

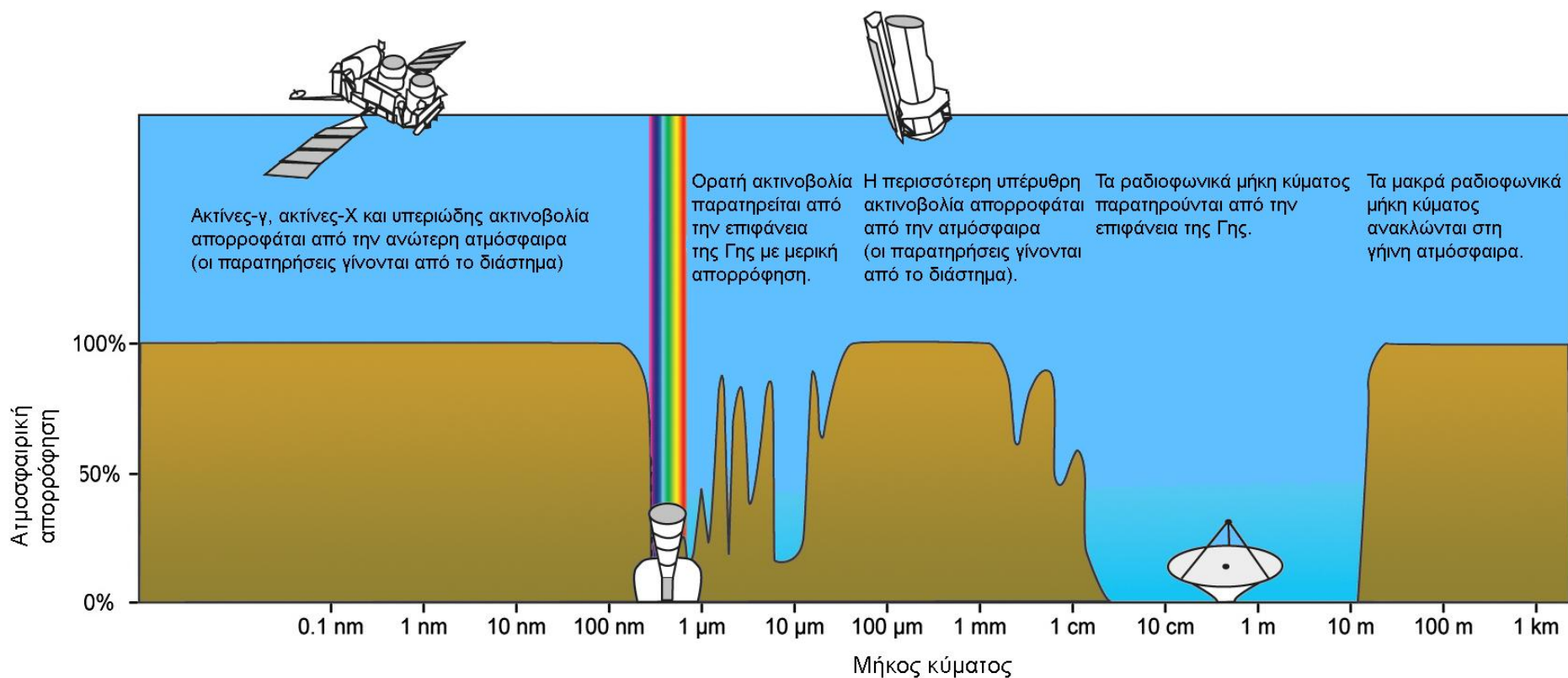
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Κοσμάς Γαζέας

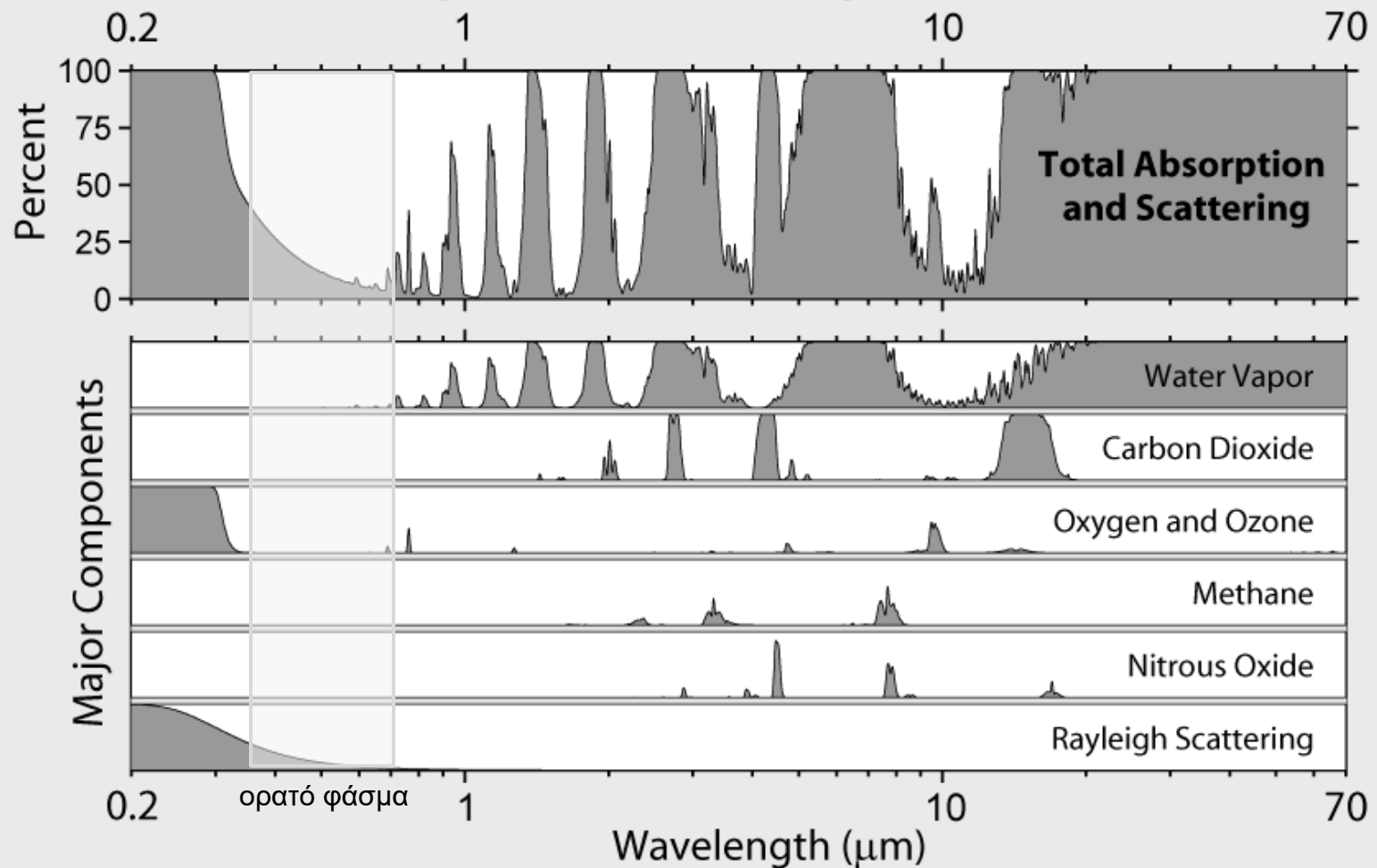
ΦΩΣ ΚΑΙ ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

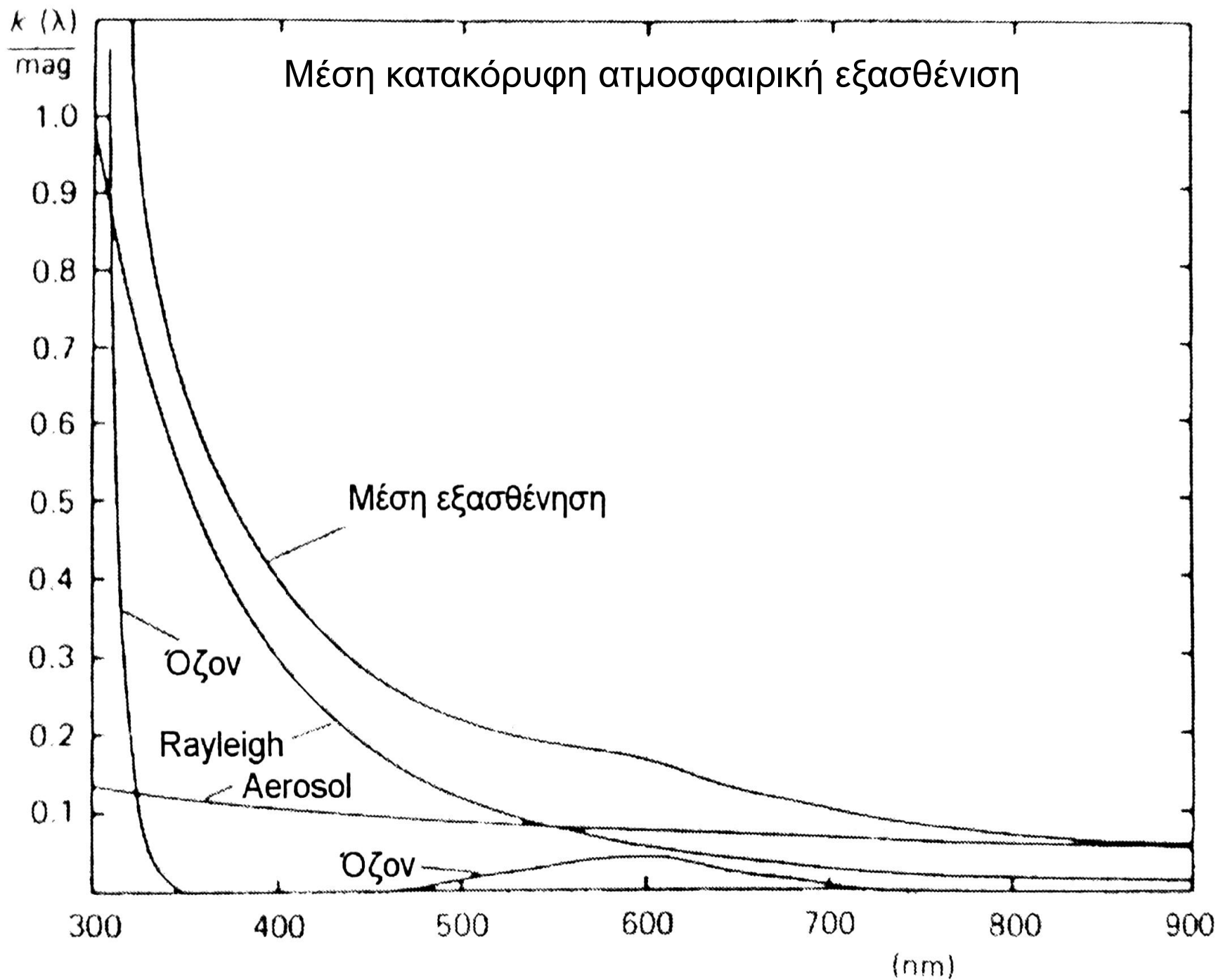


Το Η/Μ φάσμα και τα ατμοσφαιρικά «παράθυρα»



Atmospheric Absorption Bands









Κοντά στον ορίζοντα, όλα τα ουράνια σώματα φαίνονται ερυθρά





19:30 UT, Altitude: +7 deg



20:30 UT, Altitude: +14 deg



21:30 UT, Altitude: +19 deg

Fullmoon - 17 April 2011, Leiden, The Netherlands

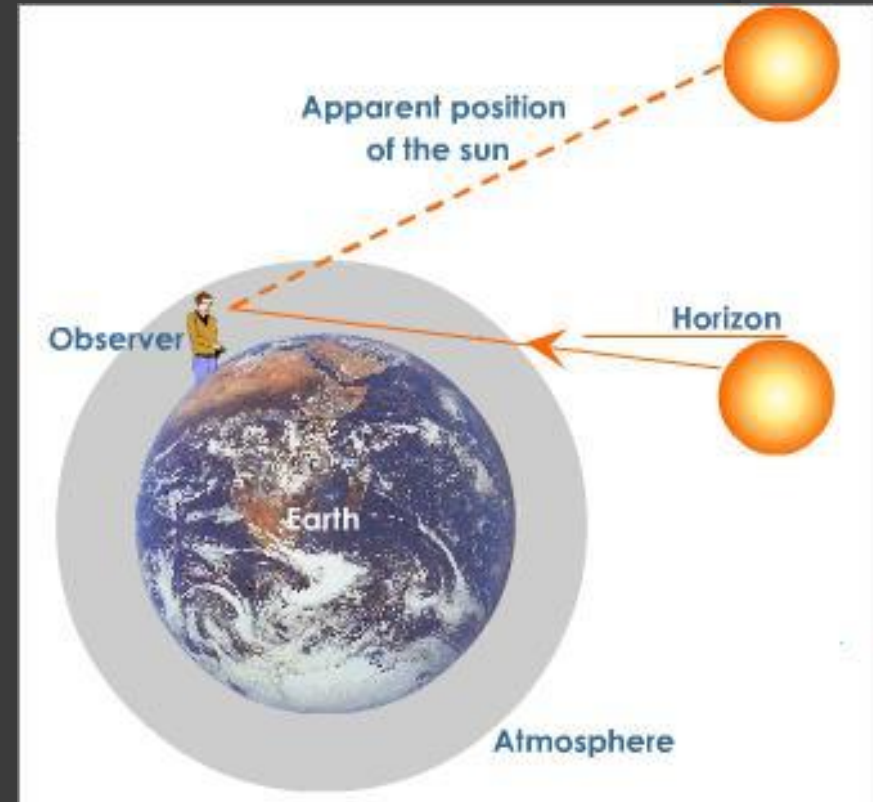
© *Kosmas Gazeas*

Η γήινη ατμόσφαιρα αλλοιώνει τα αστρικά είδωλα

- Σε μορφή και σχήμα (διαστάσεις)
- Σε χρώμα
- Σε θέση
- Σε λαμπρότητα

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως:

- Απορρόφηση
- Σκέδαση
- Διάθλαση



Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή

Η ατμοσφαιρική τύρβη ή ατμοσφαιρική διαταραχή (*atmospheric turbulence* ή απλά *seeing*) ονομάζεται η γρήγορη και τυχαία μεταβολή της λαμπρότητας και του χρώματος των αστέρων, σε συνδυασμό με φαινόμενα *στίλβης* και *σπινθιρισμού*, ως αποτέλεσμα της τυρβώδους ροής της γήινης ατμόσφαιρας.

Οι τυρβώδεις κινήσεις του αέρα μεταβάλλουν ακανόνιστα το δείκτη διάθλασής του, με αποτέλεσμα τη φαινόμενη μεταβολή της λαμπρότητας των αστέρων.

Το φαινόμενο γίνεται εντονότερο όταν φυσάει ισχυρός άνεμος, όταν υπάρχουν έντονα ρεύματα αέρα και όταν ο αστέρας παρατηρείται χαμηλά στον ορίζοντα.



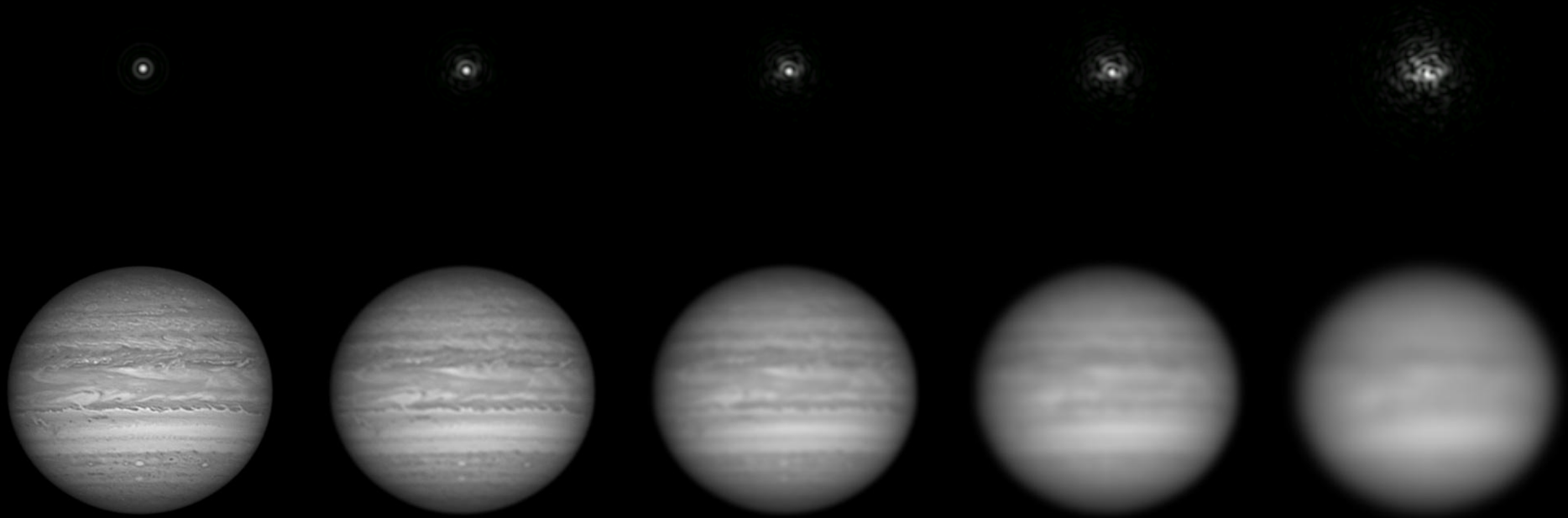
Όταν παρατηρείται έντονη στίλβη το *seeing* είναι κακό. Το αντίστροφο δε συμβαίνει πάντα.

