



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

—
Κ. Δασύρα

Εισαγωγή

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Νέο Syllabus + format

-Βασικές αρχές ανίχνευσης σήματος & λειτουργίας τηλεσκοπίων:

- Ανίχνευση H/M ακτινοβολίας. - Ανίχνευση σωματίων
- Όργανα παρατήρησης: τηλεσκόπια, ιδιαιτεροτητες ανά μήκος κύματος, και κοινά στοιχεία

- Τεχνικές Παρατήρησης:

- Αστρομετρία & συστήματα συντεταγμένων (ουράνια σφαίρα, σφαιρική τριγωνομετρία, μέτρηση χρόνου)
- Φωτομετρία (*)
- Φασματοσκοπία
- Πολωσιμετρία
- Χρονοεξαρτώμενα πειράματα
- IFU mode. Γενικευμένο pipeline processing σε οπτικό/υπέρυθρο(*)
- Συμβολομετρία

- Proposal writing(**)

- Επιλογή στρατηγικής βάσει φυσικών αναγκών και υπολογισμός ευαισθησίας και χρόνου έκθεσης. Σωστή συγγραφή πρότασης.

(*) εργαστηριακή άσκηση σε Γεροσταθοπούλειο.

(*) εργαστηριακή άσκηση με VLT data.

(**) bonus άσκηση

+ τελική εξέταση!

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Στόχοι του μαθήματος:

- εντατική εκπαίδευση στις τεχνικές αστρονομικής παρατήρησης, καλύπτοντας ολόκληρο τον κύκλο από το στρατηγικό σχεδιασμό της παρατήρησης ως την επεξεργασία δεδομένων (data reduction), την ανάλυση και την εξαγωγή φυσικών αποτελεσμάτων.
- γνώσεις ανίχνευσης ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος, αλλά και οργανολογίας, συστημάτων συντεταγμένων και τεχνικών παρατήρησης
- hands-on εμπειρία με εκπόνηση εργαστηριακών ασκήσεων με χρήση ίδιων εγκαταστάσεων του Τμήματος Φυσικής (Γεροσταθοπούλειο Αστεροσκοπείο, Ραδιοτηλεσκόπια),
- προετοιμασία για μελλοντική έρευνα με εκμάθηση επεξεργασίας δεδομένων από μεγάλα διεθνή τηλεσκόπια με προσφερόμενους και ίδιους κώδικες, αλλά και συγγραφής προτάσεων νέων παρατηρήσεων και σχετικών στρατηγικών.

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Βιβλιογραφία πέραν σημειώσεων eclass:

Παρατηρησιακή Αστροφυσική, Αλυσσανδράκης, Νιντος, Πατσουράκος

[https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/5506/1/00_master_document.pdf]

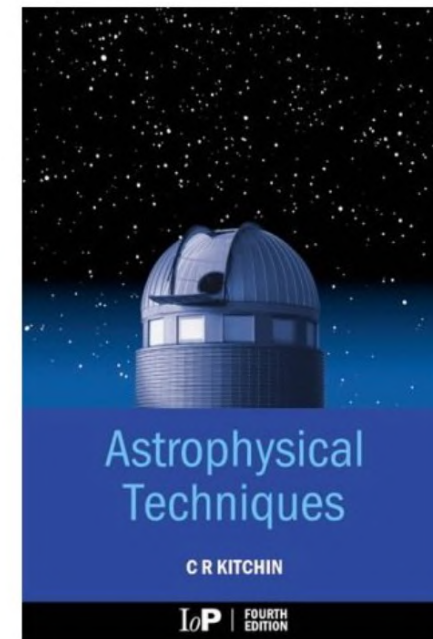
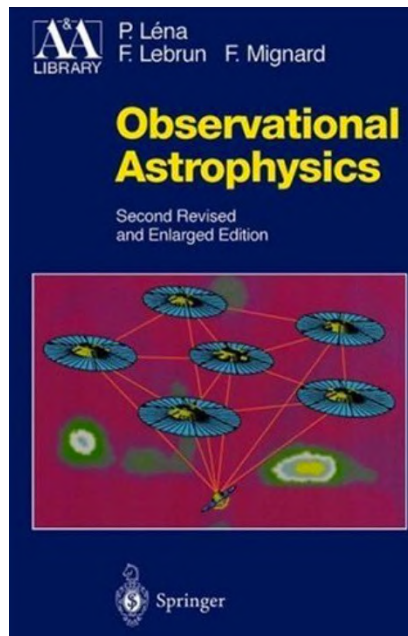
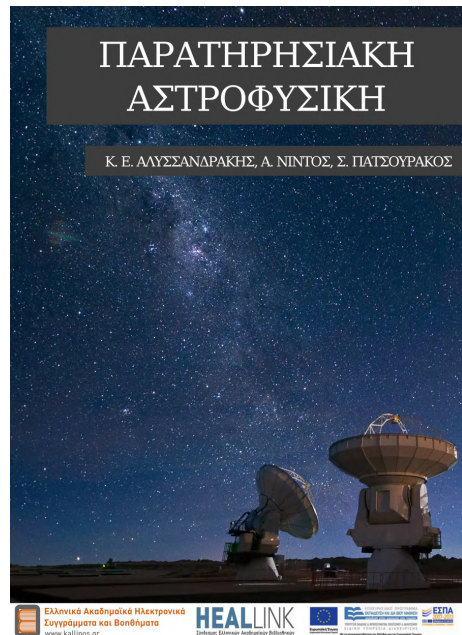
Observational Astrophysics, P. Lena, 3rd edition, 2012, Springer

Astrophysical Techniques, C.R.Kitchin, 6th edition 2013, Institute of Physics Publishing

Observing the Universe ed. A.J. Norton, The Open University, Cambridge U.P., 2004

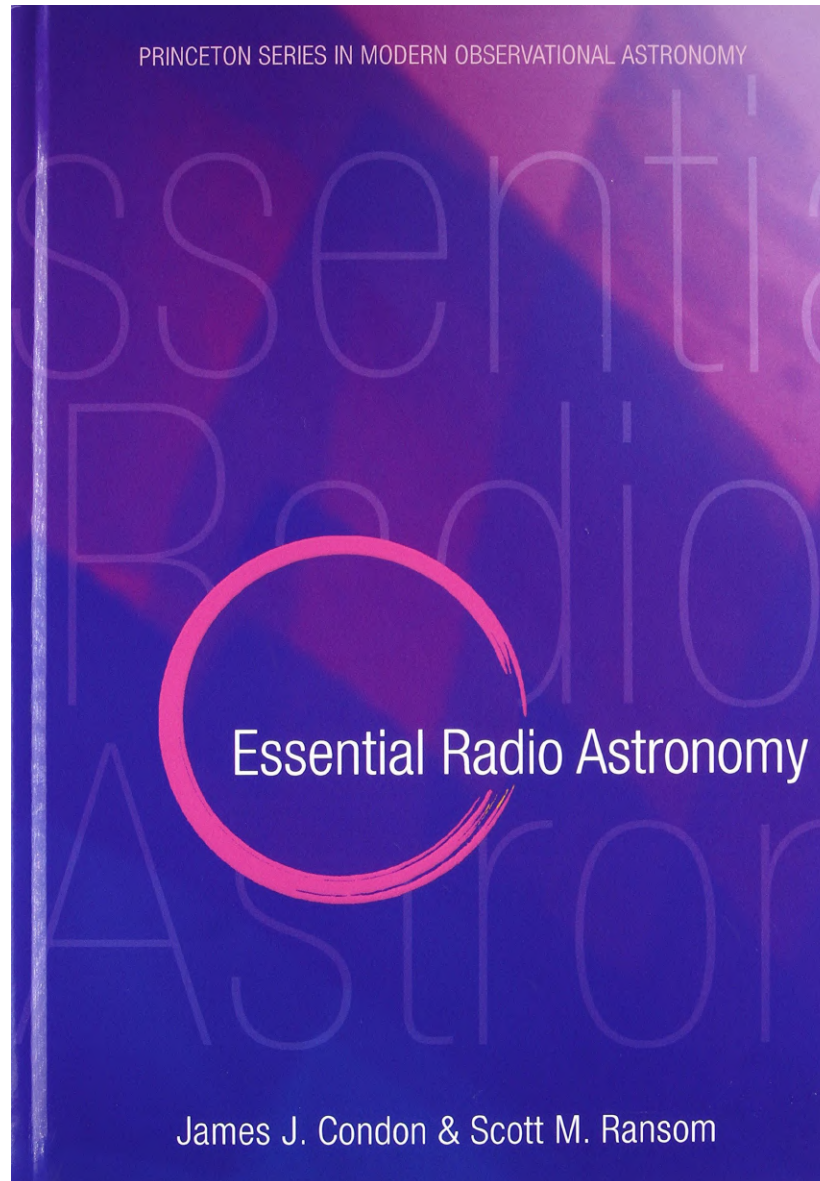
Observational Astrophysics, R.C. Smith, Cambridge University Press, 1995

Τρόπος βαθμολόγησης: Εξετάσεις + εργαστηριακές ασκήσεις – 50% - 50%



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

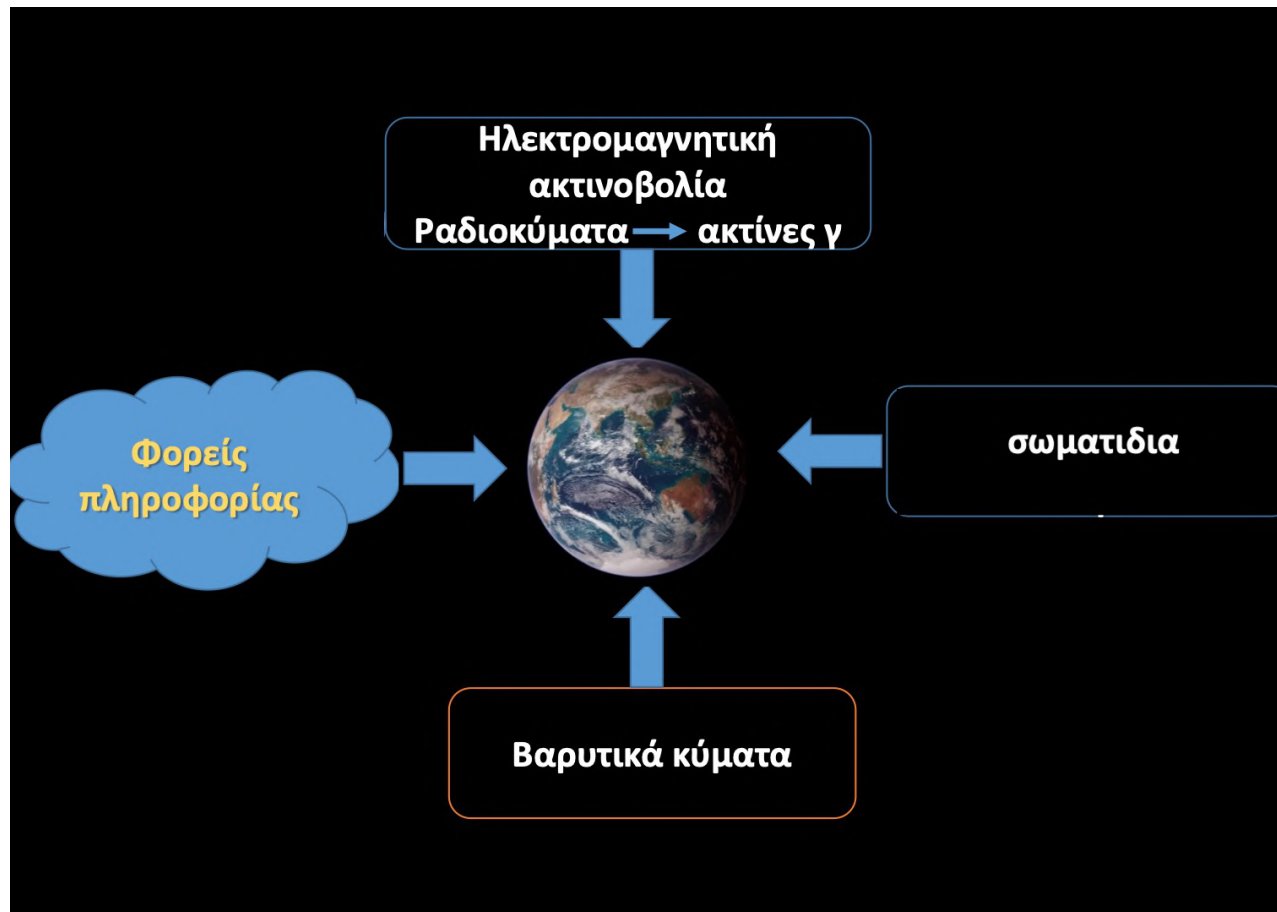
Καλό (και σύγχρονο βιβλίο για τεχνικές ραδιοαστρονομίας)



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Παρατηρησιακή Αστρονομία:

Ο κλάδος της αστροφυσικής που μας επιτρέπει να λάβουμε το σήμα άλλων πηγών, να μετρήσουμε ιδιότητές τους, να χαρτογραφήσουμε το Σύμπαν, να τεστάρουμε μοντέλα. 'Interface' της το τηλεσκόπιο, του οποίου η μορφή εξελίσσεται συνεχώς.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

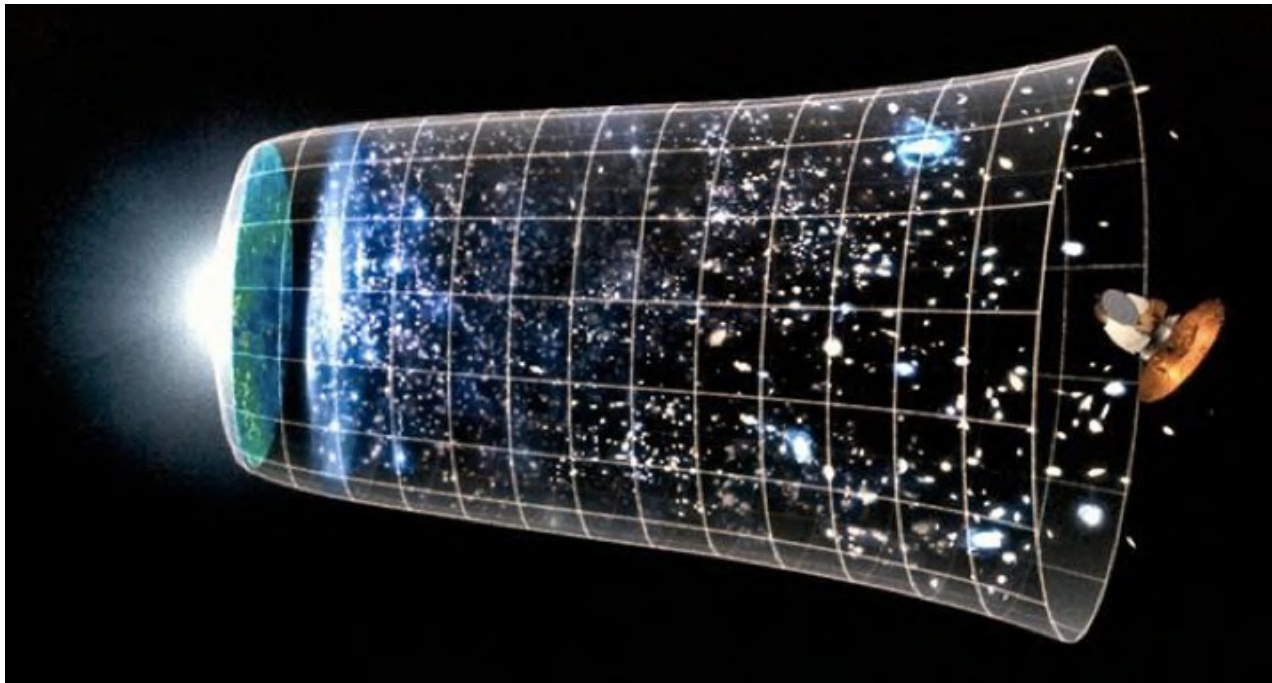
Παρατηρησιακή Αστρονομία:

Ο κλάδος της αστροφυσικής που μας επιτρέπει να λάβουμε το σήμα άλλων πηγών, να μετρήσουμε ιδιότητές τους, να χαρτογραφήσουμε το Σύμπαν, να τεστάρουμε μοντέλα. 'Interface' της το τηλεσκόπιο, του οποίου η μορφή εξελίσσεται συνεχώς. [Μεθόδοι ανίχνευσης:](#)



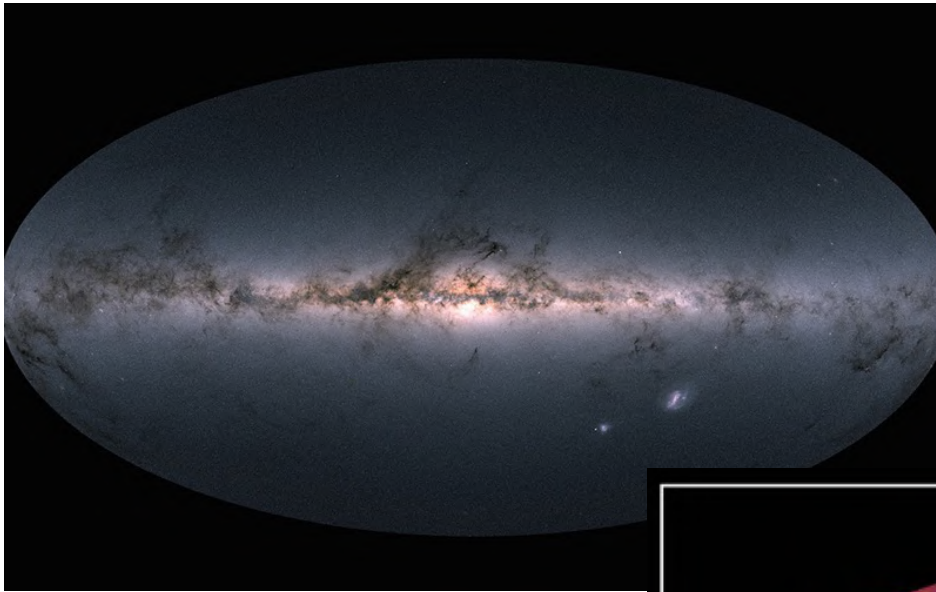
Μερος 1: Η/Μ ακτινοβολία:

Χρειαζόμαστε πολυχρωματική πληροφορία για να ασχοληθούμε με τα περισσότερα θέματα της σύγχρονης αστροφυσικής και κοσμολογίας όπως: η κατανόηση της δημιουργίας του Σύμπαντος, των δομών, γαλαξιών, αστερών, αλλά και φαινομένων μικρότερης κλίμακας όπως η δημιουργία μορίων

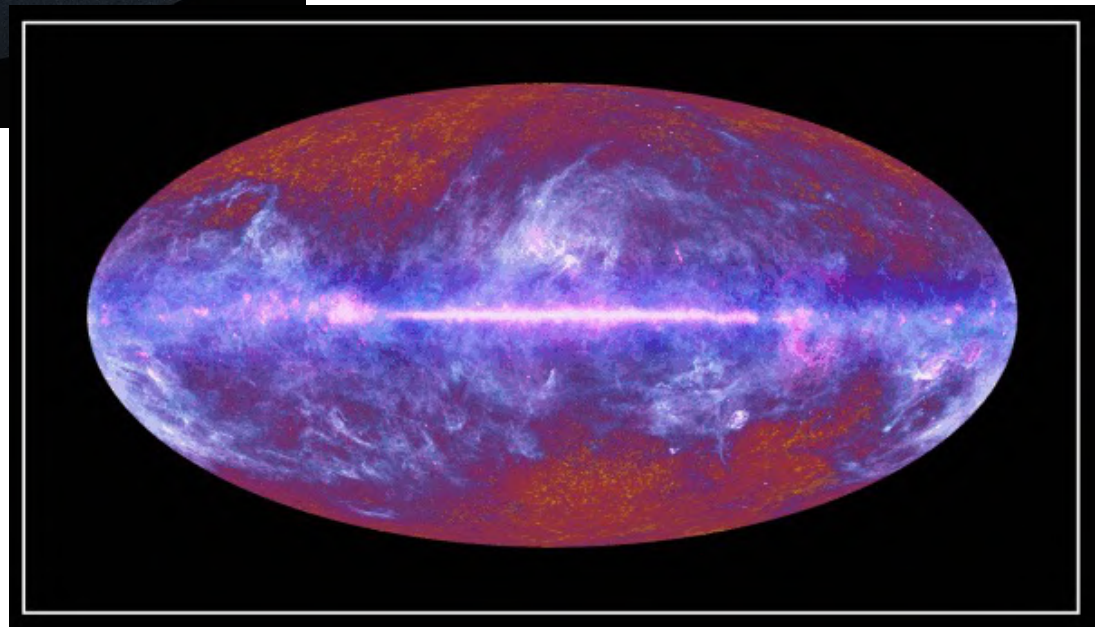


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Όμως οι δέκτες μας δουλεύουν σε πολύ μικρά εύρη μηκών κυματος
Επιπλέον, από φυσικής άποψης, βλέπουμε εκπομπή από διαφορετικά φαινόμενα ανά λ.



Οπτικό vs.
Submm (ραδιο)



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Πολύ σημαντική, κατανόηση του τι βλέπουμε ανά μήκος κύματος. Π.χ.,

- ✓ Το Γαλαξία μας
- ✓ Την ακτινοβολία υποβάθρου από την αρχή της δημιουργίας του Σύμπαντος
- ✓ Άλλους γαλαξίες
- ✓ Πίδακες από μαύρες τρύπες στα κέντρα ενεργών γαλαξιών π.χ, Α Κενταύρου
- ¿ Πιθανόν κάποιες δομές μεγάλης κλίμακας.

Σκοπός μας είναι να μάθουμε να αναγνωρίζουμε τις δομές που βλέπουμε σε εικόνες /φασματα και αντιστροφα να αιτουμαστε προτάσεις για εικονες/φασματα για να μελετάμε δομές.

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Συχνά, μια πρώτη εκτίμηση έρχεται από την ακτινοβολία μελανού σώματος

Υπενθύμιση, ειδική ένταση ακτινοβολίας από νόμο του Planck:

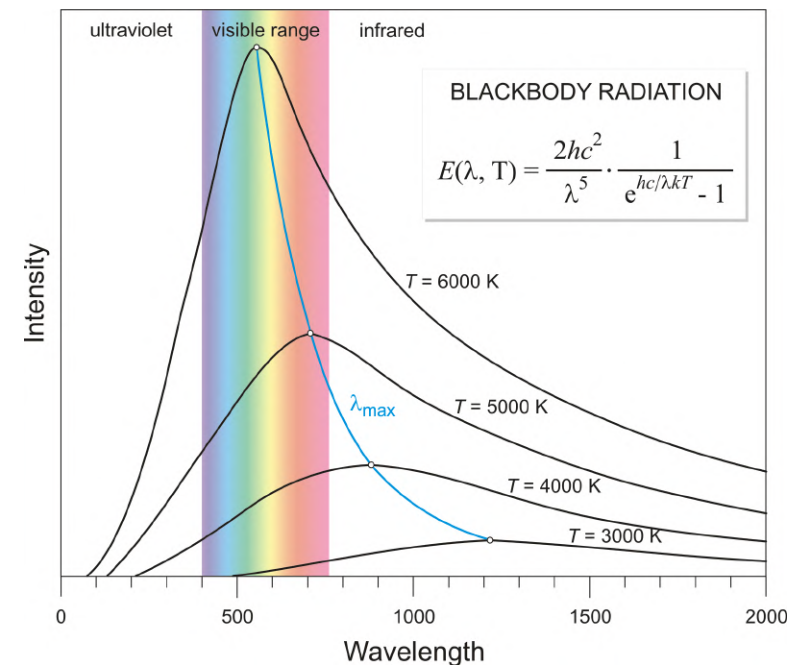
$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ Hz}^{-1}]$$

Αν ολοκληρώσουμε σε στερεά γωνία και συχνότητα $\rightarrow$ συνολική ισχύς ανά επιφάνεια

$$\int_{\Omega} \int_{\nu} B_\nu(T) d\nu d\Omega = \sigma T^4 \quad [\text{W m}^{-2}]$$

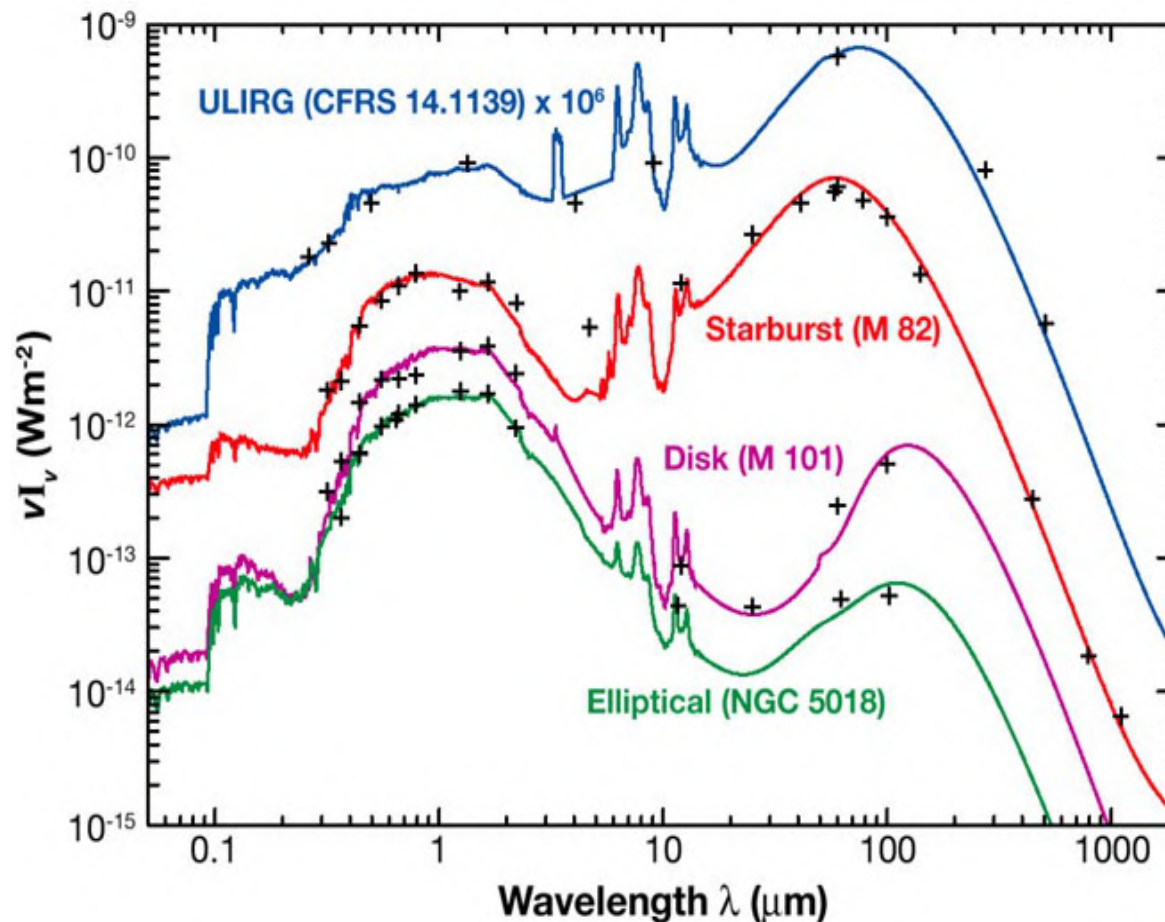
Αν θέσουμε την παράγωγο ίση με το μηδέν, βρίσκουμε που αλλάζει πρόσημο η κλίση, άρα που έχει μέγιστο η συνάρτηση $\rightarrow$ Νόμος του Wien

$$\frac{dB_\lambda}{d\lambda} = 0 \quad \rightarrow \quad \lambda_m T = 2.898 \text{ mm K}$$



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

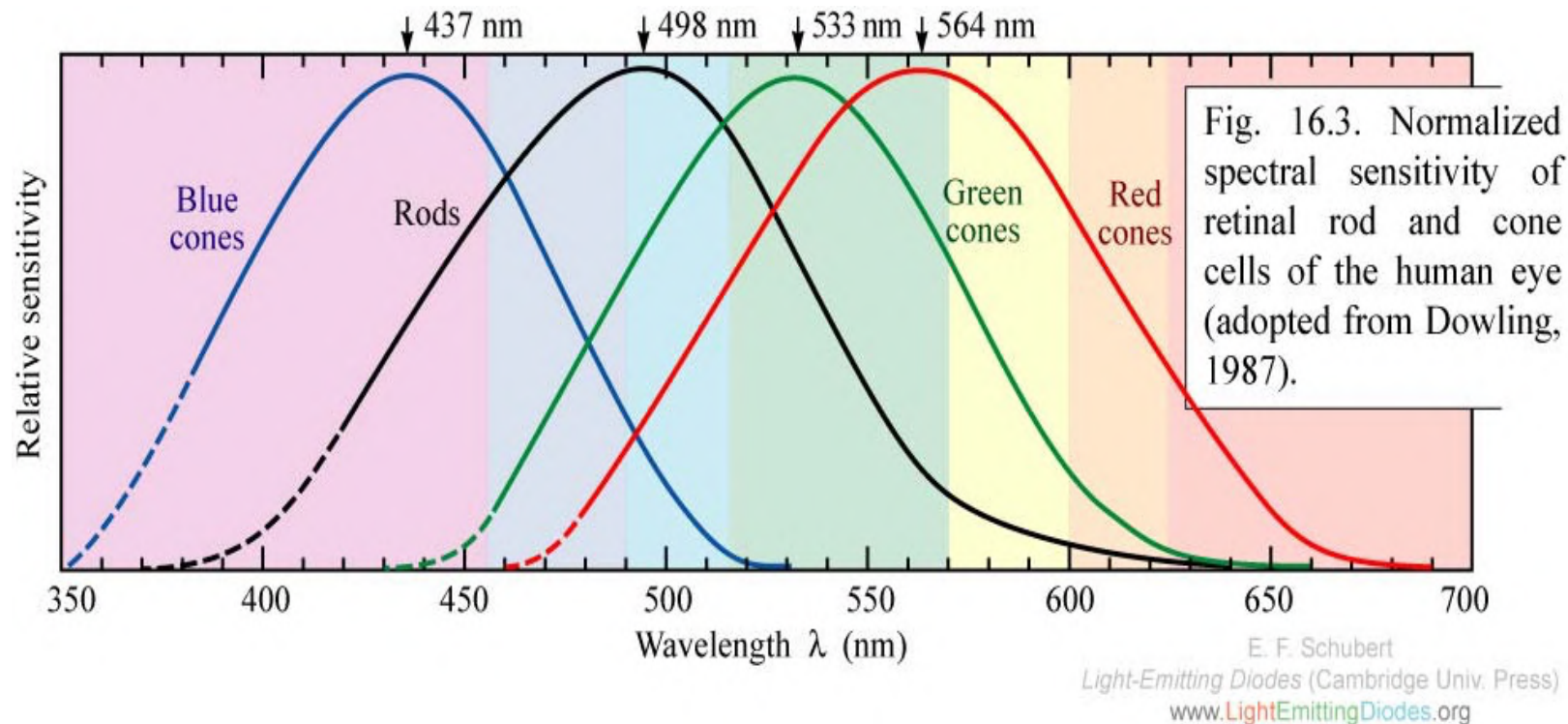
Συχνά, μια πρώτη εκτίμηση έρχεται από την ακτινοβολία μελανού σώματος
Γιατί είναι ο κύριος μηχανισμός περιγραφής ακτινοβολίας για
→ Αστέρια, σκόνη, δίσκοι προσαύξεσης μαύρων τρυπών



Ενδεικτικές παρατηρήσεις ανά μήκη κύματος: **1) οπτικό (ή ορατό)**

Οπτικό: το πιο 'κλασικά' μελετημένο μήκος κύματος. Από αυτό ουσιαστικά ξεκίνησαν οι παρατηρήσεις δεδομένου ότι οι πρώτοι detectors ήταν το ανθρώπινο μάτι, πίσω από τον προσοφθάλμιο. (Βέβαια το μάτι δεν είναι καλός δέκτης για αστρονομικές παρατηρήσεις γιατί ο ρυθμός ανανέωσης της πληροφορίας τάξεως 0.01 δευτερόλεπτο.)

10 frames / second χρειάζονται για την ανίχνευση κίνησης – βαθιές εκθέσεις αδύνατον.



Ενδεικτικές παρατηρήσεις ανά μήκη κύματος: **1) ΟΠΤΙΚΟ**

Το μήκος κύματος στο οποίο βλέπουμε

- τα **αστέρια** των γαλαξιών, τη μορφολογία τους,
(κι από το πηλίκιο L/M να εκτιμήσουμε τη μάζα τους.)



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Οπτικό: "Workhorse" των παρατηρήσεων.

Το χρησιμοποιούμε και για στατιστικά, όπως, π.χ., πώς αλλάζει ο αριθμός και η μορφολογία γαλαξιών στο Σύμπαν μέσω surveys.

