

Ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες (AGN, active galactic nucleus).

Ο όρος αυτός χαρακτηρίζει συνολικά διάφορους τύπους γαλαξιών με πυρήνες μεγάλης λαμπρότητας, που εκπέμπουν μη αστρική και μη θερμική ακτινοβολία μεγάλης λαμπρότητας. Η φάση αυτή των γαλαξιών διαρκεί μόλις 10 εκατομμύρια έτη, το ένα εκατομμυριοστό της μέσης ηλικίας ενός γαλαξία. Έχουμε ανακαλύψει περί τους 500000 ενεργούς γαλαξίες στο σύμπαν.

Τα εξωγαλαξιακά αντικείμενα που ανήκουν στους AGN πρέπει να έχουν τουλάχιστον μια, αλλά όσο το δυνατόν περισσότερες από τις παρακάτω ιδιότητες.

-Να έχουν μεγάλης λαμπρότητας και πυκνή κεντρική περιοχή, που να είναι πολύ πιο λαμπρή από ότι σε κανονικούς γαλαξίες ιδίου τύπου. Να υπάρχει ισχυρή αντίθεση λαμπρότητας (κонтράστ) του πυρήνα με την υπόλοιπη γαλαξιακή δομή.

-Το φάσμα τους να είναι μη αστρικό συνεχές με υπέρβαση στα μη ορατά μήκη κύματος (ραδιοκύματα, υπεριώδεις, υπέρυθρες, ακτίνες Χ, ακτίνες γ) έναντι του ορατού φωτός και της εκπομπής των κανονικών γαλαξιών σε αυτά τα μήκη κύματος.

-Οι πλατιές και οι στενές γραμμές εκπομπής να είναι μη αστρικής προέλευσης και να προέρχονται από τον γαλαξιακό πυρήνα.

-Να έχουν βραχύχρονη μεταβλητότητα (από λεπτά ως έτη) του συνεχούς ή/ και των γραμμών εκπομπής.

-Να παρουσιάζουν πιδακόμορφες εκπομπές στα ραδιοκύματα, στο οπτικό ή στις ακτίνες Χ.

Κατηγοριοποίηση.

Για τα τόσο διαφορετικά είδη AGN δεν έχουμε σαφή κατάταξη. Οι κατηγοριοποιήσεις που χρησιμοποιούμε καλύπτουν διάφορες ιδιότητες (μορφολογία, φωτομετρία, φασματοσκοπία) και τα κριτήρια πολλές φορές αλληλεπικαλύπτονται. Παρακάτω θα δείξουμε μια σύνοψη των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων βάσει παρατηρησιακών δεδομένων (οπτικά φάσματα, εκπομπή σε άλλα μήκη κύματος, μεταβλητότητα).

α) Υπεριώδεις –οπτικά φάσματα των γαλαξιακών πυρήνων.

Φάσματα των γαλαξιών Seyfert.

Οι γαλαξίες Seyfert έχουν έναν λαμπρό σχεδόν σημειακό πυρήνα του οποίου το φάσμα είναι ένα μπλε μη αστρικό συνεχές με πολύ ερεθισμένες, πλατιές (κανονικές και <απαγορευμένες>) γραμμές εκπομπής.

Τα φάσματα των γραμμών εκπομπής.

Έχουμε δύο φασματικά καθορισμένες υποομάδες.

Στον τύπο 1 οι γραμμές Balmer είναι πιο πλατιές από τις απαγορευμένες, ενώ στον τύπο 2 είναι παρόμοιες. Στον τύπο 1 οι τιμές του μισού πλάτους φθάνουν μέχρι τα 10000 km/s, ενώ οι συνολικές τιμές πλάτους τα 30000 km/s. Συχνά οι πλατιές κανονικές γραμμές είναι συμπιεσμένες στο κέντρο του φάσματος.

Στον τύπο 2 κυριαρχούν οι απαγορευμένες γραμμές. Η συμπεριφορά τους δεν μπορεί να δικαιολογηθεί μέσω ιονισμού από καυτά αστέρια, άρα οφείλεται σε ισχυρό συνεχές στις υπεριώδεις ή/ και σε κρουστικά κύματα. Οι διαφορές των δυο τύπων στο συνεχές είναι ότι ο τύπος 1 έχει ισχυρό μπλε μη αστρικό συνεχές, που ανεβαίνει στις υπεριώδεις πολύ απότομα, ενώ ο τύπος 2 έχει κόκκινο συνεχές που συχνά κυριαρχείται από αστρικό ανταγωνισμό.

Τα φάσματα των Quasar.

Ο διαχωρισμός των Quasar (Quasi- stellar objects, QSO) γίνεται για ιστορικούς λόγους, αφού

πολύ δύσκολα ξεχωρίζουν φασματοσκοπικά από τους Seyfert. Λόγω της μεγάλης τους απόστασης (μετατόπιση στο ερυθρό) και της ακραίας μεγάλης λαμπρότητας του πυρήνα φαίνονται στις ουράνιες λήψεις ως άστρα (δεν φαίνεται ο υπόλοιπος γαλαξίας). Μερικές σύγχρονες λήψεις(κυρίως του HST) μας δείχνουν τον υπόλοιπο γαλαξία γύρω τους. Τα αντικείμενα αυτού του είδους που έχουμε παρατηρήσει στο οπτικό δείχνουν κυρίως φάσμα τύπου 1 με πολύ μπλε συνεχές και πλατιές γραμμές εκπομπής. Η εκπομπή τους είναι στο υπεριώδες και την παρατηρούμε στο οπτικό λόγω μεγάλης μετατόπισης στο ερυθρό.

β) Φάσματα με γραμμές μικρού πλάτους και χαμηλής κλίμακας ιονισμού.

Μερικοί AGN δείχνουν φάσματα εκπομπής που, όμοια με αυτά των Seyfert, δικαιολογούν λόγω φωτοϊονισμού να έχουν προέλευση μια μη αστρική πηγή, έχουν όμως περιορισμένο πλάτος ή μικρό βαθμό ιονισμού. Περίπου το 1/3 όλων των λαμπρών γαλαξιών ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Έτσι έχουμε τους

LINER (low ionization nuclear emission- line region), με κεντρική περιοχή εκπομπής μικρού βαθμού ιονισμού,

LIPNER (low ionization parameter nuclear emission- line region), με κεντρική περιοχή εκπομπής μικρού βαθμού παράμετρο ιονισμού,

HILNER (high ionization Narrow emission –line region), με κεντρική περιοχή εκπομπής μεγάλου βαθμού ιονισμού, με στενές γραμμές και

Narrow- line x- ray galaxies, γαλαξίες που λάμπουν στις μαλακές ακτίνες X με στενές γραμμές. Οι τελευταίοι χαρακτηρίζονται και Seyfert τύπου 3.

Πολλές φορές οι γαλαξίες εκπομπής των οποίων θεωρούμε ότι οι γραμμές τους δημιουργούνται σε θέρμανση από κρουστικά κύματα ή από φωτοϊονισμό σε κανονικό συνεχές, αναφέρονται ως ενεργοί.

γ) Συνεχές φάσματα χωρίς γραμμές.

Είναι μια κατηγορία των AGN, των οποίων το φάσμα χαρακτηρίζεται από την απουσία γραμμών. Το ελεύθερο από γραμμές εκπομπής μη θερμικό συνεχές είναι σε όλα τα μήκη κύματος πολύ πολωμένο (μέχρι 30%) και η έντασή του μεταβάλλεται γρήγορα.

Ραδιοπηγές (ραδιογαλαξίες και Κβάζαρ).

Αρχικά χαρακτηρίζονταν έτσι όλοι οι γαλαξίες των οποίων η εκπομπή στα ραδιοκύματα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που θα περιμέναμε βάσει του ορατού τους φωτός, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες ιδιαιτερότητές τους. Σήμερα περιγράφουμε με αυτόν τον χαρακτηρισμό τους γαλαξίες που το αίτιο της έντονης εκπομπής τους στα ραδιοκύματα είναι ο ενεργός πυρήνας τους. Μια ιδιαίτερη ομάδα αυτών είναι οι Κβάζαρ, που τους ανακαλύψαμε από την εκπομπή τους στα ραδιοκύματα.

