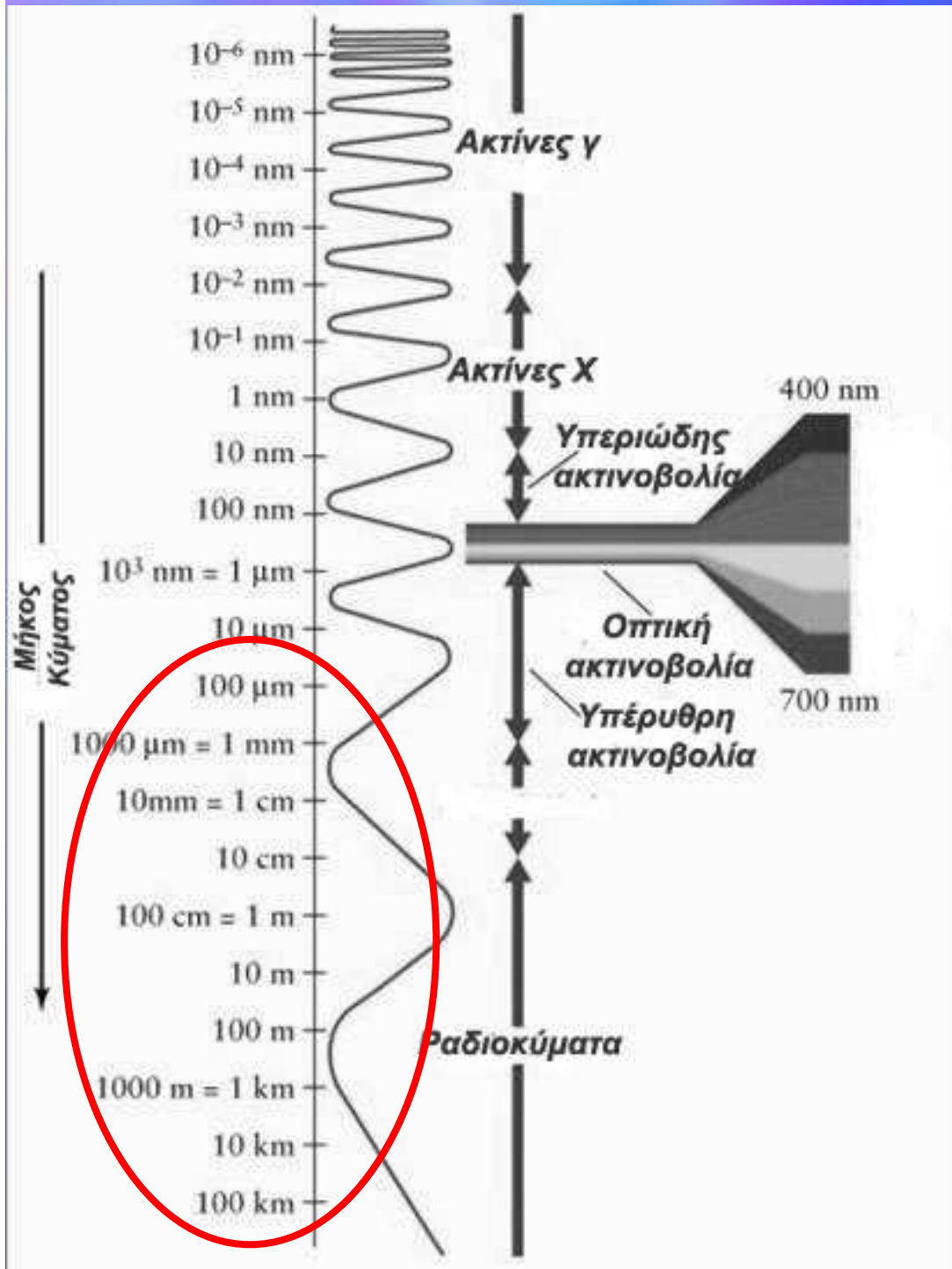


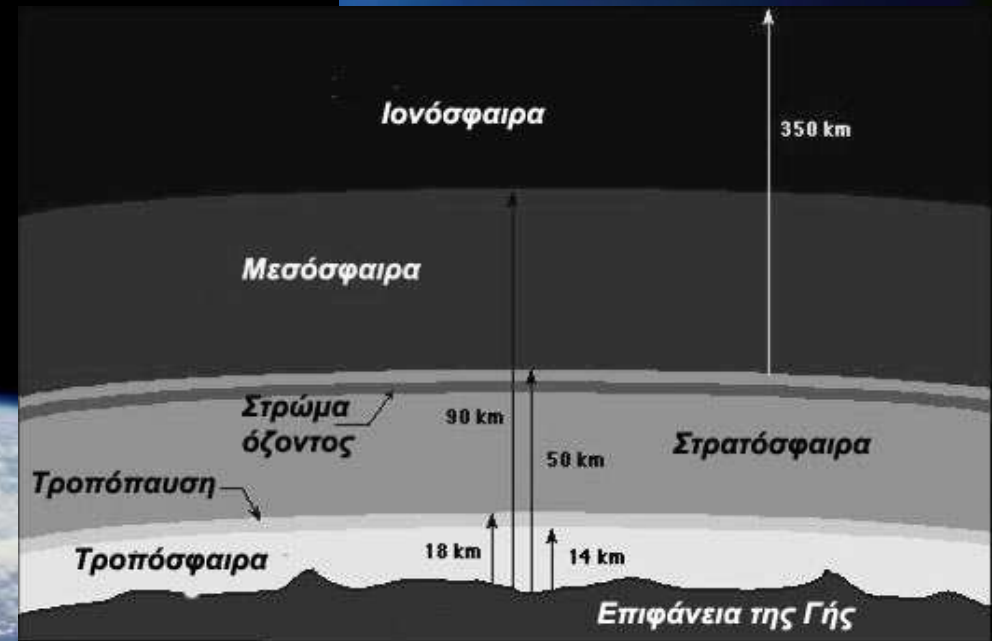
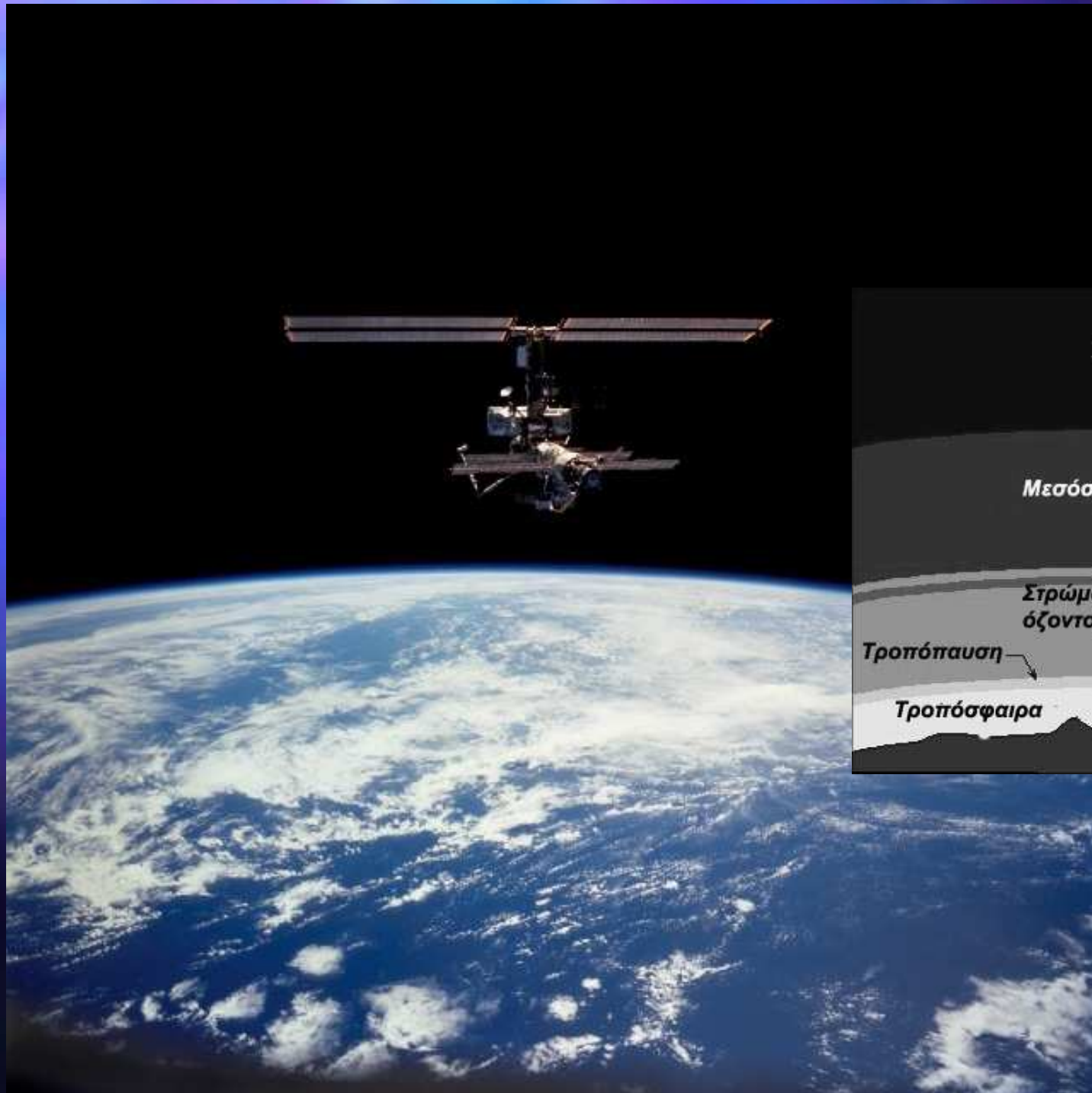
ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ

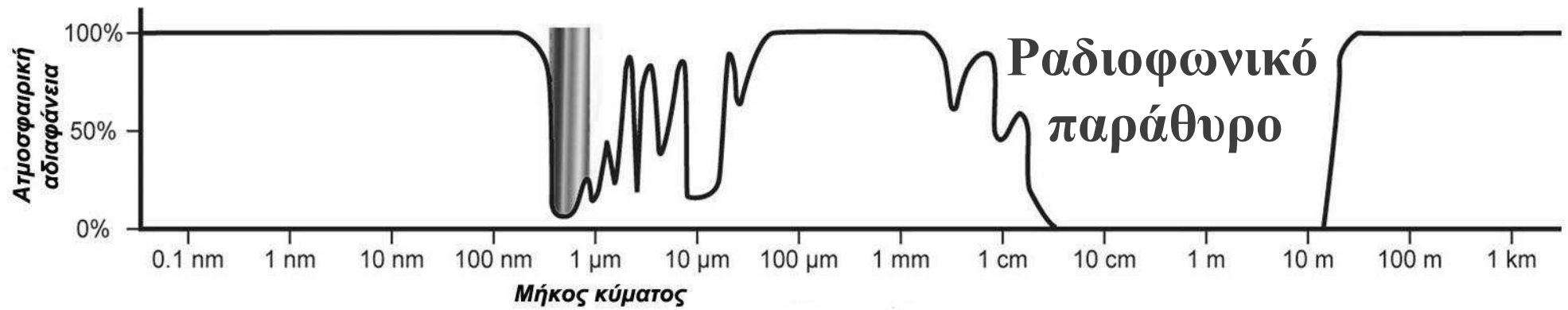
Κεραίες: Βασικές θεωρητικές έννοιες
Λειτουργία και χρήση ραδιοαστρονομικών οργάνων
Παραβολικές κεραίες
Συμβολομετρία

