

ΕΝΕΡΓΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

22-3-2023

ΟΡΙΣΜΟΣ

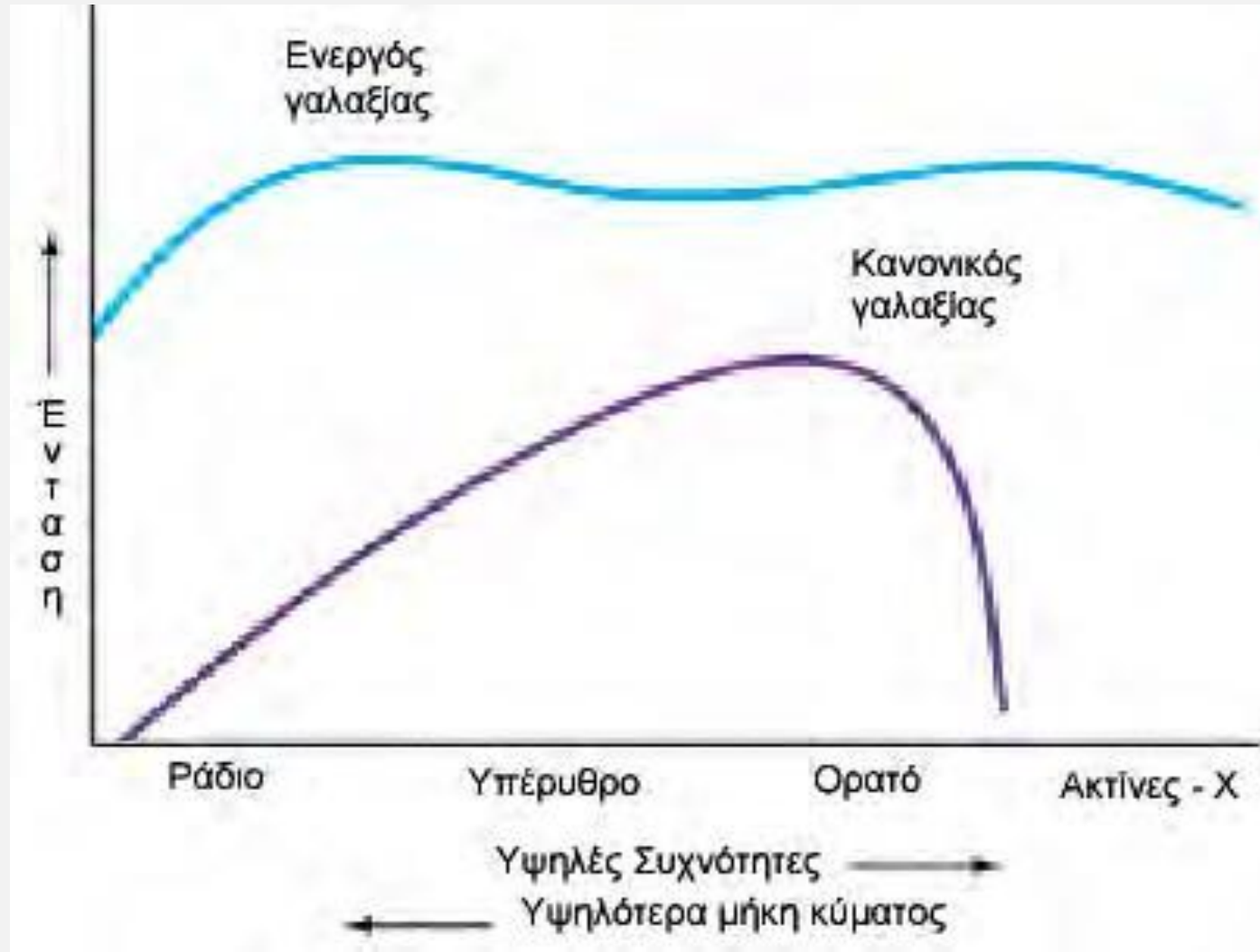
- Οι ενεργοί γαλαξίες, ή, σωστότερα, **Ενεργοί Γαλαξιακοί Πυρήνες (ΕΓΠ, στη διεθνή βιβλιογραφία **Active Galactic Nuclei-AGN**)**, είναι αστροφυσικά αντικείμενα τα οποία συνδέονται με τα κέντρα γαλαξιών στα οποία παρατηρούνται φαινόμενα μη αστρικής προέλευσης. Έχουν μικρό μέγεθος και μεγάλη φωτεινότητα σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες γ. Οι γαλαξίες που φιλοξενούν ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες ονομάζονται **ενεργοί γαλαξίες**. Πιστεύεται ότι οι ΕΓΠ είναι προϊόν της συσσώρευσης μάζας γύρω από μία υπέρμαζη μαύρη τρύπα

ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΓΠ ΕΊΝΑΙ ΤΑ ΕΞΉΣ:

- ασυνήθιστα υψηλές λαμπρότητες ($L \sim 10^{35} - 10^{41} \text{ J/s}$), οι οποίες σε κάποιες περιπτώσεις φτάνουν μέχρι και 10^4 φορές τη λαμπρότητα ενός τυπικού γαλαξία ($\sim 10^{37} \text{ J/s}$, που αντιστοιχεί σε εκατό δισεκατομμύρια περίπου ηλιακές λαμπρότητες) και οι οποίες προέρχονται από πολύ μικρές περιοχές (σε σχέση με τους γαλαξίες που τους φιλοξενούν)
- μη θερμικό συνεχές φάσμα (όχι μέλανος σώματος) το οποίο εκτείνεται σε πολλές τάξεις μεγέθους της συχνότητας, συχνά από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες γ
- έντονες γραμμές εκπομπής στο οπτικό, το υπεριώδες και κάποιες φορές στις ακτίνες X , των οποίων η ροή αντιστοιχεί σε σημαντικό ποσοστό της συνολικής ροής
- έντονη και ταχύτατη μεταβλητότητα σε όλο το φάσμα τους
- πίδακες σχετικιστικής ύλης
- υπερφωτεινή κίνηση

