

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Κοσμάς Γαζέας

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ



Κεφάλαιο 1

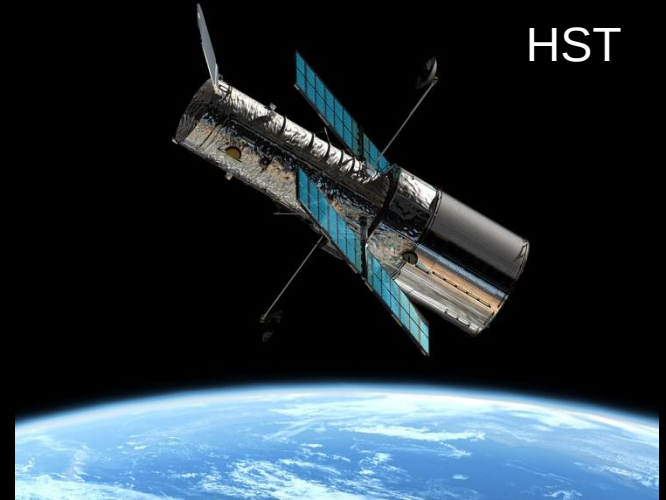
Οπτική αστρονομία (VIS)

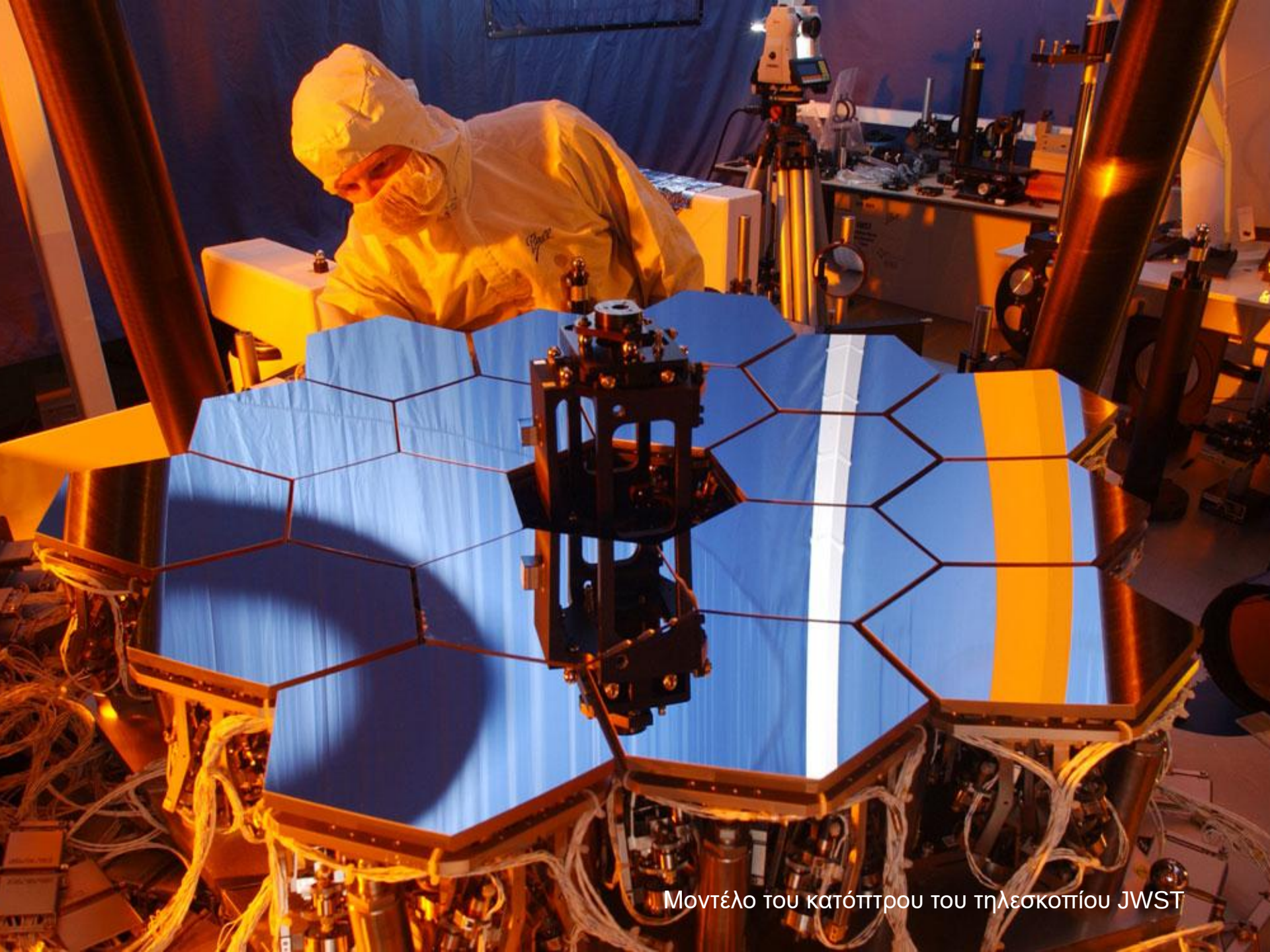
- Το πρώτο διαστημικό οπτικό τηλεσκόπιο (1989-1993) ήταν το **HIPPARCOS** (διάμετρος 0.29 m).
- Από το 1990 το τηλεσκόπιο **HUBBLE (HST)** (διάμετρος 2.4 m) άλλαξε ριζικά την όψη του ορατού σύμπαντος, προσφέροντας εικόνες και φάσματα μοναδικής καθαρότητας στα υπεριώδη, ορατά και υπέρυθρα μήκη κύματος.
- Το 2003, η Καναδική Διαστημική Υπηρεσία (CSA) έστειλε το τηλεσκόπιο **MOST** (διάμετρος 0.15 m) για τη μελέτη μεταβλητών αστέρων.
- Από το 2006 το διαστημικό τηλεσκόπιο **COROT** (διάμετρος 0.27 m) παρατηρεί παλλόμενους αστέρες αλλά και άλλους μεταβλητούς.
- Από το 2009 το διαστημικό τηλεσκόπιο **KEPLER** (διάμετρος 0.95 m) παρατηρεί αστέρες για την ανακάλυψη εξωηλιακών πλανητών.
- Στις 20 Δεκεμβρίου 2013 το τηλεσκόπιο **GAIA** της ESA εκτοξεύθηκε με σκοπό τη φωτομετρική και φασματοσκοπική παρατήρηση 1 δις αστέρων.
- Το τηλεσκόπιο **JWST** (διάμετρος 6.5 m) παρατηρεί στο εγγύς υπέρυθρο και σε εύρος 0.6-28 μm , κάνοντας ταυτόχρονα φασματοσκοπία.



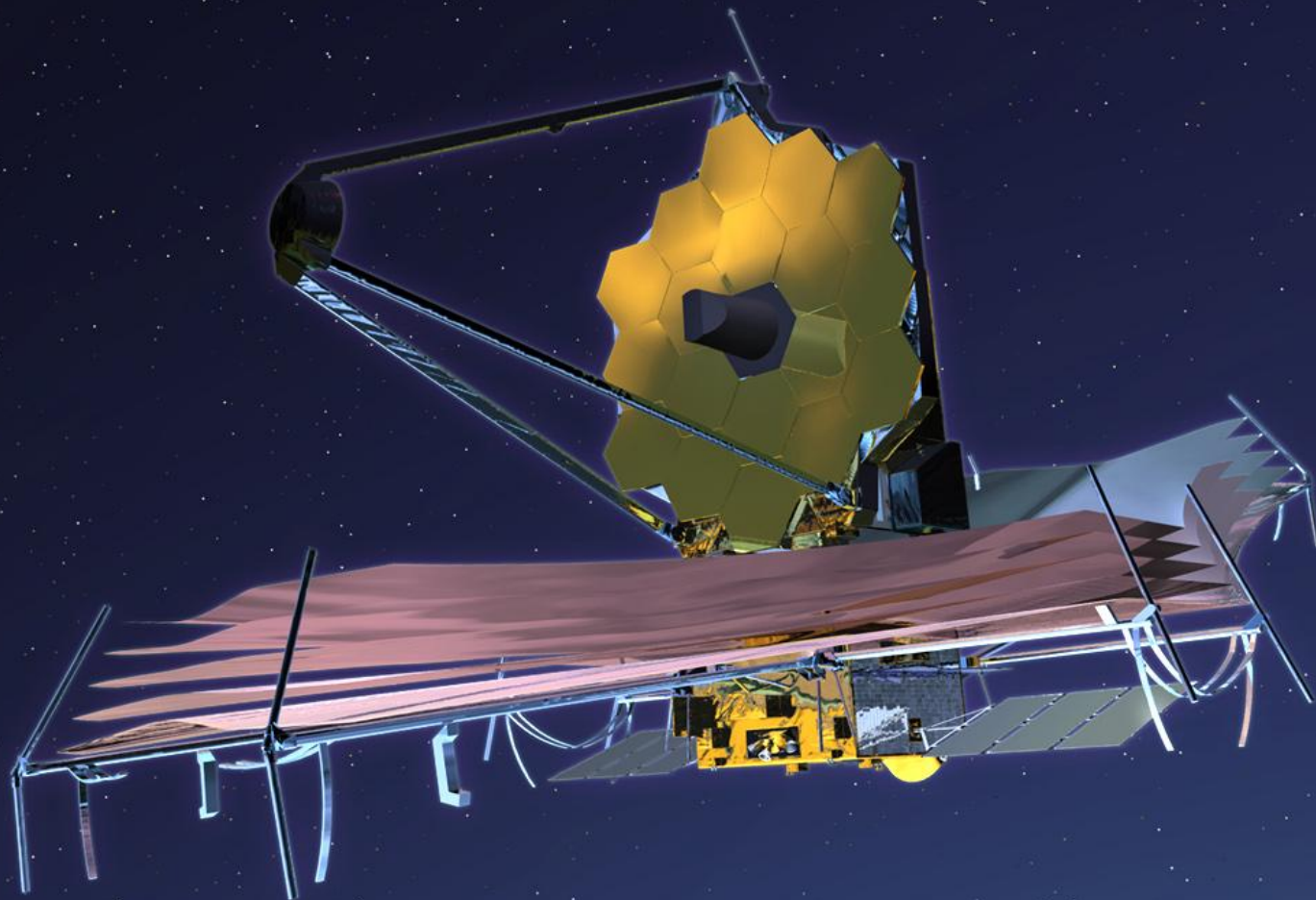
Τμήμα του σύνθετου κατόπτρου του JWST

Διαστημικά τηλεσκόπια





Μοντέλο του κατόπτρου του τηλεσκοπίου JWST



JWST

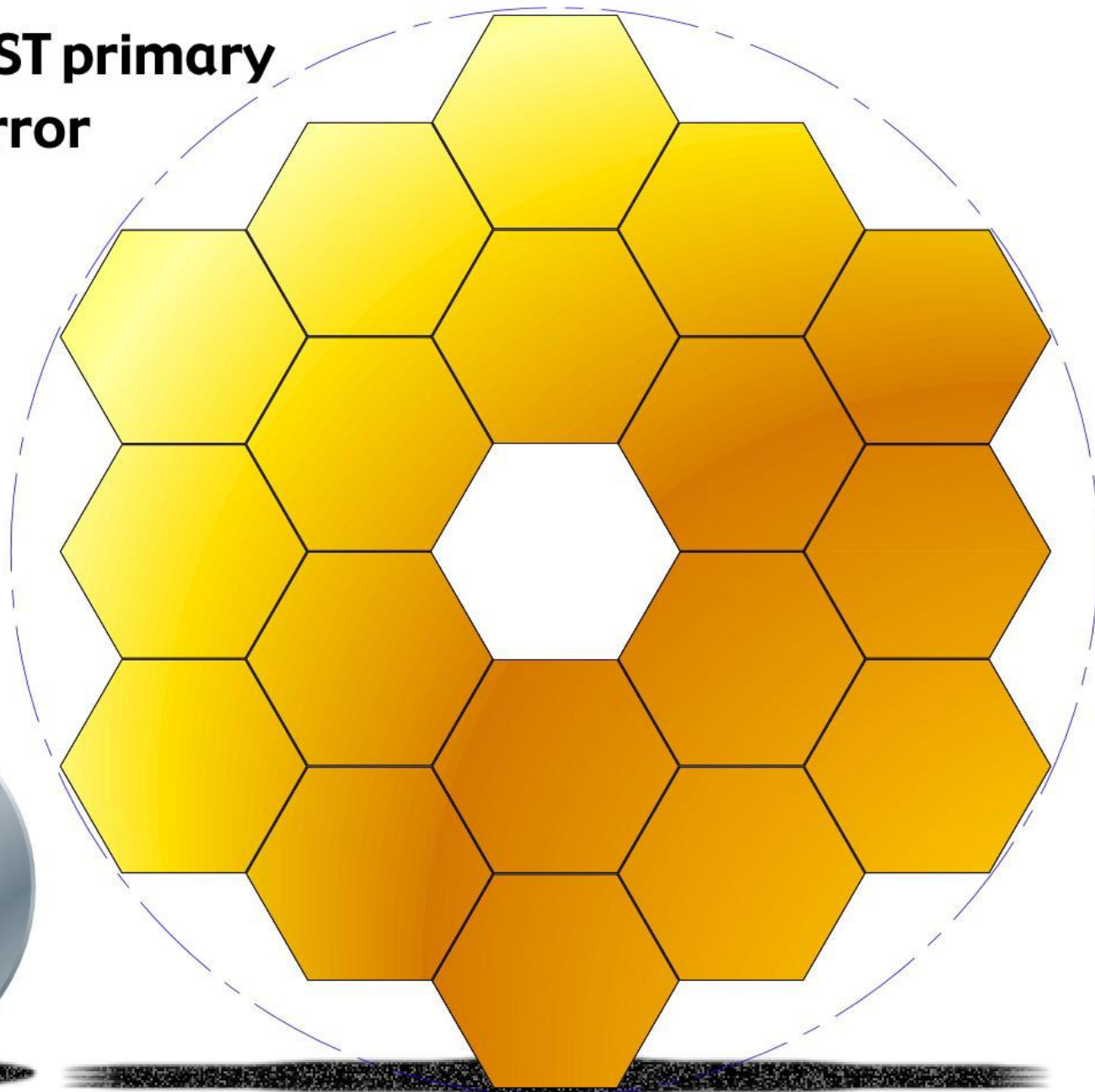


JWST

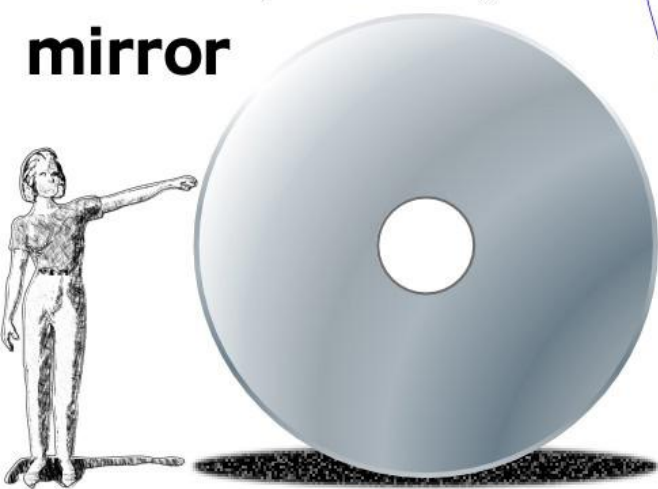


Hubble Space Telescope (HST)

