

## Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας



### Γενικά στοιχεία.

Η απόσταση του γαλαξία της Ανδρομέδας από εμάς ανέρχεται σε 2,38 ως 2,66 εκατομμύρια έτη φωτός. Επειδή το ηλιακό σύστημα απέχει 30.000 έτη φωτός από το κέντρο του δικού μας Γαλαξία, η πραγματική απόσταση του Γαλαξία μας από τον M31 (από το κέντρο του ως το κέντρο του M31) είναι ελαφρά διαφορετική, υπολογιζόμενη με βάση τους παραπάνω αριθμούς μεταξύ 2,4 και 2,68 εκατομμυρίων ετών φωτός. Το 2003 μία νέα μέτρηση με βάση τους Κηφείδες έδειξε μία απόσταση  $2,51 \pm 0,13$  εκατομμύρια έτη φωτός.

Το μέγεθος του γαλαξία της Ανδρομέδας είναι εντυπωσιακό. Η διάμετρός του φθάνει τα 140.000 έτη φωτός, ενώ οι αμυδρότερες περιφέρειές του που έχουν ανιχνευθεί του προσδίδουν μια διάμετρο έως 180.000 έτη φωτός. Οι διαστάσεις αυτές είναι λίγο μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του Γαλαξία μας. Μεγαλύτερη είναι επίσης η απόλυτη λαμπρότητα του M31: περίπου 2,7 φορές εκείνη του Γαλαξία. Επειδή όμως ο δίσκος του M31 φαίνεται από τη Γη πλάγια, με την οπτική μας ευθεία να σχηματίζει γωνία 77,5 μοιρών με τον άξονα του M31, μας φωτίζει με το φως «μόλις» 26 δισεκατομμυρίων αστέρων μέσου μεγέθους (όπως ο Ήλιος), παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των αστέρων που περιέχει εκτιμάται σε ένα τρισεκατομμύριο έναντι 400 δισεκατομμυρίων άστρων του δικού μας Γαλαξία. Ο M31 έχει ορατή μάζα περίπου 185 δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες και ολική μάζα (βαρυονική και σκοτεινή ύλη) 1,23 τρισεκατομμύρια ηλιακές μάζες.

Ο M31, ο Γαλαξίας μας, τα νέφη του Μαγγελάνου και ο M32 ανήκουν στη λεγόμενη τοπική ομάδα γαλαξιών. Τα συστήματα αυτά συγκροτούνται μαζί καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται. Στην πραγματικότητα ο M31 προσεγγίζει το Γαλαξία μας με ταχύτητα σχεδόν 120 χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο

Οι παρατηρήσεις της τελευταίας εικοσαετίας απέδειξαν ότι ο M31 και ο Γαλαξίας μας είναι στην πραγματικότητα ραβδωτοί σπειροειδείς γαλαξίες, απλώς οι ράβδοι τους δεν είναι εύκολα παρατηρήσιμοι. Έτσι ο M31 κατατάσσεται ως τύπου SABb στο σύστημα του Χαμπλ. Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας περιέχει, όπως όλοι οι σπειροειδείς γαλαξίες, ανοικτά αστρικά σμήνη και νέφη αερίου και σκόνης, που εντοπίζονται κυρίως μέσα στο δίσκο, καθώς και σφαιρωτά αστρικά σμήνη που σχηματίζουν μια άλω έξω από το γαλαξιακό του επίπεδο.

Στον M31 έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα 403 ανοικτά σμήνη. Τα περισσότερα ανοικτά σμήνη του M31 έχουν διαμέτρους που πλησιάζουν τα 60 έτη φωτός, περίπου τριπλάσιες από εκείνη των Πλειάδων αλλά τυπικές της πλειοψηφίας των ανοικτών σμηνών του Γαλαξία μας. Οι ηλικίες των άστρων τους ποικίλλουν, αλλά είναι τυπικές του πληθυσμού I, με μερικά σμήνη να εμφανίζουν ηλικία κάτω των 100 εκατομμυρίων ετών. Η εξέταση των ανοικτών σμηνών μπορεί να χρησιμεύσει στη μελέτη της πρόσφατης ιστορίας της δημιουργίας νέων αστέρων στον Γαλαξία. Αν δεχθούμε ότι τα άστρα ενός σμήνους έχουν την ίδια περίπου ηλικία, που μπορεί να βρεθεί με την ανάπτυξη της στατιστικής των φασματικών τύπων, τότε ο ρυθμός της αστρικής δημιουργίας (SFR, star formation rate) είναι δυνατό να διακριβωθεί χωρικά και χρονικά. Ο ρυθμός αυτός παρουσίαζε κατά το παρελθόν μια ποικιλία στα διάφορα μέρη του δίσκου του M31. Στην πρόσφατη εποχή υπήρξε υπερβολικά μεγάλος σε απόσταση περίπου 30 χιλιάδων ετών φωτός από το κέντρο του γαλαξία.

Ως προς τα σφαιρωτά σμήνη ο Γαλαξίας μας περιλαμβάνει στην άλω του περίπου διακόσια σφαιρωτά σμήνη, ενώ στον M31 ανήκουν περί τα 400 ως 460. Τα σφαιρωτά σμήνη προσφέρονται για εκτιμήσεις της μάζας του M31 επειδή βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από το κέντρο του, οπότε είναι δυνατό να μετρηθεί η βαρυτική αλληλεπίδρασή τους με το σύνολο της μάζας του γαλαξία. Πάντως οι ταχύτητες και οι τροχιές τους δεν έχουν ακόμα προσδιορισθεί, και επομένως το ζήτημα της μάζας του M31 παραμένει ανοικτό. Η χωρική κατανομή των σφαιρωτών σμηνών στον M31 είναι παρόμοια με αυτή του Γαλαξία μας: Αν  $r$  είναι η απόσταση από το κέντρο του γαλαξία της Ανδρομέδας, τότε ο αριθμός των σμηνών παρουσιάζει ένα μέγιστο σε  $r = 23.000$  έτη φωτός με αμελητέα παρουσία σε μικρότερα  $r$ , κατόπιν μειώνεται ως  $1/r^2$  και τέλος μειώνεται ταχύτατα μετά τις 82.000 έτη φωτός, με τα μακρινότερα σφαιρωτά σμήνη σε  $r = 140.000$  έτη φωτός. Η κατανομή φωτεινότητας των σφαιρωτών σμηνών είναι επίσης σχεδόν η ίδια, αν και με μικρότερη διασπορά. Με την εξαίρεση λοιπόν του γεγονότος ότι ο M31 έχει σχεδόν τα διπλά σφαιρωτά σμήνη, το μέγεθός τους φαίνεται περίπου το ίδιο και στους δύο γαλαξίες. Το λαμπρότερο σφαιρωτό σμήνος του γαλαξία της Ανδρομέδας είναι το Mayall 2 και είναι επίσης το μεγαλύτερο στην τοπική ομάδα γαλαξιών.

Τα πράγματα αλλάζουν ως προς το φάσμα και τα χρώματα των φωτεινότερων σφαιρωτών σμηνών του M31. Τα πρώτα στάδια της ιστορίας του γαλαξία της Ανδρομέδας θα πρέπει να διέφεραν κατά ανιγματικό τρόπο από τα αντίστοιχα στάδια της ιστορίας του δικού μας Γαλαξία, καθώς αστρονόμοι, χρησιμοποιώντας μοντέλα υπολογιστών έδειξαν ότι ο M31 είναι προϊόν συγχώνευσης δύο μικρότερων γαλαξιών.