Γιάννης Σειραδάκης
Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

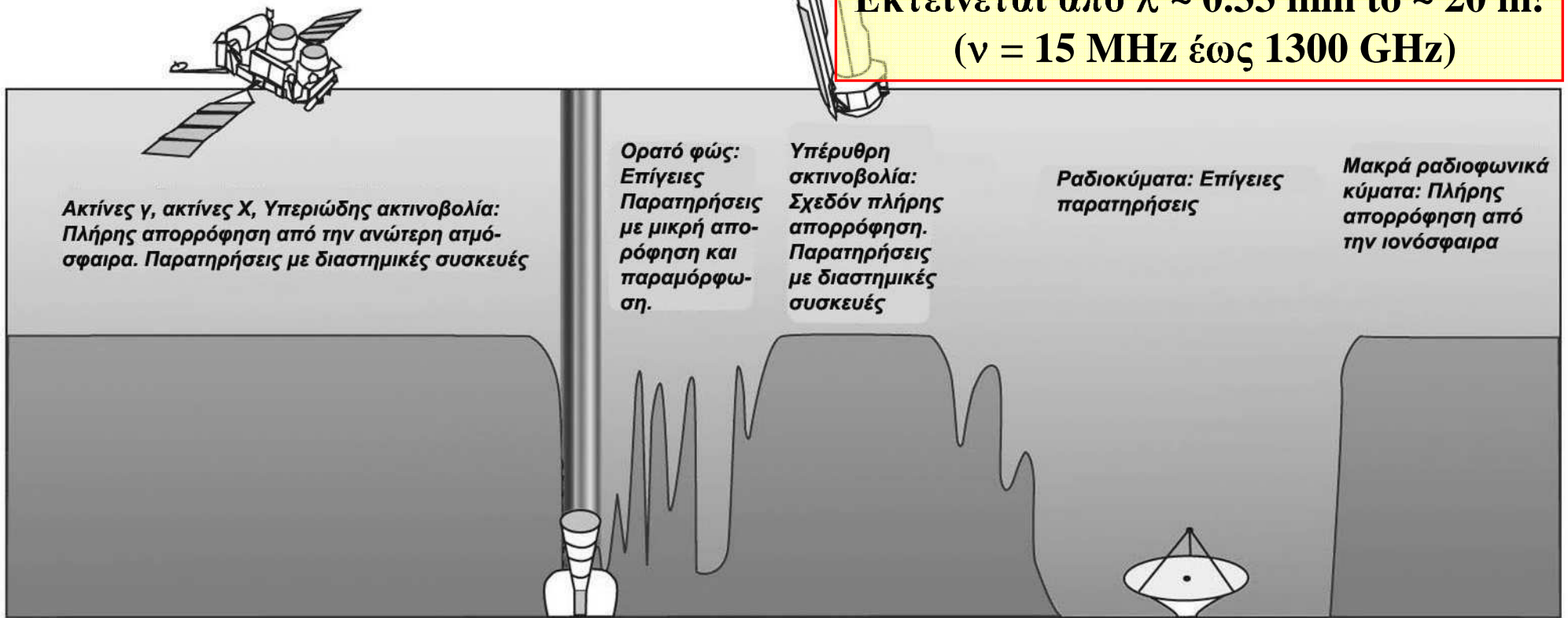


Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

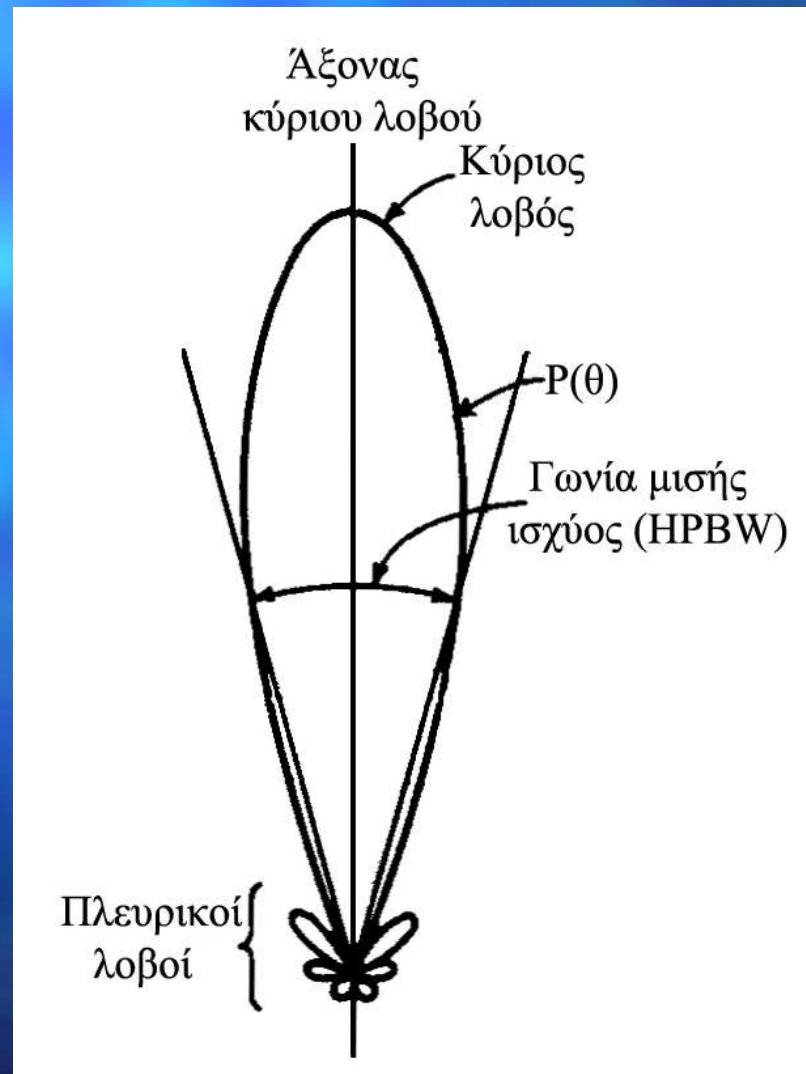




Εκτείνεται από $\lambda \sim 0.33 \text{ mm}$ to $\sim 20 \text{ m}$!
 ($\nu = 15 \text{ MHz}$ έως 1300 GHz)



Το διάγραμμα ακτινοβολίας



Το διάγραμμα ακτινοβολίας

$$\Omega_A = \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega$$

Στερεά γωνία δέσμης

$$\Omega_M = \int_{\text{Κύριος
λοβός}} P_n(\theta, \phi) d\Omega$$

Στερεά γωνία κύριου λοβού

Ιδιότητες κεραιών

Κατευθυντικότητα

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

$$\Omega_A = \frac{\lambda^2}{A_e}$$

Γεωμετρική συλλεκτική επιφάνεια

$$A_g = \pi D^2/4$$

⇒ Κατευθυντικότητα

$$D = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) A_e$$

Απολαβή

$$G = k_{sys} D = k_{sys} \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) A_e$$

Ιδιότητες κεραιών (συνέχεια)

Απόδοση δέσμης

$$e_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_A}$$

Απόδοση κεραίας

$$\eta = \frac{A_e}{A_g}$$

Παραβολικές κεραίες

Διακριτική ικανότητα [rad]

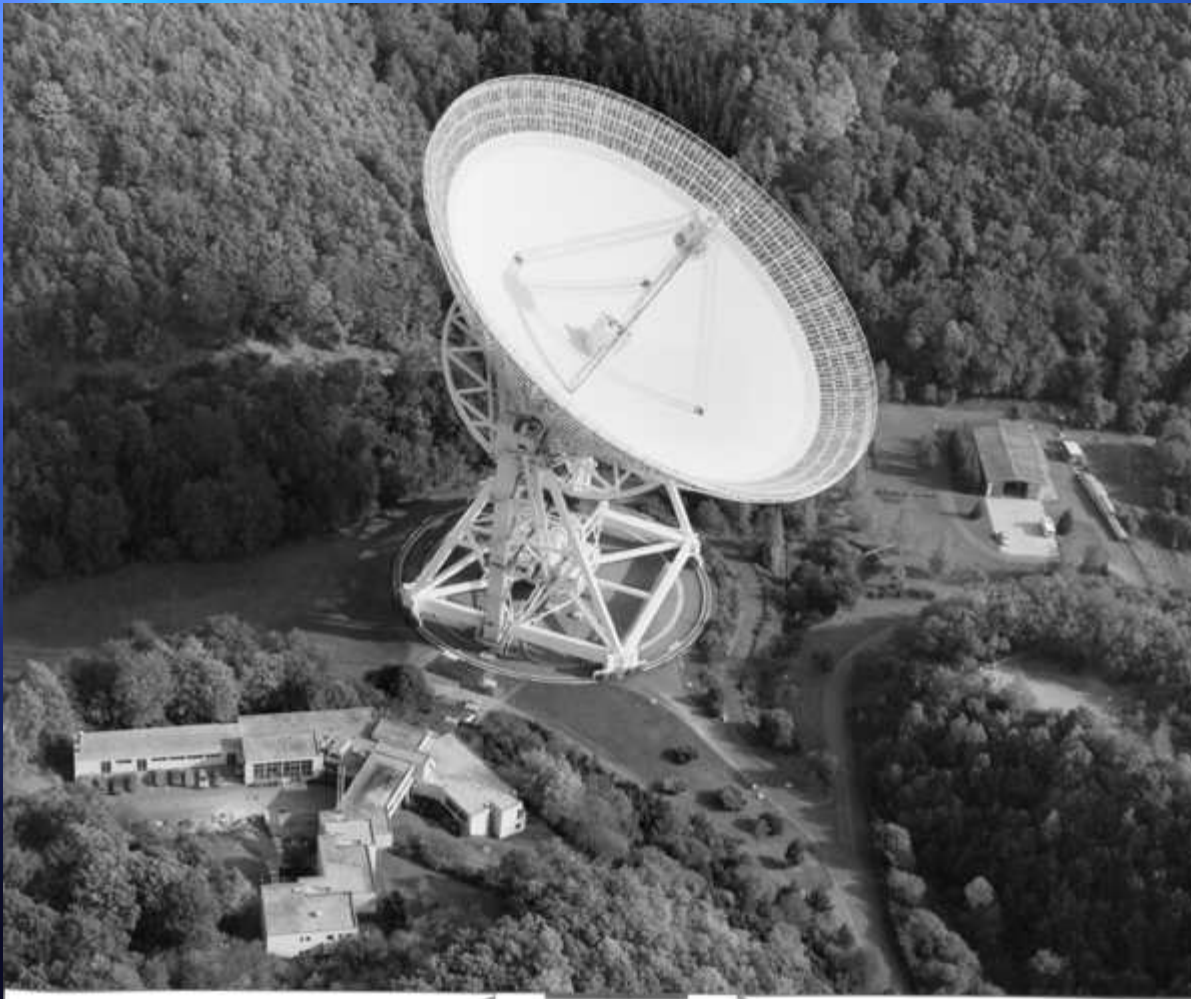
$$\Theta_A = 1.22 \times \lambda/D$$

Διακριτική ικανότητα [arcmin]