Πότε ένας γαλαξίας είναι ενεργός;

- ισχυρή συνεχή εκπομπή (οπτικό, IR, ραδιοφωνικό)
- μη θερμική φύση εκπομπής



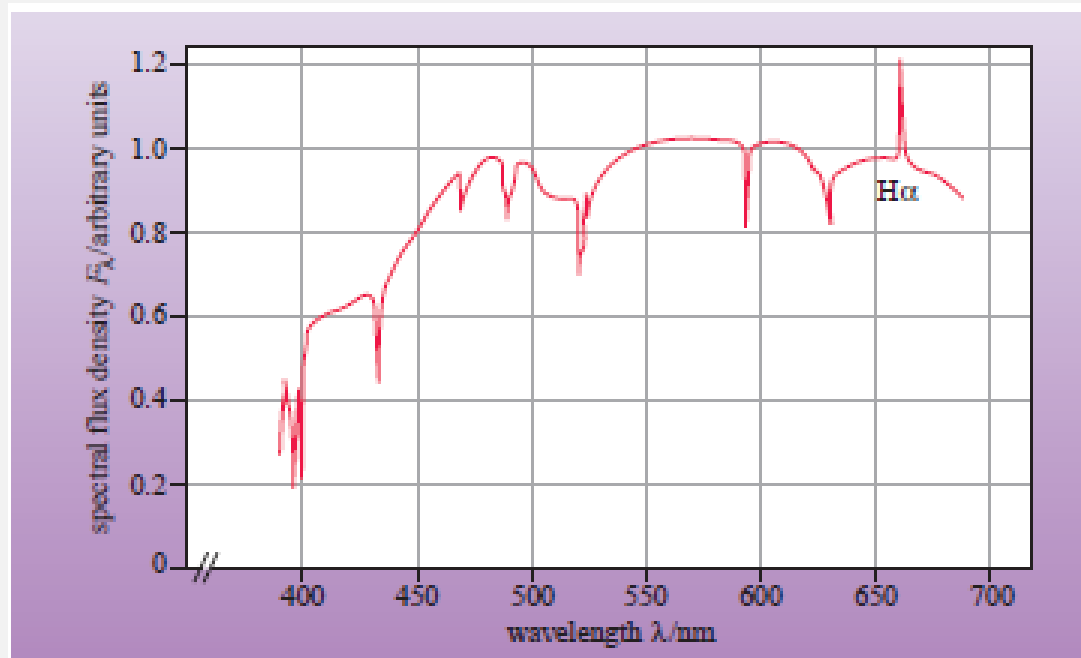


Figure 3.6 The optical spectrum of a normal spiral galaxy shown schematically.

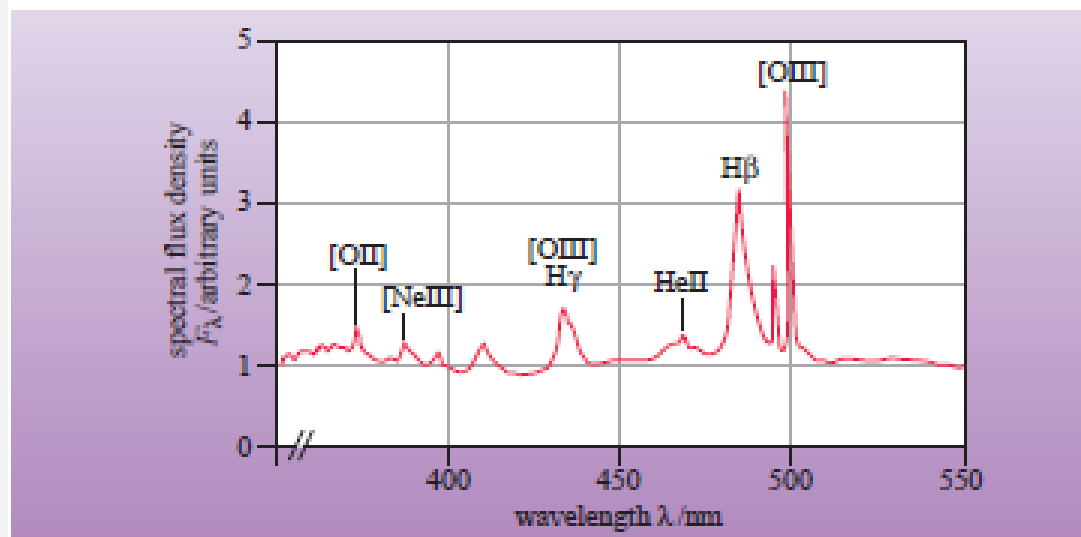


Figure 3.7 The schematic optical spectrum of an active galaxy.