Όλα τα σφαιρωτά σμήνη του Γαλαξία μας, ιδίως τα μακρινότερα, έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε βαρύτερα στοιχεία από το ήλιον (η «μεταλλικότητά» τους είναι μικρή), πράγμα αναμενόμενο για άστρα του πληθυσμού II. Αντίθετα, τα σφαιρωτά σμήνη του M31 εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία στις μεταλλικότητές τους. Ναι μεν υπάρχουν αρκετά σμήνη μικρής μεταλλικότητας, όμως στοιχεία από τη φωτομετρία και την ένταση των μεταλλικών γραμμών στα φάσματα δείχνουν και πολλά σμήνη με μέση ή και υψηλή μεταλλικότητα. Εννέα τέτοια σμήνη μελετήθηκαν στην περιοχή του κυανού-ιώδους φωτός. Βρέθηκε ότι το 80% αυτού του φωτός προέρχεται από νάνους, ενώ το φως αυτού του μήκους κύματος που εκπέμπουν τα πλουσιότερα σε μέταλλα σφαιρωτά σμήνη του δικού μας Γαλαξία προέρχεται κατά το ήμισυ από νάνους (όπως ο Ήλιος μας) και κατά το ήμισυ από γίγαντες αστέρες. Εξάλλου, οι φασματικές γραμμές της ρίζας κυάνιο (CN) είναι τόσο ισχυρές στα 9 σμήνη του M31, ώστε θα πρέπει αυτά να περιέχουν μεγάλους αριθμούς τόσο γιγάντων όσο και νάνων με περίπου κατά μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (CN) από ότι ο Ήλιος μας. Η κυριαρχία των θερμών νάνων - οι οποίοι έχουν κυανόλευκη απόχρωση - εξηγείται αν υποθέσουμε ότι τα μέσης και υψηλής μεταλλικότητας σμήνη του M31 είναι κατά πολύ νεότερα των υψηλότερης μεταλλικότητας σμηνών (σφαιρωτών πάντα) του δικού μας Γαλαξία, όπως το M71. Η παραδοχή αυτή όμως δεν εξηγεί την περίσσεια του(CN).

Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα υψηλής μεταλλικότητας σφαιρωτά σμήνη του M31, και συγκεκριμένα όσα έχουν μεταλλικότητα άνω του 0,25 της ηλιακής, συναποτελούν ένα ταχέως περιστρεφόμενο δισκοειδές υποσύστημα με ταχύτητες μέχρι και 200 χιλιομέτρων/δευτερόλεπτο. Η ύπαρξη κινηματικών διαφορών με τα καθαυτό σμήνη της άλω είναι ίσως το μόνο που μπορεί να εξηγήσει την ύπαρξη σφαιρωτών σμηνών υψηλής μεταλλικότητας ακόμα και σε θέσεις πολύ μακριά από το δίσκο του M31. Πράγματι, στη στατιστική των αστρικών πληθυσμών, διαφορετικές κινηματικές ιδιότητες υποδηλώνουν και διαφορετική ιστορία και προέλευση.

Στον γαλαξία της Ανδρομέδας ανακαλύφθηκε ένας νέος τύπος αστρικών σμηνών. Αυτά τα σμήνη περιέχουν εκατοντάδες χιλιάδες άστρα, ένας αριθμός συγκρίσιμος με αυτόν των σφαιρωτών σμηνών. Η διαφορά τους είναι ότι αυτά τα σμήνη είναι πολύ μεγαλύτερα και πυκνά από τα σφαιρωτά σμήνη.

### Τα νέφη υδρογόνου του M31.

Η μεγαλύτερη σπουδαιότητα των νεφών υδρογόνου είναι το ότι αποτελούν τις περιοχές σχηματισμού νέων άστρων. Το γεγονός συνειδητοποιήθηκε από τον Baade κατά την παρατήρηση του δίσκου του M31, και συνέτεινε στη σύλληψη της έννοιας του νεανικού πληθυσμού I. Φωτογραφίζοντας με φίλτρα, ο Baade κατόρθωσε να εντοπίσει και να χαρτογραφήσει 688 νέφη αερίου στον M31. Τα νέφη ήταν συγκεντρωμένα στους σπειροειδείς βραχίονες, με πιο έκδηλη την παρουσία τους σε απόσταση 30.000 έως 40.000 ετών φωτός από το κέντρο του γαλαξία. Με την μελέτη της εκπομπής ραδιοκυμάτων σε μήκος κύματος 21 cm έγινε δυνατή η ανίχνευση των αραιότερων και ψυχρότερων νεφών υδρογόνου, στα οποία το αέριο δεν είναι ιονισμένο. Αποκαλύφθηκε

ότι η κατανομή του ουδέτερου υδρογόνου ήταν δακτυλιοειδής, με τη μέγιστη πυκνότητα σε απόσταση περίπου 40.000 ετών φωτός από το κέντρο. Συνέπιπτε έτσι τόσο με τα φωτεινότερα μέρη των σπειρών, όσο και με την υψηλότερη συγκέντρωση των θερμών νεφών του Baade. Ωστόσο τα ψυχρά νέφη συνεχίζουν σε αποστάσεις μέχρι και 110.000 ετών φωτός, ενώ η κατανομή των θερμών νεφών σβήνει μετά τις 55.000 έτη φωτός. Για πολλούς λόγους, η διάταξη αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη στους μεγάλους σπειροειδείς γαλαξίες. Η μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο του M31 στην οποία έχει ανιχνευθεί ουδέτερο υδρογόνο είναι 120.000 έτη φωτός, στο νοτιοδυτικό άκρο. (Ο M31 απλώνεται στον ουρανό με το μεγάλο του άξονα κατά τη βορειοανατολική-νοτιοδυτική διεύθυνση.) Μια πρόσφατη, λεπτομερέστερη μελέτη του ουδέτερου υδρογόνου στον M31 βρήκε μια αντιστοιχία των θέσεων του υδρογόνου και των θέσεων της ορατής σκόνης, αλλά μόνο στο μισό γαλαξία: στο βορειοανατολικό τμήμα.

Η κίνηση των νεφών υδρογόνου αποκλίνει από μια αυστηρά κυκλική τροχιά. Τα άστρα του πληθυσμού II, στον πυρήνα και τα σφαιρωτά σμήνη, έχουν εξαιτίας της παλαιότητας τους κάθετες ή πολύ ελλειπτικές τροχιές και γενικά ανώμαλες κινήσεις. Αντίθετα, τα νέφη αερίου, η σκόνη και οι αστέρες στον δίσκο, που ανήκουν στον πληθυσμό I, πιστεύεται ότι έχουν σχεδόν κυκλικές τροχιές. Τα νέα λοιπόν δεδομένα διαφωνούν με την επικρατούσα άποψη: Από τους τρεις βραχίονες της βορειοανατολικής πλευράς που διακρίνονται στο υδρογόνο, τμήματα του πιο εσωτερικού βραχίονα φαίνονται να καταρρέουν προς το κέντρο με ταχύτητα άνω των 100 χιλιομέτρων/δευτερόλεπτο, που προστίθεται στην περιφορά τους γύρω από το κέντρο. Η αιτία είναι άγνωστη. Προκαλείται η κατάρρευση αυτή από τη βαρυτική έλξη των μικρών συνοδών γαλαξιών του M31, όπως ο M32, ή μήπως κάποιο εκρηκτικό γεγονός απίστευτης σφοδρότητας είχε διαταράξει κατά το παρελθόν το τμήμα αυτό του γαλαξία; Επιπλέον, οι τροχιακές ταχύτητες παρέχουν στοιχεία για την κατανομή της μάζας στο γαλαξία. Συγκεκριμένα, οι ταχύτητες του υδρογόνου στα εξώτερα τμήματα του M31 υπαινίσσονται την ύπαρξη ενός τεράστιου περιβλήματος από σκοτεινή ύλη. Ύστερα από πρόσφατη έρευνα και τον προσδιορισμό της ταχύτητας των άστρων της άλω του M31, ανακοινώθηκε ότι ένας μεγάλος αριθμός από αυτά τα αστέρια ανήκουν στην πραγματικότητα στον δίσκο του Γαλαξία της Ανδρομέδας. Αυτό σημαίνει ότι ο δίσκος του γαλαξία μπορεί να έχει έως και τρεις φορές μεγαλύτερη διάμετρο (220 χιλιάδες έτη φωτός) από ό, τι είχε προηγουμένως εκτιμηθεί (από 70 έως 120.000 έτη φωτός).