$$\Theta_A = 4.2 \times 10^3 \lambda/D$$

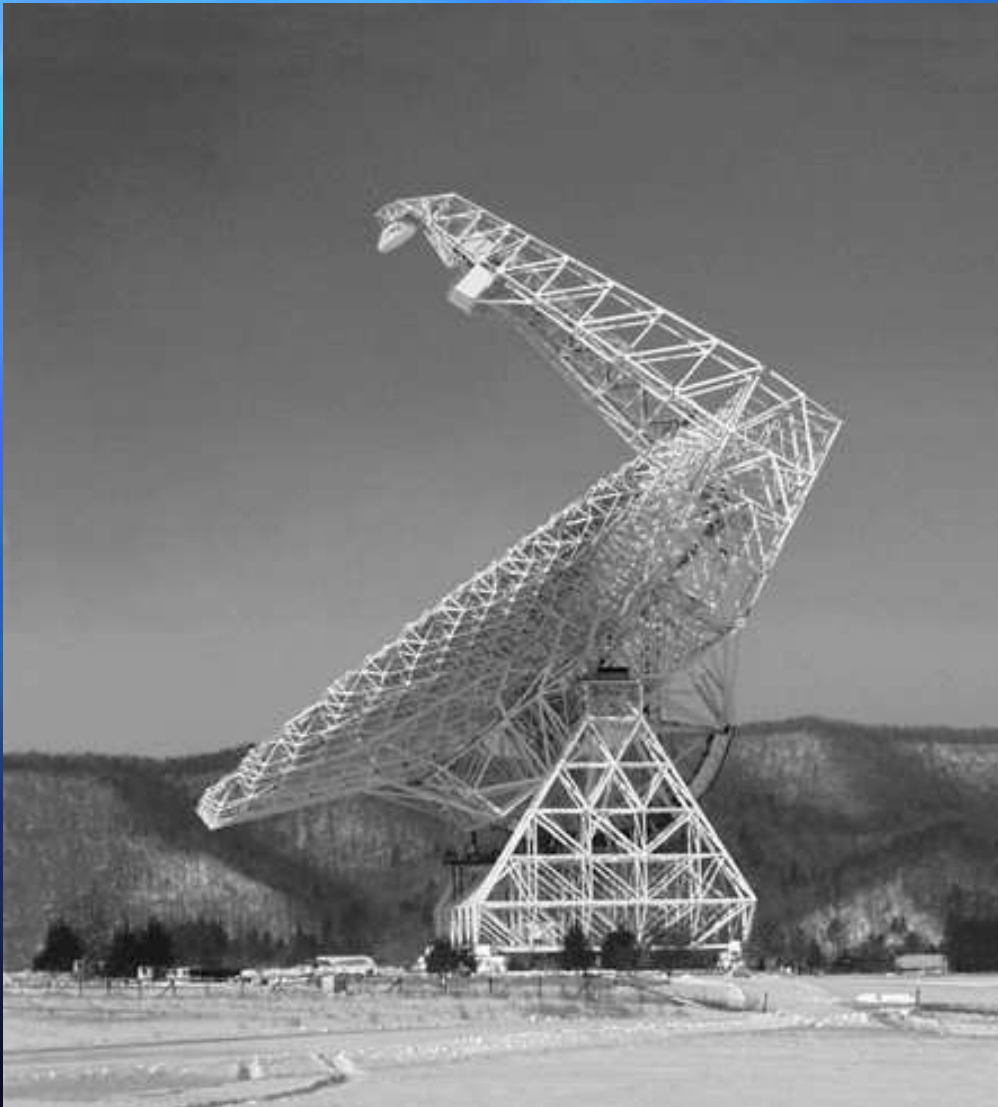
$$\nu = 11.75 \text{ GHz}, D = 3 \text{ m} \Rightarrow \Theta_A = 36 \text{ arcmin}$$

Μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια



D=100m
Effelsberg
Βόννη

Μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια



D=100×110m
NRAO
Virginia, USA

Μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια



D=305m
Arecibo
Πόρτο Ρίκο

Μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια



VLA
Socorro
New Mexico, USA

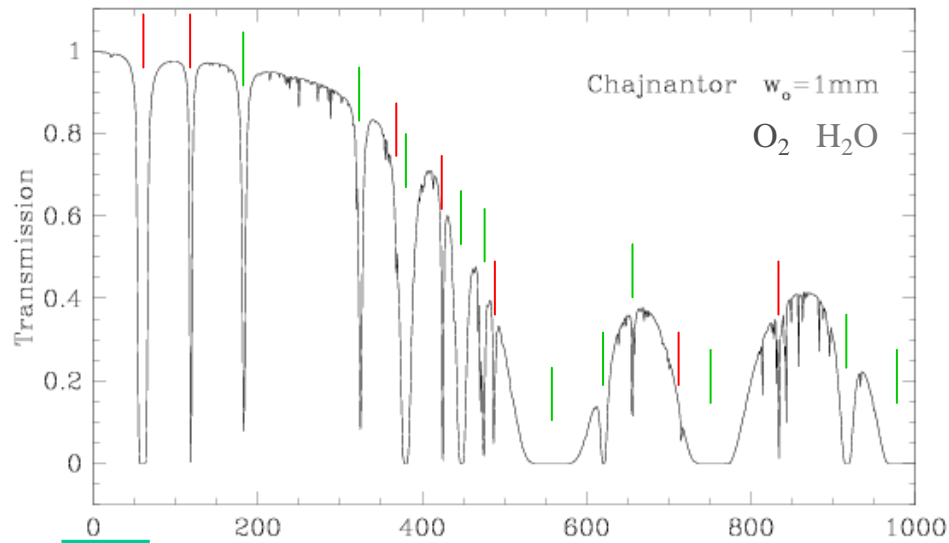
Μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια (υπό κατασκευή)



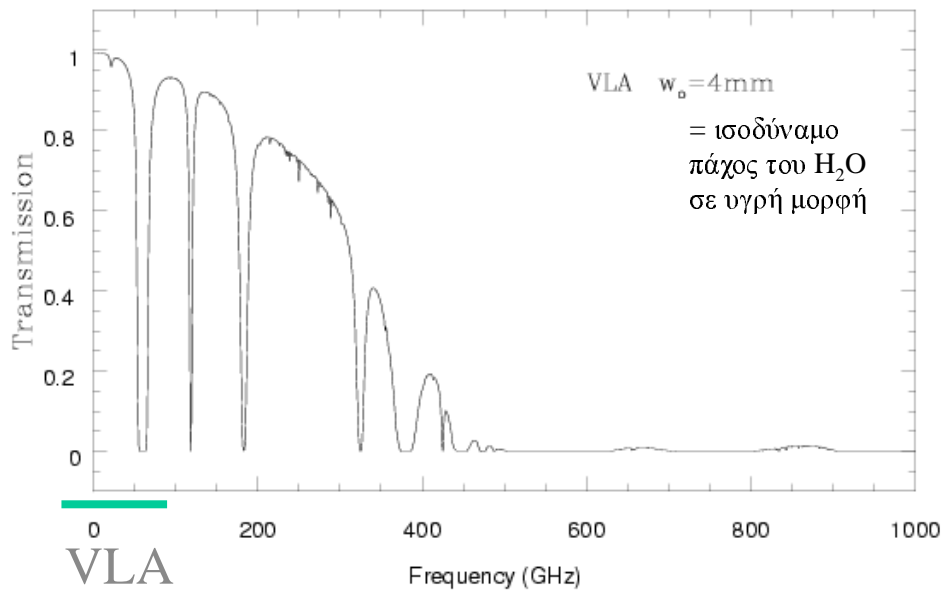
ALMA
Atacama
Βόρεια Χιλή

Το υψίπεδο της Atacama στη Χιλή
 $h = 5000 \text{ m}$





ALMA



VLA

Η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας από 0 έως 1000 GHz στο υψίπεδο της Acatama στη Χιλή.