Κατάταξη των ράδιο- φασμάτων.

Στη πυκνότητα ροής μεταξύ 1,4 και 5GHz (21- 6 cm) έχουμε 2 ομάδες.

α) Πηγές με απότομο φάσμα, που είναι εκτεταμένα αντικείμενα μεγαλύτερα του 1 δευτερολέπτου της μοίρας και β) πηγές με επίπεδο φάσμα, που είναι συμπαγή αντικείμενα, πολύ μικρότερα από 1 δευτ. μοίρας και παραπέμπουν σε Κβάζαρ και αντικείμενα BL- Lacertae . Επίσης τα φάσματα των διπλών εκτεταμένων αντικειμένων είναι κυρίως επίπεδα.

Εξωγαλαξιακές πηγές ακτίνων X.

Αφού παρατηρήσαμε ότι όλες οι ομάδες των AGN εκπέμπουν ιδιαίτερα στην σκληρή περιοχή των ακτίνων X (> 10 keV) υπάρχει το ερώτημα αν ένας γαλαξίας πρέπει να έχει ενεργό πυρήνα ανάλογο με την εκπομπή του στις ακτίνες X. Οι περισσότεροι AGN έχουν μια πολύ πυκνή πηγή εκπομπής ακτίνων χ. Στην περίπτωση της εκτεταμένης πηγής εκπέμπεται

ακτινοβολία X και από τους ραδιοπίδακες, και σε μεμονωμένες περιπτώσεις από την περιοχή των ράδιο- φούσκων.

Μεταβλητότητα στον ενεργό πυρήνα.

Σε πολλούς ενεργούς πυρήνες παρατηρούμε διακυμάνσεις λαμπρότητας κατά 10%. Ιδίως στους Seyfert μπορεί να έχουμε μεταβλητότητα και στο συνεχές, αλλά και στην ένταση και στο σχήμα των γραμμών. Η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της αύξησης της λαμπρότητας στο συνεχές και της ανάλογης αντίδρασης των γραμμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να καθορίσουμε το μέγεθος της περιοχής εκπομπής. Η μεγαλύτερη μεταβλητότητα παρατηρείται σε αντικείμενα BL- Lacertae και στα συγγενή, πολύ μεταβλητά στο οπτικό Κβάζαρ(OVV, Optically violent variable). Λόγω της αστρικής εμφάνισης και της μεταβλητότητας τα αντικείμενα BL- Lacertae (BL- Lac) χαρακτηρίστηκαν από λάθος ως μεταβλητά αστέρια, και έτσι όλη η ομάδα πήρε αυτό το όνομα.

Η τυπική χρονική κλίμακα της μεταβλητότητας για τα Seyfert και τα Quasar είναι από ώρες ως έτη και για τα BL- Lac από λεπτά ως ημέρες.

Σημαντικές κατηγορίες αντικειμένων με τυπικά παραδείγματα.

Γαλαξίες Seyfert.

Είναι γαλαξίες με λαμπρό πυρήνα και πολύ ερεθισμένες, σχετικά παχιές γραμμές εκπομπής. Είναι ιδιαίτερα ισχυρές στο (OIII), (H), (Ne), (S), (Fe), (Ar). Κυρίως είναι σπειροειδείς, και περίπου το 1% των σπειροειδών γαλαξιών είναι γαλαξίες Seyfert. Οι σπειροειδείς γαλαξίες περνούν το 1% της διάρκειας της ζωής τους ως Seyfert. Είναι λαμπροί, με πιο μεγάλο ποσοστό ανάμεσα στους πολύ λαμπρούς γαλαξίες. (Η αναλογία Seyfert/απλού γαλαξία είναι 1 προς 300 σε mag -19, ενώ αυξάνεται στο 1 προς 10 σε mag -22).

Φασματική κατανομή ενέργειας μεταξύ ραδιοκυμάτων και ακτίνων X (spectral energy distribution, SED) των πυρήνων τύπου 1 στους Seyfert.

Οι Seyfert είναι κυρίως αδύναμοι στα ραδιοκύματα, με σχετικά απότομο φάσμα. Έχουν ένα πλατύ λόφο στο υπέρυθρο, του οποίου το μέρος με το μικρό μήκος κύματος προέρχεται από την κατανομή της σκόνης που έχει θερμανθεί από τον AGN, ενώ η εκπομπή στο μακρινό υπέρυθρο δικαιολογείται από την αστρογέννηση. Υπάρχει ένα πολύ μπλε οπτικό συνεχές του καυτού δίσκου προσαύξησης. Στα ραδιοκύματα ως τα μεσαία υπέρυθρα, όπως και στην σκληρή ακτινοβολία X, οι SED των τύπων 1 και 2 δεν διαφέρουν, αλλά στην περιοχή μεταξύ 10σθη14 και 10σθη16 Hz οι τύπου 2 εμφανίζονται πολύ ασθενείς. Αυτό εξηγείται με την απορρόφηση από σκόνη και το (HI) στην περιοχή, άρα οι τύπου 2 είναι κατά μέρος καλυμμένοι από σκόνη πυρήνες τύπου 1.

Παραδείγματα.

NGC 4154. Είναι ένας από τους πιο κοντινούς (14 Mpc) και λαμπρότερους γαλαξίες Seyfert. Στους καταλόγους είναι συχνά καταχωρημένος ως τύπου 1, αλλά ανήκει στον ενδιάμεσο τύπο 1,5. Στην περιοχή $0,3\text{mm} > 2\text{mm}$ παρουσιάζει ένα πολύ μπλε και μεταβαλλόμενο συνεχές. Το 20% της απόδοσης σε εκπομπή είναι στις γραμμές απορρόφησης (μεταξύ άλλων πολύ ιονισμένες γραμμές από (FeX, XIV)). Πρόκειται για έναν πυρήνα μεγάλου σπειροειδή γαλαξία με συμπαγή ραδιοπίδακα. Υπάρχουν 2 περιοχές κατανομής σκόνης στον πυρήνα. 1) ο εσωτερικός δακτύλιος σκόνης με ακτίνα 0,05 pc και θερμοκρασία σκόνης 1300 K και 2) ο εξωτερικός δακτύλιος με ακτίνα 1pc και θερμοκρασία 300 K.

NGC 1068. Ο λαμπρότερος γαλαξίας Seyfert τύπου 2 με μεγάλη ισχύ εκπομπής υπέρυθρων (σε απόσταση 14,4 Mpc). Είναι ο πρώτος τύπου 2 γαλαξίας όπου μετρήθηκε πολωμένο φως με πλατιούς λοβούς των γραμμών Balmer. Η εξήγηση είναι η πηγή του συνεχές και τα νέφη που το περιβάλλουν, μέσα σε έναν παχύ δίσκο σκόνης. Βρέθηκαν 2 περιοχές κατανομής σκόνης, ένας πολύ θερμός, εσωτερικά πεπλατυσμένος δίσκος σκόνης με διάμετρο 1,4 pc και θερμοκρασία 800 K, που βρίσκεται μέσα σε έναν δευτερο σχηματισμό, σχεδόν σφαιρικό με ψυχρή σκόνη 290 K.

Τα Quasar (Quasi-stellar objects QSO).