### Ο αστρικός θάνατος στον M31

Ανακαλύψαμε 315 πλανητικά νεφελώματα στον M31. Το πλήθος τους όμως υπολογίζεται ότι φθάνει στην πραγματικότητα τα 5.800, ενώ στο δικό μας Γαλαξία ο αριθμός των όσων έχουν ανακαλυφθεί είναι επίσης περίπου 300. Επειδή τα πλανητικά νεφελώματα σημαδεύουν αστρικούς θανάτους (μεσαίας και μικρής μάζας αστεριών), είναι δυνατό να χαρτογραφήσουμε με τη βοήθειά τους τα μέρη εκείνα του γαλαξία όπου η φθορά του αστρικού πληθυσμού είναι εντονότερη. Στον πυρήνα του M31 πρέπει να δημιουργούνται κατά μέσο όρο 5 πλανητικά νεφελώματα ανά αιώνα. Οι μεγάλες ποσότητες αερίου που

απελευθερώθηκαν έτσι (επειδή κάθε πλανητικό νεφέλωμα διαστέλλεται και αραιώνει συνεχώς, και τελικά τα αέρια του διαχέονται στο γαλαξία) σχημάτισαν με την πάροδο δισεκατομμυρίων ετών έναν (εμπλουτισμένο) δίσκο αερίου που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα. Ο κεντρικός αυτός δίσκος έχει ήδη ανιχνευθεί, και μάλιστα η μάζα του εμφανίζεται σχεδόν ίση με τη θεωρητικά αναμενόμενη.

Η άμεση παρατήρηση των λευκών νάνων του M31 είναι αδύνατη εξαιτίας της μικρής τους λαμπρότητας. Τα υπολείμματα όμως αυτά των θανάτων των άστρων μικρής μάζας μπορούν να εκδηλώσουν την παρουσία τους έμμεσα. Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι αστρικές εκρήξεις τύπου νόβα παράγονται από διπλά συστήματα άστρων που περιλαμβάνουν ένα λευκό νάνο. Μέχρι σήμερα περισσότεροι από 200 καινοφανείς έχουν παρατηρηθεί στον M31. Επίσης, αυτή η διαδικασία παράγει ακτίνες X, οι οποίες έχουν ανιχνευθεί από διαστημικά τηλεσκόπια ακτίνων X. Με παρόμοιο τρόπο ανιχνεύεται η παρουσία μαύρων τρυπών.

Τα άστρα μεγάλης μάζας έχουν συχνά βίαιο θάνατο, μερικές φορές με τη μορφή μιας σουπερνόβα. Επειδή τέτοια άστρα είναι λίγα, ένα τόσο βίαιο συμβάν λαμβάνει χώρα σε ένα σπειροειδή γαλαξία περίπου κάθε 30 ως 100 χρόνια. Στον M31 μόνο 1 έκρηξη υπερκαινοφανούς έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα, συγκεκριμένα στα μέσα Αυγούστου 1885, πολύ κοντά στον γαλαξιακό πυρήνα - μόλις 16'' νοτιοανατολικά του - και είναι γνωστή ως S Ανδρομέδας. Κατά τις πρώτες νύκτες ήταν σχεδόν ορατή με γυμνό μάτι, συναγωνιζόμενη σε λαμπρότητα όλο το γαλαξία, κάτι όχι ασυνήθιστο για ένα υπερκαινοφανή: έλαμπε με την ισχύ 1,6 δισεκατομμυρίου Ήλιων! Στη συνέχεια ωστόσο το φως του εξασθένησε αρκετά γρήγορα.

### Ο πυρήνας του M31.

Όπως και ο πυρήνας του δικού μας Γαλαξία, έτσι και εκείνος του M31 αποτελεί ένα πεπλατυσμένο σφαιροειδές με ακτίνα περίπου 10.000 ετών φωτός, που περιστρέφεται ισοτροπικά αλλά όχι και ομογενειακά. Δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής είναι ίδια σε όλες τις διευθύνσεις, αλλά έχουμε μια ποικιλία διαφορετικών ταχυτήτων, τόσο γραμμικών όσο και γωνιακών, σε διαφορετικές αποστάσεις από το κέντρο. Ενώ ο πυρήνας του Γαλαξία μας κρύβεται από τη Γη από μια πυκνή νεφελώδη συσσώρευση ύλης, ο πυρήνας του M31 φαίνεται πολύ καλύτερα. Για το λόγο αυτό, θεωρείται ο καλύτερος υποψήφιος για να επιβεβαιώσει τη σύγχρονη πολυσυζητημένη υπόθεση σχετικά με την ύπαρξη μιας γιγαντιαίας μαύρης τρύπας στο κέντρο πολλών γαλαξιών, συμπεριλαμβανομένου και του δικού της.



Η εικόνα του ΔΤΧ του πυρήνα του Γαλαξία της Ανδρομέδας. Η διπλή δομή είναι εμφανής.

Ο M31 κρύβει ένα πολύ συμπαγές, καλώς διαχωρισμένο κέντρο, με ελλειψοειδές σχήμα και διαστάσεις 11 X 17 ετών φωτός. Το φαινόμενο μέγεθός του (το φως που στέλνει μέχρι τη Γη) υποδηλώνει απόλυτη λαμπρότητα 5,5 εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη της ηλιακής, ενώ η μάζα του εκτιμάται σε 100 εκατομμύρια ηλιακές μάζες. Οι παρατηρήσεις στο υπεριώδες και το υπέρυθρο επιβεβαιώνουν την παρουσία του. Η πυκνότητα των άστρων στον περιορισμένο αυτό χώρο φθάνει τα 50 ή 60 άστρα ανά κυβικό έτος φωτός (στην περιοχή του Ηλίου μας είναι 0,4 ηλιακές μάζες ανά κυβικό πάσσαρ). Οι κινήσεις εκεί είναι ταχύτατες: η γραμμική ταχύτητα περιστροφής σε απόσταση 11 ετών φωτός από τον άξονα είναι μεγαλύτερη των 100 χιλιομέτρων/ δευτερόλεπτο, ενώ πέρα από τα 11 έτη φωτός η διασπορά των ταχυτήτων είναι μεγάλη και υπερβαίνει τα 240 χιλιόμετρα/ δευτερόλεπτο. Η καλύτερη ερμηνεία των μετρήσεων αυτών παρέχεται από την υπόθεση της μαύρης τρύπας. Η συγκεκριμένη τρύπα έχει ίσως μάζα 70 ως 100 εκατομμύρια ηλιακές μάζες, οπότε ο ορίζοντας γεγονότων της (η «διάμετρος» της) θα έχει την ίδια τάξη μεγέθους με την τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Ο πυρήνας αποτελείται από δύο συγκεντρώσεις που βρίσκονται 1,5 πάρσεκ μακριά το ένα από το άλλο. Η λαμπρότερη συγκέντρωση βρίσκεται εκτός κέντρου, ενώ η πιο αχνή βρίσκεται στο πραγματικό κέντρο του γαλαξία και περιέχει μία μαύρη τρύπα με μάζα 30-50 εκ. ηλιακές μάζες.

#### Τοπική ομάδα γαλαξιών.

Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας βρίσκεται στην τοπική μας ομάδα και είναι ο ένας από τους δύο μεγαλύτερους γαλαξίες του σμήνους, μαζί με τον Γαλαξία μας, και έχει την δικιά του υποομάδα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 14 γαλαξίες-δορυφόρους, εκ των οποίων οι πιο γνωστοί είναι οι M32 και M110, οι οποίοι φαίνεται ότι αλληλοεπίδρασαν πρόσφατα μαζί του βαρυτικά.

