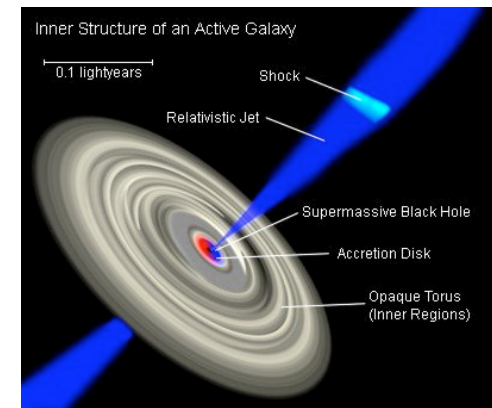
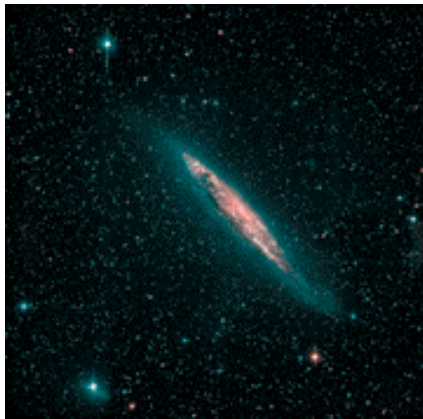


Εισαγωγή στους Ενεργούς Γαλαξιακούς Πυρήνες

Θανάσης Ακύλας

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών



Ιστορική αναδρομή

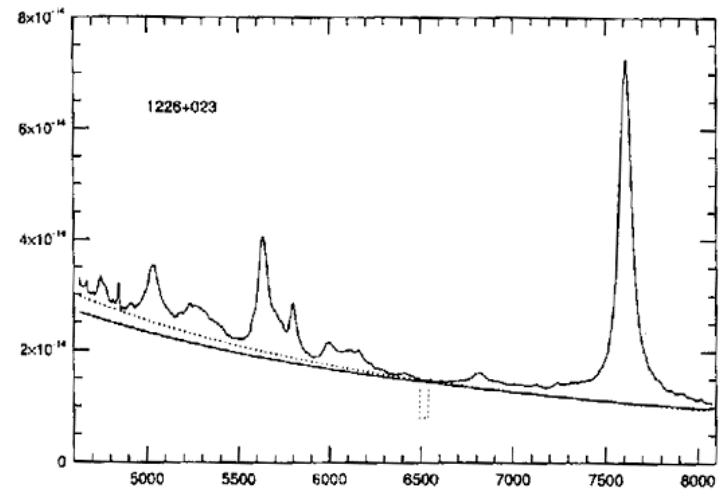
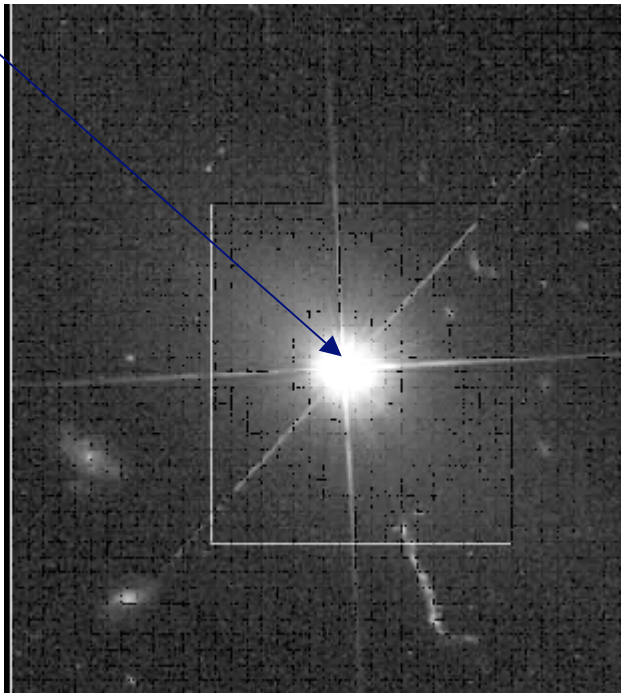
20.5 MHz Recording 16 Sept 1932 Karl Jansky



- Η συστηματική παρατήρηση στα ραδιοκύματα ξεκίνησε το 1932
- Οι οπτικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι πολλά από τα αντικείμενα είχαν σημειακή μορφή και δεν αντιστοιχούσαν σε κάποιο γαλαξία
- Το φάσμα των αντικειμένων δεν ήταν φάσμα φυσιολογικού γαλαξία αλλά παρουσίαζε γραμμές εκπομπής

Ιστορική αναδρομή

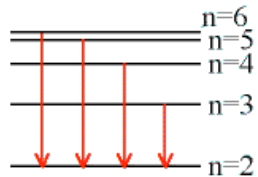
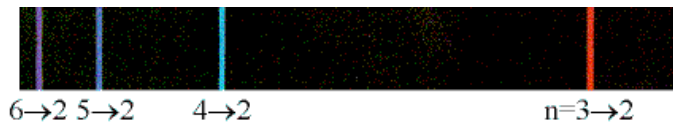
Πυρήνας 3C 273



Οπτικές παρατηρήσεις

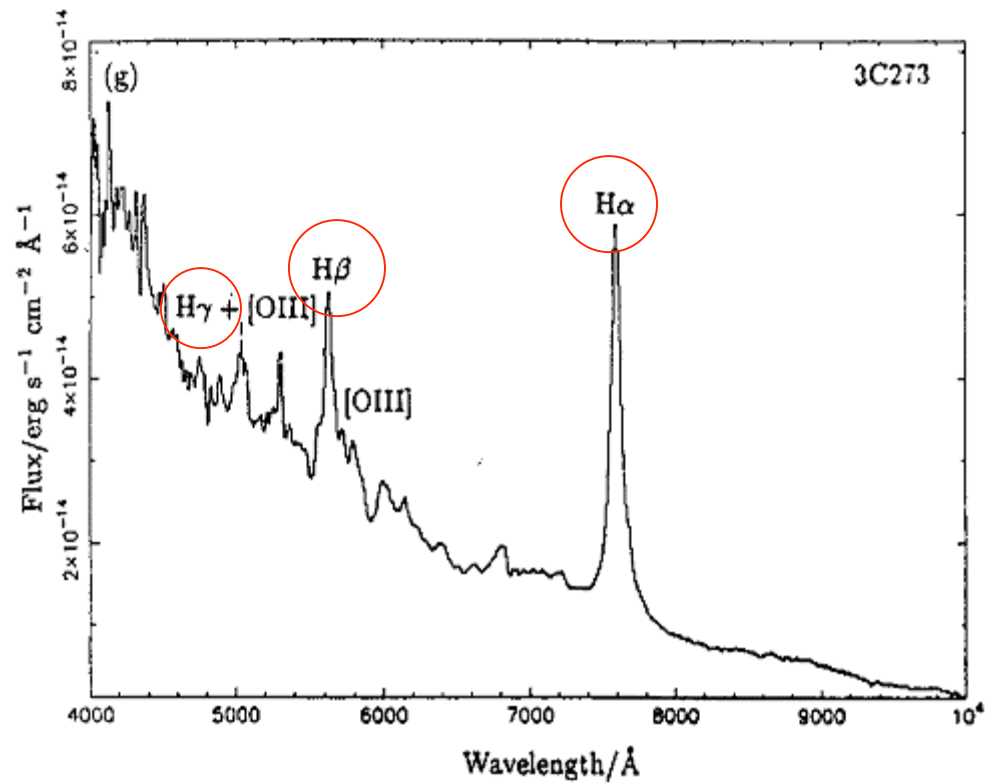
Ιστορική αναδρομή

Το 1963 ο Schmidt ταυτοποίησε αυτές τις γραμμές εκπομπής με τις γραμμές Balmer του υδρογόνου για $z=0.158$!