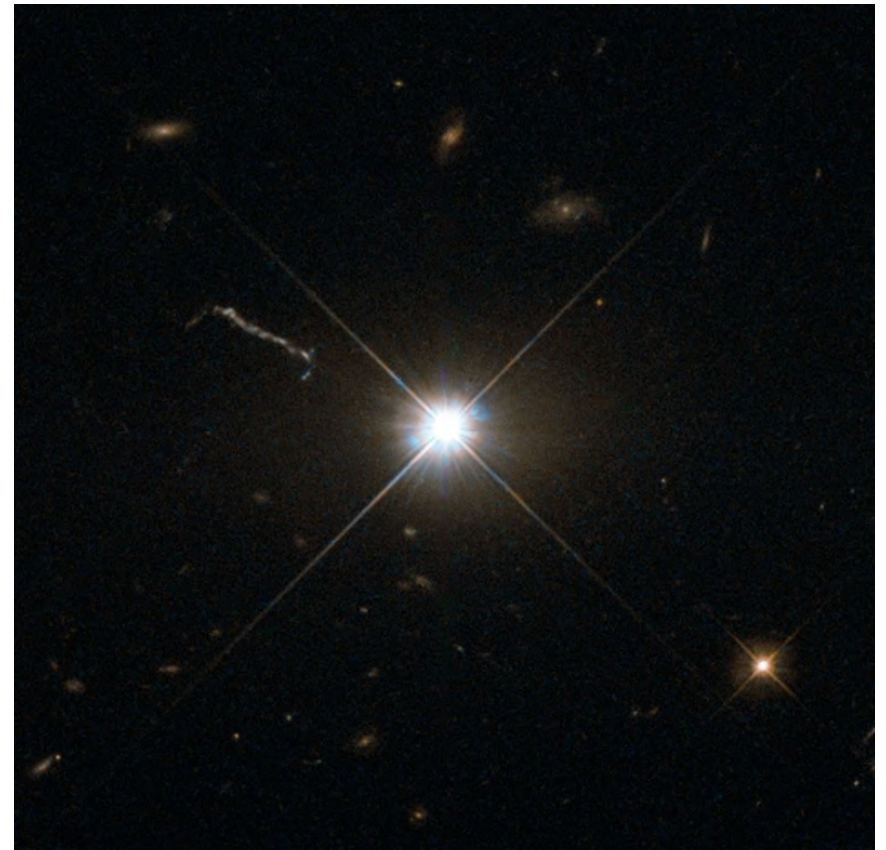


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Οπτικό: "Workhorse" των παρατηρήσεων.

Το μήκος κύματος στο οποίο βλέπουμε

- **Δίσκους πρόσπτωσης** (σε μαύρες τρύπες)
Οι δίσκοι παρότι είναι πολύ μικροί ($< 1 \text{ pc}$) για να είναι διακριτοί με τη διακριτική ικανότητα των περισσοτέρων τηλεσκοπίων, μπορούν να αναγνωριστούν από τη μεγάλη συνεισφορά τους στη ροή. Μπορούν να ξεπεράσουν τη λαμπρότητα των αστεριών ενός γαλαξία, ο οποίος φαίνεται σαν quasi stellar object (QSO).

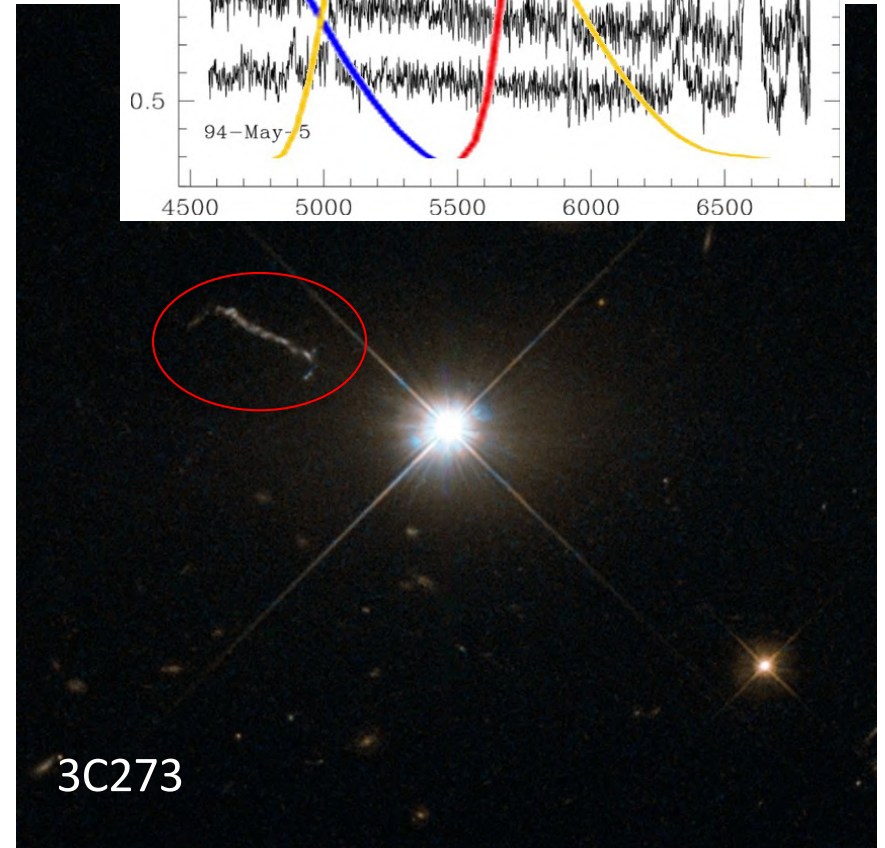
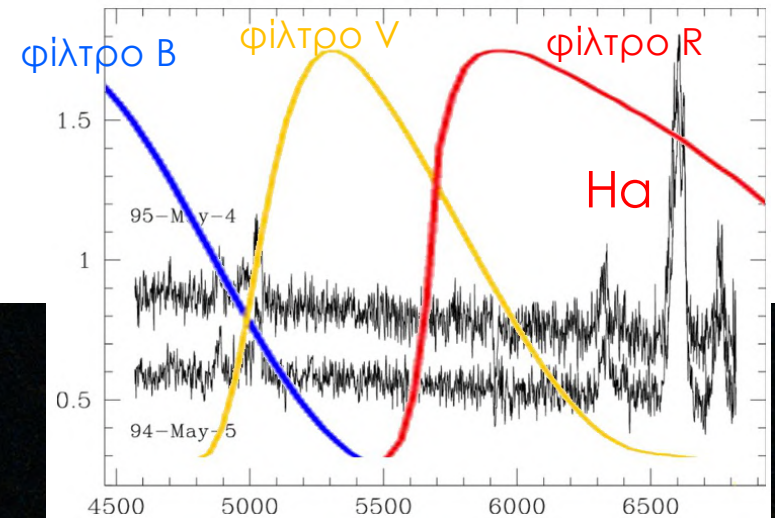


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Οπτικό: "Workhorse" των παρατηρήσεων.

Το μήκος κύματος στο οποίο βλέπουμε

- **Δίσκους πρόσπτωσης** (σε μαύρες τρύπες)
Οι δίσκοι παρότι είναι πολύ μικροί ($< 1 \text{ pc}$) για να είναι διακριτοί με τη διακριτική ικανότητα των περισσοτέρων τηλεσκοπίων, μπορούν να αναγνωριστούν από τη μεγάλη συνεισφορά τους στη ροή. Μπορούν να ξεπεράσουν τη λαμπρότητα των αστεριών ενός γαλαξία, ο οποίος φαίνεται σαν quasi stellar object (QSO).
- **Αέριο** (γραμμές εκπομπής λόγω διέγερσης ηλεκτρονικών στάθμων ή ιονισμού κι επανασύνδεσης)

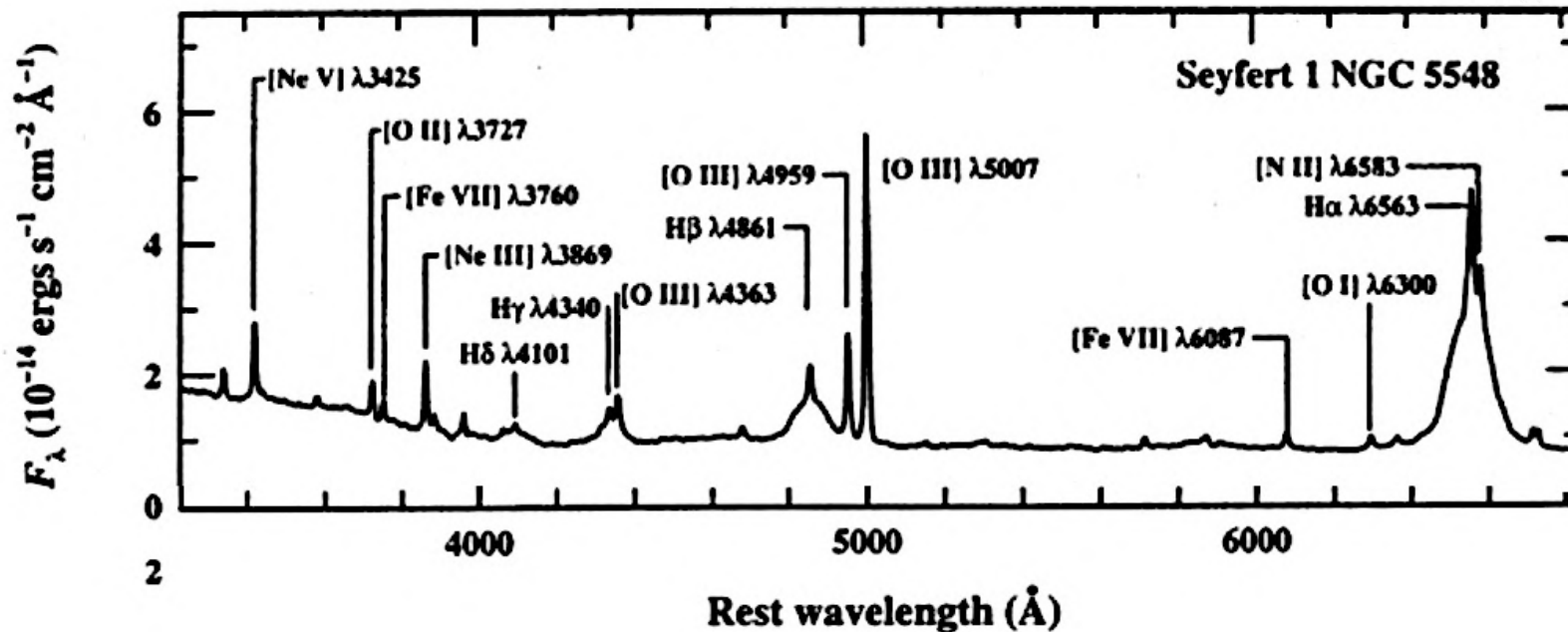
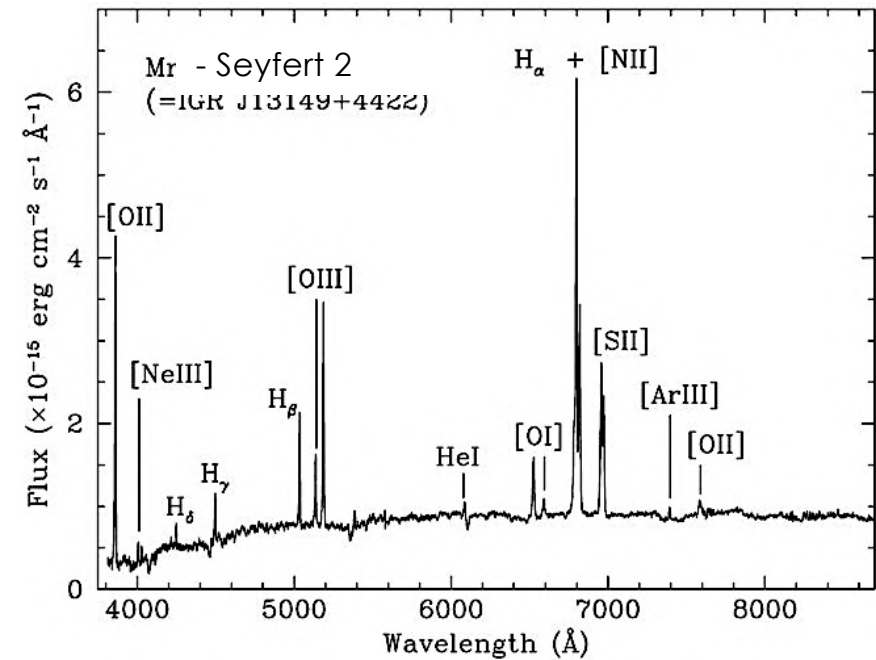


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Οπτικό: "Workhorse" των παρατηρήσεων.

Το μήκος κύματος στο οποίο βλέπουμε

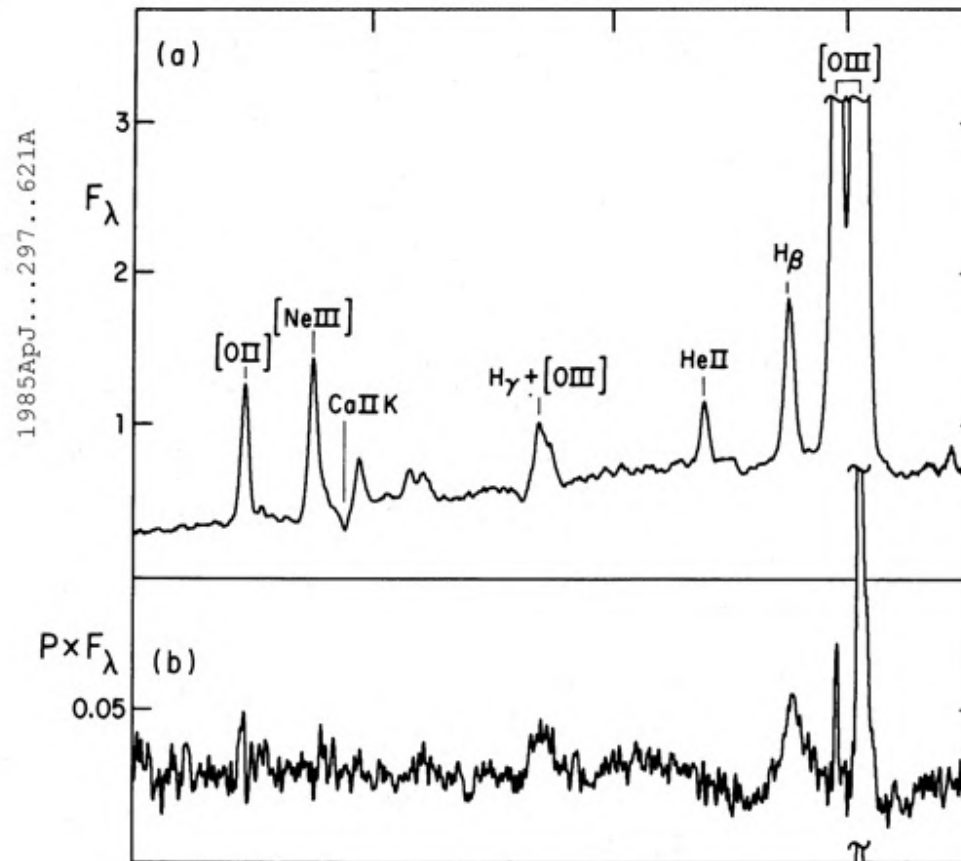
- **Αέριο.** Παραδείγματα:



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Με πολωσιμετρία:

Antonucci & Miller 1985: Φάσμα του NGC1068 (τύπου 2). Παρότι ένα κανονικό φάσμα φαίνεται obscured, **σε πολωμένο φως φαίνεται unobscured και υπάρχει αέριο βαρυτικά δέσμιο σε μαύρη τρύπα**. Γιατί βοήθησαν οι παρατηρήσεις με πόλωση; Η σκόνη, όντας φορτισμένη ακολουθεί τον προσανατολισμό του Η πεδίου, κι έτσι απορροφά/σκεδάζει προτιμητέα σε 1 μόνο πόλωση. Στην άλλη πόλωση, το φως περνά ανεμπόδιστο, κι έτσι μπορούμε να δούμε φως κοντά στη ΜΤ.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ενδεικτικές παρατηρήσεις ανά μήκη κύματος: **2) υπεριώδες (UV)**

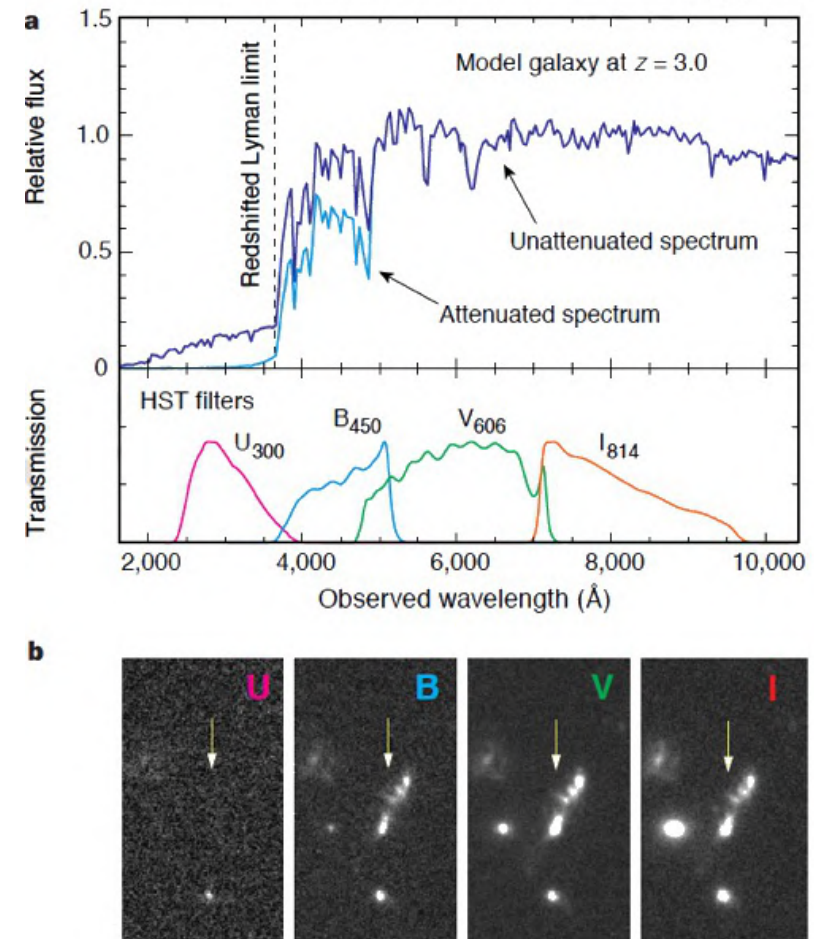
- Θερμότερα τμήματα δίσκων πρόσπτωσης,
- Αστέρια (νεαρότερα)

Τα φάσματα των οποίων χρησιμοποιούμε **και για να ανακαλύψουμε νέους γαλαξίες, π.χ., με την τεχνική Lyman-Break**

Για να ιονιστεί ένα άτομο H, του οποίου το e- είναι στη βασική στάθμη, απαιτούνται φωτόνια με μήκος κύματος 912 Angstrom (Lyman limit).

Φωτόνια με αυτήν ή μεγαλύτερη ενέργεια απορροφούνται τόσο από αέριο του ίδιου του γαλαξία υπό μελέτη όσο και πιθανών μπροστινών (προβολικά) γαλαξιών/νεφών.

Το Lyman Break θα παρατηρηθεί στα $912 * (1+z) \sim 3650$ Angstrom για γαλαξία Σε $z=3$, όταν το Σύμπαν είχε ηλικία 2 Gyr. Θα φανεί ως διαφορά στα φίλτρα U και B.

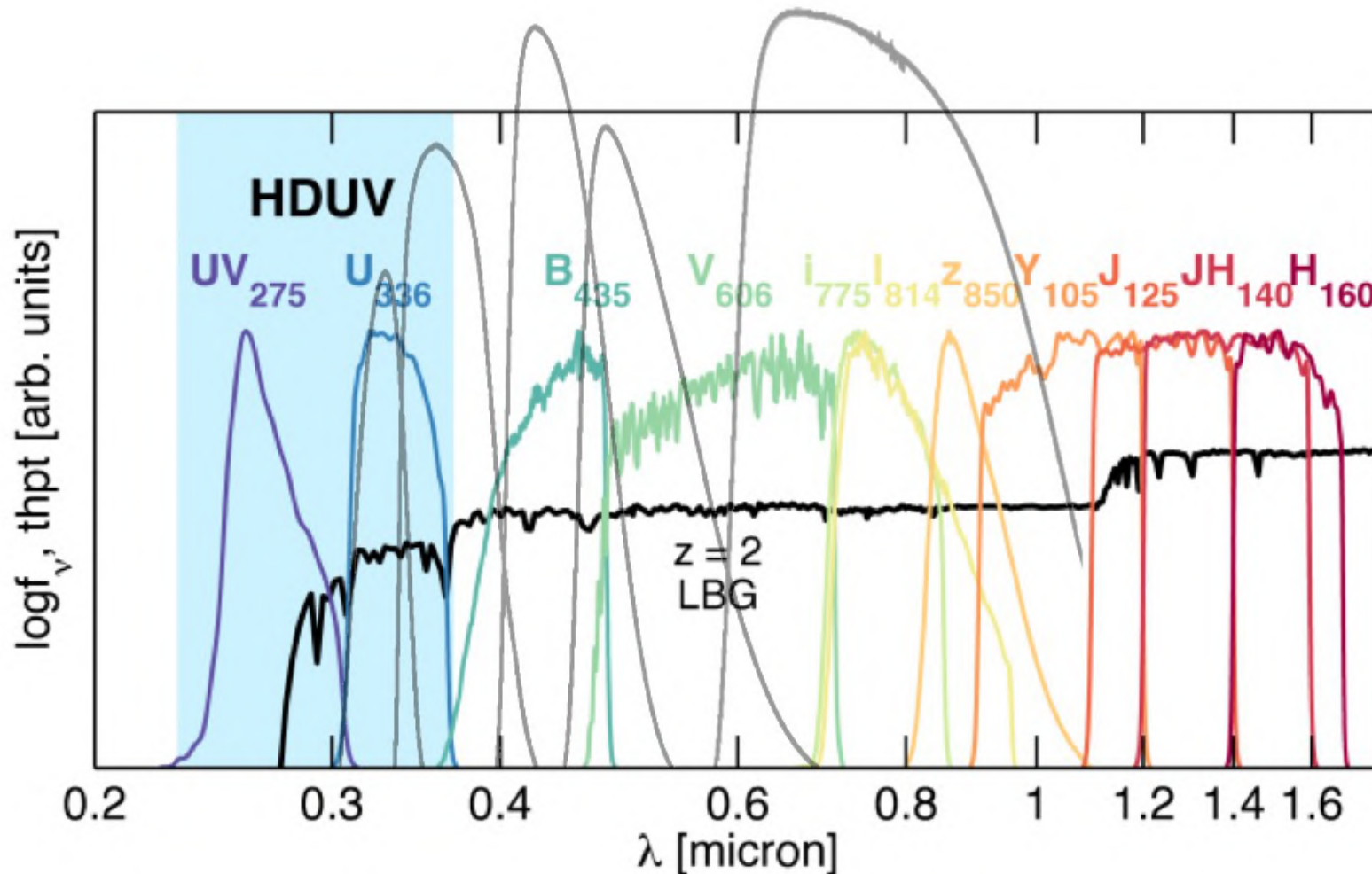


Ενδεικτικές παρατηρήσεις ανά μήκη κύματος: **2) υπεριώδες (UV)**

Χρώματα: φίλτρα Hubble. Γκρι:

Κλασσικά 'Johnson's' filters (UBVRI) που χρησιμοποιούνται σε πολλά επίγεια τηλεσκόπια.

Μπλε και κόκκινα δείχνουν το υπεριώδες και το υπέρυθρο αντιστοίχα.

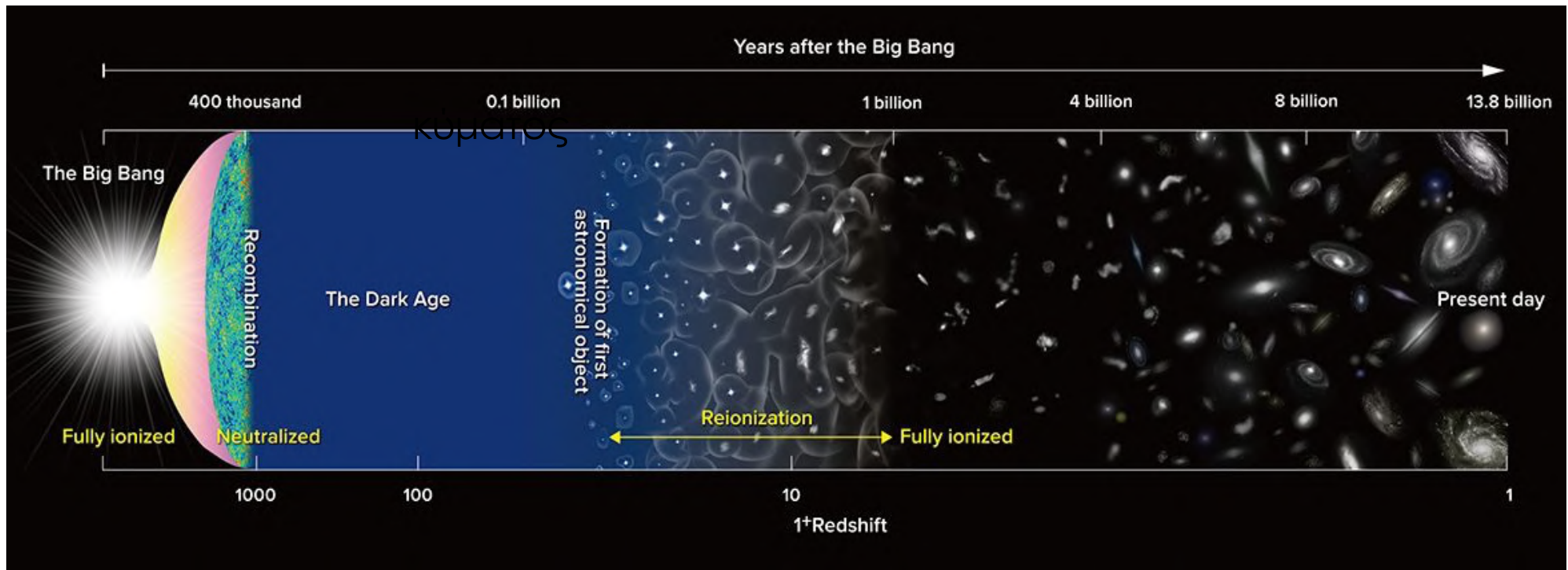


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ενδεικτικές παρατηρήσεις ανά μήκη κύματος: **3) υπερευθρο**

1) Μελέτες αναφορικά με πολύ μακρινούς γαλαξίες, λόγω ερυθρομετατόπισης του φωτός, $\lambda = \lambda_0(1+z)$, οπότε ολόκληρη φασματική κατανομή ενέργειας γαλαξιών μετατοπίζεται αντίστοιχα.

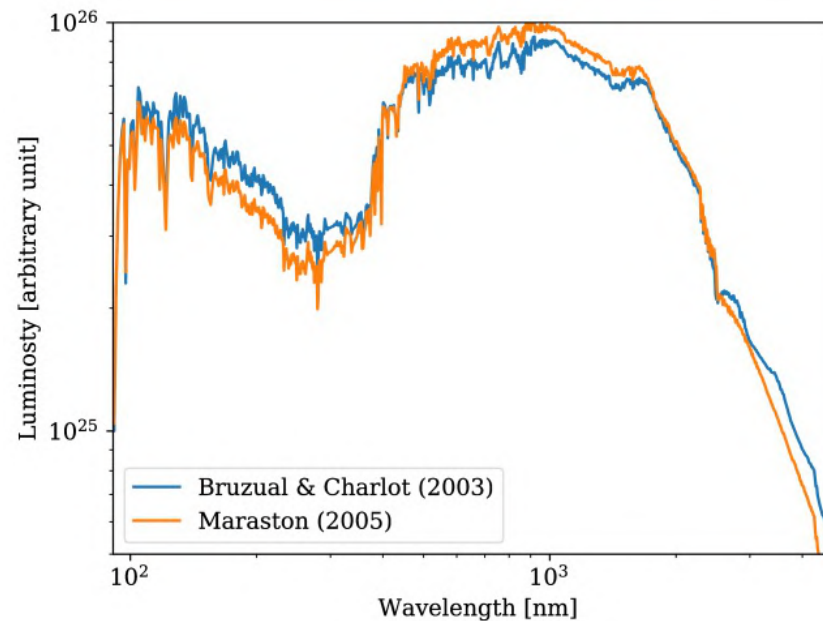
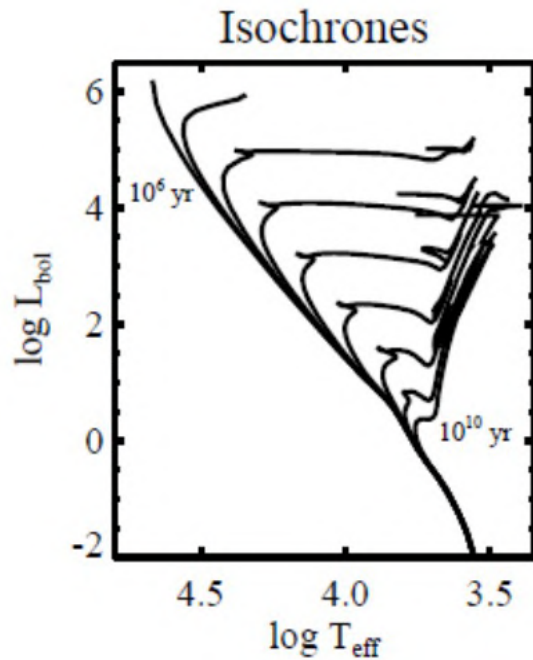
Η ερυθρομετατόπιση 11 και πάνω, βλέπει τους πρώτους γαλαξίες που φτιάχτηκαν (0.4Gyr).



Υπέρυθρο:

2) Αστέρια

Τα αστέρια που φαίνονται στο υπέρυθρό είναι κυρίως γηραια, ή μικρής μάζας στην κύρια ακολουθία για ισοχρονο πληθυσμο, όπως κι από το asymptotic giant brach.



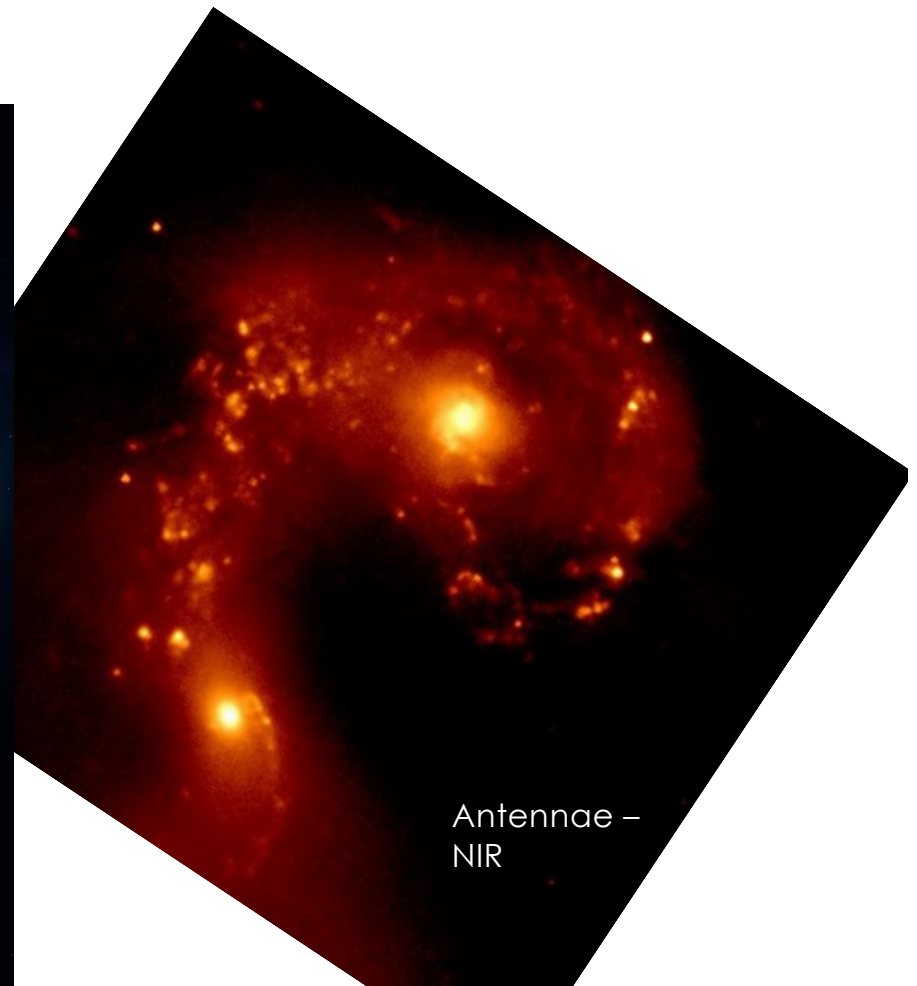
Αστρικός πληθυσμός ηλικίας $\sim 10^{10} \text{ yr}$.

Δεν παρατηρείται ανιχνεύσιμη εκπομπή πέραν των $\sim 5 \text{ μικρών}$

Υπέρυθρο:

3) Μελέτες αναφορικά με σκόνη -

βλέπουμε αστέρια σε περιοχές γαλαξιών με μεγάλες ποσότητες σκόνης, όπως π.χ., στα κέντρα γαλαξιών ή συγκρούσεων όπου υπάρχουν ή έχουν μεταβεί μεσοαστρικό υλικό.