**JWST primary
mirror**



**Hubble primary
mirror**



M100 Galactic Nucleus

Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2



Wide Field Planetary Camera 1



Wide Field Planetary Camera 2

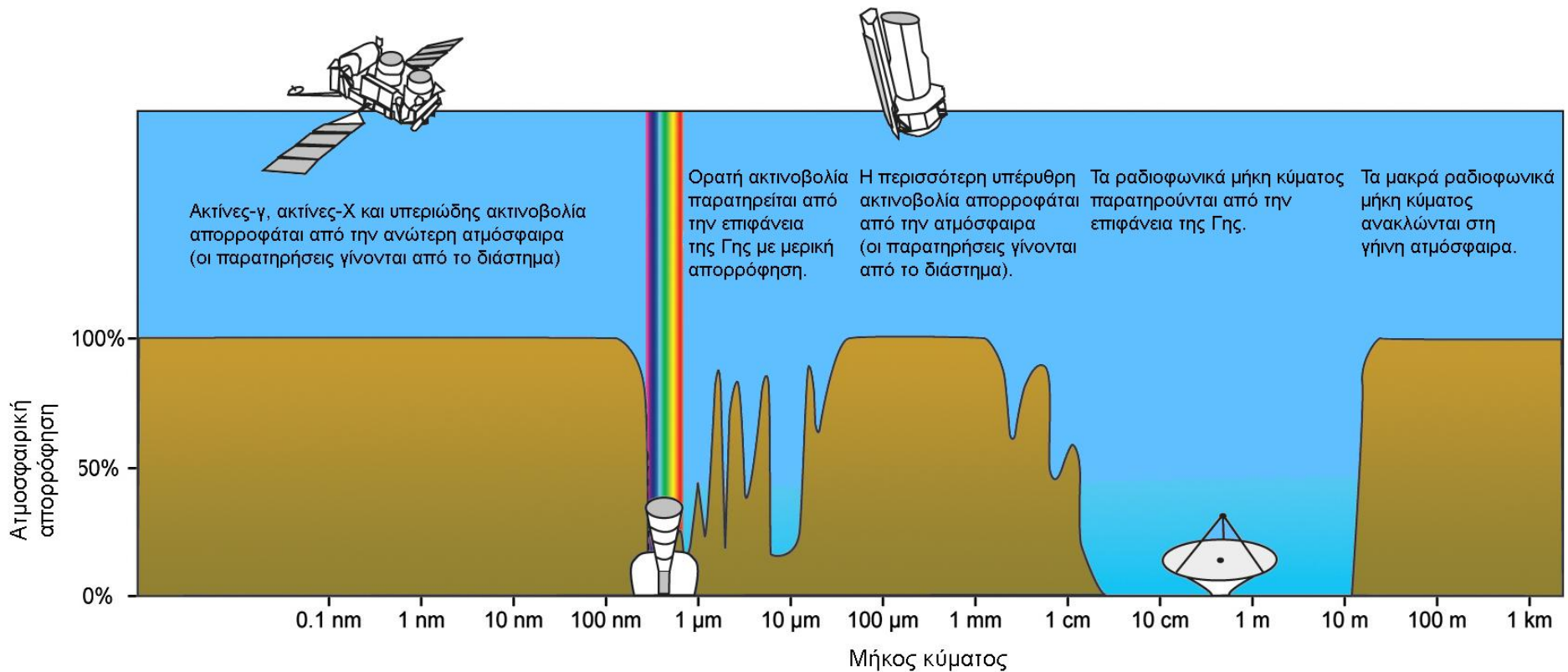
Whirlpool Galaxy • M51



Hubble
Heritage

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC05-12a

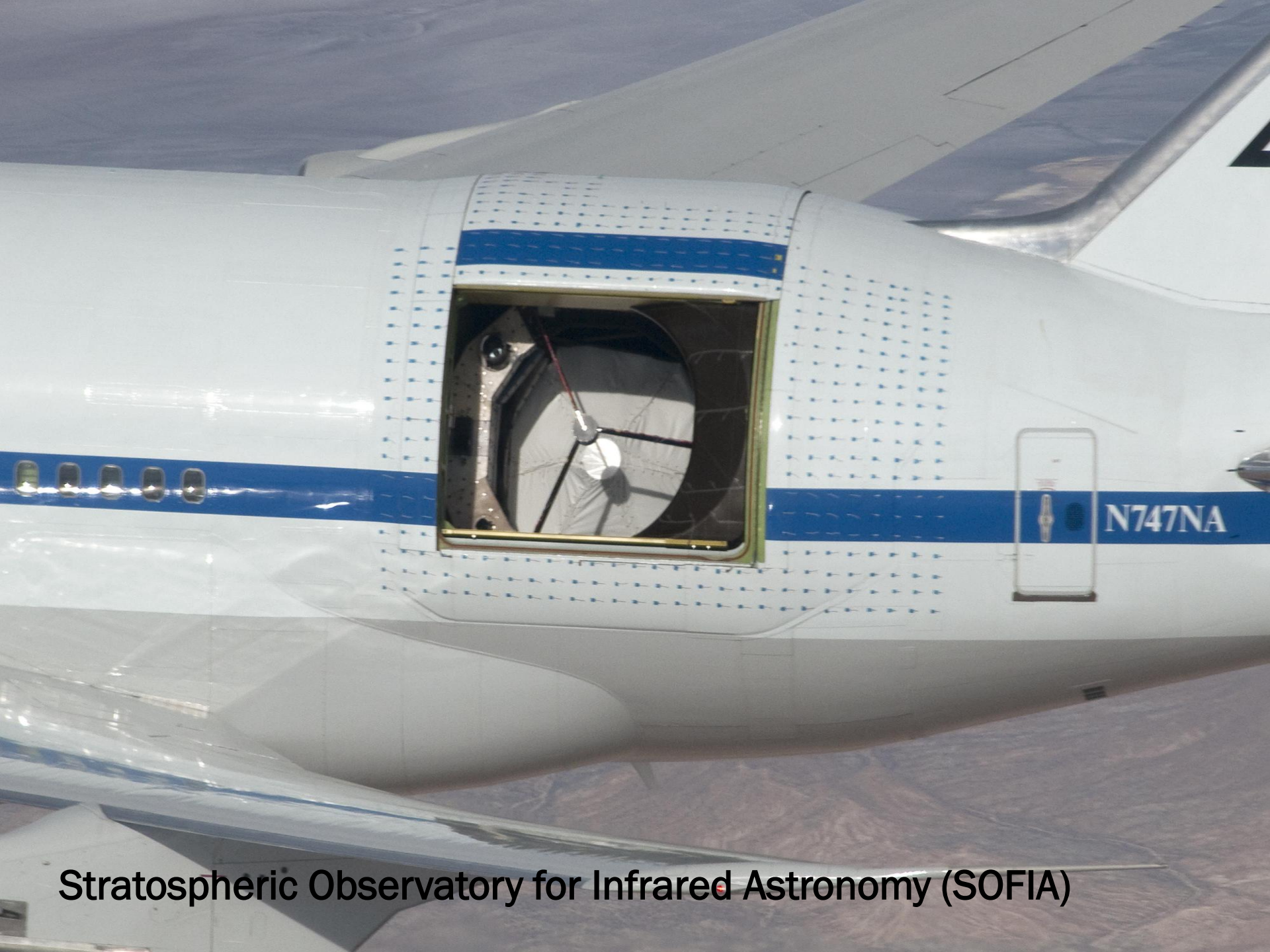
Παρατηρήσεις από τη Γη και από το διάστημα



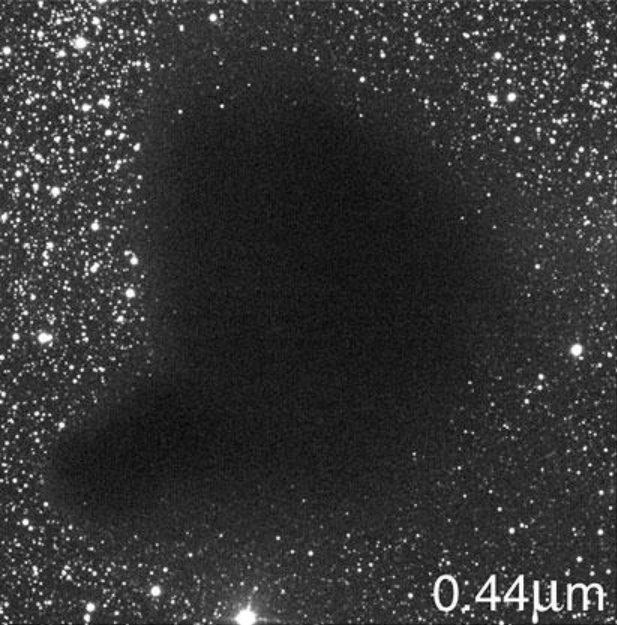
Κεφάλαιο 2

Αστρονομία υπερύθρου (IR)

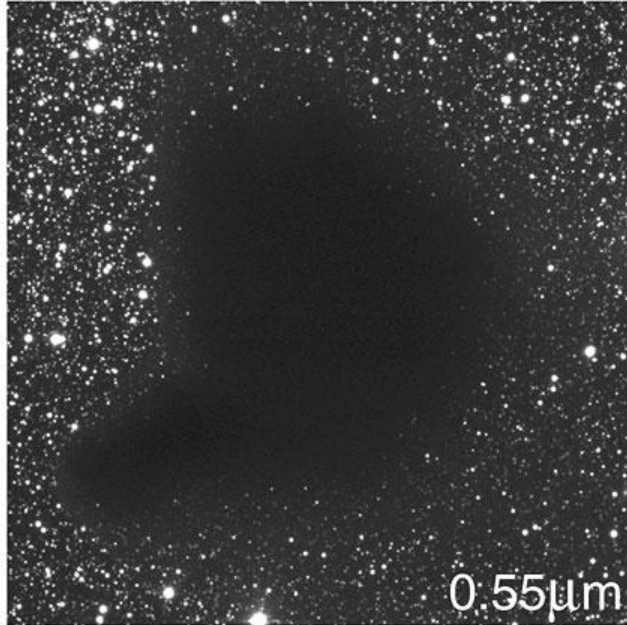
- Το μεγάλο μήκος κύματος (1-300 μm) προσφέρει μικρή διακριτική ικανότητα για τα υπάρχοντα υπέρυθρα τηλεσκόπια: $\omega = 1.22 \frac{\lambda}{D}$
(παράδειγμα: τηλεσκόπιο $D=1\text{m}$ που παρατηρεί σε $\lambda=10\mu\text{m}$ έχει διακριτική ικανότητα 2.5 arcsec)
- Τα τηλεσκόπια που παρατηρούν στο υπέρυθρο έχουν μεγάλες διαστάσεις ($\sim 10\text{ m}$), βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο ($\sim 4\text{-}5\text{ km}$) ή ακόμη και στο διάστημα (η IR ακτινοβολία απορροφάται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας).
- Λόγω της θερμικής ακτινοβολίας της Γης, όλα τα αντικείμενα γύρω μας εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία στο υπέρυθρο (στα $10\mu\text{m}$).
- Για παρατηρήσεις μεγαλύτερες από $10\text{ }\mu\text{m}$ τα τηλεσκόπια πρέπει να βρίσκονται σε πολύ μεγάλο υψόμετρο.
 - ✓ Kuiper Airborne Observatory (τηλεσκόπιο 0.9 m , 1970-1990)
 - ✓ SOFIA (τηλεσκόπιο 2.6 m , 2010 – σήμερα)



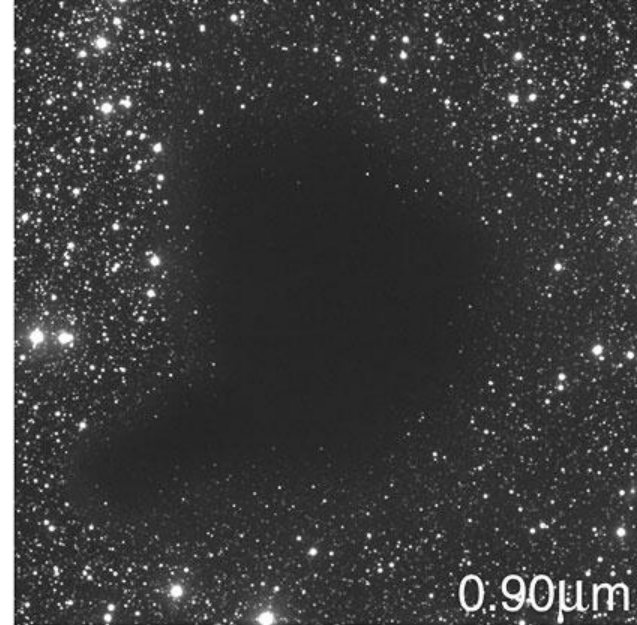
Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA)