————— $n=1$ (Ground State)

Οπτικό φάσμα του 3C 273



Ιστορική αναδρομή

Τα αντικείμενα αυτά ονομαστήκαν quasi stellar objects (quasars):

1. Πολύ υψηλές λαμπρότητες σε όλα τα μήκη κύματος
2. Φαρδιές γραμμές εκπομπής
3. Πιθανή παρουσία μελανών οπών στο κέντρο
4. Μεταβολές στην ροή
5. Μικρό μέγεθος

Χαρακτηριστικά των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων

A) Υψηλή λαμπρότητα

$$L_{\text{QSO}}/L_{\text{GAL}}=0.01-10^4, L_{\text{GAL}}=10^{44} \text{ ergs s}^{-1}$$

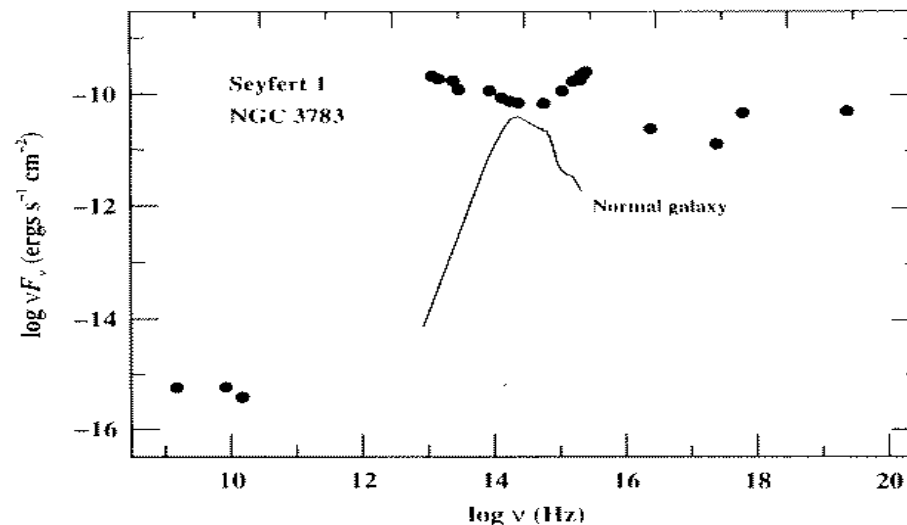
Εάν η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από εκπομπή μέλανος σώματος τότε

$$L=2\pi r^2\sigma T^4$$

Για την περίπτωση του 3C 273: $d=640 \text{ Mpc}$ και $L=2.2 \cdot 10^{47} \text{ ergs s}^{-1}$.

Άρα $T \sim 10^6 \text{ K}$ ή $\nu = E/h = 10^{16} \text{ Hz}$.

Το φάσμα όμως εμφανίζει σταθερή εκπομπή σε πολύ υψηλότερες συχνότητες!



Χαρακτηριστικά των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων

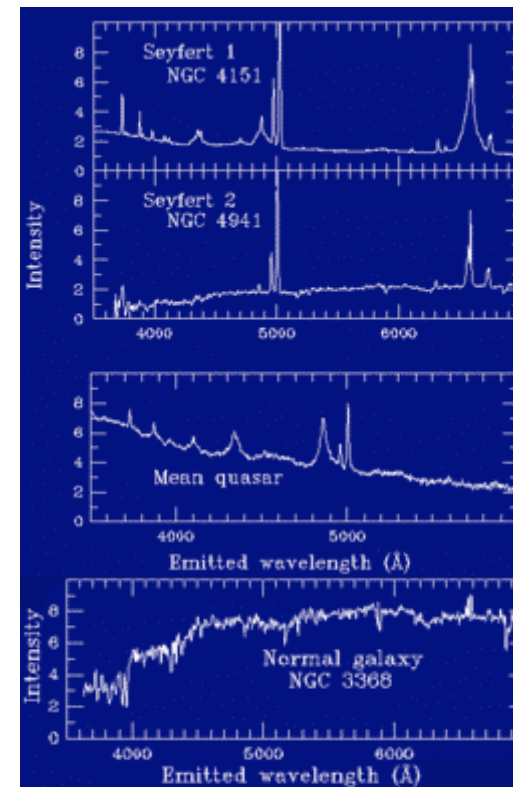
A) Γραμμές εκπομπής

Σε αντίθεση με τους φυσιολογικούς γαλαξίες εμφανίζονται πολύ ισχυρές γραμμές εκπομπής.

Το εύρος των γραμμών υποδηλώνει ταχύτητες μέχρι ~ 10000 km/s

Η πλάτυνση των γραμμών ΔEN μπορεί να προέρχεται από θερμικές κινήσεις.

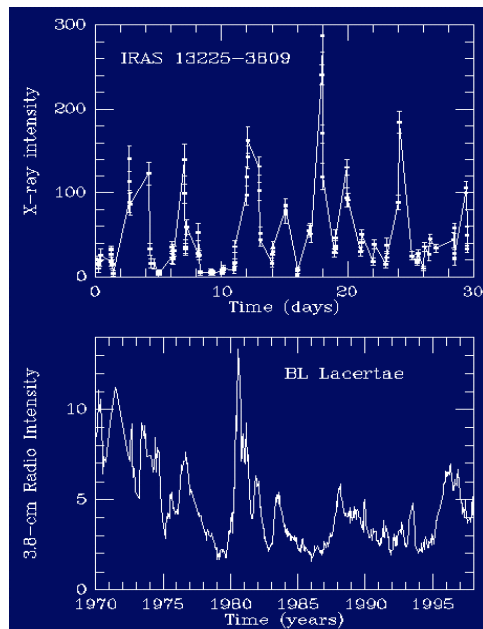
$$v = (3kT/m_p) \rightarrow T \sim 10^9 \text{ K!}$$



Χαρακτηριστικά των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων

Γ) Μεταβλητότητα στη ροή

Η μεταβλητότητα στην ροή είναι κύριο χαρακτηριστικό των ενεργών πυρήνων και παρουσιάζει χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται συνήθως από ώρες μέχρι χρόνια.



Στις ακτίνες-Χ η μεταβλητότητα στη ροή είναι έντονη και γρήγορη και εύκολα μετρήσιμη.

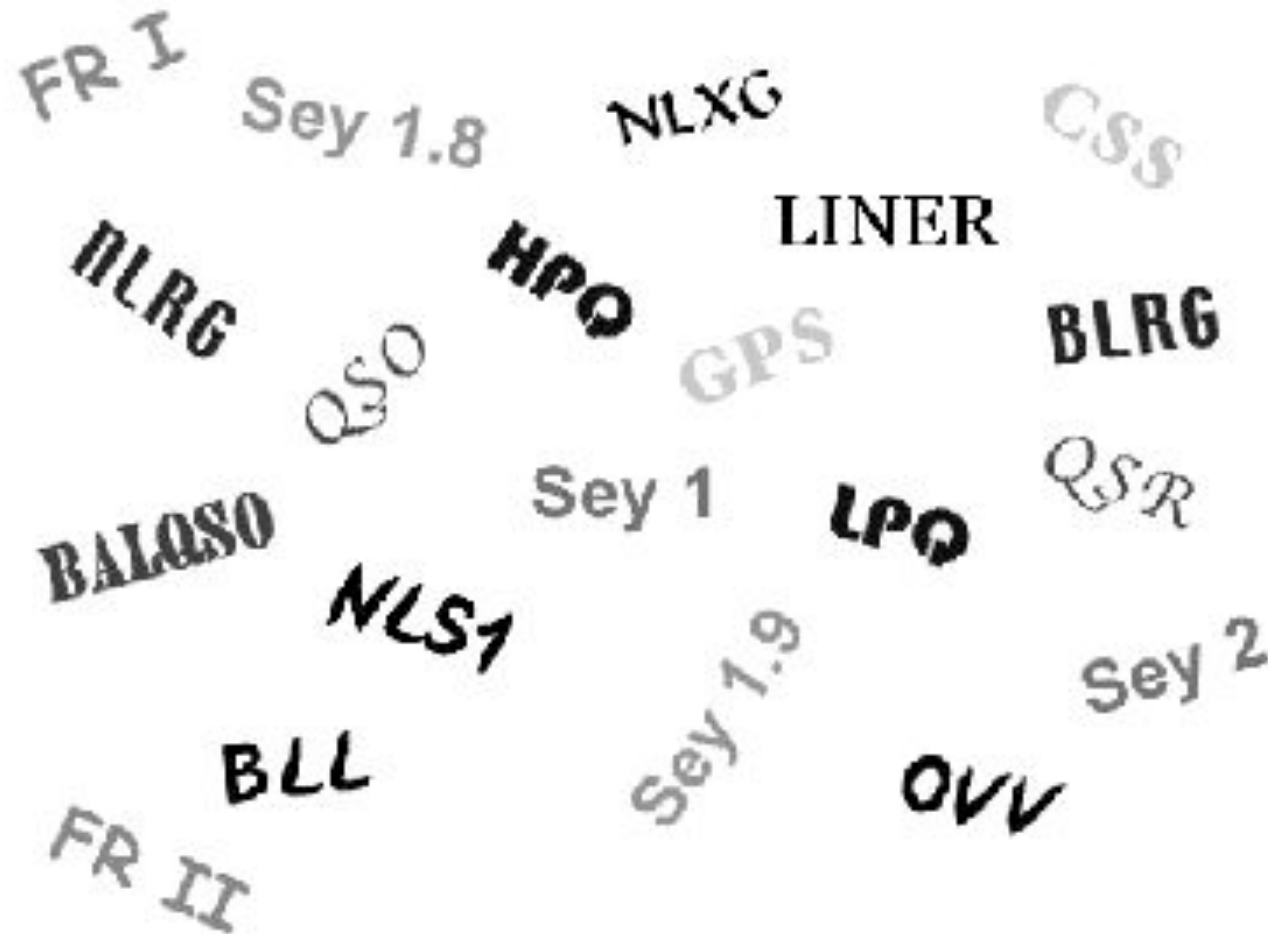
Λόγω της διεισδυτικότητας των ακτίνων-Χ μπορούμε να θεωρήσουμε ότι προέρχονται από την κεντρική περιοχή του ενεργού πυρήνα. Άρα η μεταβολές στην ροή στις ακτίνες-Χ δίνουν μία αίσθηση του μεγέθους του πυρήνα

