

ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

2023-2024

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ - ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ – ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ – Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: ΔΙΑΔΟΣΗ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΚΕΔΑΣΗΣ, ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ, ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (Radiative Transfer Equation) – εξίσωση RT σε συνθήκες τοπικής θερμοδυναμικής ισορροπίας

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ. ΔΙΑΔΟΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΥΠΕΡΥΘΡΟ

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε. ΜΕΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΜΟΙΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤ. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Κώστας Καρτάλης

Καθηγητής Φυσικής Περιβάλλοντος

210-7276774

ckartali@phys.uoa.gr

Βαθμολόγηση

- Βαθμός γραπτής εξέτασης $\times 0.7$
- Βαθμός ασκήσεων (2) $\times 0.3$

Τι θα ξέρετε στο τέλος του μαθήματος

- Αξιοποίηση του Η/Μ φάσματος
- Ισορροπία χωρικής και χρονικής Δ.Ι.
- Μηχανισμοί και παράμετροι που επηρεάζουν τη διάδοση της Η/Μ σε διάφορες φασματικές περιοχές
- Διαμόρφωση γενικής εξίσωσης Radiative Transfer
- Επεξεργασία εικόνας – ποια τεχνική, πότε, με ποιο σκοπό

ESA-DEVELOPED EARTH OBSERVATION MISSIONS



Science European Space Agency

Copernicus

Meteorology

sea ice

aerosol

sea level

cloud

sea surface temperature

greenhouse gases

ocean colour

ozone

ice sheets

fire

glaciers

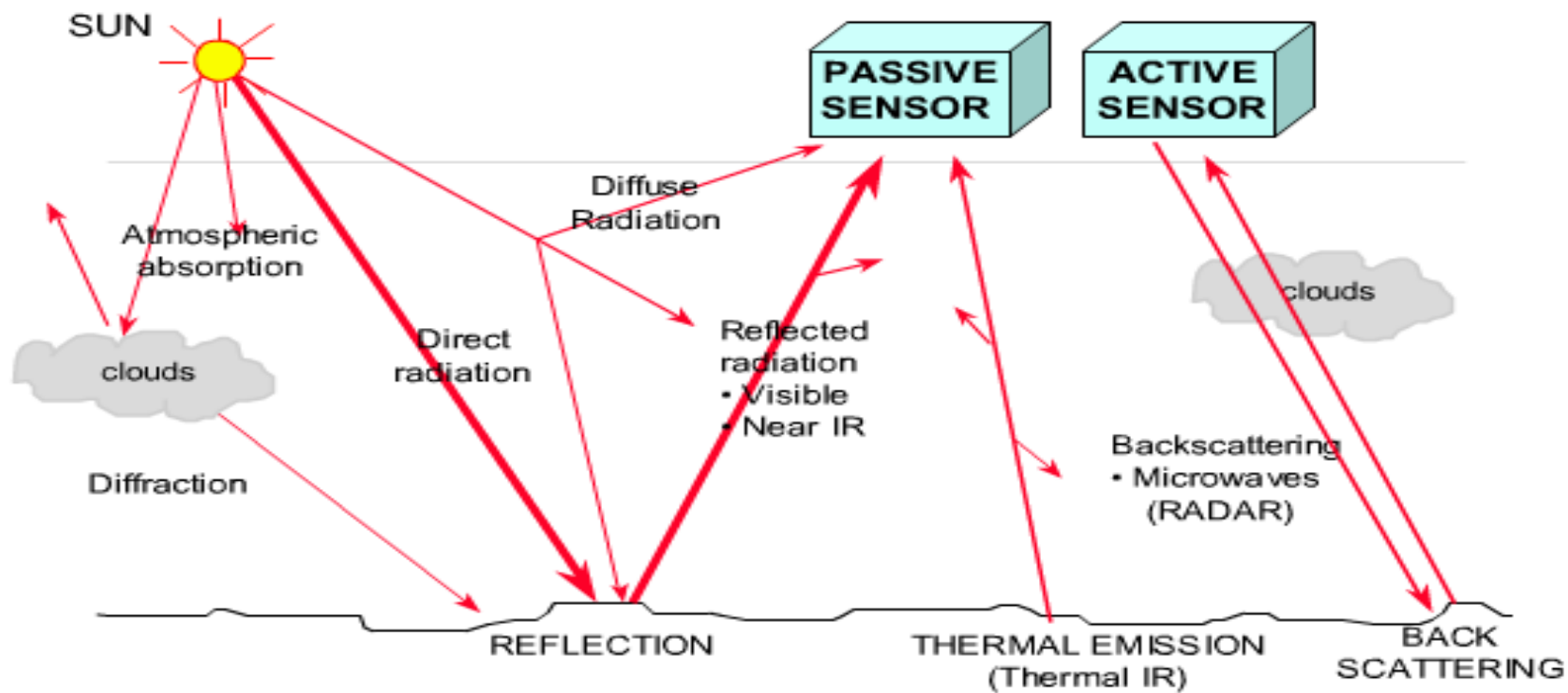
land cover

soil moisture

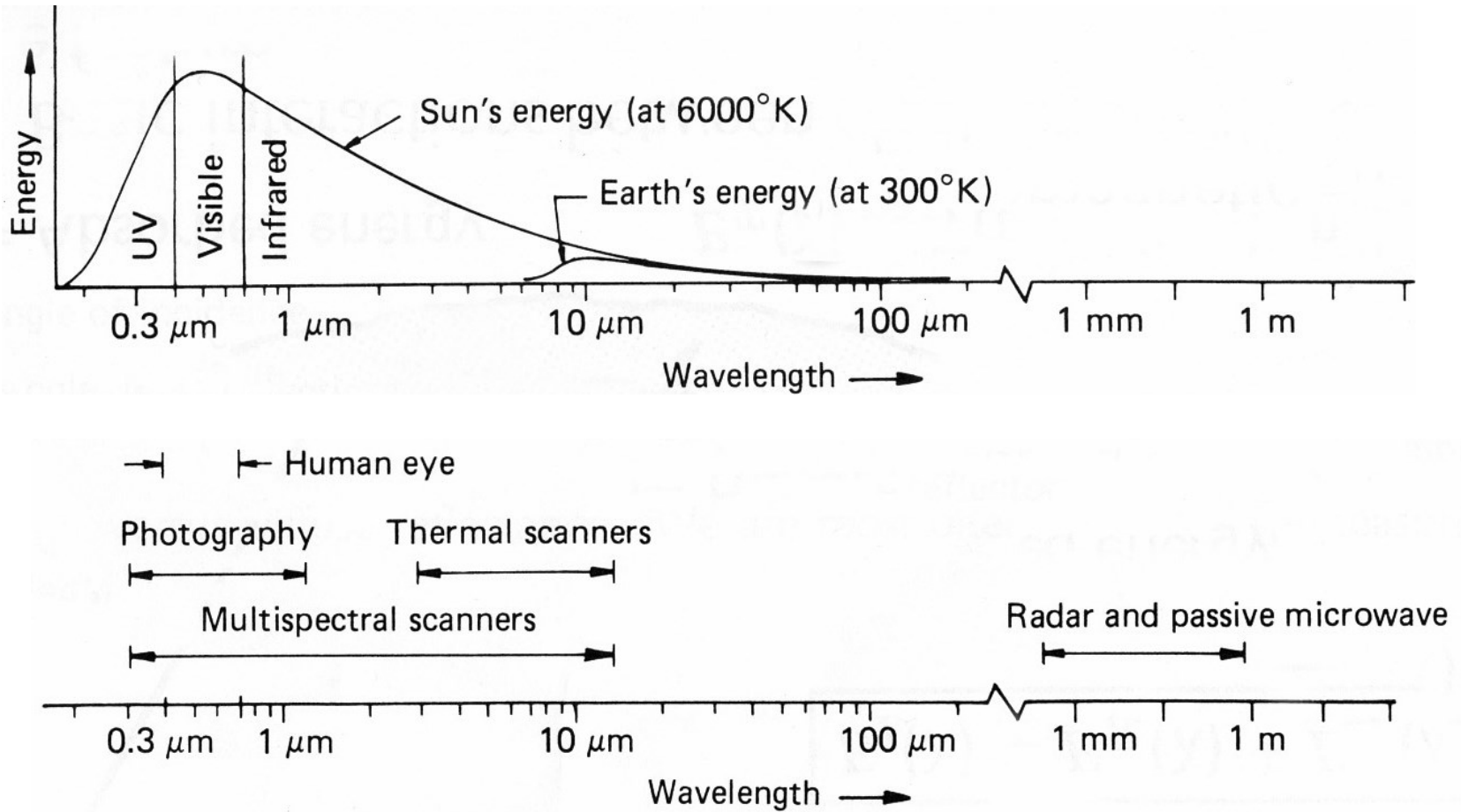
CLIMATE CHANGE INITIATIVE

Act
to

Flags: Denmark, Spain, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Italy, Netherlands, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, Taiwan, Canada