Δείκτης διάθλασης αέρα:

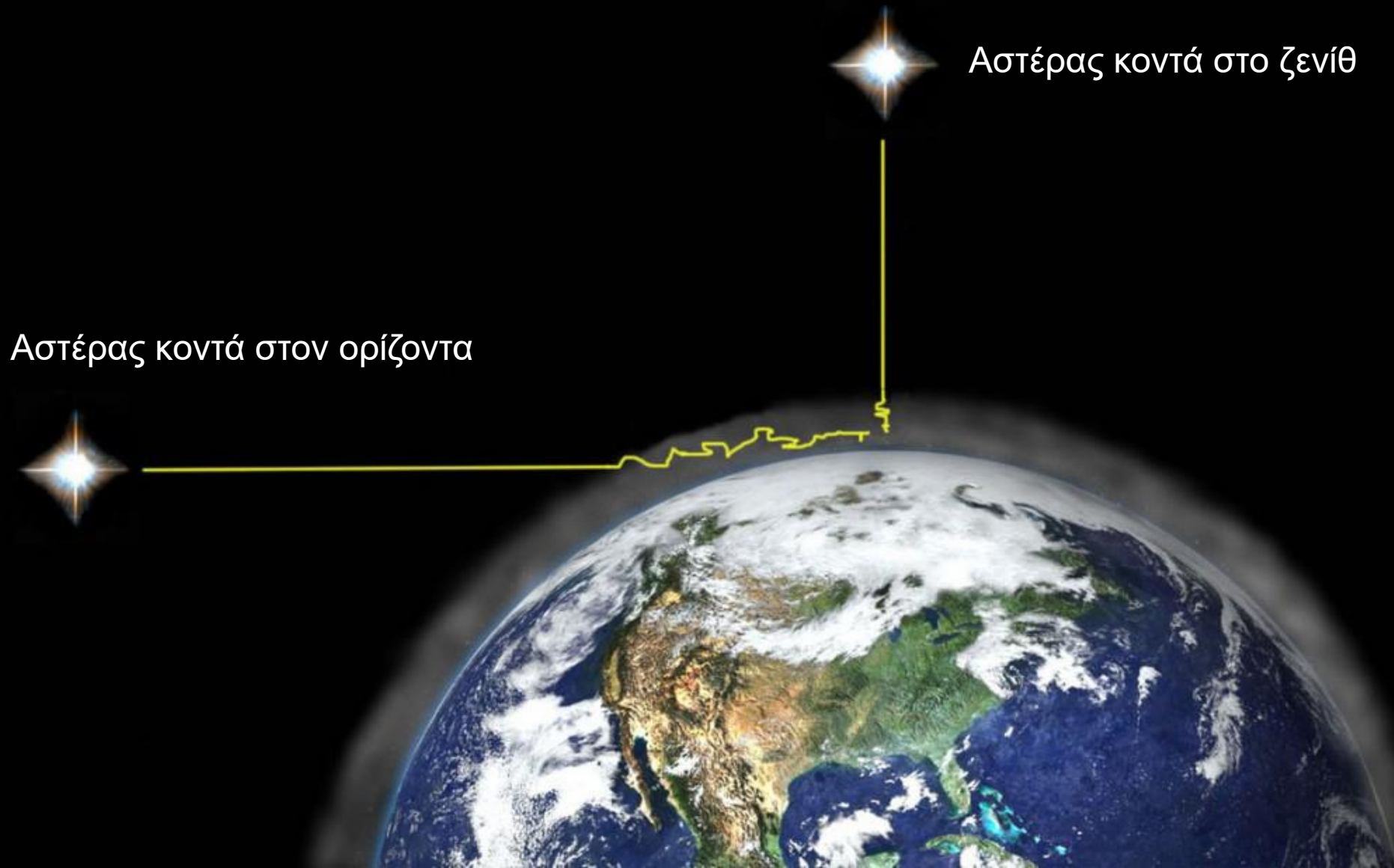
$$n = 1 + 0.0079 \cdot \frac{P}{T}$$



Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή



Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή

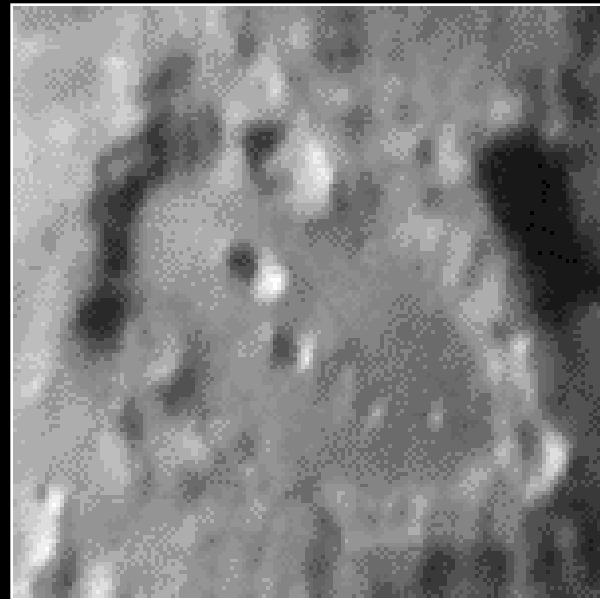


Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή



Μικρό τηλεσκόπιο (< 10 cm)

Επικρατεί η άτακτη κίνηση του ειδώλου



Μεγάλο τηλεσκόπιο (> 40 cm)

Επικρατεί η διάχυση/αναβρασμός του ειδώλου
Γίνεται άθροιση όλων των φαινομένων

Η στίλβη παρατηρείται εύκολα σε αστέρες και όχι σε πλανήτες



Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή

Η διαταραχή των ειδώλων αποτελεί το σοβαρότερο πρόβλημα των αστρονομικών παρατηρήσεων.



Το πρόβλημα επιλύεται εν μέρει:

- Τα αστεροσκοπεία εγκαθίστανται σε μεγάλο υψόμετρο
- Τεχνικές προσαρμοστικής οπτικής (adaptive optics)

Οριστική εξάλειψη του προβλήματος: αποστολή τηλεσκοπίων στο διάστημα

Σπειροειδής γαλαξίας M81

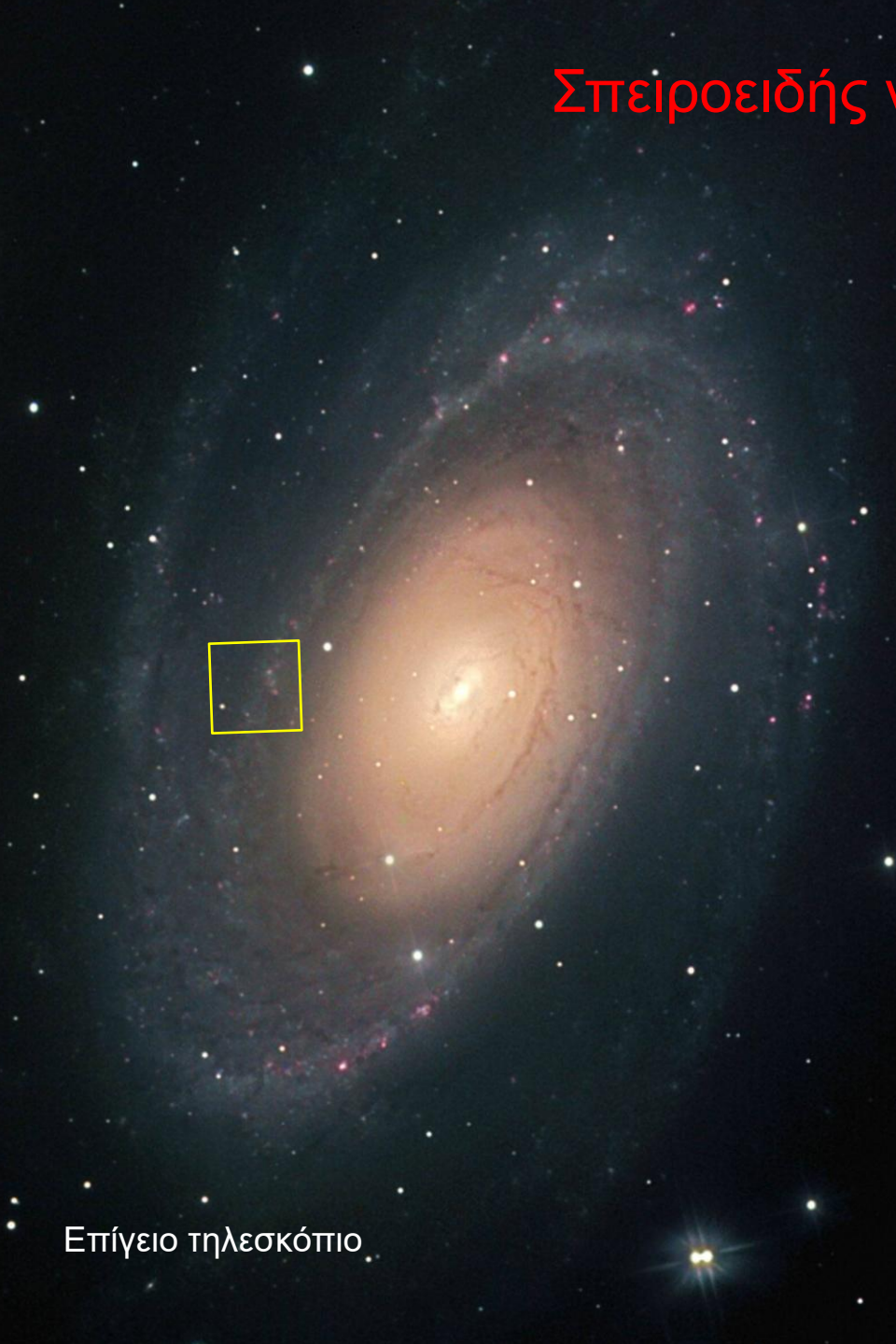


Επίγειο τηλεσκόπιο



Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

Σπειροειδής γαλαξίας M81



Επίγειο τηλεσκόπιο



Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

- Σύγκριση παρατηρήσεων από τη Γη και το διάστημα

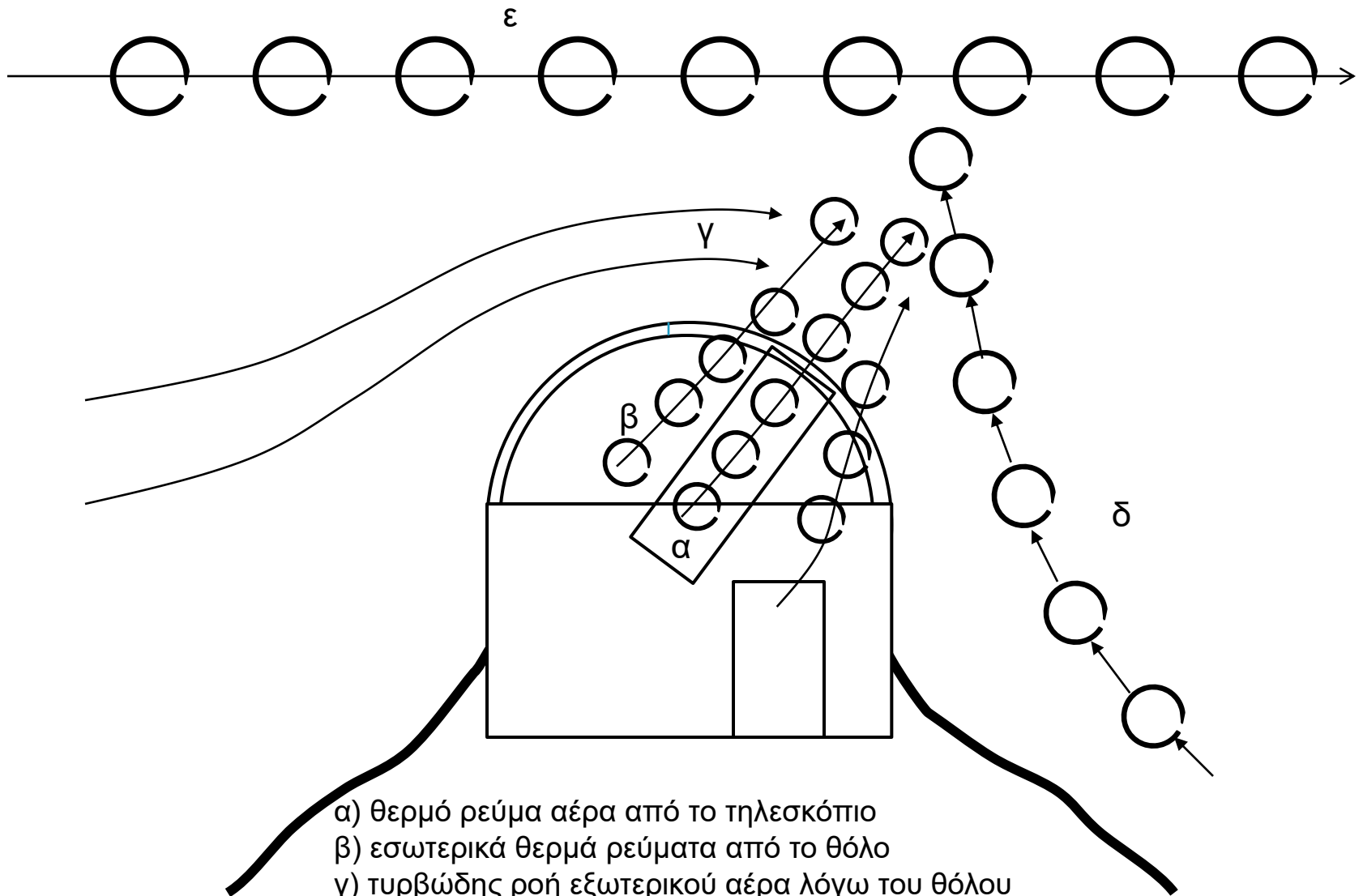


Επίγειο τηλεσκόπιο



Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

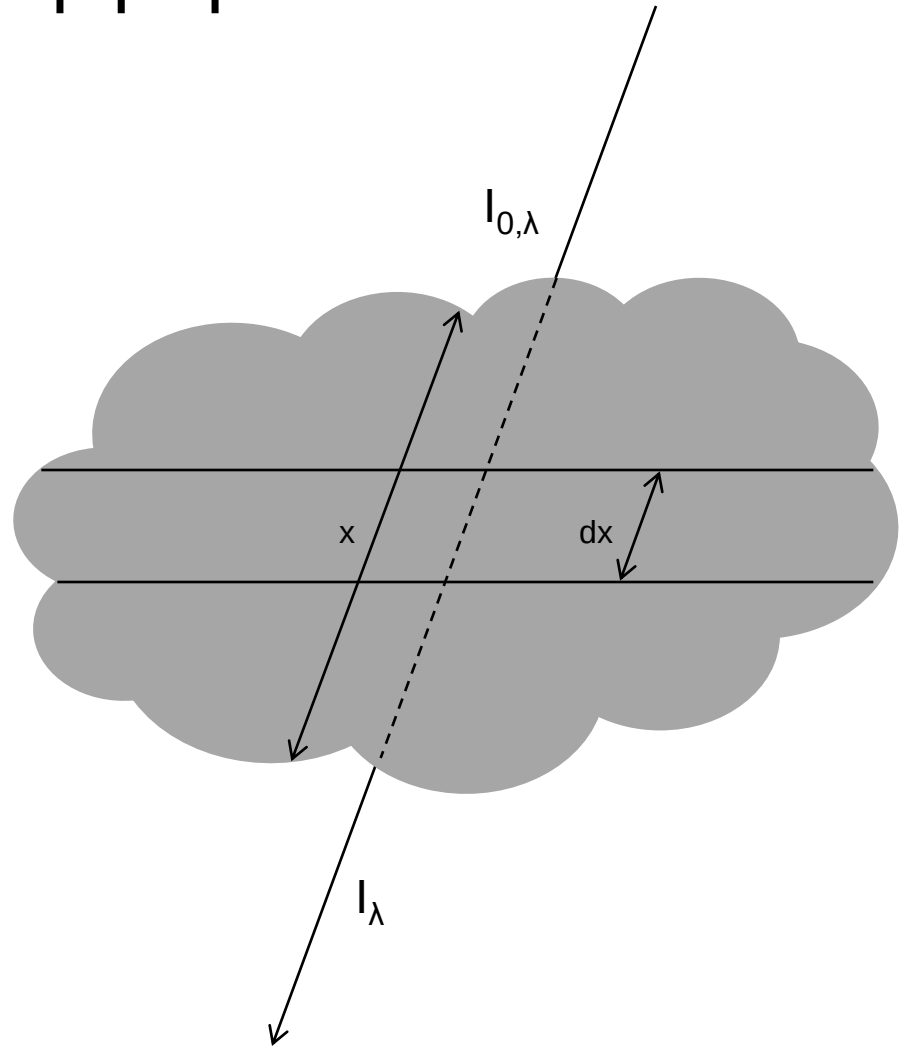
Η επίδραση των ρευμάτων αέρα στην ποιότητα των αστρικών ειδώλων



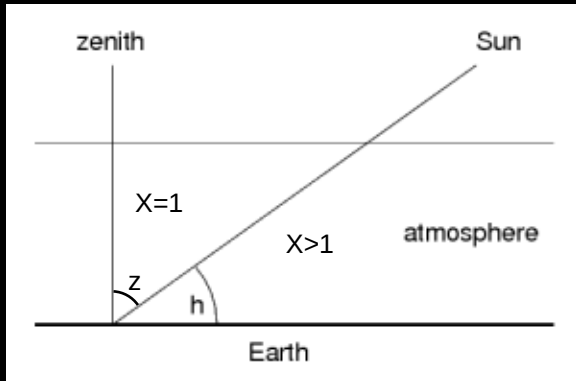
- α) θερμό ρεύμα αέρα από το τηλεσκόπιο
β) εσωτερικά θερμά ρεύματα από το θόλο
γ) τυρβώδης ροή εξωτερικού αέρα λόγω του θόλου
δ) κίνηση αερίων μαζών από το τοπικό ανάγλυφο γύρω από το αστεροσκοπείο
ε) ατμοσφαιρική διαταραχή από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας

Ατμοσφαιρική απορρόφηση

$$I_{\lambda} = I_{0,\lambda} e^{-\kappa_{\lambda} \rho x}$$

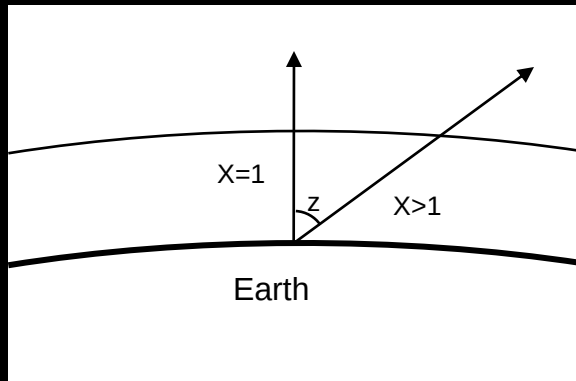


Αέρια Μάζα - Air Mass



$$\sin(h) = \cos(90 - h) = \cos(z) = \frac{1}{X}$$

$$X = \frac{1}{\cos(z)} = \sec(z)$$



$$X = \sec(z)$$

$$-0.0018167[\sec(z) - 1]$$

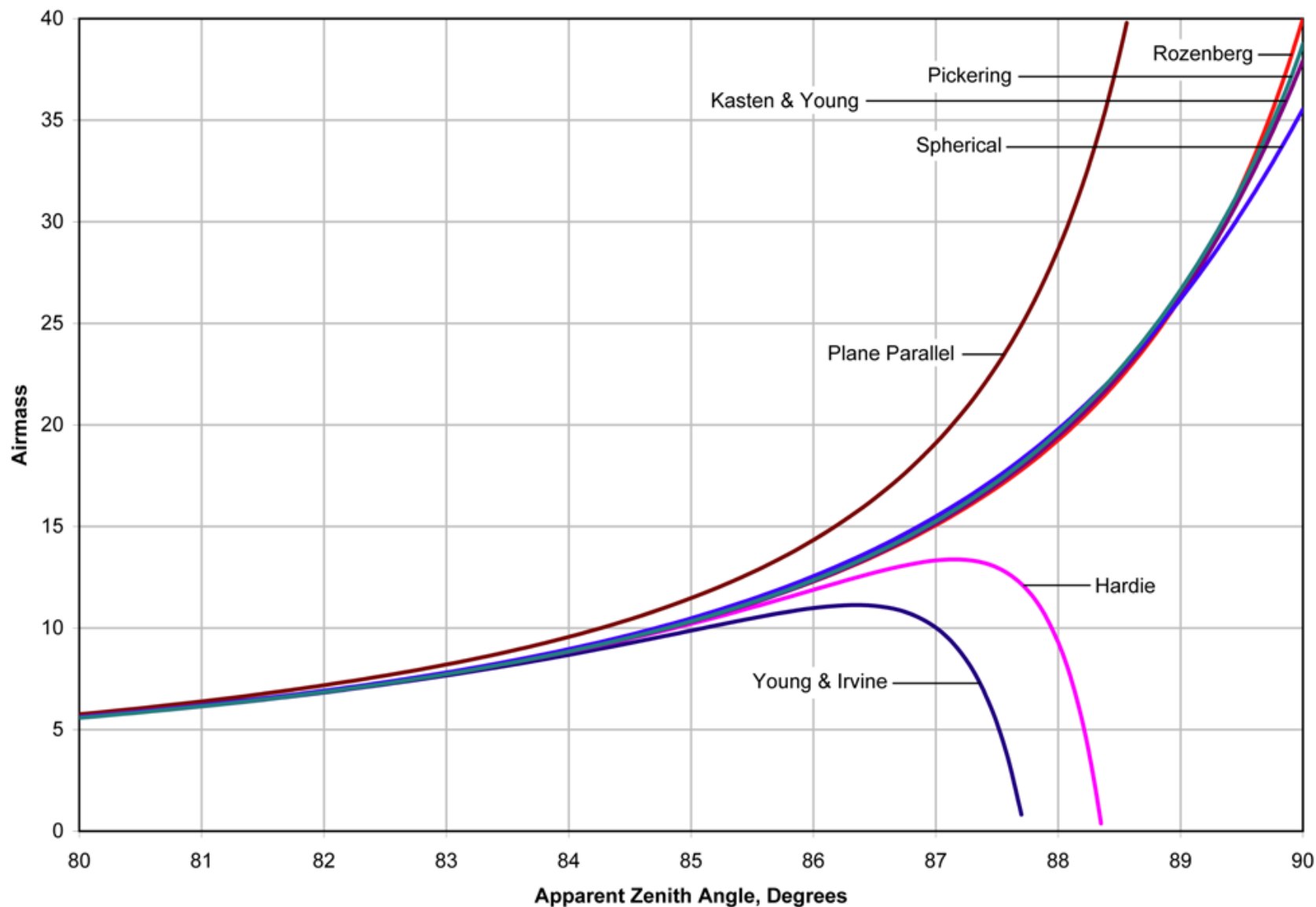
$$-0.0028750[\sec(z) - 1]^2$$

$$-0.0008083[\sec(z) - 1]^3 \dots$$

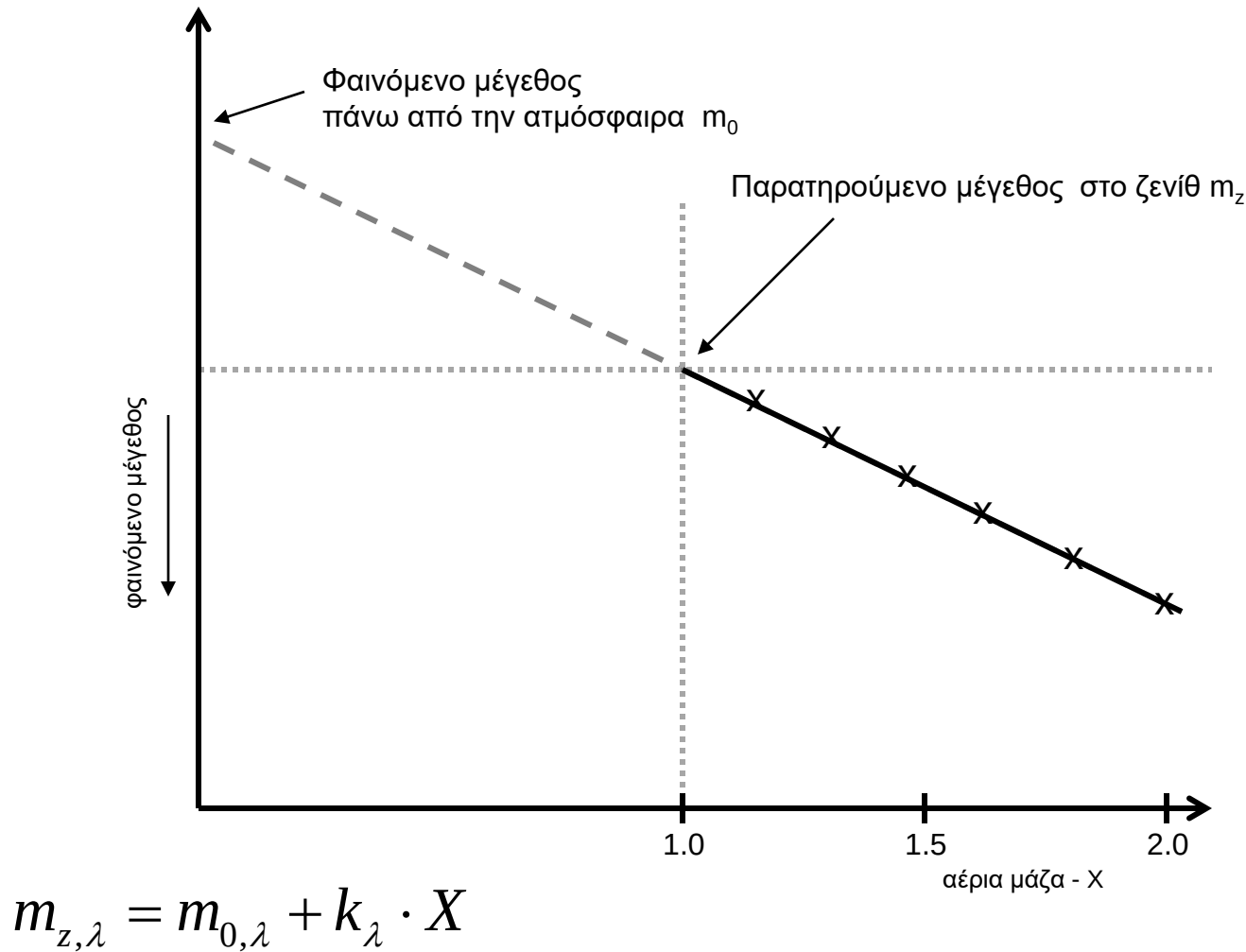
Hardie (1962)

Οι τιμές της αέριας μάζας είναι πάντα μεγαλύτερες της μονάδας

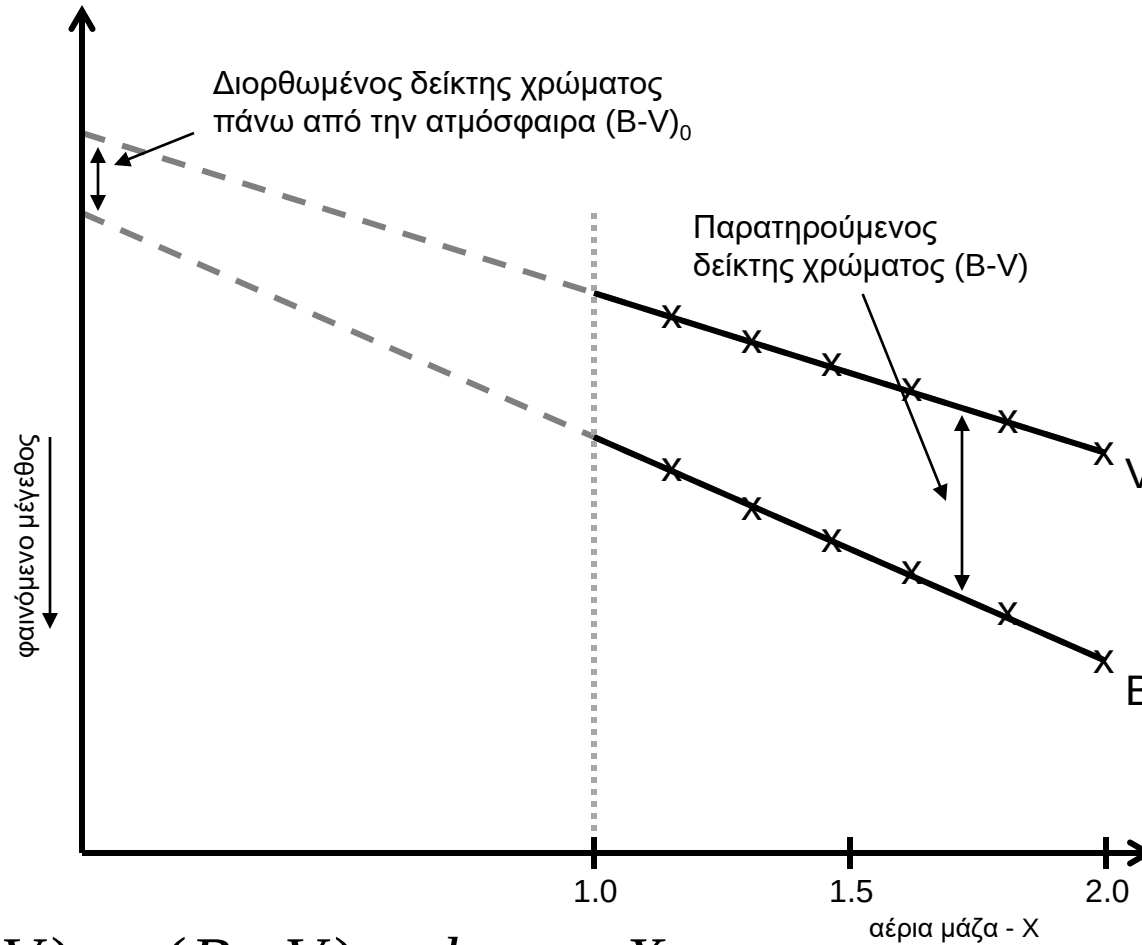
Μαθηματικά μοντέλα για την αέρια μάζα



Μεταβολή του φαινόμενου αστρικού μεγέθους με την αέρια μάζα



Παρατηρούμενος και διορθωμένος δείκτης χρώματος



$$(B-V)_z = (B-V)_0 + k_{(B-V)} \cdot X$$

Φωτομετρικές διορθώσεις

α' τάξης (ατμοσφαιρικής εξασθένισης)

$$m_{z,\lambda} = m_{0,\lambda} + k_{\lambda} \cdot X$$

$$m = m_0 + k' \cdot X$$

β' τάξης (χρωματικής εκτροπής)