Είναι αντικείμενα με εμφάνιση άστρου, με ανώμαλη διασπορά ενέργειας στο φάσμα. Έχουν πολύ πλατιές γραμμές εκπομπής σε μη αστρικό, μη θερμικό συνεχές και ακραία μετατόπιση στο ερυθρό ως $z > 6$. Αρχικά ο ορισμός Quasar σήμαινε quasi-stellar radio source, και τον χρησιμοποιούσαμε για τις ισχυρές ραδιοπηγές με μικρή διάμετρο < 1 δευτ. μοίρας. Σήμερα η έννοια του Κβάζαρ είναι ευρύτερη, αφού ανακαλύψαμε αστρόμορφα αντικείμενα με τις ίδιες ιδιότητες, αλλά χωρίς εκπομπή ραδιοκυμάτων. Έτσι τα ξεχωρίζουμε σε ράδιο- θορυβώδη και ράδιο- ήσυχα. Πάνω από το 90% των Κβάζαρ είναι ράδιο- ήσυχα. Πρόκειται για ιδιαίτερα ισχυρά AGN και εν αποτελούν κάποια ξεχωριστή, εξωτική κατηγορία γαλαξιών. Ξεχωρίζουν από τα Seyfert λόγω της λαμπρότητάς τους. Ένας AGN με απόλυτη λαμπρότητα $< -23,5m$ χαρακτηρίζεται ως Κβάζαρ.

Η εμφάνιση τους είναι κυρίως σημειακή, και μερικές φορές έχουν σύνθετη δομή. Σε όλα τα κοντινά Κβάζαρ ανακαλύψαμε τον γαλαξία τους, που είναι συνήθως ένας ελλειπτικός ή σπειροειδής με κανονική μορφολογία και λαμπρότητα. Η σχέση λαμπρότητας πυρήνα/ λαμπρότητα γαλαξία είναι 100 φορές αυξημένη από ότι στους κανονικούς γαλαξίες. Η σχέση αυτή αυξάνεται από τους κανονικούς γαλαξίες στους Seyfert μέχρι τους Κβάζαρ. Περίπου οι μισοί ράδιο- θορυβώδεις Κβάζαρ έχουν μια συμμετρική, εκτεταμένη διπλή πηγή εκπομπής. Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρούνται πίδακες στα ραδιοκύματα.

Τα φάσματά τους.

Αν εξαιρέσουμε τη μεγάλη τους μετατόπιση στο ερυθρό, τα Κβάζαρ δύσκολα ξεχωρίζουν φασματοσκοπικά από τα Seyfert. Τα Κβάζαρ έχουν κυρίως φάσμα τύπου 1 με πολύ μπλε συνεχές και πλατιές γραμμές εκπομπής. Λόγω της μεγάλης μετατόπισης στο ερυθρό οι υπεριώδεις γραμμές του φάσματος παρατηρούνται στο ορατό. Τα φάσματα πολλών Κβάζαρ μας δείχνουν ότι οι γραμμές εκπομπής είναι πολύ δυνατές και πλατιές ((HII), (OII), (OIII), (CII), (CIII), (CIV), (NeII), (NeV), (MgII)). Στο συνεχές η κατανομή της ενέργειας των ράδιο- ήσυχων Κβάζαρ μοιάζει με την ενεργειακή κατανομή (SED) των Seyfert τύπου 1, που είναι κυρίως θερμική. Στους ράδιο-θορυβώδεις Κβάζαρ έχουμε ένα δυνατό μη θερμικό συστατικό, την σχετικιστική ακτινοβολία από τα ραδιοκύματα ως τις υπεριώδεις. Τα Κβάζαρ, ιδίως τα ράδιο- θορυβώδη, έχουν ισχυρή εκπομπή ακτίνων Χ. Εκτιμάται ότι πολλά μη παρατηρήσιμα Κβάζαρ έχουν την κύρια εκπομπή τους στις ακτίνες Χ, μια διαχέουσα ακτινοβολία που λαμβάνουμε από όλον τον ουρανό.

Μεταβλητότητα.

Μακροχρόνια η σύγκριση με παλιές φωτογραφικές πλάκες μας δίνουν για τους 3C273 και 3C48 κατά μέσο όρο μια μείωση της λαμπρότητας 0,37mag τα 100 έτη. Βραχυχρόνια, σε ακραίες περιπτώσεις έχουμε οπτική μεταβλητότητα 2 με 5 μεγέθη μέσα σε μήνες, και μικρότερη σε ημέρες. Αυτό μας δίνει μια διάμετρο για τα αντικείμενα $< 0,03pc = 10000 AU$. Όμοιες μεταβλητότητες παρατηρούμε και στα βραχεία ραδιοκύματα. Πολλοί ράδιο- θορυβώδεις Κβάζαρ με επίπεδο ράδιο-φάσμα ανήκουν στην ομάδα optically violently variables. Από το 2011 γνωρίζουμε 75 Κβάζαρ με $z > 5$.

Αντικείμενα BL- Lacertae και Blazar.

Είναι αστερόμορφα αντικείμενα με ακραία ισχνές ή και χωρίς γραμμές εκπομπής, με μη θερμικό συνεχές με μεγάλη μεταβλητότητα και υψηλό ποσοστό πολικότητας. Στους Blazar οι πίδακες (άρα και η ακτινοβολία γ) είναι σε πολύ μικρή γωνία με την γραμμή θέασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πίδακες, λόγω σχετικιστικών φαινομένων, να εμφανίζονται πολύ λαμπρότεροι και οι παλμοί τους πιο βραχύχροννοι. Έτσι πρέπει να υπολογιστούν οι ανάλογες με την γωνία αυτή διορθώσεις, ώστε να έχουμε ασφαλή συμπεράσματα. Η ανακάλυψη τόσο βραχύχρονων Blazar, ώστε η περίοδος της μεταβλητότητας να είναι μικρότερη από αυτή που δικαιολογεί το μέγεθος του ορίζοντα γεγονότων της μαύρης τρύπας (η περίοδος της μεταβλητότητας δεν μπορεί να είναι πιο σύντομη από την έκταση της πηγής σε δευτερόλεπτα φωτός), μας δίνει το συμπέρασμα ότι οι παλμοί μπορούν να δημιουργούνται τοπικά, μάλλον σε διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου, με παρόμοιο μηχανισμό όπως στα παλσαρ.

Οι Blazar είναι η κατηγορία των ακραία μεταβλητών ενεργών πυρήνων. Χωρίζονται σε .BL-Lacertae .OVV (optically violently variables), οι Κβάζαρ με ισχυρή βραχυχρόνια οπτική μεταβολή, και .HPQ (Highly polarized quasars), οι πολύ πολωμένοι Κβάζαρ, που επίσης έχουν μεγάλη μεταβλητότητα. Σε μερικούς BL-Lacertae ανακαλύψαμε τον γαλαξία τους μέσω αμυδρών αστρικών γραμμών απορρόφησης. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να καθορίσουμε την μετατόπιση στο ερυθρό.

Ιδιαιτερότητες και διαφορές με τα Κβάζαρ.

.Σε αντίθεση με τα Κβάζαρ, δεν παρατηρούμε γραμμές εκπομπής στον πυρήνα.

.Δεν έχουν εκτεταμένη ραδιοπηγή.

.Έχουν μη θερμικό συνεχές, που ενισχύεται στις υπέρυθρες. Στο ορατό και στις υπεριώδεις το φάσμα είναι πιο απότομο από ότι στα Κβάζαρ και σε άλλους ενεργούς πυρήνες.

.Έχουν ισχυρή, μεταβλητή πολικότητα (5- 20%).

.Η απόλυτη λαμπρότητά τους είναι από -21mag ως -26mag.

.Έχουν βραχύχρονη μεταβλητότητα (πολύ πιο βραχύχρονη από τα Κβάζαρ) σε όλο το φάσμα, μέχρι 5mag μεταβολή στο ορατό. Η χρονική κλίμακα είναι από ημέρες ως μήνες, με ενδιάμεσες φάσεις ηρεμίας. Οι BL σχηματίζουν την ομάδα των V(violently variables).

Ραδιογαλαξίες.

Γενικά όλοι οι γαλαξίες, που εκπέμπουν στα ραδιοκύματα πιο πολύ από ότι θα περιμέναμε βάσει της λαμπρότητάς τους στο ορατό λέγονται ραδιογαλαξίες, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες ιδιαιτερότητές τους.

Μορφολογική κατηγοριοποίηση.

Γενικά έχουμε 2 κατηγορίες.