$$R \sim c \cdot \Delta t \rightarrow R \sim \text{μερικά light days}$$

Πώς είναι δυνατόν μια μικρή περιοχή με μέγεθος συγκρίσιμο με αυτό του Ηλιακού μας συστήματος να εκπέμπει τόση ενέργεια όση ένα ολόκληρος γαλαξίας;

Μεγάλο εύρος λαμπροτήτων + φαρδιές γραμμές εκπομπής + μικρό μέγεθος \Rightarrow πιθανή ύπαρξη μελανών οπών στα κέντρα αυτών των αντικειμένων

Η οικογένεια των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων



Η οικογένεια των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων

A) Ραδιοασθενείς (90%)

B) Ραδιοίσχυροί (10%)

Όλοι οι ενεργοί γαλαξίες παρουσιάζουν
ραδιοεκπομπή.

Ορίζουμε $R_{r-o} = F(6\text{GHz})/F(4400\text{\AA})$

$R_{r-o} > 10$ ραδιοίσχυροί

$R_{r-o} < 10$ ραδιοασθενείς

Η οικογένεια των ενεργών Γαλαξιακών πυρήνων

1) Ραδιοασθενείς (90%)

Seyfert 2: λεπτές γραμμές εκπομπής (<1000 km/s)

Seyfert 1: φαρδιές γραμμές εκπομπής (>1000km/s)

Υπάρχουν και ενδιάμεσοι τύποι (Seyfert 1..2, 1.5, 1.8, 1.9) ανάλογα με το εύρος των γραμμών

2) Ραδιοίσχυροί (10%)

NLRGs: λεπτές γραμμές εκπομπής (<1000 km/s)

BLRGs: φαρδιές γραμμές εκπομπής (>1000km/s)

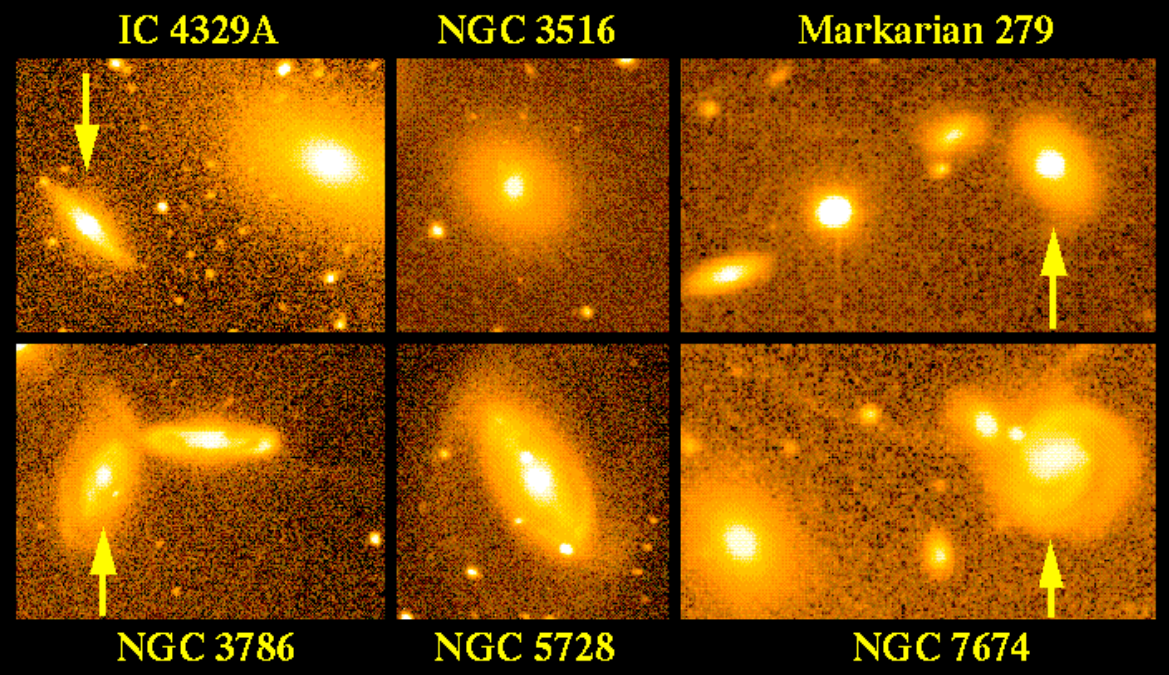
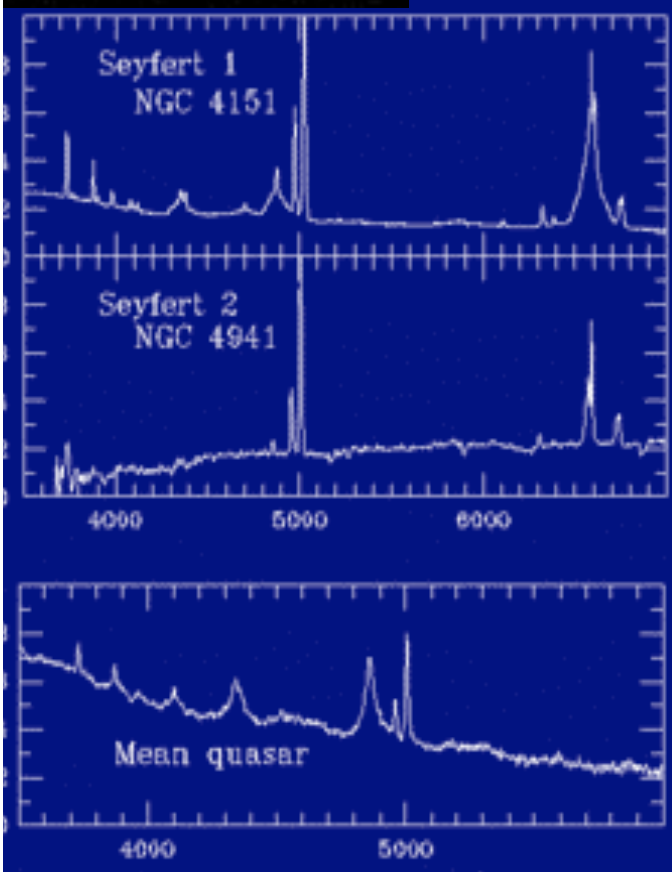
BLAZARS: Ισχυρή μεταβλητότητα, ασθενείς γραμμές, ισχυροί κατευθυντικοί πίδακες.