$$(B-V)_z = (B-V)_0 + k_{(B-V)} \cdot X$$

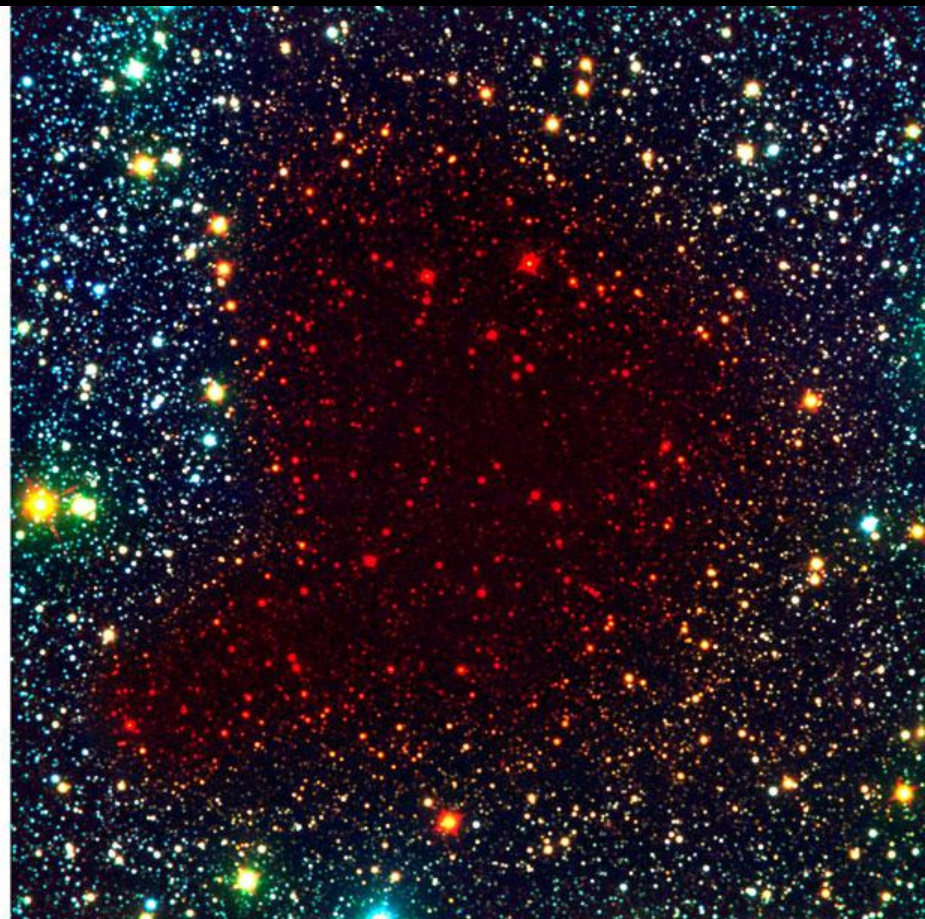
$$C = C_0 + k'' \cdot X$$

Παρατήρηση στα οπτικά και υπέρυθρα μήκη κύματος



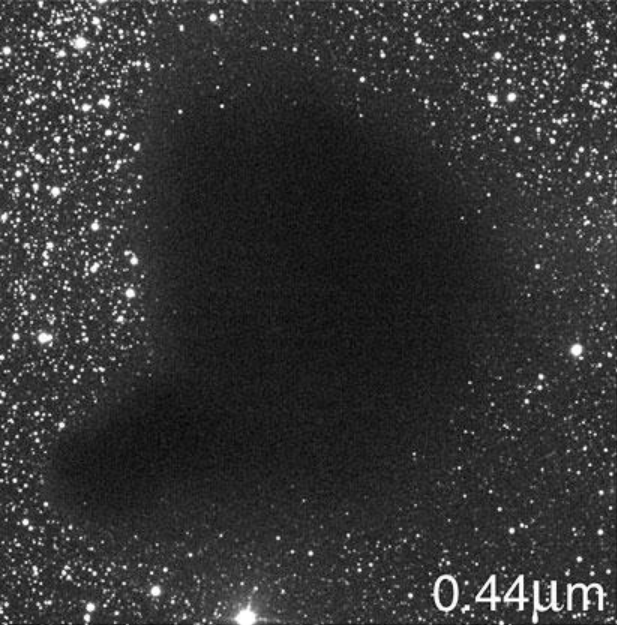
B, V, I

Barnard 68

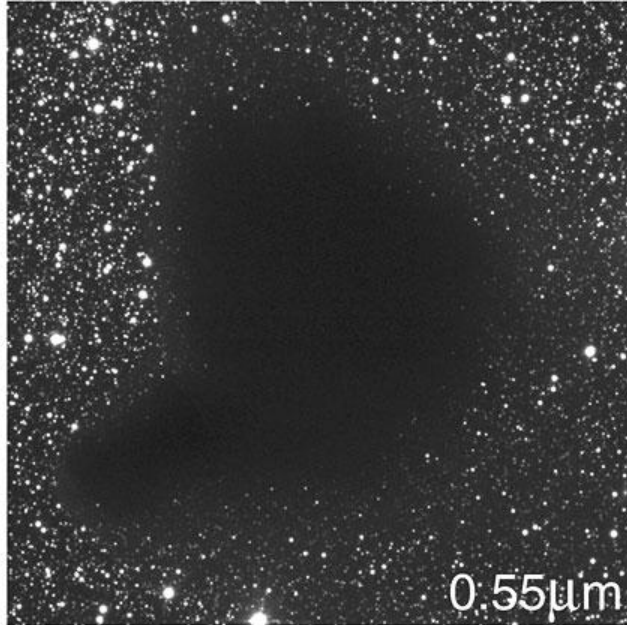


B, I, K

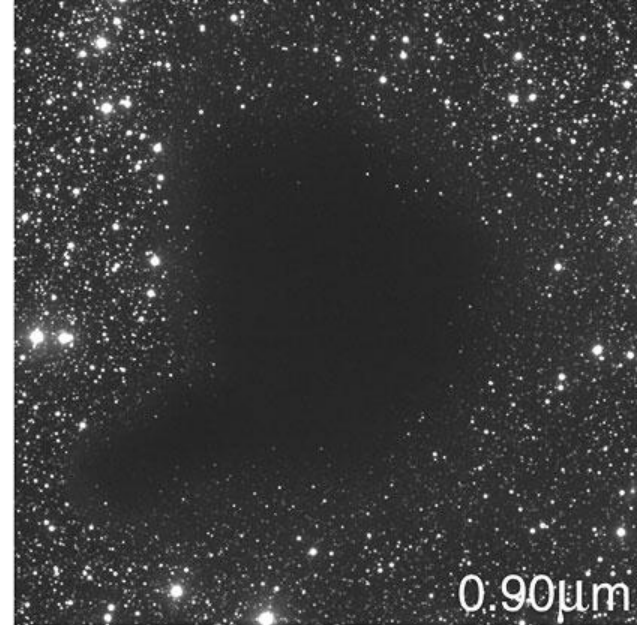
Credits: ESO



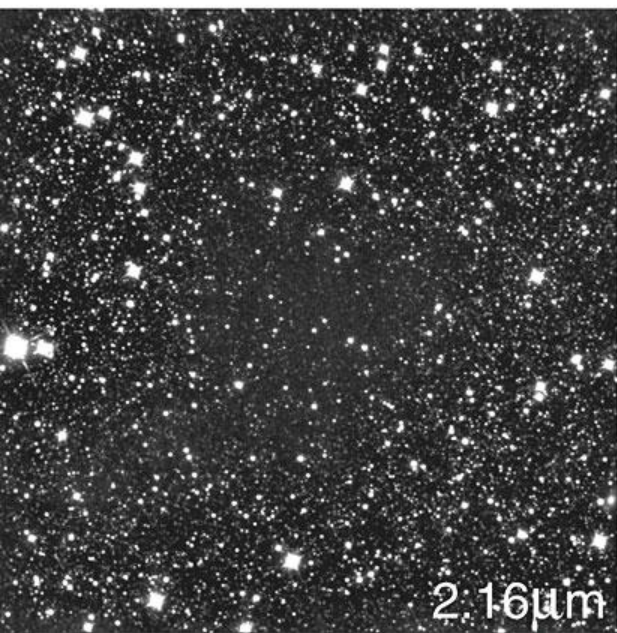
0.44 μ m



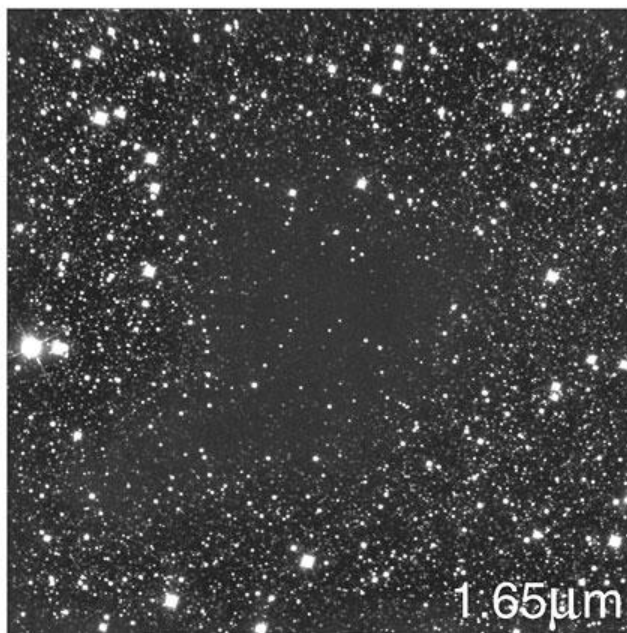
0.55 μ m



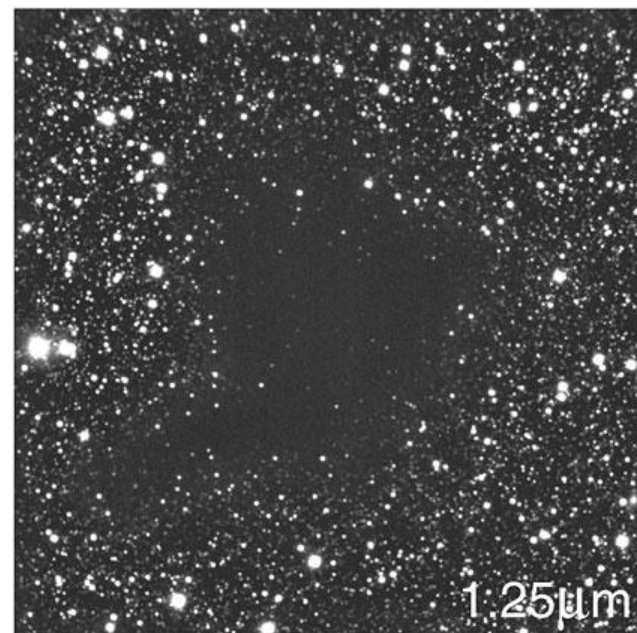
0.90 μ m



2.16 μ m



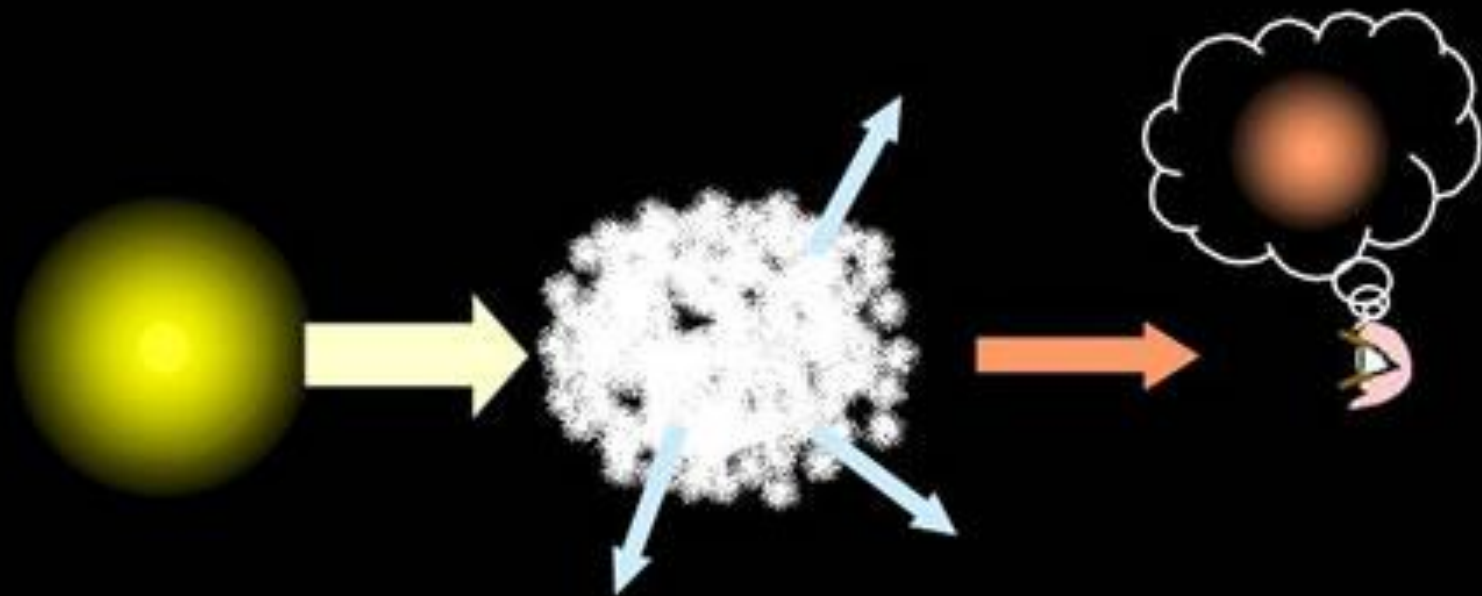
1.65 μ m



1.25 μ m

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

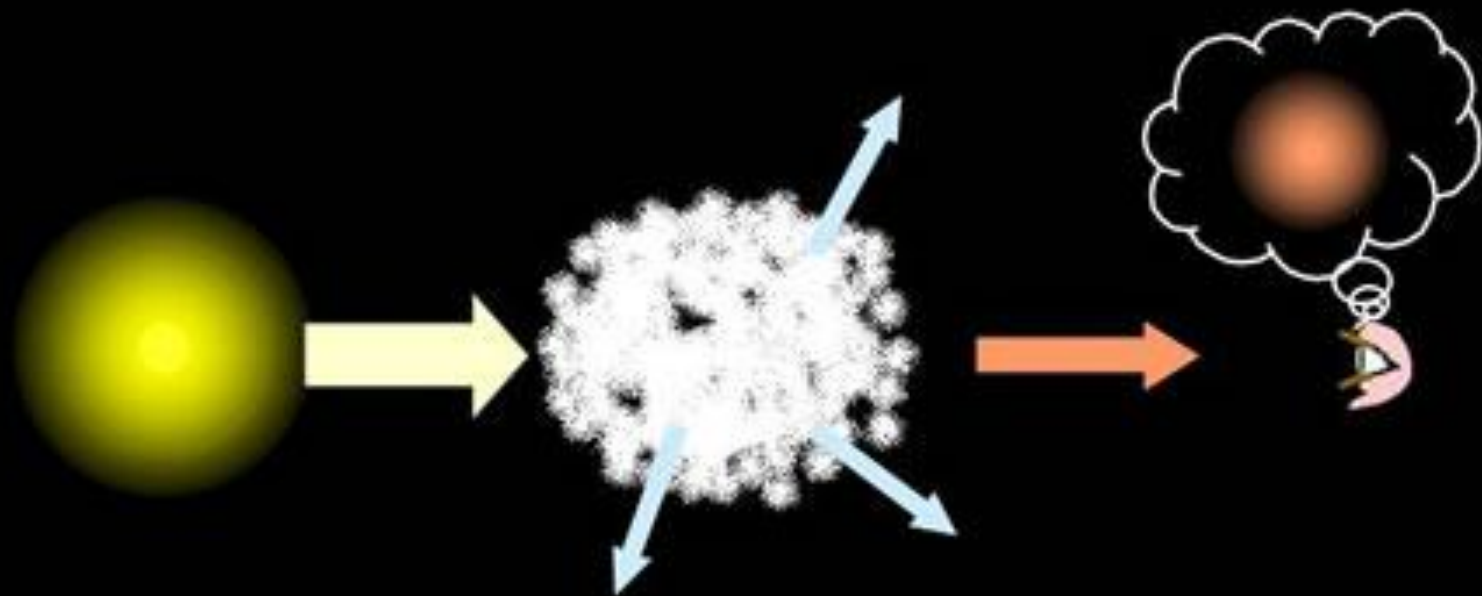
Μεσοαστρική απορρόφηση



Τα ουράνια σώματα φαίνονται πιο **αμυδρά** από ό,τι είναι στην πραγματικότητα

$$m - M = 5 \cdot \log r - 5 + A_v$$

Μεσοαστρική απορρόφηση



Τα ουράνια σώματα φαίνονται πιο **ερυθρά** από ό,τι είναι στην πραγματικότητα

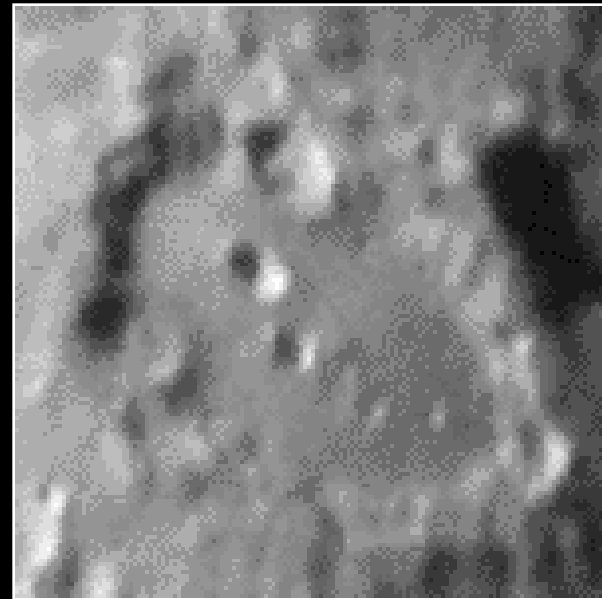
$$E(B-V) = (B-V)_{\text{observed}} - (B-V)_{\text{intrinsic}}$$

Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή



Μικρό τηλεσκόπιο (< 10 cm)

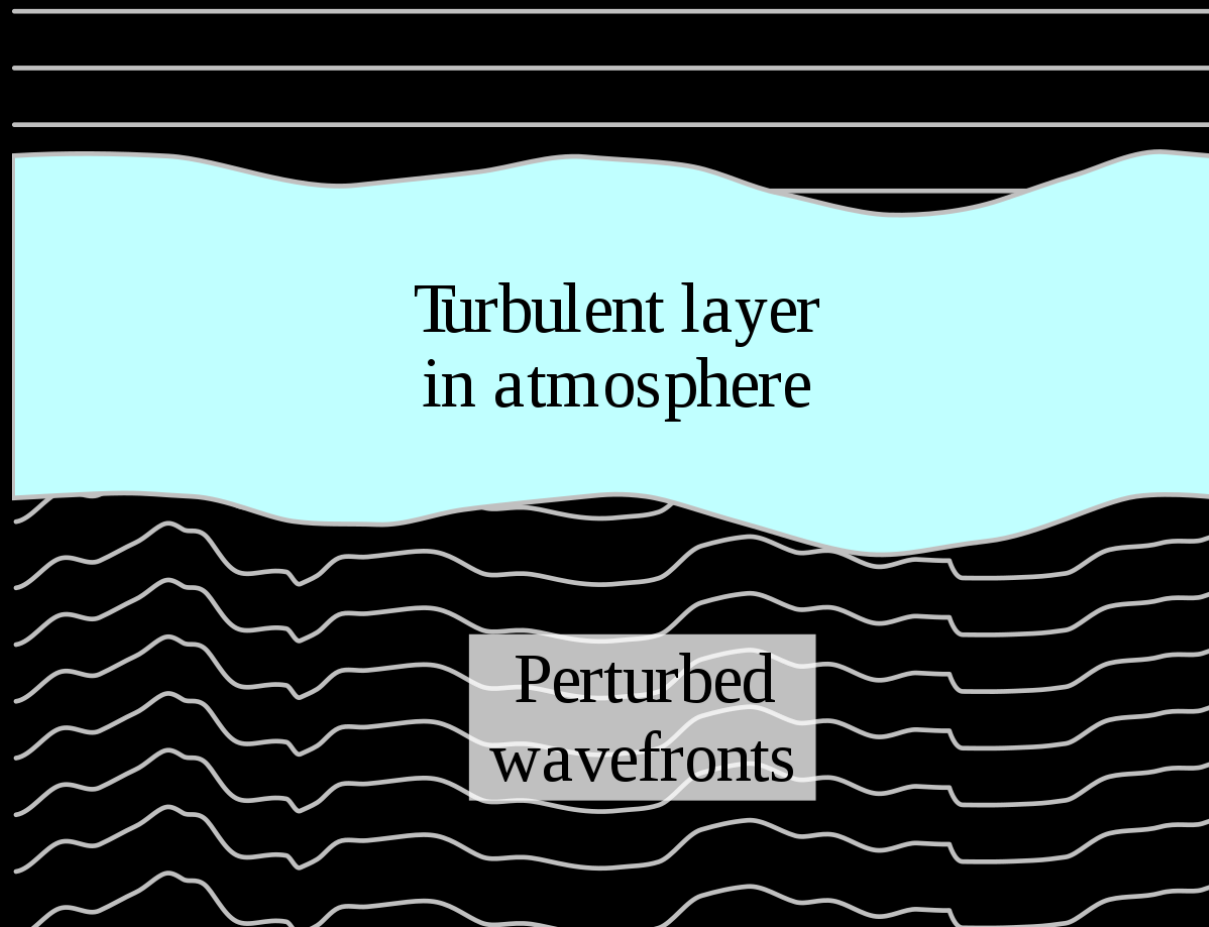
Επικρατεί η άτακτη κίνηση του ειδώλου



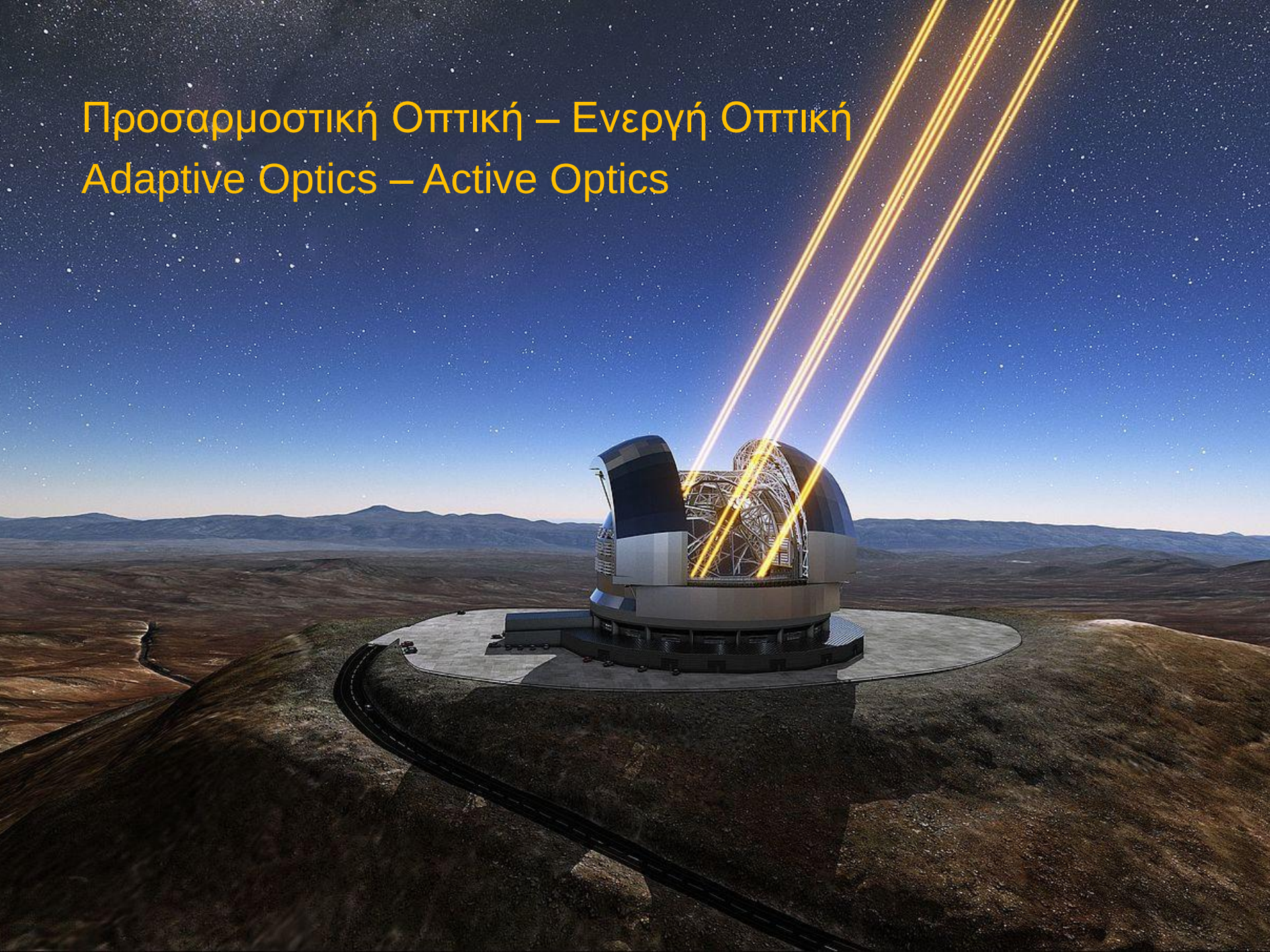
Μεγάλο τηλεσκόπιο (> 40 cm)