Η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας στο VLA, New Mexico



Καλλιτεχνική απεικόνιση του συμβολόμετρου ALMA
64 τηλεσκόπια διαμέτρου 12 m

Θεωρία κεραιών: Μερικές βασικές σχέσεις

Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας [Watt m⁻²]

Ηλεκτρομαγνητισμός: Φωτεινή ροή

Οπτική: Φωτισμός

Οπτική Αστρονομία: Λαμπρότητα

Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας ανά Hz

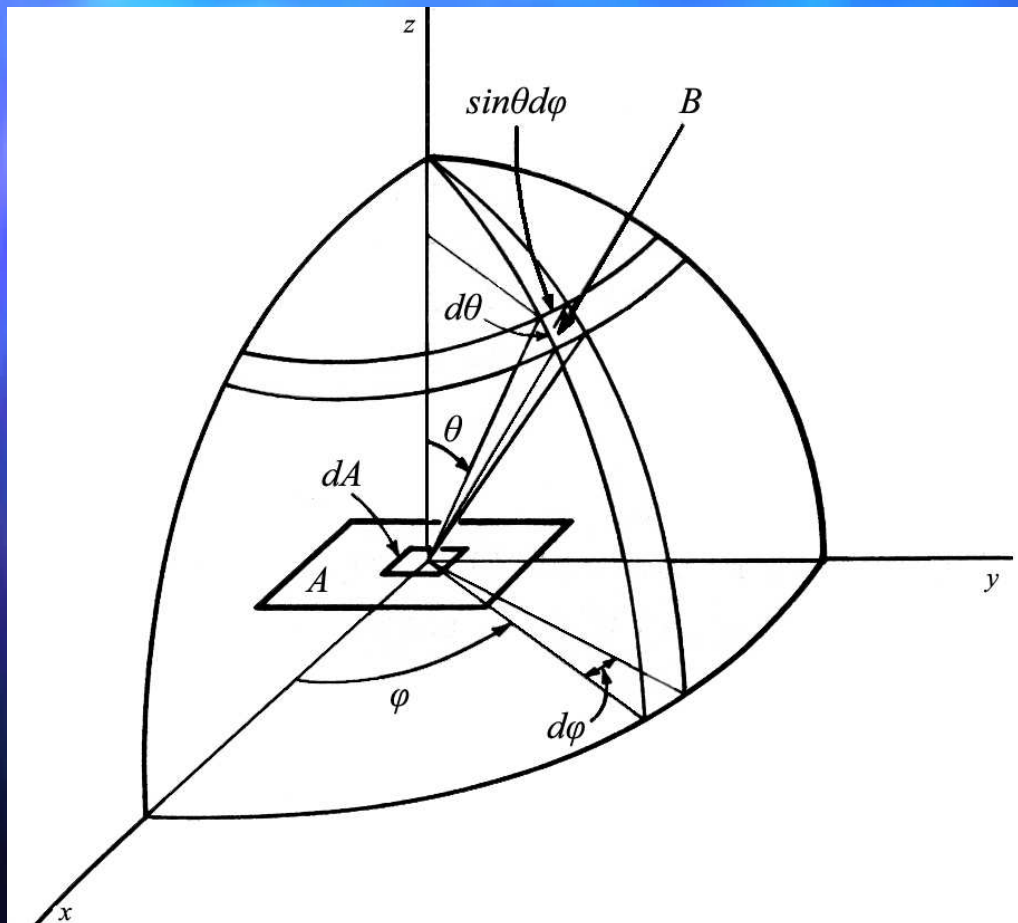
Ραδιοαστρονομία: Πυκνότητα ροής, S_ν

Μονάδα μέτρησης: $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Watt m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$

Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας ανά Hz από συγκεκριμένη διεύθυνση

Ραδιοαστρονομία: Ένταση ακτινοβολίας, B_ν [Watt m⁻² Hz⁻¹ rad⁻¹]

Θεωρία κεραιών: Μερικές βασικές σχέσεις



Γεωμετρικά
χαρακτηριστικά
εκπομπής ή λήψης από
τυχαία διεύθυνση

Θεωρία κεραιών: Μερικές βασικές σχέσεις

Πυκνότητα ροής

$$S_v = \iint B_v(\theta, \phi) d\Omega$$

$$[\text{Watt m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}]$$

$$S_v = \iint B_v(\theta, \phi) \cos\theta d\Omega$$

$$[\text{Watt m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}]$$

$$S_{v,o} = \iint B_v(\theta, \phi) P(\theta, \phi) d\Omega$$

$$[\text{Watt m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}]$$

Θεωρία κεραιών: Μερικές βασικές σχέσεις

Ισχύς της ακτινοβολίας

$$W_{v,o} = A_e \iint B_v(\theta, \phi) P(\theta, \phi) d\Omega$$

[Watt Hz⁻¹]

Αν $B_v(\theta, \phi) = B_c$ και χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$\Omega_A = \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega$$

τότε:

$$W_{v,o} = A_e B_c \Omega_A$$

[Watt Hz⁻¹]

Θεωρία κεραιών: Μερικές βασικές σχέσεις

Ισχύς της ακτινοβολίας

$$W_{\nu,o} = A_e B_c \Omega_A$$

$$[\text{Watt Hz}^{-1}]$$

Αλλά από τη σχέση:

$$S_{\nu,o} = \iint B_\nu(\theta, \phi) P(\theta, \phi) d\Omega$$

$$W_{\nu,o} = A_e S_{\nu,o}$$

$$[\text{Watt Hz}^{-1}]$$

Αυτή είναι η **ισχύς** (power) ανά μονάδα συχνότητας, που λαμβάνει μια κεραία, που έχει διάγραμμα ακτινοβολίας $P_n(\theta, \phi)$ και ενεργό συλλεκτική επιφάνεια A_e , από μια ραδιοπηγή της οποίας η πυκνότητα ροής είναι S_ν .

Η κεραία ως θερμική αντίσταση, θερμοκρασίας T

Σύμφωνα με το νόμο του Planck, η ισχύς που παρέχει μια θερμική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$W d\nu = \frac{h\nu d\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Αλλά $h\nu \ll kT \Rightarrow$

$$e^{h\nu/kT} \approx 1 + h\nu/kT$$

Άρα:

$W d\nu = kT d\nu$: Θεώρημα του Nyquist για θερμικές αντιστάσεις

Η θερμοκρασία κεραίας ή θερμοκρασία θορύβου δίνεται από τη σχέση: $W = kT$

Από τη σχέση: $W_{\nu,0} = A_e S_{\nu,0}$ έπεται ότι $S_{\nu,0} = (2kT_A)/A_e$

Ευαισθησία κεραιών: Ελάχιστη ανιχνεύσιμη πυκνότητα ροής

Η ελάχιστη θερμοκρασία κεραίας που μπορεί να ανιχνεύσει ένα ραδιοτηλεσκόπιο, T_{\min} , είναι:

$$T_{\min} = \frac{k_{\text{sys}} T_{\text{sys}}}{\sqrt{\Delta \nu t}}$$

Ποια είναι, όμως η αντίστοιχη ελάχιστη ένταση ακτινοβολίας;

Η θερμοκρασία της παραπάνω σχέσης περιγράφεται από το νόμο του Planck:

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Ελάχιστη ανιχνεύσιμη πυκνότητα ροής

Σε ραδιοφωνικές συχνότητες, ισχύει πάντα $h\nu \ll kT$. Άρα:

$$B_\nu(T) = (2kT)/\lambda^2 \quad (\text{νόμος των Reyleigh-Jeans})$$



$$B_{\nu,\min}(T) = \frac{2 k k_{\text{sys}} T_{\text{sys}}}{\lambda^2 \sqrt{\Delta\nu t}}$$