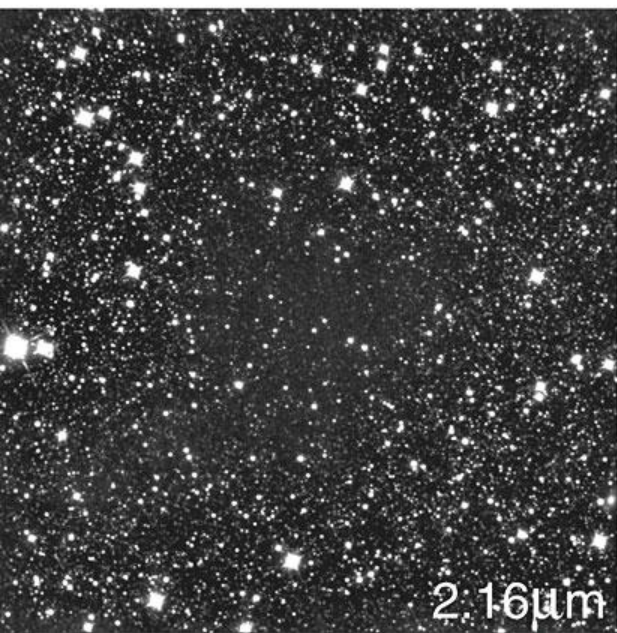
0.44 μ m



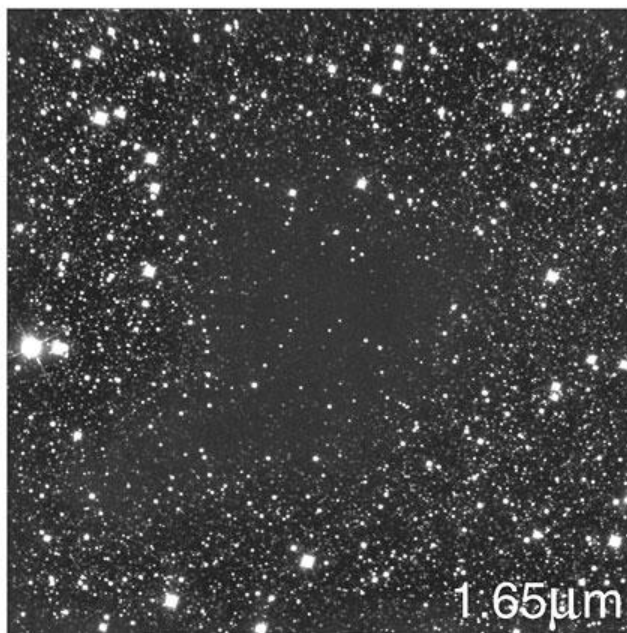
0.55 μ m



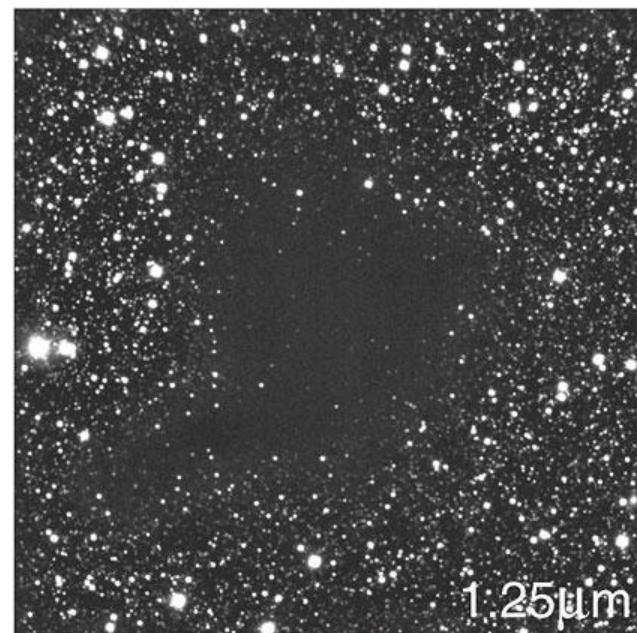
0.90 μ m



2.16 μ m



1.65 μ m



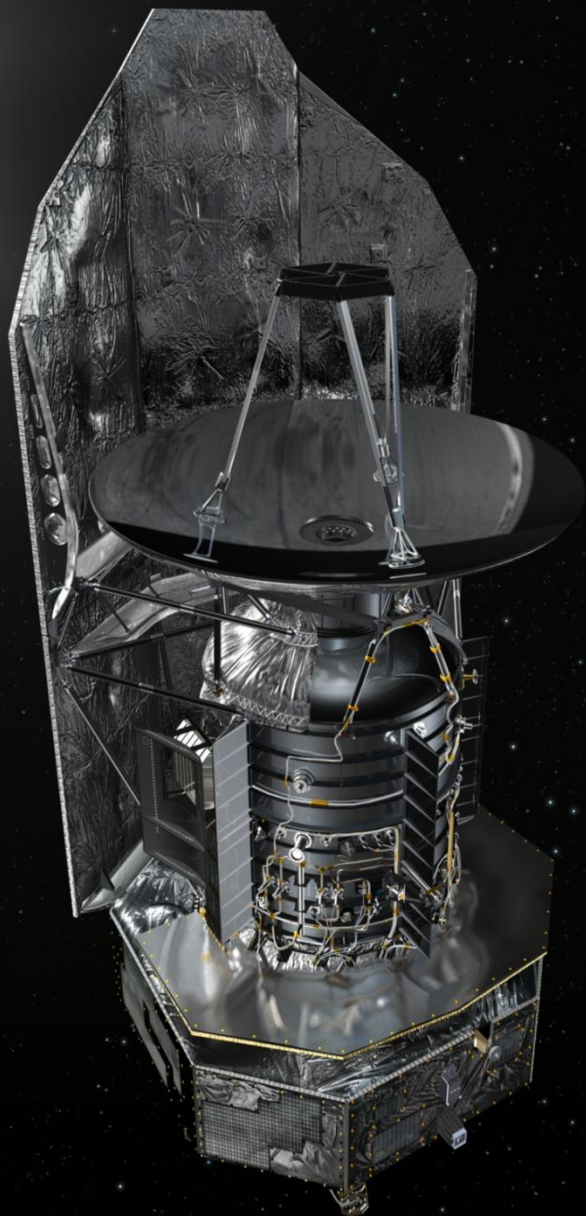
1.25 μ m

The Dark Cloud B68 at Different Wavelengths (NTT + SOFI)

Κεφάλαιο 2

Αστρονομία υπερύθρου (IR)

- Το πρώτο διαστημικό τηλεσκόπιο υπερύθρου (1983) ήταν το **IRAS** (διάμετρος 0.57 m), και παρατηρούσε στα 12, 25, 60, 100 μm .
- Το 1995 η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA) έστειλε το δορυφόρο **ISO** (διάμετρος 0.6 m), επεκτείνοντας τις παρατηρήσεις στα 2.4-240 μm και επιπλέον κάνοντας φασματοσκοπία υπερύθρου.
- Από το 2003, το διαστημικό τηλεσκόπιο **Spitzer-SIRTF** (διάμετρος 0.85 m) παρατηρεί σε εύρος 3-180 μm , κάνοντας ταυτόχρονα φασματοσκοπία.
- Από το 2009 έως το 2013, το διαστημικό τηλεσκόπιο **Herschel** (διάμετρος 3.5 m) παρατηρούσε σε εύρος 60-670 μm , κάνοντας ταυτόχρονα φασματοσκοπία.
- Το τηλεσκόπιο **JWST** (διάμετρος 6.5 m) παρατηρεί στο εγγύς υπέρυθρο και σε εύρος 0.6-28 μm , κάνοντας ταυτόχρονα φασματοσκοπία.



Το τηλεσκόπιο Herschel της ESA

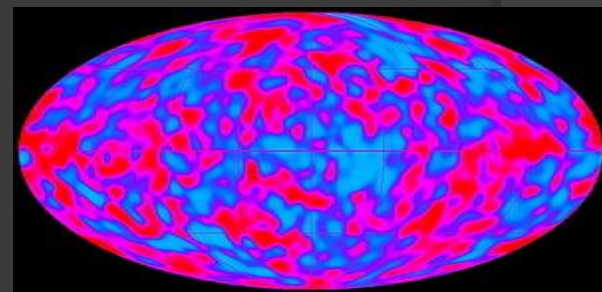


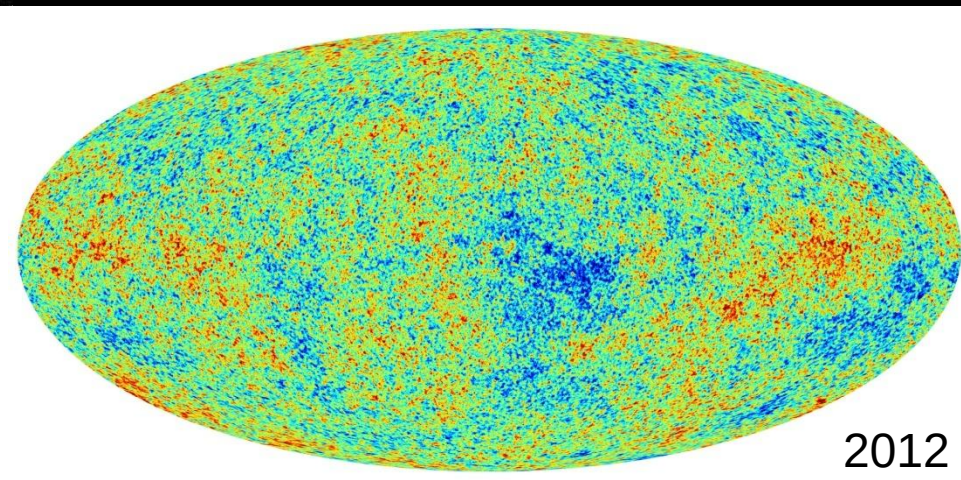
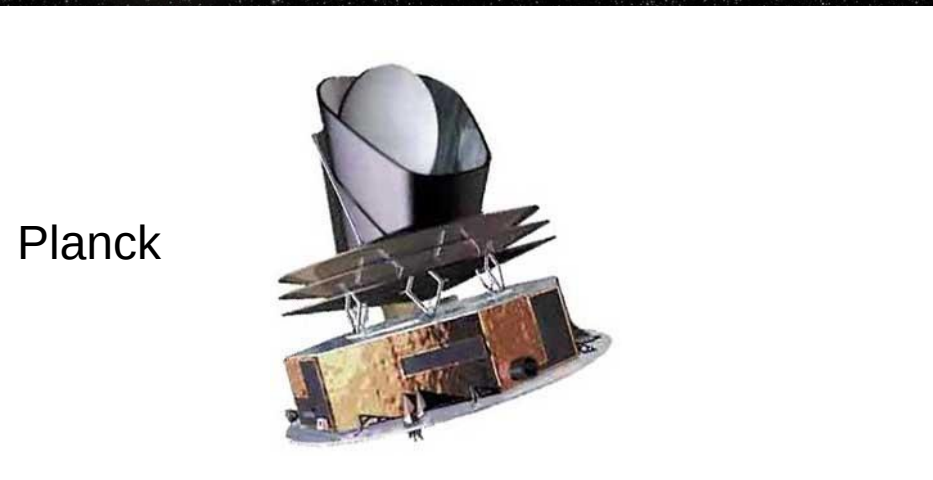
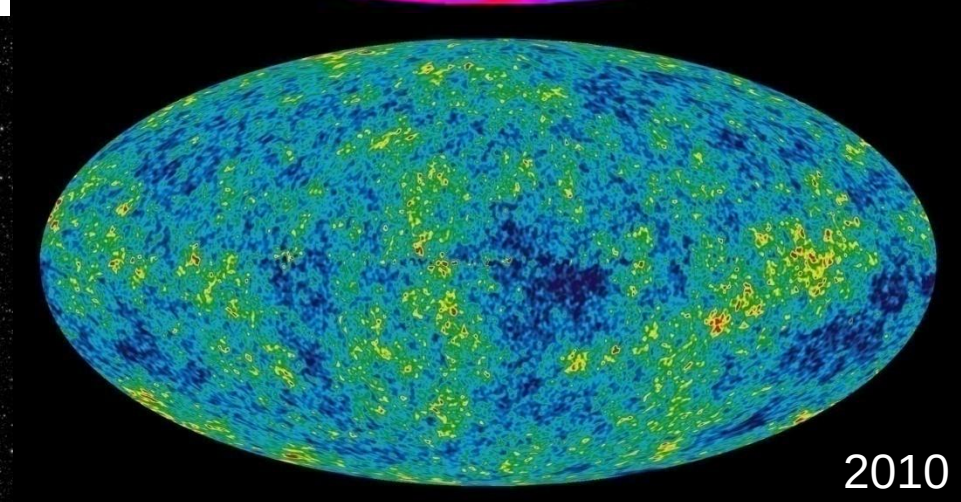
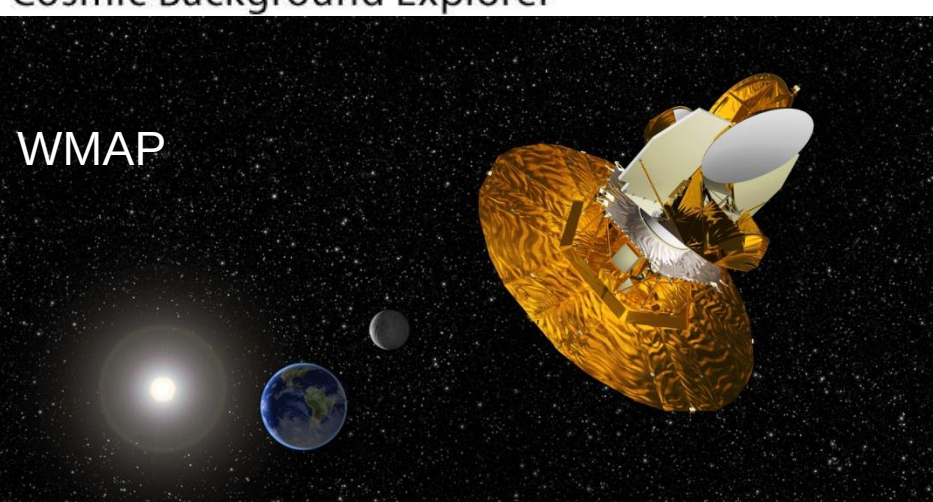
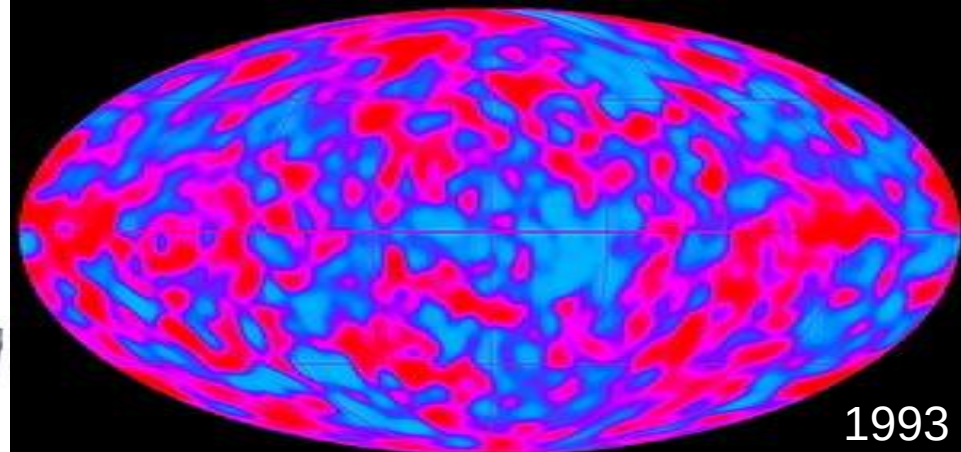
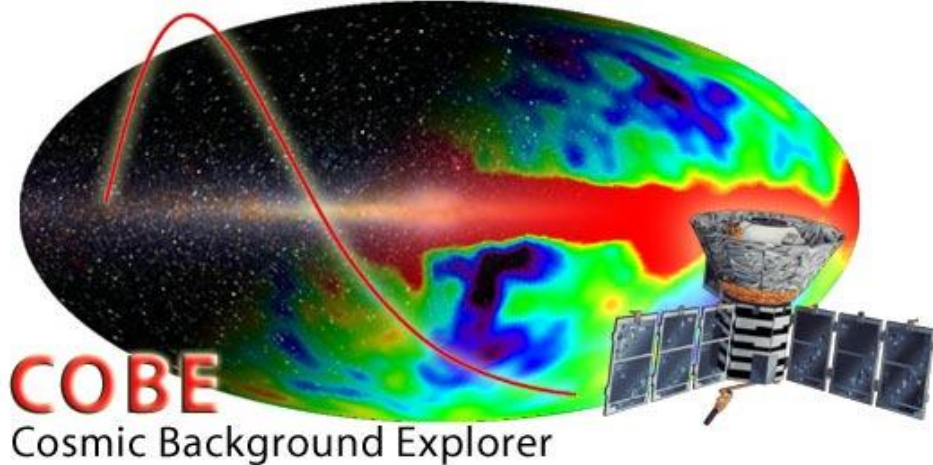
CHARIOT DE RETOURNEMENT HERSHEY
Masse Totale: 3150 Kg
Dimensions HT: 5100x2470x200