Επικρατεί η διάχυση/αναβρασμός του ειδώλου
Γίνεται άθροιση όλων των φαινομένων

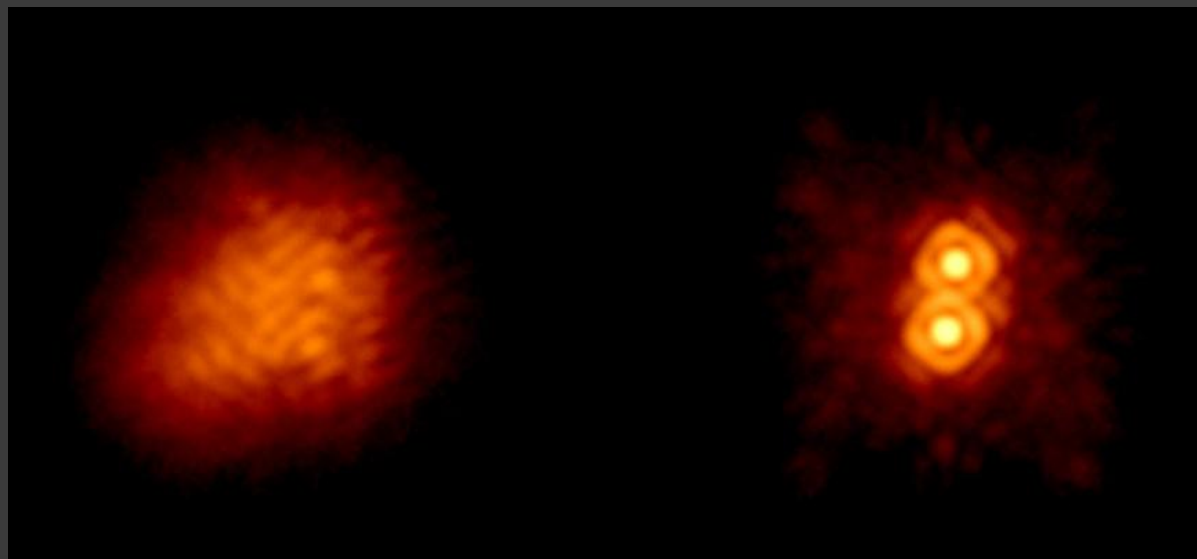
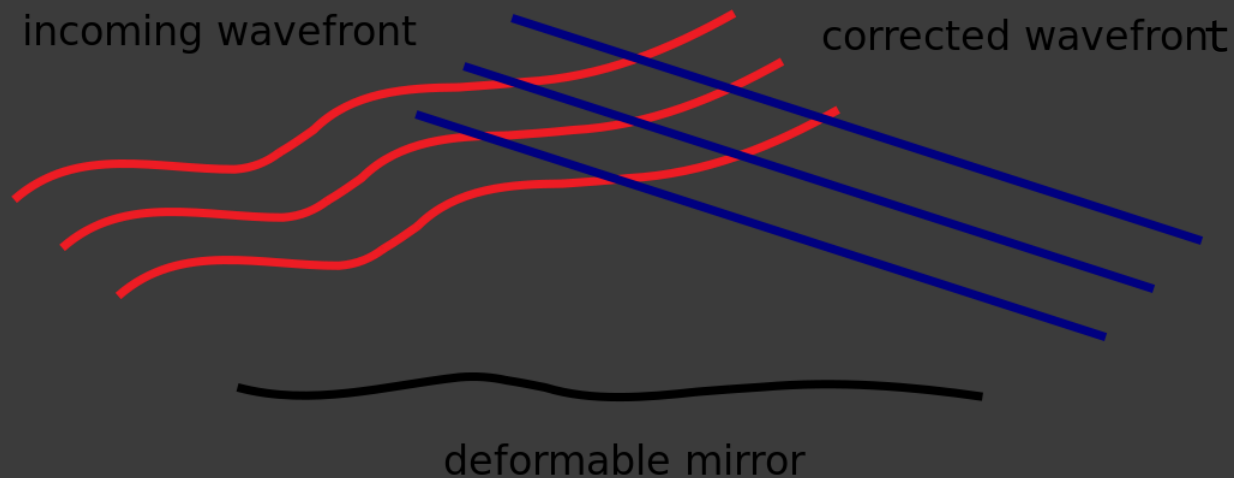
Ατμοσφαιρική τύρβη / Ατμοσφαιρική διαταραχή



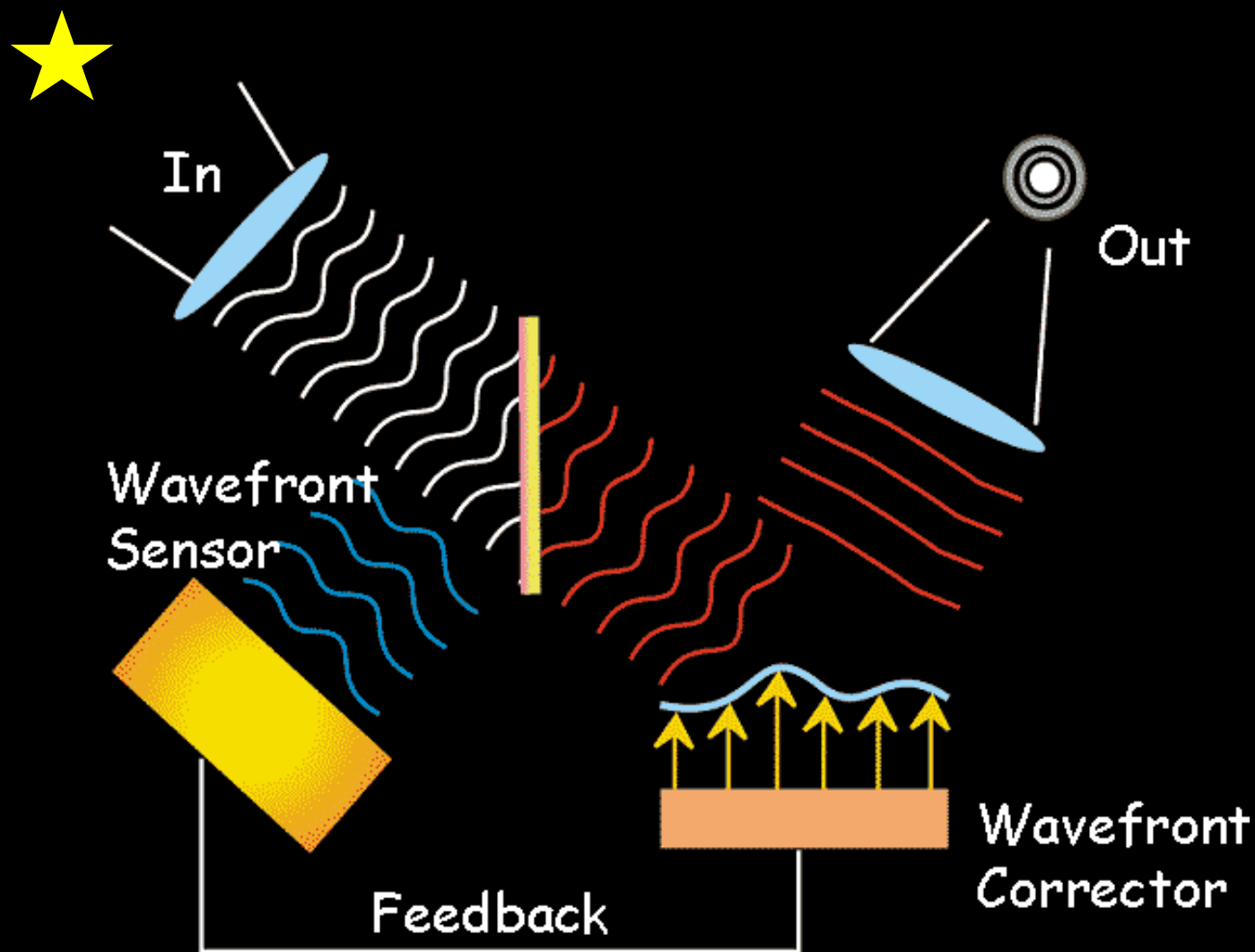
Προσαρμοστική Οπτική – Ενεργή Οπτική Adaptive Optics – Active Optics



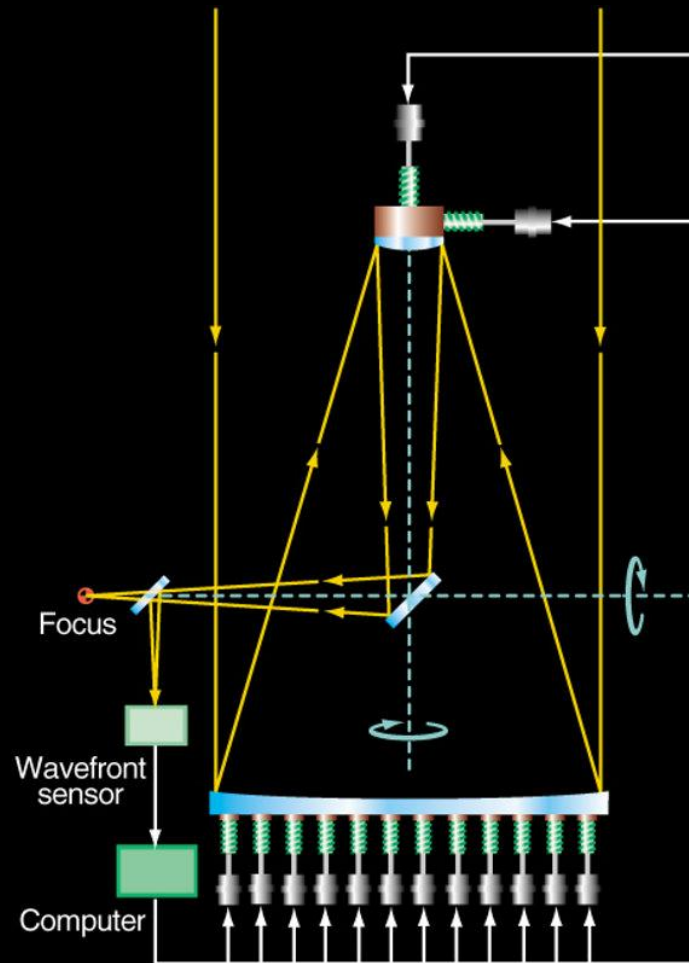
Διόρθωση του παρατηρούμενου μετώπου κύματος



Διόρθωση του παρατηρούμενου μετώπου κύματος

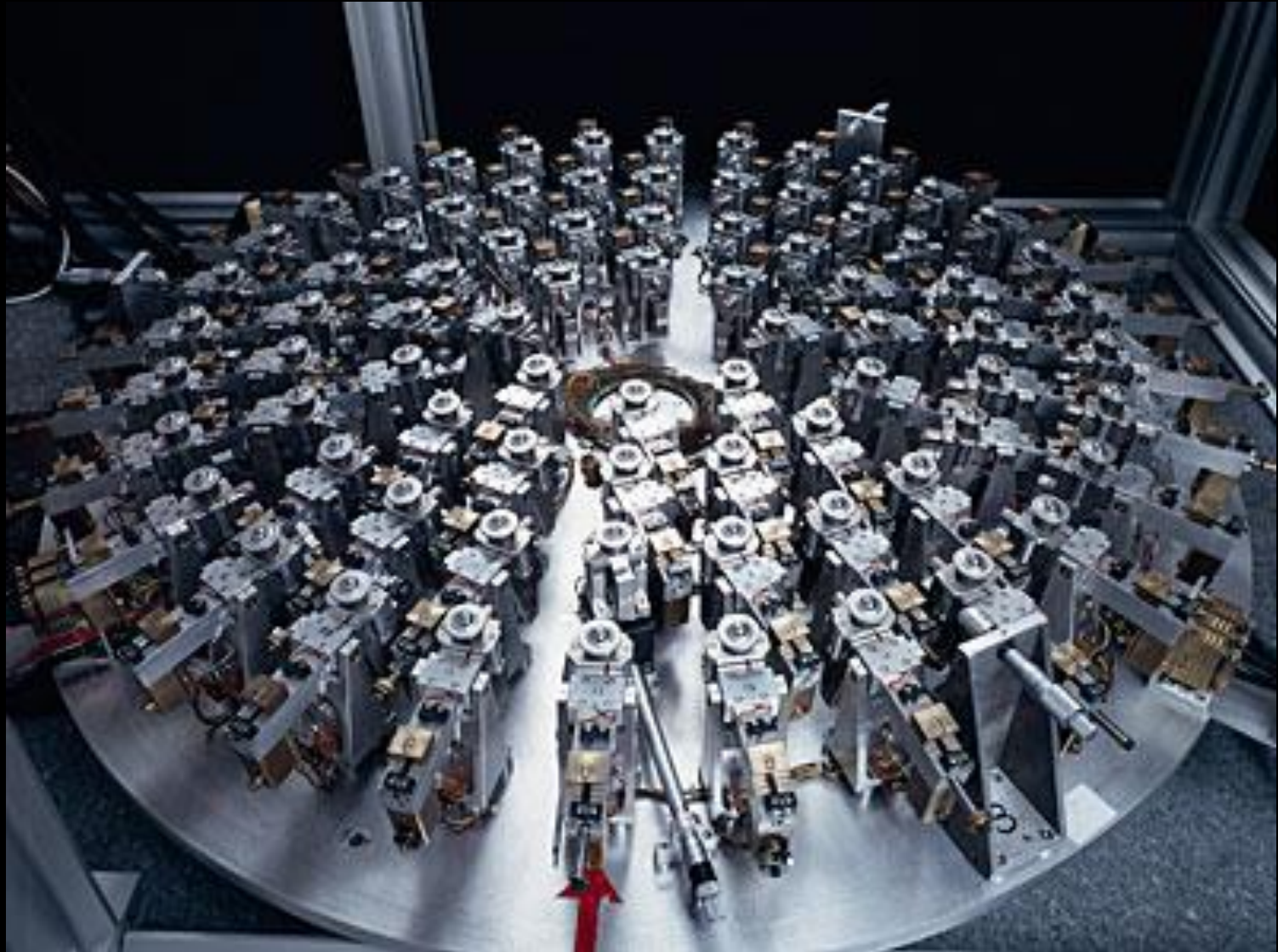


Ενεργή Οπτική (Active Optics)

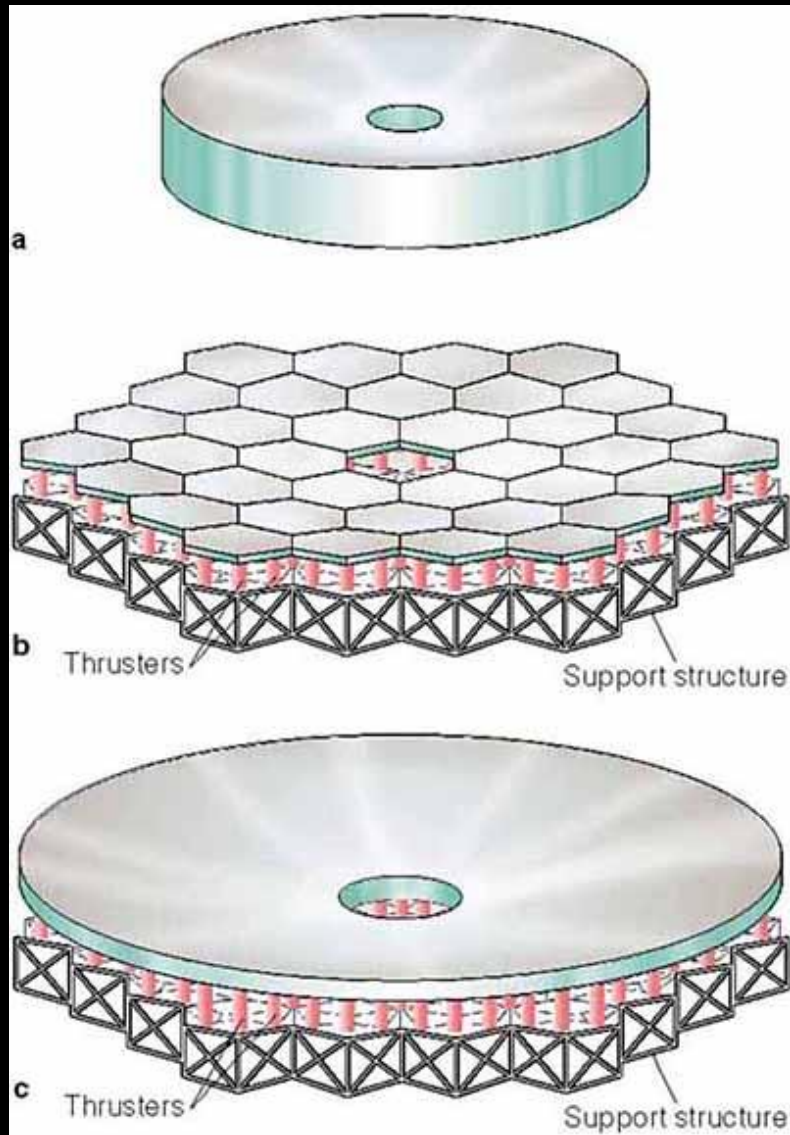


Στην ενεργή οπτική το πρωτεύον κάτοπτρο του τηλεσκοπίου μορφοποιείται αναλόγως με το μέτωπο κύματος, κατευθύνοντας την ακτινοβολία σε ένα σημείο (εστία).