και από τις σχέσεις

$$S_{\nu,o} = \iint B_\nu(\theta, \phi) P(\theta, \phi) d\Omega$$

και

$$\Omega_A = \frac{\lambda^2}{A_e}$$

... βρίσκουμε την ελάχιστη ανιχνεύσιμη πυκνότητα ροής:

$$S_{\nu,\min}(T) = \frac{2 k k_{\text{sys}} T_{\text{sys}}}{A_e \sqrt{\Delta\nu t}}$$

Θερμοκρασία λαμπρότητας – Θερμοκρασία κεραίας

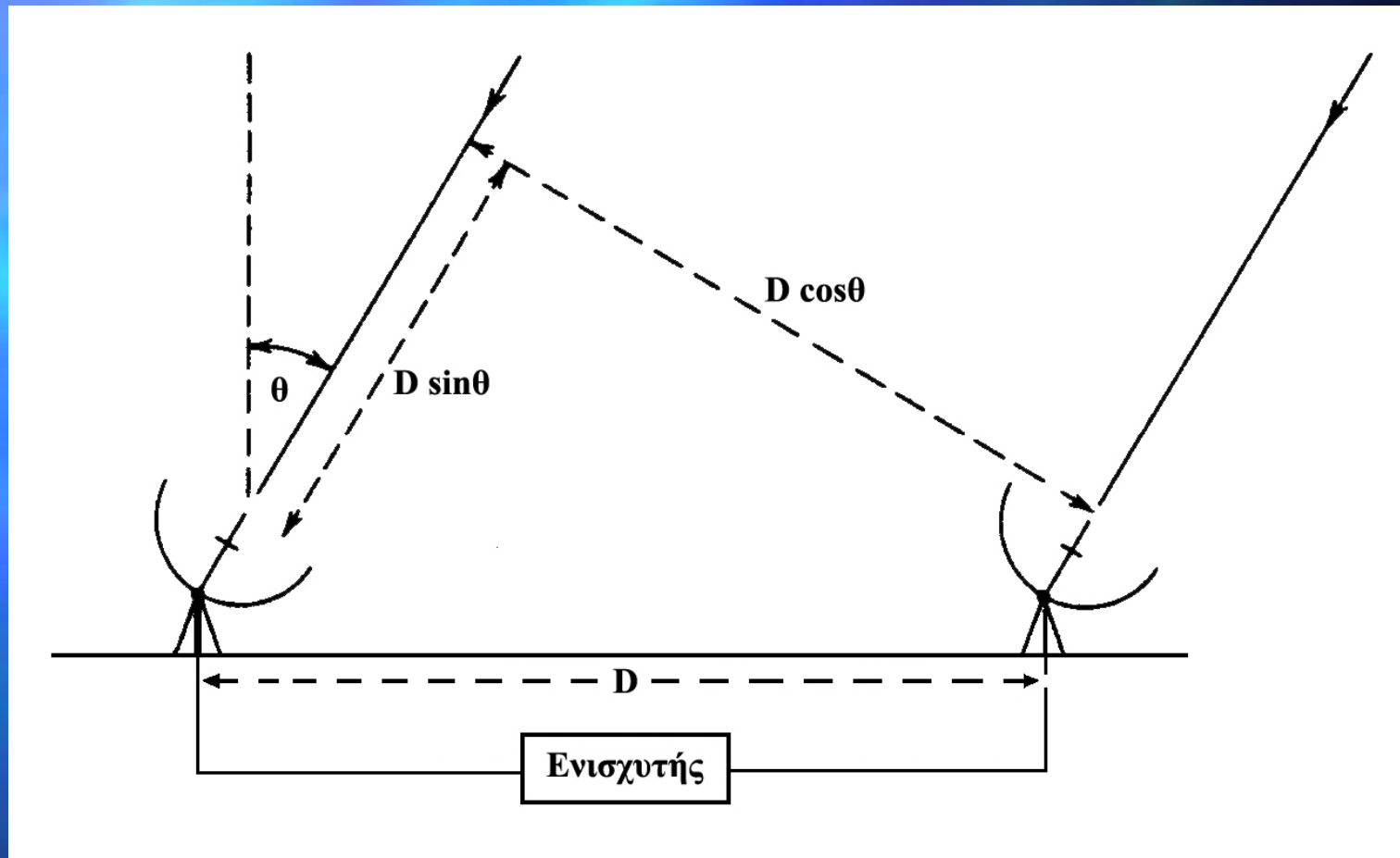
Από το νόμο των Reyleigh-Jeans, $B_\nu(T) = (2kT)/\lambda$ έπεται ότι η φυσική θερμοκρασία ενός σώματος λαμπρότητας B_ν είναι:

$$T_b = (\lambda^2 B_\nu)/2k \quad (\text{θερμοκρασία λαμπρότητας})$$

Η θερμοκρασία αυτή είναι εντελώς ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία κεραίας που δίνεται από τη σχέση $S_{\nu,o} = (2kT_A)/A_e$

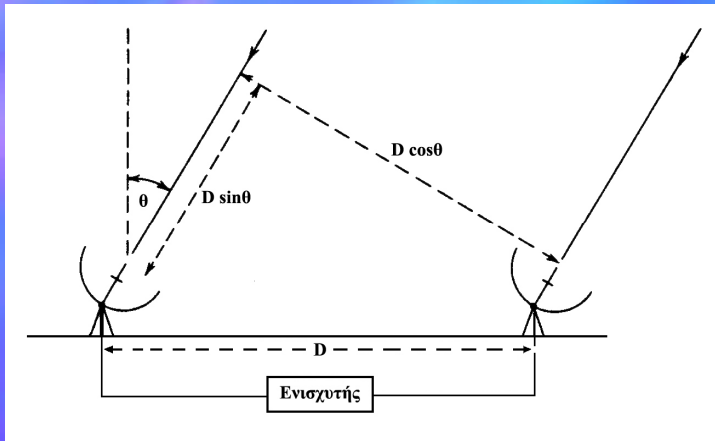
$$T_A = S_{\nu,o} A_e/2k \quad (\text{θερμοκρασία κεραίας})$$

Συμβολομετρία



- Απόσταση κεραιών $D = r\lambda$, r : πραγματικός αριθμός
- Διαφορά φάσεως: $D \sin \theta = r\lambda \sin \theta$, λ : μήκος κύματος
- θ : ζενίθεια απόσταση

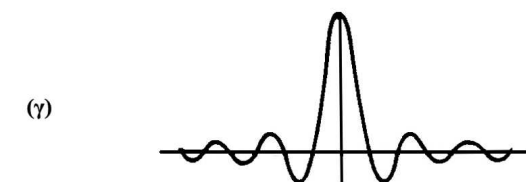
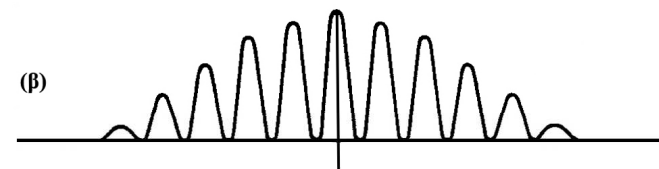
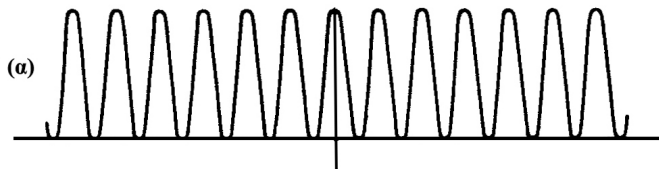
Συμβολομετρία



Αν $r\lambda \sin\theta = n\lambda$ ενίσχυση \Rightarrow (μέγιστο)