α) Συμπαγείς ραδιοπηγές, που δεν δείχνουν σχήμα ακόμα και με την βοήθεια συμβολομετρικών ραδιοτηλεσκοπίων. Διακρίνουμε συμπαγείς διπλές πηγές ή δομές πίδακων από το γαλαξιακό τους κέντρο.

β) Πολύ εκτεταμένες διπλές ραδιοπηγές, που εκτείνονται εκατοντάδες kpc ή και mpc. Ο κατάλογος 3C περιλαμβάνει 471 ισχυρές ραδιοπηγές, κυρίως με διπλή δομή. Αυτοί χωρίζονται πάλι σε 2 μορφολογικές κατηγορίες.

.FRI (από τους Faganoff και Riley). Το μέγιστο της επιφανειακής λαμπρότητας είναι σε απόσταση μικρότερη από την μισή μέγιστη ακτίνα της συνολικής διπλής πηγής. (Η διπλή πηγή είναι ουσιαστικά 2 περιοχές των 2 λοβών του πίδακα).

.FR II Το μέγιστο της επιφανειακής λαμπρότητας είναι σε απόσταση μεγαλύτερη από την μισή μέγιστη ακτίνα, και βρίσκεται πολλές φορές στις εξωτερικές άκρες των ραδιοπηγών (λοβών). Πολλές φορές ο ράδιο- χάρτης κυριαρχείται από καυτά σημεία (hot spots). Συνήθως οι ισχυρότερες ραδιοπηγές ανήκουν στην κατηγορία II και οι πιο αδύναμες στη I.

Οι πίδακες.

Σε πολλές περιπτώσεις, κυρίως στα ραδιοκύματα και σε λιγότερες και στο οπτικό, παρατηρούμε στενούς πίδακες που συνδέουν τον πυρήνα με τις εξωτερικές γαλαξιακές περιοχές. Οι πίδακες αυτοί (jets) αποτελούν την ορατή έκφραση της ροής ενέργειας από τον πυρήνα στους λοβούς.

Ράδιο- κέντρο.

Οι ράδιο- χάρτες με αρκετή γωνιακή ανάλυση (<10 δευτ.) και σε μικρά μήκη των ραδιοκυμάτων (<20 cm) δείχνουν στο κέντρο των διπλών ραδιοπηγών μια πολύ συμπαγής πηγή που δεν αναλύεται άλλο, τον ραδιοπυρήνα, που βρίσκεται στο κέντρο ενός (συχνά ελλειπτικού) γαλαξία. Το φάσμα του είναι επίπεδο.

Οπτικά φάσματα.

Πολλές πηγές πυρήνων έχουν στο οπτικό ισχυρές γραμμές εκπομπής. Τις χωρίζουμε σε .NLGR (narrow line radio galaxy). Είναι ραδιογαλαξίες με στενές γραμμές εκπομπής, απαγορευμένες και κανονικές. Συνήθως είναι σε ελλειπτικούς γαλαξίες ή γαλαξίες με συμμετρία περιστροφής, αλλά χωρίς δομή σπειρών και ελλειπτικότητα. .BLRG (broad line radio galaxy). Έχουν πλατιές γραμμές εκπομπής, πλατιές κανονικές και στενές απαγορευμένες. Συνήθως είναι γαλαξίες N, όμοιοι με τους Seyfert τύπου I.

Μεταβλητότητα.

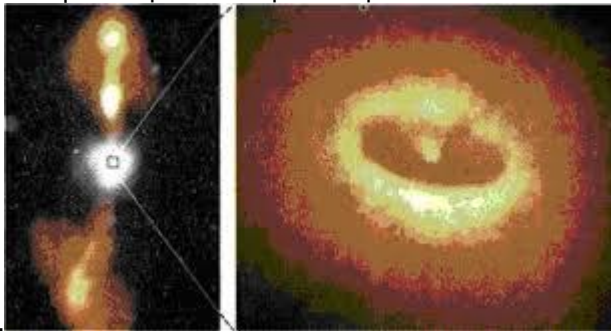
Παρατηρούμε συχνή έξαρση της έντασης εκπομπής, ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος, ή πρώτα στα μικρά μήκη κύματος, και αυτή μεταφέρεται με μειωμένη ένταση στα μεγάλα μήκη κύματος. Πολλές πηγές παρουσιάζουν μεταβολές της έντασης και της δομής. Στην διάρκεια των εκρήξεων ακτινοβολίας παρατηρούμε μερικές φορές –λόγω γεωμετρικών παραμέτρων σε σχέση με το φαινόμενο της ταχύτητας του φωτός- ταχύτερες μεγαλύτερες από αυτή του φωτός (σχετικιστικό φαινόμενο).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα ραδιογαλαξιών.

Κύκνος A. cz (ταχύτητα μετατόπισης στο ερυθρό) 17000 km, διάμετρος 230Mpc.

Η δεύτερη ισχυρότερη ραδιοπηγή του βόρειου ουρανού. Ο ράδιο- χάρτης ισοτόπων της είναι τυπικός για τη διπλή δομή πολλών ραδιογαλαξιών. Έχουμε ασθενής εκπομπή από το κέντρο και την κύρια εκπομπή από τους λοβούς. Στις εξωτερικές άκρες των λοβών έχουμε πολύ λαμπρούς κόμπους. Δείχνουν την περιοχή όπου οι πίδακες συγκρούονται με την περιβάλλον ύλη. Εκπέμπουν 1 εκ. φορές πιο πολύ στα ραδιοκύματα από ότι όλος ο υπόλοιπος γαλαξίας, περίπου όσο εκπέμπει όλο το σύστημα στο ορατό (αέριο και αστέρια). Ο κύκνος A είναι πάνω από τον μέσο όρο ράδιο- λαμπρός. Αυτό συμβαίνει επειδή ο γαλαξίας περιβάλλεται από πυκνό καυτό αέριο που εκπέμπει στις ακτίνες X, που συνήθως το βρίσκουμε σε τέτοιες συνθήκες μόνο σε γαλαξιακά σμήνη.

Οι πίδακες και το ράδιο- πλάσμα (σχετικιστικά σωματίδια και μαγνητικά πεδία) που οδηγείται προς τα πλάγια στα καυτά σημεία (hot spots), δημιουργούν ένα κρουστικό κύμα προς το μέσο (περιβάλλον ύλη). Το κρουστικό κύμα είναι εύκολα αναγνωρίσιμο στις ακτίνες X. Τα ισχυρά κρουστικά κύματα προκαλούν την αναγωγή μέσω επιτάχυνσης σχετικιστικών ηλεκτρονίων, που εκπέμπουν σχετικιστική ακτινοβολία στα ραδιοκύματα.



Παρθένος A (M87).

Γαλαξίας E0 με οπτικό πίδακα με διάμετρο 17 Mpc (ο κεντρικός γαλαξίας του σμήνους της Παρθένου). Υπάρχει ένας μπλε πίδακας από το κέντρο προς τα έξω, με μήκος 20 δευ.τόξου. Αυτός περιλαμβάνει μερικούς κόμπους και έχει μήκος 1300pc και πλάτος 120 pc. Είναι ένα από τα ελάχιστα συστήματα πιδάκων όπου οι πίδακες φαίνονται στο ορατό φως. Ο πίδακας είναι η λαμπρότερη περιοχή της εσωτερικής διπλής ράδιο- πηγής. Πιο έξω υπάρχουν 2 άλλες ράδιο- πηγές μεγαλύτερης έκτασης. Αυτό αποτελεί ένδειξη πολλαπλών ενεργών κύκλων του γαλαξιακού πυρήνα. Οι πίδακες είναι χωρίς γραμμές εκπομπής, με ισχυρή πολικότητα, άρα σχετικιστικοί.

Ο γαλαξίας είναι ένας κανονικός E0 με ισχυρή, εκτεταμένη για απόσταση kpc εκπομπή(H α) και (OII) με ταχύτητα 300 km/sec σχετικά προς το σύστημα. Λόγω της κίνησης των αερίων στην περιοχή του πυρήνα συμπεραίνουμε την ύπαρξη κεντρικής μαύρης τρύπας μεγάλης μάζας.