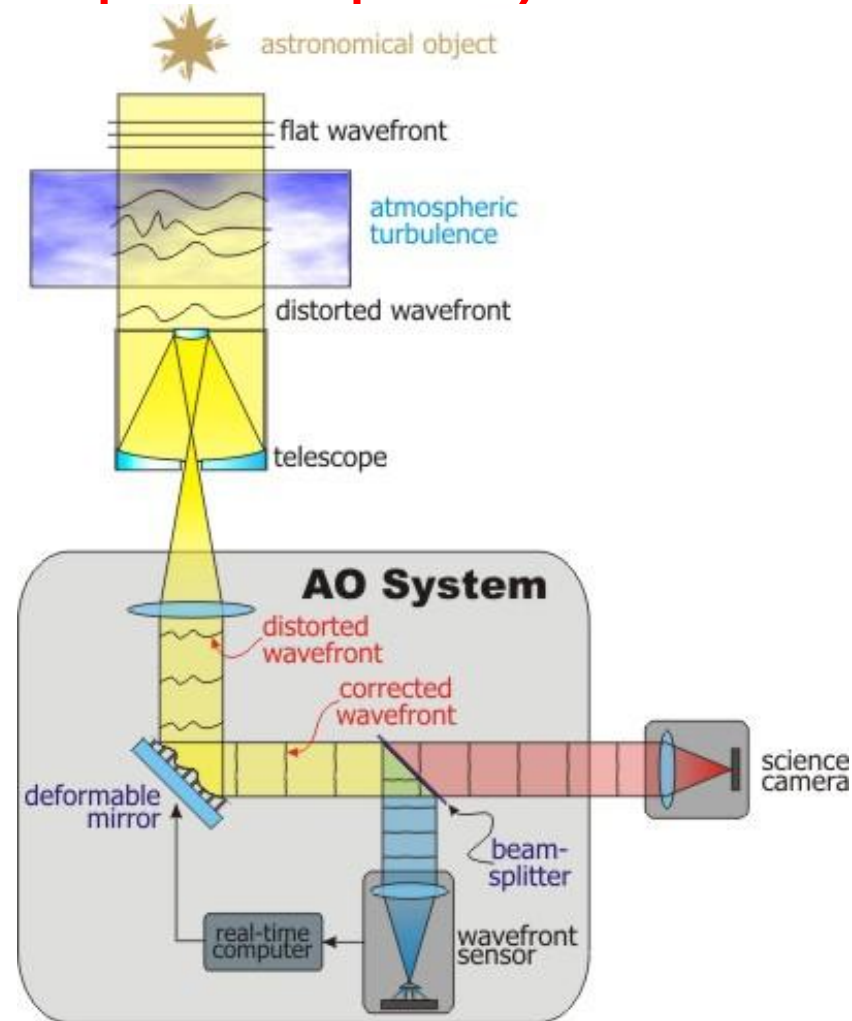
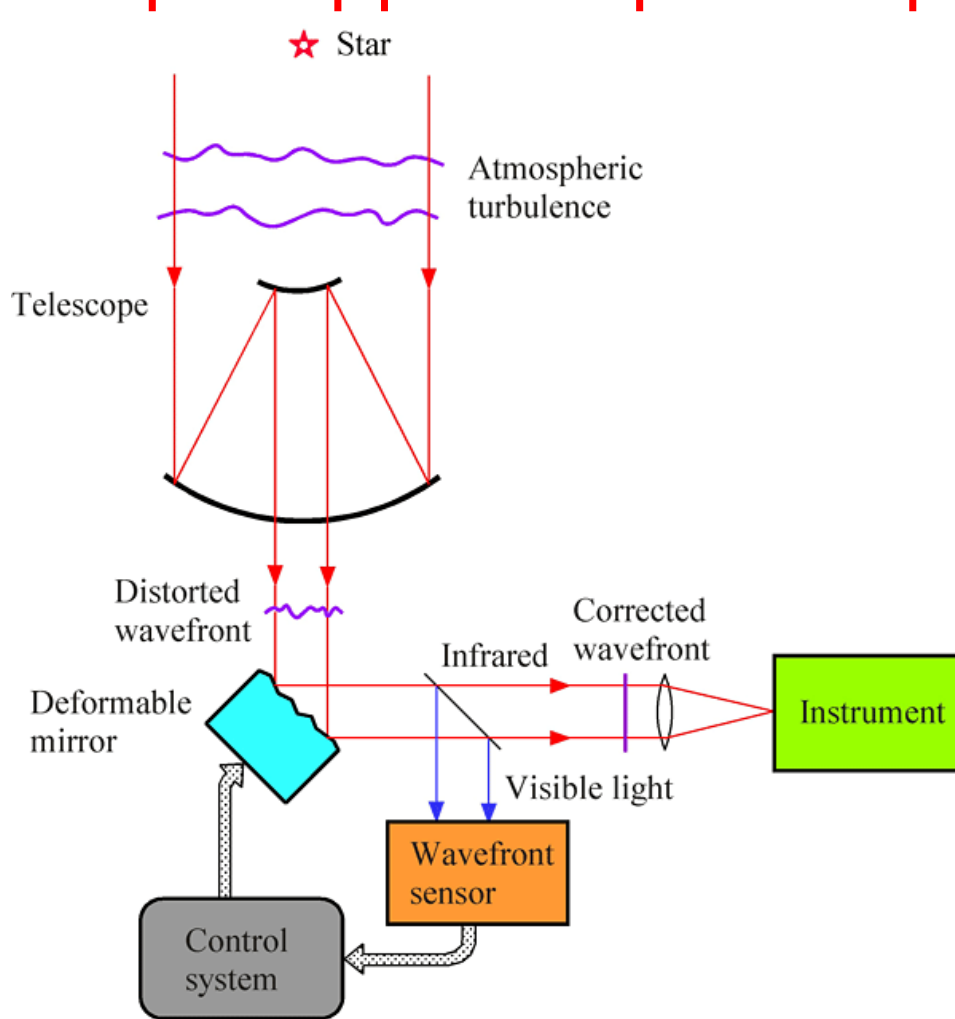
Ενεργή Οπτική (Active Optics)



Ενεργή Οπτική - (Active Optics)



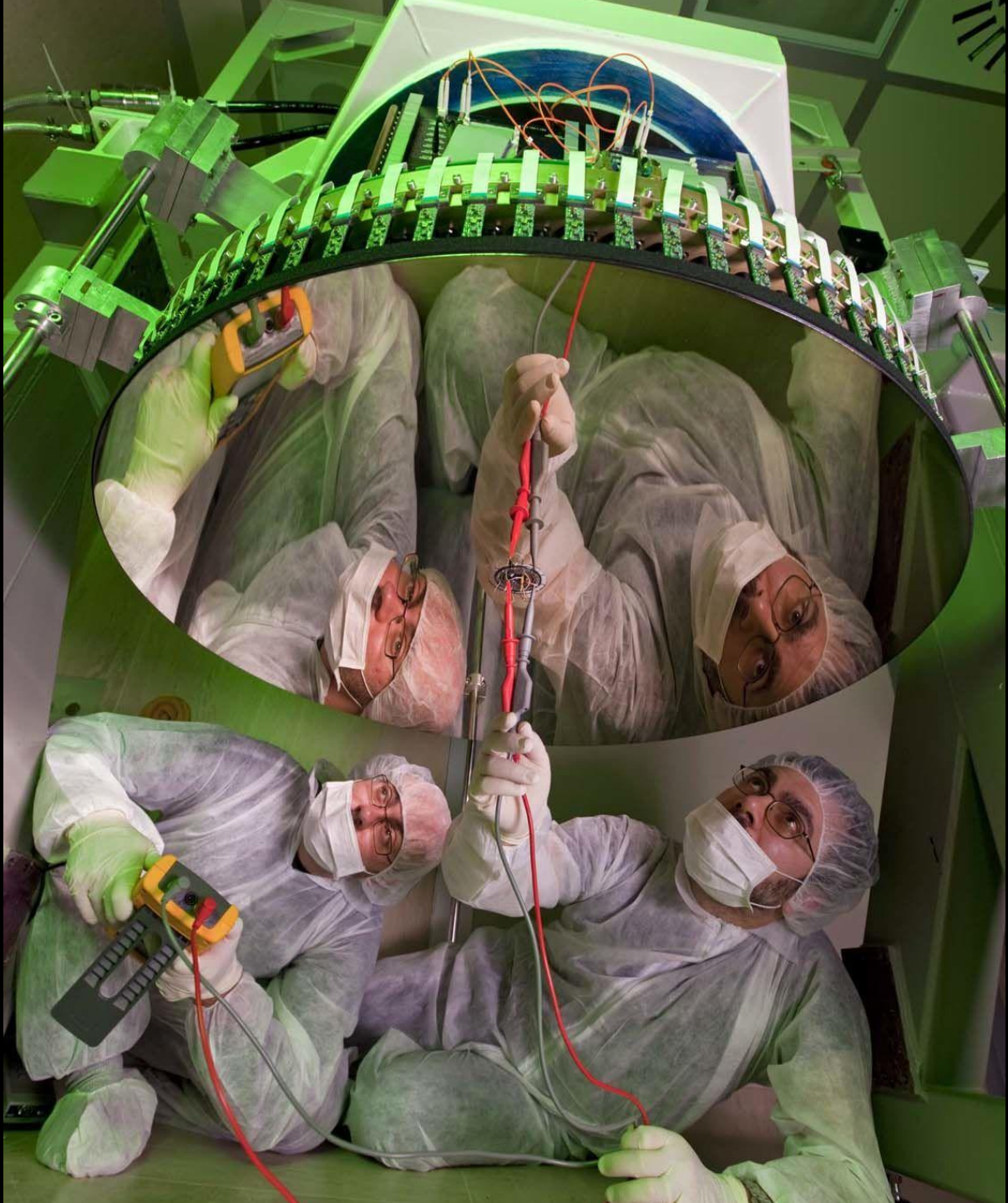
Προσαρμοστική Οπτική (Adaptive Optics)



Στην προσαρμοστική οπτική ένα δευτερεύον κάτοπτρο μορφοποιείται αναλόγως με το μέτωπο κύματος, κατευθύνοντας την ακτινοβολία σε ένα σημείο (εστία).

Προσαρμοστική Οπτική (Adaptive Optics)