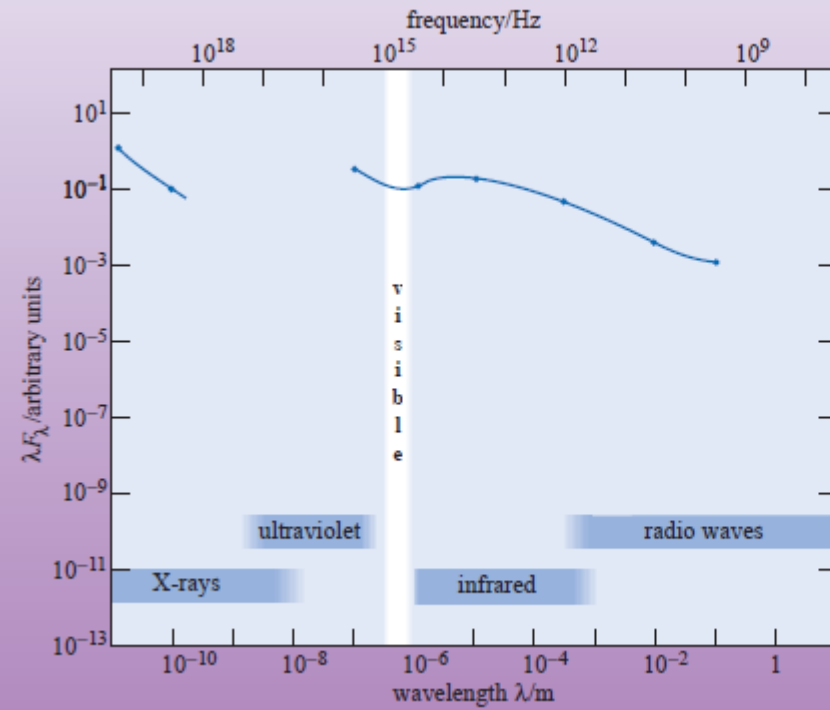
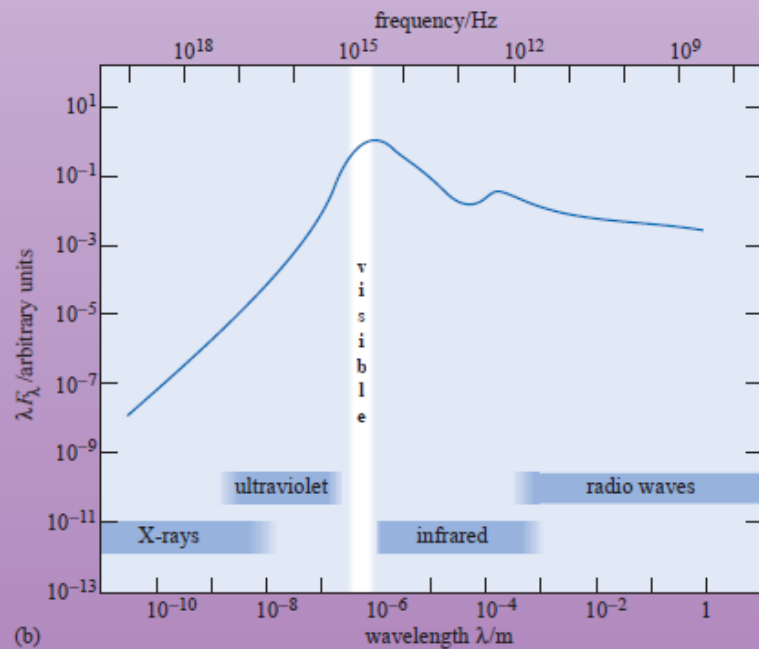
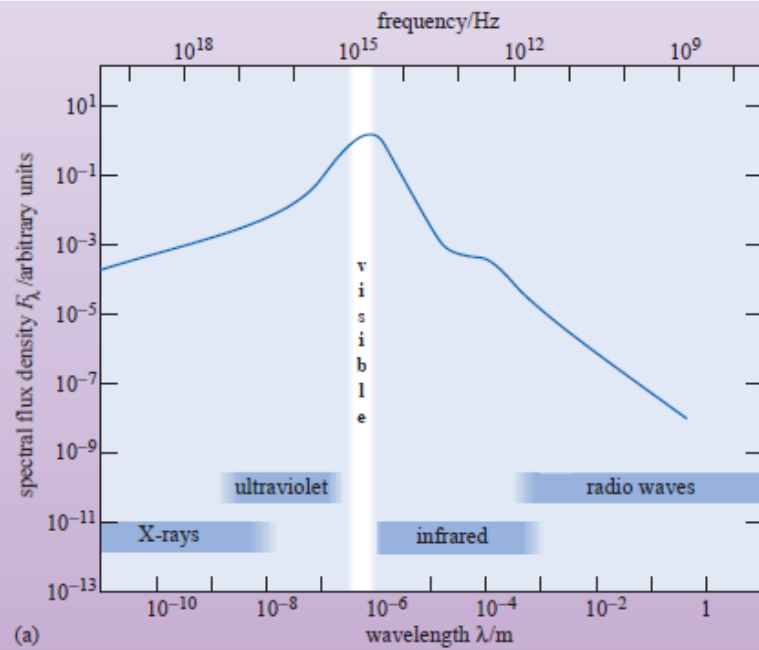


Figure 3.9 The spectral energy distribution of an active galaxy, the quasar 3C 273.