Σε αυτήν την υποομάδα ανήκει και ο τρίτος σπειροειδής γαλαξίας της τοπικής ομάδας, ο γαλαξίας του Τριγώνου. Στοιχεία δείχνουν ότι οι δύο αυτοί σπειροειδείς γαλαξίες αλληλοεπίδρασαν στο παρελθόν. Το 2012 ανακοινώθηκε ότι ο γαλαξίας της Ανδρομέδας και του Τριγώνου συνδέονται μεταξύ τους με μια γέφυρα υδρογόνου μήκους 782.000 ετών φωτός. Η ανακάλυψη ήταν προϊόν έρευνας των δομών της τοπικής γαλαξιακής

ομάδας, που έδειξε ότι υπάρχουν άγνωστες δομές μεταξύ των γαλαξιών, πιθανών γεφυρών υδρογόνου.

Δορυφόροι του γαλαξία της Ανδρομέδας				
Όνομα	Τύπος γαλαξία	Απόσταση (σε εκατ. έτη φωτός)	μέγεθος	Έτος ανακάλυψης
<a href="#">M32</a>	dE2	2,48	+9,2	1749
<a href="#">M110</a>	dE6	2,69	+9,4	1773
<a href="#">NGC 185</a>	dE5	2,01	+11	1787
<a href="#">NGC 147</a>	dE5	2,2	+12	1829
Ο <a href="#">Ανδρομέδα I</a>	dE3	2,43	+13,2	1970
<a href="#">Ανδρομέδα II</a>	dE0	2,13	+13	1970
<a href="#">Ανδρομέδα III</a>	dE2	2,44	+10,3	1970
<a href="#">Ανδρομέδα IV</a>	dIm?			1972
<a href="#">Ανδρομέδα V</a>	dSph	2,52	+15,4	1998
<a href="#">Ανδρομέδα VI</a>	dSph	2,55	+14,5	1998
<a href="#">Ανδρομέδα VII</a>	dSph	2,49		1998
<a href="#">Ανδρομέδα VIII</a>	dSph	2,7	+9,1	2003
<a href="#">Ανδρομέδα IX</a>	dSph	2,5	+16,2	2004
<a href="#">Ανδρομέδα X</a>	dSph	2,9	+16,2	2005

Οι μετρήσεις μας δείχνουν ότι ο γαλαξίας της Ανδρομέδας πλησιάζει τον δικό μας με ταχύτητα 300 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο και μπορεί να συγκρουστεί μαζί του σε 3 ως 5 δις χρόνια. Όταν συγκρουστούν ο Ήλιος αλλά και οι άλλοι αστέρες δεν θα συγκρουστούν με αστέρες της Ανδρομέδας, αλλά οι δύο γαλαξίες θα σχηματίσουν έναν ενιαίο τεράστιο ελλειπτικό γαλαξία. Πρώτα θα υπάρξει μια έξαρση αστρογέννησης, μιας και θα ενωθούν τα τεράστια μοριακά νέφη. Τα νέφη αυτά θα συμπυκνωθούν με αποτέλεσμα να καταρρεύσουν μεγάλες περιοχές τους σε αστέρια. Μετά θα ακολουθήσει η σύντομη φάση AGN (ενεργού γαλαξιακού πυρήνα) με την ανάπτυξη υπερμεγέθους κεντρικής μαύρης τρύπας και πιδάκων (Κβάζαρ). Στον ελλειπτικό γαλαξία θα κυριαρχεί η κοιλιά και ο δίσκος, αλλά και η αστρογέννηση θα υποβαθμιστούν σημαντικά.

Η διαδικασία της ένωσης των 2 γαλαξιών εκτιμάται ότι θα διαρκέσει 2- 3 δις χρόνια.

## Αστρικές μαύρες τρύπες στον γαλαξία της Ανδρομέδας.

Οι παρατηρήσεις με το τηλεσκόπιο Chandra ανακάλυψαν 26 νέες υποψήφιες αστρικές μαύρες τρύπες στον γαλαξία της Ανδρομέδας.

Οι 7 από αυτές βρίσκονται σε περιοχή μόλις 1000 έτη φωτός από το κέντρο του γαλαξία, περισσότερες από την ανάλογη συγκέντρωση στο δικό μας γαλαξιακό κέντρο. Αυτό είναι φυσικό, αφού η κοιλιά του γαλαξία της Ανδρομέδας είναι μεγαλύτερη από αυτήν του Γαλαξία μας. Οι 8 από τις 9 υποψήφιες μαύρες τρύπες σχετίζονται με σφαιρωτά σμήνη. Ερευνήσαμε τους νόμους αστρογέννησης στον γαλαξία της Ανδρομέδας σε τοπικό (30,155 και 750 pc) και καθολικό επίπεδο. Μελετήσαμε και συγκρίναμε τον καλά γνωστό νόμο Kennicutt-Schmidt (σχέση ανάμεσα στην πυκνότητα του αερίου και τον ρυθμό σχηματισμού αστεριών), και την σχέση μεταλλικότητας/ αστρογέννησης. Οι σχέσεις αυτές μεταβάλλονται ανάλογα την απόσταση από το κέντρο του γαλαξία. Εκτιμήσαμε την ολική αστρογέννηση του M31 ανάμεσα σε 0,35 με 0,4 ηλιακές μάζες το έτος (αντίστοιχα 1 ηλιακή μάζα για τον Γαλαξία μας και 1000 για τους γαλαξίες έντονης αστρογέννησης). Η αστρική μάζα του γαλαξία της Ανδρομέδας εκτιμάται στις 700 δις ηλιακές.

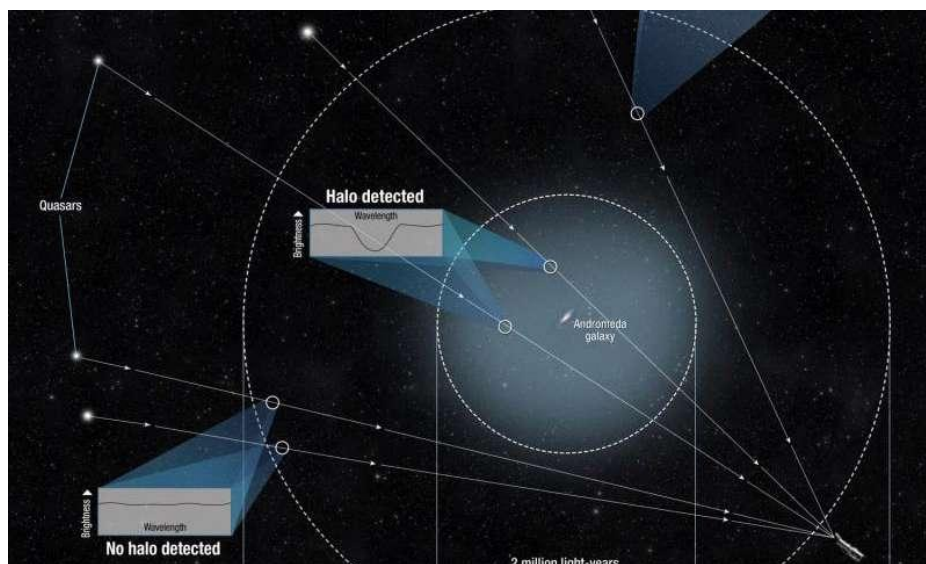
Το ψυχρό αέριο στον M31 είναι συγκεντρωμένο σε πολύ αραχνούφαντες δομές στους βραχίονες. Η γραμμή του (CO) μας δείχνει το σχήμα των βραχιόνων. Οι βραχίονες που διακρίνονται είναι σε απόσταση ανάμεσα σε 25000 και 40000 έτη φωτός από το γαλαξιακό κέντρο, όπου εμφανίζεται η περισσότερη αστρογέννηση. Στις κεντρικές περιοχές (κοιλιά με παλαιά αστέρια) οι βραχίονες με (CO) είναι πολύ πιο αχνοί. Ως αποτέλεσμα της μεγάλης κλίσης του M31 σχετικά με την γραμμή θέασής μας (78 μοίρες) οι βραχίονες φαίνονται να σχηματίζουν ένα μεγάλο ελλειπτικό δακτύλιο. Στους χάρτες των ταχυτήτων του αερίου του M31 βλέπουμε στην νότια πλευρά το (CO) να κινείται με ταχύτητα 500 km/s προς εμάς (μετατόπιση στο μπλε), ενώ στην βόρεια πλευρά να απομακρύνεται με μόλις 100 km/s. Επειδή ο γαλαξίας της Ανδρομέδας κινείται με 300 km/s προς εμάς, θα συγκρουστεί με τον Γαλαξία μας σε 2 δις έτη. Ο M31 περιστρέφεται με 200 km/s γύρω από τον κεντρικό του άξονα. Μιας και οι εσωτερικές του περιοχές διανύουν συντομότερη απόσταση σε κάθε περιφορά, μπορούν να προσπερνούν τις εξωτερικές δίνοντας το σπειροειδές σχήμα στον γαλαξία.