Φασματικά χαρακτηριστικά πηγών ενέργειας



**Energy from
the Earth Atmosphere**

over time is

Flux

which strikes the detector area

Irradiance

at a given wavelength interval

**Monochromatic
Irradiance**

over a solid angle on the Earth

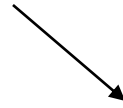
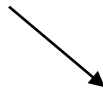
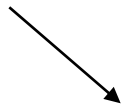
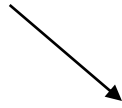
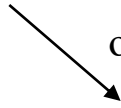
**Radiance observed by
satellite radiometer**

is described by

The Planck function

can be inverted to

Brightness temperature



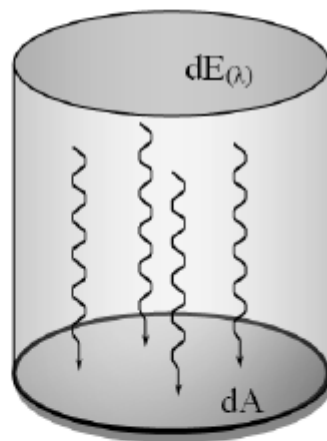
Ορισμοί

QUANTITY	SYMBOL	UNITS
Energy	dQ	Joules
Flux	dQ/dt	Joules/sec = Watts
Irradiance	dQ/dt/dA	Watts/meter²
Monochromatic Irradiance	dQ/dt/dA/dλ or dQ/dt/dA/dν	W/m²/micron W/m²/cm⁻¹
Radiance	dQ/dt/dA/dλ/dΩ or dQ/dt/dA/dν/dΩ	W/m²/micron/ster W/m²/cm⁻¹/ster

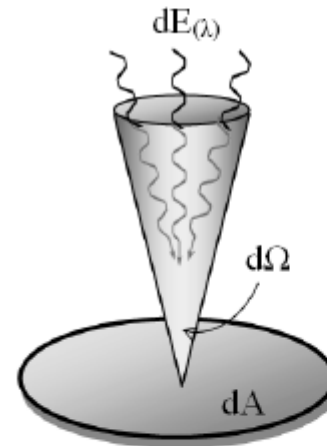
Ροή ακτινοβολίας, F (irradiance) σε μια διεύθυνση ορίζεται το ποσό της ενέργειας dE ακτινοβολίας από μια δέσμη παράλληλων ακτινών, που διέρχεται σε χρόνο dt μέσα από μία στοιχειώδη επιφάνεια dA , η οποία είναι τοποθετημένη κάθετα στη διεύθυνση αυτή και δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{dE}{dA dt}$$

Η ροή έχει μονάδα ισχύος στη μονάδα της επιφάνειας και εκφράζεται συνήθως σε W/m^2 .



(α)



(β)

Ο προηγούμενος ορισμός αναφέρεται σε ροή ακτινοβολίας για όλα τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας, για το λόγο αυτό η ροή αυτή F καλείται και **ολική ή ολοφασματική ροή (total irradiance)**.

Αν θεωρήσουμε ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ λ και $d\lambda$ τότε το προηγούμενο μέγεθος αναφέρεται ως **φασματική ροή ακτινοβολίας**, $F_{(\lambda)}$ (*spectral irradiance*):

$$F_{(\lambda)} = \frac{dE_{(\lambda)}}{dA dt d\lambda}$$

με μονάδα μέτρησης το $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$.