Quasar 3C175

AO 1996

Seyfert Galaxies

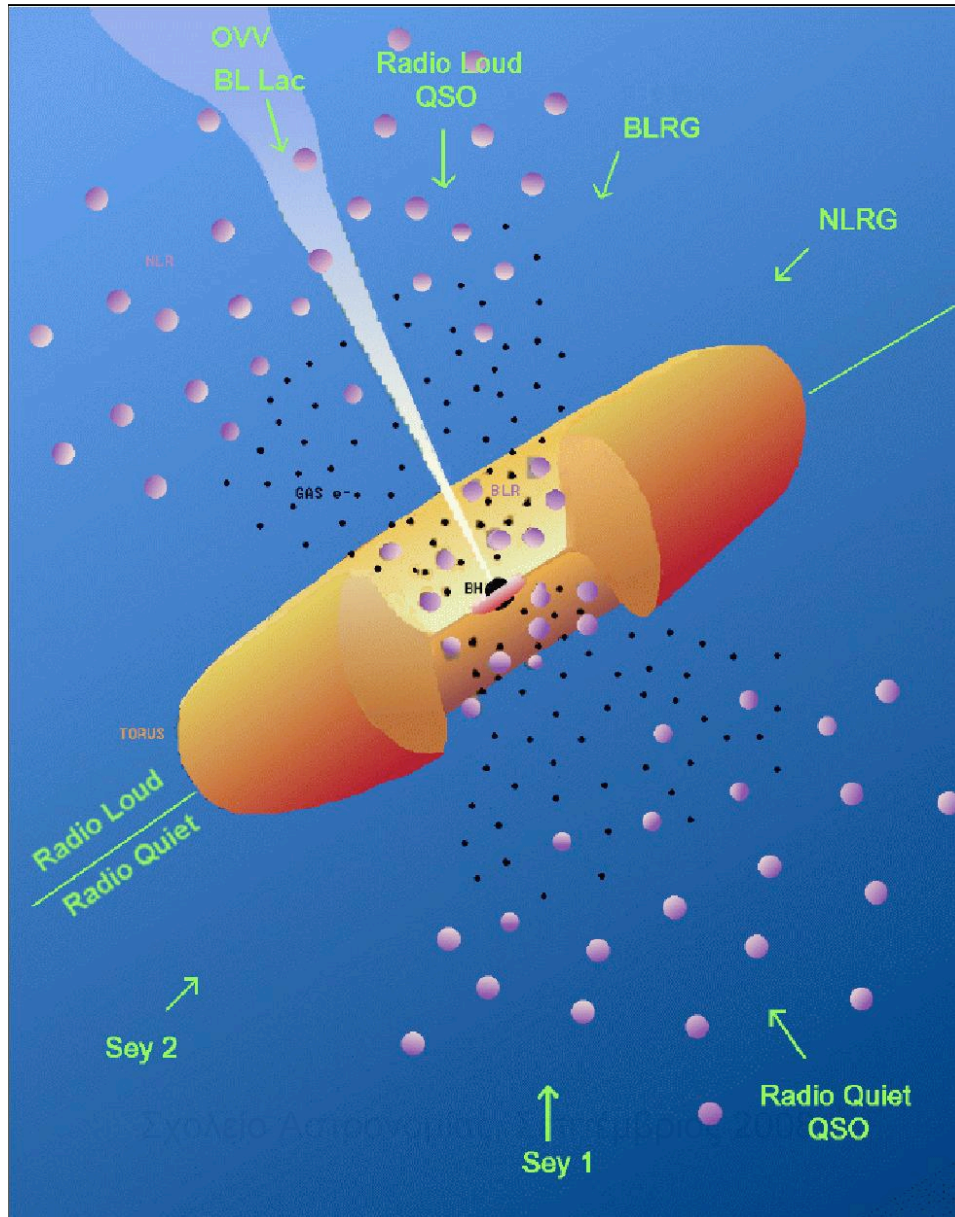


NGC 3786

NGC 5728

NGC 7674

Μοντέλα Ενοποίησης



Μελανή οπή

$$F_{\text{Rad}} < F_{\text{Grav}} \Leftrightarrow L < 4\pi G c m_p M / \sigma_e \text{ (Eddington limit)}$$

$$\text{Για } L = 10^{46} \text{ erg s}^{-1} \text{ } M \sim 10^8 M_{\odot} !$$

Δίσκος προσαύξησης

$$r < 0.1 \text{ pc (μελέτες μεταβλητότητας)}$$

Περιοχή πλατιών γραμμών εκπομπής

$$u \sim (GM/r)^{0.5} \text{ για } u > 1000 \text{ km/s} \Leftrightarrow r \sim \text{light days}$$

Απουσία γραμμών [OIII] & Παρουσία γραμμών [CIII] $\Leftrightarrow 10^8 < n < 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

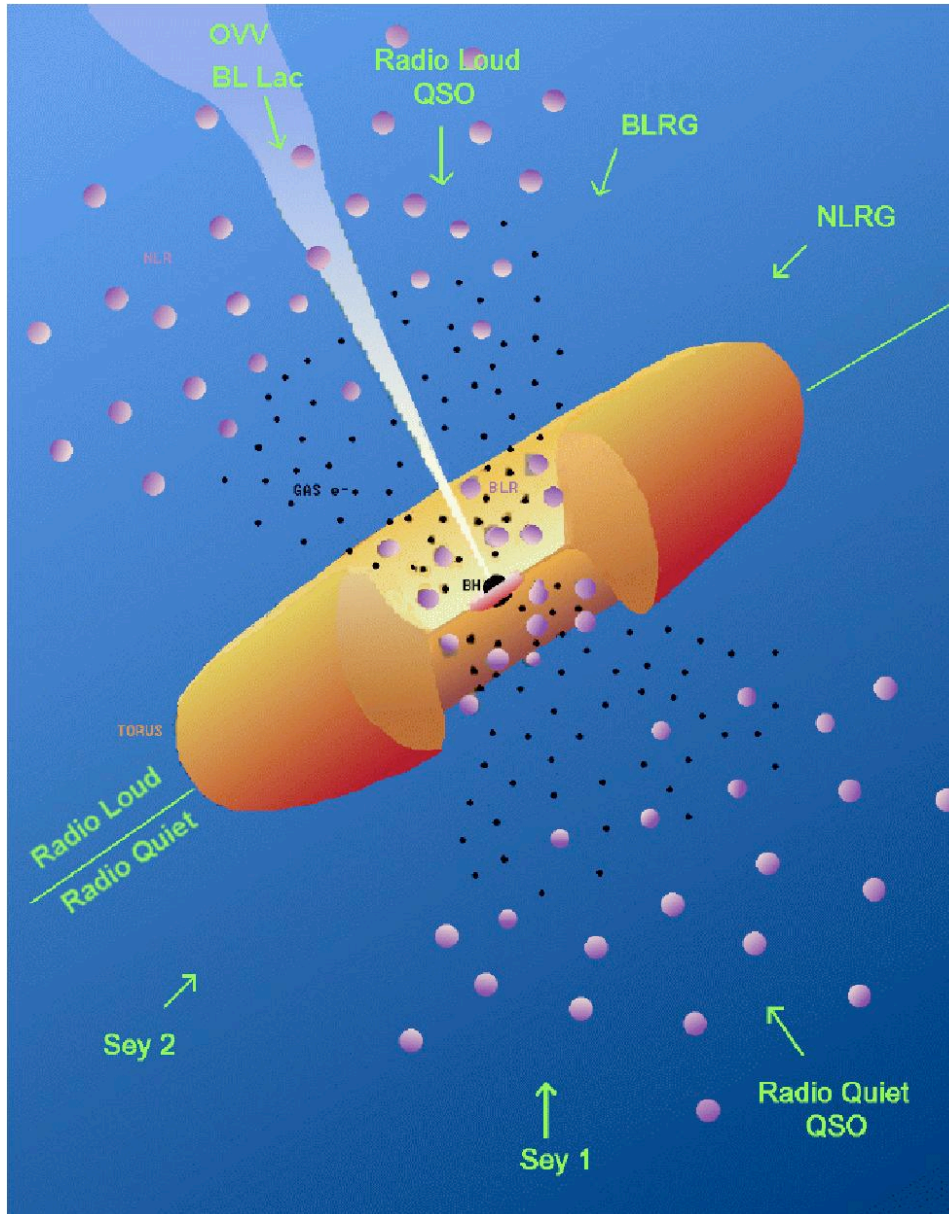
Σύγκριση των εντάσεων των γραμμών με άλλα ιονισμένα αέρια δείχνει ότι $T \sim 10^4 \text{ K}$.

Μοριακός δακτύλιος

Στοιχεία: H, H_e, C, O, Ca, Fe, N_H $\sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$

Δεν εμφανίζει έντονα ιονισμένα χαρακτηριστικά άρα είναι κρύος.