Η πυκνότητα του ψυχρού μοριακού αερίου στους βραχίονες των σπειρών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή ανάμεσα στους βραχίονες, όπου το ατομικό αέριο είναι περισσότερο ομαλά κατανομημένο. Αυτό μας δείχνει ότι το μοριακό αέριο (υδρογόνο) προέρχεται από το ατομικό αέριο στους βραχίονες, ειδικά στον στενό δακτύλιο αστρογέννησης που αναφέραμε. Η προέλευση αυτού του δακτυλίου παραμένει αδιευκρίνιστη. Μπορεί το αέριό του να είναι ύλη που δεν έχει ακόμη καταναλωθεί για σχηματισμό αστεριών. Η ότι το μεγάλης κανονικότητας μαγνητικό πεδίο του M31, που από ραδιοτηλεσκόπια φαίνεται να ακολουθεί την δομή του των βραχιόνων (CO), να ευνοεί την αστρογέννηση πρώτα στους βραχίονες.



Ο αντίστοιχος δακτύλιος αστρογέννησης στον Γαλαξία μας εκτείνεται από τα 10000 ως τα 20000 έτη φωτός από το κέντρο του και είναι μικρότερος από αυτόν του M31. Περιέχει όμως 10 φορές περισσότερο μοριακό αέριο. Όπως όλοι οι σπειροειδείς γαλαξίες της ηλικίας του δικού μας, <έκανε οικονομία>στο υλικό αστρογέννησης (αλλιώς θα ήταν πιο <κόκκινος> με εξαντλημένη αστρογέννηση). Αντίθετα, ο γαλαξίας της Ανδρομέδας περιέχει πολλά γηραιά αστέρια κοντά στο κέντρο του, που μας δείχνουν ότι ο ρυθμός αστρογέννησης ήταν πολύ μεγαλύτερος από ό,τι βλέπουμε τώρα (η εικόνα του που βλέπουμε είναι αυτή πριν από 2 εκ. έτη). Το περισσότερο από το αερίο του έχει ήδη καταναλωθεί στον σχηματισμό άστρων. Έτσι προηγείται της αστρικής εξέλιξης κατά δις έτη του Γαλαξία μας. Αυτό μπορεί να έχει να κάνει με τις διάφορες συγκρούσεις- συγχωνεύσεις άλλων γαλαξιών μαζί του.

## Η μεγάλη άλως του γαλαξία της Ανδρομέδας.



Το αέριο στην άλω είναι σκοτεινό. Έτσι χρειάστηκαν μακρινά Κβάζαρ για την ανακάλυψή του. Μέτρησαν την μεταβολή του φωτός που εκπέμπουν, λόγω της διάθλασης από την άλω, κάνοντάς τους να εμφανίζονται αμυδρότεροι σε ορισμένο μήκος κύματος στο υπεριώδες. Η άλως του αερίου που περιβάλλει τον γαλαξία της Ανδρομέδας είναι 6 φορές μεγαλύτερη και 1000 φορές περισσότερη σε μάζα από ό,τι έδειχναν οι μέχρι τώρα μετρήσεις (κάτι που επιβεβαιώνει την άποψη ότι η συγχώνευση των εξωτερικών περιοχών του M31 και του Γαλαξία μας έχει ήδη αρχίσει ή θα αρχίσει αρκετά σύντομα). Αυτή η σχεδόν άρατη σκοτεινή άλω εκτείνεται περισσότερο από 1 εκ. έτη φωτός από το κέντρο του γαλαξία της Ανδρομέδας, την μισή απόσταση ως τον δικό μας! Αυτή η ανακάλυψη θα μας αποκαλύψει περισσότερα για την εξέλιξη και δομή των σπειροειδών γαλαξιών. Οι άλως των γαλαξιών είναι οι αεριώδεις ατμόσφαιρές τους. Οι ιδιότητές τους καθορίζουν τον ρυθμό αστρογέννησης. Η άλως αυτή περιέχει την μισή από την μάζα που έχουν τα αστέρια του γαλαξία, σε μορφή καυτού ατομικού διάχυτου αερίου. Αν ήταν ορατή με το μάτι, θα κάλυπτε 100 φορές την διάμετρο της πανσελήνου στον ουρανό ( σε σχέση με τις 6 που κάλυπτε ο γαλαξίας της Ανδρομέδας τώρα). Άλλες μελέτες παρουσίασαν τις άλως από 44 γαλαξίες, αλλά καμία δεν έδειξε τόσο μεγάλη μάζα όπως αυτή της άλως του γαλαξία της Ανδρομέδας (να σημειώσουμε ότι η άλως

σκοτεινής ύλης του γαλαξία είναι μια άλλη, πολύ μεγαλύτερης μάζας άλω που εκτείνεται πολύ πέρα από αυτήν). Σε αυτό συνέβαλε το ότι η μέτρηση έγινε με 18 Κβάζαρ, έναντι συνήθως μόλις 1 για του άλλους πιο μακρινούς γαλαξίες.

Από πού προέρχεται αυτή η άλω; Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι σχηματίστηκε την ίδια εποχή με τον υπόλοιπο γαλαξία (επικρατεί η θεωρία του από μέσα προς τα έξω χτισίματος των γαλαξιών). Ακόμα ανακαλύψαμε ότι είναι εμπλουτισμένη σε βαρύτερα στοιχεία από το υδρογόνο και το ήλιο, κάτι που μπορεί να συμβεί μόνο μέσω εκρήξεων σουπερνόβα. Οι εκρήξεις αυτές σημειώθηκαν στις εξωτερικές περιοχές του δίσκου του γαλαξία της Ανδρομέδας και μέσω βίαιων αστρικών ανέμων εμπλούτισαν την άλω.

Για τον Γαλαξία μας, αυτό σημαίνει ότι μάλλον και αυτός περιέχει μια ανάλογη άλω, με αποτέλεσμα η συγχώνευση των δύο γαλαξιών σε έναν τεράστιο ελλειπτικό γαλαξία να βρίσκεται στην αρχή της διάρκειας 3 δις ετών διαδικασίας.

## Η συγχώνευση του γαλαξία της Ανδρομέδας με τον δικό μας.

Ο M31 ήταν ο πρώτος γαλαξίας που μετρήσαμε την ταχύτητα στην γραμμή θέασης, και γνωρίζουμε εδώ και έναν αιώνα ότι μας πλησιάζει. Για να γνωρίσουμε την μελλοντική τροχιά και την εξέλιξη του M31, άρα και της τοπικής ομάδας, πρέπει να ξέρουμε τις ίδιες κινήσεις του. Τα αποτελέσματα των ιδίων κινήσεων συμφωνούν με αυτά στην γραμμή θέασης. Ο συνδυασμός των μετρήσεων μας δείχνει ότι το διάνυσμα των ταχυτήτων του M31 συμφωνεί με γωνιακή τροχιά (κατά μέτωπο μελλοντική σύγκρουση) με τον Γαλαξία μας.