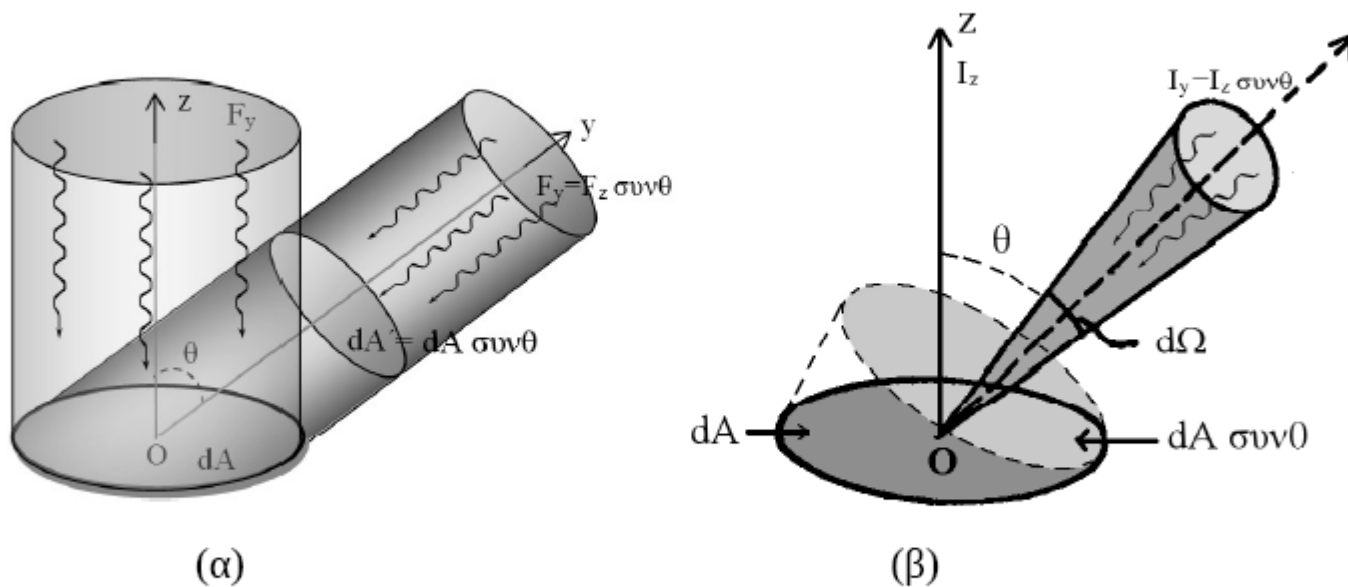
Η ολοκλήρωση της φασματικής ροής ακτινοβολίας $F_{(\lambda)}$ για όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μας δίνει την **ολική ή ολοφασματική ροή** F :

$$F = \int_0^{\infty} F_{(\lambda)} d\lambda$$

Γενικά η ροή σε ένα σημείο O για διάφορες διευθύνσεις είναι διαφορετική. Ο νόμος του συνημιτόνου του **Lambert** συνδέει τη ροή της ακτινοβολίας F_z σε μια διεύθυνση Oz , με τη ροή F_y της ίδιας ακτινοβολίας σε μια τυχαία διεύθυνση O . Δίνεται από τη σχέση:

$$F_y = F_z \cos\theta$$

όπου θ η γωνία μεταξύ των δυο διευθύνσεων Oy και Oz .



Ο ορισμός της ροής είναι επαρκής για την εκτίμηση της ενέργειας που μεταφέρεται από μια δέσμη παράλληλων ακτινών.

Ο ορισμός της ροής είναι επαρκής για την εκτίμηση της ενέργειας που μεταφέρεται από μια δέσμη παράλληλων ακτινών.

Όταν όμως η ακτινοβολία διαδίδεται σε διάφορες διευθύνσεις τότε χρησιμοποιείται το μέγεθος της έντασης ακτινοβολίας.

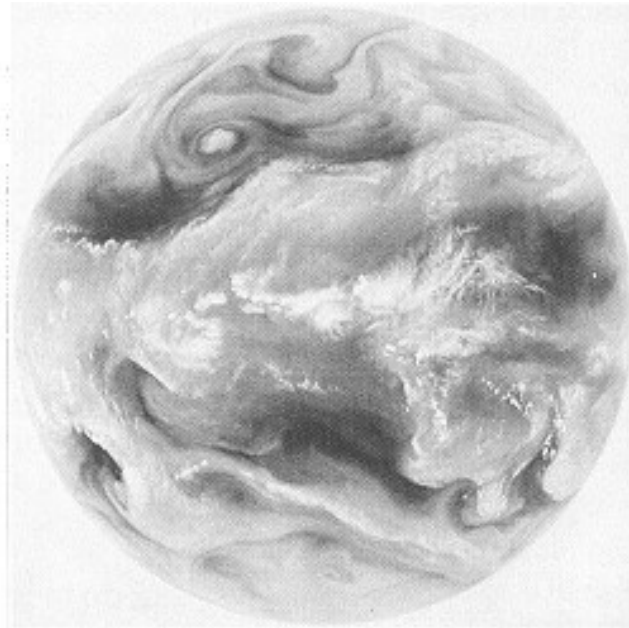
Η έννοια της φασματικής υπογραφής

Οι διάφορες χημικές ενώσεις αλλά και οι διάφοροι τύποι επιφανειών, όπως το νερό, τα χερσαία εδάφη, τα νέφη ή η βλάστηση, ανακλούν την ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα κανάλια.

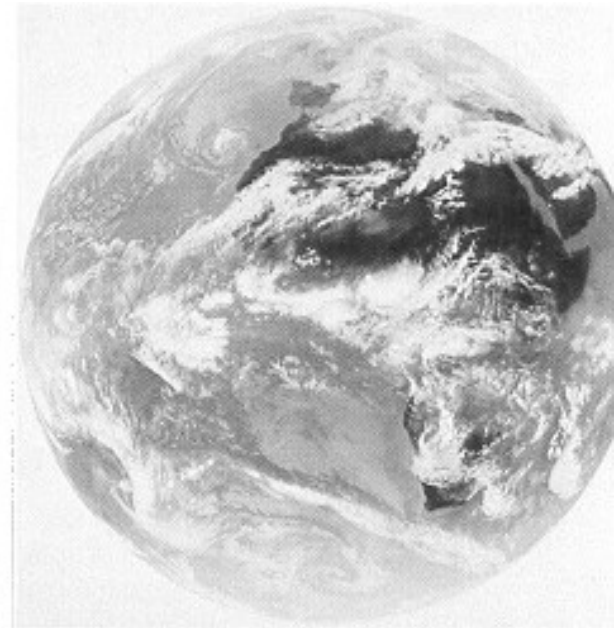
Η ακτινοβολία που ανακλάται/εκπέμπεται από μια επιφάνεια στα διάφορα μήκη κύματος, αποτυπώνει τη φασματική υπογραφή της χημικής ένωσης/ επιφάνειας.