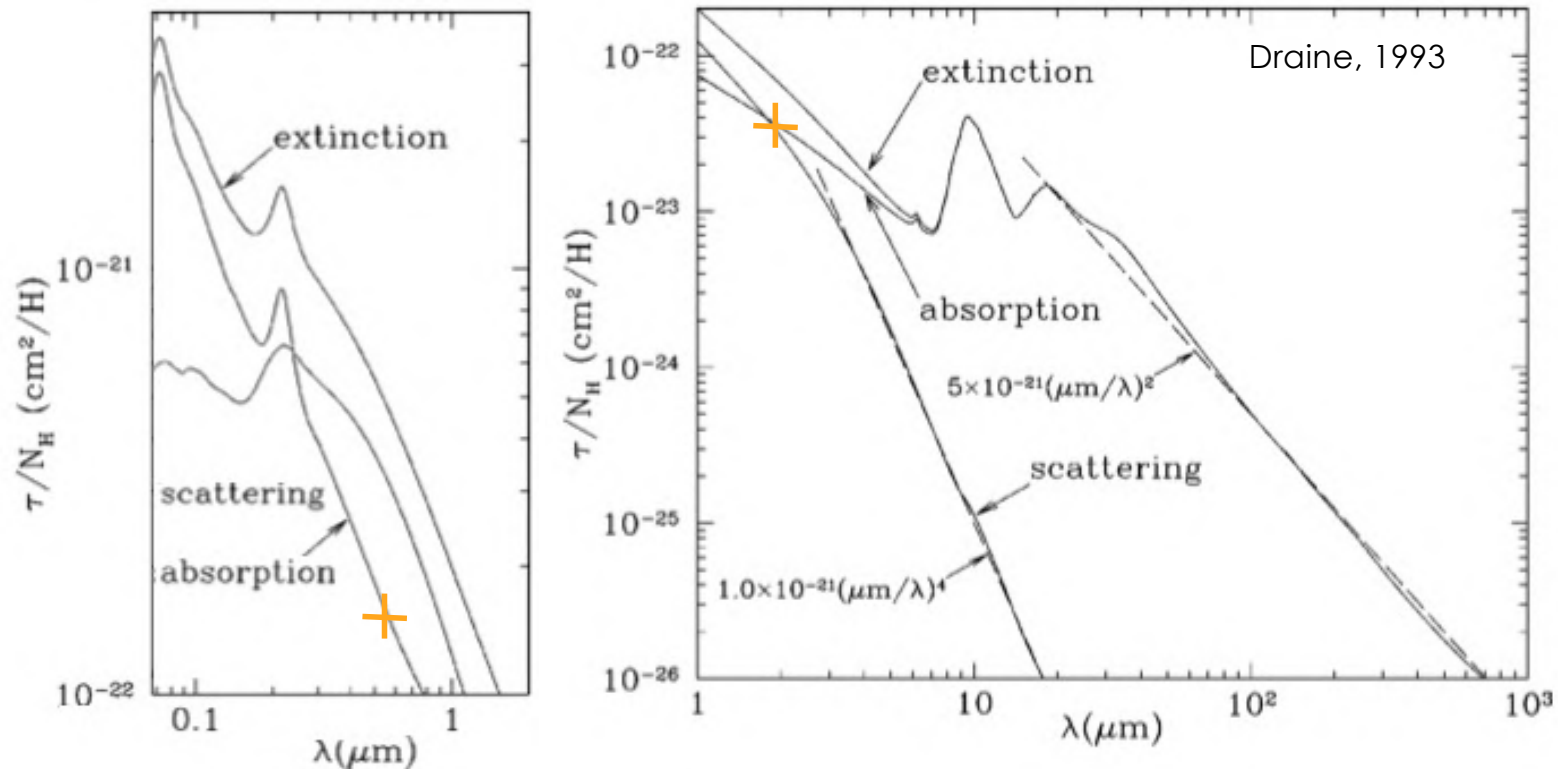
Υπέρυθρο:

3) Μελέτες αναφορικά με σκόνη. Γιατί βλέπουμε πίσω από τη σκόνη στο υπέρυθρο;



Καμπύλη απορρόφησης (και σκέδασης) ανά λ από μοντέλα κόκκων πυριτίου, γραφίτη κλπ: από τα 5000Å στα 2 μm , το οπτικό βάθος της σκόνης πέφτει κατά έναν παράγοντα του 5.

$I = I_0 e^{-\tau}$, άρα η απορρόφηση του φωτός μειώνεται κατά έναν παράγοντα του ~ 50 .



Υπέρυθρο:

3) Χάρη στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της σκόνης -

μπορούμε όμως να δούμε αστέρια μέσα σε πυκνά νέφη που είναι πολύ συσκοτισμένα (π.χ., στα πρώτα στάδια της ζωής τους παρότι έχουν χαμηλή εκπομπή στο IR).

Η γνώση αυτή είναι πολύ σημαντική, καθώς η τελική κατάσταση των αστεριών (π.χ., αν θα γίνουν λευκοί νάνοι ή μαύρες τρύπες) εξαρτάται από την αρχική μάζα.

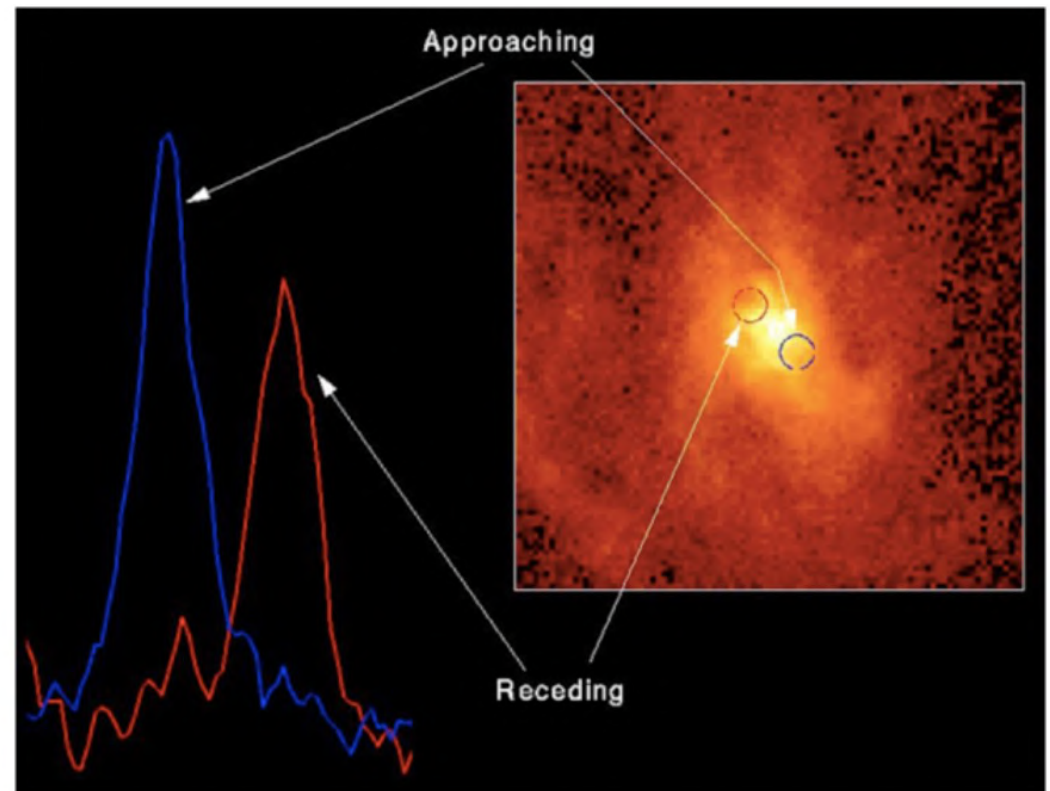


Υπέρυθρο:

3) Χάρη στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της σκόνης - μπορούμε επίσης να δούμε και το αέριο κοντά σε μαύρες τρύπες. «Κοντά», εννοώντας σε περιοχές που υφίστανται τη βαρυτική έλξη, κι αυτή αντικατοπτρίζεται στην κινηματική του αερίου.

Αποτέλεσμα από το HST, 1994: Μέτρηση μάζας μαύρης τρύπας του M87

[HST measurement: $2 \times 10^9 M_{\odot}$ vs. 2019 EHT measurement : $6.5 \times 10^9 M_{\odot}$]



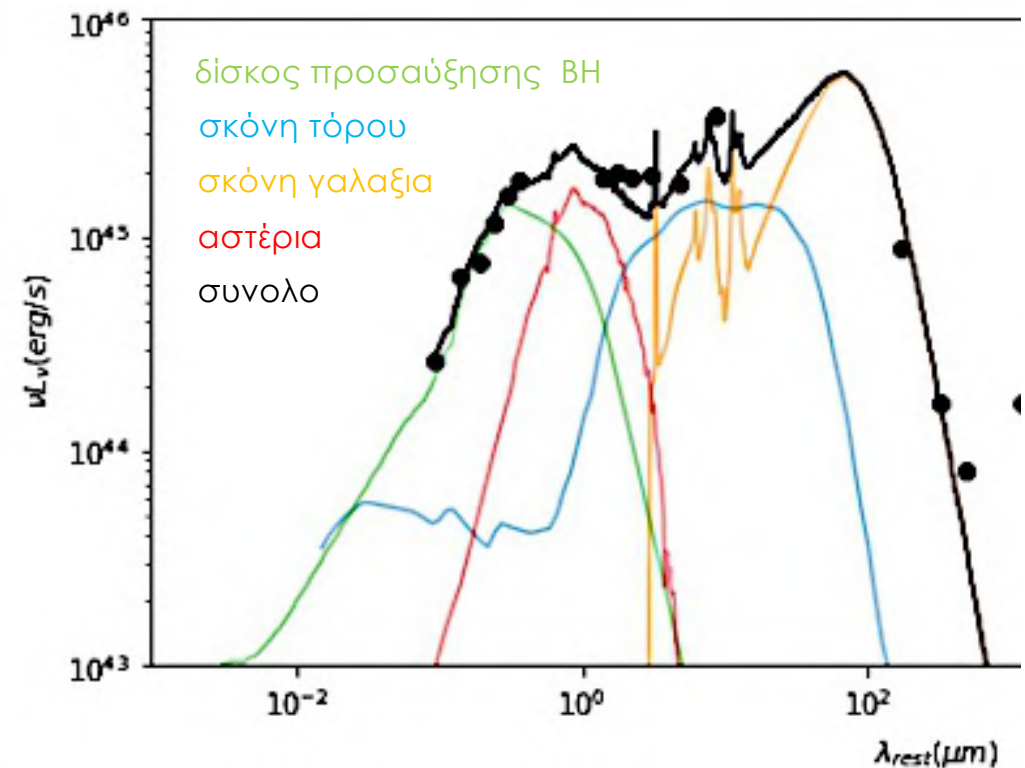
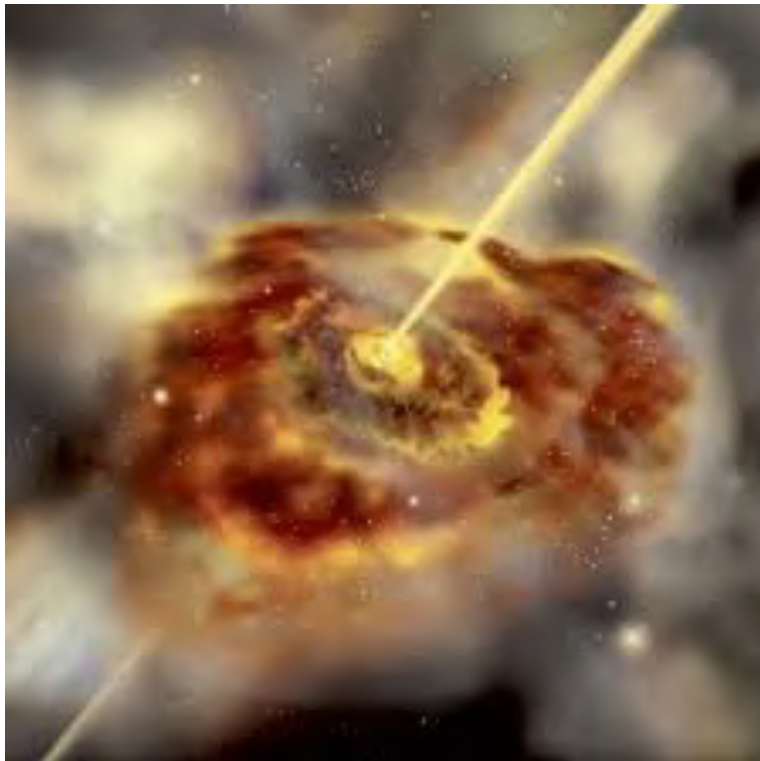
Zooming in on the heart of galaxy M-87 some 50 million light years from Earth, the Hubble Space Telescope took spectra allowing astronomers to measure the velocity of gas swirling around the core -- about 1.2 million miles per hour. The enormous velocity implies the existence of a black hole with a mass of 3 billion suns crammed into a volume no larger than Earth's solar system.

Υπέρυθρο:

4) Μελέτες αναφορικά με **θερμική εκπομπή σκόνης!**

Π.χ. σκόνη του **γαλαξία** αθροιστικά, που αρχίζει να διαφαίνεται από λίγα μικρά και πάνω, αλλά κι εκπομπή **τόρου** γύρω από μαύρες τρύπες.

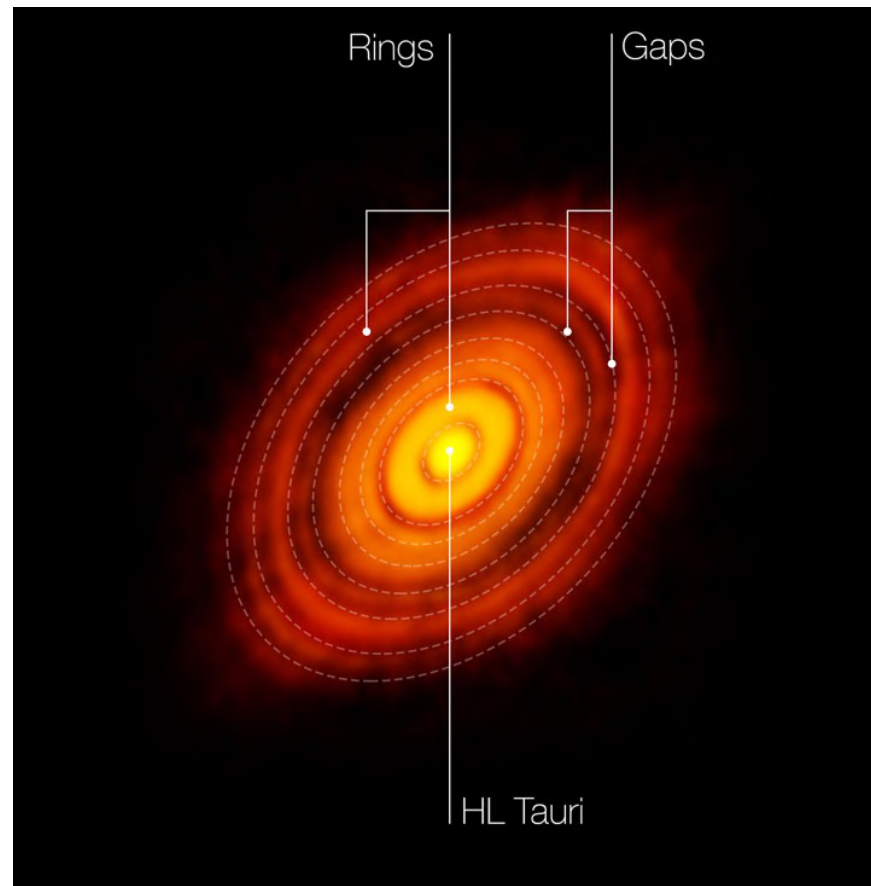
Ο τόρος αποτελείται κυρίως από μη ιονισμένο αέριο (έχει σκόνη, μοριακά νεφ), με μέγεθος 10-100 light days (Suganuma et al. 2006). Η εκπομπή του τόρου αρχίζει να ανεβαίνει απότομα εκεί που τα αστέρια αρχίζουν να σβήνουν, στο κοντινό υπέρυθρο (λόγω T μελανών σωμάτων).



Υπέρυθρο:

Αντίστοιχα, από τη **θερμική εκπομπή σκόνης και φασματοσκοπία** μπορούμε να ανακαλύψουμε νέα πλανητικά συστήματα και να βρούμε τη σύστασή τους.

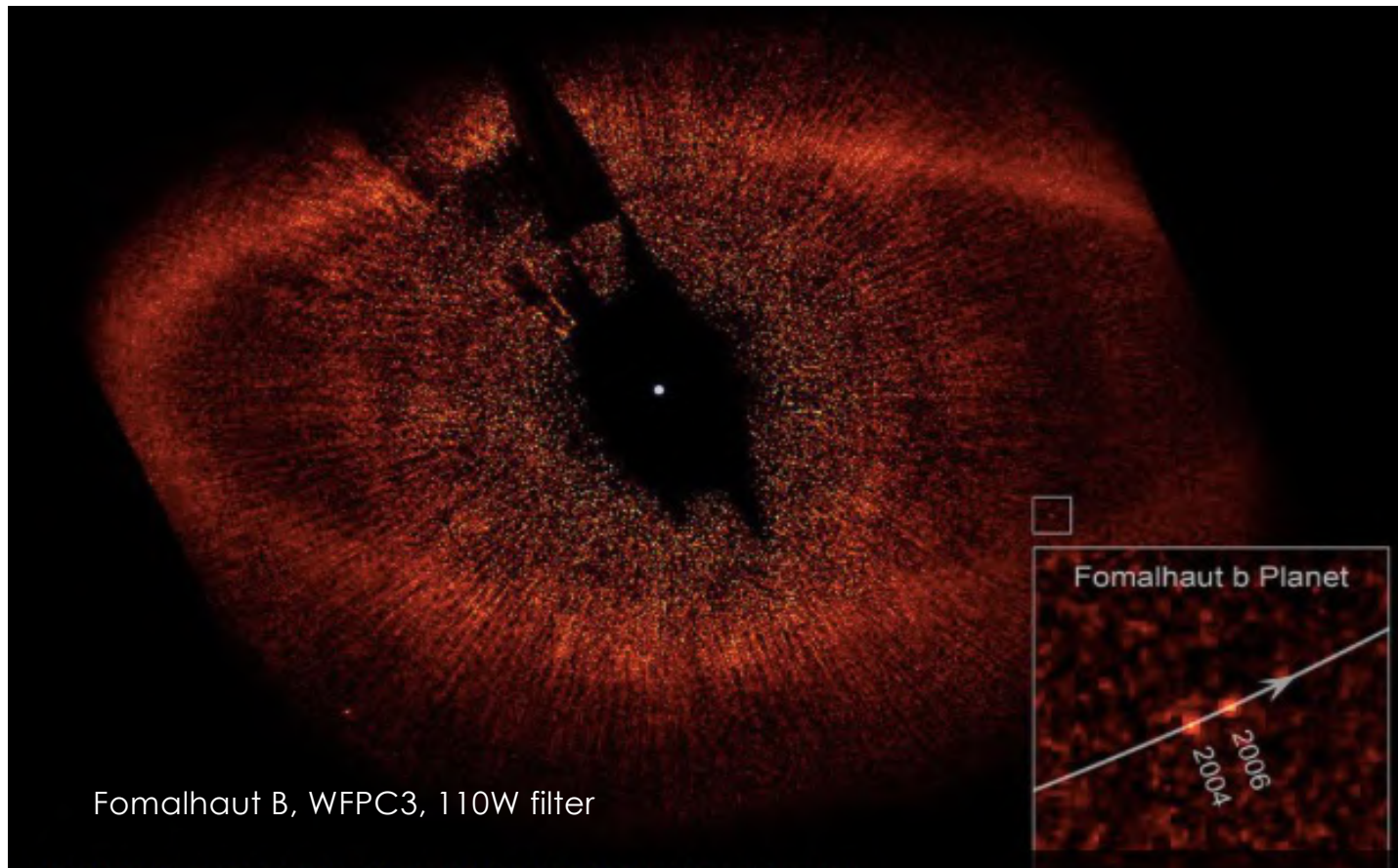
Π.χ. εκπομπή δίσκου σκόνης γύρω από πρωτοαστέρες,
και 'συσκοτισμός' τροχιακού από πλανήτη!



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Υπέρυθρο:

Απευθείας ανακάλυψη πλανήτη (απορρόφησης κι επανεκπομπής φωτός αστεριού του), εποχών (λόγω αλλαγής στη θερμοκρασία) και της χημικής σύστασης της ατμόσφαιράς του.

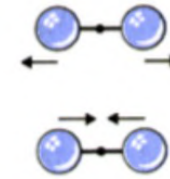


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

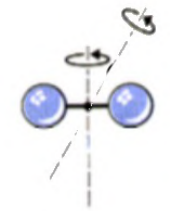
Υπέρυθρο:

Αφορά σε γραμμές εκπομπής από μόρια, δεδομένου ότι οι αλλαγές στις ενεργειακές στάθμες ενός μορίου με την ταλάντωση ή περιστροφή των πυρήνων είναι χαμηλότερης ενέργειας από ατομικές (κυρίου αριθμού)

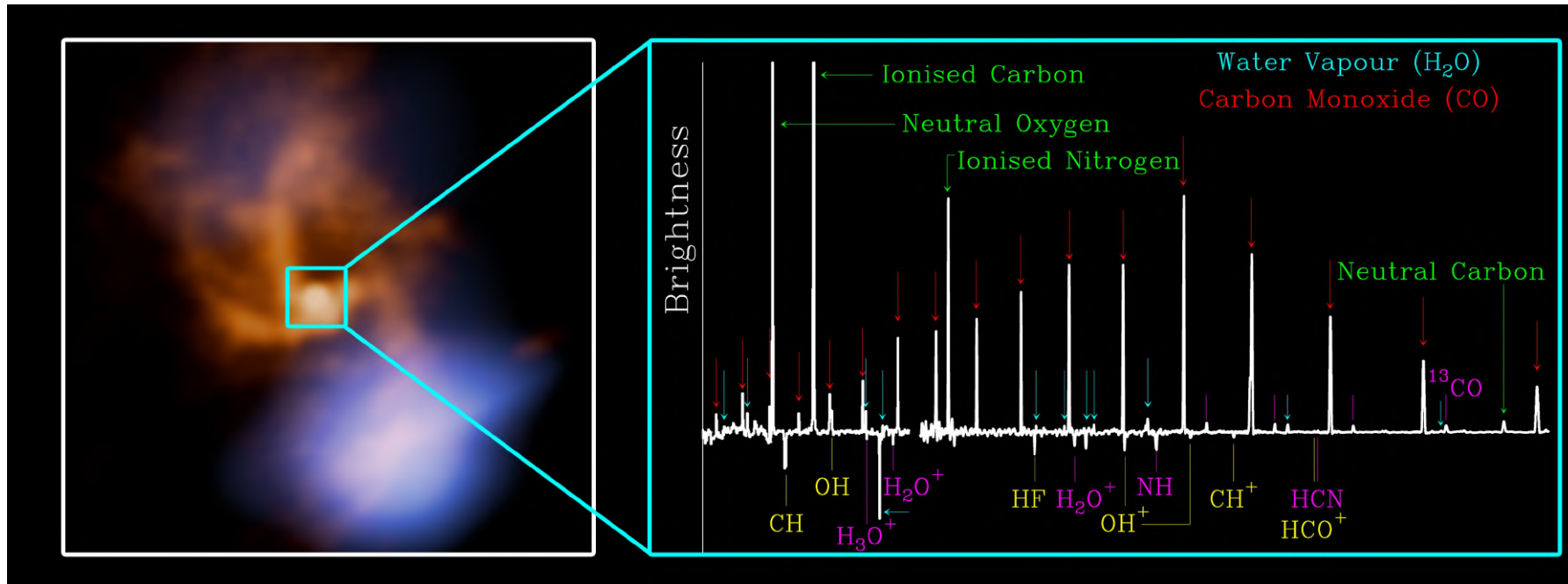
Παραδείγματα ανίχνευσης γραμμών εκπομπής μορίων από αέριο που πέφτει στην μαύρη τρύπα του Γαλαξία.



Ταλαντωτικές κινήσεις



Περιστροφικές κινήσεις -



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Millimeter+ ραδιοφωνικό:

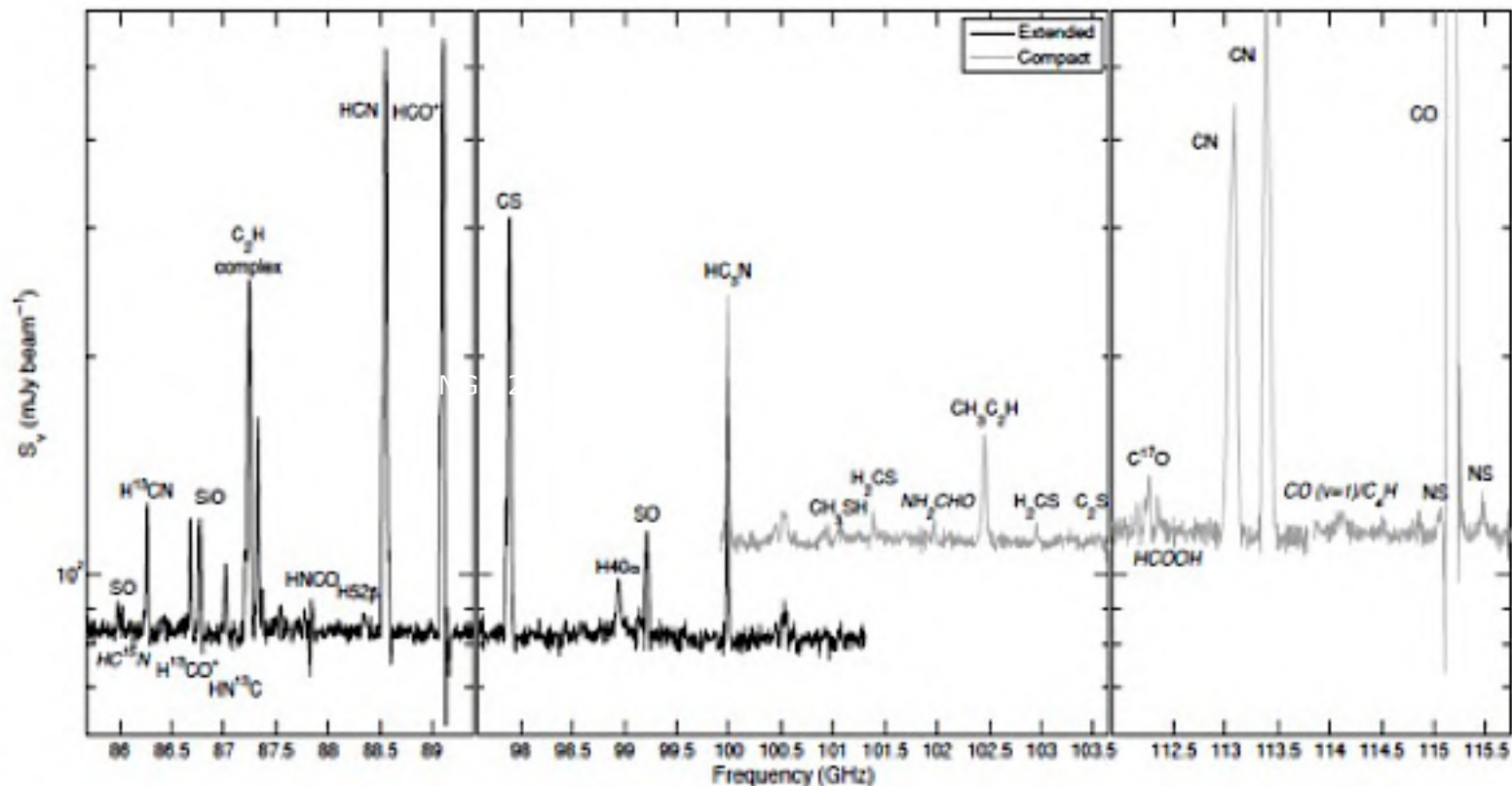
> 160 μόρια, από διατομικά έως και 13 πύρηνες: ^{13}CO , C^{18}O , H_2CO , HNCO , CH_3OH , $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$, $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$, CH_3OH , CH_3CN , CH_2NH , CH_3NH_2 , NH_2CHO , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, $\text{HC}(\text{O})\text{CH}_2\text{OH}$, ...).

$^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$: οπτικό βάθος αερίου

SiO : shock tracer

HCN : υψηλή πυκνότητα αερίου

HCO^+ : μικρός χρόνος επανασύνδεσης $\rightarrow$ ένδειξη ύπαρξης κοσμικών ακτίνων ή ακτίνων Χ.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

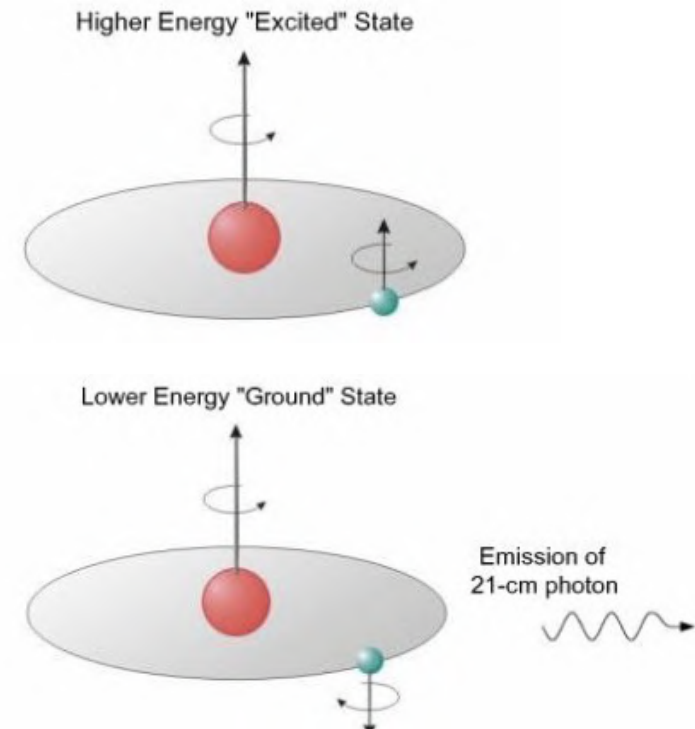
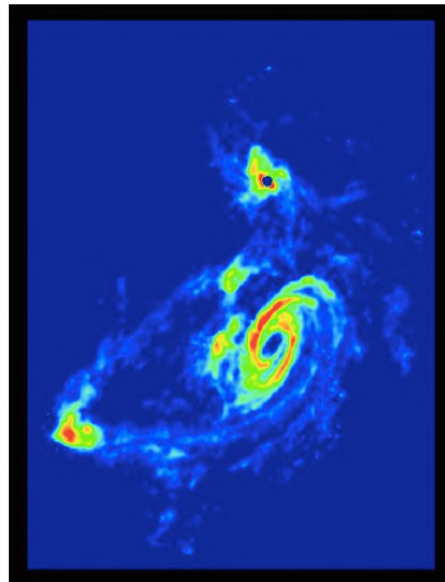
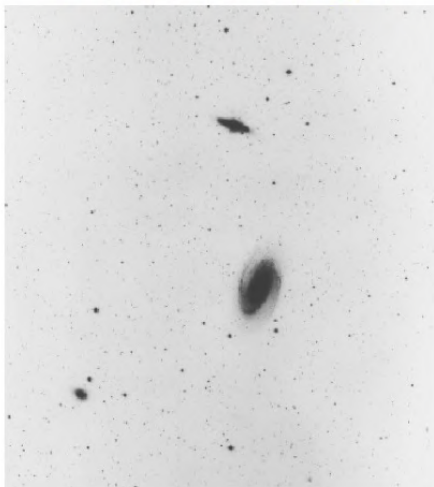
Ραδιοφωνικό: φασματοσκοπία

– **HI (spin flip)** - 21 εκ. – 1420.4 MHz

Αυτή η γραμμή δεν απαιτεί αστέρια σαν πηγή διέγερσης: το πρώιμο Σύμπαν, στα «σκοτεινά» του χρόνια, όταν δεν είχε ακόμα αστέρια, είναι ανιχνεύσιμο στο HI.

Τους κοντινούς γαλαξίες, μπορούμε να τους ανιχνεύσουμε σε μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με τα αστέρια.