Κεφάλαιο 3

Αστρονομία μικροκυμάτων (microwave)

- Μετά την ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων το 1965, δεν έγιναν πολλά πειράματα διότι όλα περιοριζόταν από τη γήινη ατμόσφαιρα.
- Το COBE (1989-1993) ήταν η πρώτη αποστολή που έκανε χαρτογράφηση του σύμπαντος.
- Ακολούθησε η αποστολή WMAP (2001-2010)
- Σήμερα, η αποστολή Planck (2009-σήμερα) δίνει δεδομένα ύψιστης ακρίβειας, επαληθεύοντας τις προηγούμενες αποστολές και δίνοντας ακόμη περισσότερες πληροφορίες για τα πρώτα χρόνια της γέννησης του Σύμπαντος.





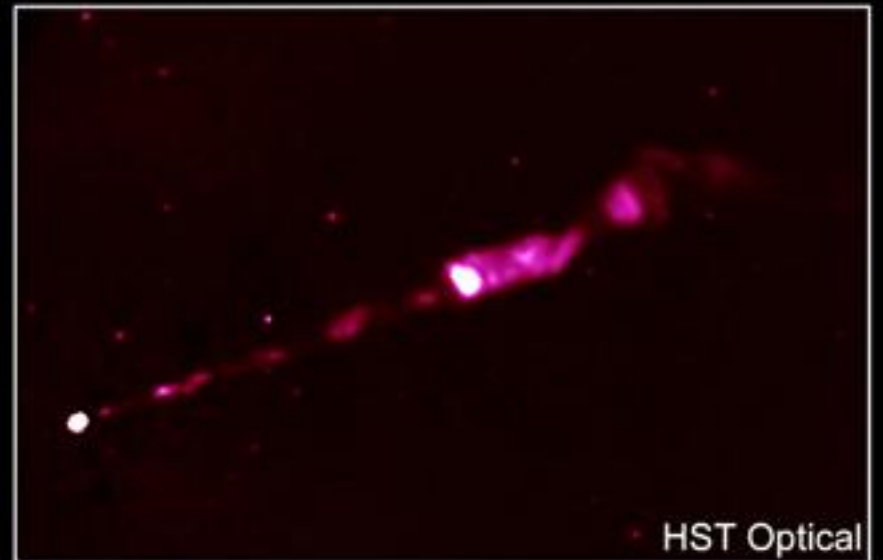
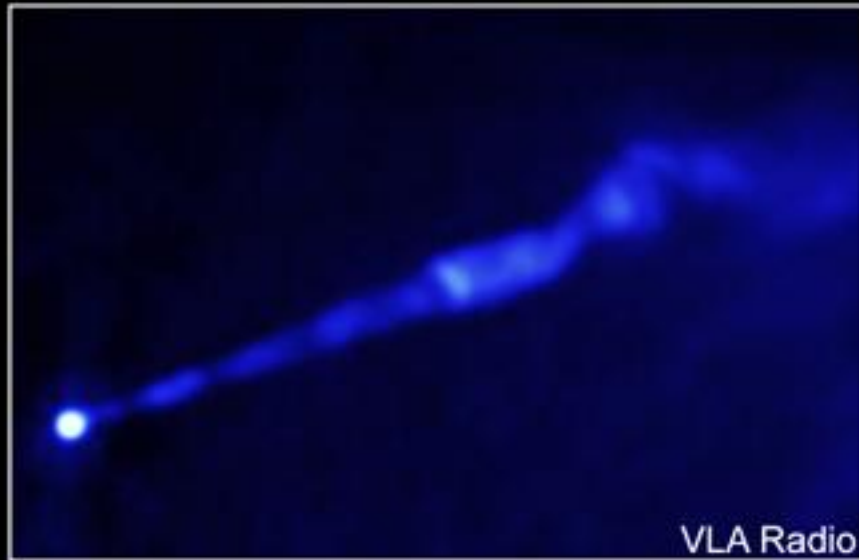
Κεφάλαιο 4

Αστρονομία ραδιοκυμάτων (radio)

- Η ραδιοαστρονομία μπορεί να μελετήσει τη κοσμική ραδιοφωνική ακτινοβολία από την επιφάνεια της Γης χωρίς κανένα πρόβλημα.
- Η τεχνική της ραδιοσυμβολομετρίας όμως επιβάλλει μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των ραδιοτηλεσκοπίων.
- Τοποθετώντας ραδιοτηλεσκόπια στο σύμπαν, τα οποία θα πετούν σε σχηματισμό, μπορούν να επεκτείνουν τις διαστάσεις των συμβολομέτρων σε αρκετές δεκάδες χιλιάδες χιλιόμετρα.
- Το Radioastron (Russia) είναι ένα ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου 10 m που τέθηκε σε τροχιά το 2011 με σκοπό να συνδυαστεί με επίγεια τηλεσκόπια για συμβολομετρικές παρατηρήσεις.



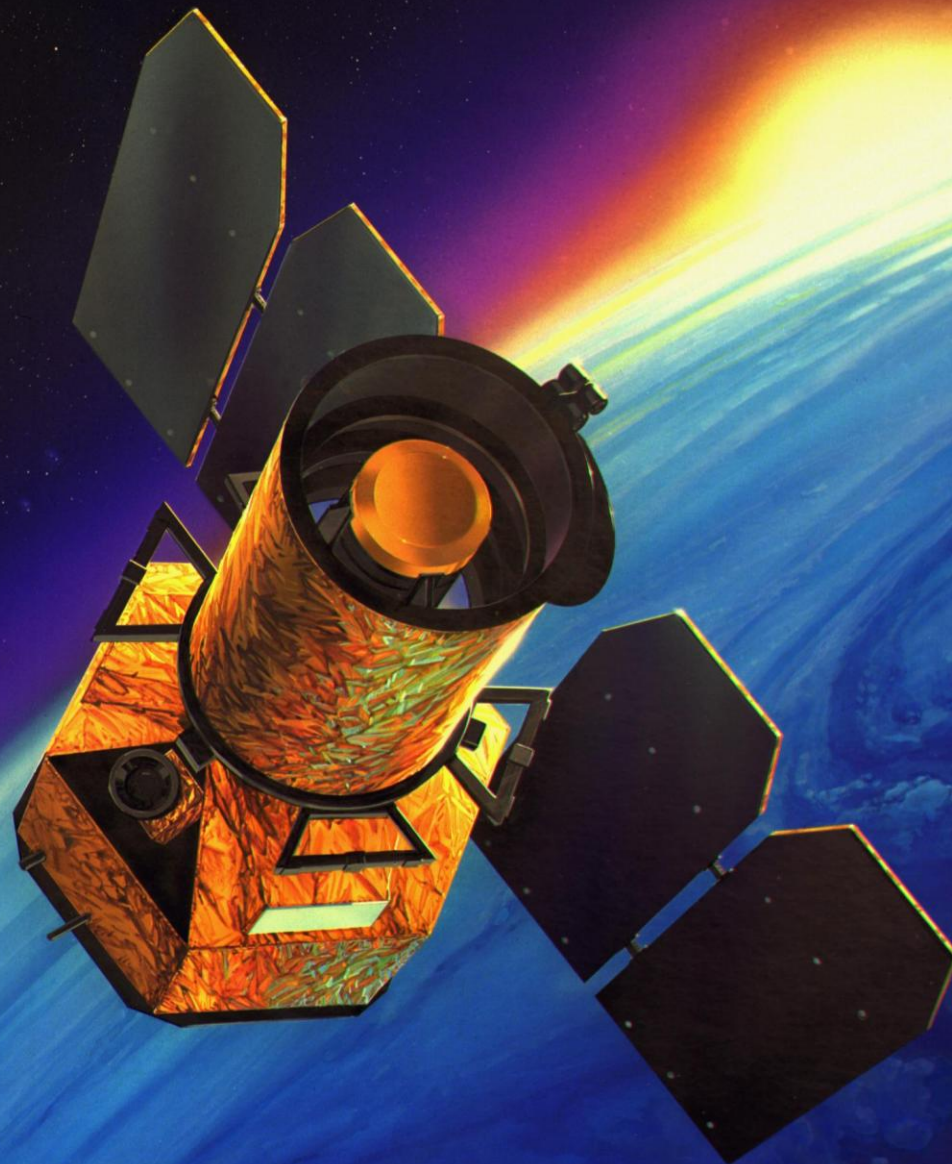
Το διαστημικό ραδιοτηλεσκόπιο Radioastron, κατά την κατασκευή του στη Ρωσία.



Κεφάλαιο 5

Αστρονομία υπεριώδους (UV)

- Το πολύ μικρό μήκος κύματος (50-100 nm) προσφέρει μεγάλη διακριτική ικανότητα: $\omega = 1.22 \frac{\lambda}{D}$
- Η λείανση του κατόπτρου για απεικονιστική χρήση πρέπει να γίνεται πολύ καλά: $\frac{\lambda}{20}$
- Η γήινη ατμόσφαιρα απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία (αφήνει μόνο την υπεριώδη UV-A, UV-B), καθιστώντας τις παρατηρήσεις αυτού του είδους αδύνατες από την επιφάνεια της Γης.
- Οι οπτικοί περιορισμοί που βάζει η υπεριώδης ακτινοβολία κατέστησε τα περισσότερα UV τηλεσκόπια φασματοσκοπικά και όχι απεικονιστικά, όπως τα: OAO-1 (1966) και OAO-2 (1968), Copernicus (1972), EUVE (1992), FUSE(1999).
- Εξαίρεση αποτελεί ο δορυφόρος IUE (1978), ορισμένα όργανα του HST (1990) και ο δορυφόρος GALEX (2003) που χρησιμοποιείται σήμερα.