VIS



WV

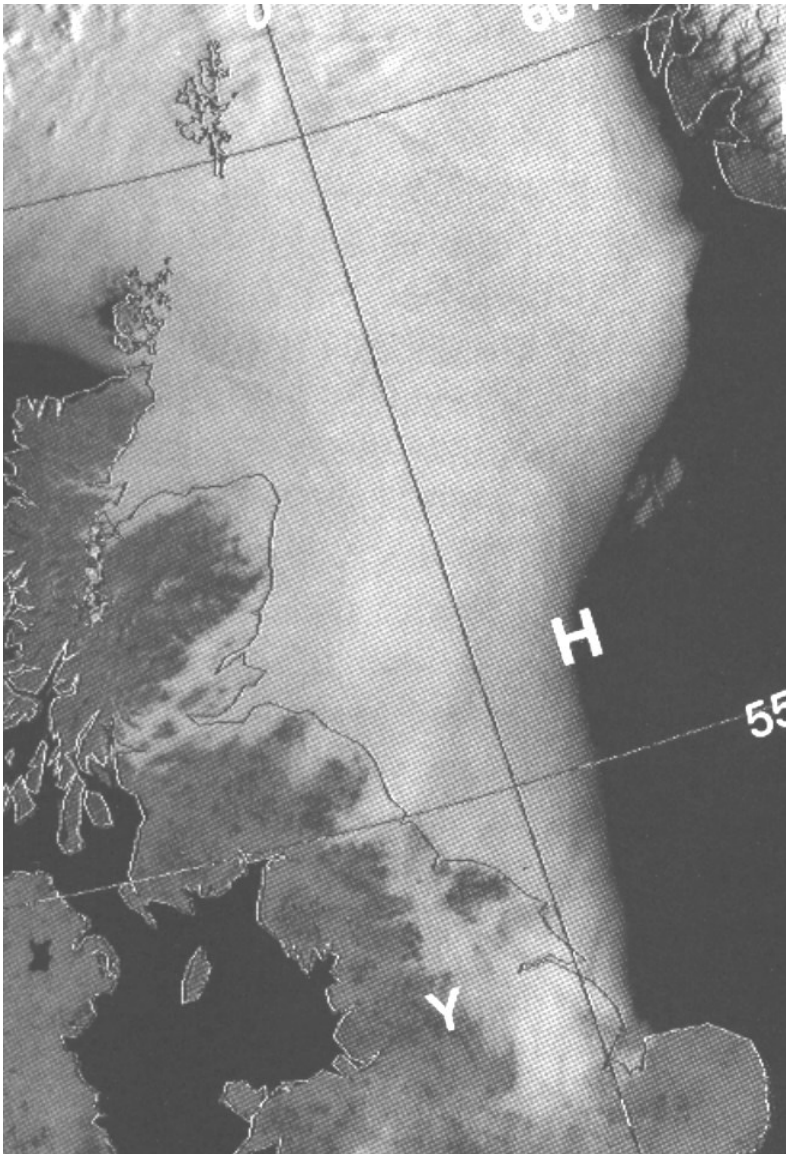


IR

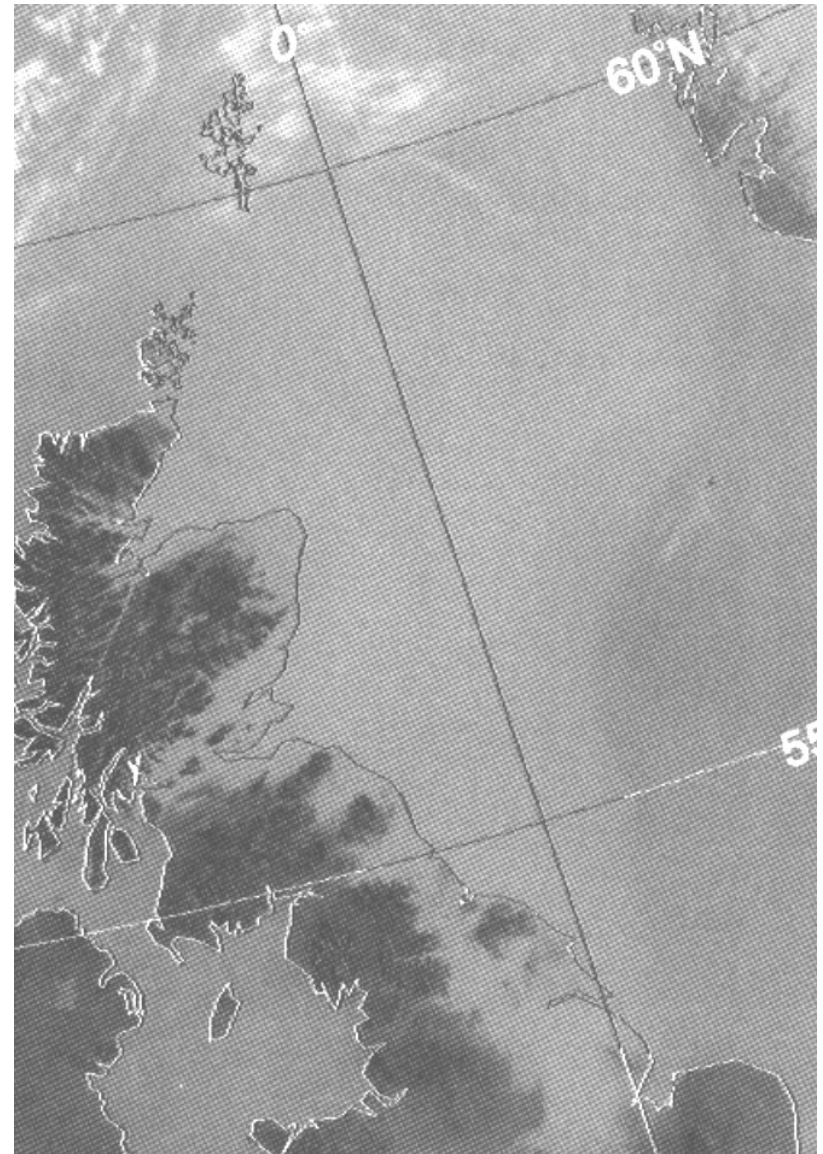
Meteosat

Χαμηλά νέφη και ομίχλη

VIS