Μοντέλα Ενοποίησης



Περιοχή λεπτών γραμμών εκπομπής

Από την μέτρηση των σχετικών εντάσεων απαγορευμένων γραμμών $\Leftrightarrow 10^2 < n < 10^5 \text{ cm}^{-3}$

$u \sim (GM/r)^{0.5}$ για $u = 100 \text{ km/s} \Leftrightarrow r \sim 100 \text{ pc}$

Ανάλογα με την θέση στην οποία βρισκόμαστε βλέπουμε μία διαφορετική συμπεριφορά του ενεργού γαλαξία.

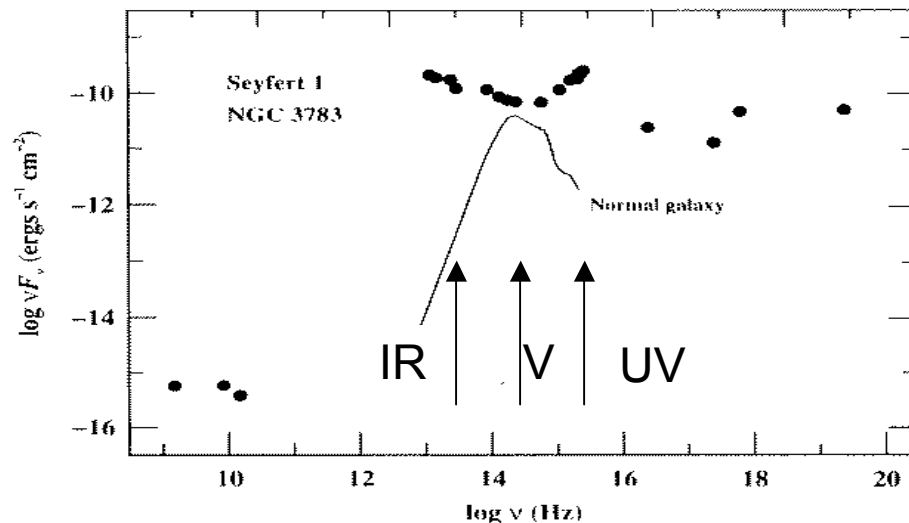
Πώς βρίσκουμε Ενεργούς Πυρήνες?

Οπτικοί δείκτες χρώματος

Τα περισσότερα αντικείμενα στις οπτικές παρατηρήσεις είναι αστέρια ή φυσιολογικοί γαλαξίες.

Το μεγάλο ενεργειακό εύρος εκπομπής των ενεργών πυρήνων διαφοροποιεί τους οπτικούς δείκτες χρώματος ανάμεσα στους ενεργούς πυρήνες και τα αστέρια ή τους φυσιολογικούς γαλαξίες.

Μπορούμε δηλαδή να διαχωρίσουμε τους ενεργούς γαλαξίες επειδή το οπτικό τους φάσμα είναι διαφορετικό από τα υπόλοιπα αντικείμενα.



Στους ενεργούς πυρήνες το IR και το UV είναι υψηλότερα από το V. Στα αστέρια και τους φυσιολογικούς γαλαξίες συμβαίνει το αντίθετο.
Για τα πολύ θερμά αστέρια $U-B \sim 0.5 \text{ mag}$
Για τα AGN $U-B \sim -1 \text{ mag}$ (U:3600 Å B:4300Å)

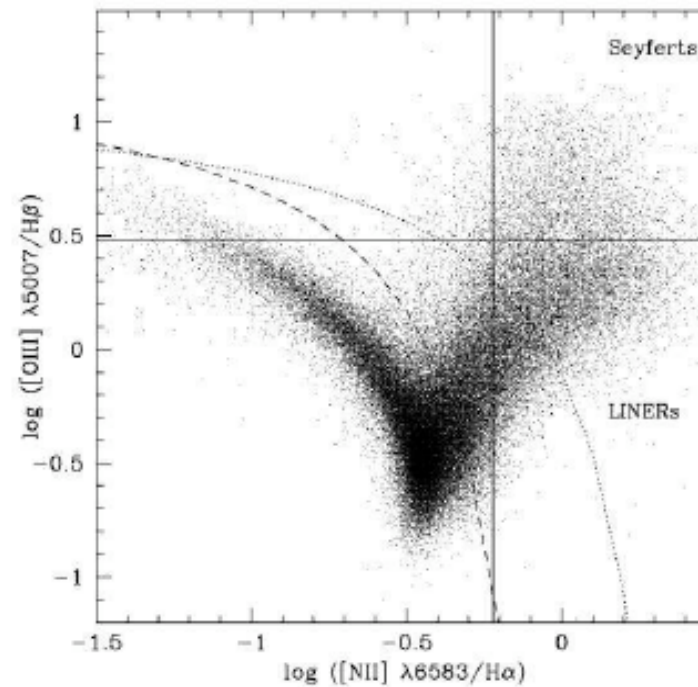
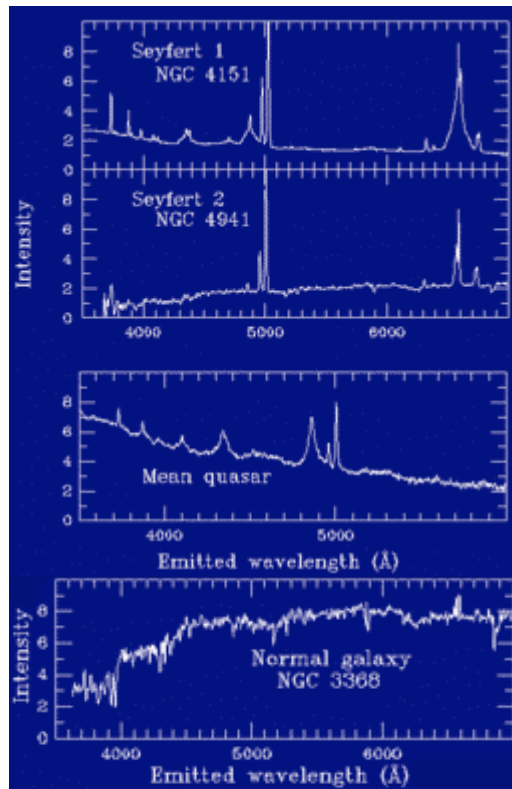
Σχολείο Αστρονομίας, Σεπτέμβριος 2008

Για να μπορούμε να παρατηρήσουμε τον πυρήνα
Πρέπει $L_{\text{AGN}} > L_{\text{GAL}}$

Πώς βρίσκουμε Ενεργούς Πυρήνες?

Οπτικές γραμμές εκπομπής

Οι περισσότεροι ενεργοί πυρήνες έχουν χαρακτηριστικές γραμμές εκπομπής. Από τους λόγους των εντάσεων των γραμμών αυτών μπορούμε να διαχωρίσουμε τους ενεργούς πυρήνες.



Πώς βρίσκουμε Ενεργούς Πυρήνες?

Παρατηρήσεις στο υπέρυθρο

Η εκπομπή στο υπέρυθρο γίνεται λόγω της σκόνης.

Στους ενεργούς πυρήνες η σκόνη είναι θερμή ενώ στους φυσιολογικούς γαλαξίες είναι ψυχρή. Η ροή στο υπέρυθρο για τους φυσιολογικούς γαλαξίες εκπέμπεται στα 60-100μ (< 30K) ενώ στα AGN στα 12-25μ (100-300K).

Παρατηρήσεις στα ραδιοκύματα

Η εκπομπή στα ραδιοκύματα είναι ιστορικά συνδεδεμένη με τις πρώτες παρατηρήσεις ενεργών πυρήνων. Ωστόσο μόνο ένα μικρό ποσοστό εκπέμπει σημαντικό μέρος της ενέργειας στις συχνότητες αυτές.

Πώς βρίσκουμε Ενεργούς Πυρήνες?

