη αυτή σχηματίζει μονοδιάστατες <κομητοειδείς> ουρές, που έχουν επιβεβαιωθεί σε πολλούς γαλαξίες στο (HI), στο διάχυτο (H α), με την ανίχνευση νεαρών αστέρων σε αυτές (H α ή UV), και στις ακτίνες X. Τώρα κατανοούμε ότι μια τέτοια ουρά, που την παρατηρούμε σε διαφορετικά μήκη κύματος, είναι εκδήλωση της μεσοαστρικής ύλης που απογυμνώθηκε από έναν γαλαξία, και ανακατεύεται με την γύρω μεσογαλαξιακή ύλη. Ένα μέρος αυτού του αερίου μπορεί να θερμανθεί σε θερμοκρασίες ανάμεσα σε αυτές του (HI) και της μεσογαλαξιακής ύλης, ενώ ένα άλλο (πυκνότερο) μέρος του αερίου μπορεί να ψυχθεί αποτελεσματικά και να σχηματίσει ψυχρά μοριακά νέφη, και επομένως αστέρια.

Αποτελέσματα.

Με το τηλεσκόπιο APEX ψάξαμε για ψυχρό μοριακό αέριο μέσω της εκπομπής του (CO 2-1), στον απογυμνωμένο από την πίεση εμβολής γαλαξία ESO137-001, που βρίσκεται στην κεντρική περιοχή του σμήνος Norma (A 3627). Αυτός ο γαλαξίας έχει μια μήκος 80 kpc λαμπρή ουρά διπλής δομής ακτίνων X, και μια ουρά (H α) 40 kpc που περιέχει πάνω από 30 περιοχές (HII). Η εκπομπή του (CO) διακρίνεται καθαρά σε όλες τις περιοχές, μέχρι και την πιο μακρινή ροή στην ουρά (στα 40 kpc), όπου και το (H α) και οι ακτίνες X παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο. Είναι η πρώτη φορά που ανιχνεύουμε ψυχρό μοριακό αέριο σε μεγάλες αποστάσεις, σε μια ουρά απογύμνωσης που δημιουργήθηκε λόγω της πίεσης εμβολής. Αυτή η παρατήρηση μας δίνει νέες πληροφορίες για την μοίρα της απογυμνωμένης μεσοαστρικής ύλης και της εξέλιξής της στον μεσογαλαξιακό χώρο του σμήνος.

Η συνολική μάζα του (H2) που ανιχνεύσαμε στην ουρά είναι 1 δις ηλιακές, με την παραδοχή μιας συμβατικής αναλογίας(CO)/(H2) (ανιχνεύουμε το (CO) και υπολογίζουμε ανάλογη

ποσότητα (H₂) που δεν ανιχνεύεται άμεσα). Αυτή η τιμή είναι παρόμοια με αυτήν του αερίου εκπομπής ακτίνων Χ. Οι ρυθμοί αστρογέννησης των περιοχών που μελετήσαμε, που βασίζονται στο (H α), τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα Schmidt- Kennicutt (πυκνότητας αερίου/ ρυθμού αστρογέννησης). Ενώ στο κυρίως σώμα του γαλαξία ο χρόνος εξάλειψης του μοριακού αερίου (αποτελεσματικότητας αστρογέννησης) συμφωνεί με τιμές των γειτονικών γαλαξιών, σε περιοχές της ουράς βλέπουμε ξεκάθαρα λιγότερο αποτελεσματική αστρογέννηση (ρυθμό κατανάλωσης του αερίου).

Συμπεράσματα.

Η μετρήσιμη μικρή αποτελεσματικότητα αστρογέννησης (κατανάλωση του αερίου σε 10 δις έτη) στην ουρά του ESO137-001 μας λέει ότι το περισσότερο από το αέριο, που προήλθε από απογύμνωση του γαλαξία, δεν σχηματίζει αστέρια αλλά τελικά ενώνεται με την μεσογαλαξιακή ύλη (διαφεύγει). Όμοια μικρή αποτελεσματικότητα αστρογέννησης έχουμε βρει σε εξωτερικούς δίσκους σπειροειδών γαλαξιών, όπου όμως το (HI) είναι το κυρίαρχο συστατικό της μεσοαστρικής ύλης, και το (CO) συνήθως δεν ανιχνεύεται (μικρή ποσότητα H₂). Αυτό μπορεί να έχει να κάνει με την μικρή πυκνότητα του αερίου της ουράς ή/και την πίεση εμβολής που εισάγει κρουστικά μέτωπα, που μπορεί να αυξήσουν την θερμοκρασία και την πίεση του αερίου. Το συμπέρασμα είναι ότι η λαμπρή στο (CO) ουρά που εξετάζουμε παρουσιάζει ένα ειδικό περιβάλλον αστρογέννησης.

Η ανακάλυψη άφθονου μοριακού αερίου στην λαμπρή στις ακτίνες Χ ουρά ESO137-001 μας δείχνει ότι σε μεγάλης μάζας, μεγάλης μεσογαλαξιακής πίεσης σμήνη, όπως το Norma, οι συνθήκες είναι κατάλληλες για το ανακάτεμα του αερίου που προέρχεται από την απογύμνωση του γαλαξία με το περιβάλλον μεσογαλαξιακό αέριο, ώστε να προκληθούν τα παρατηρήσιμα επίπεδα ανεξάρτητων μερών αερίου.