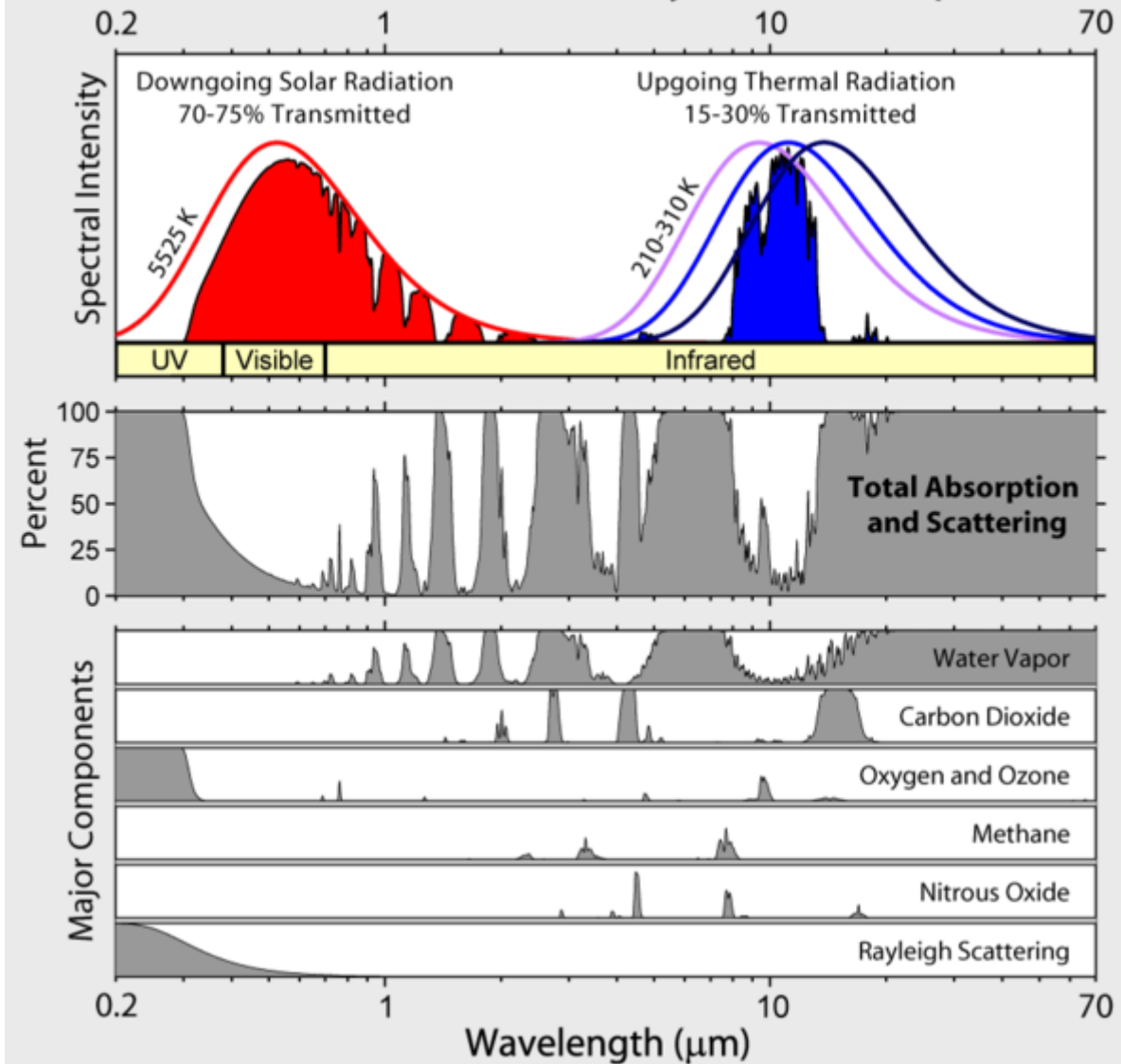


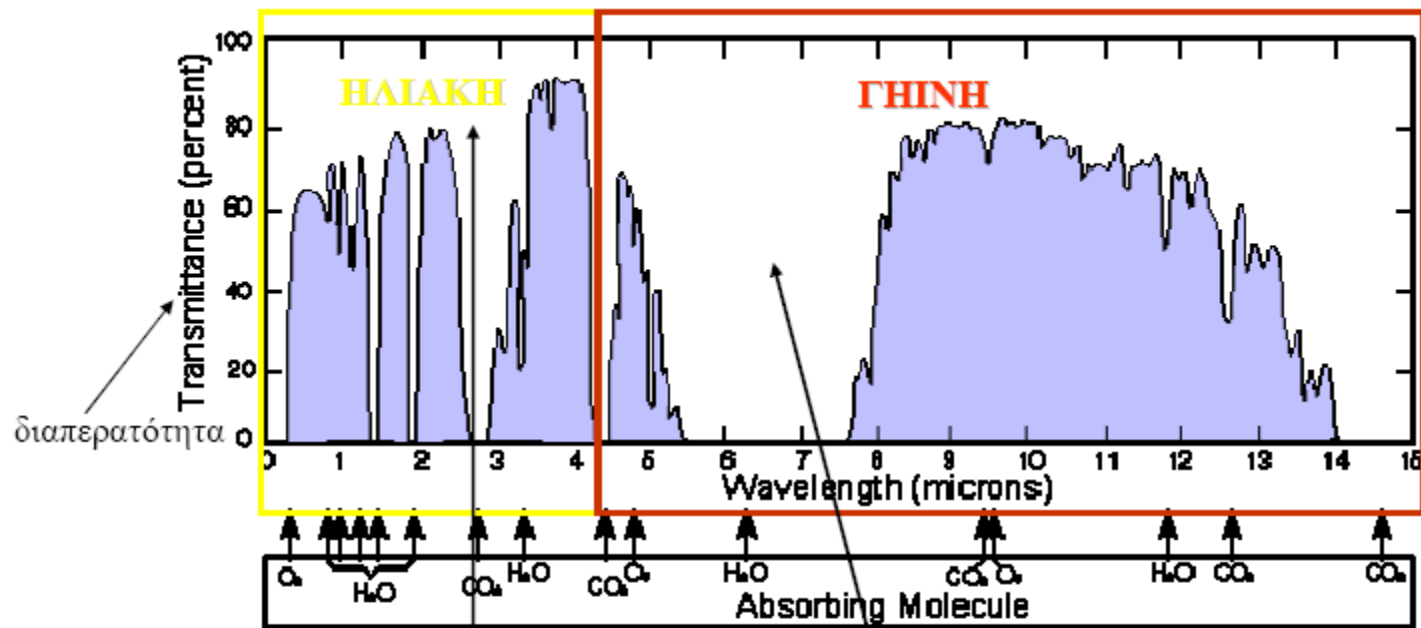
IR



Φασματική κατανομή ακτινοβολίας

Radiation Transmitted by the Atmosphere