AN INTRODUCTION TO
ASTROPHYSICS
AND COSMOLOGY BY ANDREW
NORTON – 2016, Σελ 108-109

Η ΜΟΝΑΔΑ JY

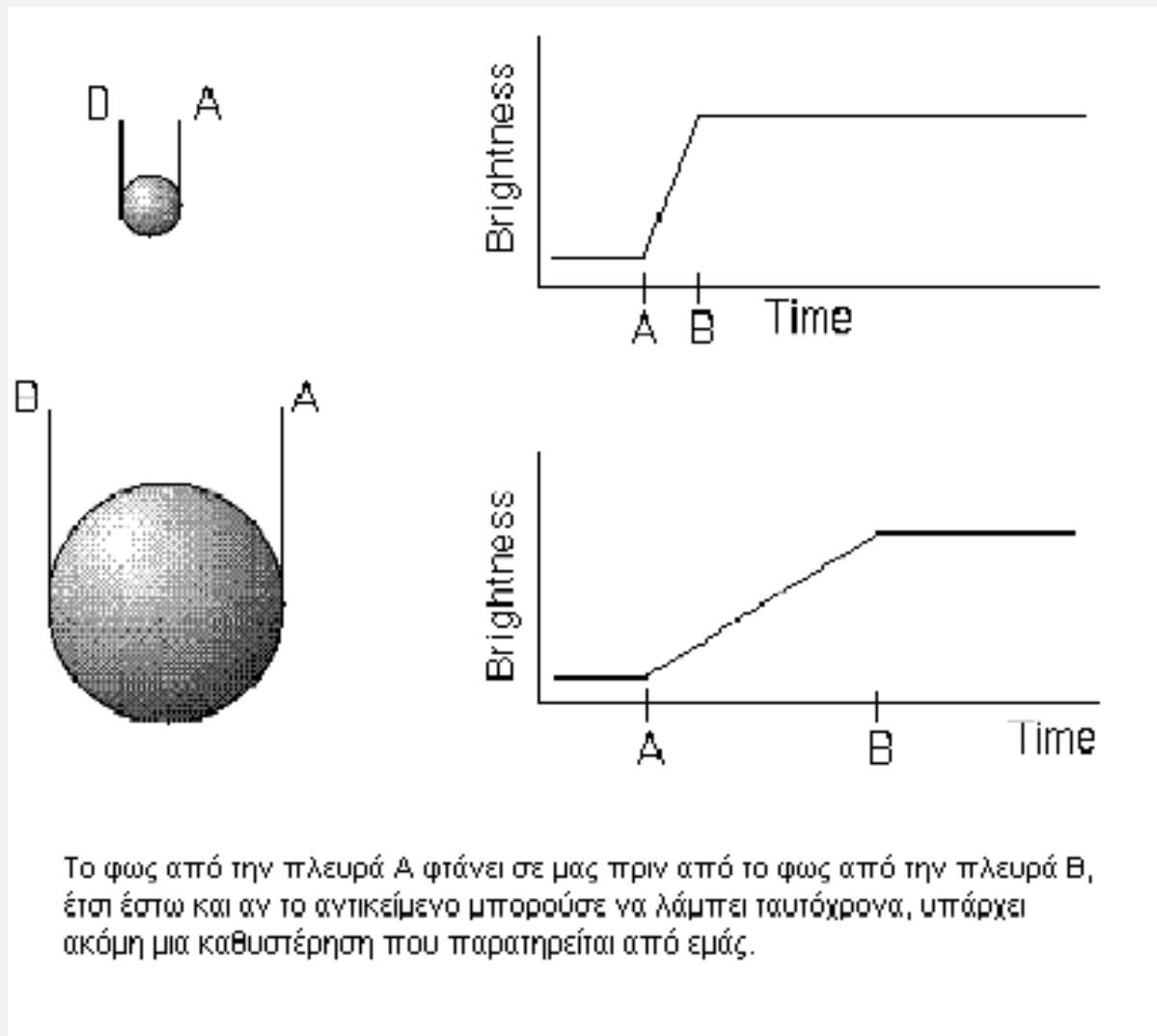
- Υπάρχει μια μονάδα πυκνότητας φασματικής ροής F_ν που χρησιμοποιείται συνήθως στην αστροφυσική η οποία είναι μάλλον η απλούστερη. Η μονάδα είναι το jansky (σύμβολο Jy) που ονομάζεται έτσι προς τιμή του ραδιοαστρονόμου Καρλ Γιάνσκι.
- $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$
- Ο Karl Guthe Jansky ήταν ένας Αμερικανός φυσικός και μηχανικός ραδιοφώνου που τον Απρίλιο του 1933 ανακοίνωσε για πρώτη φορά την ανακάλυψη των ραδιοκυμάτων που προέρχονταν από τον Γαλαξία στον αστερισμό του Τοξότη. Θεωρείται μια από τις ιδρυτικές μορφές της ραδιοαστρονομίας.

ΑΣΚΗΣΗ 11Η

- Αν η πυκνότητα φασματικής ροής ενός γαλαξία είναι $F_\lambda = 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ σε μήκος κύματος $\lambda = 4500 \text{ \AA}$, ποια είναι η πυκνότητα φασματικής ροής F_ν σε μονάδες mJy
-

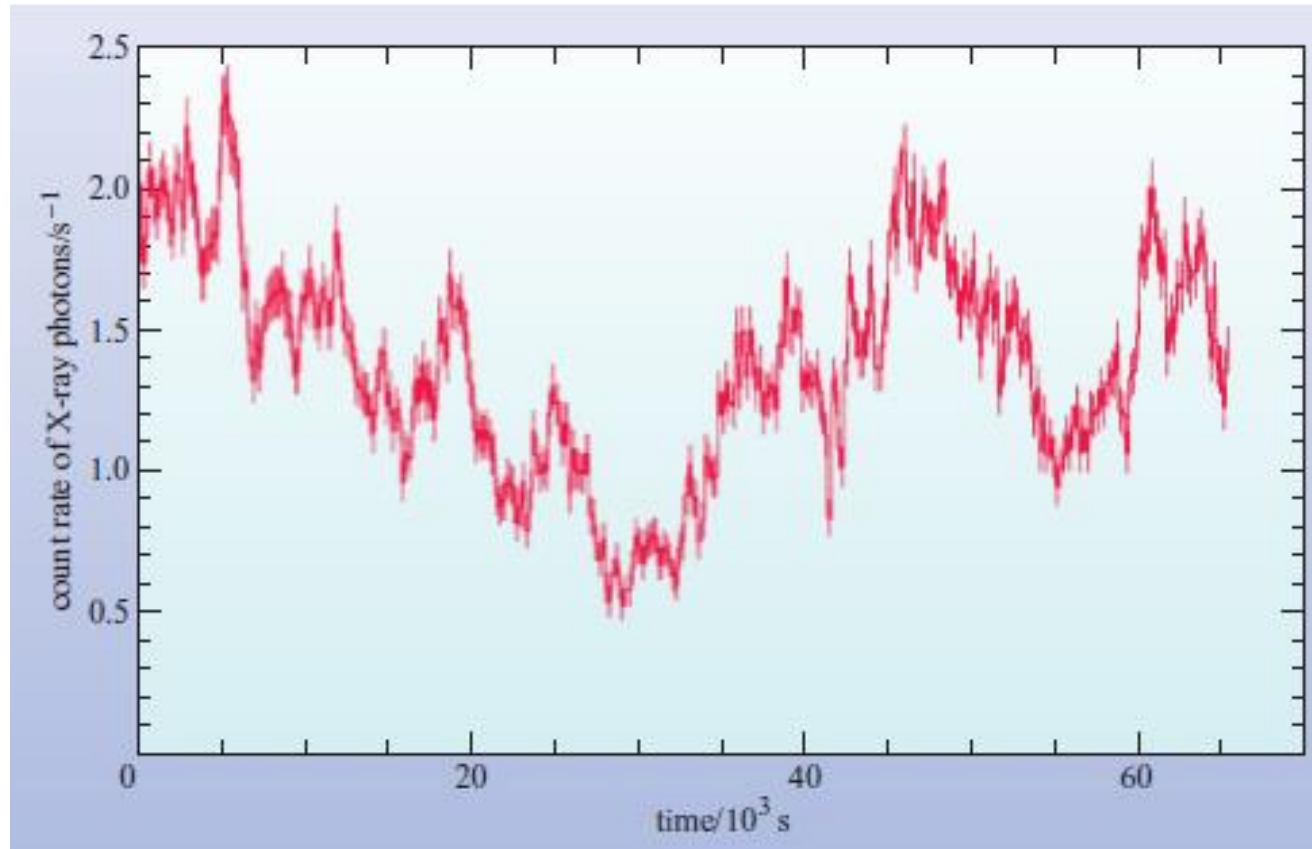
Πότε ένας γαλαξίας είναι ενεργός;