Κένταυρος Α (NGC 5128). Σφαιρικός γαλαξίας Ε0 με πλατιά λωρίδα σκόνης. Με διάμετρο 3,8 Μpc είναι ο κοντινότερος σε μας ραδιογαλαξίας. Έχει 2 μεγάλους εξωτερικούς λοβούς με συνολική έκταση 700kpc. Μέσα σε αυτούς βρίσκεται μια διπλή ραδιοπηγή με έναν πολύ αναπτυγμένο πίδακα, που λάμπει και στις ακτίνες Χ. Η ζώνη σκόνης και ένα κέλυφος της ελλειπτικής κατανομής αστέρων δείχνουν ότι η σημερινή δομή του προέρχεται από την προ 100 εκατομμυρίων έτη συγχώνευση ενός σπειροειδή με έναν ελλειπτικό γαλαξία. Η ζώνη σκόνης μας κρύβει τον πυρήνα στο ορατό. Φάσματα στο κοντινό υπέρυθρο του πυρήνα δείχνουν εκπομπή(SiIV), (FeII) και μοριακό υδρογόνο, η γραμμή του οποίου προέρχεται από έναν δίσκο, που το προφίλ της περιστροφής του μας δίνει με ακρίβεια τη μάζα της κεντρικής μ. τρύπας (450 εκ. ηλιακές μάζες).

Φυσικά μοντέλα για ενεργούς γαλαξίες.

Σήμερα συμφωνούμε ότι η βασική πηγή ενέργειας των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων είναι η έλξη (συσώρευση) μάζας από μια πολύ μεγάλης μάζας μαύρη τρύπα στο κέντρο του γαλαξία, επειδή

- 1) Η περιοχή του πυρήνα παρουσιάζει μεγάλη πυκνότητα. Ακόμα και τα πιο λαμπρά Κβάζαρ έχουν περιόδους σε κλίμακα μηνών. Έτσι η ακτινοβολία πρέπει να προέρχεται από περιοχή με διάμετρο < 0,1pc. Το απαραίτητο πλήθος αστέρων $O3$ (> 10 δις) που να δικαιολογεί τόση μάζα ως εναλλακτική πηγή ακτινοβολίας δεν θα μπορούσε να χωρέσει σε μια τόσο μικρή περιοχή.
- 2) Είναι γεγονός ότι σε κάθε πυρήνα μεγάλου γαλαξία βρίσκεται μια μαύρη τρύπα μεγάλης μάζας. Οι τυπικές μάζες των μ. τρυπών είναι μεταξύ 4 εκατομμύρια (στον Γαλαξία μας) ως 3 δις ηλιακές μάζες (M87).

Λαμπρότητα και μάζα της μ. τρύπας.

Υπάρχει σχέση μεταξύ της παρατηρήσιμης λαμπρότητας ενός γαλαξία και της μάζας της μ. τρύπας του. Έτσι για τους Seyfert έχουμε όριο τις 10 εκατομμύρια ηλιακές μάζες και για τα λαμπρά Κβάζαρ τα μερικά δις ηλ. μάζες.

Η περιοχή των πλατιών γραμμών εκπομπής.

Το πλάτος των γραμμών εκπομπής (1000-10000 km/sec) είναι σημαντικά πιο μεγάλο από ότι σε θερμικά πλάτη Ντόπλερ και παραπέμπει σε νέφη που κινούνται με μεγάλες ίδιες ταχύτητες. Η μεγάλη ταχύτητα οφείλεται στο ότι βρίσκονται πολύ κοντά στη μ. τρύπα. Η περιοχή αυτή ionίζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία του δίσκου προσαύξησης της μαύρης τρύπας. Η κατάσταση ionισμού ενός νέφους εξαρτάται από την αναλογία των ionισμένων προς τα συνολικά άτομα. Ο καθορισμός του βαθμού ionισμού για δεδομένη μεταλλικότητα μας επιτρέπει τον υπολογισμό της αναλογίας των φασματικών γραμμών. Οι παρουσία γραμμών εκπομπής από διαφορετικές βαθμίδες ionισμού του ίδιου στοιχείου μας παραπέμπουν σε ένα πλατύ φάσμα στις υπεριώδεις που δεν προέρχεται από θερμική πηγή (δίσκος προσαύξησης). Μιας και τα φάσματα των πλατιών γραμμών εκπομπής των <αδύναμων> Seyfert 1 με αυτά των πολύ λαμπρών Κβάζαρ διαφέρουν ελάχιστα, μπορούμε να καταλήξουμε σε μια ενιαία παράμετρο ionισμού.

Το μέγεθος της πηγής πλατιών γραμμών εκπομπής κατά την αναγωγή της ηχώ του φωτός (reverberation mapping).

Μια πρώτη εκτίμηση της ακτίνας αυτής της περιοχής μας δίνεται από την παράμετρο ionισμού, που καθορίζεται από την συμπεριφορά των γραμμών, μετά από παραδοχή της πυκνότητας του (H) και μέτρηση της λαμπρότητας της συνεχής εκπομπής. Ακόμα καλύτερα, για μεταβλητές πηγές μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος από την καθυστέρηση της αύξησης της συνεχής (δίσκος προσαύξησης) και αυτής των πλατιών γραμμών. Για παράδειγμα, στον Seyfert NGC 5548 έχουμε χρόνο αντίδρασης διάφορων γραμμών των στοιχείων από 2- 22 ημέρες.

Η περιοχή των στενών γραμμών εκπομπής (narrow line region, NLR).

Τα νέφη, στα οποία δημιουργούνται οι στενές γραμμές απέχουν από το γαλαξιακό κέντρο 10- 100 pc. Η εκπομπή απαγορευμένων γραμμών έχει ως προϋπόθεση την ύπαρξη ανώτερου ορίου στην

πυκνότητα. Έτσι η μέση τιμή μας δίνει θερμοκρασία 16000 K. Αυτό μας λέει ότι σε κάποιους Seyfert μπορεί ο ιονισμός στην περιοχή των στενών γραμμών να μην προέρχεται από τις υπεριώδεις, αλλά από κρουστικά κύματα. Σε Seyfert 2 παρατηρούμε συχνά μια εκτεταμένη περιοχή στενών γραμμών (extended narrow line region, ENLR, EELR). Αυτές οι περιοχές μπορεί να έχουν έκταση μερικά kpc. Το εξωτερικό όριό τους έχει κωνική μορφή, άρα η μορφή κορίνας ανήκει σε ιονίζουσες υπεριώδεις.

Η προέλευση των ακτίνων Χ.

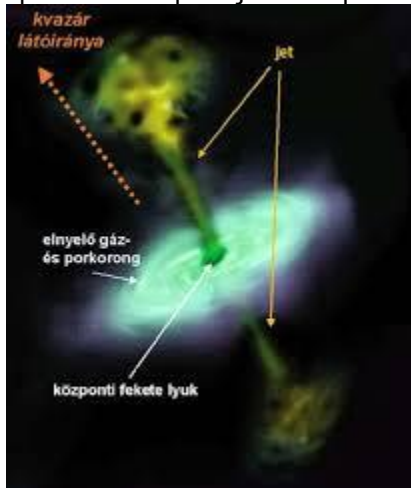
Η προέλευση των μαλακών ακτίνων Χ δεν είναι ξεκάθαρη, και μάλλον πρόκειται για την φασματική <ουρά> μεγάλης συχνότητας από την ακτινοβολία μελανού σώματος του δίσκου προσαύξεσης. Η σκληρή ακτινοβολία Χ εξηγείται με το φαινόμενο Compton. Ταχέως κινούμενα θερμικά ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε ένα στέμμα πάνω από τον δίσκο προσαύξεσης διασπείρουν φωτόνια στο οπτικό φάσμα από τον δίσκο προσαύξεσης σε μήκη κύματος ακτίνων Χ. Σε μερικά Blazar παρατηρούμε σχετικιστική ακτινοβολία με μήκη ως τις ακτίνες Χ.