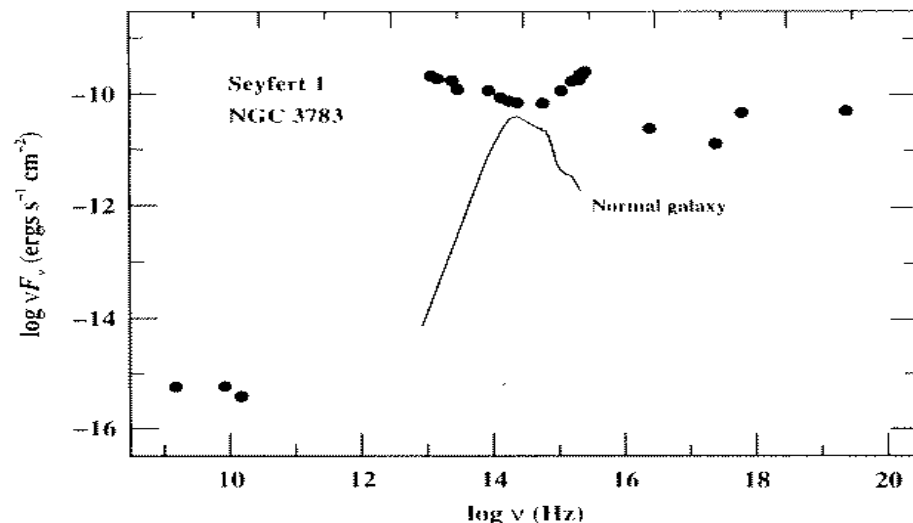
Υψηλές ενέργειες

Οι ενεργοί πυρήνες εκπέμπουν ένα μεγάλο μέρος της ενέργειάς τους στις υψηλές ενέργειες (ακτίνες-Χ και ακτίνες-γ).

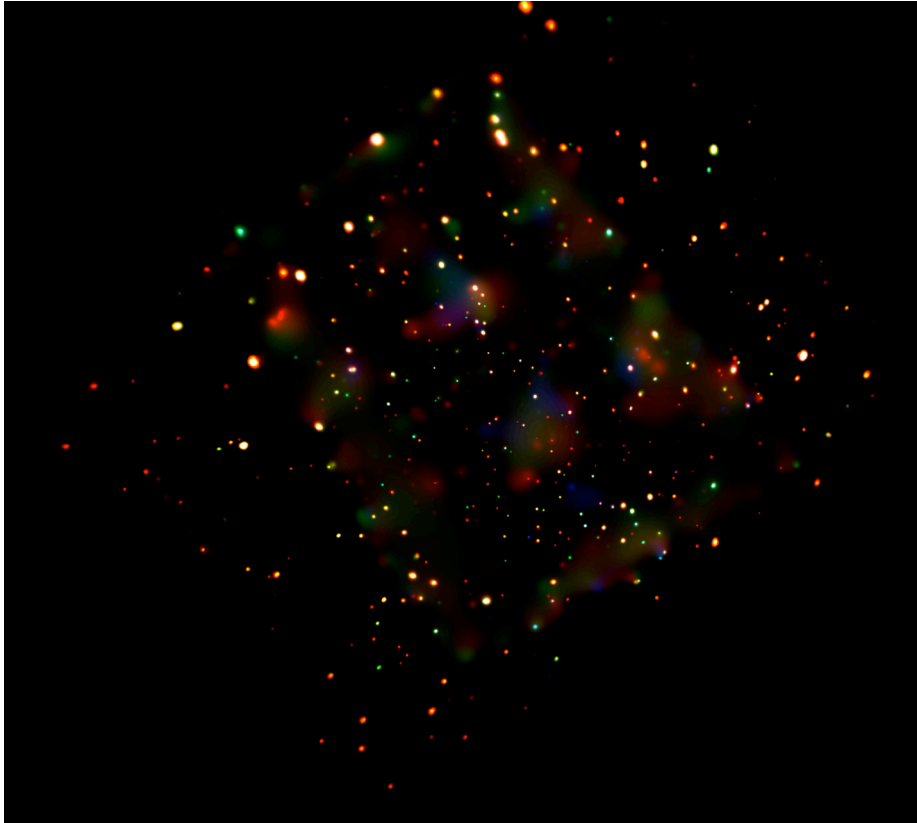
Αυτό δε συμβαίνει στα αστέρια και τους φυσιολογικούς γαλαξίες.

Οι παρατηρήσεις σε υψηλές ενέργειες προσφέρουν έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο εντοπισμού ενεργών πυρήνων.

Η παρουσία αερίου ή/και σκόνης έχει μικρή ή αμελητέα επίπτωση στις παρατηρήσεις σε αντίθεση με τις οπτικές παρατηρήσεις.



Chandra (15X15 arcmin)



Hubble (2.5X2.5 arcmin)



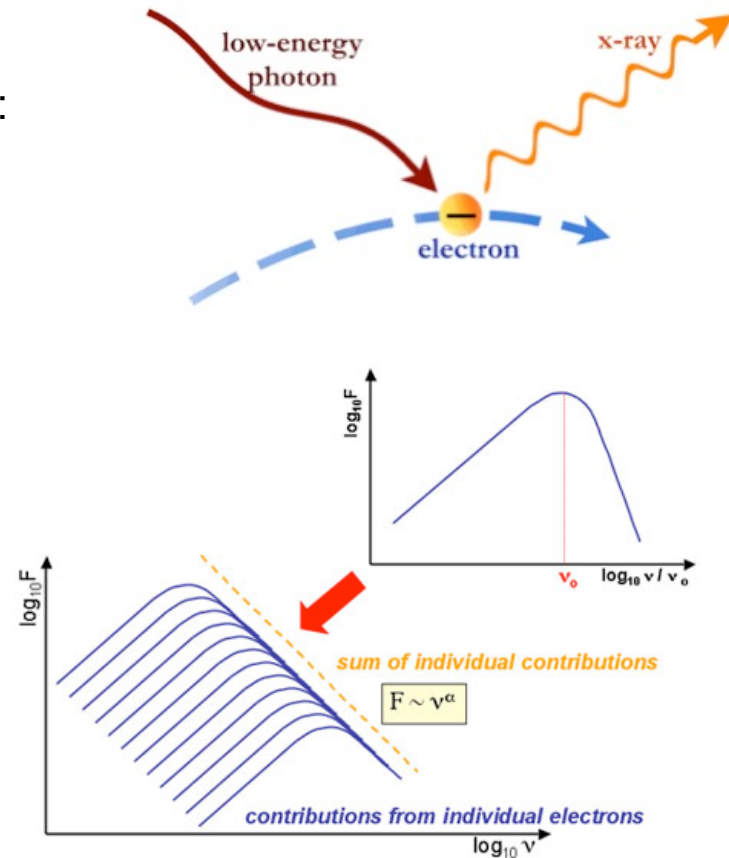
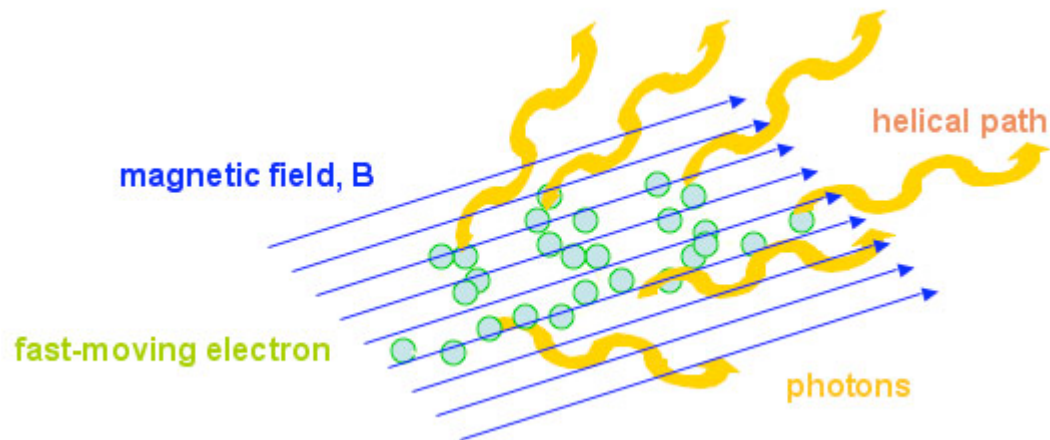
Το φάσμα των Ενεργών Πυρήνων