**M81 group: optical starlight
(left) + VLA HI (right)**

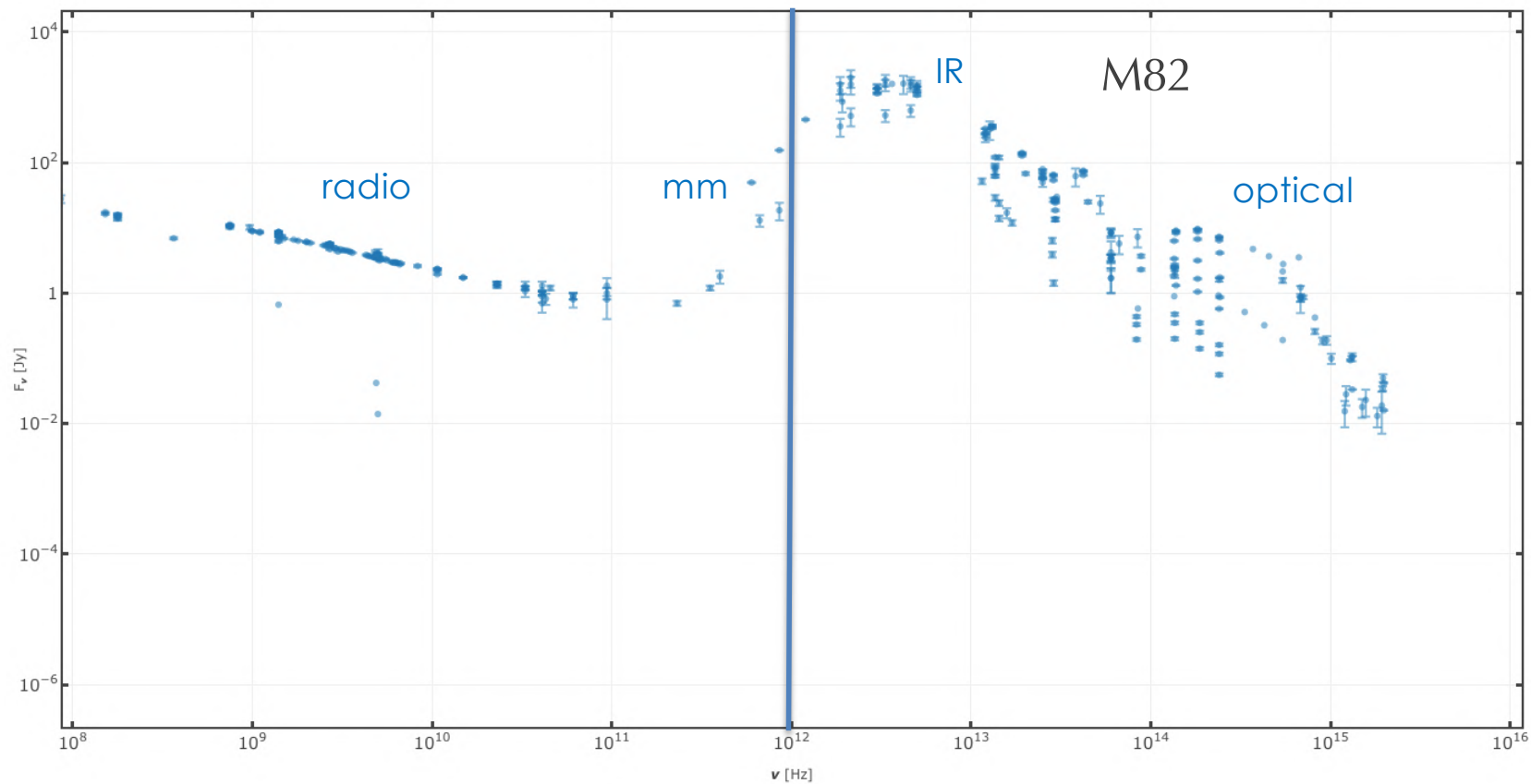


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Θέρμικα φάσματα στο (sub)-mm και ράδιο είναι το CMB και η σκόνη. Τα άλλα μη θερμικά.

M82: πρωτότυπο γαλαξία starburst

- Radio: synchrotron (αδρόνια σε μαγνητικά πεδία) και free-free (Bremstrahlung, e^- με ιόντα)



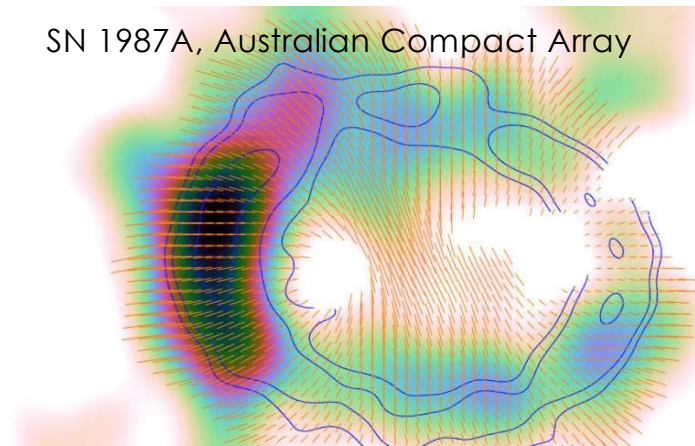
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Θέρμικα φάσματα στο (sub)-mm και ράδιο είναι το CMB και η σκόνη. Τα άλλα μη θερμικά.

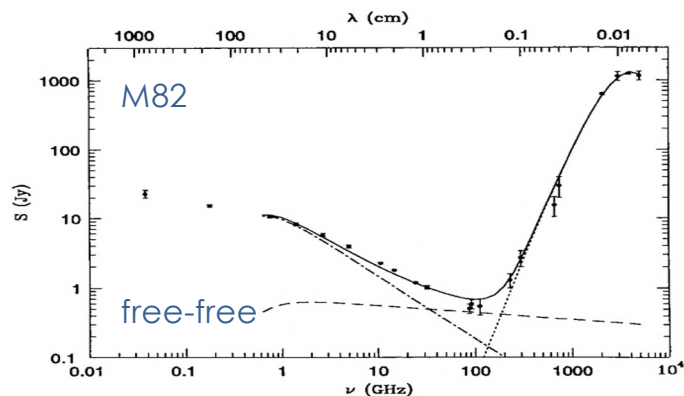
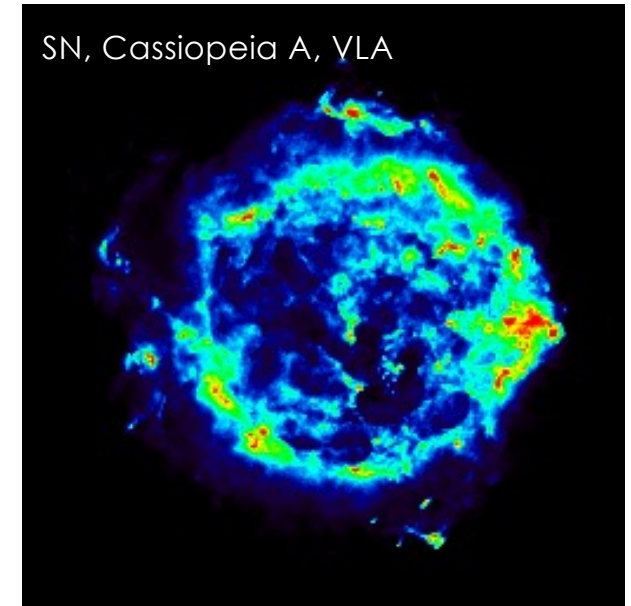
M82: πρωτότυπο γαλαξία starburst

Synchrotron: αδρόνια σε μαγνητικά πεδία γύρω από SN remnants

SN 1987A, Australian Compact Array



SN, Cassiopeia A, VLA

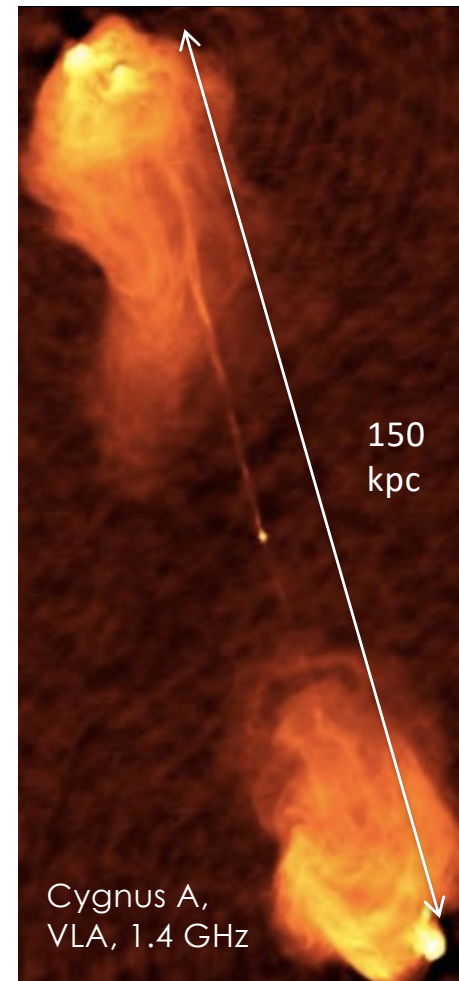
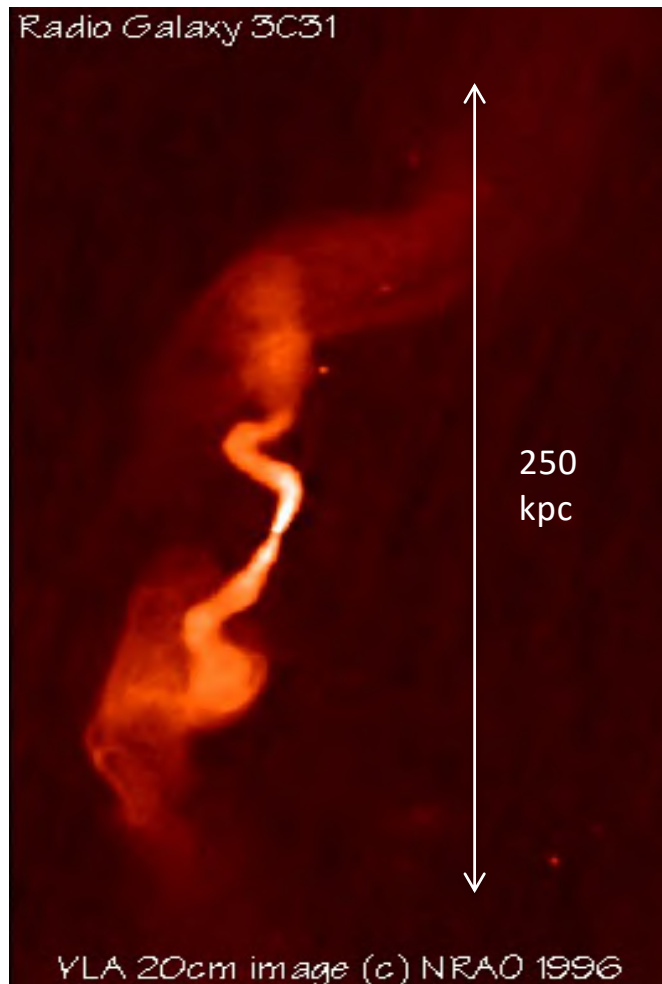


2) Bremsstrahlung (free-free) από e^- που επιβραδύνονται από ιόντα σε περιοχές ιονισμένου αερίου (HII regions) γύρω από νεαρά άστρα.

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

- Radio: synchrotron από αδρόνια στα μαγνητικά πεδία δίσκων ή jets μελανών οπών

Jets – εναπόθεση ενέργειας σε **πολύ μεγάλες κλίμακες**, αλλά και εναλλαγές στην εισροή πλάσματος στην κεντρική μαύρη τρύπα σε περίπτωση variability με το χρόνο.



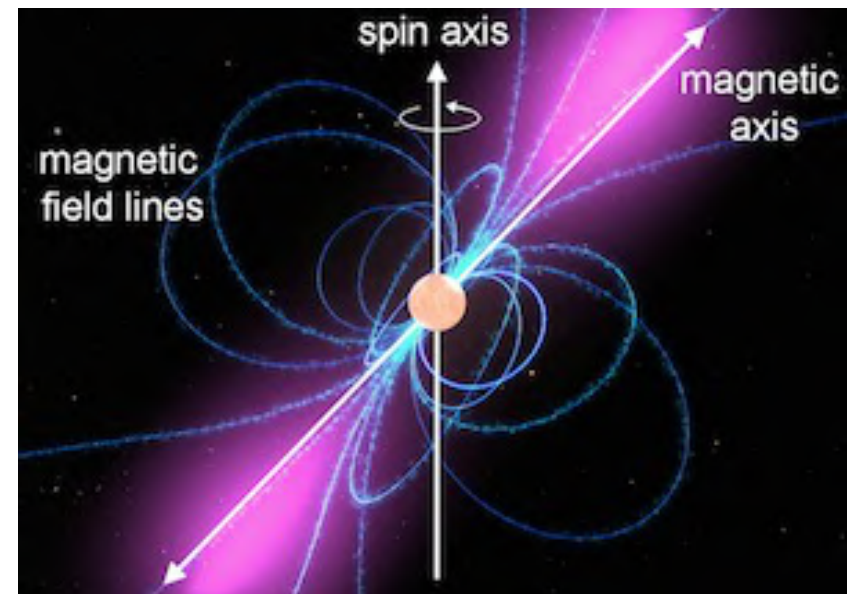
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Radio: συμπαγή σώματα, π.χ., **pulsars**

αστέρι νετρονίων με ισχυρό μαγνητικό πεδίο που περιστρέφεται γρήγορα καθώς προέρχεται από την κατάρρευση περιστρεφόμενου άστρου με διατήρηση γωνιακής στροφορμής. Η γρήγορη περιστροφή του μαγνητικού πεδίου επιταχύνει e^- και p στην επιφάνειά του αστέρα, τα οποία εκπέμπουν δέσμη ακτινοβολίας κατά τον άξονα του μαγνητικού πεδίου. Κάθε φορά που ο περιστρεφόμενος άξονας ταυτιστεί με την ευθεία παρατήρησης, βλέπουμε το σήμα.
-> παλμική ακτινοβολία.

Jocelyn Bell & Antony Hewish.

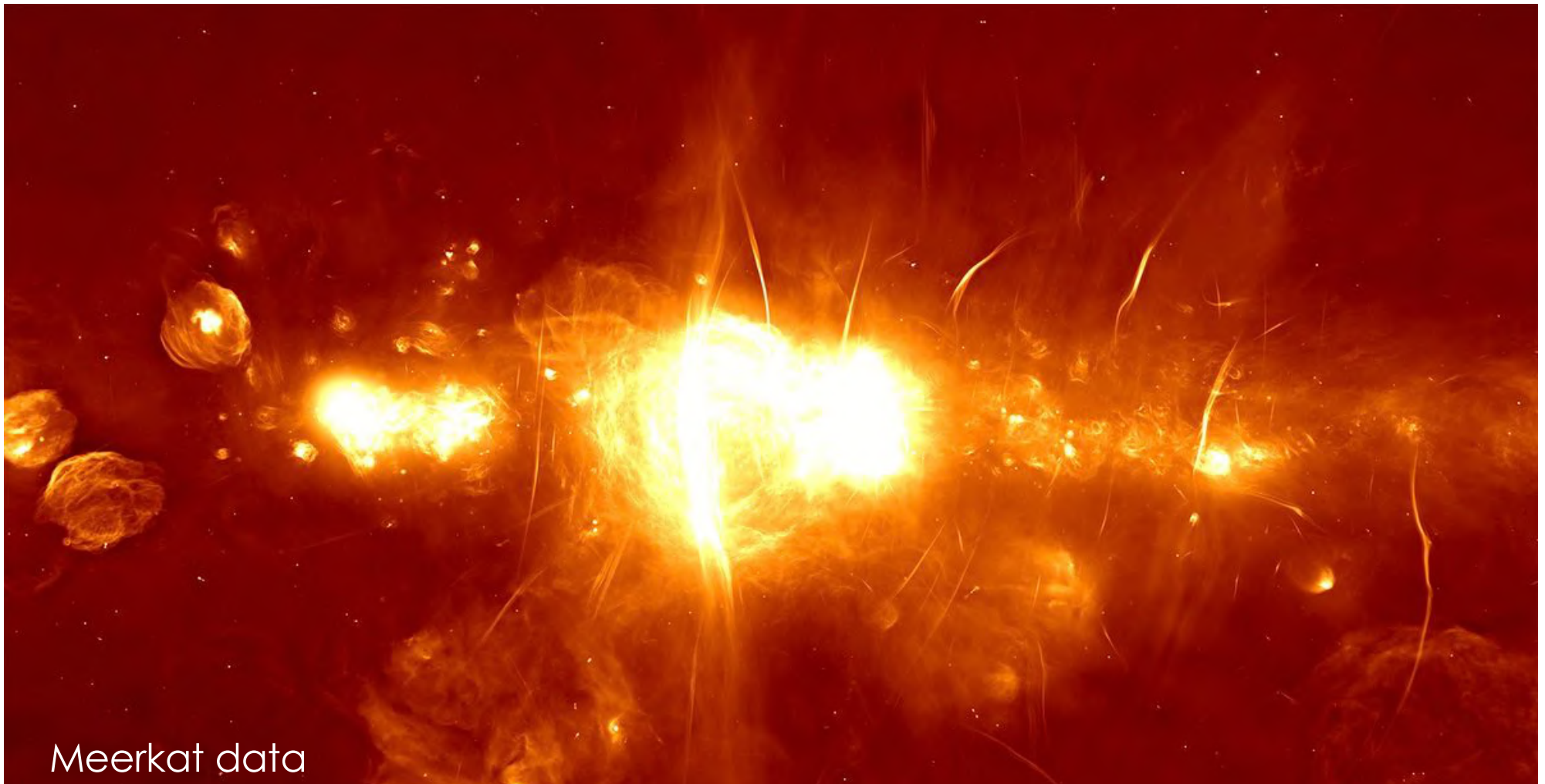
Διπλά κοντινά σύστημα, παράγουν
βαρυτικά κύματα ->
επιβράδυνση της περιόδου περιστροφής
PSR 1913+16 - *Hulse-Taylor binary*



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Radio: μαγνητικά πεδία

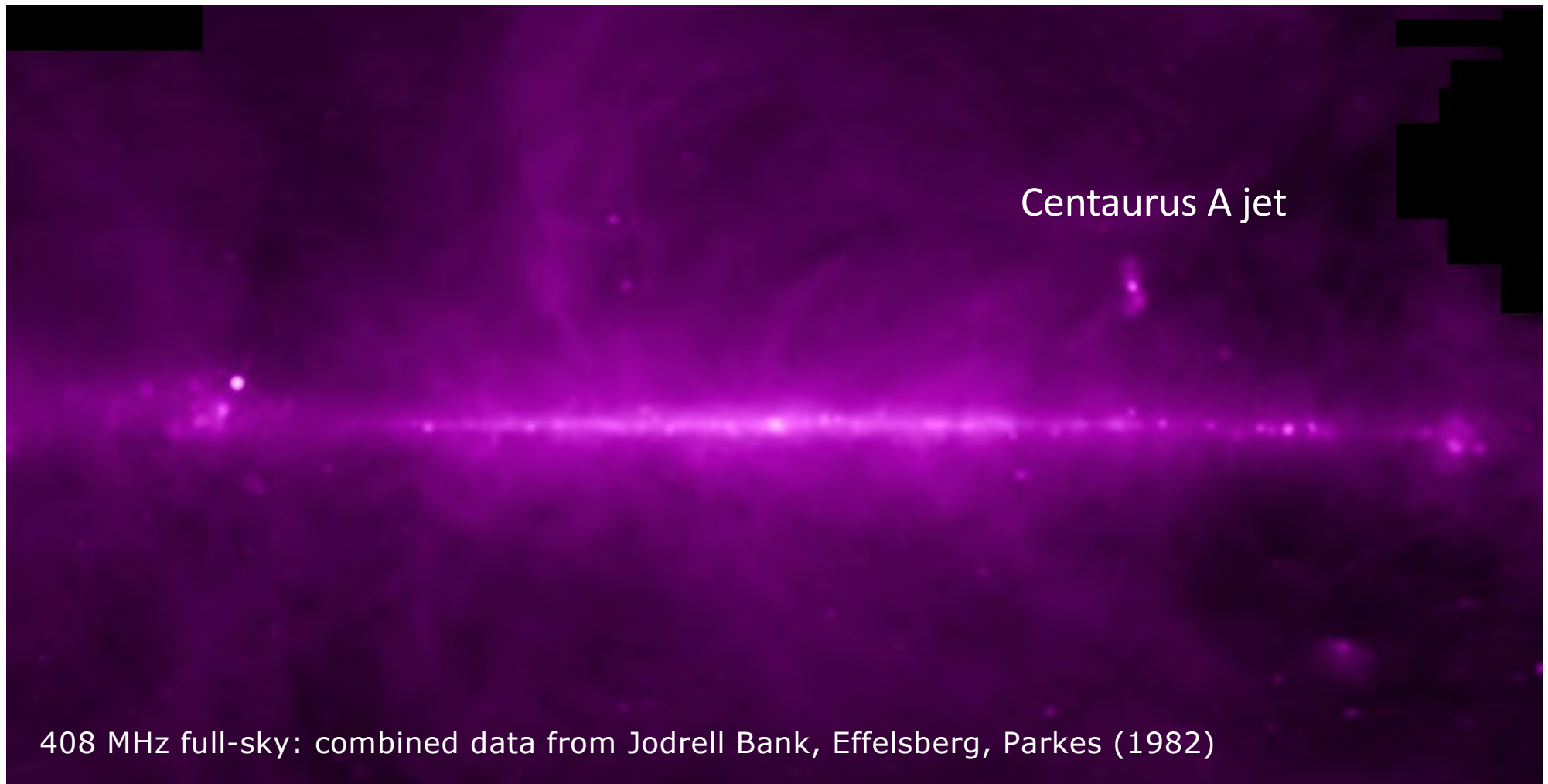
Καταγραφή μαγνητικών πεδίων, ρόλος στο σχηματισμό και τη σταθερότητα νεφών/γαλαξιών, δεδομένου ότι δίνουν προτιμητέο άξονα κατάρρευσης.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

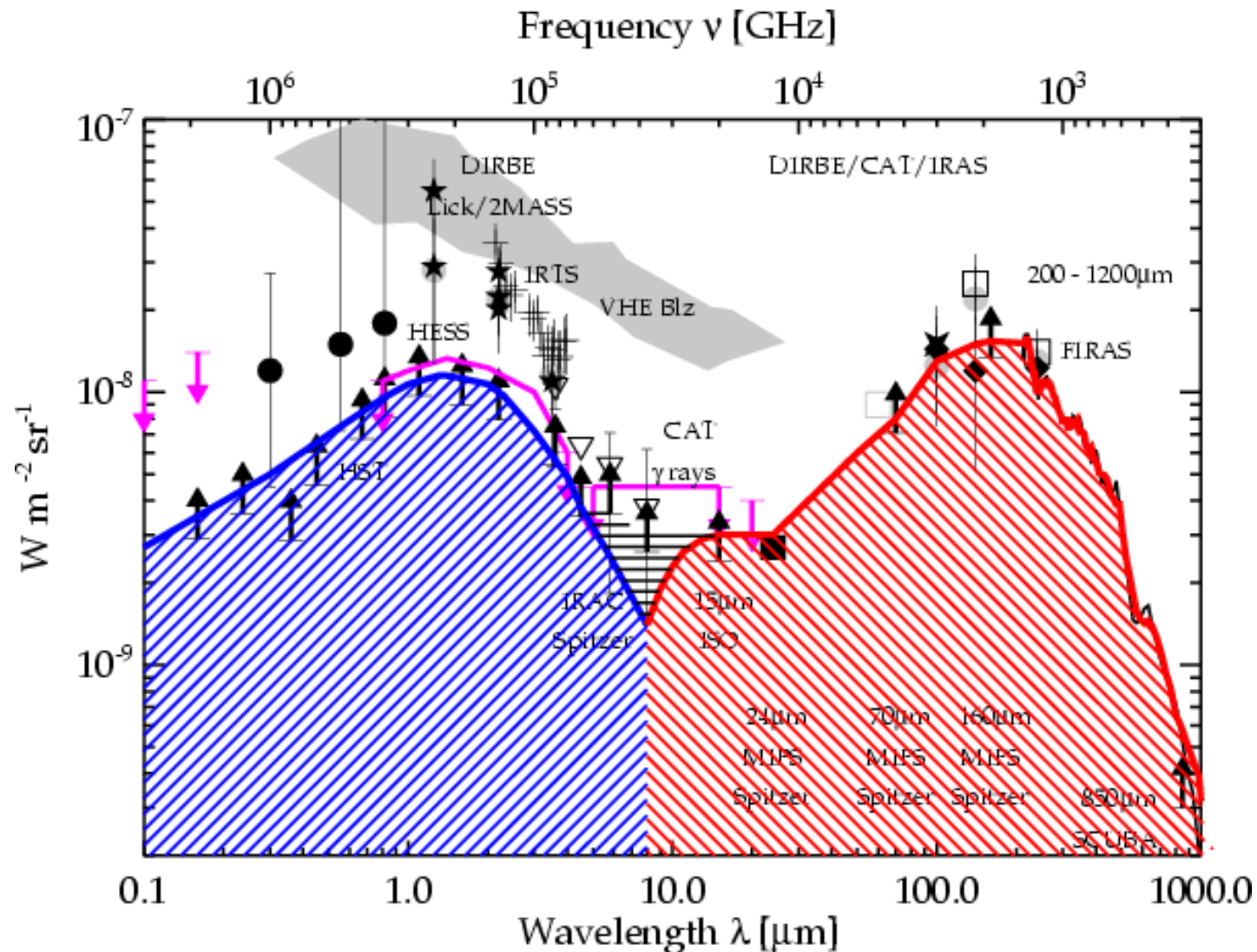
Ραδιοφωνικό:

- m : Galactic noise from synchrotron radiation from e⁻s in magnetic fields
- (sub)mm: thermal galactic noise + CMB



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Σε όλα τα μήκη κύματος υπάρχει και το (κοσμικό) υπόβαθρο, που δρα σαν περιορισμός που είτε είναι ένα σήμα που πρέπει να αφαιρεθεί – είτε το μελετάμε.



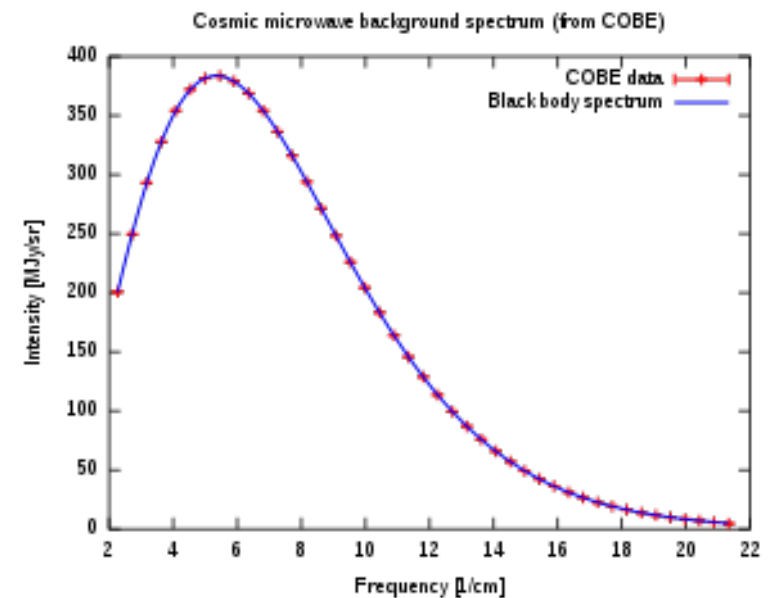
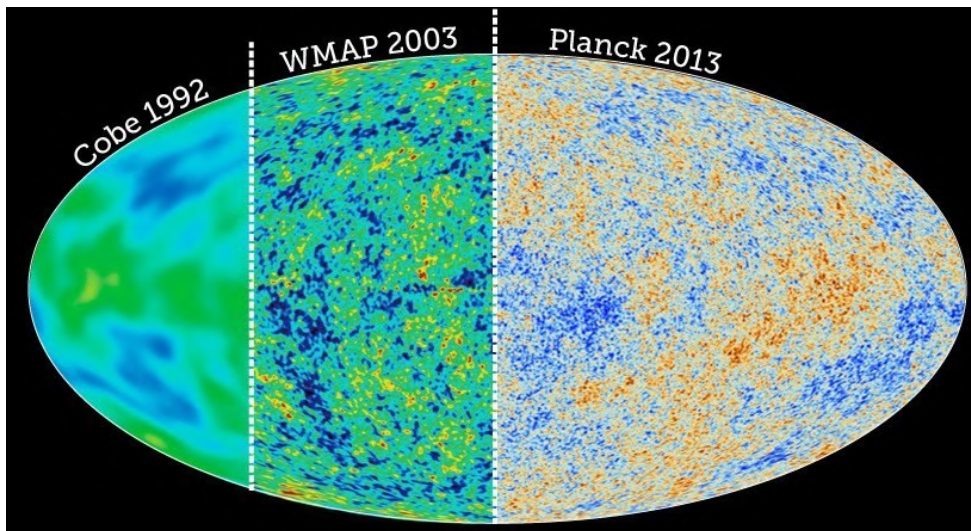
Millimeter+ ραδιοφωνικό:

CMB: Θόρυβος για κάποια πειράματα, αλλά και κατ'εξοχήν πείραμα κοσμολογίας

Παρατηρήσεις του CMB από δορυφόρους, COBE, WMAP, Planck frequencies: 27 GHz -1 THz
+αφαίρεση άλλου background με τη βοήθεια IR (π.χ. αποτύπωση της κατανομής κι εκπομπής της σκόνης του Γαλαξία).

COBE: Το υπόβαθρο, όταν το εξετάσουμε σε πολλαπλές συχνότητες έχει –σχεδόν– τέλεια κατανομή μέλανος σώματος, με $T_{\text{CMB}, z=0} = 2.73 \text{ K}$

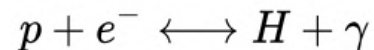
Τα residuals που μεταφέρουν την εικόνα της τελευταίας επιφάνειας σκέδασης, είναι σε κλίμακα μK (Planck).



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Π.χ., CMB: Από που προέρχεται;

Στην αρχή του Σύμπαντος, η κάθε εποχή χαρακτηρίζεται από τη θερμοκρασία της, καθώς, μετά το Big Bang, το Σύμπαν ξεκίνησε από πολύ υψηλές T ($>10^{30}\text{K}$) κι έκτοτε διαστέλλεται και κρυώνει. Η κάθε T μπορεί και να αντιστοιχηθεί σε μάζα κυριάρχων σωματιδίων με $mc^2 \sim kT$. Σωματίδια + δυνάμεις $\rightarrow$ πυρηνοσύνθεση. Στα πρώτα 15 λεπτά φτιάχνονται (H, He, ^2H , Li, Bi) . Στα $\sim 50.000\text{yrs}$, η πυκνότητα ενέργειας αρχίζει να κυριαρχείται από τη μάζα αντί την ακτινοβολία λόγω συνεχούς διαστολής. Εκείνη την εποχή γίνεται **ελαστική σκέδαση** (σκέδαση Thomson) φωτονίων από τα e^- και p του πλάσματος. Το Σύμπαν τότε είναι οπτικά βαθύ και σε μερική θερμοδυναμική ισορροπία. Καθώς όμως έπεσε περαιτέρω η T άρχισε ο σχηματισμός ατόμων με την **επανασύνδεση e^-** .



Το ουδέτερο H είναι διαφανές ως προς σκέδαση Thompson. Οπότε τα φωτόνια αποδεσμεύτηκαν από την ύλη και έκτοτε ταξιδεύουν ελεύθερα στο μεσογαλαξιακό χώρο. Κουβαλούν μαζί τους πληροφορία για τη **χωρική κατανομή** της τελευταίας επιφάνειας σκέδασης. Οι ανομοιογένειες της κατανομής μάζας είναι ο χάρτης της προηγούμενης σελίδας.

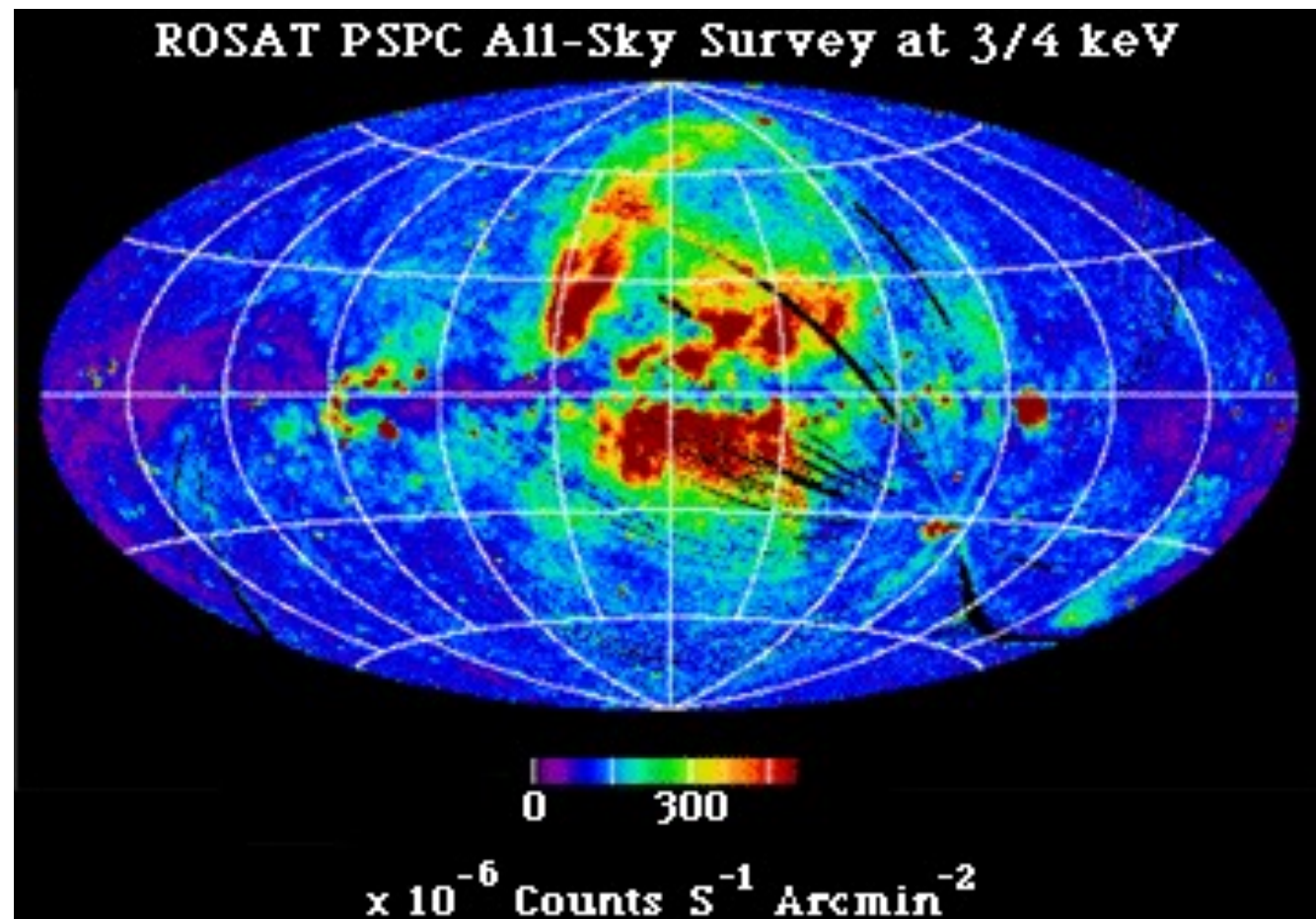
Πότε κρυώνει αρκετά το Σύμπαν, ώστε ο ρυθμός επανασύνδεσης να είναι γρηγορότερος από το ρυθμό ιονισμού και να υπάρχει ουδέτερο H; Όταν $E_{\text{κινητική}} = 3kT \sim E_{\text{ιονισμού H}} = 13.6 \text{ eV}$, άρα $T \sim 13.6 \text{ eV} / 3k \sim 50.000\text{K}$. Αυτό γίνεται σε χρόνο $\sim 200.000\text{yrs}$.