Καλλιτεχνική απεικόνιση του τηλεσκοπίου GALEX

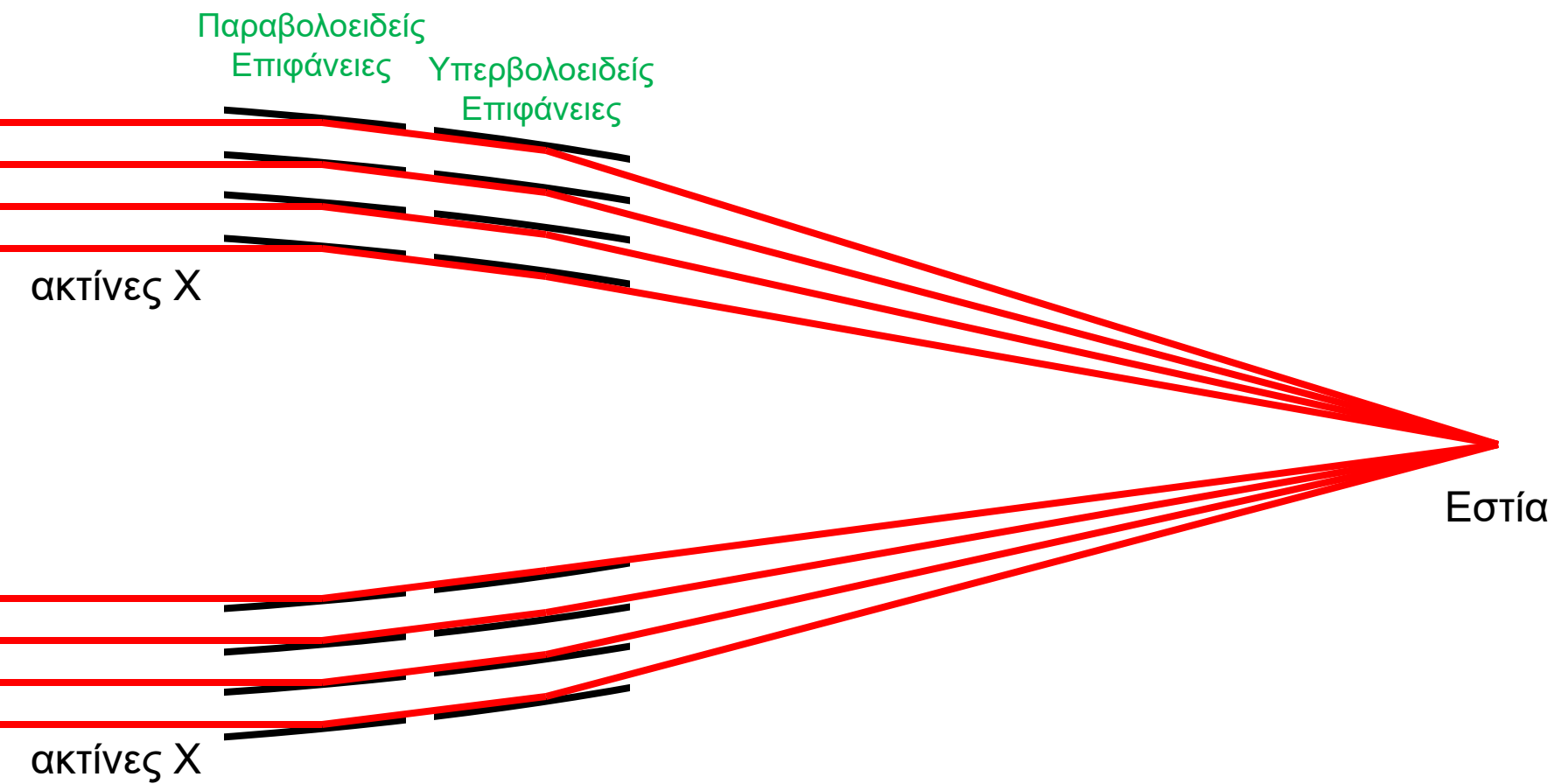


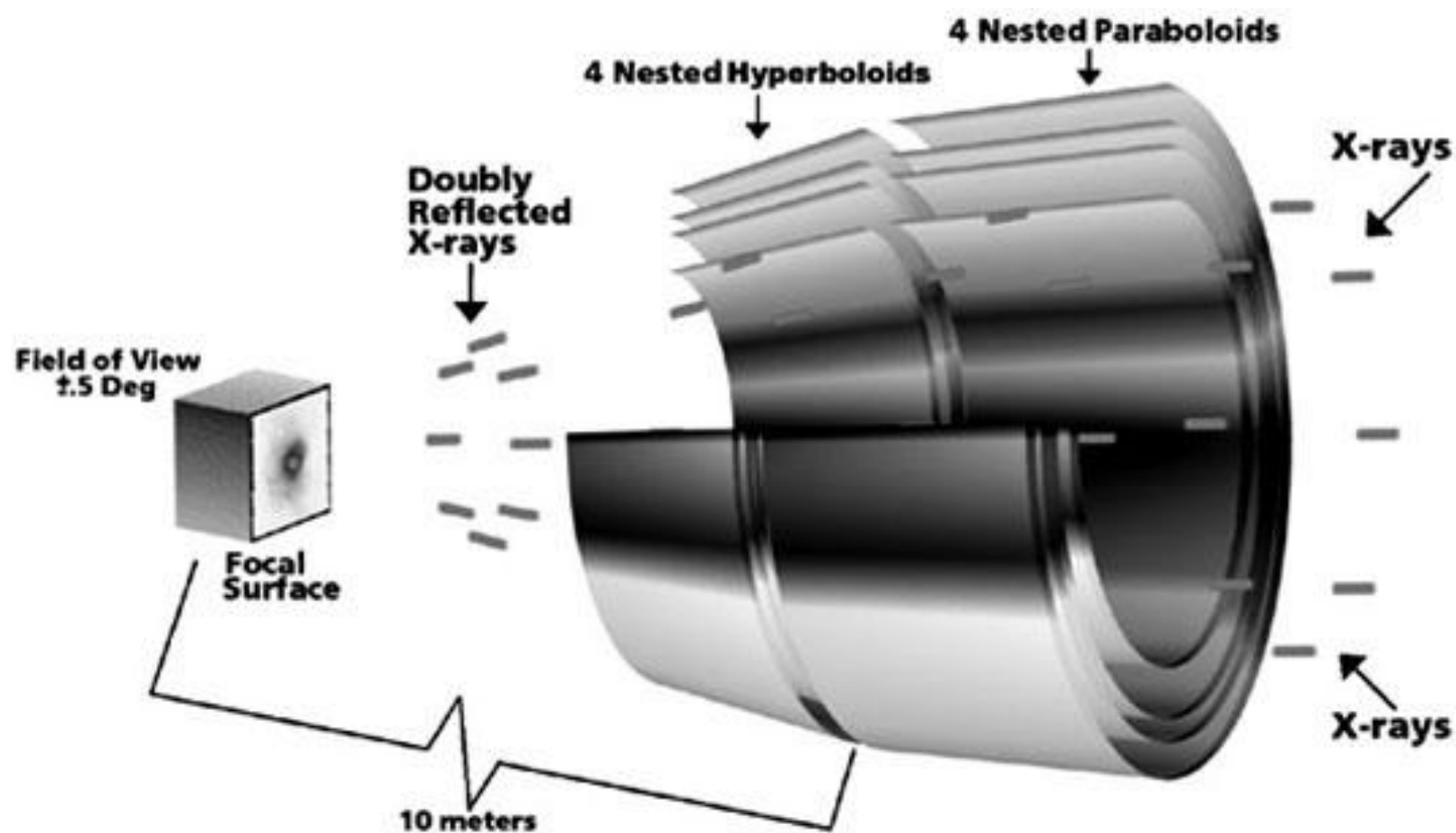
Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας M31 όπως παρατηρήθηκε από το δορυφόρο GALEX

Κεφάλαιο 6

Αστρονομία ακτίνων X (X-ray)

- Οι ακτίνες X δεν φτάνουν στη γήινη επιφάνεια, οπότε οι παρατηρήσεις πρέπει να γίνονται από το διάστημα. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που η αστρονομία των ακτίνων X ξεκίνησε πολύ πρόσφατα (1962) με την πρώτη εκτόξευση πυραύλου και την ανακάλυψη της πηγής **Scorpio X-1**.
- Η μεγάλη διαφορά των τηλεσκοπίων ακτίνων X έγκειται στο γεγονός ότι η ακτινοβολία αυτή δεν εστιάζεται με τις συμβατικές μεθόδους τηλεσκοπίων (απλή ανάκλαση σε κάτοπτρο), λόγω της πολύ μεγάλης ενέργειας των φωτονίων.
- Επιπλέον, η ακτινοβολία έχει μήκος κύματος της τάξης του 1-10 nm, που είναι συγκρίσιμη με τις διαστάσεις της ύλης σε ατομικό επίπεδο (0.1 nm).
- Η λύση προέκυψε με διαφορετικό σχεδιασμό των κατόπτρων.



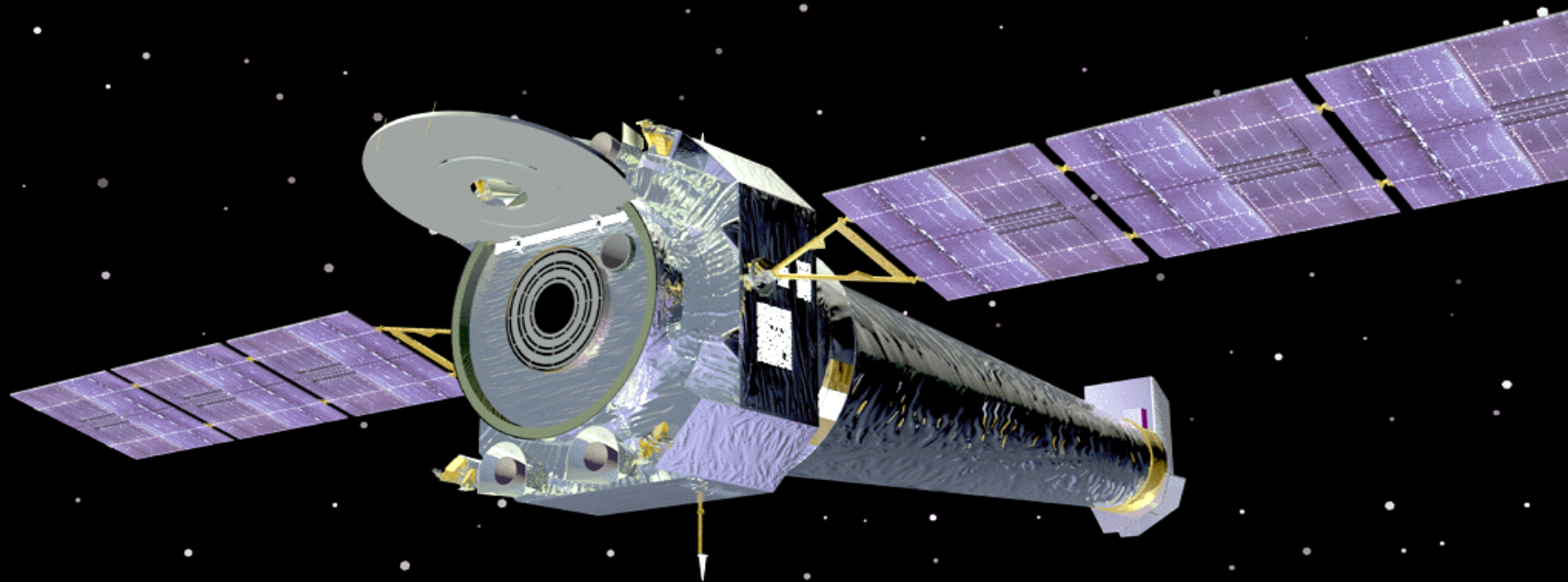


Mirror elements are 0.8 m long and from 0.6 m to 1.2 m diameter

Κεφάλαιο 6

Αστρονομία ακτίνων X (X-ray)

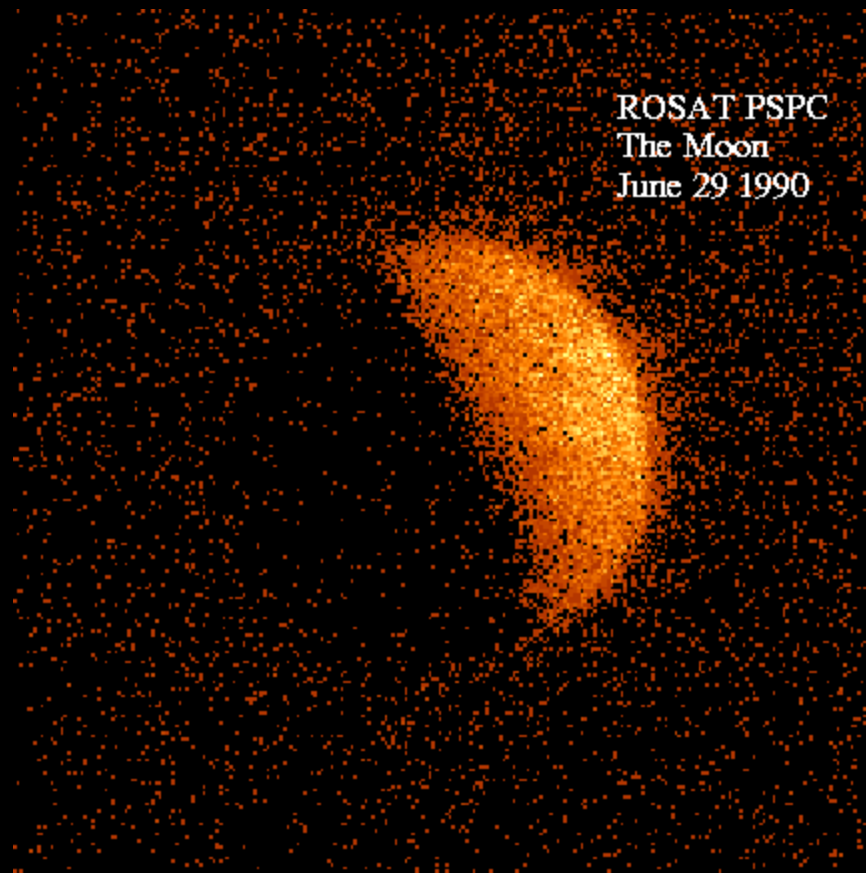
- Το πρώτο τηλεσκόπιο ακτίνων X ήταν το Uhuru (NASA, 1970)
- Einstein (τέθηκε σε τροχιά το 1978)
- ROSAT (τέθηκε σε τροχιά το 1991)
- ASCA (τέθηκε σε τροχιά το 1993)
- RXTE (τέθηκε σε τροχιά το 1995)
- Beppo-SAX (τέθηκε σε τροχιά το 1996)
- Chandra (τέθηκε σε τροχιά το 1999)
- XMM-Newton (τέθηκε σε τροχιά το 1999)
- Suzaku (τέθηκε σε τροχιά το 2005)
- Astrosat (τέθηκε σε τροχιά το 2012)