Προσεγγιστικά το φάσμα των ενεργών πυρήνων περιγράφεται από έναν νόμο δύναμης

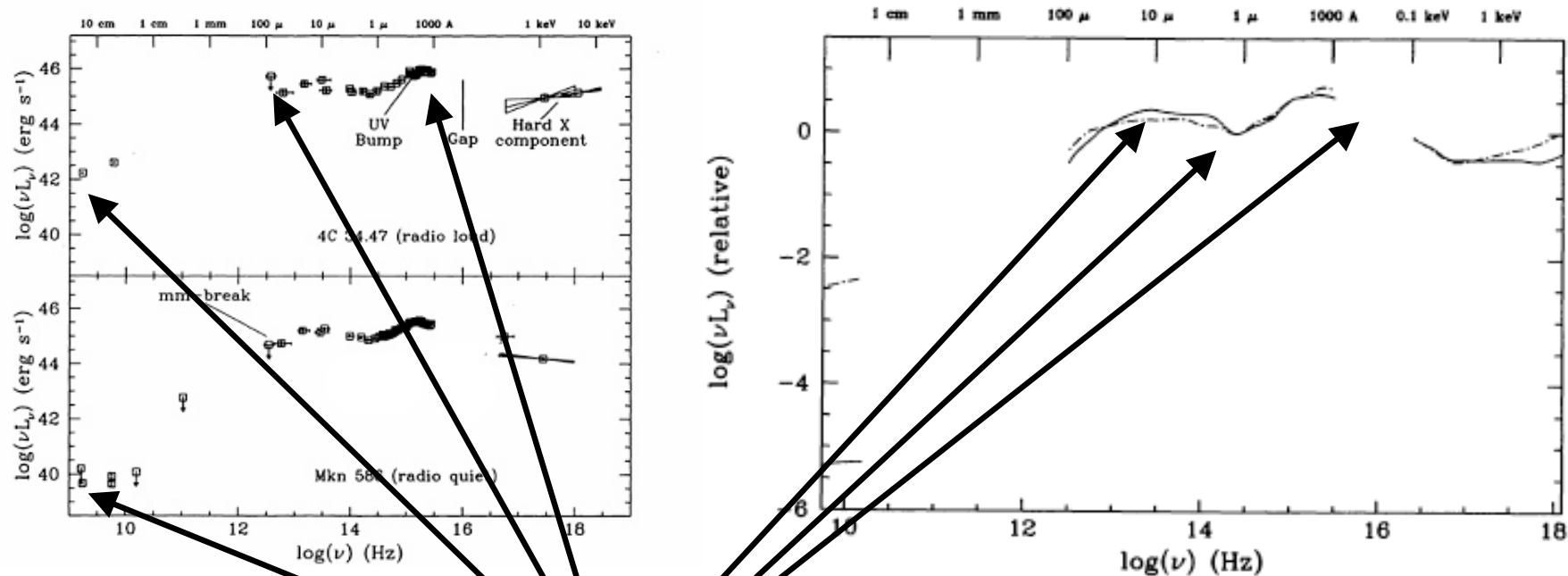
$$F_\nu = A\nu^{-\alpha} \text{ (ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ Hz}^{-1}\text{)}$$

Πρέπει να υπάρχουν και μη θερμικές διαδικασίες:

Synchrotron και Αντίστροφη σκέδαση Compton



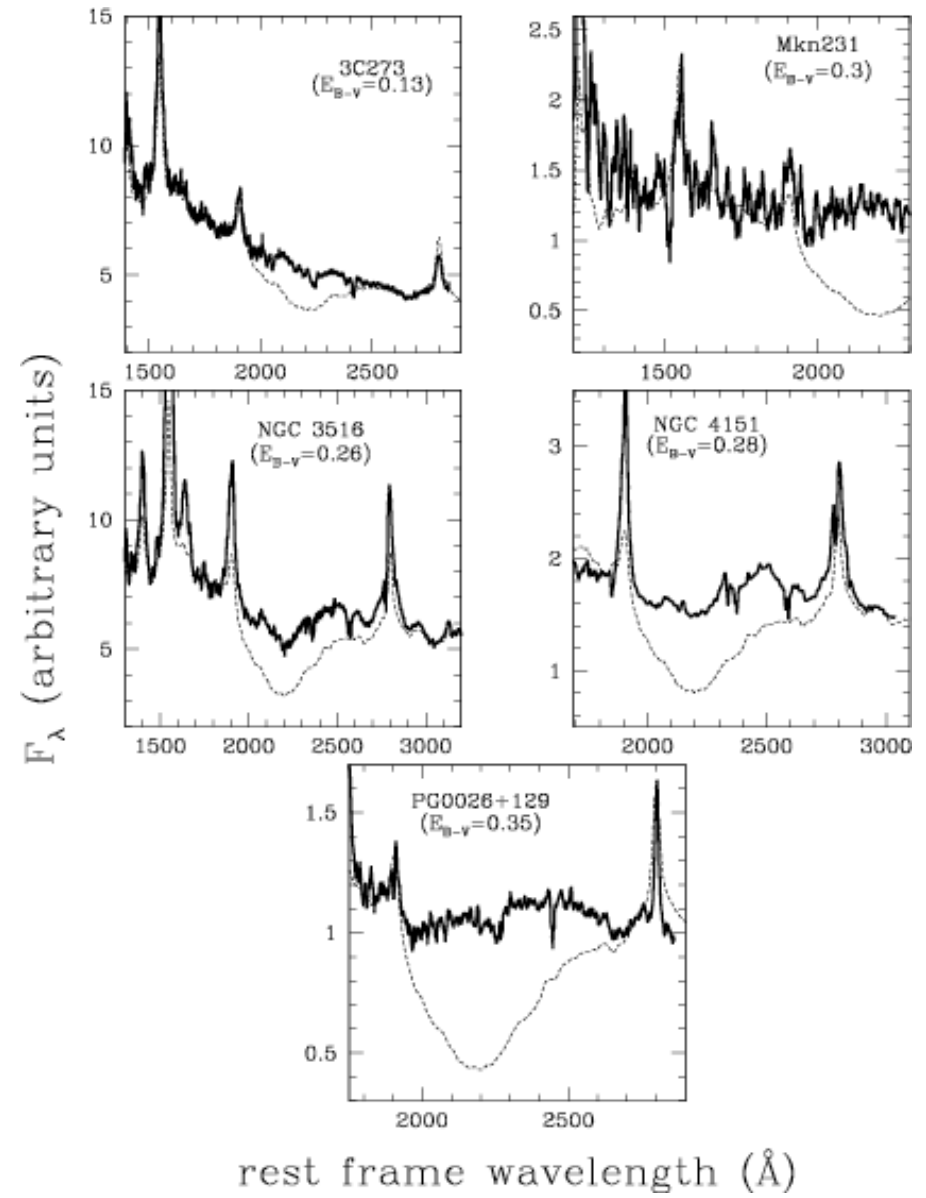
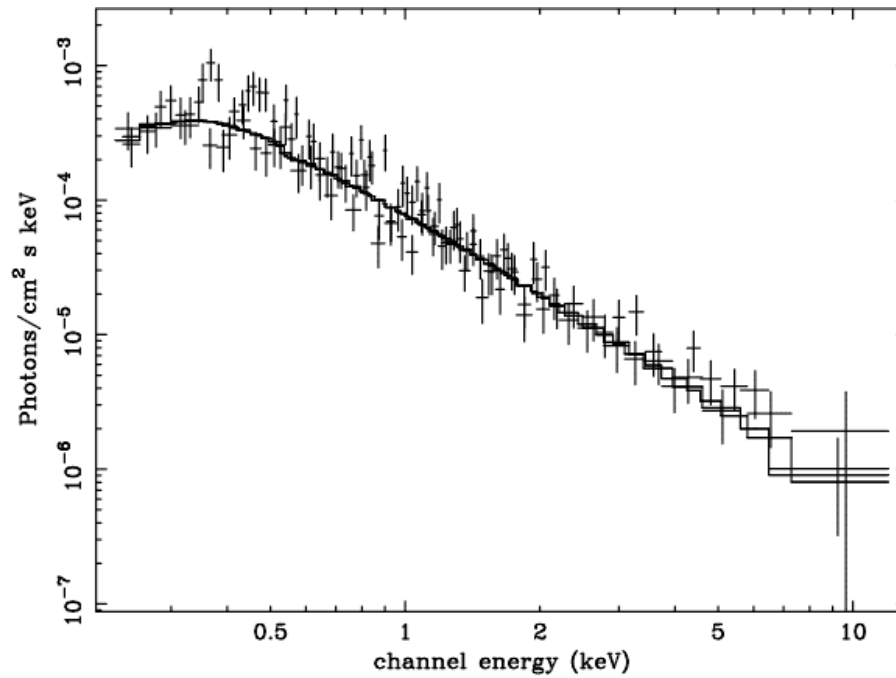
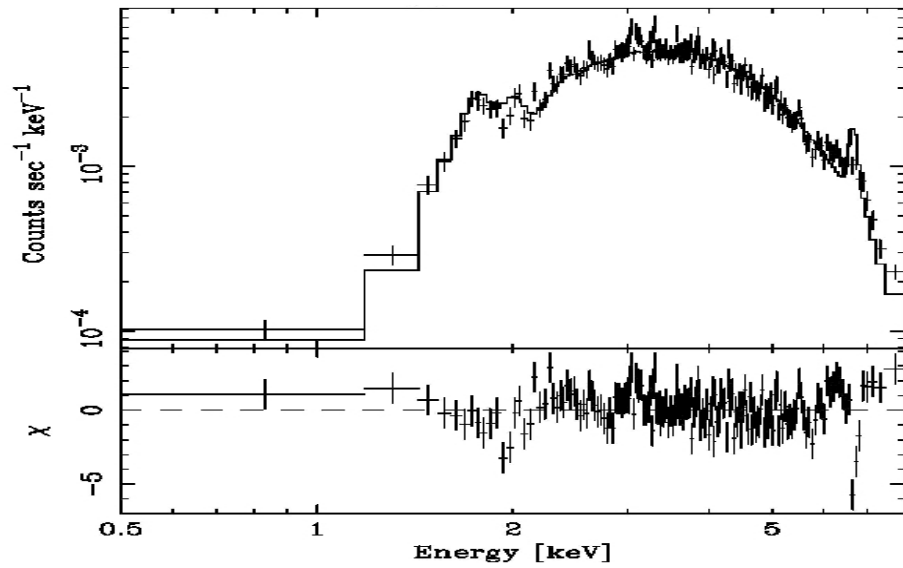
Το φάσμα των Ενεργών Πυρήνων