Συνεχίζεται για κάποιο χρόνο δεδομένου ότι το H μπορεί να ιονιστεί από τη διαδοχική απορρόφηση 2 φωτονίων. Ολοκληρώνεται σε χρόνο **$\sim 400.000\text{yrs}$ ή $z=1100$** .

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

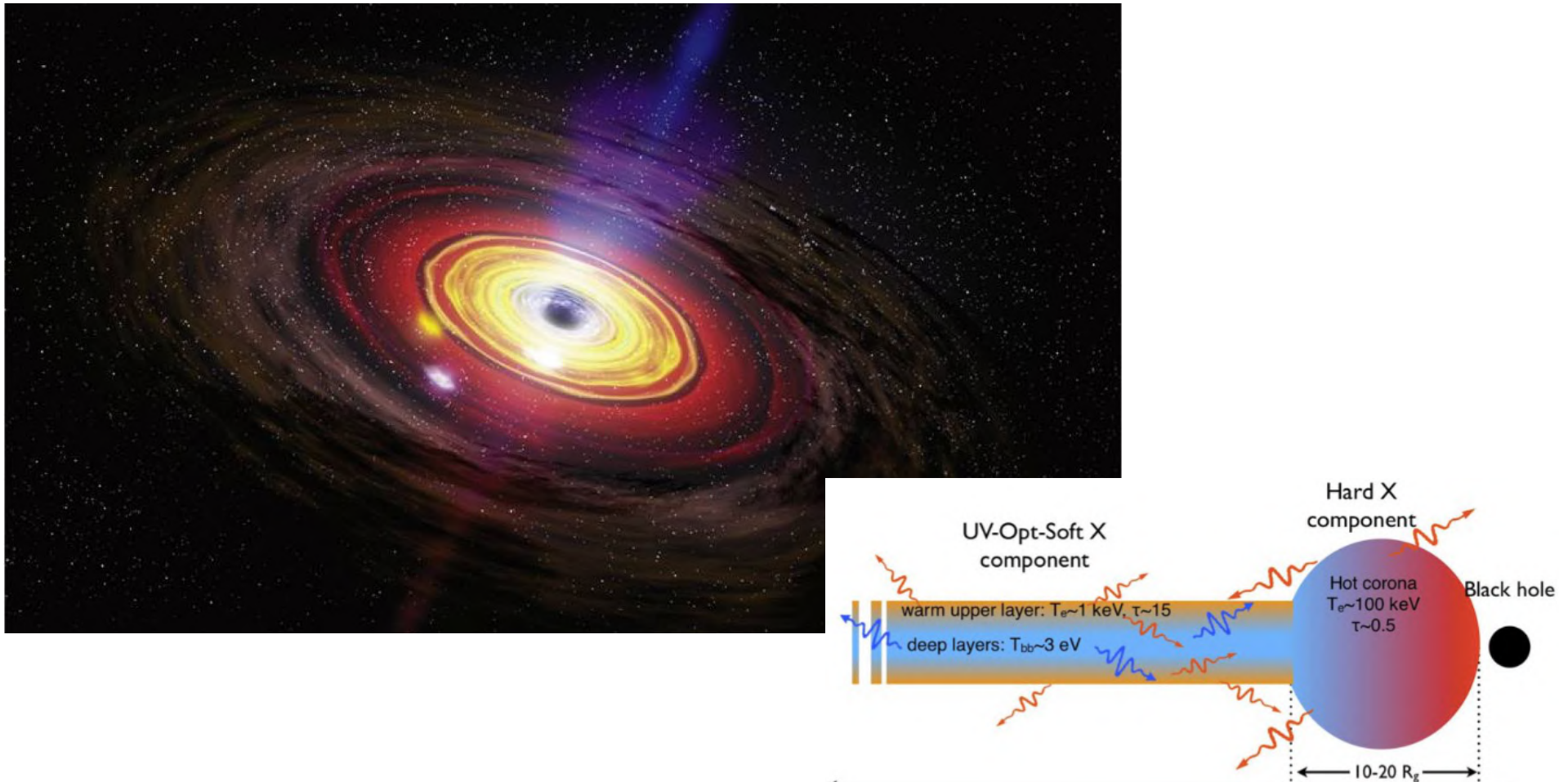
Σε **μικρότερα** λ από του **οπτικού**: Υπεριώδες –100 (FUV) -3000 (NUV) Angstrom ,
ακτίνες Χ: 0.1 – 100 Angstrom, όπου **1 Angstrom = 12.4 keV**
Ακτίνες γ: $1e-4$ – 0.1 Angstrom

Υπόβαθρο στις ακτίνες Χ: εν αντιθέσει με το οπτικό κι υπέρυθρο, όπου το κοσμικό background προερχόταν κυρίως από γαλαξίες, στις ακτίνες Χ, το κοσμικό υπόβαθρο προέρχεται κυρίως από **μαύρες τρύπες + Γαλαξιακό σήμα!**



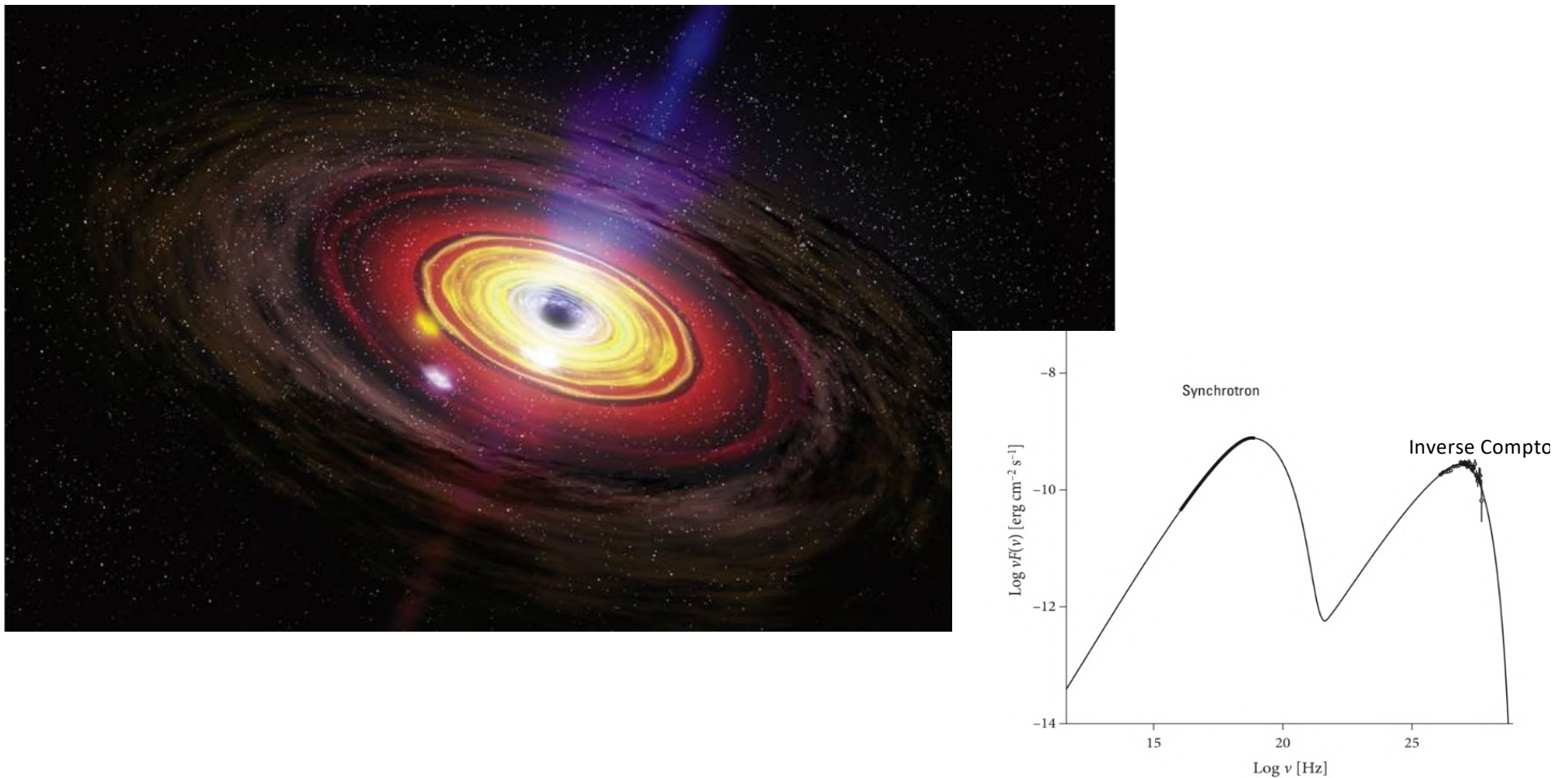
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

AGN – δίσκους προσαύξησης από **μαύρες τρύπες (θερμική εκπομπή)+** στην κορώνα, 10^9 K έχουμε φαινόμενο **ανάστροφου Compton**, δηλ. ανάκτηση ενέργειας των UV/οπτικών φωτονίων του δίσκου από ενεργητικά e^- . ανάκλαση των ακτίνων X από δίσκο και τόρο, που επιτρέπει να δούμε το συνεχές πέραν της απόσβεσης, και δίνει και εκπομπή σε φασματικές γραμμές πολλαπλά ιονισμένου αερίου.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

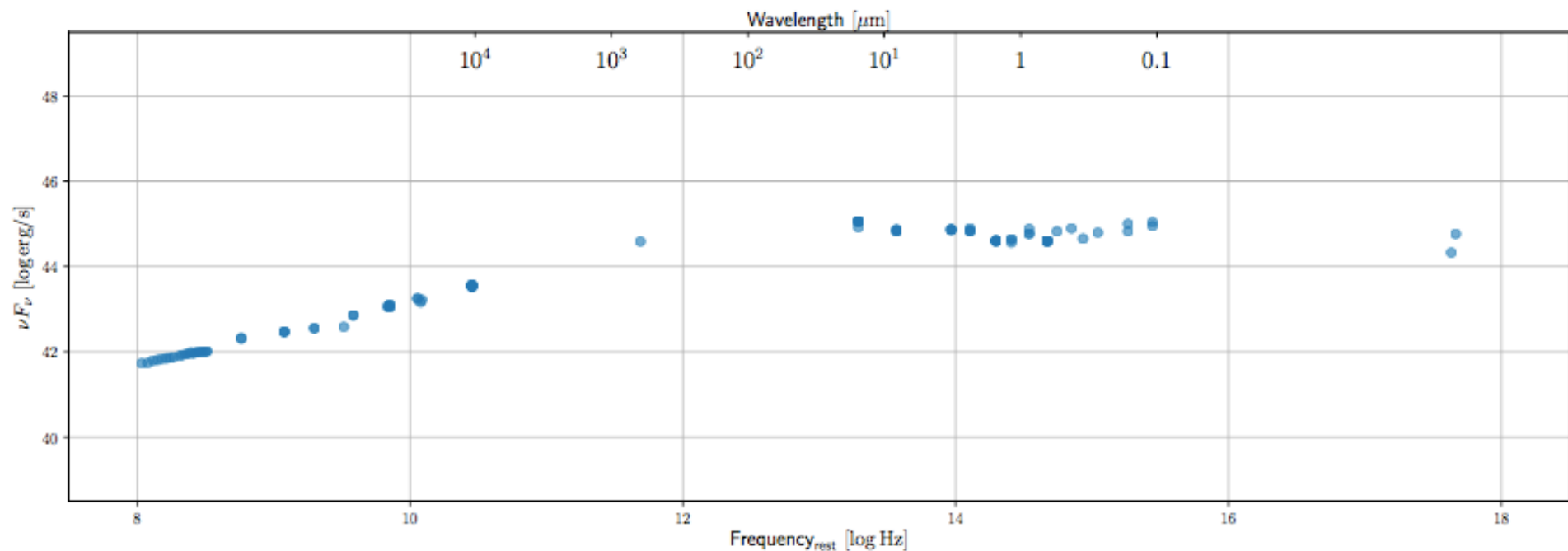
AGN - Επίσης, από τον **πίδακα**, **μπορούμε επίσης να έχουμε Inverse Compton του Synchrotron**, το οποίο ανεβάζει ενεργειακά τα φωτόνια ως τις ακτίνες X ή και γ.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Το SED τους μπορεί να επικρατείται συχνά βολομετρικά από την εκπομπή της μαύρης τρύπας, **πέραν από τις ακτίνες X.**

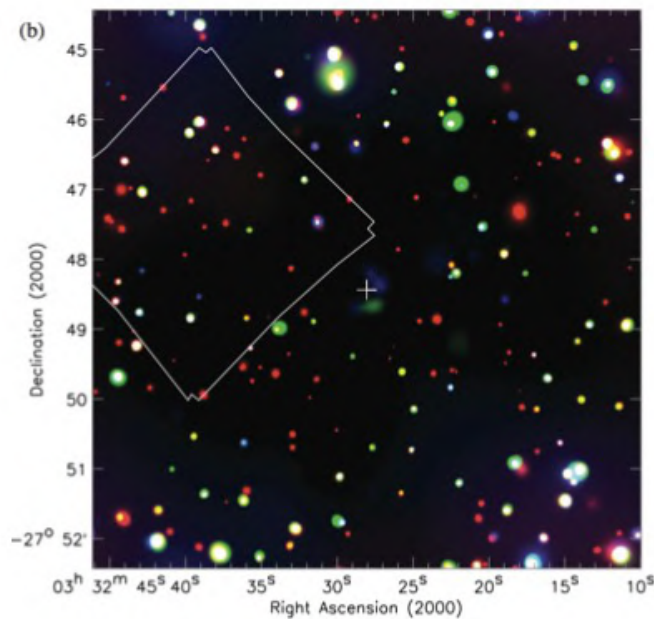
PKS2138-377



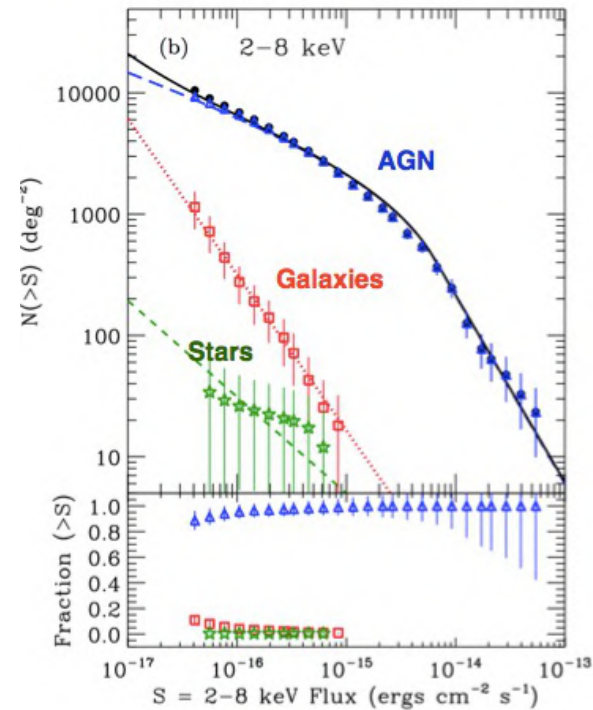
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Από βαθιές παρατηρήσεις ακτίνων Χ του πεδίου Hubble Deep Field North και πολυχρωματικά δεδομένα που δίνουν τον τύπο της κάθε πηγής, οι μαύρες τρύπες συνεισφέρουν **>90% στον πληθυσμό των διάκριτων πηγών ακτίνων Χ**. → για μεμονωμένα ανιχνευμένες πηγές.

X-ray AGN detected in the central region of 4 Ms Chandra observation of CDF-S



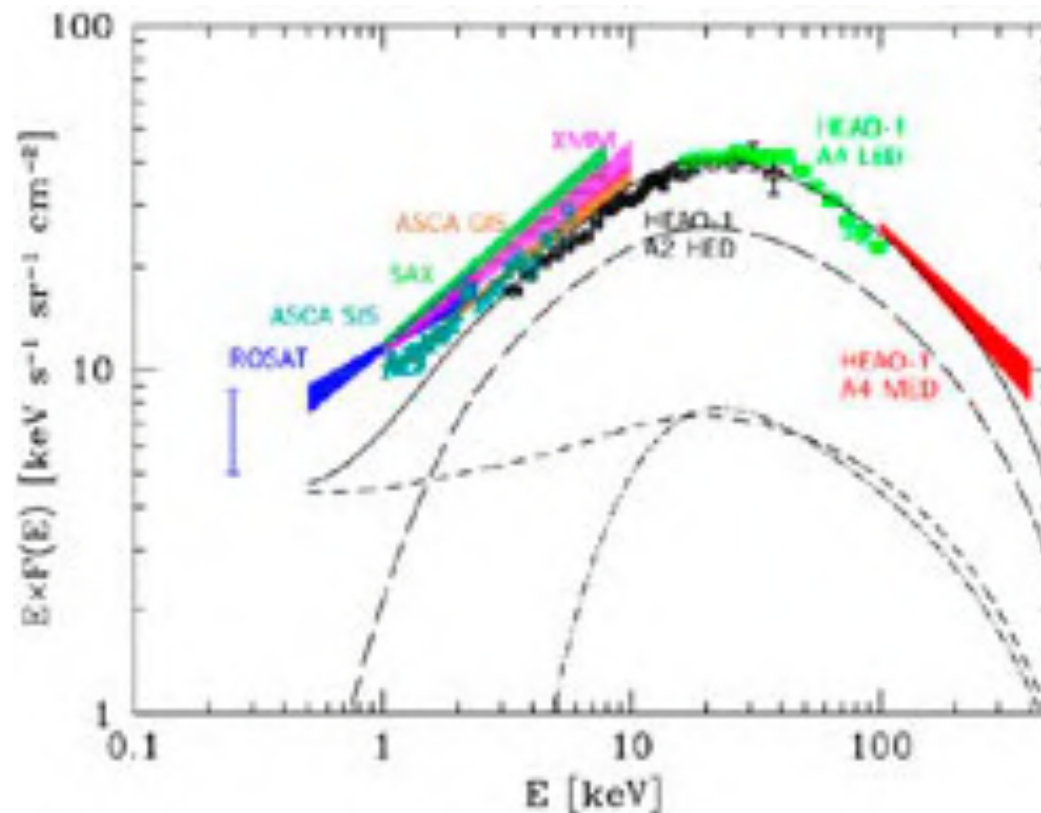
LogN-log S: AGN source density in the 4 Ms CDF-S of >10,000 deg⁻²



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Γενικότερα, επειδή ο μεγαλύτερος πληθυσμός των πηγών που εκπέμπουν στις ακτίνες Χ σχετίζονται με πρόσπτωση ύλης σε μαυρες τρύπες, είναι μεταβλητές πηγές -> δύσκολο να βρεθούν πηγές για calibration των τηλεσκοπίων.

Κοσμικό υπόβαθρο (αθροιστικά) και άθροισμα μεμονωμένων πηγών ανά μονάδα όγκου κι ανά εποχή του Σύμπαντος ΔΕΝ συμφωνούν (έλλειπε ~ το μισό) -> πολύ μεγάλο μέρος της απελευθερούμενης ισχύος είναι κρυμμένο σε συσκοτισμένους πυρήνες!!!

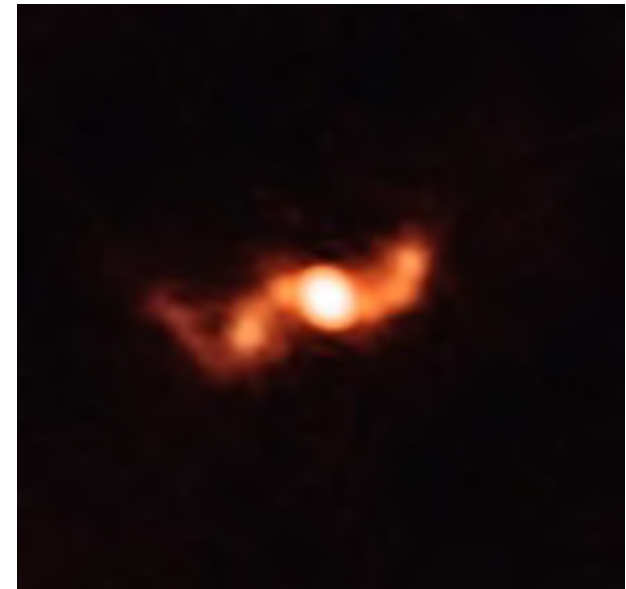


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Τι άλλο παρατηρούμε στις ακτίνες Χ;

- γαλαξίες: X-ray binaries – **διπλά αστέρια** ένα εκ των οποίων είναι compact object (μαύρη τρύπα ή αστέρας νετρονίων). Το δεύτερο αστέρι είναι ακόμα κανονικό και τροφοδοτεί με ύλη το γειτονικό του. Κατά την πρόσπτωση, η ύλη θερμαίνεται τόσο $>10^6$ K που ακτινοβολεί στις ακτίνες Χ. π.χ., **microquasars**.

Η πρόσπτωση ύλης γίνεται είτε γιατί υπερχείλησε ο λοβός Roche κι έφτιαξε ένα δίσκο προσαύξησης γύρω από το compact object (low-mass binary), είτε γιατί ένας αστρικός άνεμος έστειλε ύλη από το αστέρι στο compact object.

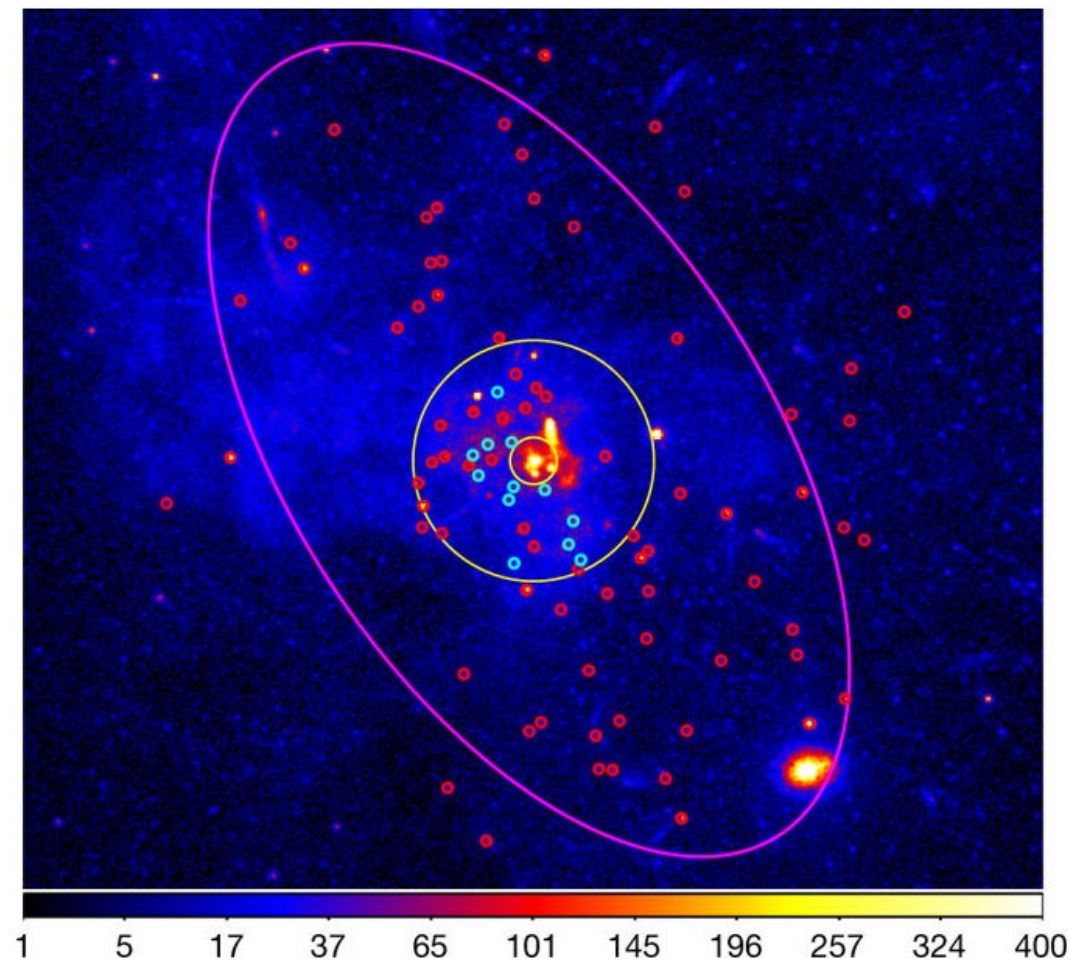


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Τι άλλο παρατηρούμε στις ακτίνες Χ;

Στο **Γαλαξία μας**, υπάρχουν πολλά binaries στο δίσκο, κυρίως κοντά στο κέντρο.

Αθροιστικά ή εκπομπή X-ray binaries μπορεί να παρατηρηθεί και σε μακρινούς γαλαξίες.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Τι άλλο παρατηρούμε στις ακτίνες X;

- SN: θερμική εκπομπή X rays από το πλάσμα και μη θερμική εκπομπή (synchrotron) από πολύ υψηλής E (10–100 TeV) ηλεκτρόνια που κινούνται στα μαγνητικό πεδίο που συμπαρασύρεται από το πλάσμα

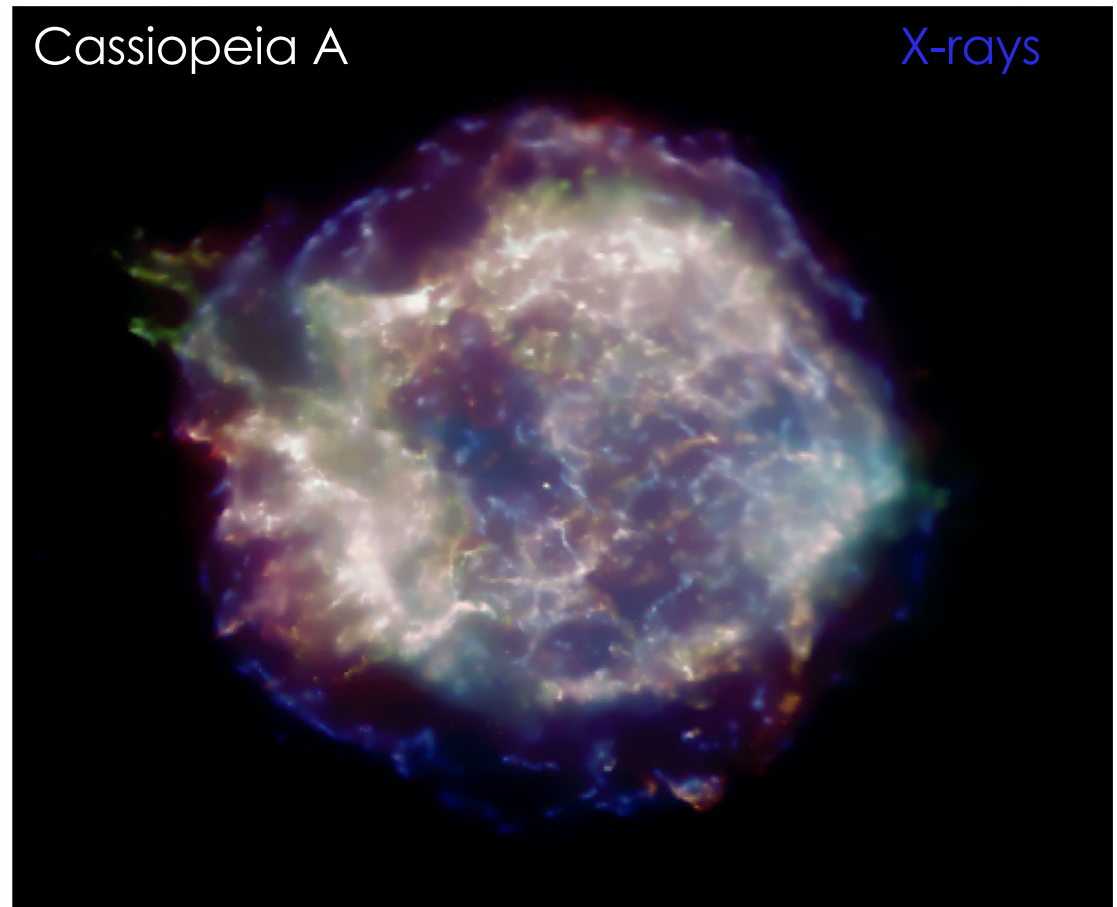
-> η ανίχνευση ακτίνων X
δεν **σημαίνει απαραίτητα**
ύπαρξη μαύρης τρύπας.

Χρειάζονται ενεργειακοί
Υπολογισμοί για να αποφασίσουμε.

Π.χ

10^{42} erg/s -> AGN

10^{44} erg/s -> QSO

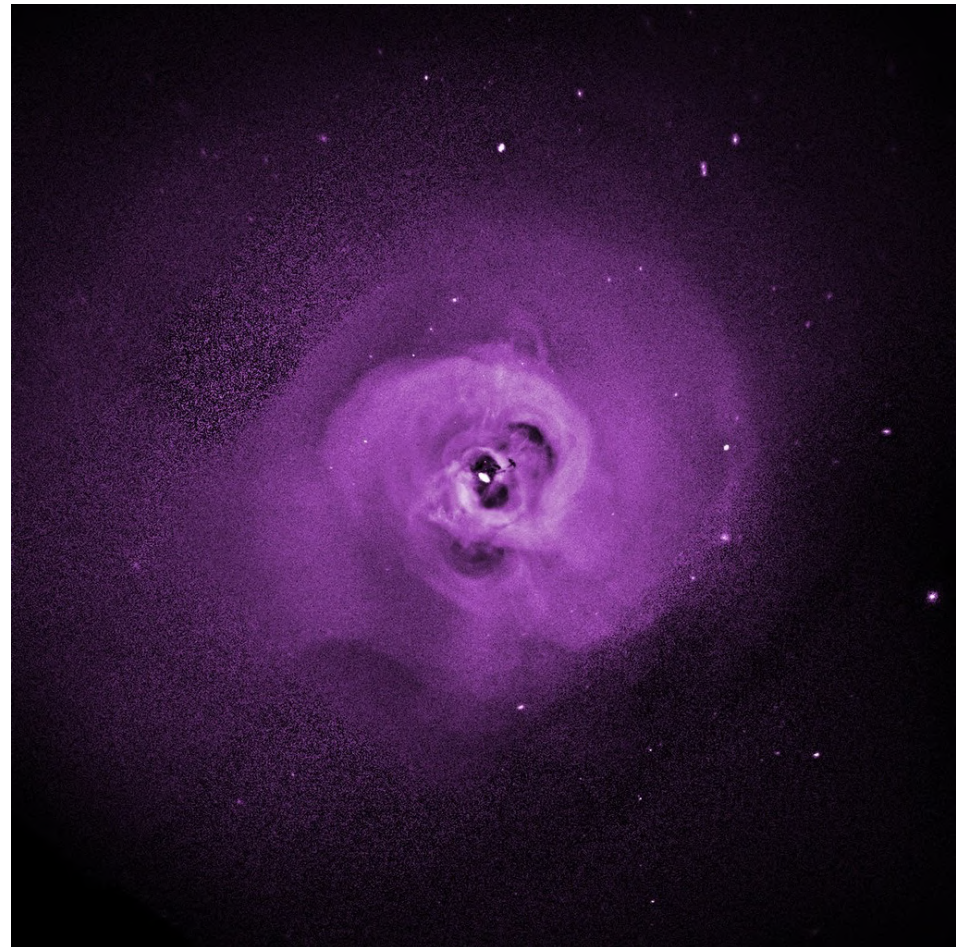


Μεγαλύτερες κλίμακες – εκτός γαλαξιών:

Ζεστό αέριο από clusters: διάχυτο αέριο στον ενδιάμεσο χώρο από γαλαξίες στα cluster είναι σε θερμοκρασίες της τάξης $10^8 - 10^9$ K και χαμηλές πυκνότητες π.χ., 10^{-4} - 10^{-3} cm $^{-3}$. Πέραν της θερμικής εκπομπής, σε τέτοιες συνθήκες, υπάρχει ισχυρό Bremsstrahlung. Όπως πριν, πολύ ενεργειακά ηλεκτρόνια μπορούν να συνεισφέρουν στις ακτίνες X μέσω synchrotron, αλλά και μέσω Inverse Compton. {θυμηθείτε το CMB- αντίστοιχο για πιο υψηλές συχνότητες!}

Perseus A cluster,
X-ray image

Φαίνεται ο αριθμός επεισοδίων του πίδακα. Από τα λίγα πειράματα που μας δείχνουν πόσο καιρό είναι ενεργή μια μαύρη τρυπα.