Παραγωγή ενέργειας σε πολύ μικρό πυρήνα (<100 pc) με βάση την **έντονη μεταβλητότητα**

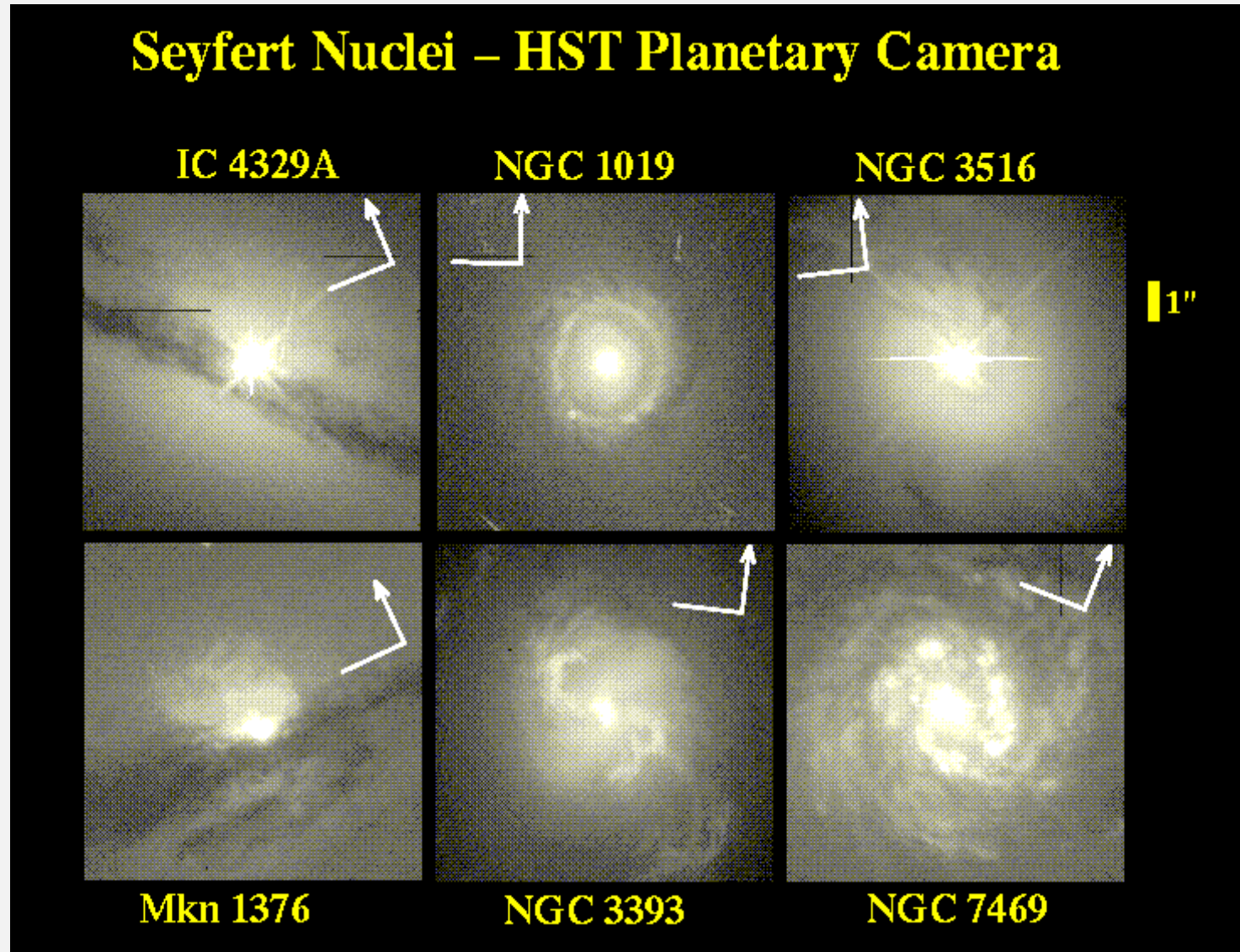


ΑΣΚΗΣΗ 12Η

- Ο ΕΓΠ που φαίνεται στο διπλανό σχήμα, φαίνεται να μεταβάλλει τη φωτεινότητα των ακτίνων Χ κατά τη διάρκεια της παρατήρησης που παρουσιάζεται εδώ. Ποιο είναι το μέγιστο μέγεθος της περιοχής που θα μπορούσε να παράγει αυτή την ακτινοβολία;