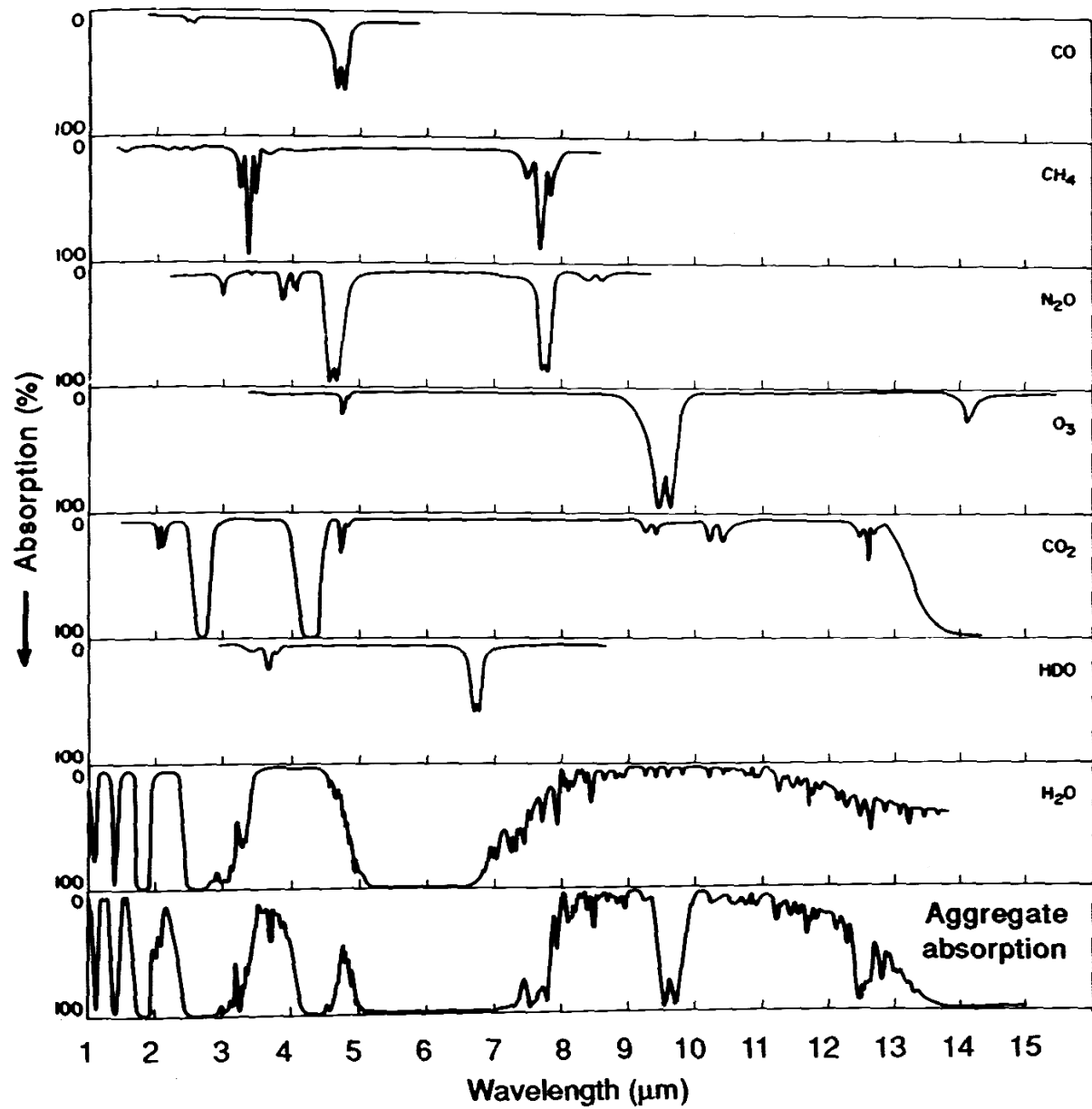


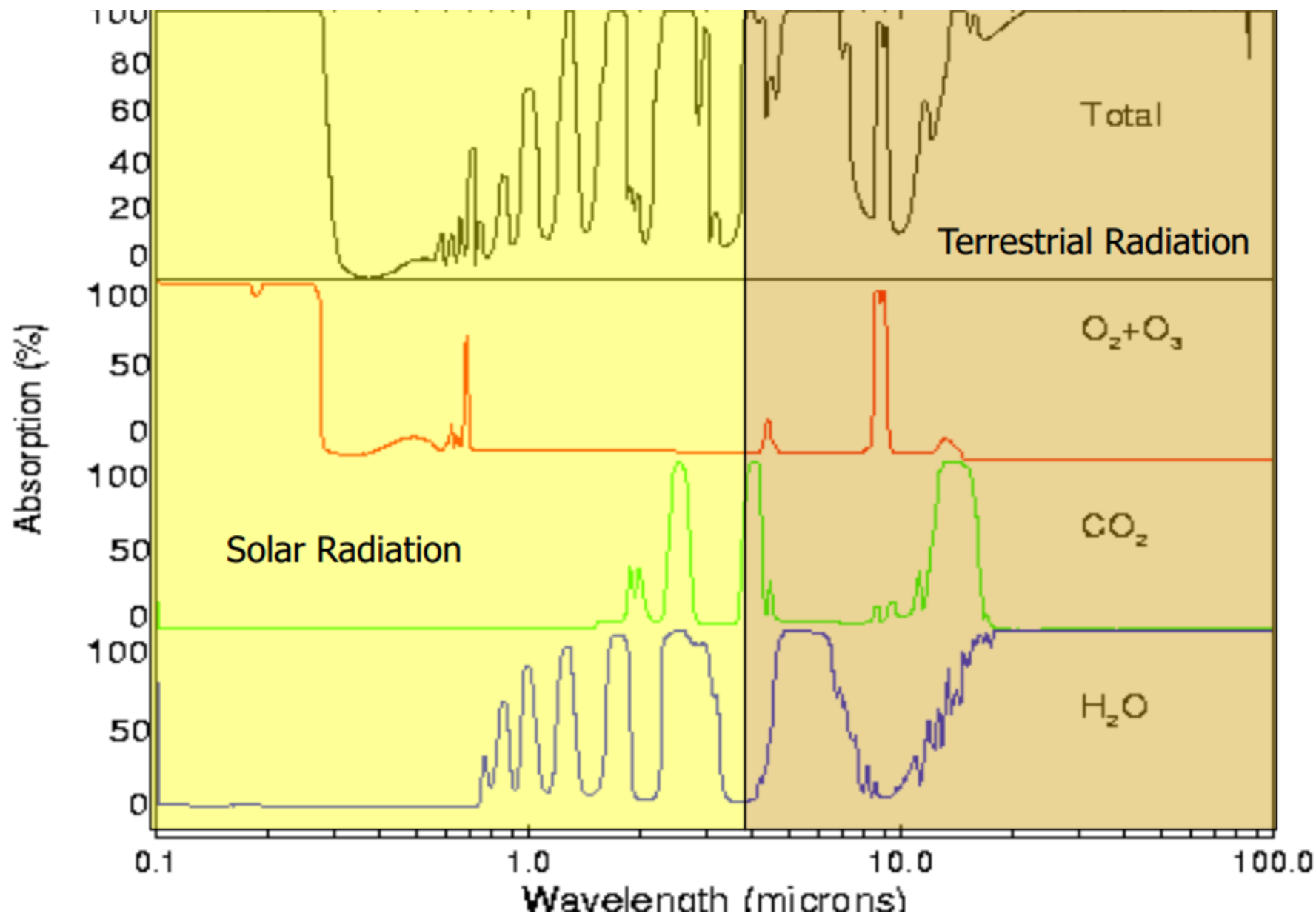


σχετικά μεγάλη διαφάνεια
(διαπερατότητα) της γήινης
ατμόσφαιρας στην
ηλιακή ακτινοβολία