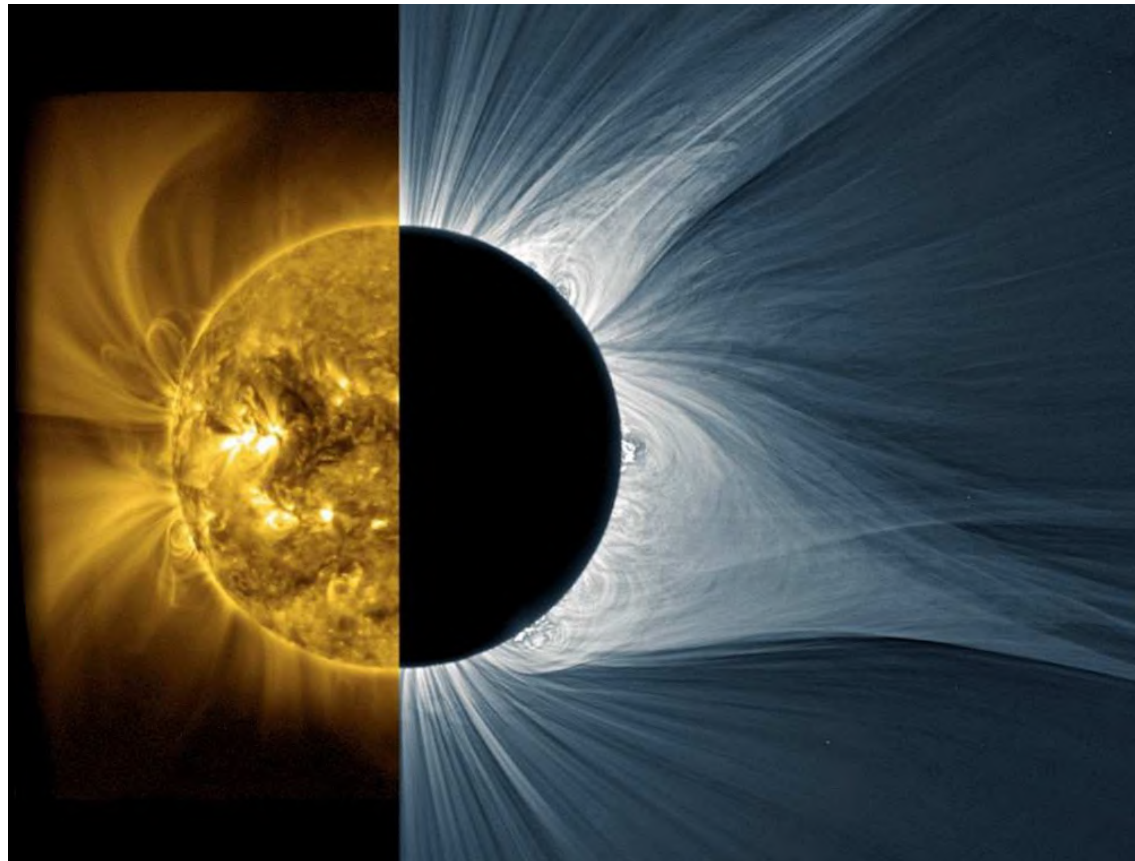


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

- Φασματοσκοπία – απαγορευμένες γραμμές

Για αέριο σε εκατομμύρια K και χαμηλές πυκνότητας, κάποια ιόντα δεν προλαβαίνουν να αποδιεγερθούν μέσω κρούσεων αλλά ακτινοβολούν, παρά το πολύ μεγάλο χρόνο για αυθόρμητη εκπομπή στις αντίστοιχες κβαντικές μεταβάσεις, π.χ., [SiIX]. Δεν θα τις βλέπαμε στη Γη. Ονομάζονται coronal lines από το **ηλιακό στέμμα** όπου πρωτοπαρατηρήθηκαν. (βλ. πειράματα κορονογραφίας)

Στέμμα: στρώμα χαμηλής πυκνότητας + $1-3 \cdot 10^6$ K. έξω από τη φωτόσφαιρα των 5800K



Ακτίνες γ: Φωτόνια με ενέργειες από **0.5 MeV ~200 TeV**

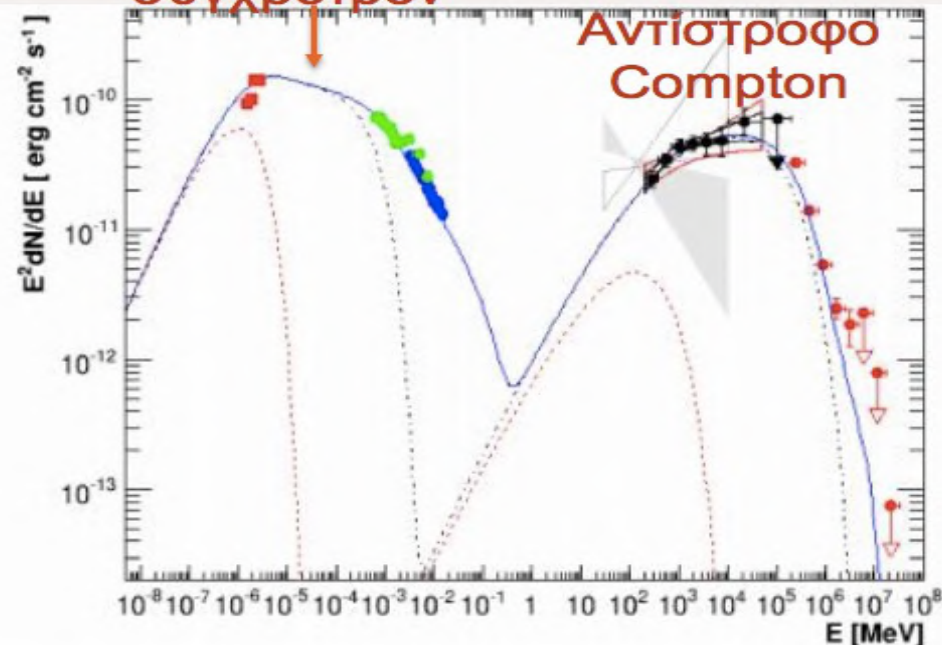
(τα πιο ενεργητικά παρατηρήσιμα φωτόνια). Από που προέρχονται:

1. e^- και e^+ υψηλής E σε μαγνητικά πεδία παράγουν ακτινοβολία συγχροτρου
2. e^- και e^+ υψηλής E αλληλεπιδρούν με φωτόνια χαμηλής E, δίνοντας ενέργεια στα φωτόνια μέσω Inverse Compton, όπως είδαμε πριν, αλλά και
3. πυρηνικές αντιδράσεις (radioactive decay)
4. πυρήνες συγκρούονται με ύλη σε πυκνές περιοχές, παράγουν μεσόνια, που με τη σειρά τους διασπώνται σε φωτόνια γ ενέργειας μέχρι 68 MeV
5. εξαύλωση σωματίων σκοτεινής ενέργειας(:) – δεν έχει αποδειχθεί ακόμα.

Ακτίνες γ: Φωτόνια με ενέργειες από **0.5 MeV – ~200 TeV**
(τα πιο ενεργά παρατηρήσιμα φωτόνια). Από που προέρχονται:

Ακτίνες γ βλέπουμε σε περιοχές όπου υπάρχει επιτάχυνση σωματίων, π.χ.,
Πίδακες, ειδικά Blazars – όταν κοιτάμε κατευθείαν στην κατεύθυνση του πίδακα.
Το inverse Compton ανεβάζει τις συχνότητες των φωτονίων σε πολύ υψηλά επίπεδα.
 $\nu = \gamma^2 \nu_0$, γ = Lorentz factor των e^-

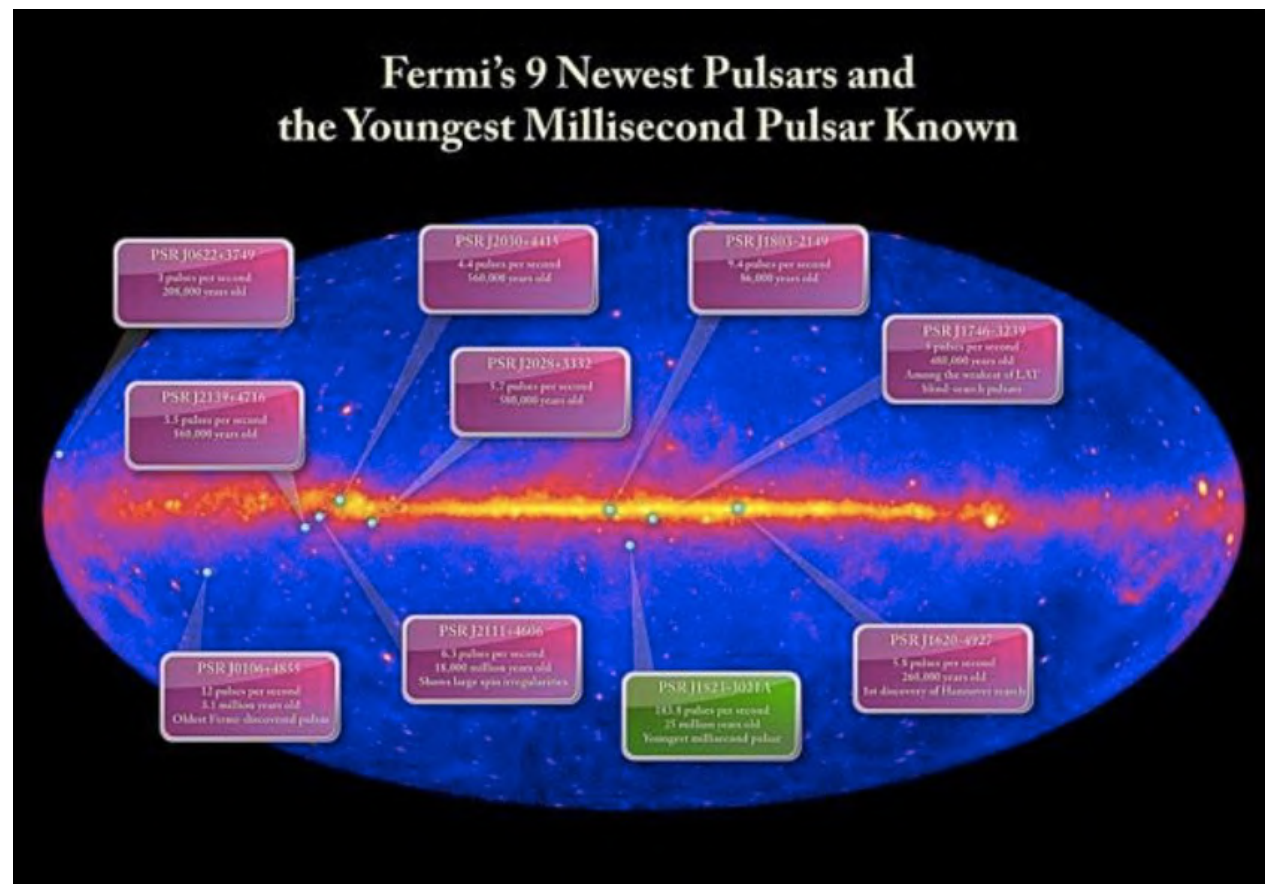
Ενεργός γαλαξιακός πυρήνας συγχροτρον



Παρατηρησιακή Αστρονομία – Ακτίνες Χ, γ

Ακτίνες γ: Φωτόνια με ενέργειες από **0.5 MeV – ~200 TeV**
(τα πιο ενεργά παρατηρήσιμα φωτόνια). Από που προέρχονται:

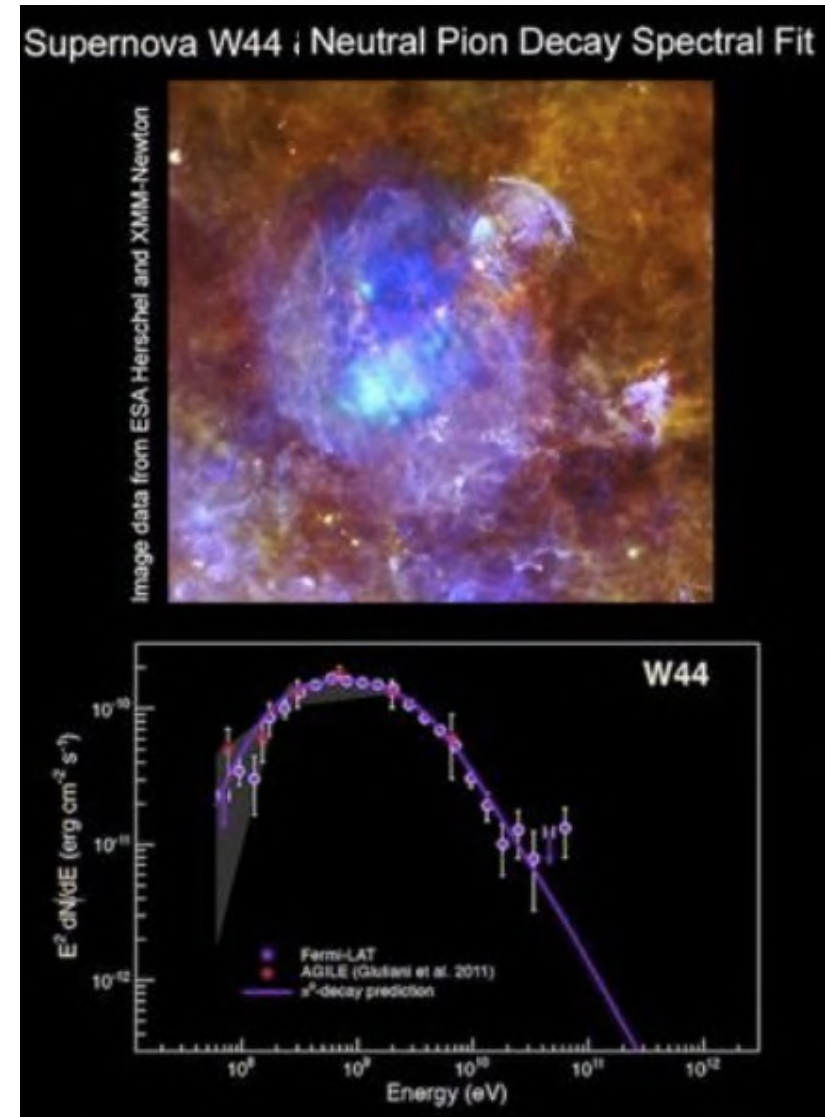
Ακτίνες γ βλέπουμε σε περιοχές όπου υπάρχει επιτάχυνση σωματίων, π.χ.,
pulsars – όταν κοιτάμε εναλλάξ μια στην κατεύθυνση του πίδακα περιστρεφόμενου αστέρα
νετρονίων, μια εκτός



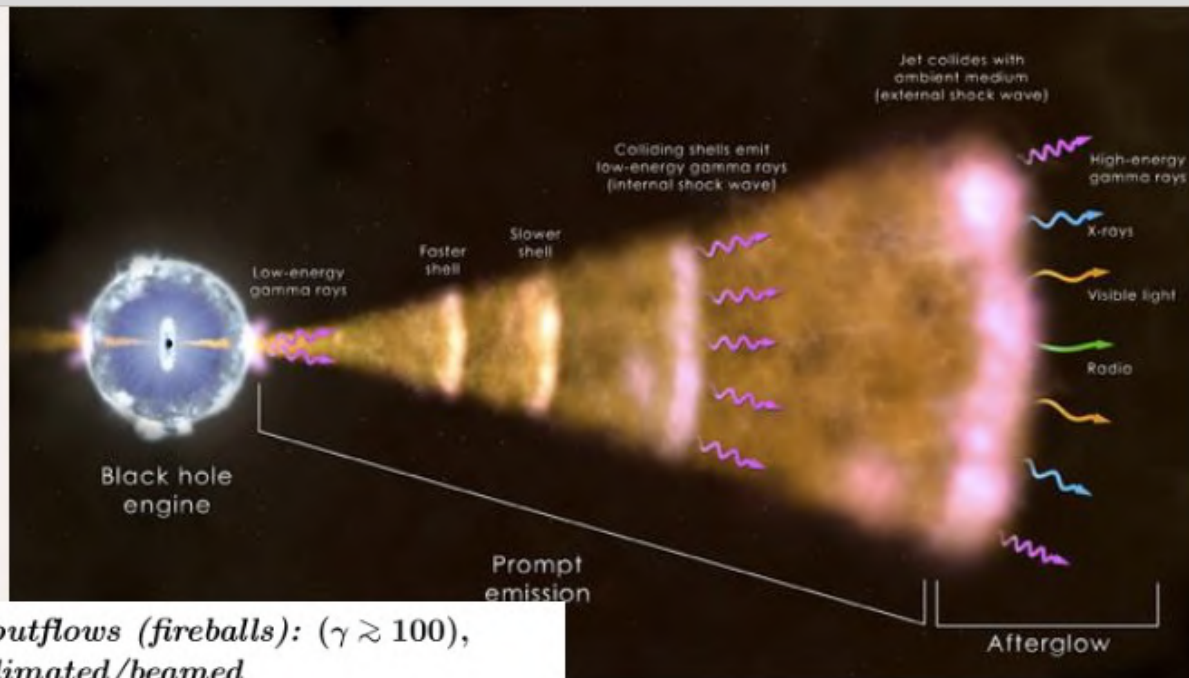
Παρατηρησιακή Αστρονομία – Ακτίνες Χ, γ

Ακτίνες γ: Φωτόνια με ενέργειες από **0.5 MeV – ~200 TeV**
(τα πιο ενεργά παρατηρήσιμα φωτόνια). Από που προέρχονται:

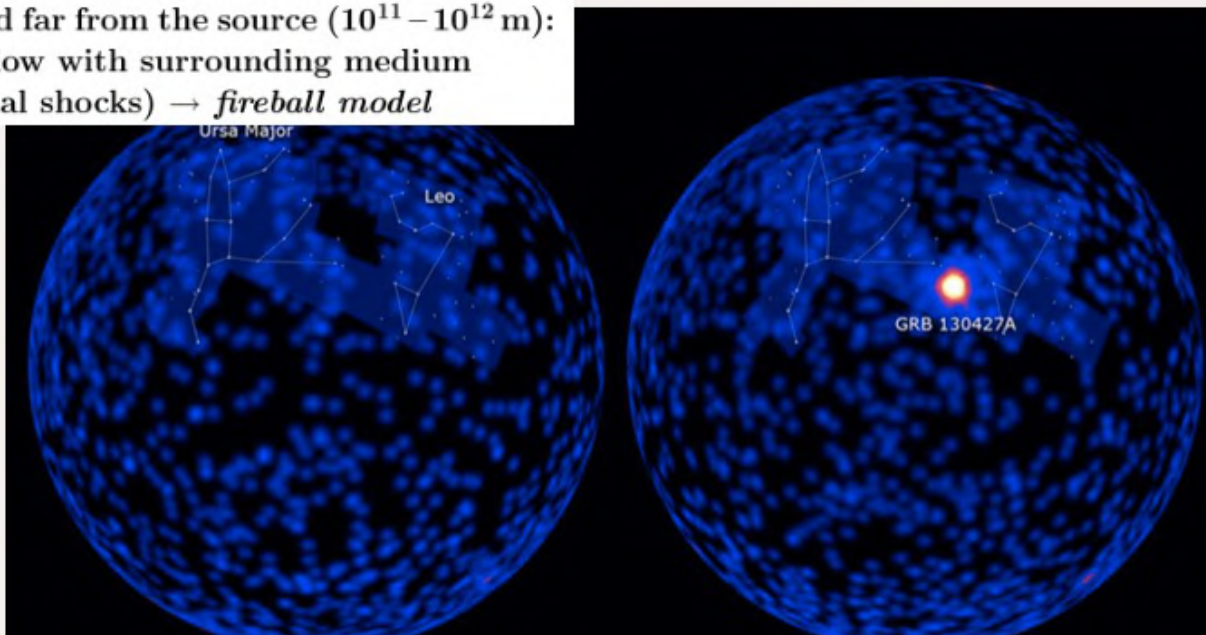
Ακτίνες γ βλέπουμε σε περιοχές όπου υπάρχει επιτάχυνση σωματίων, π.χ.,



Παρατηρησιακή Αστρονομία – Ακτίνες Χ, γ



- *highly relativistic outflows (fireballs):* ($\gamma \gtrsim 100$), possibly highly *collimated/beamed*
- GRBs are produced far from the source ($10^{11} - 10^{12}$ m): interaction of outflow with surrounding medium (external or internal shocks) → *fireball model*



Εκλάμψεις ακτίνων γ: **Gamma Ray bursts**

Από τα πιο ενεργητικά φαινόμενα στο Σύμπαν: **$5 \times 10^{51} - 10^{54} \text{ erg/s}$**

Πιστεύεται ότι προέρχονται κατά τη διάρκεια 2 φαινομένων

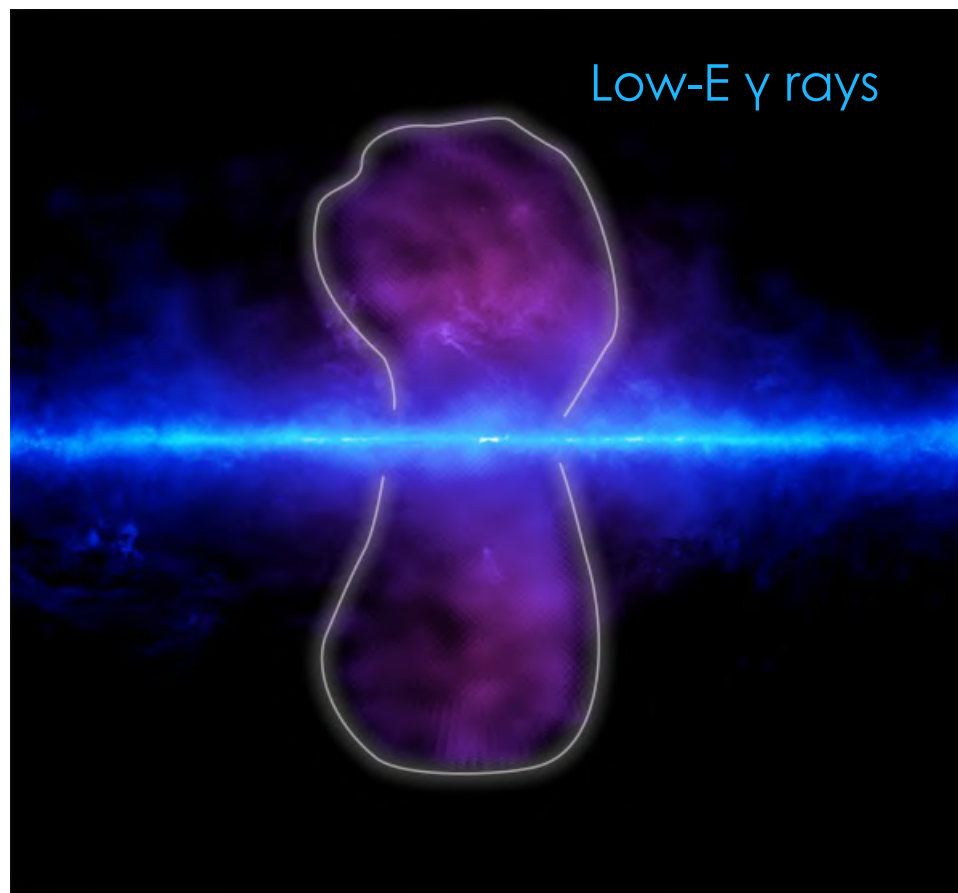
- Core-collapse supernova ή hypernova ($>250M_{\text{sun}}$) φάση run-away πυρηνικών αντιδράσεων π.χ., γιατί αναιρέθηκε η πίεση εκφυλισμού των e^-
- συγχώνευση 2 αστέρων νετρονίων ή αστέρα νετρονίων με μαύρη τρύπα

Και στις 2 περιπτώσεις τελικά θα παραχθεί μια μαύρη τρύπα.

Μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του τηλεσκοπίου Fermi (2010):

Fermi bubbles of the Milky Way - κατά πάσα πιθανότητα σχετίζεται με πίδακες ή εκροές του δίσκου από τη μαύρη τρύπα Sag A*

(αρχικά είχε προταθεί να σχετίζεται με εξαυλωση σωματίων dark matter στην άλω)



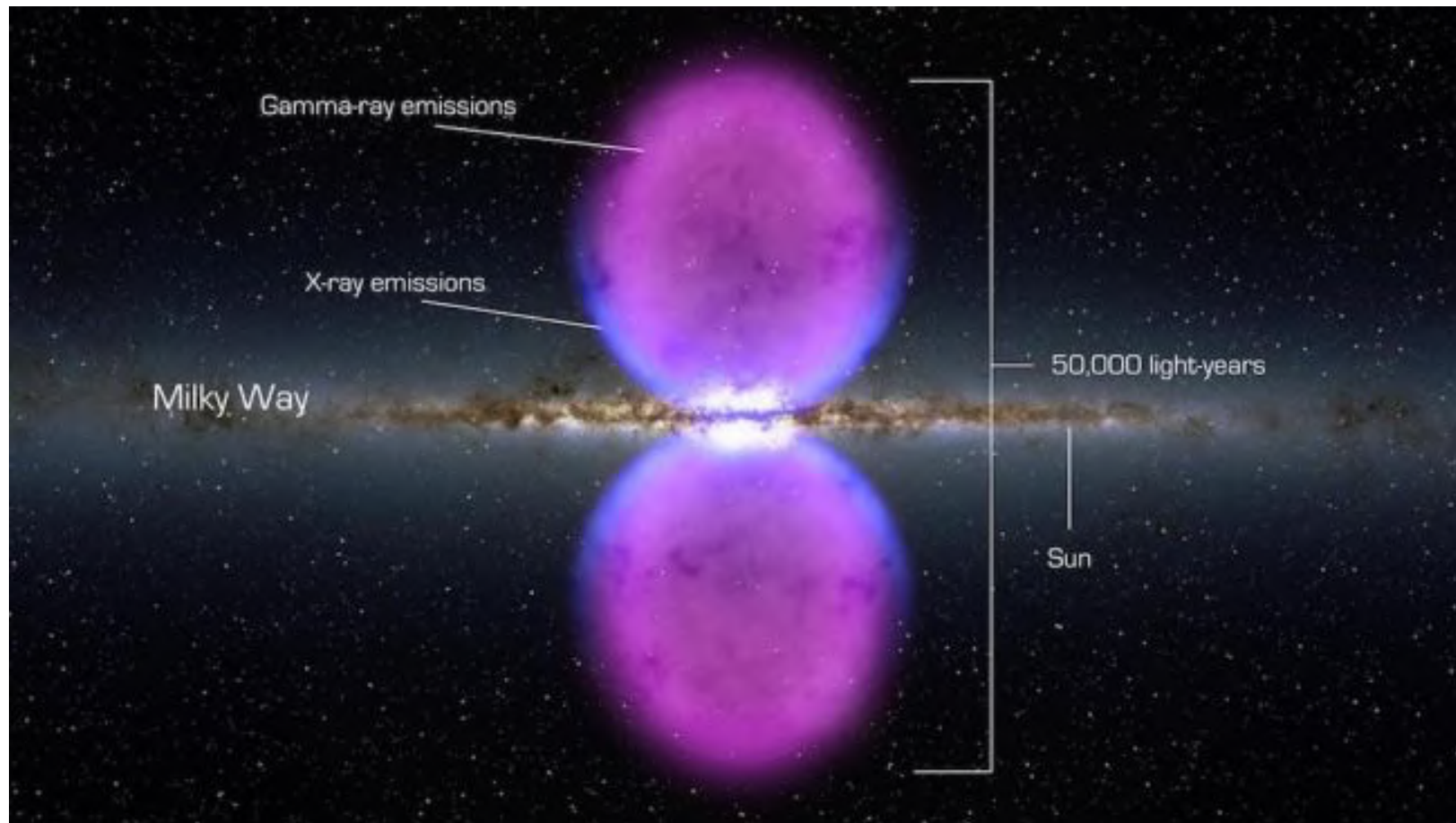
“The plane of our galaxy (shown in blue above) glows brightly in gamma rays, which result when high-energy particles called cosmic rays interact with gas and dust. The Fermi Bubbles emit higher-energy gamma rays than the rest of the galaxy's disk”

Παρατηρησιακή Αστρονομία – Ακτίνες X, γ

Μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του τηλεσκοπίου Fermi (2010):

Fermi bubbles of the Milky Way - κατά πάσα πιθανότητα σχετίζεται με πίδακες ή εκροές του δίσκου από τη μαύρη τρύπα Sag A*

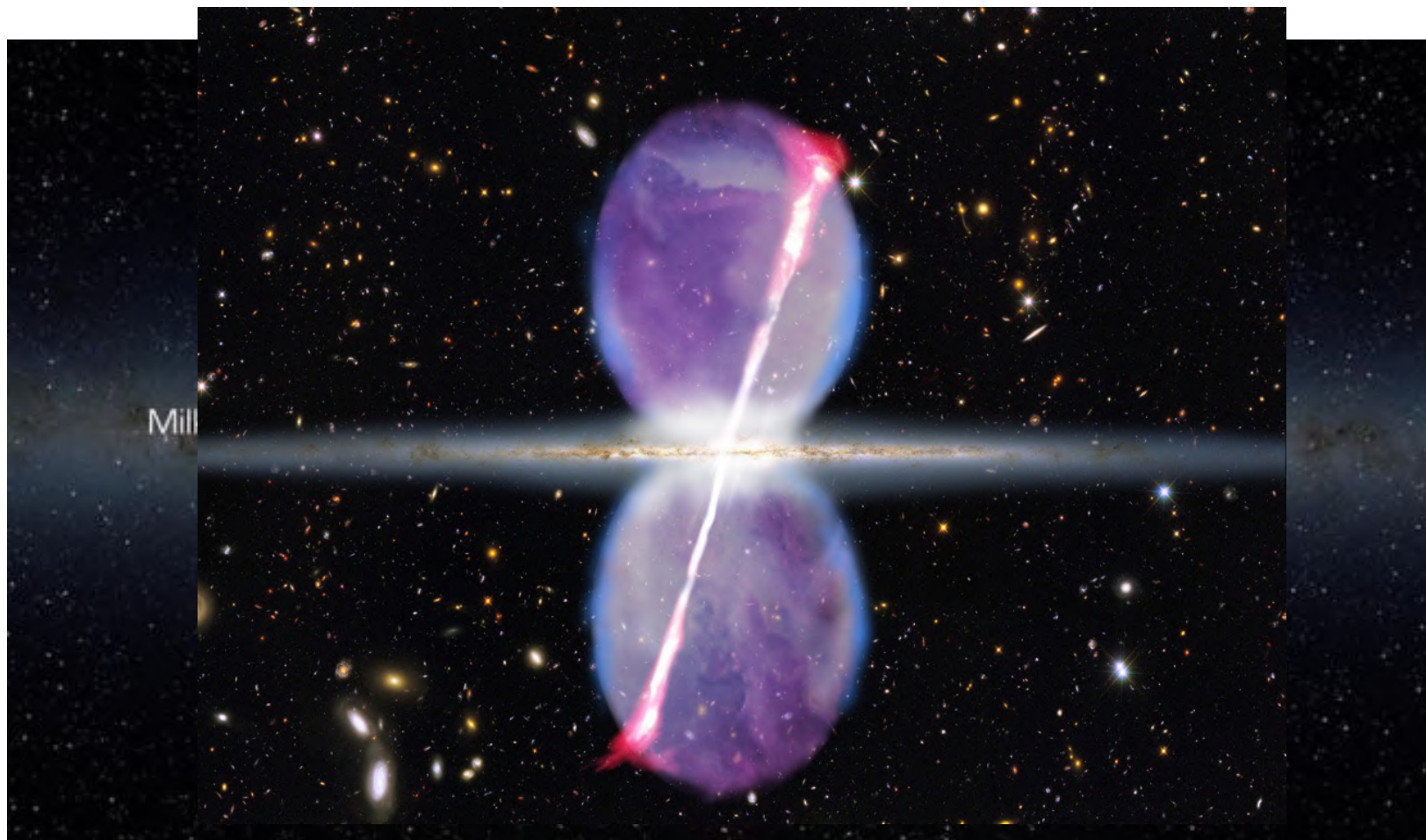
(αρχικά είχε προταθεί να σχετίζεται με εξαύλωση σωματίων dark matter στην άλω)



Μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του τηλεσκοπίου Fermi (2010):

Fermi bubbles of the Milky Way - κατά πάσα πιθανότητα σχετίζεται με πίδακες ή εκροές του δίσκου από τη μαύρη τρύπα Sag A*

(αρχικά είχε προταθεί να σχετίζεται με εξαύλωση σωματίων dark matter στην άλω)



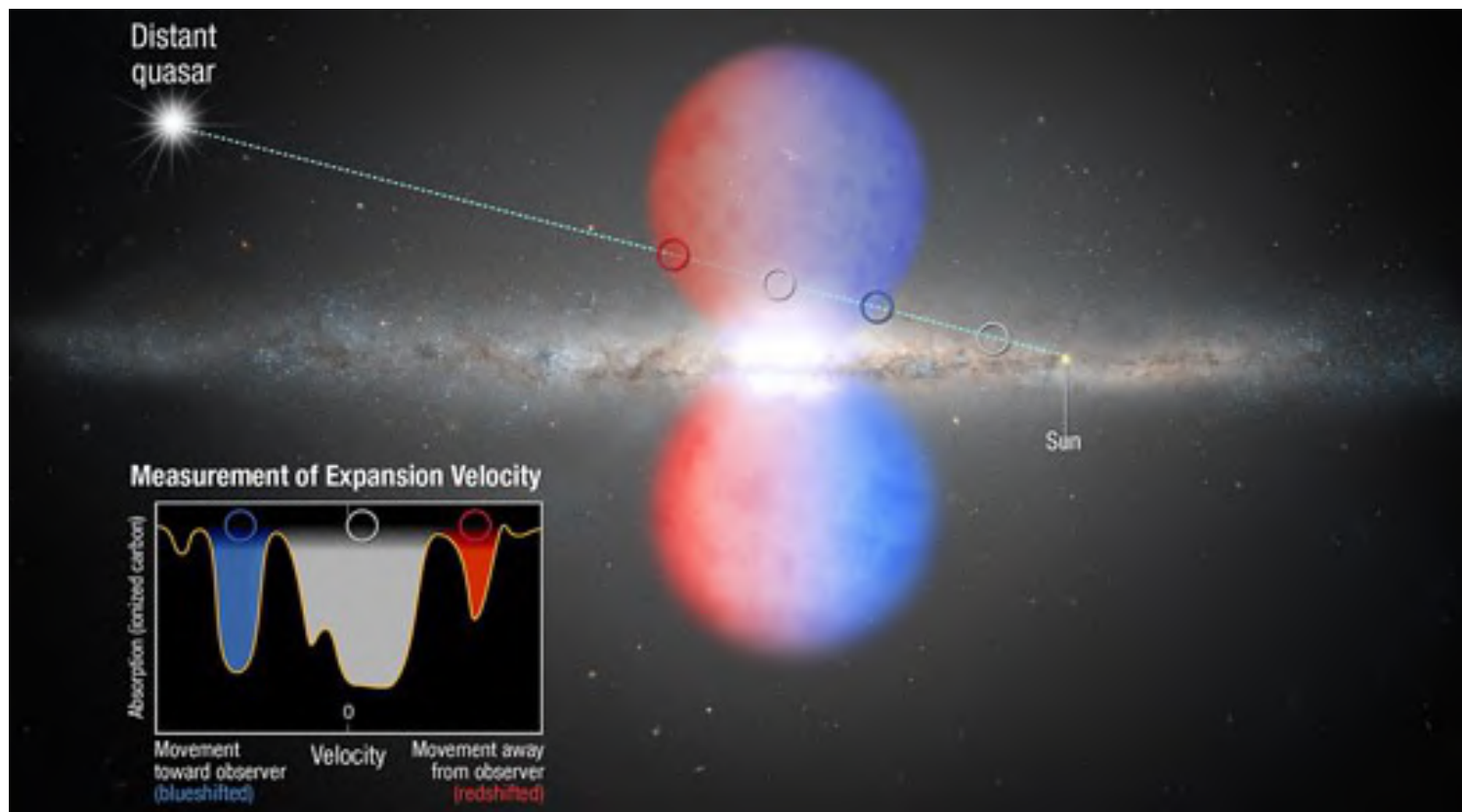
Παρατηρησιακή Αστρονομία – Ακτίνες Χ, γ

Μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του τηλεσκοπίου Fermi (2010):

Fermi bubbles of the Milky Way - κατά πάσα πιθανότητα σχετίζεται με πίδακες ή εκροές του δίσκου από τη μαύρη τρύπα Sag A*

Επιβεβαίωση εκροής αερίου ως πιθανότερου σεναρίου ήρθε από το HST – φασματογράφο COS: κίνηματική αερίου υποδηλώνει διάδοση σε κωνική τομή.