Σκίτσο του Chandra X-Ray Observatory



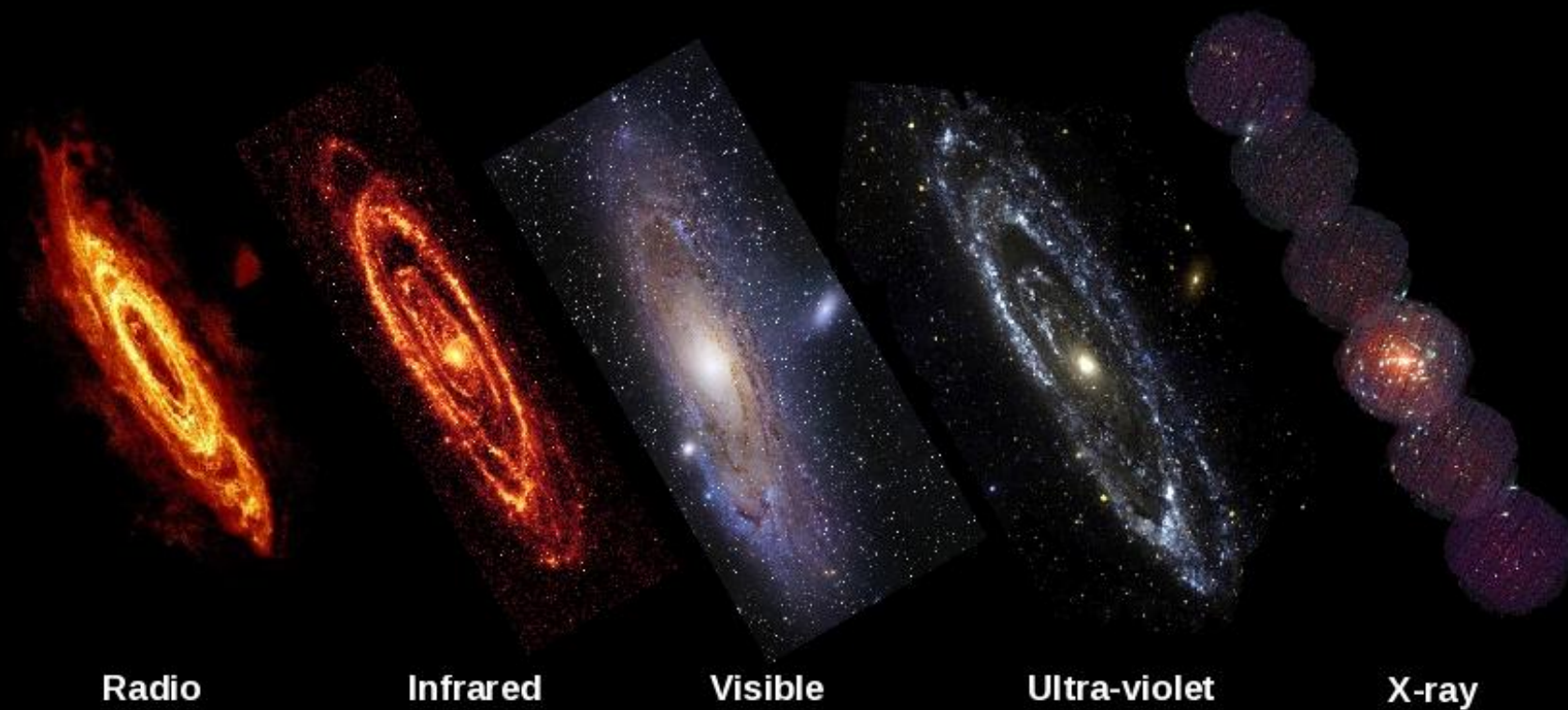
Σκίτσο του τηλεσκοπίου XMM-Newton



Εικόνα της Σελήνης στις ακτίνες Χ (δορυφόρος ROSAT).



Οι γαλαξίες Antennae σε σύνθεση εικόνων στο οπτικό και στις ακτίνες Χ.

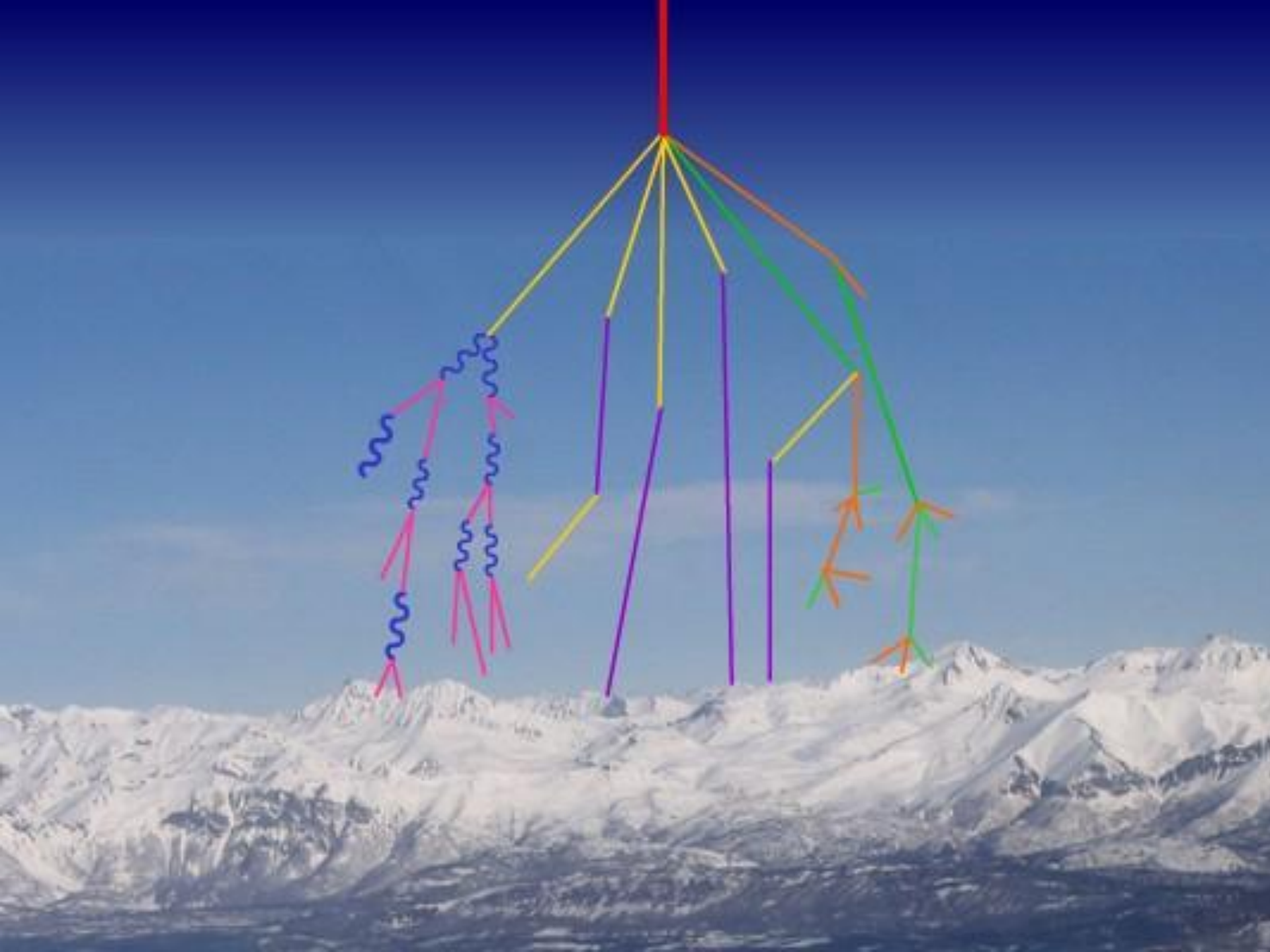


Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας (M31) σε διάφορα μήκη κύματος

Κεφάλαιο 7

Αστρονομία ακτίνων γ (gamma ray)

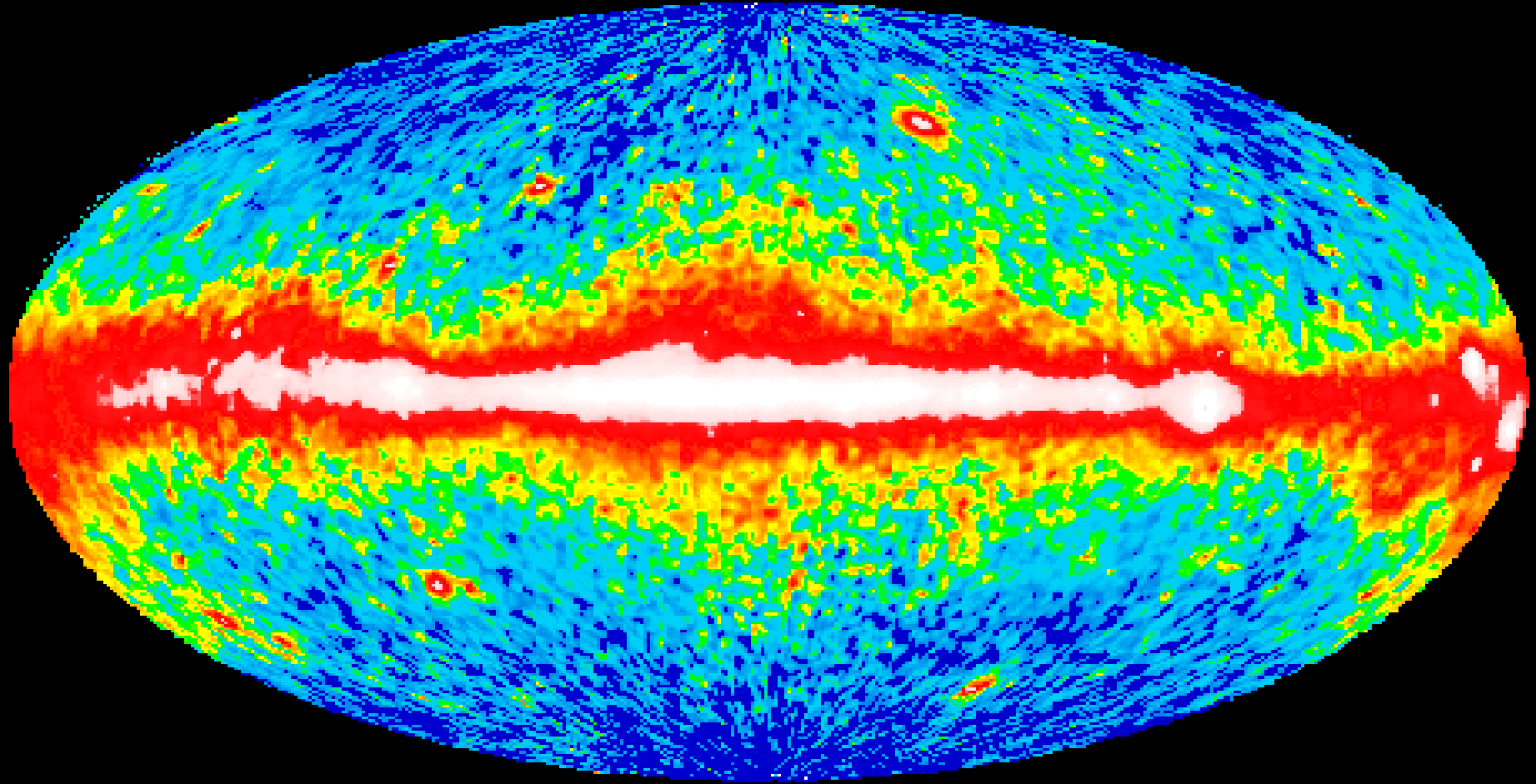
- Οι τεχνικές απεικόνισης δεν μπορούν να εφαρμοστούν στις ακτίνες γ , που έχουν μήκος κύματος 0.001-0.01 nm.
- Δεν υπάρχουν απεικονιστικές μέθοδοι σε αυτήν τη φασματική περιοχή.
- Οι ακτίνες γ ανακαλύφθηκαν τυχαία από τους στρατιωτικούς δορυφόρους Vela, που παρακολουθούσαν τη Γη για παράνομες πυρηνικές δοκιμές.
- Το πρώτο τηλεσκόπιο ακτίνων γ ήταν το Cos-B (1975) της ESA.
- Σημαντική ήταν επίσης η προσφορά του Compton GRO (1991-2000).
- Σήμερα, σε λειτουργία βρίσκονται τα: INTEGRAL (2002), Swift (2004), AGILE (2007) και Fermi (2008).
- Διακριτική ικανότητα μερικές δεκάδες arcminutes (~ 1000 arcsec).
- Εναλλακτικά οι ακτίνες γ ανιχνεύονται έμμεσα από επίγεια οπτικά τηλεσκόπια από την ακτινοβολία Cherenkov.