Η προέλευση των ραδιοκυμάτων

Τα εκτεταμένα ραδιοκύματα των ραδιογαλαξιών και των Κβάζαρ είναι σχετικιστικές ακτινοβολίες. Δημιουργούνται από πολύ σχετικιστικά ηλεκτρόνια (ή και ποζιτρόνια) στα μαγνητικά πεδία. Σε μερικές περιπτώσεις έχουμε έκλυση θερμικών ραδιοκυμάτων (ελεύθερη-ελεύθερη ακτινοβολία) από την περιοχή του πυρήνα.

Η δημιουργία των διπλών πηγών ραδιοκυμάτων.

Πρόκειται για 2 πολύ παράλληλα ρεύματα πλάσματος (πίδακες) από την κεντρική περιοχή κοντά στη μ. τρύπα. Οι λεπτομέρειες της επιτάχυνσης αυτών των ρευμάτων δεν είναι γνωστές. Είναι όμως σίγουρο ότι τα περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία που δεσμεύονται στον δίσκο προσαύξεσης ή στην μ. τρύπα έχουν καθοριστική σημασία στην επιτάχυνση και στην ευθυγράμμισή τους. Στα AGN οι πίδακες μπορούν να φτάσουν σε σχετικιστικές ταχύτητες. Πιστεύουμε ότι οι κατηγορίες FR1 και FR2 διαφέρουν στις ταχύτητες των πιδάκων. Στις πηγές FR 1 έχουμε σχετικά πυκνούς (βαριούς) πίδακες με σχετικιστικές ταχύτητες, ενώ στις πηγές FR 2 πολύ ελαφριούς, πολύ σχετικιστικούς πίδακες (μάλλον πλάσμα ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων). Το μοντέλο Blandford και Rees για κλασσικές διπλές ραδιοπηγές (FR2) λέει ότι από το κέντρο εκτείνονται 2 αντί παράλληλοι πίδακες. Στο σημείο όπου οι πίδακες συγκρούονται με την ύλη του περιβάλλοντος σχηματίζονται 2 κρουστικά κύματα. Το κύριο κρουστικό κύμα εισβάλλει στην εξωτερική ύλη ενώ ο πίδακας επιβραδύνει σε ένα εσωτερικό κρουστικό κύμα. Σε αυτό επιταχύνονται ηλεκτρόνια σε μεγάλη σχετικιστική ταχύτητα και εκπέμπουν εντατικά σχετικιστική ακτινοβολία (καυτά σημεία). Από εκεί το πλάσμα του πίδακα κινείται πλάγια και προς τα πίσω μεταξύ εξωτερικού κρουστικού κύματος και πίδακα, δημιουργώντας τους λοβούς. Από την ισορροπία της πίεσης στην ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ του πίδακα (ταχύτητα, πυκνότητα) και της περιβάλλον ύλης (πυκνότητα) μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα διάδοσης του κρουστικού κύματος και αυτή των καυτών σημείων.



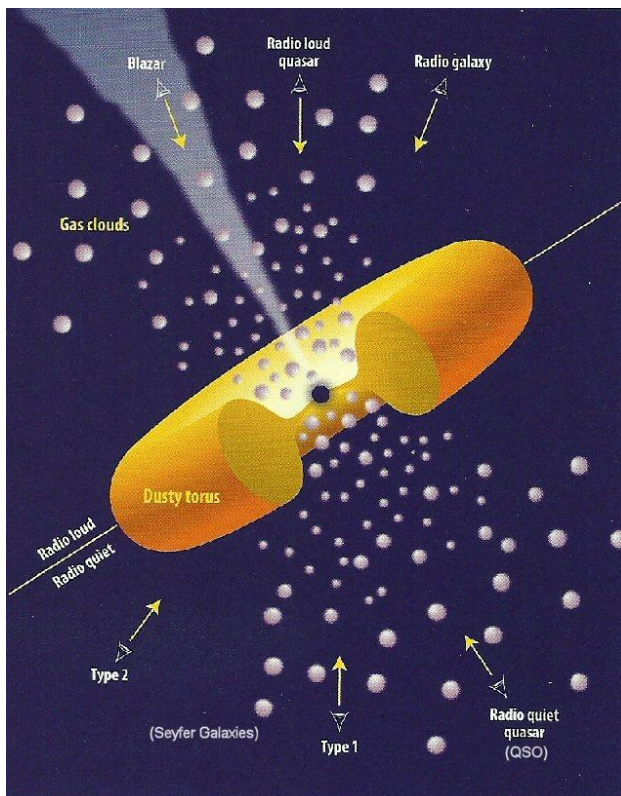
Αφού οι σχετικιστικές απώλειες αυξάνονται με το μήκος κύματος, τα σχετικιστικά φάσματα <γέρνανε> μετά από την στιγμή της επιτάχυνσης των ηλεκτρονίων. Από την συχνότητα αυτής της καμπής και με την παραδοχή της ισομέρειας μεταξύ μαγνητικού πεδίου και σχετικιστικής ενέργειας σωματιδίων μπορούμε να συμπεράνουμε την ηλικία της ραδιοπηγής (1- 100 εκ. έτη). Από την απόσταση του καυτού σημείου με τον πυρήνα βρίσκουμε την ταχύτητα επέκτασης του κρουστικού κύματος. Μερικές φορές παρατηρούμε ζευγάρια λοβών σε διαφορετικές αποστάσεις αλλά προς την ίδια κατεύθυνση, που αποτελούν συνεχόμενα ξεσπάσματα του πίδακα. Σε περίπτωση που ο ραδιογαλαξίας κινείται μέσα σε σμήνος με μεγάλη ταχύτητα σε σχέση με το καυτό αέριο του σμήνος μένουν οι πιο αργές εξωτερικές περιοχές των πιδάκων πίσω, και παίρνουν ένα τοξοειδές σχήμα ή μοιάζουν με ουρές κομητών (head- tail galaxy).

Φαινόμενα υψηλής ενέργειας.

Μερικά πολύ μεταβλητά Κβάζαρ και BL είναι πηγές ακραία μεγάλης ενέργειας ακτίνων γ. Αυτές σχηματίζονται από ακτίνες μικρότερης ενέργειας, μέσω του φαινομένου Compton σε ηλεκτρόνια μεγάλης σχετικότητας. Είναι τα ίδια ηλεκτρόνια που δημιουργούν την σχετικιστική ακτινοβολία.

- Ουσιαστικά πρόκειται πάντα για μια μαύρη κεντρική τρύπα με έναν δίσκο προσαύξεσης, και τους 2 πίδακες πλάσματος που εκρέουν από αυτήν.
- Ανάλογα την γωνία θέασής μας αλλάζει η εκπομπή που δεχόμαστε, και ο τύπος του αντικειμένου.
- Σε αυτή τη φάση της εξέλιξής του ο γαλαξίας δεν παρουσιάζει σημαντική αστρογέννηση στις εξωτερικές περιοχές του. Όμως ο ενεργός γαλαξιακός πυρήνας δημιουργεί αστρογέννηση σε περιοχές κοντά στους πίδακες.

Για να δημιουργηθεί μια τόσο μεγάλη κεντρική μαύρη τρύπα, πρέπει να μεταναστεύσει υλικό από τις εξωτερικές περιοχές (δίσκο) στο εσωτερικό του, κάτι που συμβαίνει μετά από συγχώνευση γαλαξιών.



Σημείωση 1

Το Κβάζαρ PDS456

Το Κβάζαρ PDS456 επιταχύνει το αέριο γύρω του σε όλες τις κατευθύνσεις και όχι μόνο στους δυο πίδακές του. Το αέριο κοντά στην μαύρη τρύπα εξαπλώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις με σχετικιστική ταχύτητα ($1/3$ της ταχύτητας του φωτός). Παρατηρήθηκε το χαρακτηριστικό φαινόμενο Ντόπλερ για τέτοιες κινήσεις αέριων (απομάκρυνση αλλά και κίνηση προς εμάς).

Σημείωση 2.