Οι πρώτο-γαλαξίες M31 και ο δικός μας άρχισαν να απομακρύνονται μεταξύ τους μετά την δημιουργία τους (συμπαντική διαστολή), αλλά υπερίσχυσε η βαρύτητα και τώρα προσεγγίζονται. Η συνδυασμένη μάζα τους είναι  $4,93 + 1,63$  τρις ηλιακές. Οι προσομοιώσεις μας δείχνουν ότι θα συγχωνευτούν σε 5,86 δις έτη. Το πρώτο περίκεντρο θα συμβεί σε 3,87 δις έτη, σε περικεντρική απόσταση 31 kpc. Μάλλον θα συγχωνευτούν πρώτα ο Γαλαξίας μας και ο M31 και μετά ο M33 που θα τεθεί σε τροχιά γύρω τους. Υπάρχουν λίγες πιθανότητες να συγχωνευτεί πρώτα ο M33 ή να εκτιναχτεί μακριά από το σύστημα, προσωρινά ή μόνιμα. Η συγχώνευση θα δημιουργήσει έναν ελλειπτικό γαλαξία. Ο Ήλιος θα βρεθεί σε μεγαλύτερη απόσταση από το νέο κέντρο του συγχωνευμένου γαλαξία, στα 50 kpc. Η μετάβαση σε ελλειπτικό γαλαξία (κόκκινη ακολουθία στο διάγραμμα των γαλαξιών) σημαίνει υποβάθμιση του δίσκου και ενίσχυσης της μάζας του κέντρου, με την δημιουργία AGN. Η αστρογέννηση σταδιακά θα υποβαθμιστεί, κάνοντας τον νέο ελλειπτικό να εμφανίζεται κόκκινος.

## Η αστρική μάζα του M31 όπως παρουσιάζεται από την επισκόπηση Andromeda Optical and Infrared Disk Survey (ANDROIDS).

Η προσέγγισή μας κάνει τον M31 ιδανικό πεδίο δοκιμής για την κατανόηση της δομής των σπειροειδών γαλαξιών. Η επισκόπηση χαρτογράφησε την κοιλιά και τον δίσκο του M31 ως την ακτίνα των 40 kpc. Χρησιμοποιήσαμε μοντέλα της διασποράς ενέργειας του φάσματος στο οπτικό- υπέρυθρο για την εκτίμηση του προφίλ του αστρικού πληθυσμού (integrated spectral energy distributions, SEDs) και της μάζας στον άξονα του γαλαξία και αστέρια που

αναλύονται ως μεμονομένα. Αυτή η ανάλυση μας προσφέρει αποδείξεις για τον από μέσα προς τα έξω σχηματισμό του δίσκου και για έναν φθίνων βαθμό μεταλλικότητας από την κοιλιά στον δίσκο. Υπολογίσαμε την αστρική μάζα των 30 κpc της κοιλιάς και του δίσκου στις 100,3 δις ηλιακές. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με παλαιότερες μελέτες. Συνδυάζουμε τους χάρτες αστρικής μάζας με δυναμικούς ανιχνευτές αερίων και αστεριών ώστε να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο μάζας για τα αστέρια, το αέριο, και την σκοτεινή ύλη του M31.

Το καλιμπράρισμα της επιφανειακής λαμπρότητας του M31.

Η αφαίρεση του υποβάθρου αποτελεί την σημαντικότερη πρόκληση για τις μελέτες που βασίζονται παρατήρησης της δομής του M31, μιας και δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε τον δίσκο του χωρίς το υπόβαθρο. Το υπόβαθρο στις κοντινές υπέρυθρες δεν μπορεί να υπολογιστεί καλύτερα από ακρίβεια 2%. Ανακαλύψαμε δομές μικρής επιφανειακής λαμπρότητας στον εξωτερικό δίσκο του γαλαξία, όπως το βόρειο πέταλο.

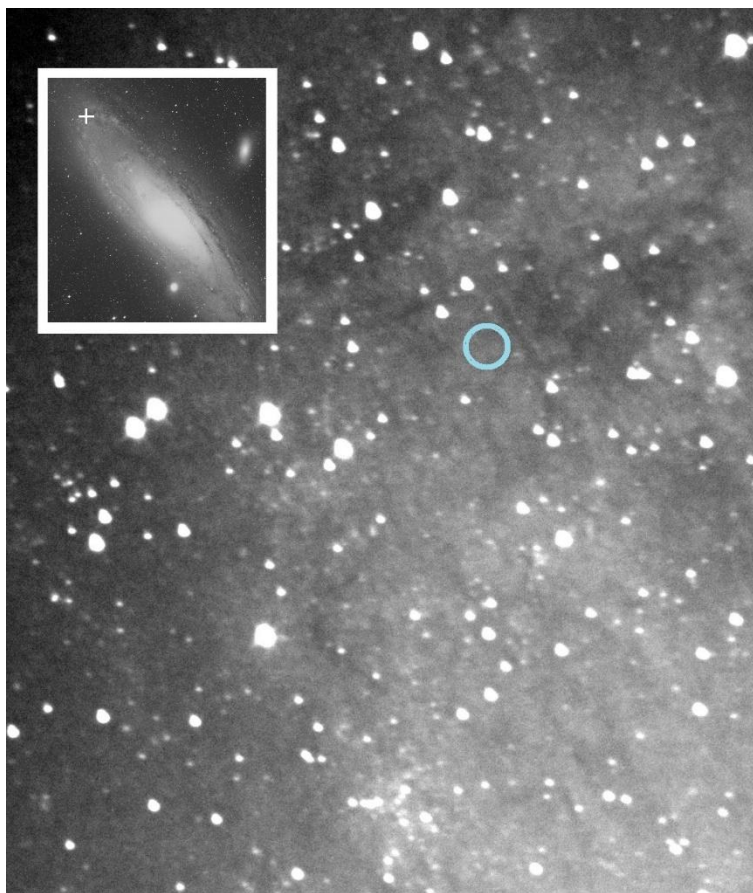
Τα μοντέλα αστρικής μάζας SED.

Μοντελοποιήσαμε την SED για κάθε γωνιακή ακτίνα ώστε να εκτιμήσουμε τον αστρικό πληθυσμό, άρα και την αναλογία μάζας/ λαμπρότητας M/L. Με διαφορετικές παραμέτρους των ιστορικών σχηματισμού αστεριών βρήκαμε ότι ένα απλό μοντέλο, περιλαμβάνοντας σταθερή αλλά και εκθετική μείωση του ρυθμού αστρογέννησης, βελτιώνει τα αποτελέσματα. Στην απόσβεση της σκόνης, η αθέτηση απόσβεσης με διαχωρισμό των γαλαξιακών συστατικών σε νεότερο και παλαιότερο αστρικό πληθυσμό επίσης βελτιώνει τα μοντέλα σχετικά με αυτά του Γαλαξία μας και της απόσβεσης της εκρηκτικής αστρογέννησης (starburst attenuation models). Η SED από ένα φτωχό δείγμα μπορεί να παραποιήσει τα αποτελέσματα. Μπορεί να παραποιήσει την διασπορά αστρικού πληθυσμού, με υποτίμηση της σκόνης και χαμηλότερες αναλογίες μάζας/ φωτός. Αυτό μας υπενθυμίζει ότι η εκτίμηση της αστρικής μάζας κυριαρχείται από βασικές παραδοχές όπως η επιλογή της IMF, της αναλογίας σκόνης, και λεπτομέρειες του AGB (ασυμπτωτικού κλάδου γιγάντων). Το αποτέλεσμά μας είναι η εκτίμηση της αστρικής μάζας του M31, σε ακτίνα 30 κpc από το κέντρο του, στις 103 δις ηλιακές. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με παλαιότερες μετρήσεις (101 δις ηλιακές μάζες το 2013).