μικρή διαφάνεια (διαπερατότητα)
της ατμόσφαιρας στη γήινη ακτινοβολία

ΓΕΝΙΚΑ





Η έννοια της Διακριτικής ικανότητας

Διακριτική Ικανότητα

Φασματική Δ.Ι

Σε ποια περιοχή του φάσματος(λ)

Χωρική Δ.Ι

Ποιο το μέγεθος της έκτασης

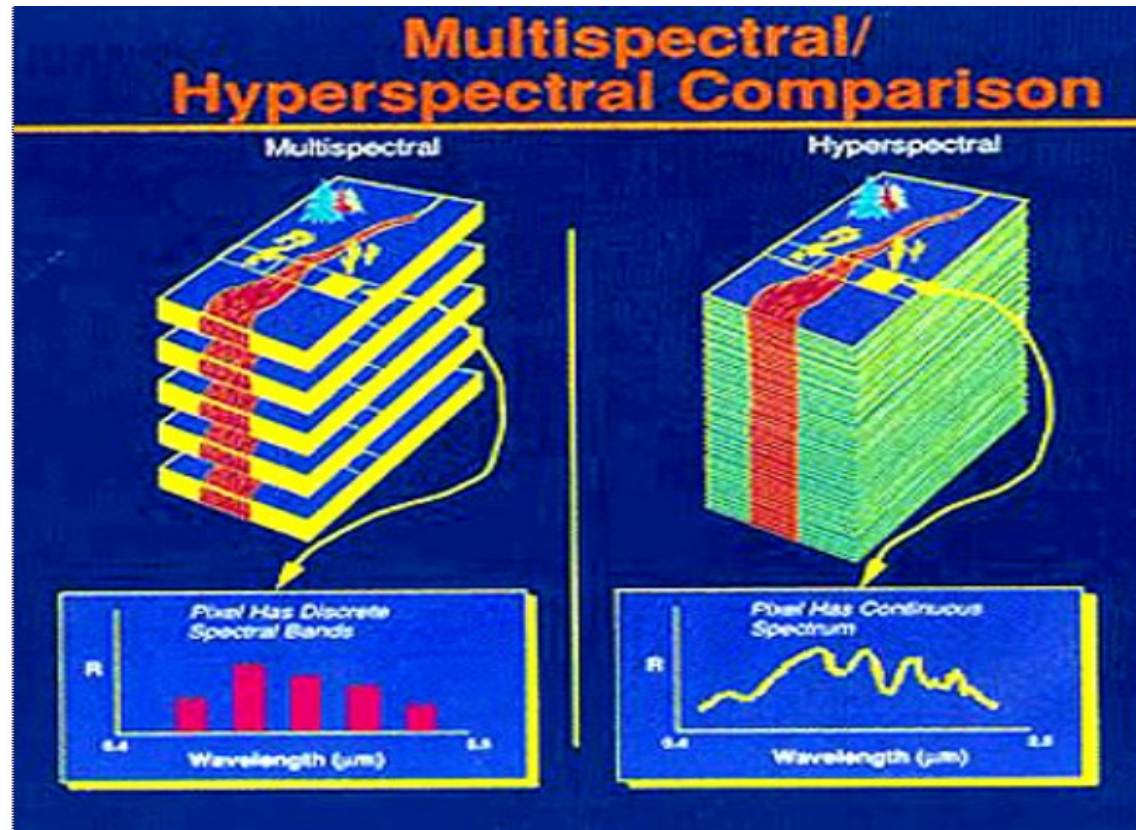