Οπτικό αποτέλεσμα με σύστημα ΑΟ

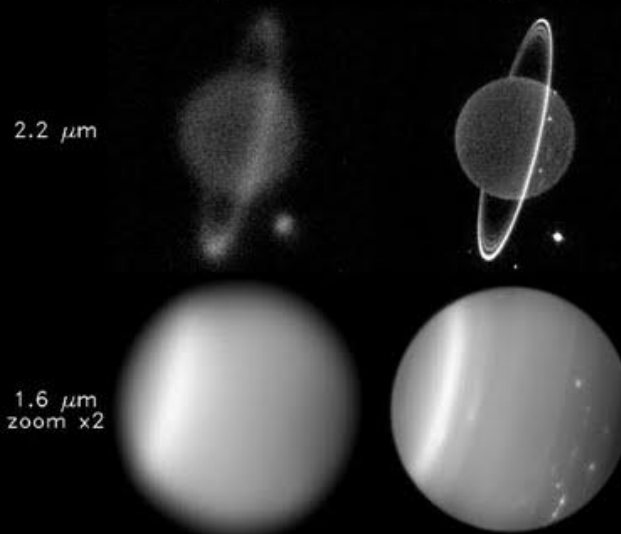


απενεργοποιημένο



ενεργοποιημένο

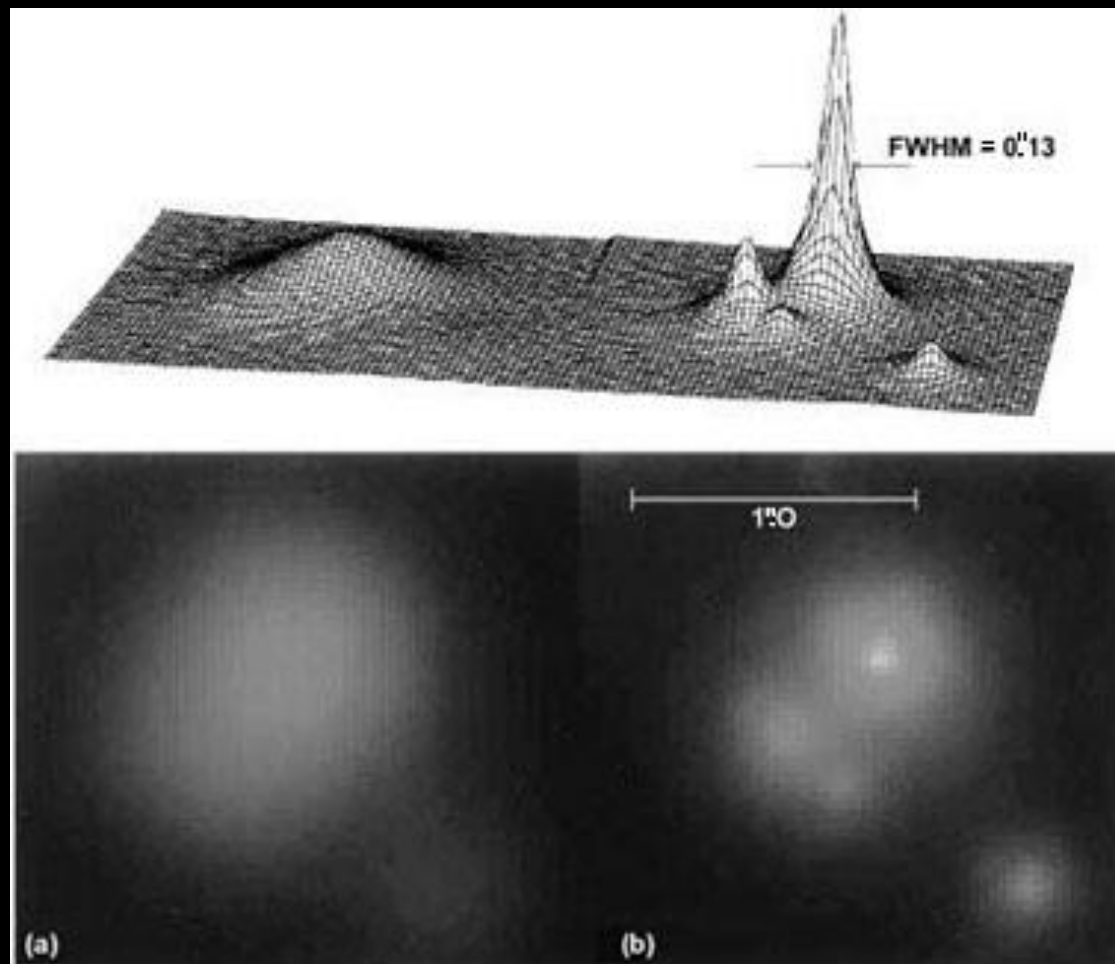
Οπτικό αποτέλεσμα με σύστημα ΑΟ



απενεργοποιημένο

ενεργοποιημένο

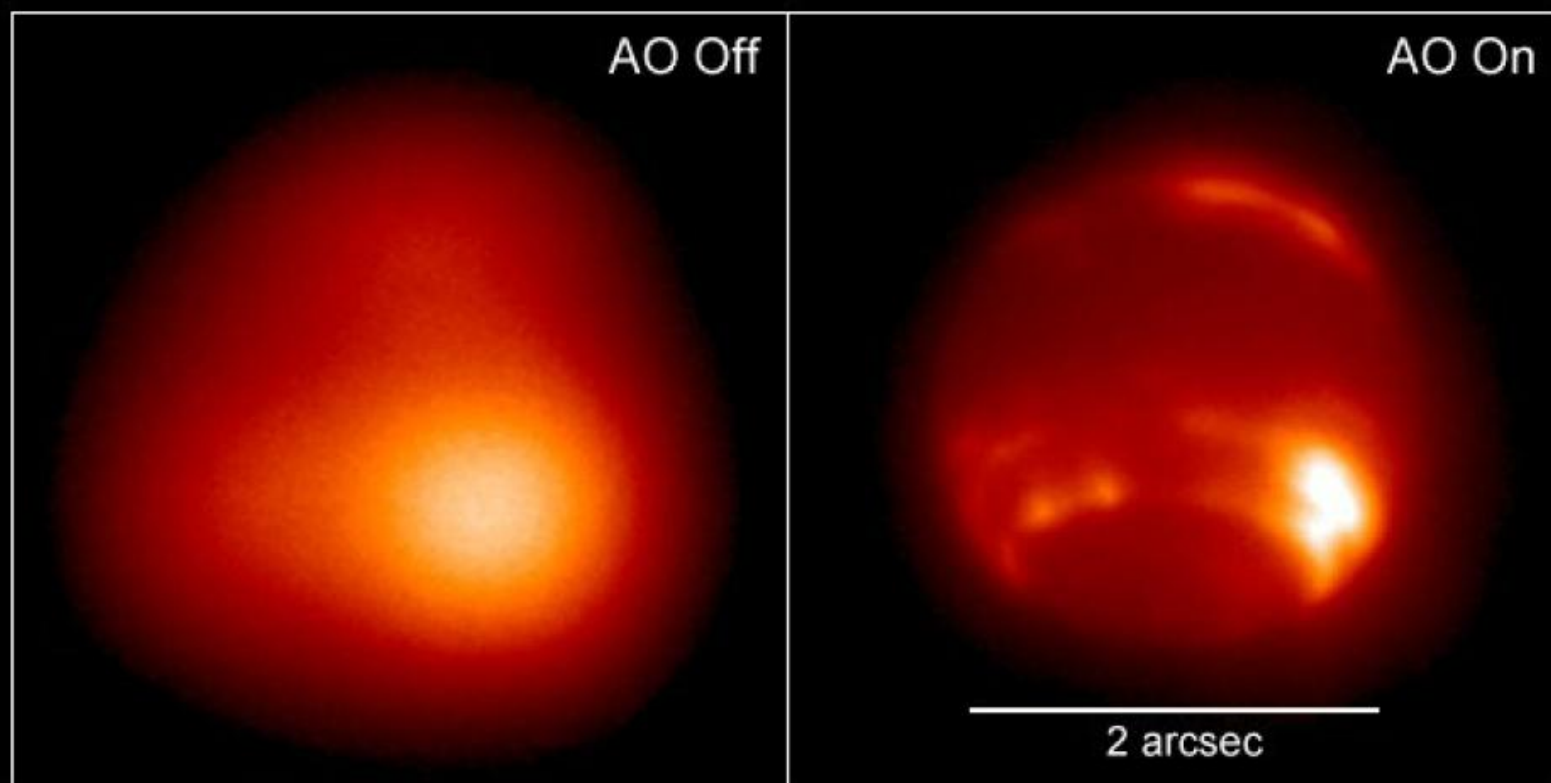
Οπτικό αποτέλεσμα με σύστημα ΑΟ



απενεργοποιημένο

ενεργοποιημένο

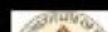
Παράδειγμα προσαρμοστικών οπτικών



Neptune

Wavelength = $1.2\mu\text{m}$
1999 August 29.232 UTC

Palomar Adaptive Optics System

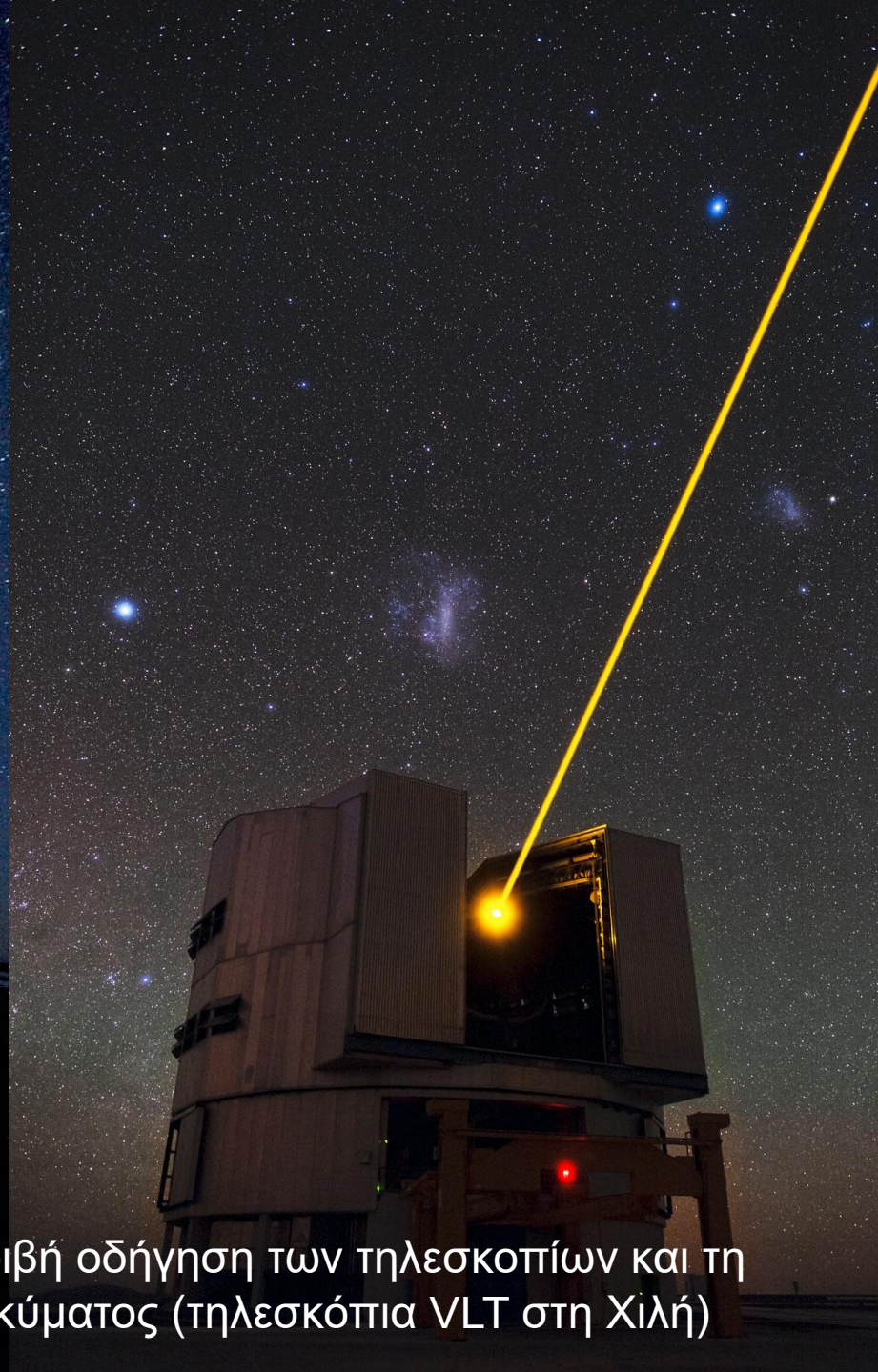
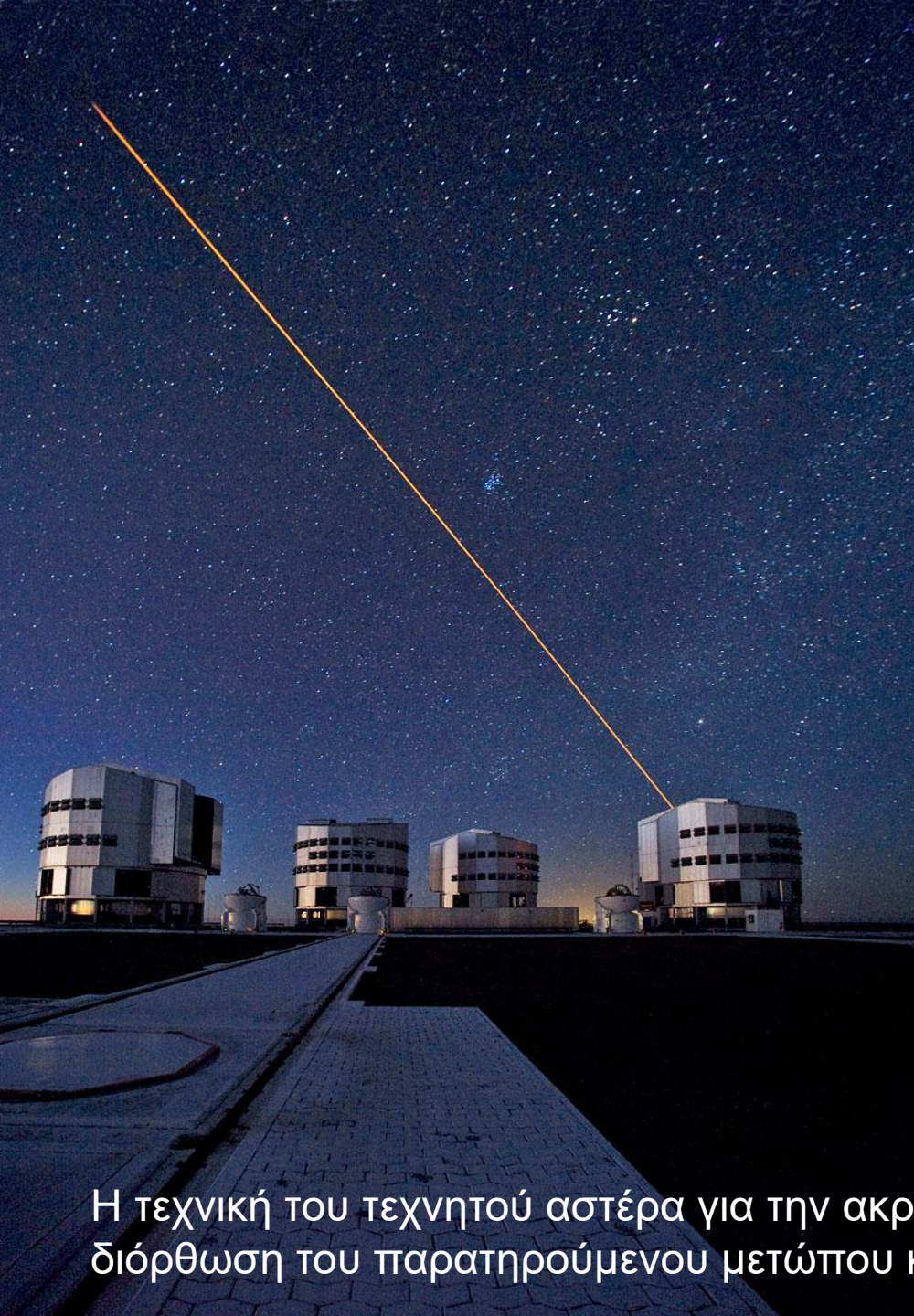


PHARO Infrared Camera

Προσαρμοστική Οπτική (Adaptive Optics)



Τα τέσσερα 8.2 m τηλεσκόπια του Very Large Telescope (VLT) στη Χιλή

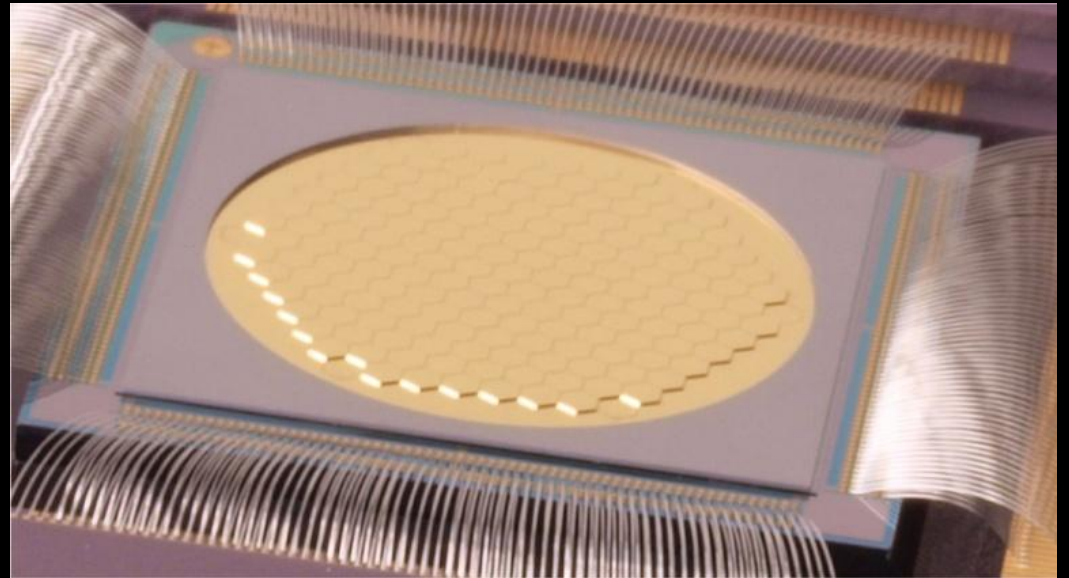
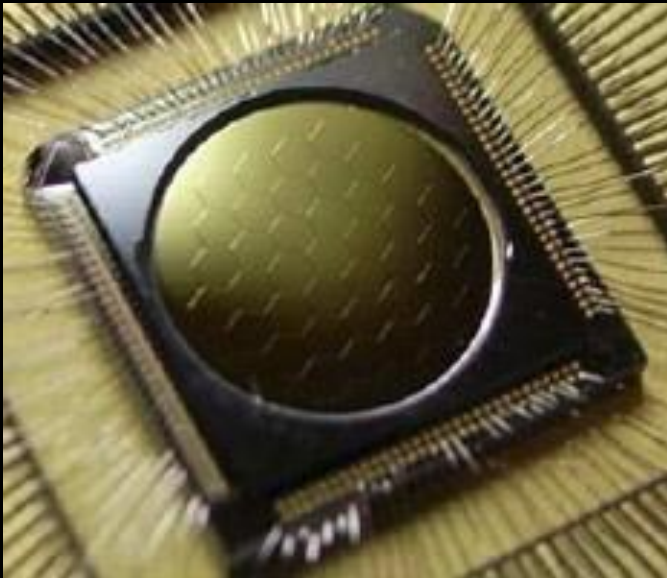


Η τεχνική του τεχνητού αστέρα για την ακριβή οδήγηση των τηλεσκοπίων και τη διόρθωση του παρατηρούμενου μετώπου κύματος (τηλεσκοπία VLT στη Χιλή)



Micro-mirror Adaptive Optics

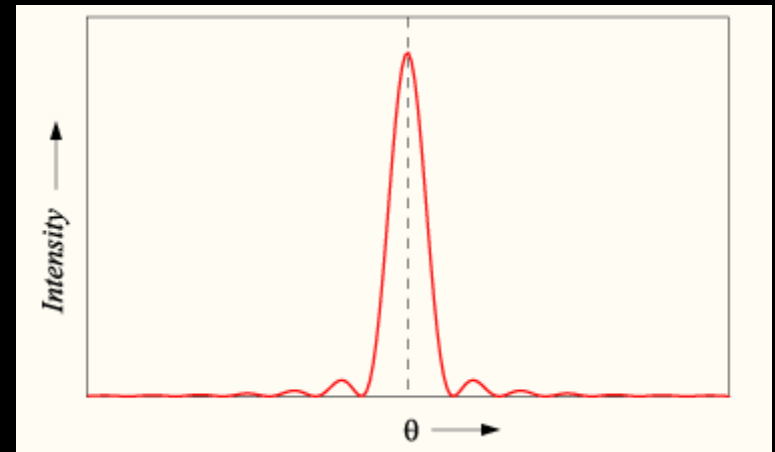
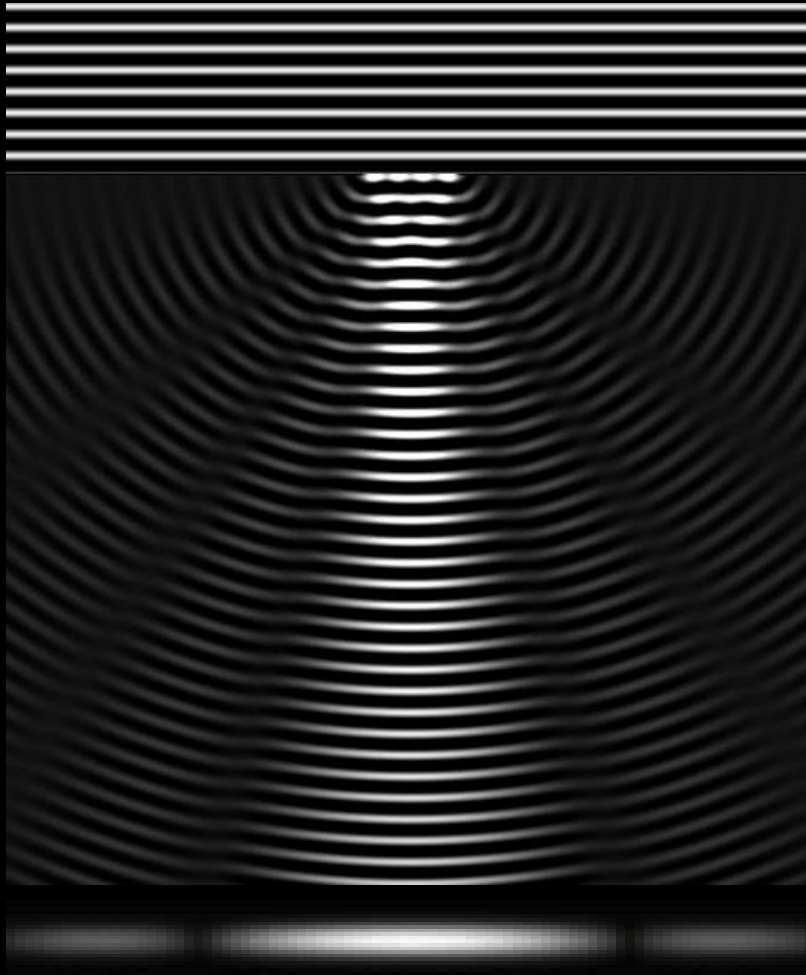
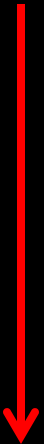
MOEMS: Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems



Περίθλαση του φωτός

Παράλληλο φως προσπίπτει σε επιφάνεια με κυκλικό άνοιγμα

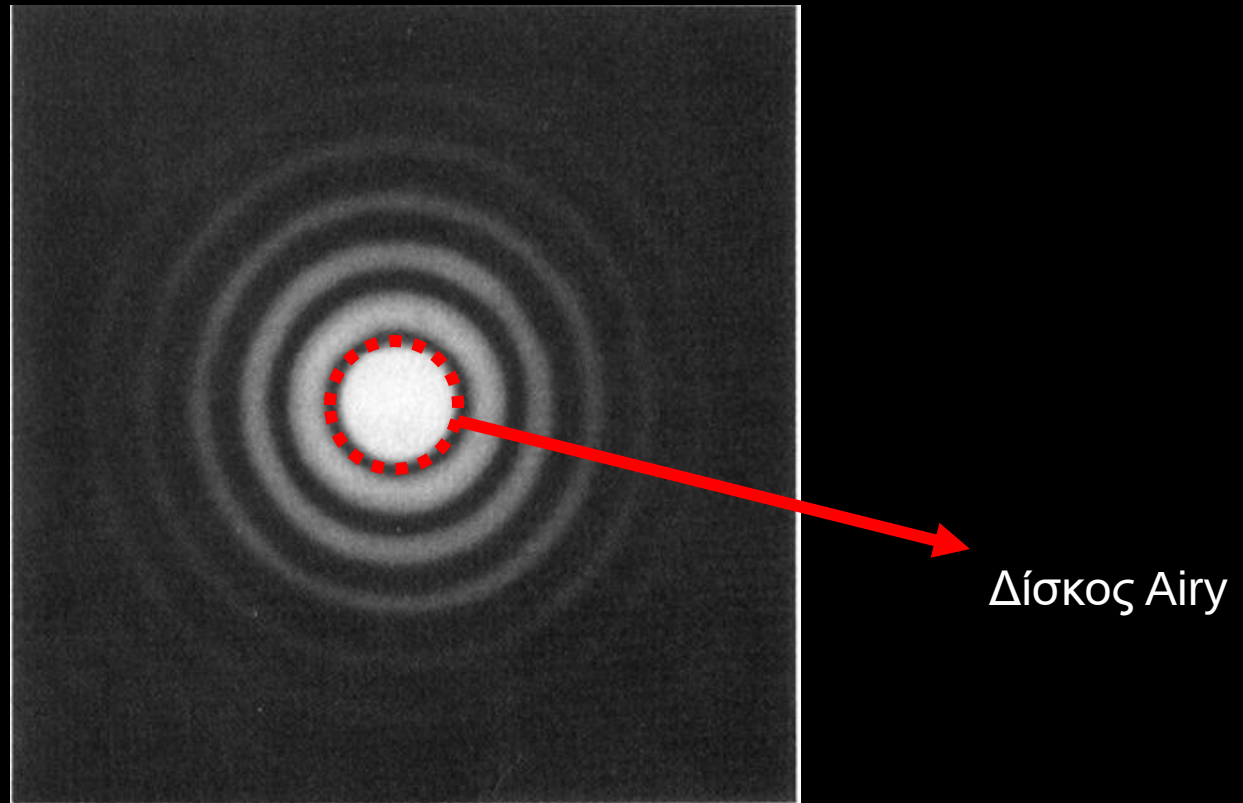
Διεύθυνση διάδοσης



για κυκλικό άνοιγμα:



Δίσκος Airy

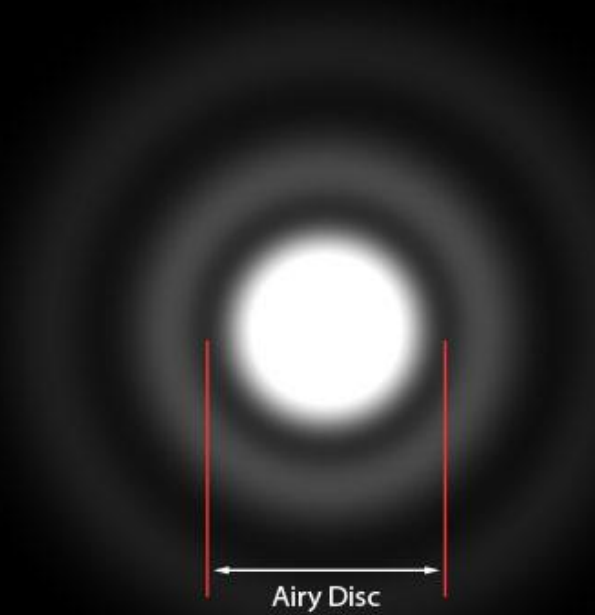


Το κεντρικό τμήμα αντιστοιχεί στη μηδενική τάξη της περίθλασης.
Ο κύκλος αυτός είναι γνωστός ως δίσκος του Airy.