Ο γαλαξίας IC310

Ο γαλαξίας IC310 στον Περσέα είχε μια αναλαμπή στις ακτίνες γ που μετρήσαμε στην δευτερεύουσα ακτινοβολία Cherenkov στις 13-11-2014. Η αναλαμπή προέρχεται από ροή ύλης στον δίσκο προσαύξησης της μ . τρύπας και είχε έντονη μεταβλητότητα. Όσο πιο γρήγορες είναι οι μεταβολές της λαμπρότητας από μια πηγή τόσο πιο μικρή είναι αυτή. Οι παραπάνω μεταβολές ήταν σε χρονική διάρκεια ενός λεπτού, κάτι που αντιστοιχεί σε πηγή εκπομπής από το $1/5$ του οριζοντα γεγονότων της μ . τρύπας (λόγω πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός η μεταβολή δεν μπορούσε να καλύψει όλον τον οριζοντα γεγονότων). Σε άλλες περιπτώσεις (Blazar) ο μικρός χρόνος οφείλεται στη μικρή κλίση της δέσμης προς την γραμμή θέασης, κάτι που ενισχύει την δέσμη και συστέλλει τον χρόνο της μεταβλητότητας, για σχετικιστικούς λόγους. Στην περίπτωση μας όμως έχουμε κλίση 10 - 20 μοίρες. Έτσι η μόνη εξήγηση είναι ότι η εκπομπή έγινε από μια περιοχή μικρότερη του οριζοντα γεγονότων, που έχει να κάνει με την ροή πλάσματος σε ηλεκτρικό πεδίο, όμοια με τις διεργασίες στα magnetars (παλσαρ με εξαιρετικά ισχυρό μαγνητικό πεδίο).

Σημείωση 3.

Παρατηρήθηκαν ισχυρά μαγνητικά πεδία κοντά σε μαύρη τρύπα.

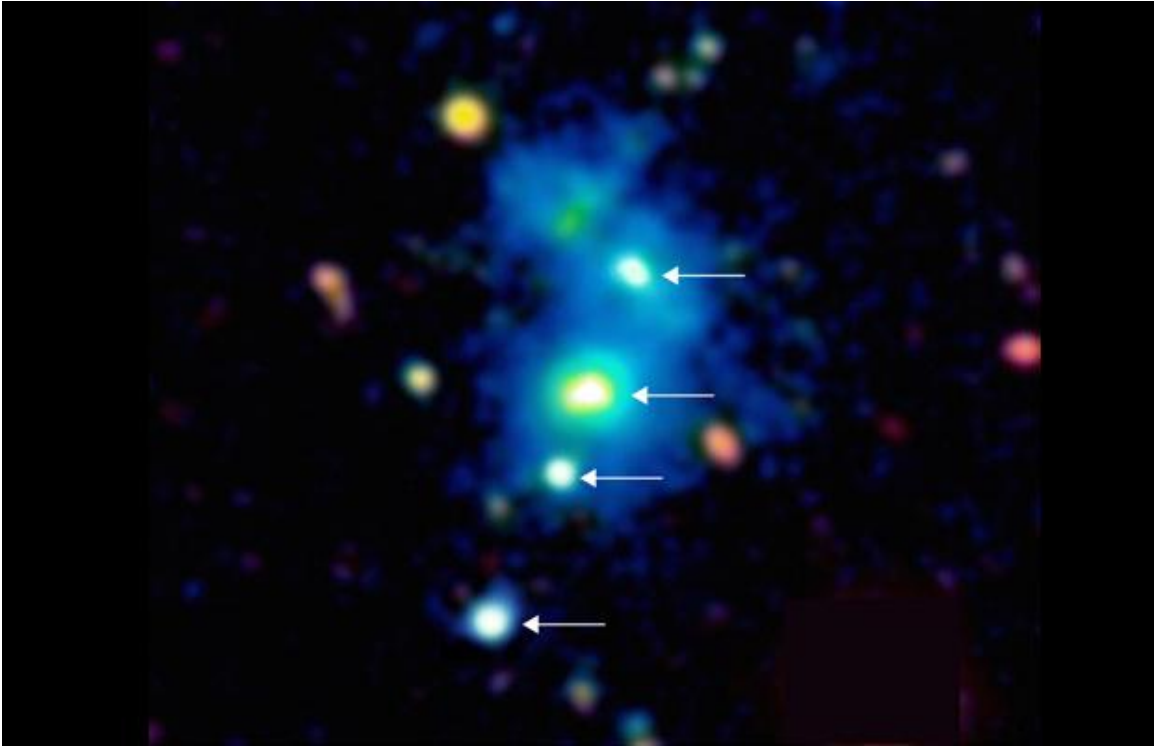
Στο AGNPSK 1830-211 παρατηρήθηκαν με το ALMA στα $0,3$ mm ισχυρά μαγνητικά πεδία στην βάση του πίδακα που βλέπουμε, πολύ κοντά στην μαύρη τρύπα. Η υποψία της συμμετοχής ισχυρών μαγνητικών πεδίων στην δημιουργία των πιδάκων υπήρχε από καιρό. Η επίδραση των μαγνητικών πεδίων περιστρέφει την κατεύθυνση του πολωμένου φωτός του πίδακα. Αυτό εξαρτάται από την ισχύ του πεδίου και την πυκνότητα του μέσου που συναντάει ο πίδακας, στην περίπτωση μας το ιονισμένο αέριο. Οι μετρήσεις δείχνουν πεδίο δεκάδων Gauss σε απόσταση $0,03$ έτη φωτός από την μαύρη τρύπα. Αυτή η απόσταση είναι ότι πιο κοντινό έχουμε δει σε περιοχή δημιουργίας σχετικιστικών πιδάκων.

Ο γαλαξίας αυτός έχει $z=2,5$. Το φως του μας έρχεται από την εποχή που το σύμπαν είχε το $1/5$ της σημερινής του ηλικίας, και μπορούμε να το παρατηρούμε μέσω ενός ισχυρού βαρυτικού φακού.

Σημείωση 4.

Quasar quartett

Μέχρι τώρα γνωρίζαμε ότι τα Κβάζαρ έχουν απόσταση εκατοντάδων εκ. ετών φωτός ανάμεσά τους. Έχουμε ανακαλύψει περίπου μισό εκατομμύριο Κβάζαρ, μεταξύ των οποίων μόλις 100 διπλά και ένα τριπλό Κβάζαρ. Τώρα βρέθηκε ένα τετραπλό σύστημα σε ένα νέφος που ονομάστηκε νεφέλωμα τζακποτ! Αφού επιβεβαιώθηκε ότι δεν πρόκειται για την δράση κάποιου βαρυτικού φακού, με την βοήθεια του νέφους Lyman-Alpha σε ερυθρολίσθηση $z=2$ (ηλικία συμπαντος 4 δις ετη) παρατηρήθηκε ένα τεράστιο πυκνό ψυχρό νεφέλωμα υδρογόνου. Το κουαρτέτο των Κβάζαρ το κάνει να λάμπει μέσω της υπεριώδης ακτινοβολίας του. Μέσα στο νέφος δημιουργείται (συσσωρεύεται) ένα γαλαξιακό σμήνος, με 4 από τους γαλαξίες να περνάνε την φάση του Κβάζαρ. Οι πρωτογαλαξίες στο νέφος αυτό είναι σε κοντινές μεταξύ τους αποστάσεις και αλληλεπιδρούν βαρυτικά. Έτσι σε κάποιους από αυτούς οι κεντρικές μ . τρύπες τροφοδοτούνται με πολύ αέριο και σκόνη, κινητοποιώντας την διαδικασία του ενεργού γαλαξιακού πυρήνα. Βάσει της θεωρίας το αέριο του νέφους θα έπρεπε να είναι θερμό και αραιό. Άρα ή έχουμε μια καινούργια διαδικασία δημιουργίας Κβάζαρ ή το νέφος τελικά δεν συσχετίζεται με το κουαρτέτο, αλλά απλά ιονίζεται από την ακτινοβολία του.