Si II, Si IV, C II, C IV, N V, V ~250 km/s



Μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του τηλεσκοπίου Fermi (2010):

Fermi bubbles of the Milky Way - κατά πάσα πιθανότητα σχετίζεται με πίδακες ή εκροές του δίσκου από τη μαύρη τρύπα Sag A*

Greenbank telescope - ραδιοφωνικό: **ανακάλυψη μιας εκατοστής νεφών HI που συμπαρασύρονται** και φεύγουν από το δίσκο του MW



Στο παραπάνω παράδειγμα φαίνεται πόσο σημαντική είναι η σύμπραξη μηκών κύματος στην αναγνώριση φαινομένων!

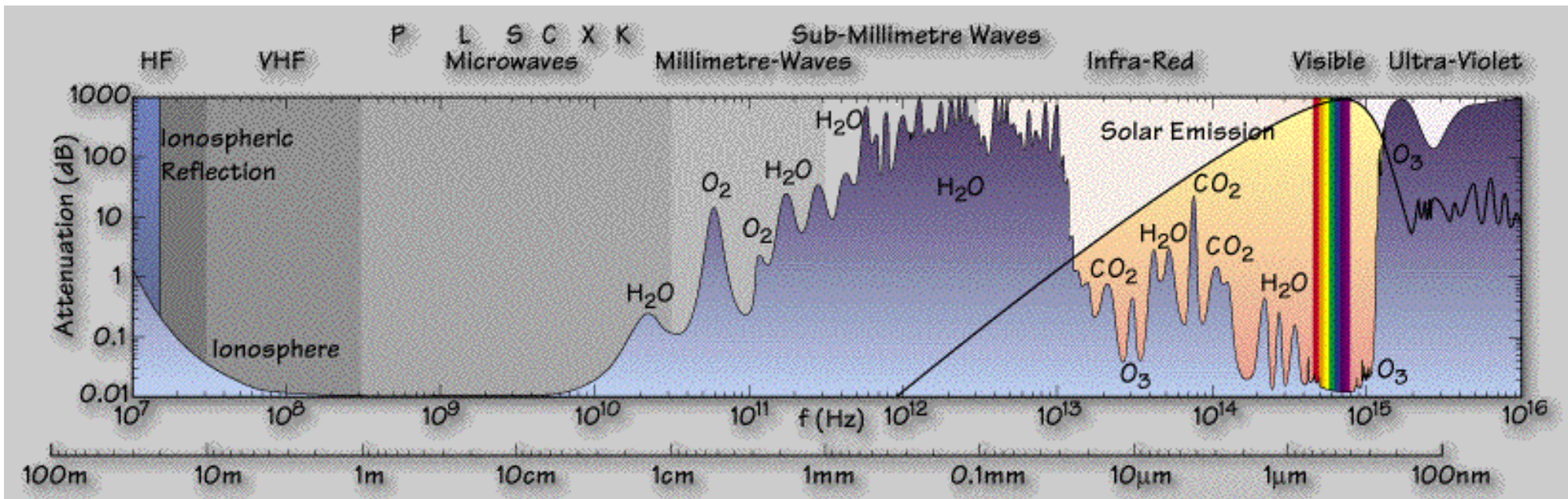
Έχοντας, λοιπόν, τα παραπάνω στο μυαλό, θα δούμε σε αυτό το μάθημα τι πρέπει να κάνουμε για **να παρατηρήσουμε τα φαινόμενα που μας ενδιαφέρουν στα μήκη κύματος** που χρειάζεται.

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Απαξ και διαλέξουμε μήκος κύματος –

Καίριο στοιχείο που οδηγεί στο σχεδιασμό των παρατηρήσεων μας - η **ατμόσφαιρα**:

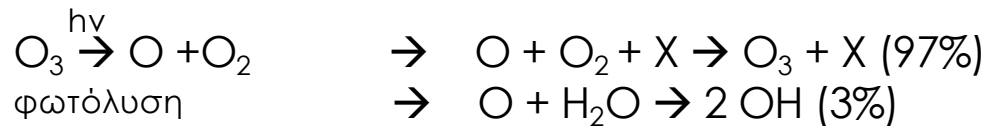
Διάφορα μόρια υπεύθυνα για την απόσβεση του φωτός ανά μήκος κύματος
(οι υδρατμοί ήταν για μεγάλα μήκη κύματος – για μικρά είναι το όζον.)
(ο ίδιος λόγος που προστατευόμαστε από υπεριώδεις, ακτίνες X)



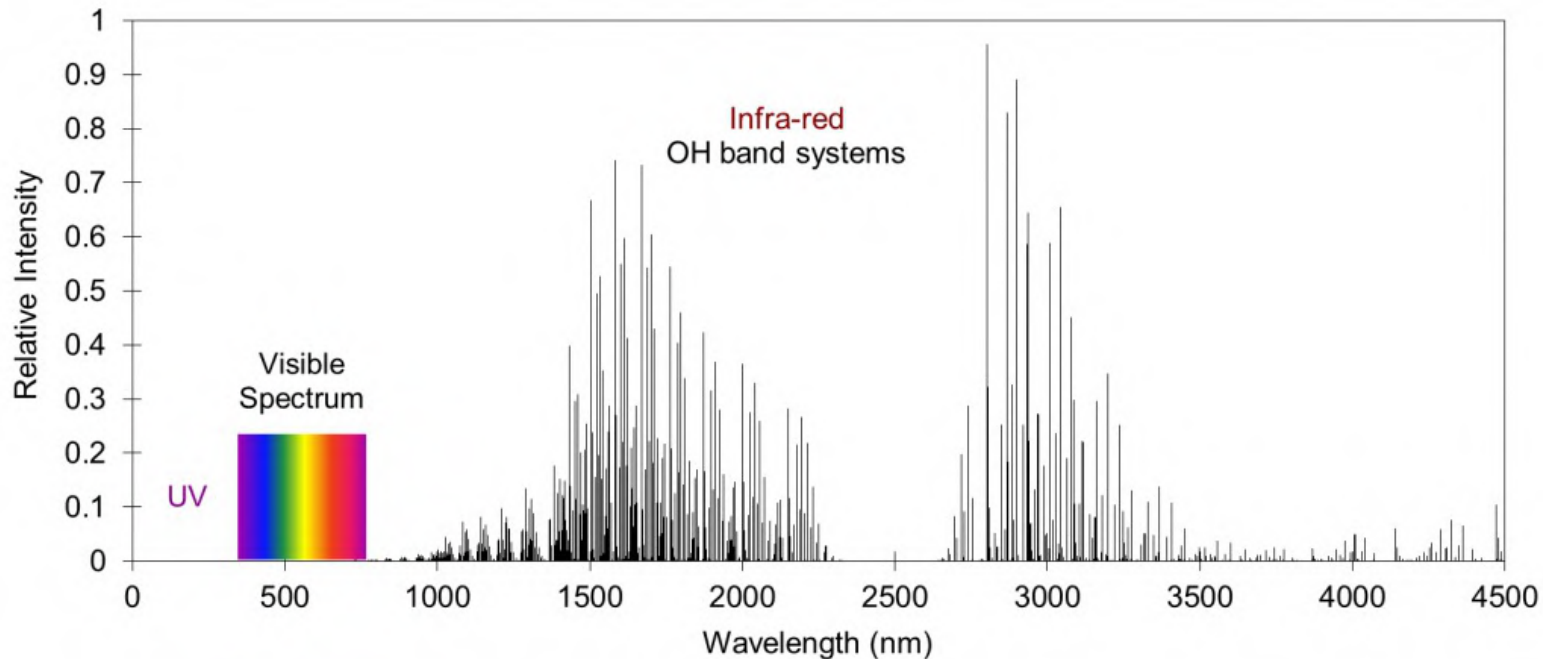
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Απρρόφηση αλλά κι εκπομπή OH: Από που προέρχεται το υδροξύλιο;
Πολλοί τρόποι παραγωγής από το όζον στην ατμοσφαιρα, π.χ.,

$\text{H} + \text{O}_3 \rightarrow \text{OH}^* + \text{O}_2$, εξώθερμη αντίδραση, που δίνει OH σε διεγερμένη στάθμη.
Κατά την αποδιέγερση παράγονται οι παρατηρούμενες γραμμές.

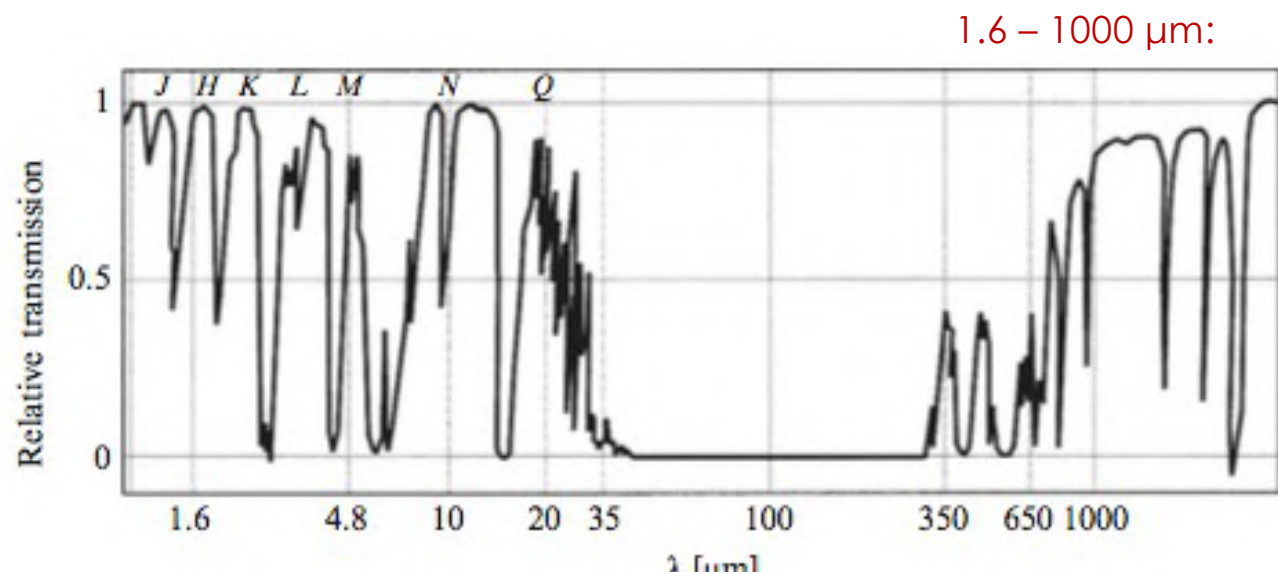
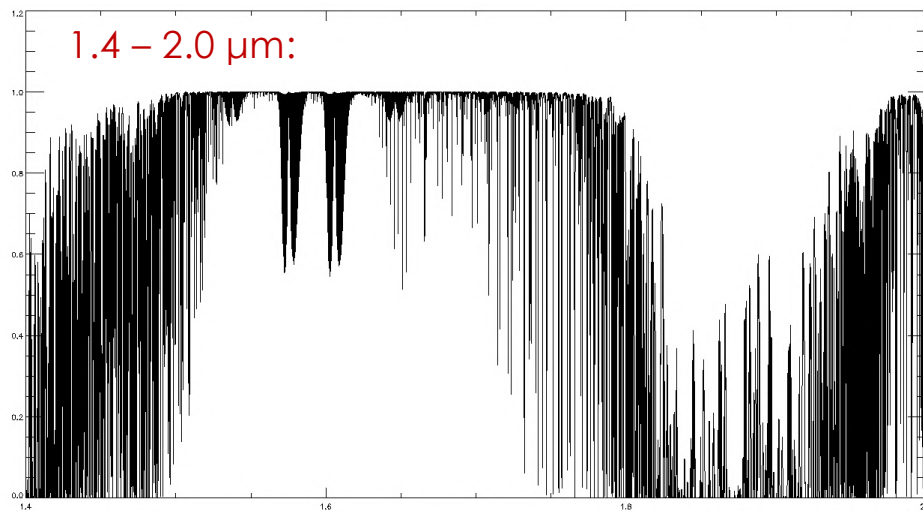


Η παραγωγή είναι πιο έντονη την ημέρα!



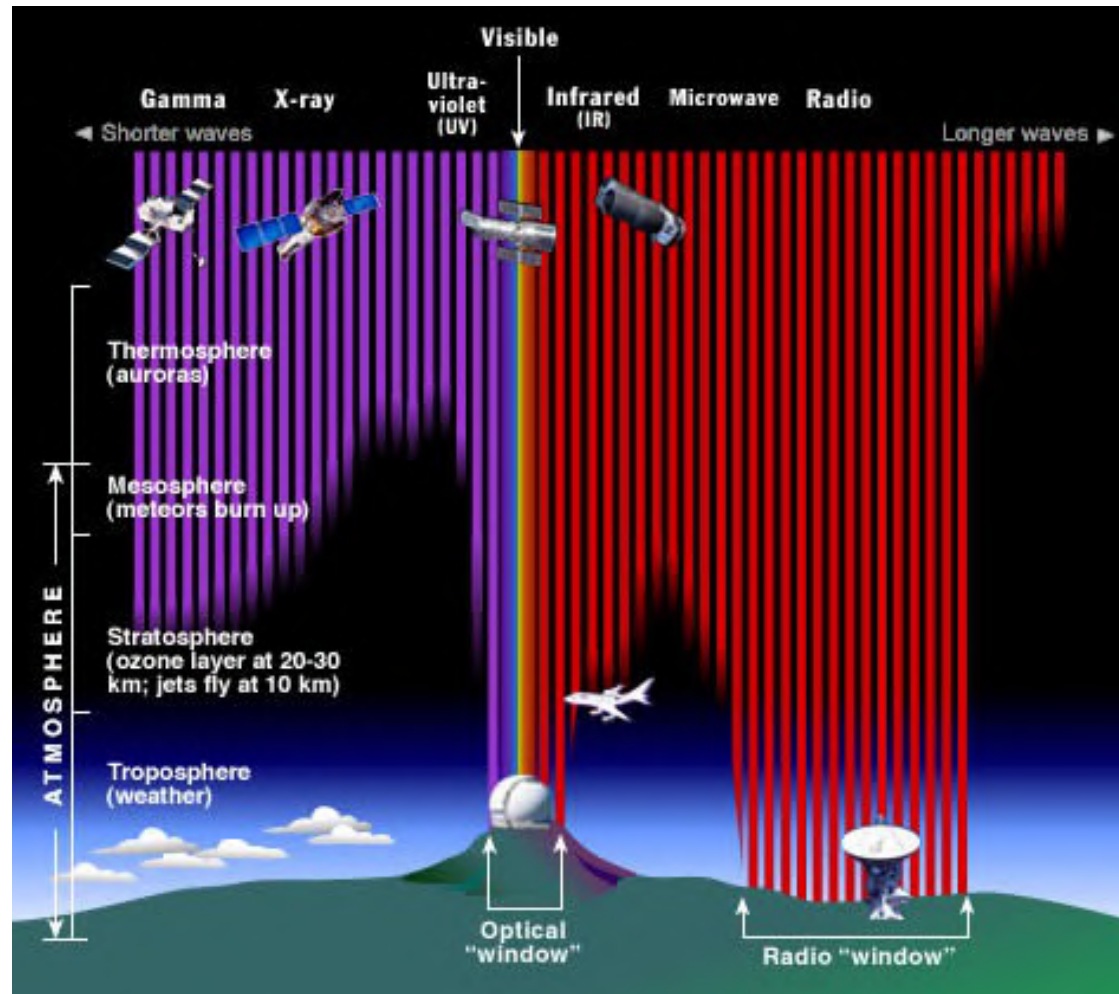
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Μοντέλα της ατμόσφαιρας σε συναφή, υπέρυθρα μήκη κύματος:
η ακτινοβολία μπορεί **απορροφάται** πλήρως λόγω υδρατμών.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Σε τι υψόμετρο μπορεί τυπικά να φτάσει η ακτινοβολία ανά μήκος κύματος πριν απορροφηθεί;
Τελικά, τα παραθυρά που μπορούμε να δούμε είναι πολύ περιορισμένα!
Σε όλα τα άλλα μήκη κύματος – UV, X-rays, mm, πρέπει να παμε στο διάστημα!



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ιστορία: το στοίχημα ήταν να πάμε όλο και πιο ψηλά, π.χ., στο υπερυθρο

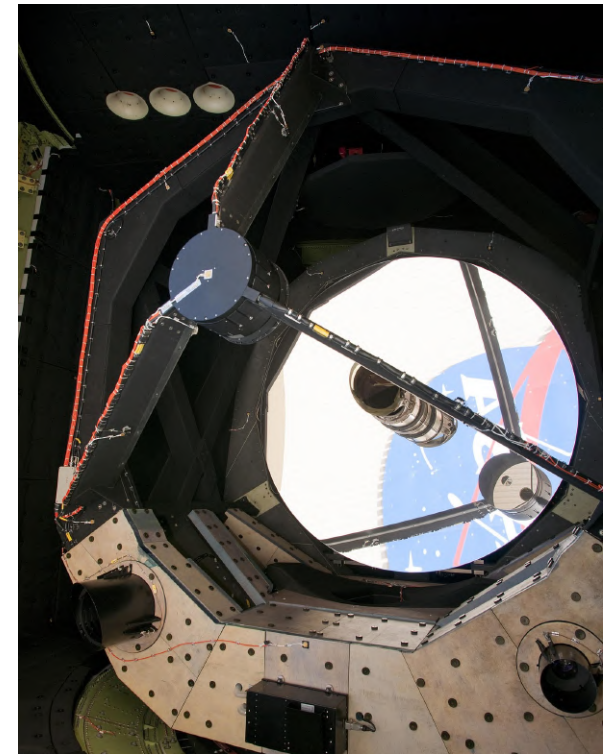


1960's: Αερόστατα
για μετρήσεις σε
μεγάλο υψόμετρο
(αποφυγή
απορρόφησης από
 H_2O)

1975 (-1995):
Kuiper Airborne
Observatory
Κατοπτρικό
Τηλεσκόπιο 91cm
-δακτύλιου του
Ουρανού
-ανίχνευση νερού



(2007) - SOFIA ~100 flights per year
Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

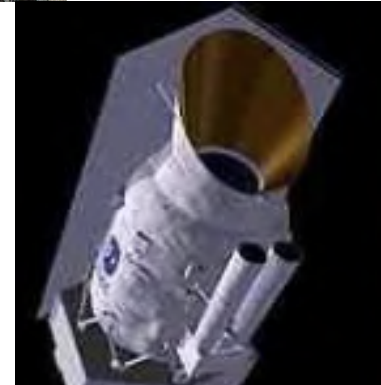
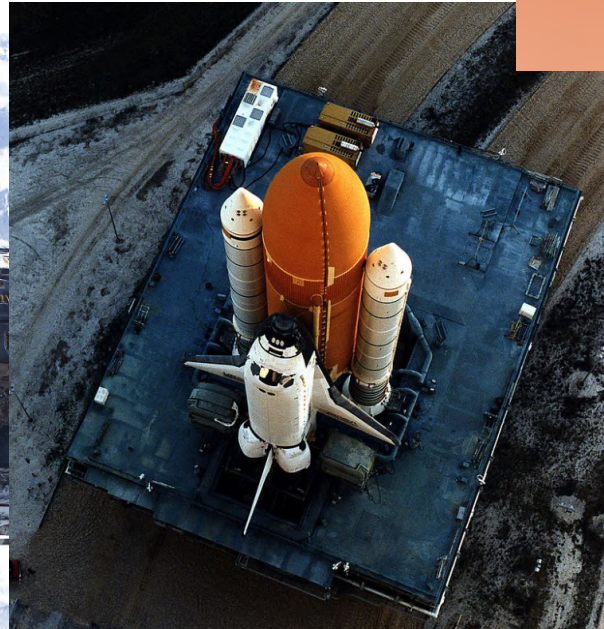
Ιστορία:

1983: IRAS,

1995: ISO

1997: Εγκατάσταση της κάμερας NICMOS στο Hubble (NIR)

1983:
Infra-Red
Astronomical
Satellite (IRAS)
full sky survey



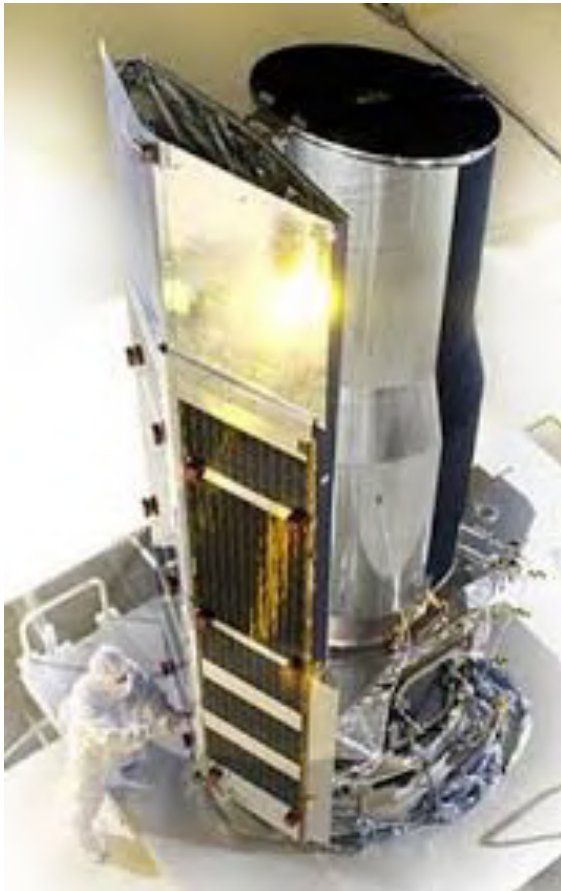
1995:
ESA ISO
2.5-240 μ m +
φασματοσκοπία

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ιστορία:

- 2003: Εκτόξευση Spitzer Space Telescope:

Υπήρξε πιθανόν η πιο σημαντική αμιγώς IR αποστολή ως τώρα στο διάστημα αναφορικά με τη βαρύτητα των αποτελεσμάτων της, π.χ.,



– ανακάλυψη νέων γαλαξιών σε $z > 1$:
ίσως τους **διπλάσιους** από αυτούς
που ήταν γνωστοί ως το 2000!

Ψύχονταν στους $\sim 5\text{K}$ με υγρό He μέχρι το 2009,
και μετά ανέβηκε στους $T \sim 30\text{K}$ (warm mission)

– μεγάλη συνεισφορά σε ανακάλυψη
εξωπλανητών: πολλούς από μεταβολή
ροής του αστεριού που κάλυπταν

Η NASA το «έσβησε» το 2020!

“Spitzer's struggle comes from trying to
balance charging its battery, communicating
with Earth and keeping its instruments cool.”

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ιστορία:

Υπήρξε πιθανόν η πιο σημαντική αμιγώς IR αποστολή ως τώρα στο διάστημα αναφορικά με τη βαρύτητα των αποτελεσμάτων της, π.χ.,



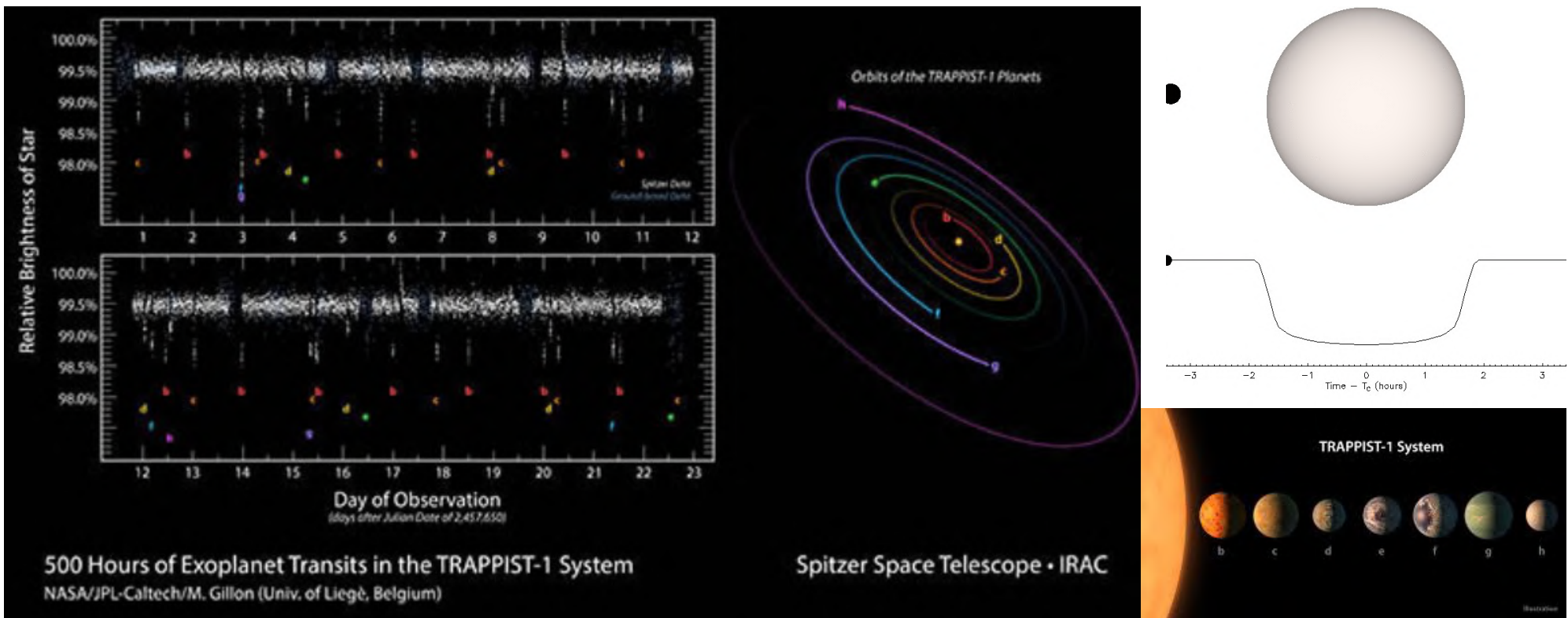
Microensing: When a star passes in front of a more distant star, as seen from Earth, the foreground star's gravity can bend and magnify the light from the background star. If a planet orbits the foreground star, the planet's gravity can contribute to the magnification.

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Ιστορία:

Υπήρξε η πιο σημαντική αμιγώς IR αποστολή ως τώρα στο διάστημα αναφορικά με τη βαρύτητα των αποτελεσμάτων της, π.χ.,

- Classical light absorption method: TRAPPIST-1: first known system of planets around 1 star, 39 lt years away. 7 Earth-sized, rocky planets orbiting an ultra-cool dwarf star.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Αστρονομία από τη **Γη** vs. από το **διάστημα**:

(Η σύγκριση έχει νόημα για μήκη κύματος όπου και τα 2 είναι εφικτά)



Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

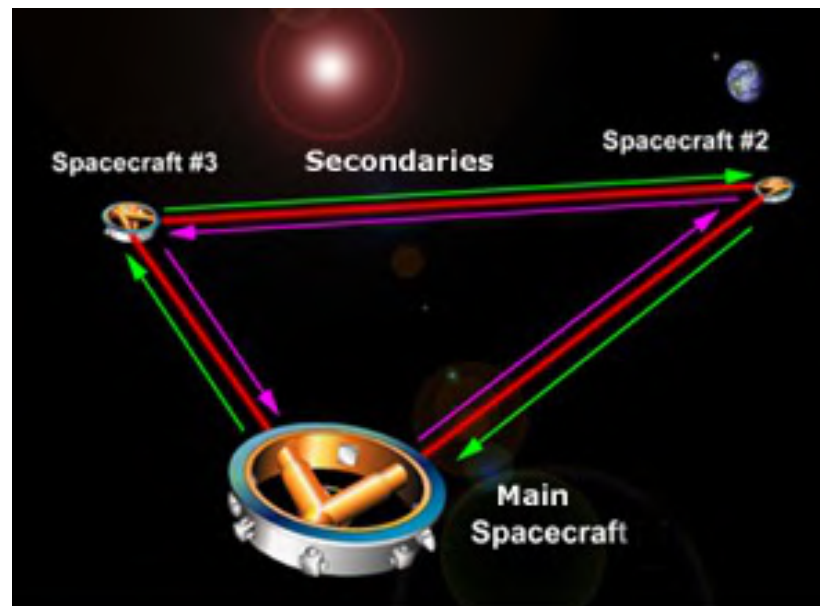
- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή...



Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
 - μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή...
 - θα δούμε όμως και το αντιπαράδειγμα της LISA για βαρυτικά κύματα (θέλουμε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτές που μας επιτρέπει η Γη...)



Laser Interferometer Space Antenna (LISA)

Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή..
- Πολύ μεγάλο μέγεθος (η επόμενη γενιά θα είναι τηλεσκόπια 30 μέτρων).
Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό εξαγωνικών καθρεπτών, βάσει του πολύ επιτυχημένου Keck, στη Χαβάη.



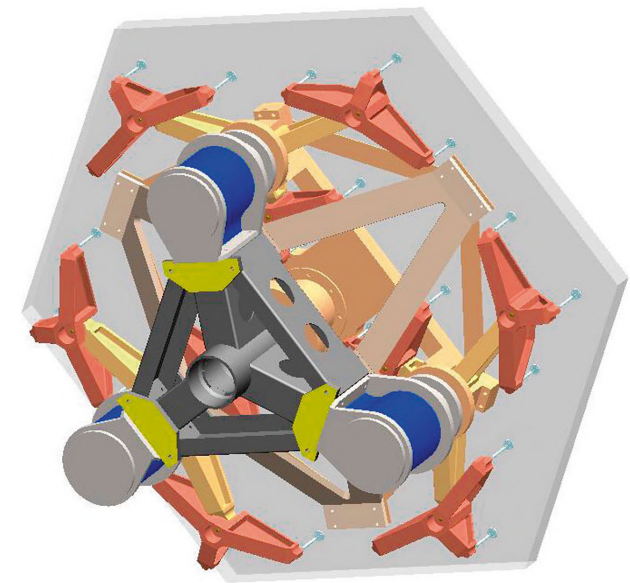
Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή..
- Πολύ μεγάλο μέγεθος (η επόμενη γενιά θα είναι τηλεσκόπια 30 μέτρων).
Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό εξαγωνικών καθρεπτών, βάσει του πολύ επιτυχημένου Keck, στη Χαβάη.

Οι καθρέπτες έχουν πια actuators (μέρη που τους ασκούν πίεση) στο πίσω μέρος τους, για να διατηρούν το σχήμα τους σταθερό, και να μην υπάρχουν πολλές σχισμές όπου θα κάνει περίθλαση το φως.