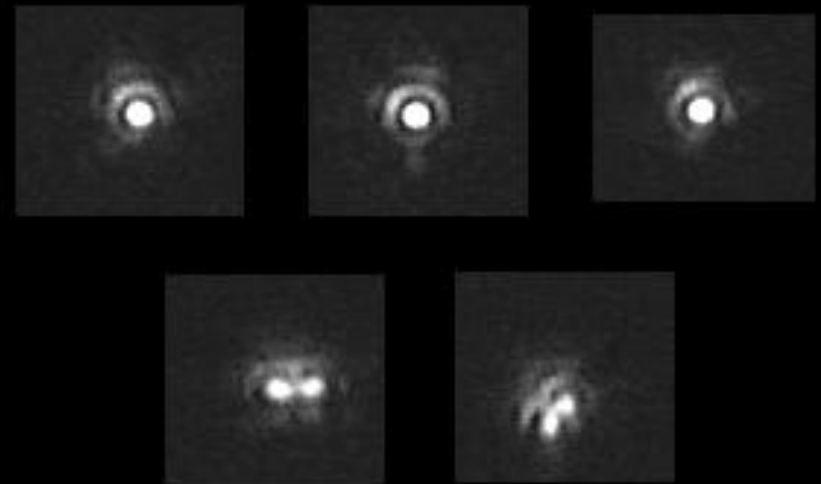
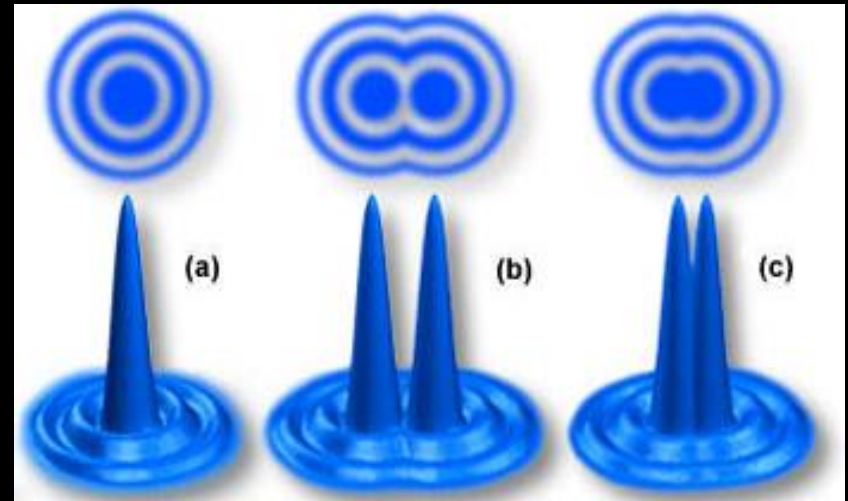
Η γωνία υπό την οποία φαίνεται ο δίσκος Airy από το επίπεδο της οπής είναι

$$\Delta\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$$

Ο δίσκος του Airy

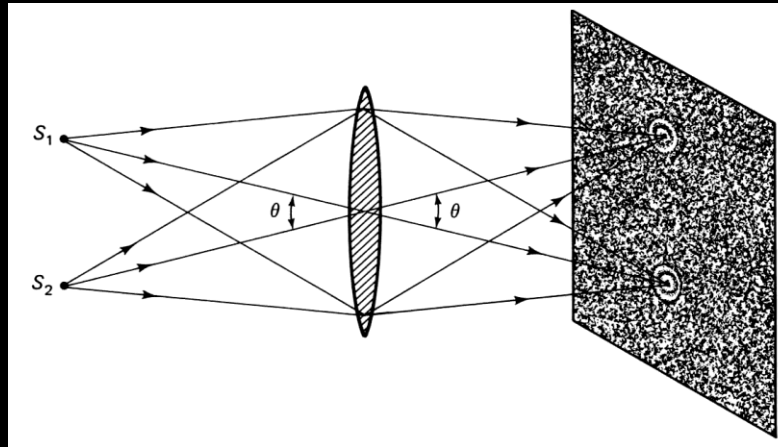


Ιδανική περίπτωση δίσκου Airy

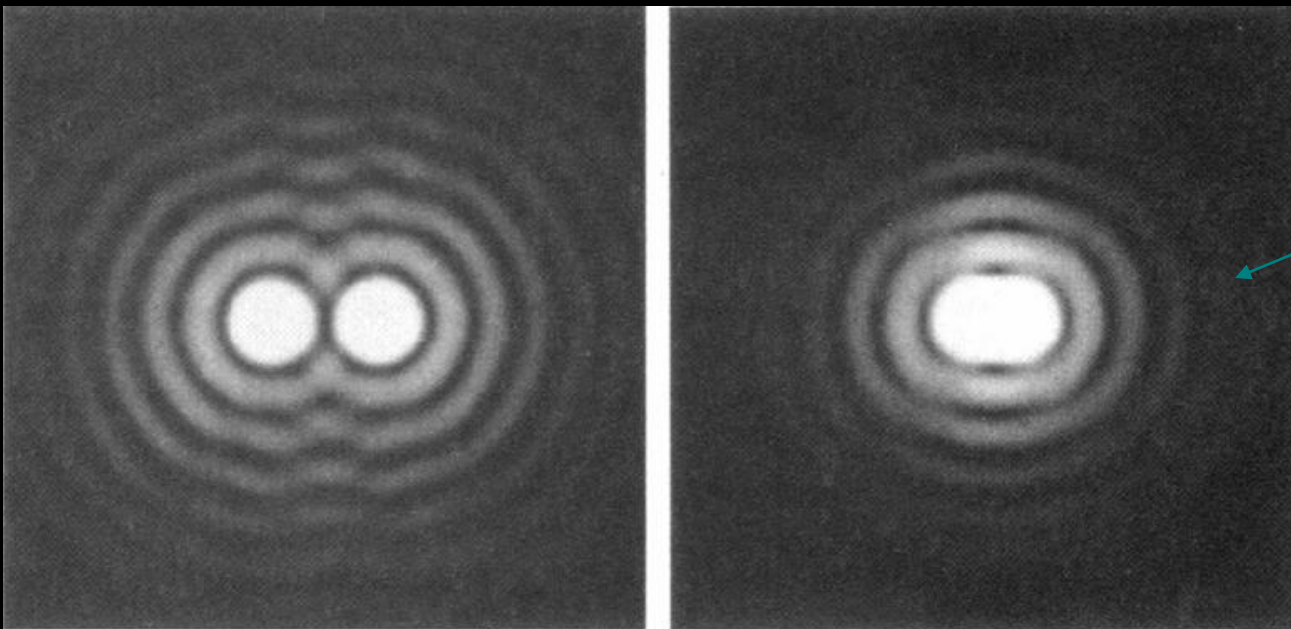


Πραγματικές περιπτώσεις δίσκου Airy

Διακριτική ικανότητα οπτικού οργάνου



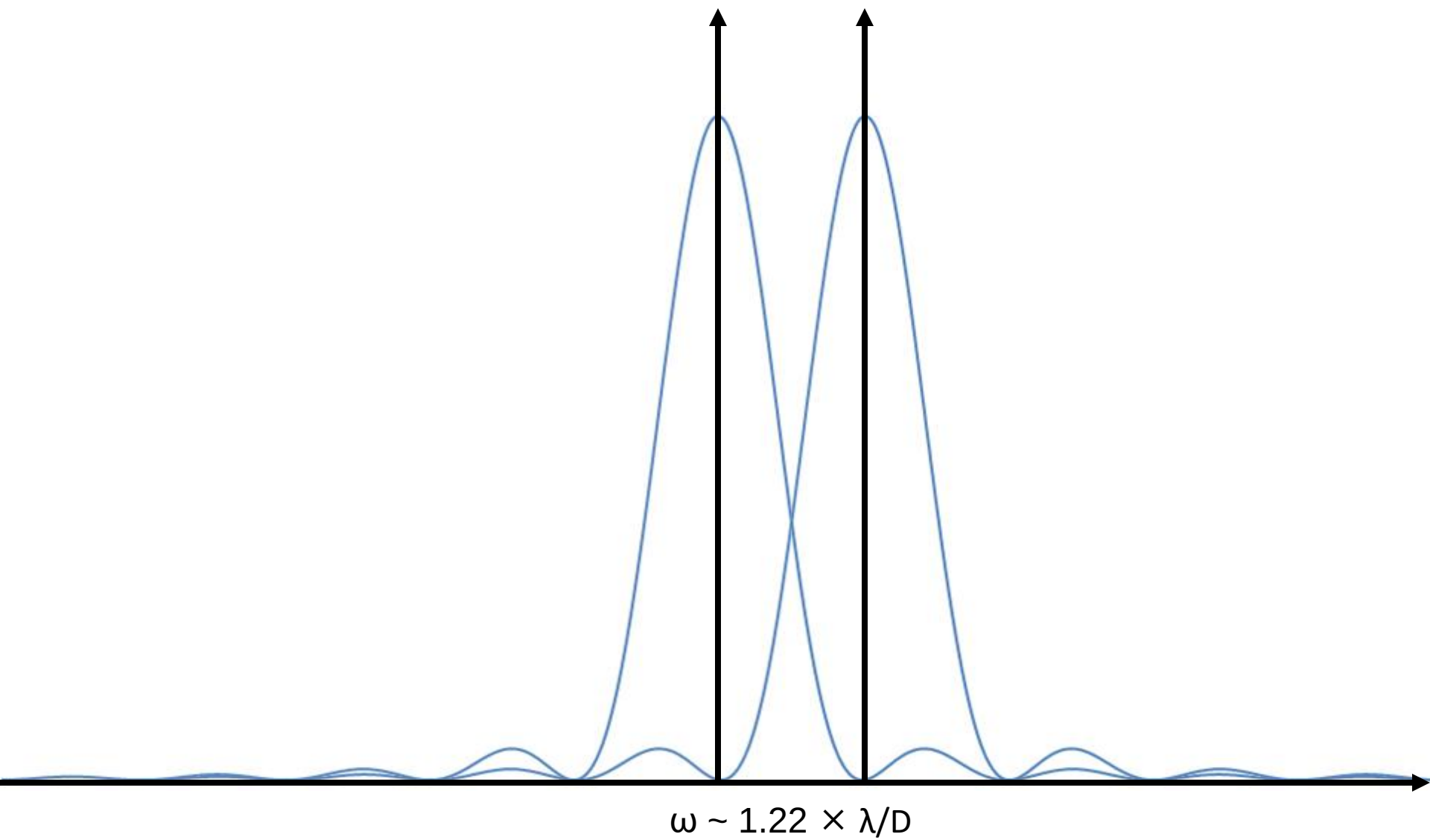
Σύμφωνα με **το κριτήριο του Rayleigh** η ελάχιστη γωνιακή απόκλιση δίνεται όταν οι δύο δίσκοι Airy έχουν κέντρα που απέχουν την ακτίνα των δίσκων.



Μόλις ξεχωρίζουν

$$(\Delta\theta)_{\min} = \frac{1.22\lambda}{D}$$

Κριτήριο Rayleigh



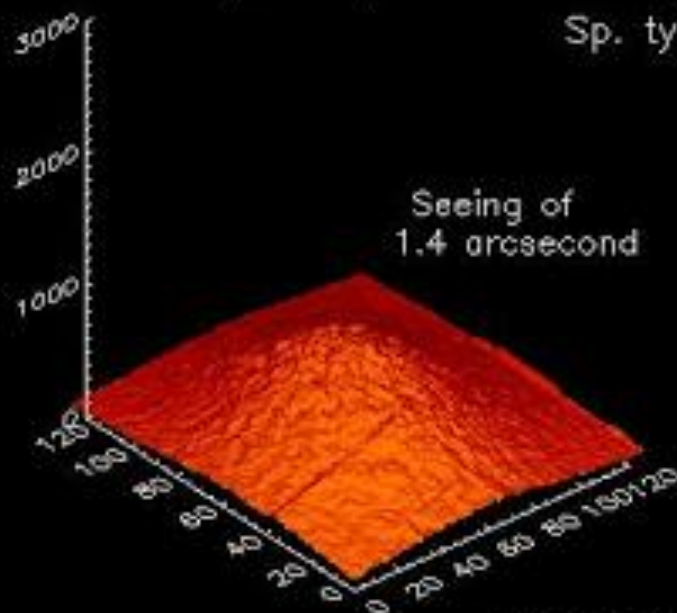
Προσαρμοστική Οπτική (Adaptive Optics)

SAO 74164

V mag. = 4.4

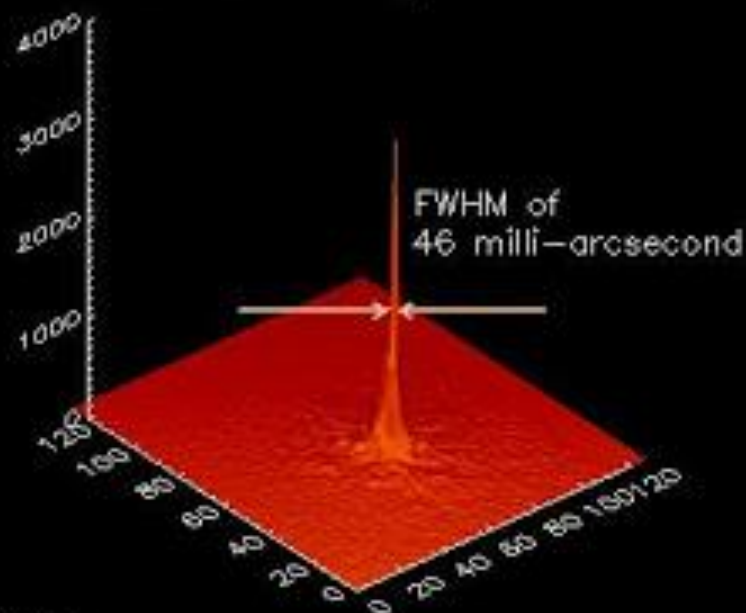
Sp. type: G8III

open loop



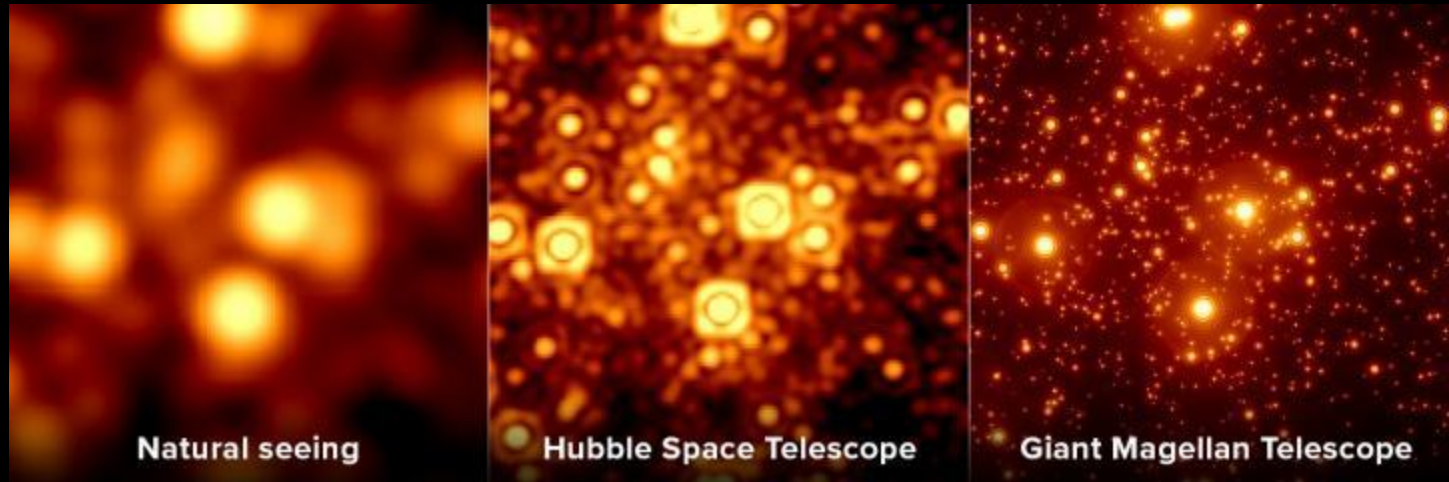
H band images – $1.6\mu\text{m}$
14 Dec 2000 – 07:45 UTC

Keck I AO loop closed



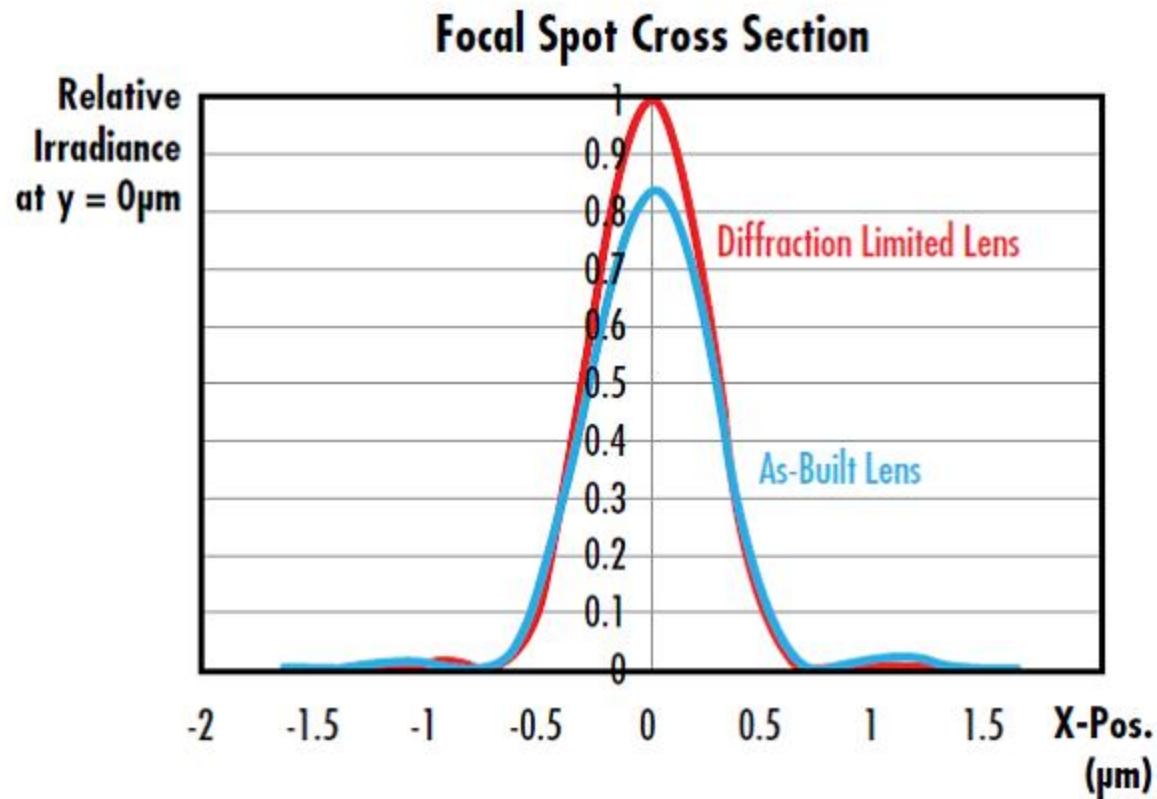
Strehl ratio: 0.23

Διαστημικά τηλεσκόπια ή επίγεια με ΑΟ;



Αριστερά: Εικόνα του Ποσειδώνα από επίγειο τηλεσκόπιο χωρίς ΑΟ.
Κέντρο: Εικόνα από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (HST).
Δεξιά: Εικόνα του Ποσειδώνα από επίγειο τηλεσκόπιο με ΑΟ.

Strehl ratio



This lens has a Strehl Ratio of 0.826, which is considered diffraction limited



Περίθλαση από κατοπτρικό τηλεσκόπιο





Περίθλαση από διοπτρικό τηλεσκόπιο



Περίθλαση από κατοπτρικό τηλεσκόπιο