Σημείωση 5.

Ο από μέσα προς τα έξω θάνατος των γαλαξιών.

Η μακροχρόνια επίδραση του AGN στερεώνει το εσωτερικό ενός γαλαξία από τις προϋποθέσεις και τα υλικά της αστρογέννησης. Έτσι ο (μεγάλης μάζας) γαλαξίας περνάει στην κόκκινη ακολουθία πρώτα από μέσα, ενώ στις εξωτερικές περιοχές του μπορεί να έχει αναζωπύρωση της αστρογέννησης λόγω συσσώρευσης μεσογαλαξιακού αερίου. Οι γιγάντιοι σφαιροειδείς (πρώην ελλειπτικοί και τώρα <νεκροί>) γαλαξίες είχαν μεγάλη έκρηξη αστρογέννησης από την φάση του Κβάζαρ, και η αστρική πυκνότητά τους στην κεντρική περιοχή είναι 10πλάσια αυτής τους γαλαξία μας. Τώρα υπάρχουν κυρίως ερυθροί γίγαντες εκεί και όχι μπλε νεογέννητα αστέρια. Από την δράση του Κβάζαρ φαίνεται να απομακρύνθηκε το αέριο για την αστρογέννηση από το γαλαξιακό κέντρο, αλλά επίσης και να εμποδίστηκε η εισροή αερίου προς αυτό.

Σημείωση 6

CID-947

Οι υπερμεγέθης μαύρες τρύπες στα κέντρα ορισμένων γαλαξιών, εκατομμυρίων ως και δισεκατομμυρίων ηλιακών μαζών, αποτελούν μόλις το 0,2- 0,5 της συνολικής μάζας του γαλαξία τους. Όμως στον CID-947, με $z = 3,33$, η μαύρη τρύπα (7 δις ηλιακών μαζών) αποτελεί το 10% της συνολικής μάζας του γαλαξία. Η μεγάλη του ερυθροποίηση μας δείχνει ότι πρόκειται για νεαρό γαλαξία, όταν το σύμπαν είχε ηλικία μόλις 2 δις έτη. Έτσι, ενώ μέχρι τώρα πιστεύαμε ότι οι κεντρικές μαύρες τρύπες μεγαλώνουν μαζί με τον γαλαξία τους, σε αυτήν την περίπτωση πρώτα η υπερμεγέθης μαύρη τρύπα έφτασε στην μέγιστη μάζα της, και ο γαλαξίας <κτίζεται> ακόμα γύρω της. Να σημειώσουμε ότι φασματοσκοπικά παρατηρούμε έντονη αστρογέννηση στον γαλαξία. Η μαύρη τρύπα δεν φαίνεται να συσσωρεύει πλέον σημαντικές ποσότητες ύλης (ο γαλαξίας δεν παρουσιάζει ενεργό πυρήνα), όπως έκανε με μεγάλη ένταση μέχρι τότε. Αυτό μας δείχνει ότι η αναλογία της μάζας της κεντρικής μαύρης τρύπας με την συνολική του γαλαξία θα αποκατασταθεί, αφού εκτιμάται η συνολική μάζα του γαλαξία να φτάσει το 1 τρις ηλιακές.

Σημείωση 7 PCG 1302-102

Το Κβάζαρ PCG 1302-102 βρίσκεται στην Παρθένο και απέχει 3,5 δις έτη. Πρόκειται για έναν ενεργό ελλειπτικό γαλαξία, με 2 μαύρες τρύπες να περιφέρονται η μια γύρω από την άλλη σε απόσταση 0,06-0,22 έτη φωτός. Οι 2 μαύρες τρύπες κινούνται μέσα από έναν δίσκο σκόνης και αερίων, με αποτέλεσμα να συσσωρεύουν πολύ ύλη. Αυτή δεν πέφτει κατευθείαν στις μαύρες τρύπες, λόγω της διατήρησης στροφορμής της, αλλά συσσωρεύεται σε δίσκους συσσώρευσης. Το υλικό εκεί θερμαίνεται πάρα πολύ, με αποτέλεσμα να εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλης ενέργειας. Η πιο λαμπρή από τις 2 μαύρες τρύπες (λόγω του δίσκου συσσώρευσης) είναι η μικρότερη και κινείται με 20000 km/s γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους, σχεδόν με το 7% της ταχύτητας του φωτός! Η μικρότερης μάζας μ. τρύπα κινείται πιο κοντά στην πυκνότερη από ύλη περιοχή και έτσι συσσωρεύει περισσότερο ύλη, για αυτό λάμπει και περισσότερο. Λόγω μεγάλης ταχύτητας της μ. τρύπας είναι έντονο το φαινόμενο Ντόπλερ, ανάλογα το αν κινείται προς εμάς η απομακρύνεται. Το φως από την μ. τρύπα ενισχύεται από σχετικιστικά φαινόμενα. Στο ορατό το σύστημα εμφανίζει μεταβλητότητα. Αν αυτή οφείλεται σε σχετικιστικά φαινόμενα, πρέπει να εμφανίζεται στο υπεριώδες δυόμιση φορές ενισχυμένη. Αυτό πράγματι το επιβεβαίωσαν οι μετρήσεις του Galax και του Hubble. Στα επόμενα εκατομμύρια έτη αναμένεται να συγχωνευτούν οι δύο μαύρες τρύπες.

Σημείωση 8

Quasar OJ 287

Περιλαμβάνει μια τεράστια, 18 δις ηλιακών μαζών (από τις πιο μεγάλες που γνωρίζουμε) κεντρική μαύρη τρύπα και μια επίσης τεράστια, 100 εκατομμυρίων ηλιακών μαζών (25 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του Γαλαξία μας) μαύρη τρύπα. Η τελευταία περιφέρεται γύρω από την πρώτη και όποτε διασχίζει τον δίσκο συσσώρευσης της μεγαλύτερης ο γαλαξίας παρουσιάζει μια κορύφωση λαμπρότητας. Με την χρήση της σχετικότητας υπολογίστηκε με μεγάλη ακρίβεια την επόμενη αναλαμπή μετά το 2005 και το 2007 (πρώτη και δεύτερη σύγκρουση με τον δίσκο προσαύξησης), που έγινε τον Δεκέμβριο του 2015. Αυτές συμβαίνουν όταν ο μικρότερος γαλαξίας πλησιάζει το περί-...μαυρότρυπο (αυθαίρετος ορισμός) και περνάει 2 φορές τον δίσκο προσαύξησης. Να σημειώσουμε ότι ο δίσκος προσαύξησης περιέχει σημαντικό κλάσμα της συνολικής βαρυνικής ύλης του γαλαξία σε ένα Κβάζαρ. Για την επιτυχία τόσης ακρίβειας έπρεπε να υπολογίσει 2 παράγοντες. Η σχετικιστική μετατόπιση των αψίδων (περιοδική μετατόπιση του πλησιέστερου σημείου ανάμεσα στις 2 μαύρες τρύπες κατά την τροχιά της μικρότερης) και η εκπομπή βαρυτικών κυμάτων που κάνει το σύστημα των 2 μαύρων τρυπών να χάνει ενέργεια, με αποτέλεσμα την όλο και μικρότερη τροχιά της μικρότερης μαύρης τρύπας και την τελική (μετά από 10000 έτη) συγχώνευσή τους. Η μετατόπιση των αψίδων (κατά 39 μοίρες σε κάθε περιφορά, η μεγαλύτερη που βρέθηκε ποτέ) θα φέρει την τροχιά της μικρότερης μαύρης τρύπας σχεδόν παράλληλα στον δίσκο προσαύξησης της μεγαλύτερης, κάτι που αναμένουμε να επιβεβαιωθεί παρατηρησιακά με κορυφώσεις εκπομπής τον Ιούλιο του 2019 και τον Ιούλιο του 2022, πριν συνεχίσει τον κανονικό του κύκλο την δεκαετία του 2030.

Η επιβεβαίωση αυτή θα αποτελέσει σημαντική απόδειξη της σχετικιστικής θεωρίας.