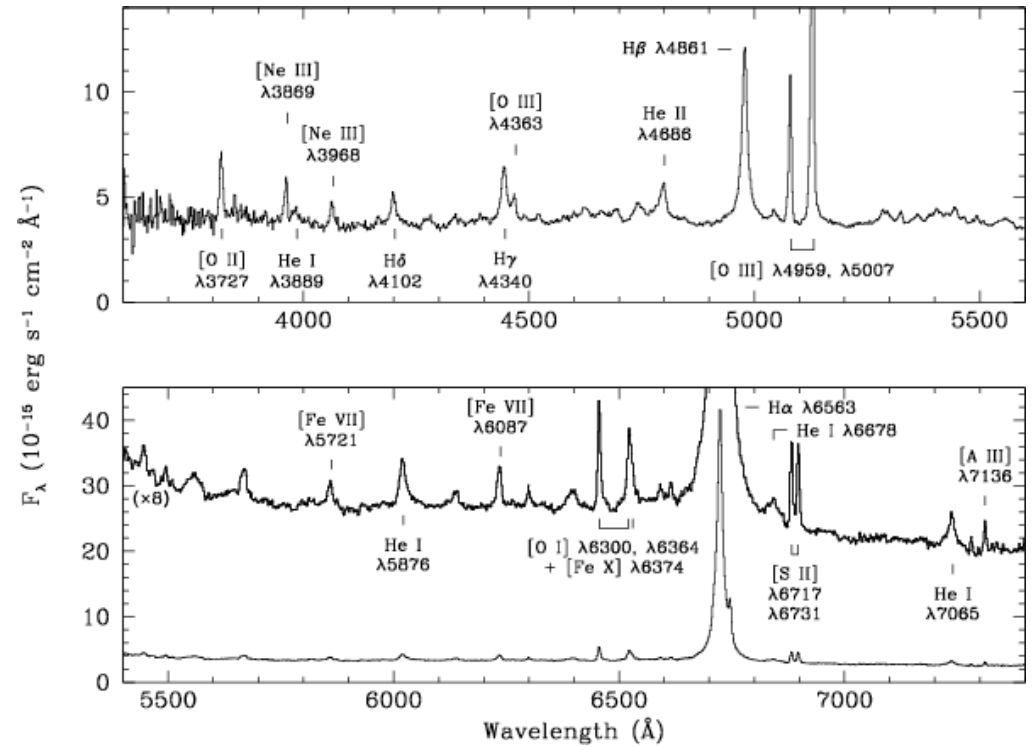
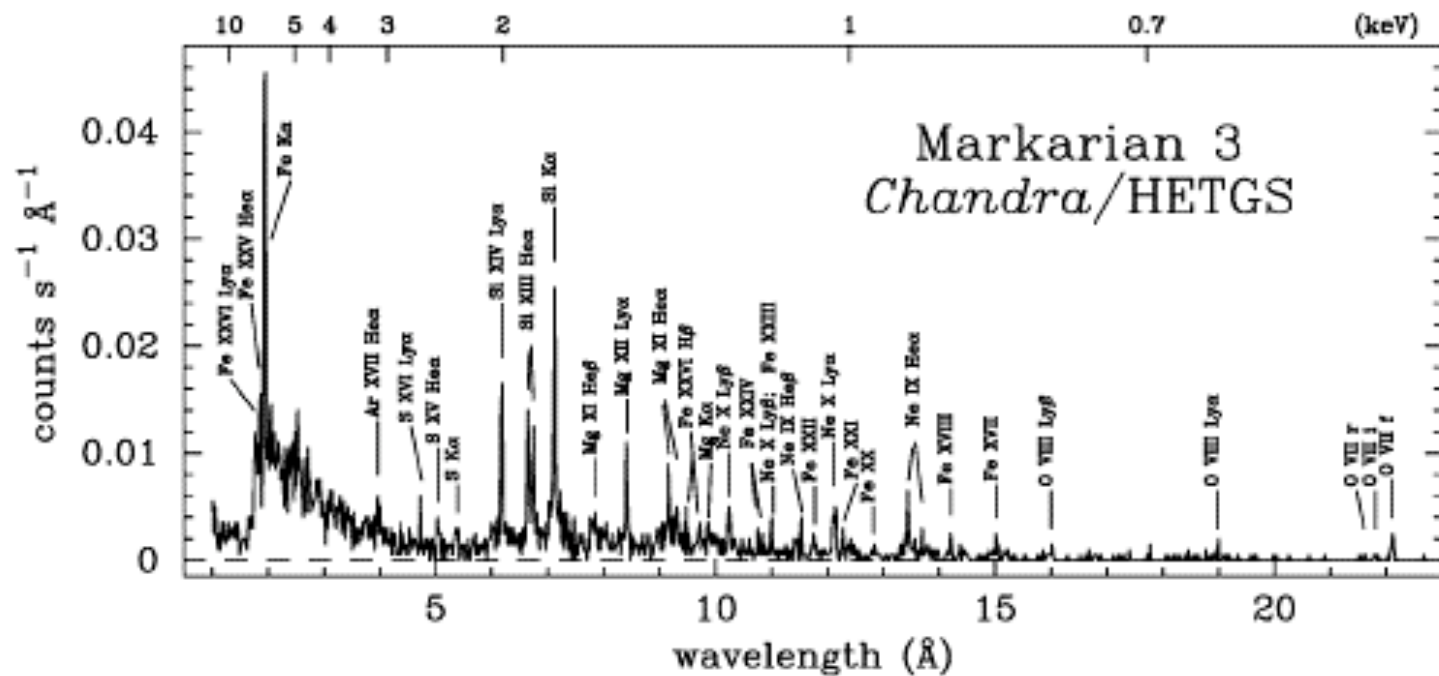


Η εκπομπή στις υψηλότερες ενέργειες φαίνεται να περιλαμβάνει διαδικασίες Synchrotron και Inverse Compton Scattering

διότι εμφανίζει συσχέτιση με τις ακτίνες-Χ.

Προς τα δεξιά εμφανίζει ένα ελάχιστο που σηματοδοτεί το τέλος της συνεισφοράς από την σκόνη.





Οι ενεργοί γαλαξίες προσφέρουν ένα μεγάλο και ανοιχτό πεδίο ερευνητικής δράσης τόσο σε θεωρητικό όσο και παρατηρησιακό επίπεδο

Παράλληλα η εφαρμοσμένη έρευνα για τις νέες τεχνολογίες προσφέρει ένα καινούργιο χώρο δράσης.