Πότε ένας γαλαξίας είναι ενεργός;



ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΕΓΠ

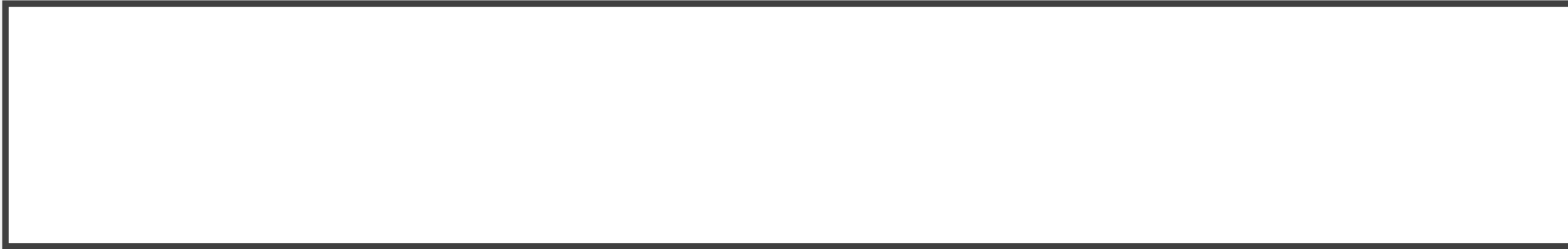
- Ο πρώτος γαλαξίας που ανακαλύφθηκε ότι είναι ενεργός ήταν ο Μεσιέ 77, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως τέτοιος από τον Καρλ Σίφερτ (Seyfert) το 1943. Ο M77 αποτελεί τον πρότυπο ενεργό γαλαξία. Από την άλλη, τα πρώτα κβάζαρ παρατηρήθηκαν ραδιοτηλεσκοπικά την δεκαετία του 1950. Το πρώτο κβάζαρ που φωτογραφήθηκε ήταν το 3C 48, το οποίο φαινόταν ως αστέρας 16ου μεγέθους. Όμως, το αντικείμενο που υπέδειξε την αληθινή φύση των κβάζαρ ήταν το 3C 273, όταν ανακαλύφθηκαν από τον Schmidt οι γραμμές φάσματός του μετατοπισμένες έντονα προς το ερυθρό

ΑΡΧΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΗΜΕΡΙΝΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ

- Το μυστήριο της πηγής ενέργειας των ΕΓΠ κίνησε το ενδιαφέρον των αστρονόμων από τις αρχές της δεκαετίας του 60'. Η αρχική θεώρηση των ραδιογαλαξιών ως συγκρουόμενους γαλαξίες οδήγησε στην αναγνώριση των ΕΓΠ ως συμπαγείς περιοχές στις οποίες λαμβάνουν χώρα εξαιρετικά βίαια φαινόμενα. Μερικά από τα πρώτα μοντέλα που προτάθηκαν ως πιθανές πηγές ενέργειας για τους ΕΓΠ είναι τα εξής:
- Αλυσιδωτές εκρήξεις υπερκαινοφανών σε πυκνά και γηραιά αστρικά σμήνη
- Σμήνη παλσαρ
- Τα μοντέλα της πρώτης κατηγορίας που αναφέρονται παραπάνω βασίζονται σε αστρικούς μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας, ήτοι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης.
- Το πρώτο μοντέλο που εισήγαγε την έννοια ενός μοναδικού αντικειμένου ως πηγή θερμοπυρηνικής και βαρυτικής ενέργειας στους ενεργούς γαλαξίες ήταν εκείνο των Hoyle και Fowler το 1963, σύμφωνα με το οποίο ένα υπερμαζικό άστρο μάζας $\sim 10^8$ ηλιακών μαζών είναι σε θέση να εξηγήσει τις φαρδιές γραμμές εκπομπής των γαλαξιών τύπου Σίφερτ. Οι ίδιοι συγγραφείς πρότειναν επίσης ότι ένα τοροειδές μαγνητικό πεδίο γύρω από τον υπερμαζικό αστέρα θα μπορούσε να αποθηκεύσει αρκετή ενέργεια ώστε να οδηγήσει σε εκρήξεις και πίδακες σχετικιστικής ύλης όπως στον Μεσιέ 87.
- Οι πρώτοι που πρότειναν την σημερινά αποδεκτή ιδέα των δίσκων προσαύξησης γύρω από υπερμαζικές μελανές οπές ήταν οι Salpeter και Zeldovich το 1964. Σύμφωνα με το μοντέλο ενός δίσκου προσαύξησης γύρω από μία μη περιστρεφόμενη μελανή οπή, η συνολική βαρυτική ενέργεια ανά μονάδα μάζας που απελευθερώνεται ισούται με $0.057c^2$, αρκετή για να εξηγήσει τα παρατηρούμενα ποσά εκλυόμενης ενέργειας σε έναν λαμπρό ΕΓΠ. Ο Salpeter στο άρθρο του αναφέρει επίσης ότι η διαδικασία της προσαύξησης πιθανώς να οφείλεται σε τυρβώδη φαινόμενα.
- Ο μηχανισμός παραγωγής ενέργειας στους ΕΓΠ πιστεύεται πλέον ότι οφείλεται στην απελευθέρωση βαρυτικής ενέργειας από υλικό (σκόνη, αέριο) που δημιουργεί ένα δίσκο (ο λεγόμενος *δίσκος προσαύξησης*) και στροβιλίζεται ταχύτατα προς το κέντρο μιας υπέρμαζης μαύρης τρύπας μάζας 10^6 - 10^{10} ηλιακών μαζών ή παραπάνω.