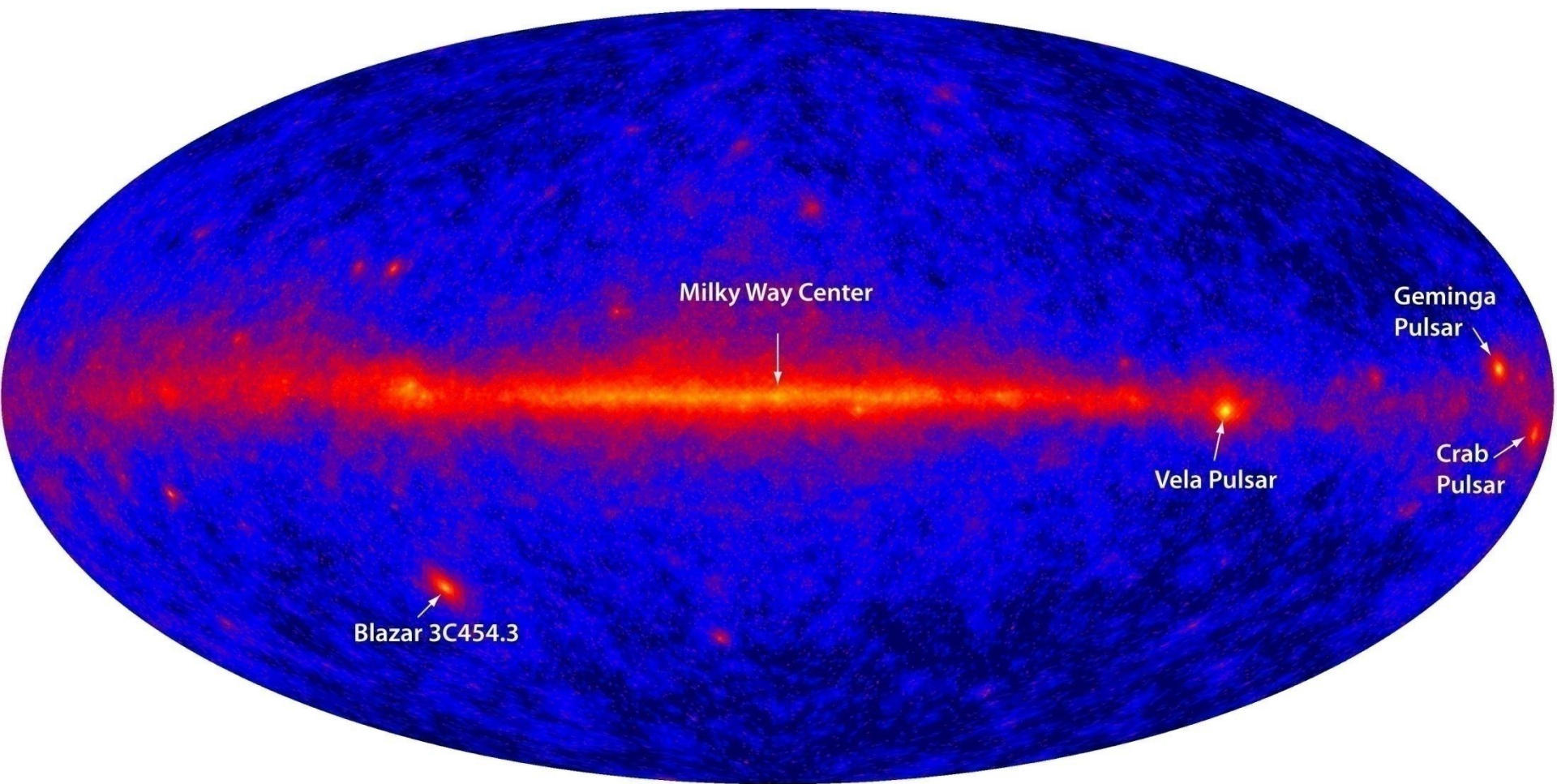


Το τηλεσκόπιο Compton GRO λίγο πριν τεθεί σε τροχιά γύρω από τη Γη το 1991.

Ο Γαλαξίας στις ακτίνες γ (GRO)



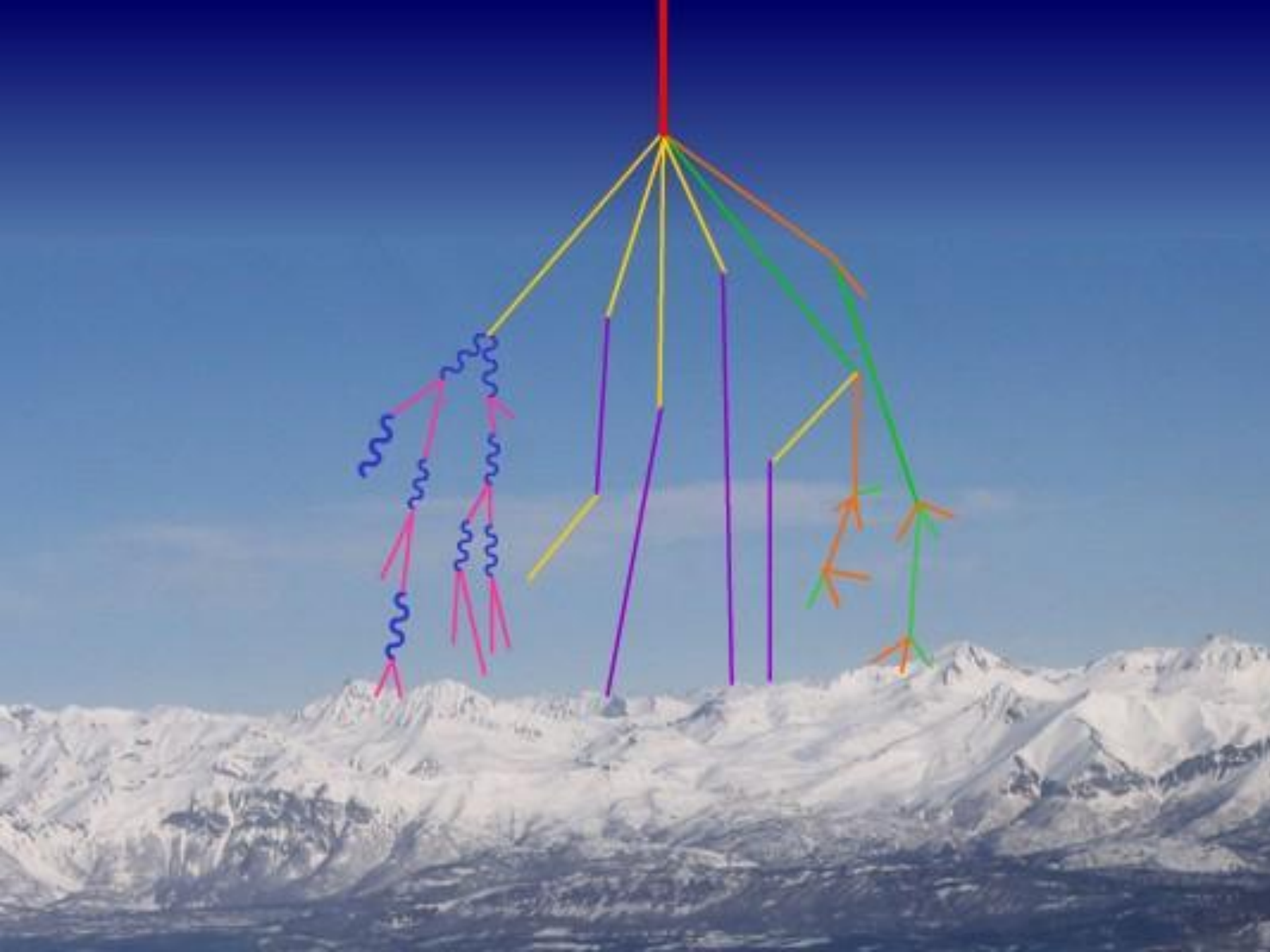
Ο Γαλαξίας στις ακτίνες γ (Fermi)

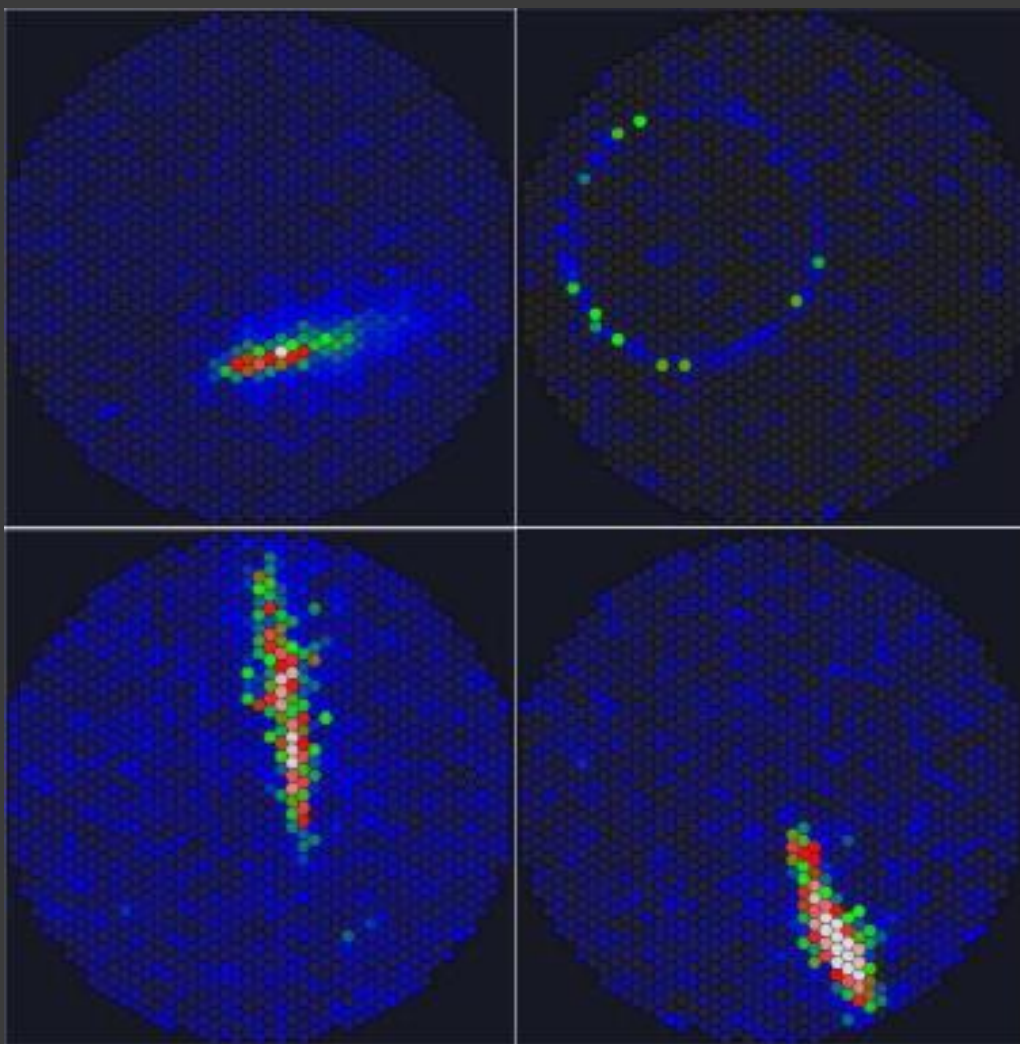


Κεφάλαιο 8

Αστρονομία κοσμικών ακτίνων (cosmic ray)

- Για τη μελέτη των κοσμικών ακτίνων, χρησιμοποιείται κυρίως η τεχνική της παρατήρησης των αποτελεσμάτων τους από επίγεια οπτικά τηλεσκόπια (ακτινοβολία Cherenkov).
- Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται κυρίως από φωτόνια υψηλών ενεργειών ή ακόμη και υποατομικά σωματίδια.
- Προκαλούνται από εκρήξεις υπερκαινοφανών αστέρων.
- Τα φορτισμένα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας επηρεάζονται από το μαγνητικό πεδίο του Γαλαξία.
- Η ενέργειά τους έχει εύρος 10^9 eV έως 10^{20} eV





Οι πρώτες εικόνες βομβαρδισμού της γήινης ατμόσφαιρας από κοσμικές ακτίνες (FACT Cherenkov Telescope)