## Η Νόβα M31N 2008-12a

Η επαναλαμβανόμενη Νόβα M31N 2008-12a στον γαλαξία της Ανδρομέδας είναι η πιο συχνή που γνωρίζουμε (1 κάθε έτος). Ένας επαναλαμβανόμενος Νόβα είναι ένας λευκός νάνος που έλκει υλικό από συνοδό αστέρα (στην περίπτωσή μας ένας κόκκινος γίγαντας ή αστέρι της κ. ακολουθίας με 1 ηλιακή μάζα). Το αποτέλεσμα είναι στην επιφάνειά του να συμβαίνει ανά διαστήματα εκρηκτική πυρηνική μεταστοιχείωση του υδρογόνου, που έλκει από τον συνοδό μέσω δίσκου προσαύξησης, σε ήλιον. Αυτή καταγράφεται ως έκρηξη Νόβα. Με αυτήν την διαδικασία ο λευκός νάνος συσσωρεύει μάζα, μέχρι να ξεπεράσει το όριο Chandrasekhar, περίπου 1,44 ηλιακές μάζες, και να εκραγεί ως SN Ia. Τότε θα λάμψει για εβδομάδες περισσότερο από όλον τον γαλαξία της Ανδρομέδας! Θα είναι από τις καλύτερα ορατές που παρατηρήσαμε ποτέ, και θα βοηθήσει εξαιρετικά στην μέτρηση της απόστασης της περιοχής της, αλλά και στον έλεγχο των άλλων μεθόδων μέτρησης αποστάσεων, μιας και η απόλυτη λαμπρότητα των SN Ia είναι καλά γνωστή (-19,2 mag). Η μεγάλη συχνότητα των επαναλήψεων της Νόβα μας κάνει να ελπίζουμε ότι θα παρακολουθήσουμε κάτι τέτοιο

τα επόμενα έτη, μιας και σημαίνει ότι ο λευκός νάνος συσσωρεύει υλικό με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά το χρονοδιάγραμμα μέχρι την σουπερνόβα είναι από μερικούς μήνες ως χιλιάδες έτη.



**Το χωρικά αναλυμένο ιστορικό αστρογέννησης του δίσκου του M31 μέσω των αναλυμένων αστρικών πληθυσμών του.**

Η παγχρωματική παρακαταθήκη του γαλαξία της Ανδρομέδας από το Hubble (Panchromatic Hubble Andromeda Treasury, PHAT) είναι ένα πολυκυκλικό πρόγραμμα καταγραφής του HST, που χαρτογράφησε τους αναλυμένους αστρικούς πληθυσμούς από το 1/3 του δίσκου του M31, από τις υπεριώδεις ως το κοντινό υπέρυθρο. Μας προσφέρει το χρώμα και την λαμπρότητα για περισσότερα από 150 εκατομμύρια αστέρια. Χρησιμοποιώντας μοντέλα αστρικής εξέλιξης μοντελοποιήσαμε το οπτικό διάγραμμα χρώματος- λαμπρότητας, ώστε να αποκομίσουμε τα χωρικά αναλυμένα ιστορικά σχηματισμού αστέρων (star formation histories, SFHs) μεγάλου μέρους του γαλαξία της Ανδρομέδας, με ανάλυση 100 pc. Αυτό το πεδίο περιλαμβάνει περιοχές αστρογέννησης και μέρη του δίσκου. Με αυτές τις SFH δημιουργήσαμε σενάρια της δραστηριότητας αστρογέννησης, ώστε να μελετήσουμε την εξέλιξη των γεγονότων ιδιαίτερης αστρογέννησης στον δίσκο. Αναλύσαμε την δομή της αστρογέννησης, και αποκομίσουμε την σχέση ανάμεσα στην αστρογέννηση και το αέριο μέσα στον δίσκο, και ιδιαίτερα στο δακτυλίδι αστρογέννησης των 10 kpc. Βρήκαμε ότι το δακτυλίδι δημιουργούσε αστέρια για τουλάχιστον 500 εκ. συνεχόμενα έτη. Ως ο μόνος τόσο κοντινός μεγάλος γαλαξιακός δίσκος, ώστε να έχουμε την απαραίτητη φωτομετρία για

αυτόν τον τύπο χωρικής ανάλυσης της SFH χαρτογράφησης, ο M31 έχει σημαντικό ρόλο στην κατανόησή μας για την εξέλιξη των μεγάλων γαλαξιών.

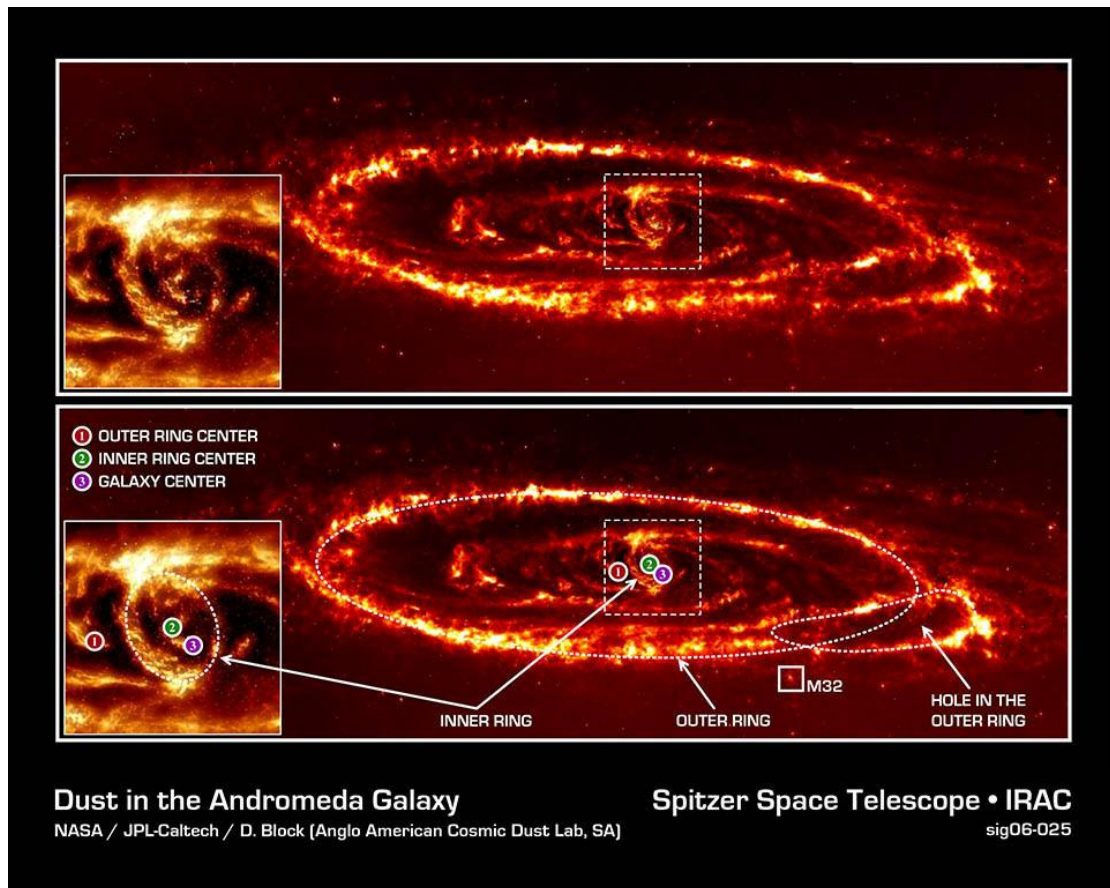
Το ιστορικό σχηματισμού αστερών (SFH) ενός γαλαξία περιλαμβάνει πολλά στοιχεία της φυσικής της εξέλιξής του. Μας πληροφορεί για την εξέλιξη του ρυθμού αστρογέννησης (star formation rate, SFR) για όλο το διάστημα της ζωής του γαλαξία, και για την εξέλιξη της μάζας και τις διασπορές της μεταλλικότητας. Το SFH τεκμηριώνεται για τους πληθυσμούς της κοιλιάς μέσω προσαρμογής της διασποράς φασματικής ενεργειακής (spectral energy distribution, SED) των γαλαξιών. Η εξέλιξη μεγάλου δείγματος γαλαξιών μπορεί να μελετηθεί συνδέοντας τους τοπικούς γαλαξίες (που τους βλέπουμε στο πρόσφατο παρελθόν τους) με τους όμοιους τους γαλαξίες με μεγάλη ερυθρολίση (μακρινό παρελθόν), και εξετάζοντας την εξέλιξη των φυσικών περιβαλλόντων των γαλαξιών μέσα στον χρόνο. Αυτή η τεχνική έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει μια στατιστικά ολοκληρωμένη ανάλυση της εξέλιξης των γαλαξιών σε ένα μεγάλο δείγμα τους. Όμως οι αλλαγές προσεγγίσεων (την SFR ως συνάρτηση του χρόνου, το μοντέλο της σκόνης κ.α.) μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στις ηλικίες που προκύπτουν, και στα SFH.