Αν $r\lambda \sin\theta = (n+1/2)\lambda$ απόσβεση \Rightarrow (ελάχιστο)

(n: ακέραιος)



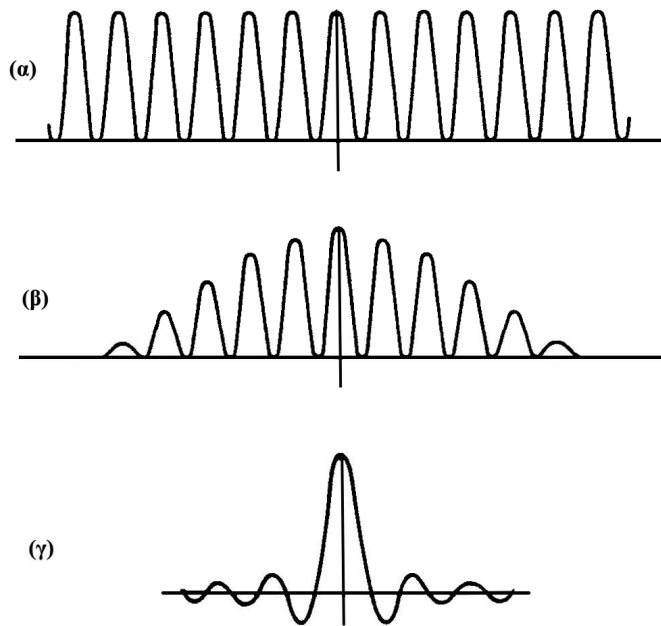
Καθώς η ζενίθεια απόσταση συνεχώς μεταβάλλεται, έχουμε κροσσούς συμβολής

Αν οι κεραίες είναι ακίνητες, τότε οι κροσσοί περιορίζονται από το διάγραμμα ακτινοβολίας

Αν το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι στενότερο από τους κροσσούς συμβολής

Συμβολομετρία

Προσδιορισμός αστρονομικών συντεταγμένων



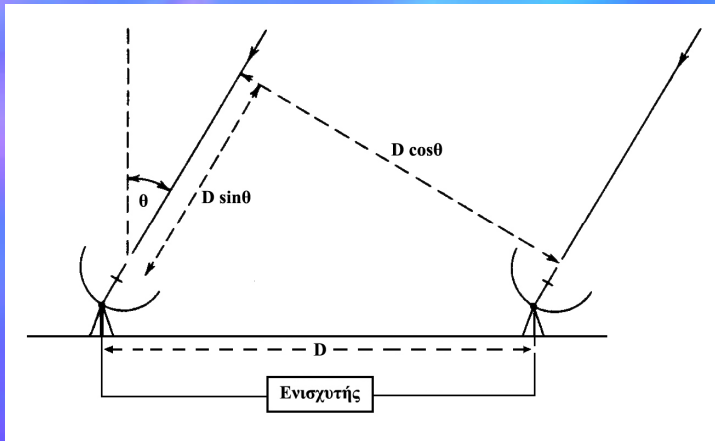
Ορθή αναφορά: Από τη χρονική στιγμή διέλευσης από κάποιο κροσσό, του οποίου η διεύθυνση είναι γνωστή

(Γεωδεσία)

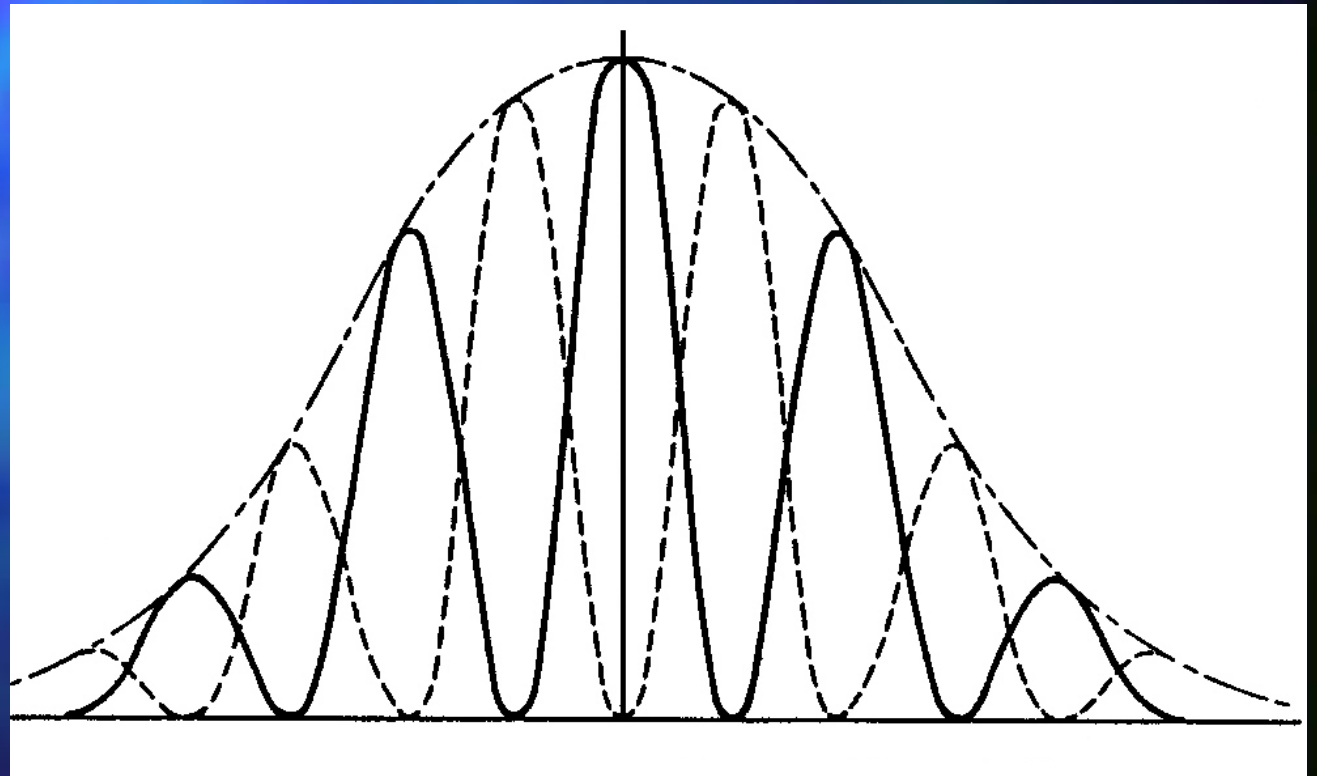
Απόκλιση: Από το χρόνο διέλευσης μιας ραδιοπηγής από δύο μέγιστα (ο χρόνος αυτός εξαρτάται από το $sec\delta$)