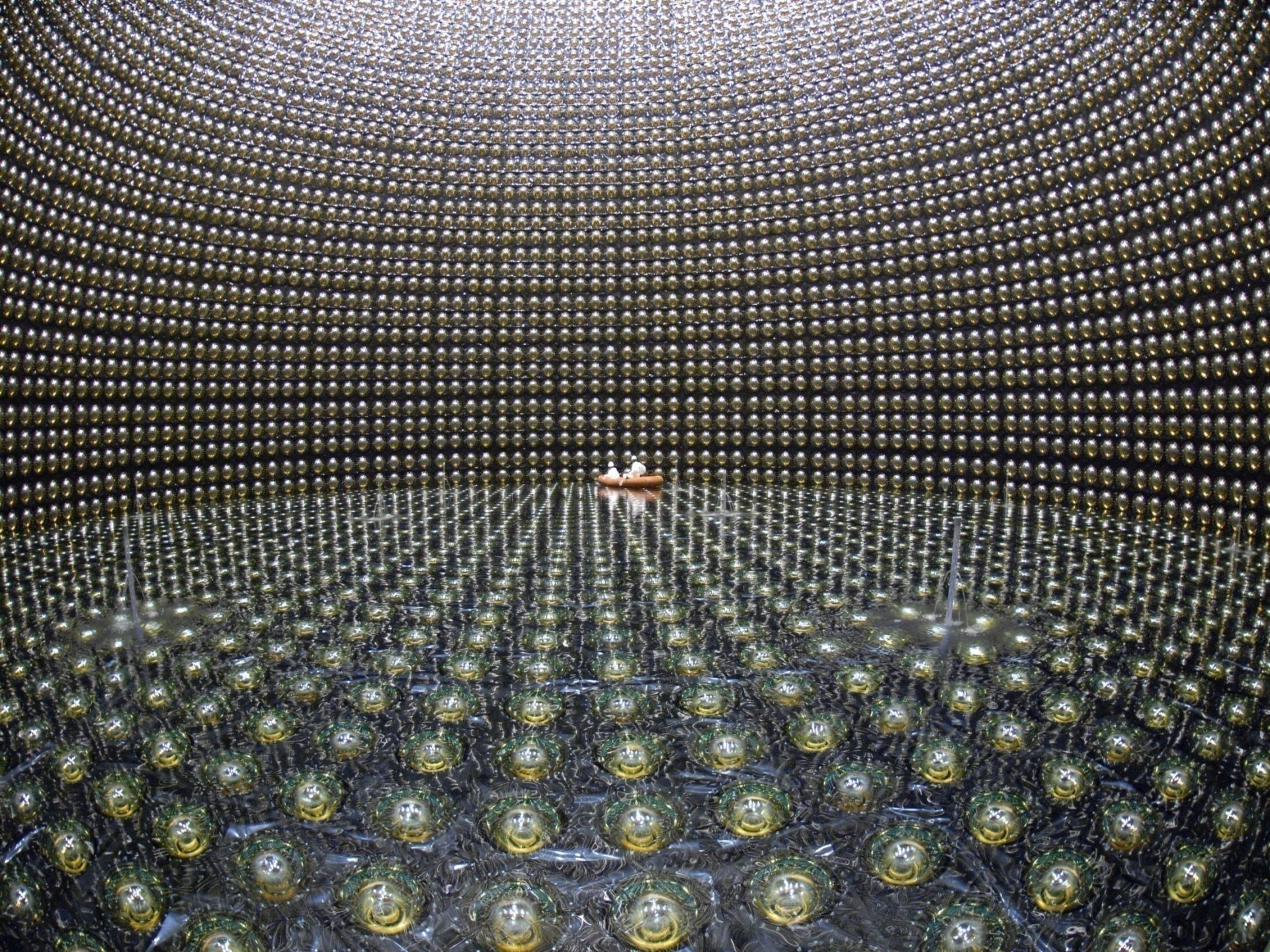


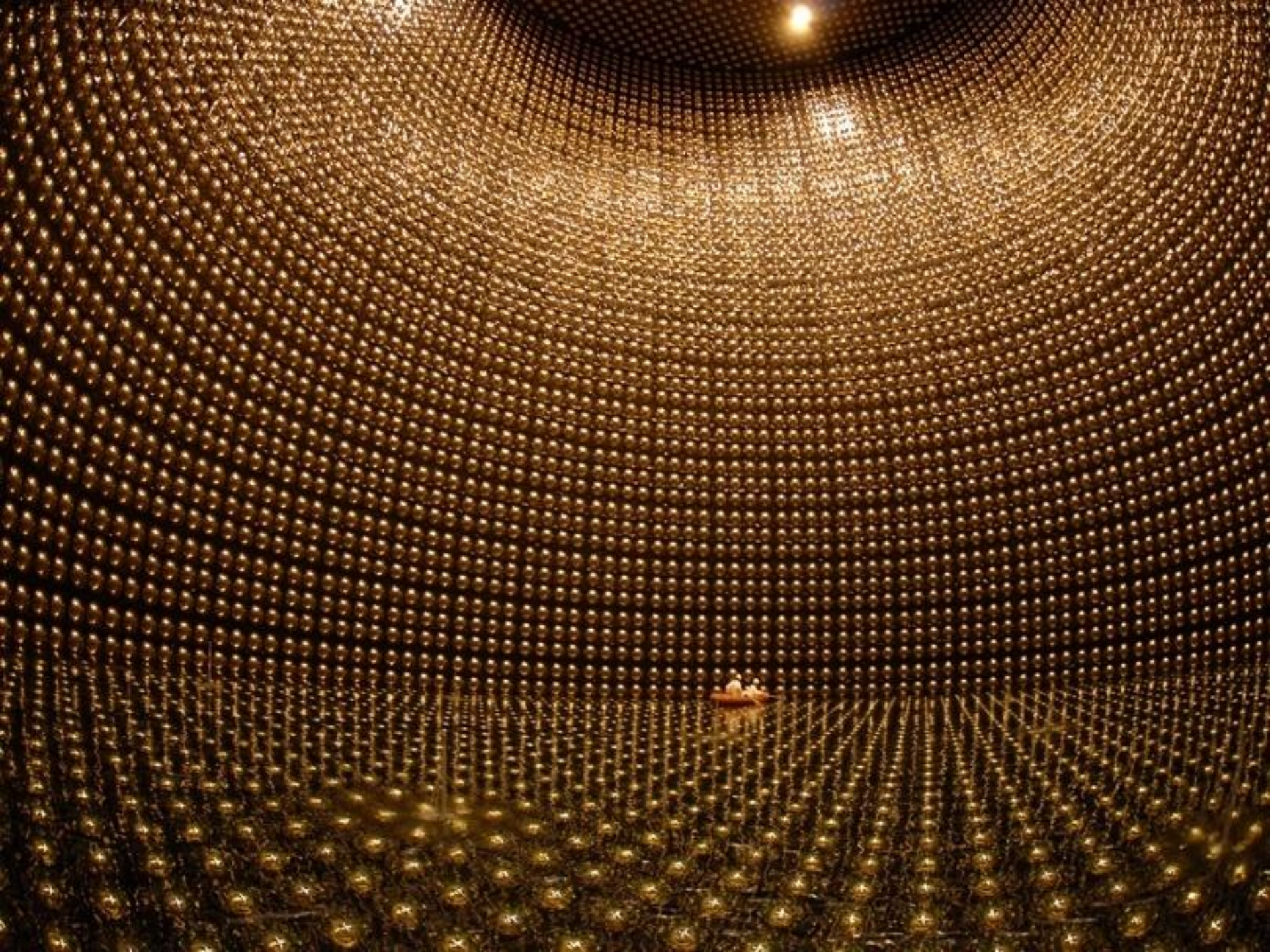
Η συστοιχία τηλεσκοπίων ακτινοβολίας Cherenkov του προγράμματος VERITAS.

Κεφάλαιο 9

Αστρονομία νετρίνων (neutrino)

- Η μελέτη των νετρίνων ξεκίνησε το 1956 από τους Clyde Cowan, Frederick Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse, and A. D. McGuire (βραβείο Nobel Φυσικής 1995).
- Η πιθανότητα να αλληλεπιδράσει ένα νετρίνο με την ύλη είναι $1:10^{36}$
- Η ενέργειά τους έχει εύρος 10^9 eV έως 10^{20} eV
- Τα νετρίνα που προέρχονται από τον Ήλιο αποτελούν μόνο το $1/3$ των θεωρητικά προβλεπόμενων. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε το 1962, ανακαλύπτοντας ότι τα $2/3$ των νετρίνων μετατρέπονται σε άλλα υποατομικά σωματίδια και δεν ανιχνεύονται.
- Το 1987 μια έκρηξη υπερκαινοφανούς (SN 1987A) απελευθέρωσε πολλά νετρίνα, τα οποία καταγράφηκαν και από τους ανιχνευτές στη Γη.

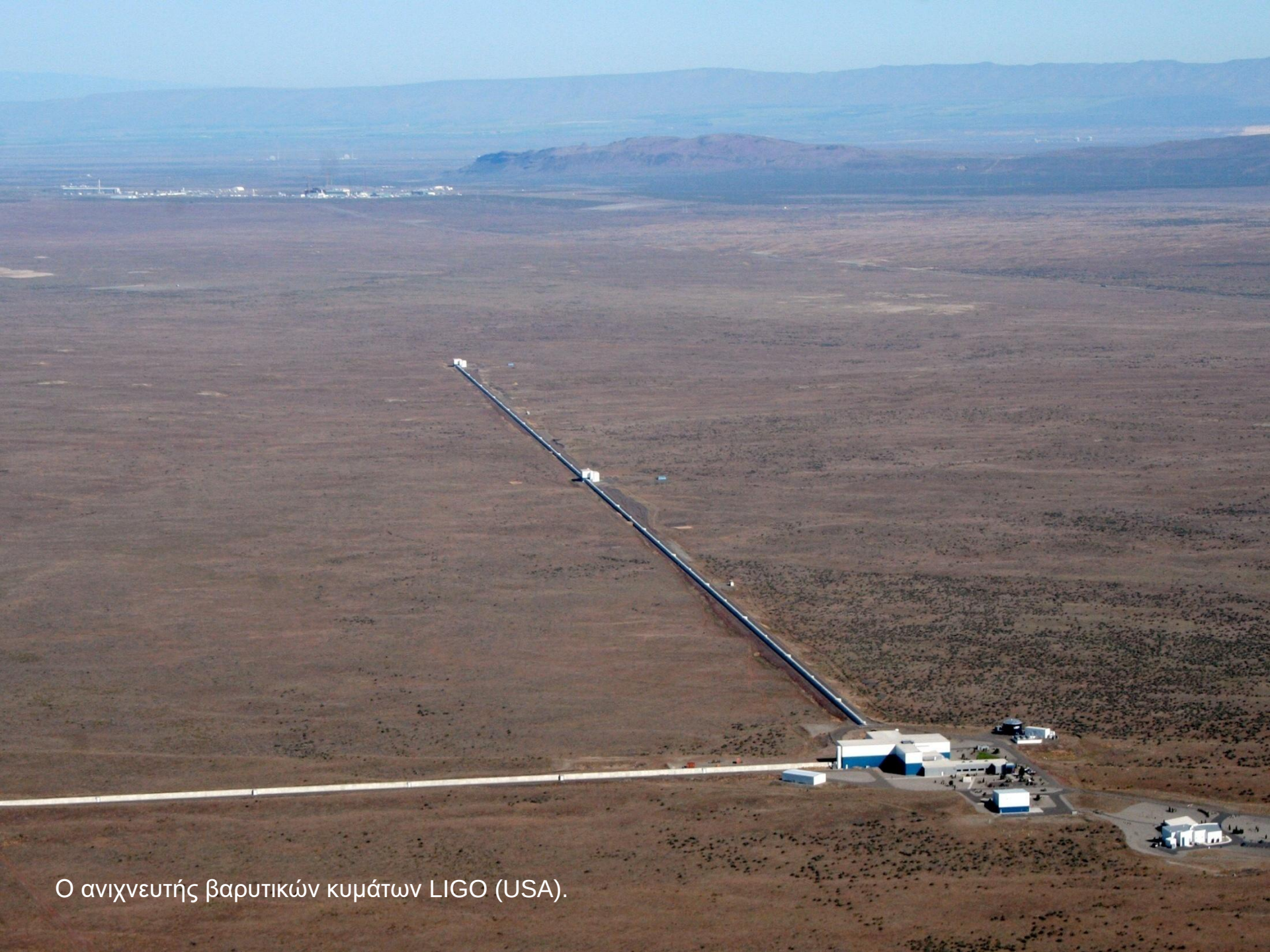




Κεφάλαιο 10

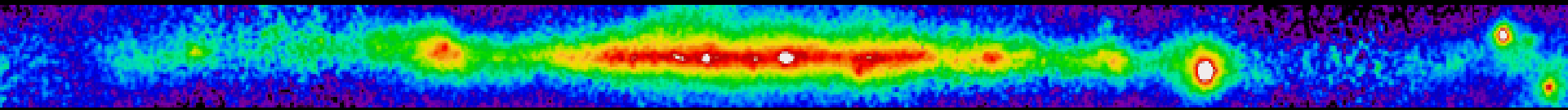
Αστρονομία βαρυτικών κυμάτων

- Τα βαρυτικά κύματα ανακαλύφθηκαν μόλις το 2016 (11 Φεβ. 2016).
- Έμμεσα έχουν παρατηρηθεί στο παρελθόν μόνο σε μία περίπτωση, σε ένα διπλό αστρικό σύστημα που αποτελείται από δύο αστέρες νετρονίων (PS 1913+16).
- Το πρόγραμμα LIGO (Laser Interferometer Gravity Observatory) υπόσχεται να ανιχνεύσει περισσότερα βαρυτικά κύματα στα επόμενα χρόνια. Αυτό γίνεται με δύο ανιχνευτές που λειτουργούν ταυτόχρονα σε μεταξύ τους απόσταση 3000 km (USA).
- Η ισχύς τέτοιων κυμάτων είναι πολύ μικρή και συχνά το σήμα είναι πολύ χαμηλότερο από το θόρυβο που κυριαρχεί.

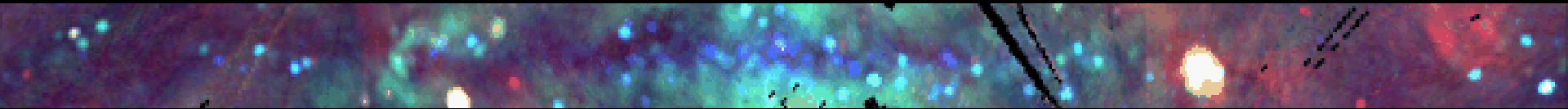


Ο ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων LIGO (USA).

Ο Γαλαξίας σε διάφορα μήκη κύματος



gamma-rays



x-rays



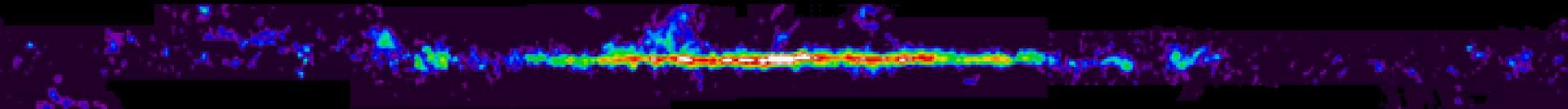
visible light



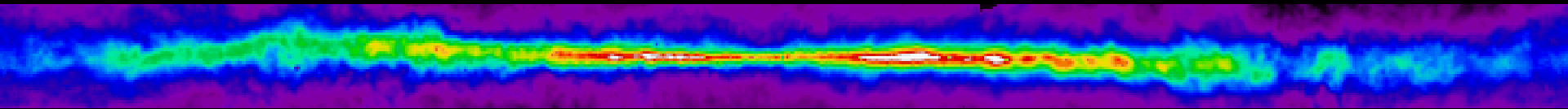
near-infrared



far-infrared



microwave



radio