Μπορούμε να προσφέρουμε περισσότερη ανάλυση στην εξέλιξη της δομής και των πληθυσμών των τοπικών γαλαξιών χρησιμοποιώντας αναλύσεις αστρικών πληθυσμών με ανάλυση του διαγράμματος χρώματος- λαμπρότητας (color- magnitude diagram, CMD). Αυτό το διάγραμμα περιέχει το ιστορικό της δημιουργίας αστερών και την διασπορά μεταλλικότητας του γαλαξία. Αν χρησιμοποιήσουμε μεμονωμένα αστέρια (ανάλυση σε ένα - ένα αστέρι), μπορούμε να έχουμε εικόνα στο παρελθόν, επιτρέποντάς μας να έχουμε μια αυτοσυνεπής μελέτη της εξέλιξης ενός συγκεκριμένου γαλαξία, που να βασίζεται στον αστρικό πληθυσμό του. Με αυτήν την μέθοδο μπορούμε να μελετήσουμε όμως μόνο το τοπικό σύμπαν. Αυτό κάναμε και για τον γαλαξία της Ανδρομέδας.

Τα αποτελέσματα της μέτρησης.

Συνδυάσαμε τις μεμονωμένα SFH που ταιριάζουν καλύτερα σε κάθε περιοχή. Έτσι δημιουργήσαμε χάρτες των SFR ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτοί μας αποκαλύπτουν το πρόσφατο ιστορικό αστρογέννησης του M31 για τα τελευταία 630 εκ. έτη. Οι SFH αποκαλύπτουν δομές μεγάλης κλίμακας και διάρκειας στον δίσκο του γαλαξία. Υπάρχουν 3 δακτυλίδια αστρογέννησης. Ένα μέτριο εσωτερικό δακτυλίδι στα 5 κpc, το πολύ γνωστό δακτυλίδι των 10 κpc, και ένα εξωτερικό χαμηλής πυκνότητας στα 15 κpc. Το τελευταίο συγχωνεύεται μερικώς με το δεύτερο, μέσω συνδυασμού επιδράσεων προβολής και ενός πιθανού στημονιού (Warp, παραμόρφωση σαν μισός φλόγκος), ορατού στο (HI). Το δακτυλίδι στα 10 κpc διακρίνεται στο ορατό φως, και τα τελευταία 600 εκ. έτη παρουσιάζει αστρογέννηση. Το δακτυλίδι στα 5 κpc κορύφωσε την αστρογέννησή του πριν 100 εκ. έτη, αλλά σήμερα έχει διασκορπιστεί κατά πολύ. Η αστρογέννηση στην δομή στα 15 κpc έχει αυξηθεί την σημερινή εποχή.

Το SFR έχει μειωθεί τα τελευταία 600 εκ. έτη, αλλά βλέπουμε μια μικρή κορύφωση περίπου στα τελευταία 50 εκ. έτη. Μετά από περισσότερες αναλύσεις είδαμε ότι αυτή η κορύφωση δεν συμβαίνει σε όλον τον γαλαξία. Έχει να κάνει με τα αστρικά σμήνη και τις ομάδες αστεριών OB στους δακτυλίους. Είναι εμφανές ότι η αστρογέννηση στους δακτυλίους καθοδηγεί το ιστορικό αστρογέννησης όλου του δίσκου. Οι περιοχές έξω από τον δακτύλιο δείχνουν πολύ μικρό και κυρίως σταθερό SFH τα τελευταία 500 εκ. έτη.



## Συμπεράσματα.

Μετρήσαμε το χωρικά αναλυμένο SFH του 1/3 του δίσκου αστρογέννησης του M31 από τις εικόνες του Hubble. Η αστρογέννηση στον γαλαξία της Ανδρομέδας περιορίζεται κατά πολύ σε 3 δακτυλίους αστρογέννησης. Σε αυτούς ανήκει και ο καλά γνωστός δακτύλιος των 10 kpc. Αυτές οι δομές δείχνουν αυξημένα επίπεδα αστρογέννησης κατά όλη την περίοδο του ιστορικού της αστρογέννησης στον γαλαξία, δηλαδή περίπου 600 εκ. έτη. Ο δακτύλιος των 10 kpc είναι μακρόβιος και σταθερός, και παράγει αστέρια τουλάχιστον τα τελευταία 600 εκ. έτη. Έχει δείξει ελάχιστη ή ασήμαντη διάδοση (propagation) κατά την ολική διάρκεια αυτού του SFH. Σε αυτήν την διάρκεια, η αστρογέννηση στον δακτύλιο αυξήθηκε σχετικά με τις γύρω του περιοχές, με αποτέλεσμα το δακτυλίδι να ορίζει όλο το SFH. Βρήκαμε επίσης ότι το SFH τα τελευταία 500 εκ. έτη είναι σχετικά σταθερό, δείχνοντας μικρή αλλά σταθερή μείωση του ρυθμού αστρογέννησης σήμερα, με μια μικρή έξαρση πριν 50 εκ. έτη.

## Το μοριακό αέριο στον γαλαξία της Ανδρομέδας.

Μελετήσαμε την διασπορά του μοριακού αερίου στον γαλαξία της Ανδρομέδας και την συγκρίναμε με τις διασπορές του ατομικού αερίου και την εκπομπή της ψυχρής σκόνης.

Η εκπομπή της γραμμής του 12CO (1-0) βρέθηκε σε ακτίνα 3 kpc ως 16 kpc από το κέντρο του γαλαξία, με μέγιστο έντασης στα 10 kpc.

Το μοριακό αέριο που ανιχνεύτηκε είναι συγκεντρωμένο στις στενές δομές βραχιόνων, που συχνά συμπίπτουν με τις σκοτεινές γραμμές σκόνης που παρατηρούμε στο οπτικό. Ανάμεσα στις ακτίνες 4 και 12 κpc οι λαμπρότερες δομές του CO καθορίζουν μία δομή δύο βραχιόνων, που περιγράφεται καλά ως 2 λογαριθμικές σπείρες σε γωνία 7-8 μοιρών.

**Συμπεράσματα.**

Ή αυξάνεται η αναλογία του ατομικού και συνολικού αερίου προς την σκόνη κατά 20 μεγέθη, ή η σκόνη γίνεται ψυχρότερη σε μεγαλύτερες γαλαξιακές ακτίνες. Στο εύρος γαλαξιακής ακτίνας 8- 14 κpc το συνολικό αέριο και η σκόνη έχουν καλή συσχέτιση. Το μοριακό αέριο συσχετίζεται καλύτερα με την ψυχρή σκόνη από το ατομικό.