Συμβολομετρία

Ανίχνευση ασθενών σημάτων

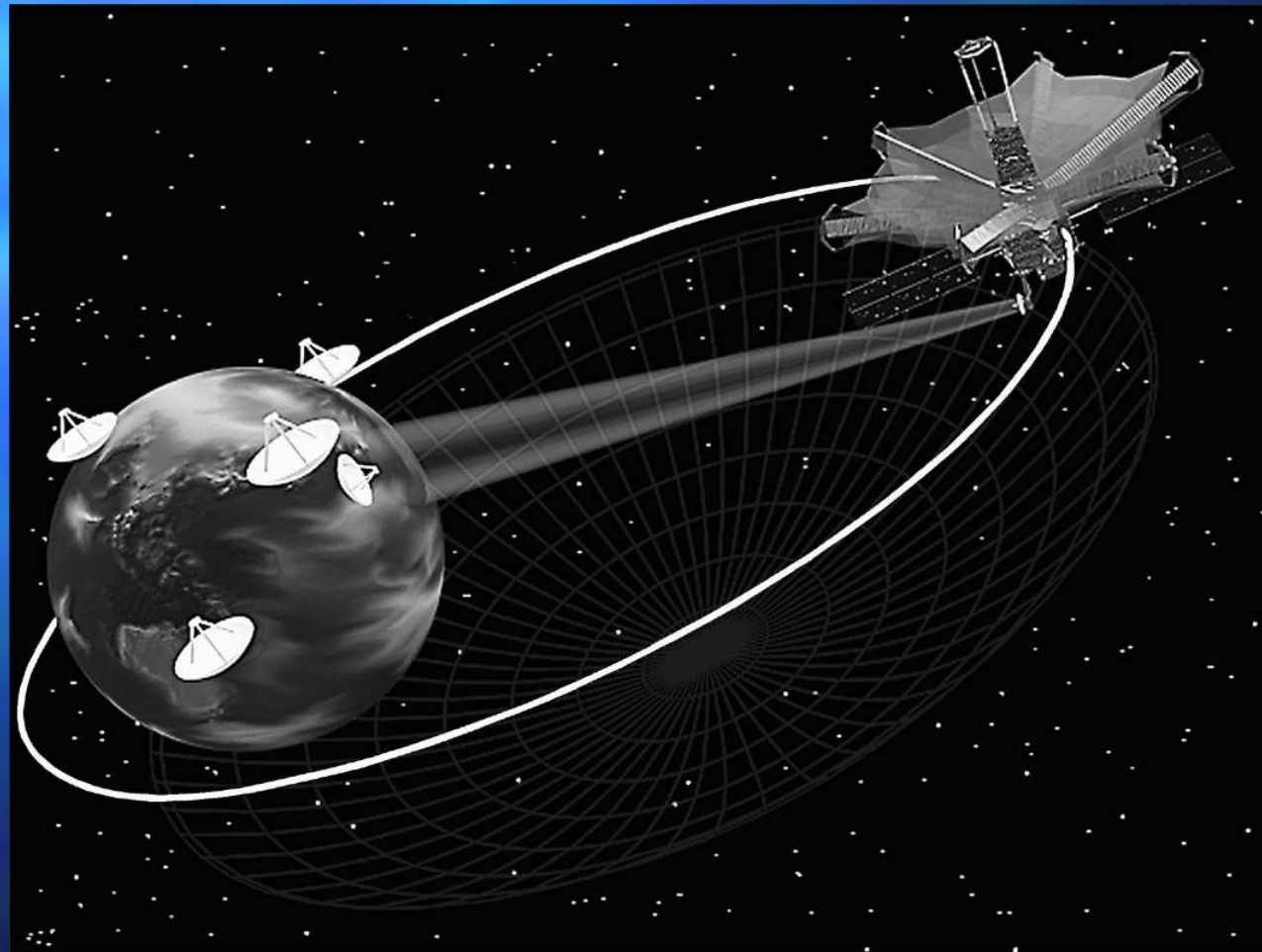


Εισαγωγή περιοδικής (ν_0)
διαφοράς φάσης $\lambda/2$
Συνήθως $100 \text{ Hz} < \nu_0 < 1000 \text{ Hz}$



Συμβολομετρία

Συμβολομετρία μεγάλης βάσης (VLBI)



Συμβολομετρία – Αρχή σύνθεσης

Η περίοδος των κροσσών εξαρτάται:

- ✓ Από την απόσταση των ακραίων κεραιών ($T \sim r^{-1}$)
- ✓ Από τη γραμμική ταχύτητα περιστροφής της πηγής ($T \sim \text{sec} \delta$)

Η περίοδος βρίσκεται εύκολα με μετασχηματισμό Fourier

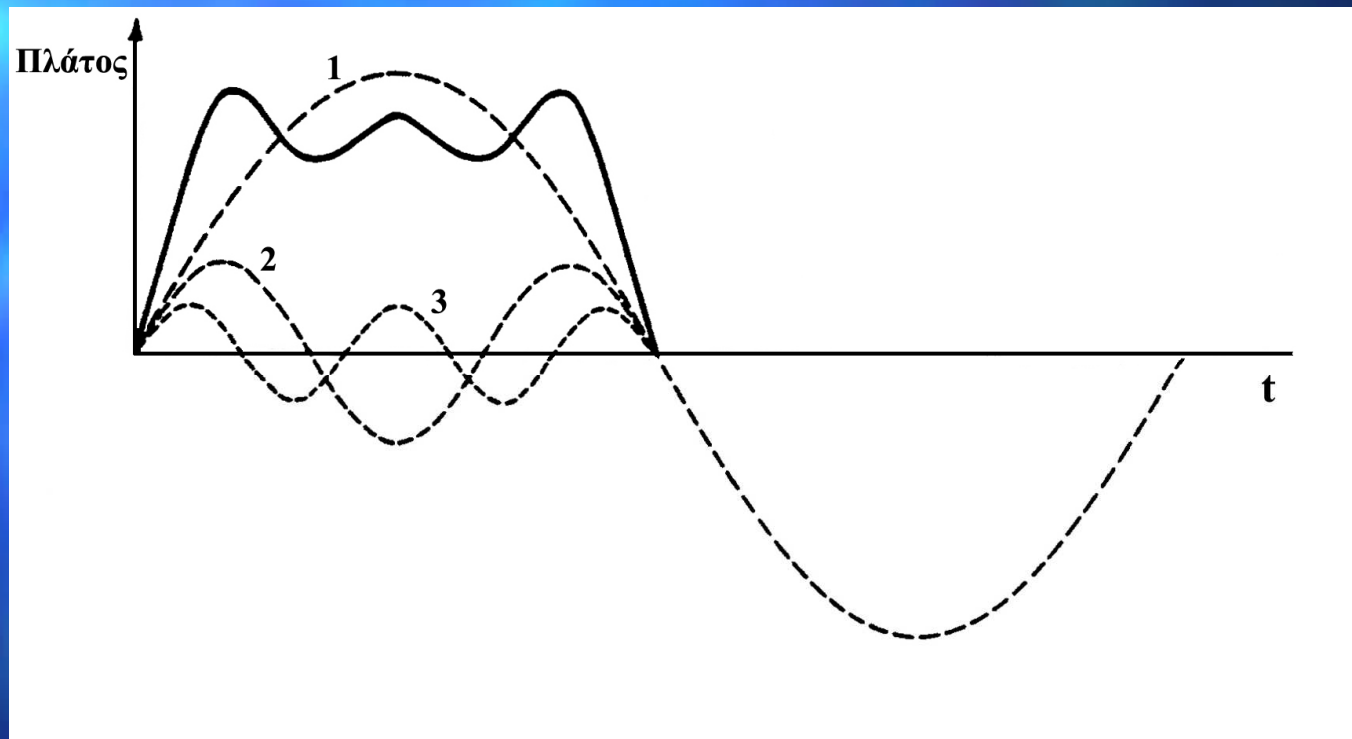
Το πλάτος των κροσσών εξαρτάται:

- ✓ Από την πυκνότητα ροής της ραδιοπηγής

Το πλάτος των ημιτονοειδών συστατικών του μετασχηματισμού Fourier, εξαρτάται από το πλάτος των κροσσών

Συμβολομετρία – Αρχή σύνθεσης

- Σημειακές ραδιοπηγές: Μια συνιστώσα μετασχηματισμού Fourier
- Εκτεταμένες ραδιοπηγές: Πολλές συνιστώσες



Η πλήρης κατανομή λαμπρότητας μιας εκτεταμένης ραδιοπηγής επιτυγχάνεται αν έχουμε άπειρο αριθμό συνιστωσών Fourier