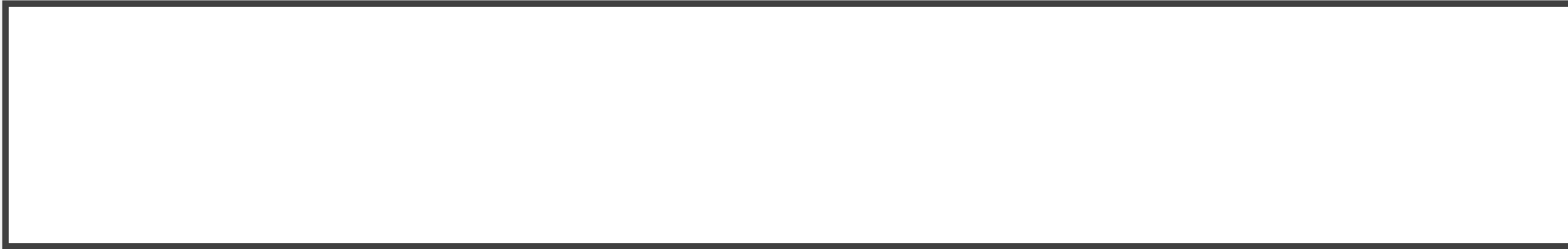
ΤΥΠΟΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

- Είναι σαφές ότι όλοι οι ενεργοί γαλαξίες έχουν έναν συμπαγή ενεργειακό πυρήνα – ένα AGN(Ενεργός Γαλαξιακός Πυρήνας) – και ότι το ευρυζωνικό φάσμα ενός ενεργού γαλαξία δίνει μια ένδειξη των υποκείμενων ενεργειακών διεργασιών που το τροφοδοτούν και οι οποίες ξεχωρίζουν αυτούς τους γαλαξίες από εκείνους χωρίς ενεργό πυρήνα.
- Ωστόσο, περαιτέρω ενδείξεις για τη φύση των ενεργών γαλαξιών λαμβάνονται από τη μελέτη εικόνων, ιδίως εικόνων που λαμβάνονται στη ζώνη ραδιοκυμάτων. Εδώ είναι που μπορεί να παρατηρηθούν εκτεταμένες δομές, συμπεριλαμβανομένων των πίδακες και των λοβών, που προέρχονται από το γαλαξιακό πυρήνα. Μεταξύ των διαφόρων υποκλάσεων του ενεργού γαλαξία είναι:
-

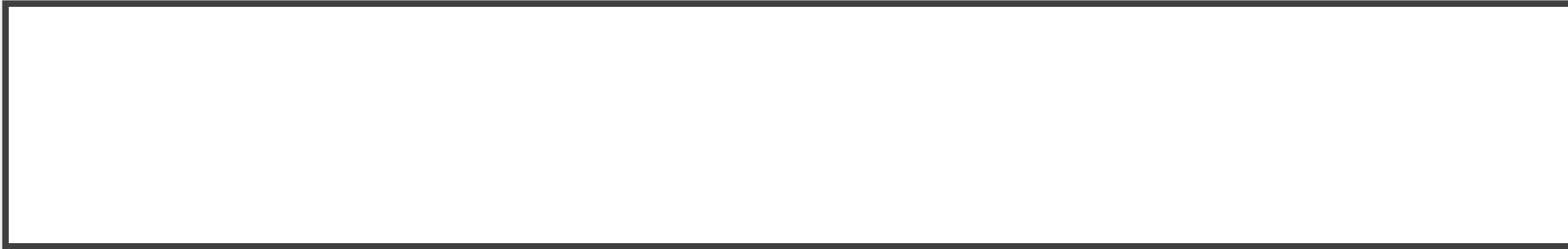


- **Seyfert** οι γαλαξίες είναι σπειροειδείς γαλαξίες με φωτεινούς, σημειακούς πυρήνες που ποικίλλουν σε φωτεινότητα, αν και γενικά είναι σχετικά χαμηλή φωτεινότητα AGN. Αυτοί παρουσιάζουν υπερβολές στο άπω υπέρυθρο και σε άλλα μήκη κύματος και έχουν ισχυρές εκπομπές γραμμές. Τα φάσματα των γαλαξιών Seyfert 1 δείχνουν στενές γραμμές εκπομπής (πλάτη μερικές εκατοντάδες km/s) καθώς και ευρείες γραμμές (πλάτη μερικών χιλιάδων km/s). ενώ τα φάσματα των γαλαξιών Seyfert 2 περιέχουν μόνο τα στενές γραμμές εκπομπής.

-



- Τα **κβάζαρ** είναι τα πιο φωτεινά AGN και είναι πολύ μεταβλητά στη φωτεινότητα.
- Περίπου το 10% των κβάζαρ είναι ισχυρές ραδιοπηγές, που πιστεύεται ότι τροφοδοτούνται από πίδακες υλικού που κινείται με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός.
-



- Οι **ραδιογαλαξίες** διακρίνονται από την ύπαρξη γιγάντιων ραδιολοβών που τροφοδοτούνται από έναν ή δύο πίδακες ύλης. Συνήθως ταυτίζονται με γιγάντιους ελλειπτικούς γαλαξίες ή με κβάζαρ
- Τα blazars παρουσιάζουν ένα συνεχές φάσμα σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος και οι γραμμές εκπομπής, όταν υπάρχουν, είναι ευρείες και αδύναμες. Είναι μεταβλητές σε πολύ γρήγορα χρονοδιαγράμματα.
-

ΠΙΘΑΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

- Ο κεντρικός «κινητήρας» ενός τυπικού ενεργού γαλαξία πιστεύεται ότι περιέχει μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα μάζας $\sim 10^8 M_{\odot}$ που περιέχεται σε μια περιοχή που είναι μικρότερη από 2 AU ($\sim 3 \times 10^{11}$ m) σε ακτίνα. Το μικρό μέγεθος συνάγεται εν μέρει από το γεγονός ότι ένα αντικείμενο που παρουσιάζει διακυμάνσεις στη φωτεινότητα σε μια χρονική κλίμακα Δt μπορεί να έχει ακτίνα όχι μεγαλύτερη από $R_{\max} \sim c\Delta t$.
- Το υλικό που πέφτει σχηματίζει ένα δίσκο προσαύξησης γύρω από τη μαύρη τρύπα μετατρέποντας τη βαρυτική ενέργεια σε θερμική ενέργεια και ακτινοβολία. Οι πίδακες εκπέμπονται, σε ορισμένα συστήματα, κάθετα στο δίσκο προσαύξησης. Μια τυπική φωτεινότητα AGN 10^{38} W μπορεί να παραχθεί με ρυθμό προσαύξησης περίπου $0,2 M_{\odot}$ ετησίως. Η μέγιστη φωτεινότητα μιας προσαυξημένης μαύρης τρύπας δίνεται από το όριο Eddington, στο οποίο η βαρυτική δύναμη στο υλικό που πέφτει εξισορροπείται από την πίεση ακτινοβολίας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

-

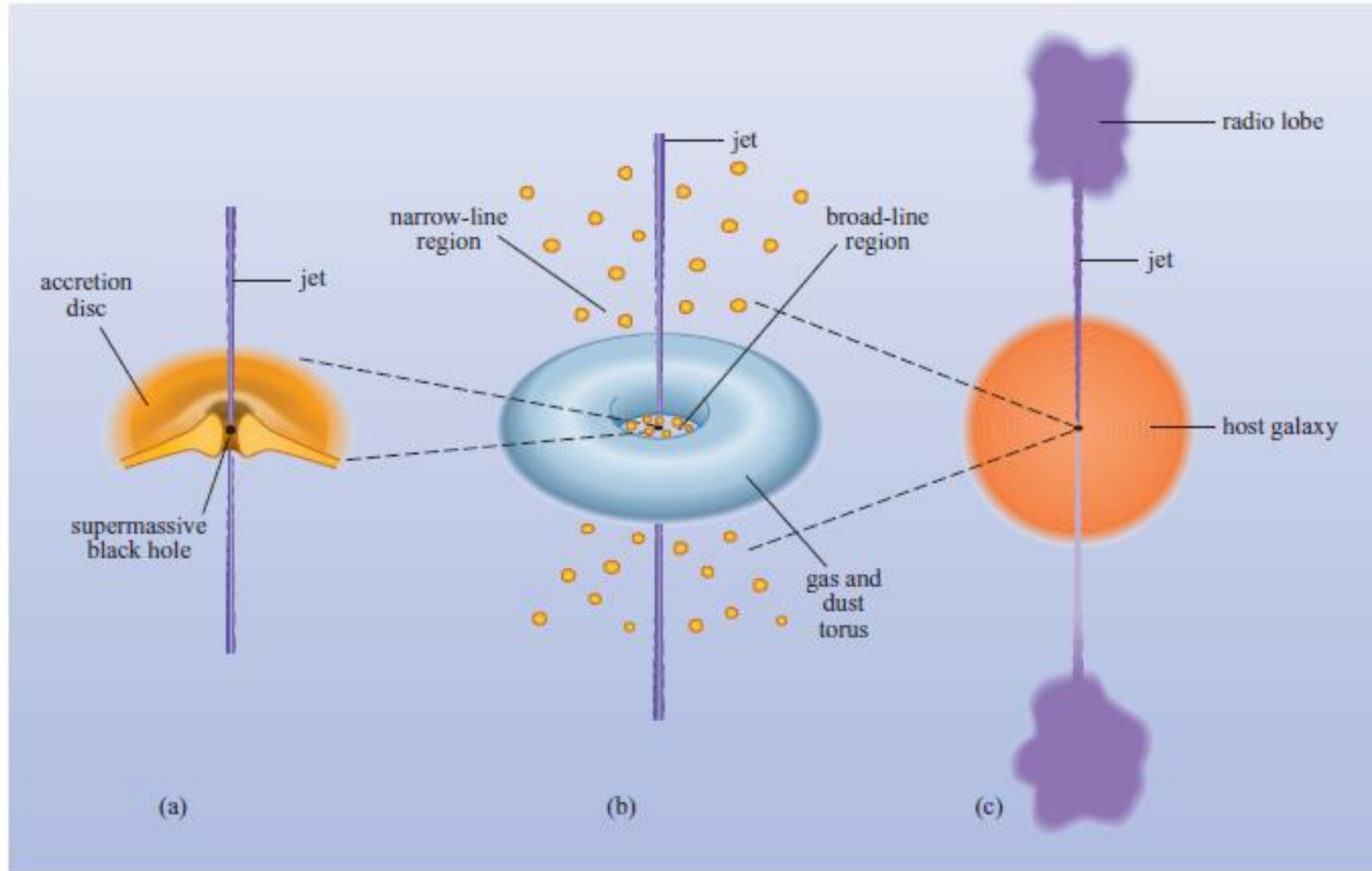


Figure 3.11 A generic model for an active galaxy. (a) A supermassive black hole is surrounded by an accretion disc; jets emerge perpendicular to it. (b) An obscuring torus of gas and dust encloses the broad line region (a few light-days across) with the narrow line region (a few hundreds of parsecs across) lying further out. (c) The entire AGN appears as a bright nucleus in an otherwise normal galaxy, whilst jets (hundreds of kiloparsec in length) terminate in radio lobes.