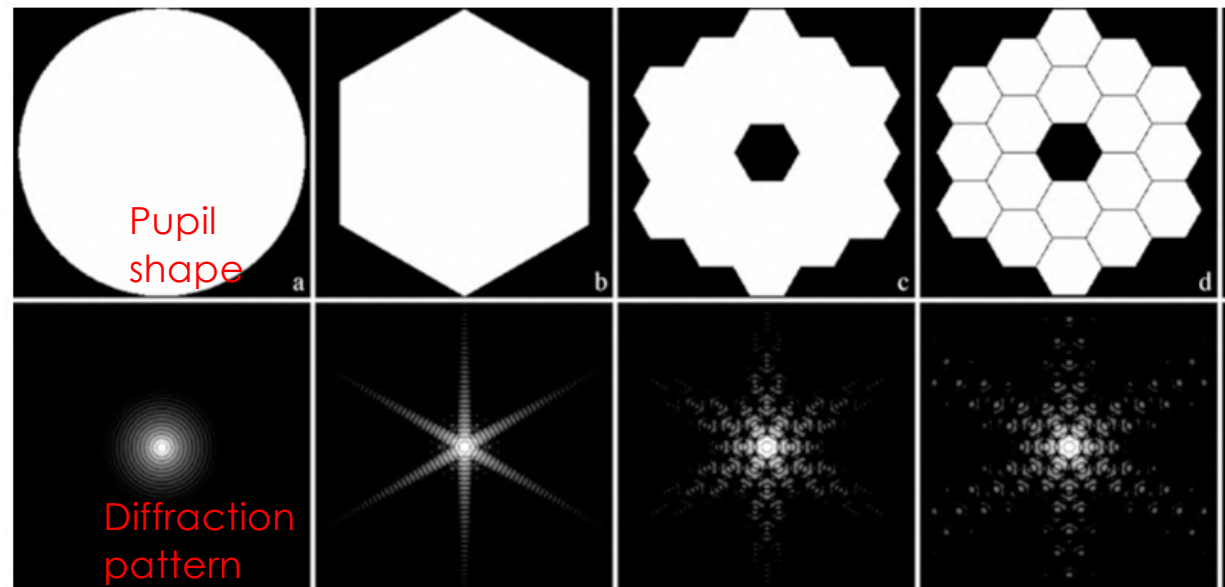
Π.χ., design ESO Extremely Large Telescope, ακόμα και στο ραδιοφωνικό, το τηλεσκόπιο στη Σαρδινία έχει 1164 actuators!



Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή..
- Πολύ μεγάλο μέγεθος (η επόμενη γενιά θα είναι τηλεσκόπια 30 μέτρων).
Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό εξαγωνικών καθρεπτών, βάσει του πολύ επιτυχημένου Keck, στη Χαβάη.



Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή..
- Πολύ μεγάλο μέγεθος (η επόμενη γενιά θα είναι τηλεσκόπια 30 μέτρων).
- Μικρότερο κόστος κατασκευής.
- Επισκευάσιμα.

Επίγεια Αστρονομία

Γίνεται για οπτικό, κοντινό υπέρυθρο, και μικροκυματικό-ραδιοφωνικό εύρος.
Πλεονεκτήματα:

- σταθερά παρατηρητήρια, π.χ., ιδανικό για συστοιχίες
- μια συστοιχία στο διάστημα είναι δύσκολο να κρατηθεί σταθερή..
- Πολύ μεγάλο μέγεθος (η επόμενη γενιά θα είναι τηλεσκόπια 30 μέτρων).
- Μικρότερο κόστος κατασκευής.
- Επισκευάσιμα.
- Μεγάλη προσπάθεια στο να περιορίσουμε τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρας.



Διαστημικά τηλεσκόπια – πλεονεκτήματα:

- Παρατηρήσεις σε **όλα τα μήκη κύματος**
- Πιο **αποδοτική χρήση του χρόνου** τους για τους εξής λόγους
 - α) λιγότερος χρόνος στο background
(εφόσον οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα είναι της τάξεως λεπτών χρειάζονται πάρα πολλές εκθέσεις στο background από τα Γηινα τηλ. ενώ 1 για τα διαστημικά)
 - β) παρατηρήσεις όλο το 24ωρο
- και (συνήθως) **δυνατότητα κάλυψης ολόκληρου** του ουρανού

Βασικά μειονεκτήματα – ακριβά και μη επισκευάσιμα, περιορισμένου μεγέθους.

Διαστημικά τηλεσκόπια:

Το Hubble Space Telescope, το μεγαλύτερο οπτικό τηλεσκόπιο, ήταν το μόνο επισκευάσιμο λόγω της χαμηλής τροχιάς του (545km), της επιλογής να περιστρέφεται γύρω από τη Γη.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Διαστημικά τηλεσκόπια:

Το Hubble Space Telescope, το μεγαλύτερο οπτικό τηλεσκόπιο, ήταν το μόνο επισκευάσιμο λόγω της χαμηλής τροχιάς του (545km), της επιλογής να περιστρέφεται γύρω από τη Γη, και της μεγάλης επιστημονικής αξίας του.

~ 30 χρόνια+.

>1 εκατομμύριο παρατηρήσεις

>16.000 δημοσιεύσεις

Service missions:

1st optics correction – WFPC2 (1994)

2nd FOS replacement by STIS (1997)

3rd gyroscopes+ ACS (1999,2002)

4th batteries, WFPC3+COS (2009)



Διαστημικά τηλεσκόπια:

Τα διαστημικά τηλεσκόπια έχουν έναν ρεαλιστικό περιορισμό στο μέγεθός τους: τη διάμετρο του πυραύλου εκτοξευσης.

Ariane 5 της ESA:

Η διάμετρος είναι περίπου στα 5.5 μέτρα.

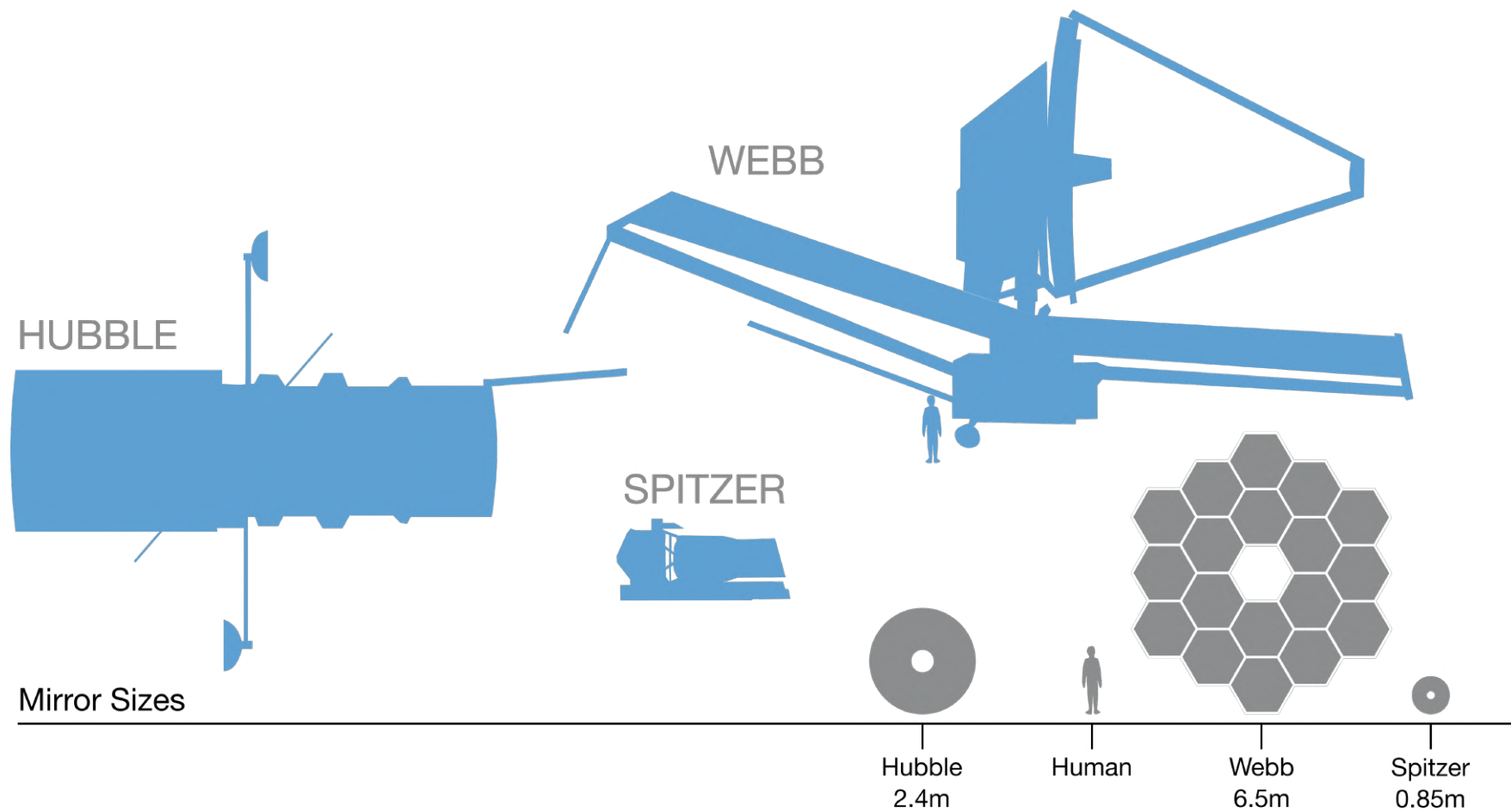
Η νέα μέθοδος για να ξεπεραστεί αυτό το όριο θα είναι τα αναδιπλούμενα τηλεσκόπια (deployable).

Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα θα είναι το επόμενη γενιάς **James Webb Space Telescope**.



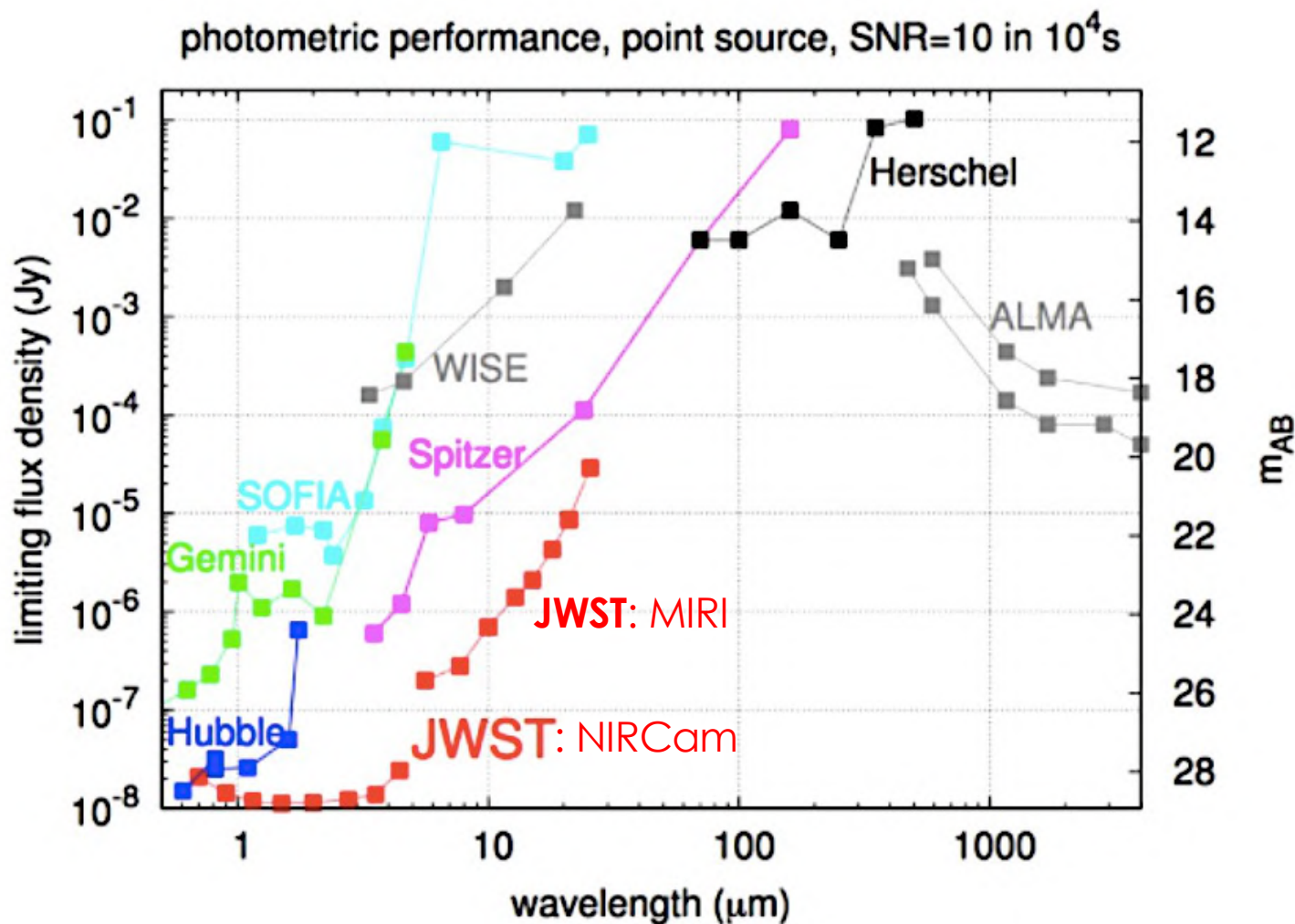
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

- 6.5 μέτρα καθρέπτης με αναδιπλούμενα panels, που θα επιτρέψει πρωτοφανή ευαισθησία χάρη στη μεγάλη επιφάνεια συλλογής φωτονίων.



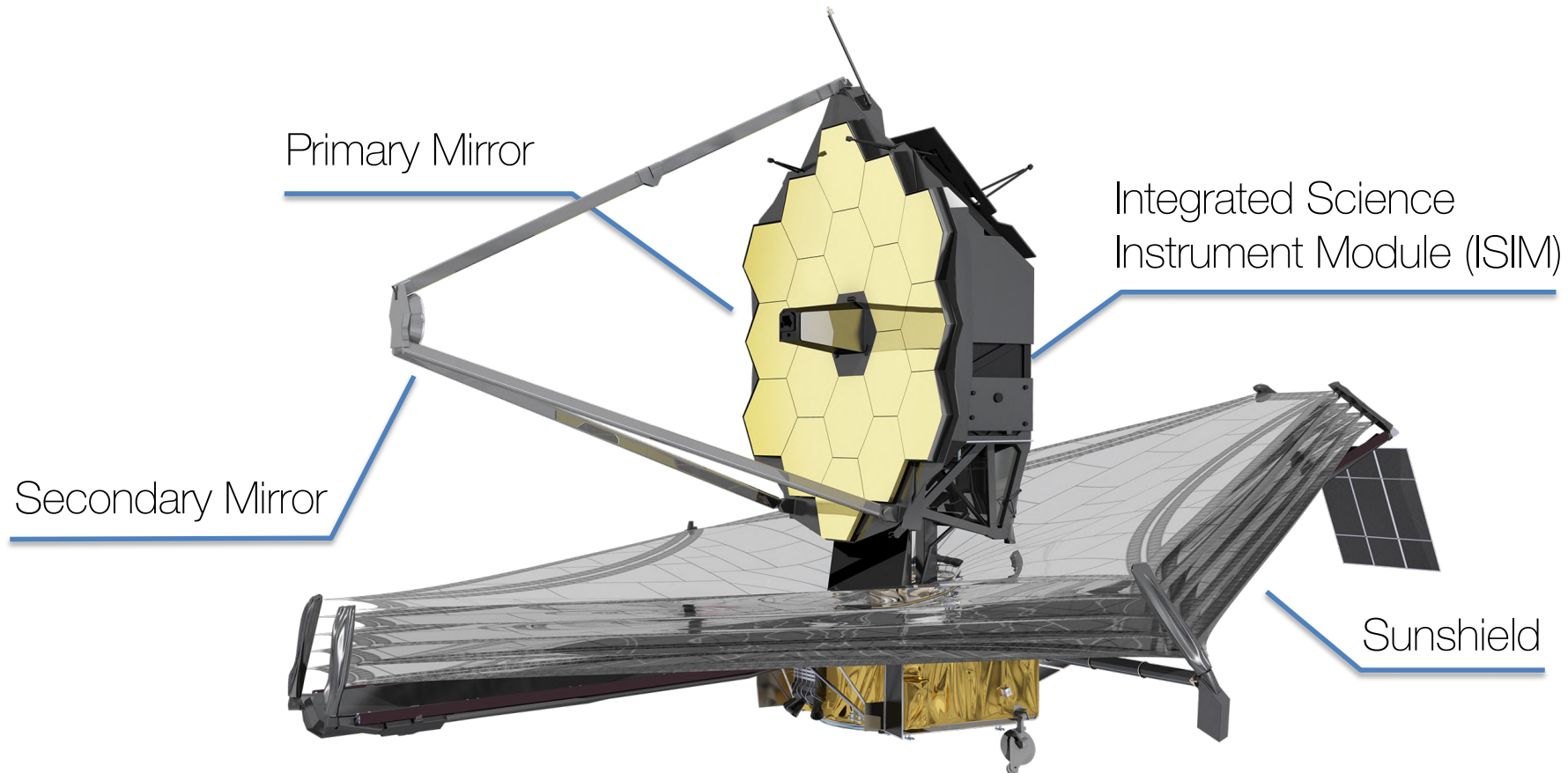
Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

- 6.5 μέτρα καθρέπτης με αναδιπλούμενα rpanels, που θα επιτρέψει πρωτοποριακή ευαισθησία, χάρη στη μεγάλη επιφάνεια συλλογής φωτονίων: **εώς 10 nanoJansky**.



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

- 6.5 μέτρα καθρέπτης με αναδιπλούμενα panels, που θα επιτρέψει πρωτοποριακή ευαισθησία
- καθρέπτης βηρυλίου (ελαφρύ αλλά στοιβαρό), επιχρυσωμένος (ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο)
- κυρίως υπέρυθρο ($0.6\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$)
- Καθρέπτης θα κρυώνει παθητικά στους $<50\text{K}$ (θα είναι πάντα στη σκιά του σκιάστρου του)
+ MIR όργανο θα ψύχεται σε $<7\text{K}$
- Προσπάθεια >30 χρόνων

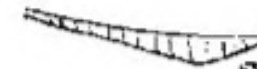
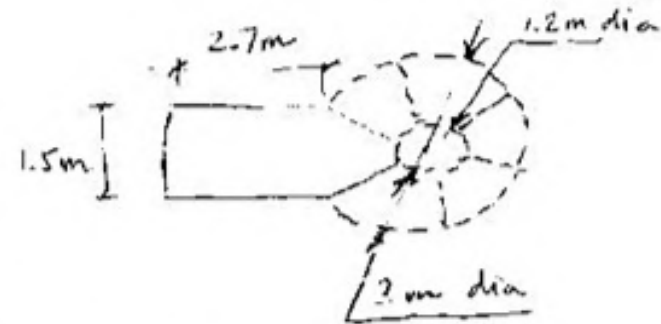
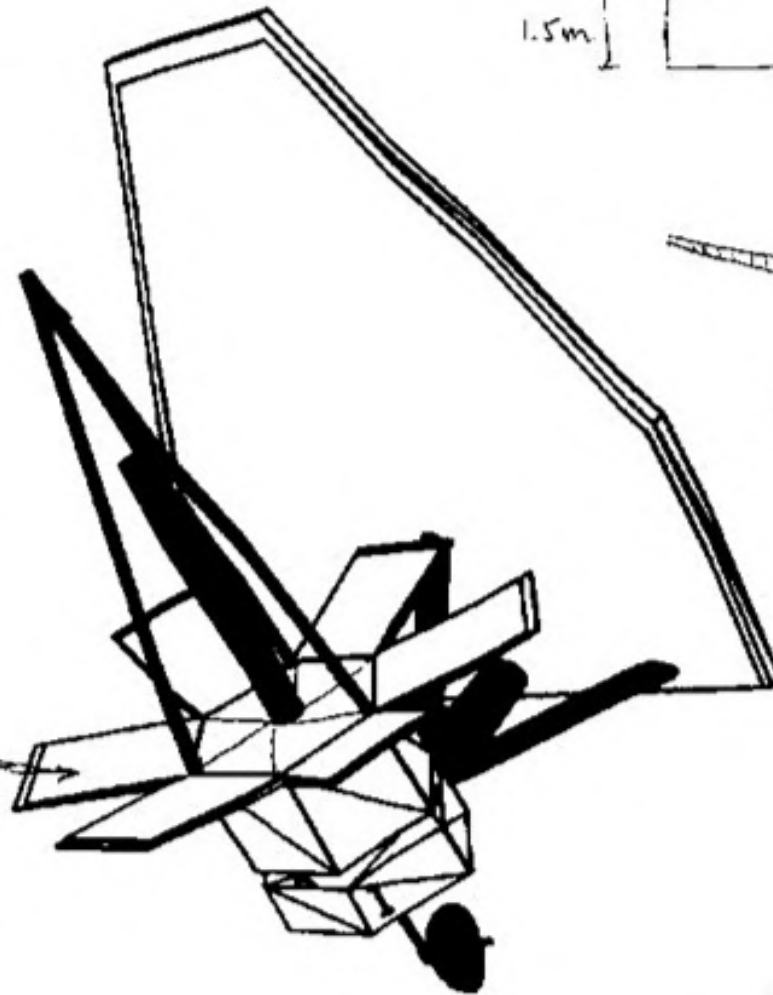
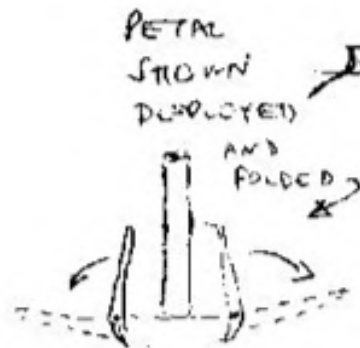


Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Συζητήσεις για την επόμενη IR αποστολή ξεκίνησαν πριν την εκτόξευση του HST (1990)!

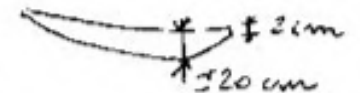
Σημειώσεις σε
χαρτοπετσέτα (1996)
(Next Generation Space
Telescope)

TELESCOPE
PRIMARY MIRROR



CROSS SECTION
OF A PETAL
(OPEN BACK)

THICKNESS OF PETAL
DETERMINED BY
NATURAL FREQUENCY
WHEN HELD AT
3 POINTS (KINEMATICALLY)
PROBABLY ≈ 2 CM
AT EDGE AND
 ≈ 20 CM AT THICKEST
SECTION :



PETAL TO BE HELD AT A, B, C
(PBELY - 3 APRIL 96)

Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Τι είναι το Λαγκρανζιανό σημείο 2 όπου πήγε το JWST, και γενικότερα τα σημεία αυτά;

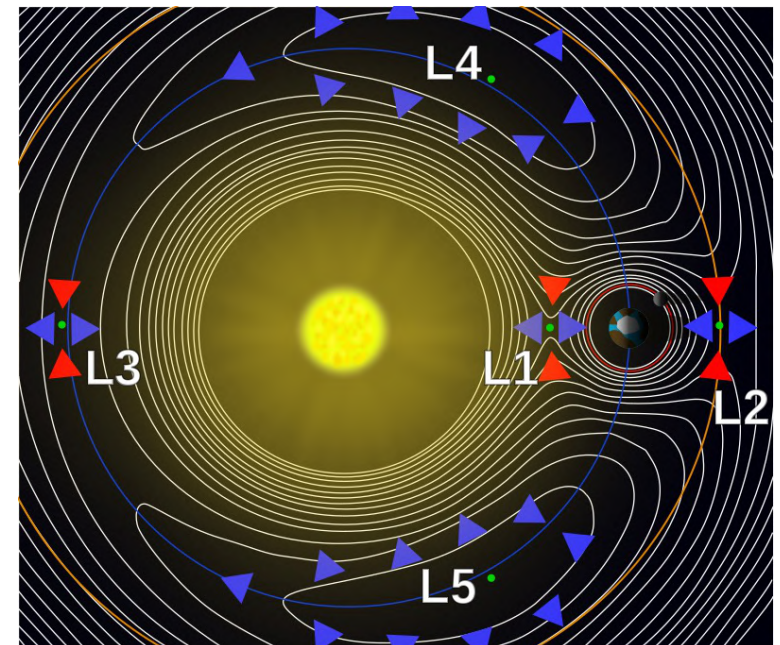
Σημεία γύρω από 2 περιστρεφόμενα σώματα, όπου ένα τρίτο σώμα (αμελητέας μάζας) θα διατηρήσει τη θέση του -> Επιλέγονται για την κατανάλωση καυσίμου

Τοπικά μέγιστα πηγαδιού δυναμικού -> ασταθή σημεία ισορροπίας.

Το τι θα σταλεί στο L1 ή στο L2 εξαρτάται από το αν θέλουμε να βλέπει τον Ήλιο ή όχι.

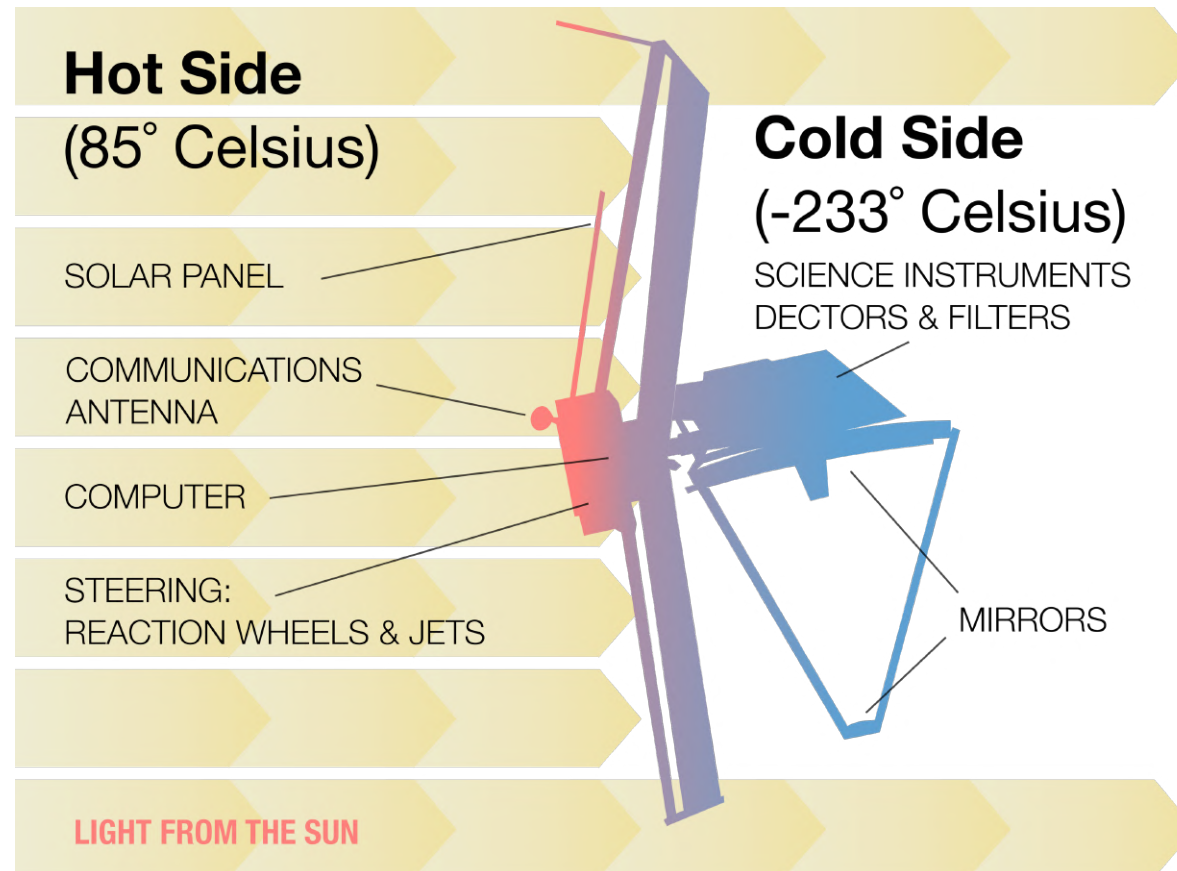
Π.χ., L1 = 1.5 million km προς τον Ήλιο, στέλνουμε Ηλιακές αποστολές ([WIND](#), [SOHO](#), ...).

Υπέρυθρα ή μικροκυματικά τηλεσκόπια πάνε στο L2, έχοντας ανάγκη χαμηλές θερμοκρασίες ώστε να μην εκπέμπουν πολύ θερμικά Π.χ., James Webb, [WMAP](#), [Herschel](#), [Planck](#), [GAIA](#).



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

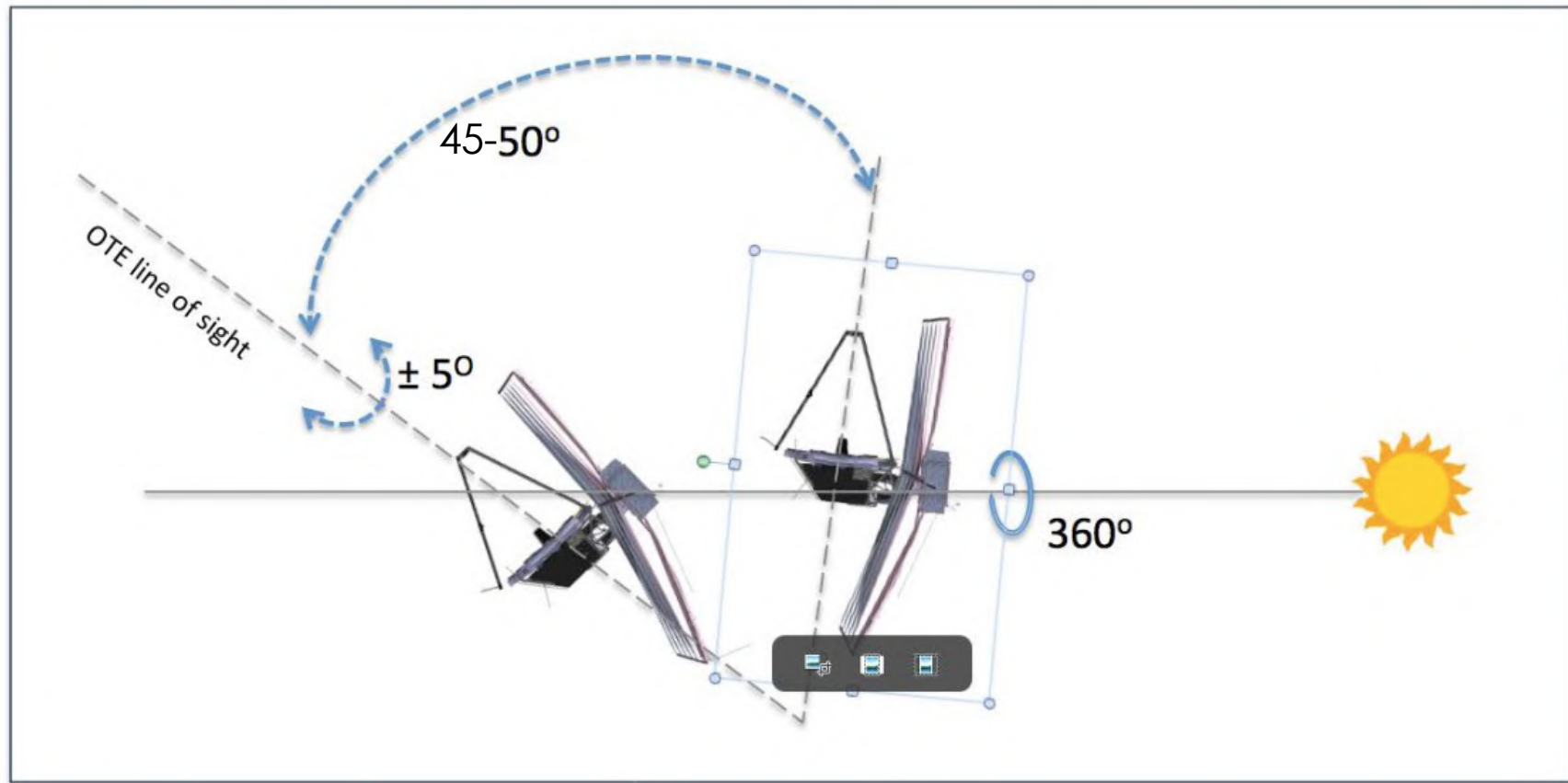
Για παράδειγμα: JWST: L2+ σκίαστρο ->
Πτώση θερμοκρασίας κατά μήκος του τηλ. (360K ->40K)



Τεχνικές Παρατήρησης και Επεξεργασίας Δεδομένων στην Αστροφυσική

Πόσο εύκολα θα κινείται ένα τηλεσκόπιο που πρέπει να παραμείνει στη σκιά;
Μπορεί να

- περιστραφεί 360° γύρω από τον άξονα Ηλίου-Γης.
- στρίψει $45-50^\circ$ σε σχέση με τους εκλειπτικούς πόλους.
- Ρολάρει 5° (κάθετα προς το επίπεδο όπως φαίνεται εδώ)



Η ορατότητα του ουρανού τότε έχει ως κάτωθι:

Οι πηγές κοντά στους πόλους της εκλειπτικής είναι πιο εύκολα παρατηρήσιμες, ενώ ο κύκλος μεγαλώνει με τις λοιπές στροφές. Ανά πάσα στιγμή μπορεί να δει το ~35-50% του ουρανού. Με τις εποχές το υπόλοιπο.