Χρονική Δ. Ι

Πόσο συχνά για τον ίδιο τόπο

Ραδιομετρική Δ. Ι

Σε πόση λεπτομέρεια

Φασματική διακριτική ικανότητα



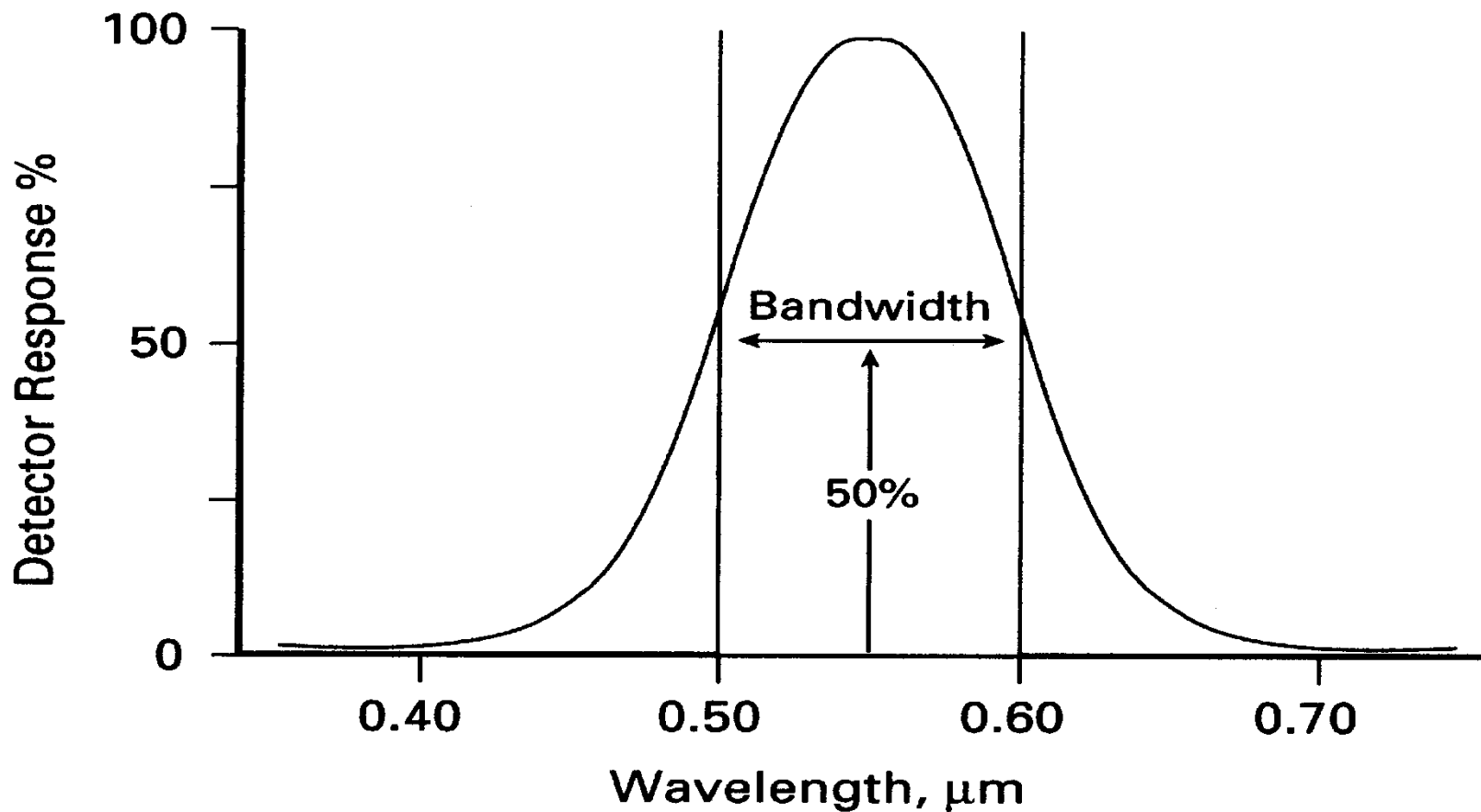
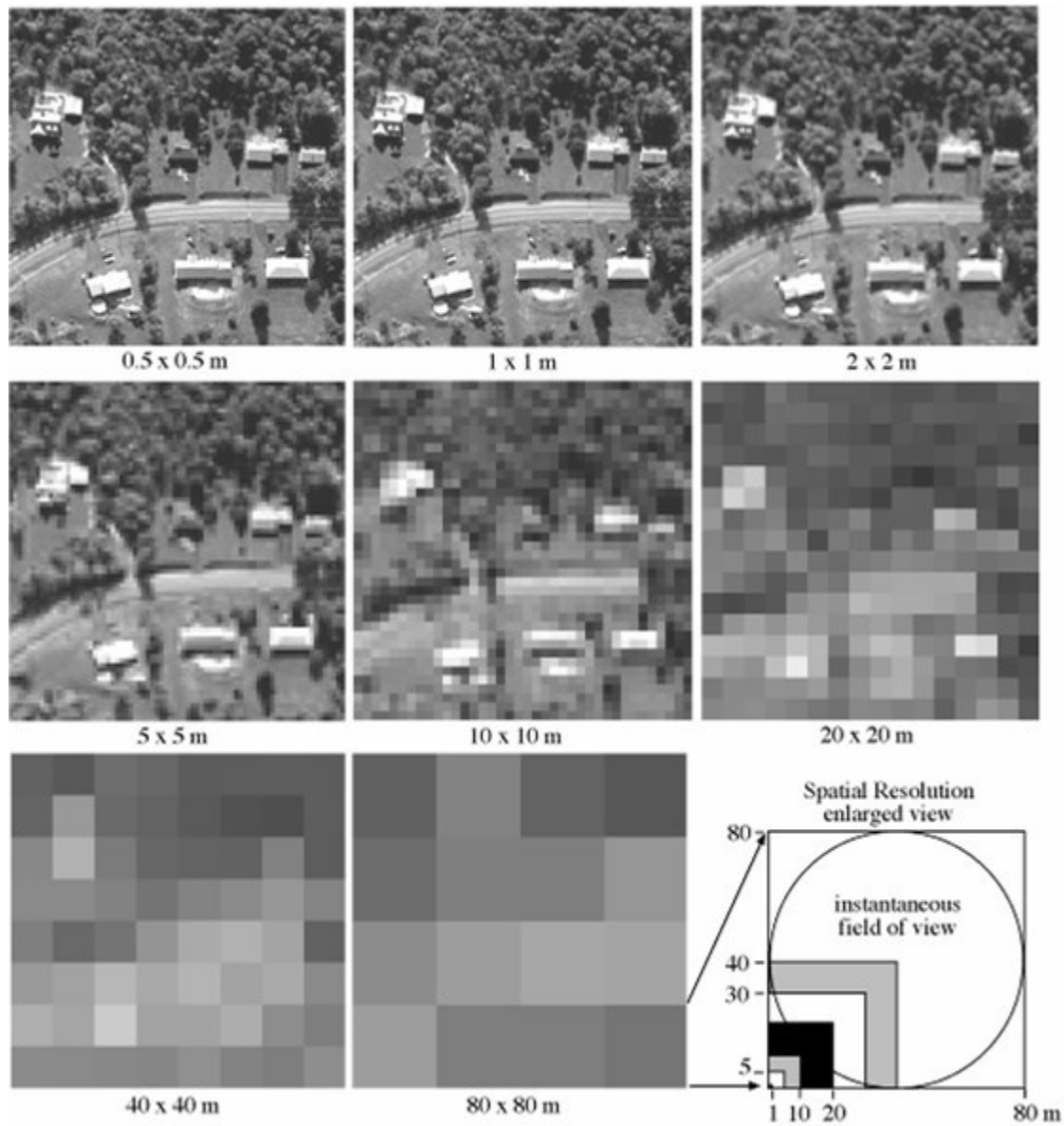


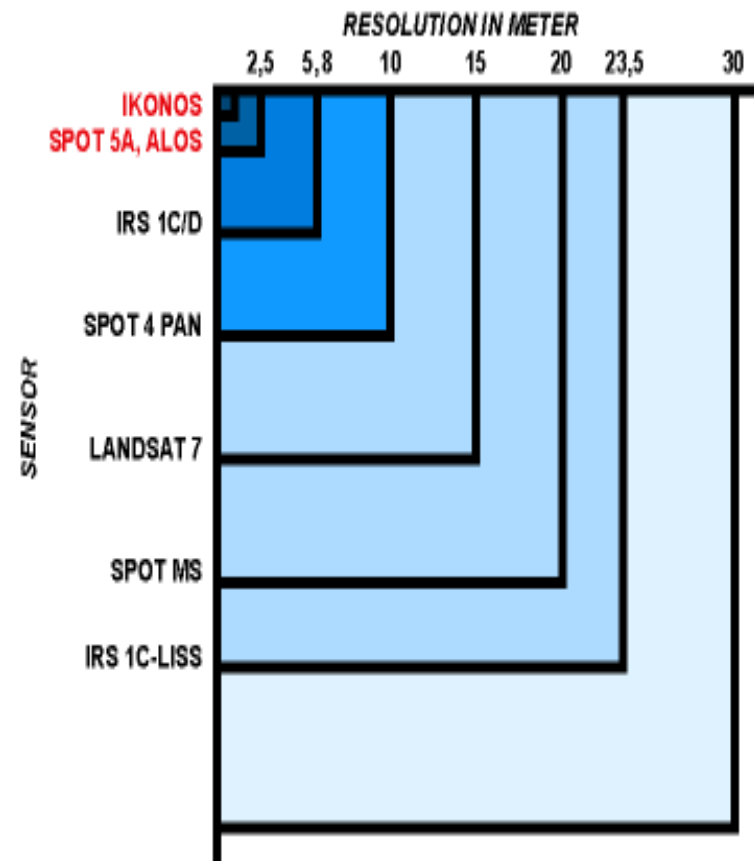
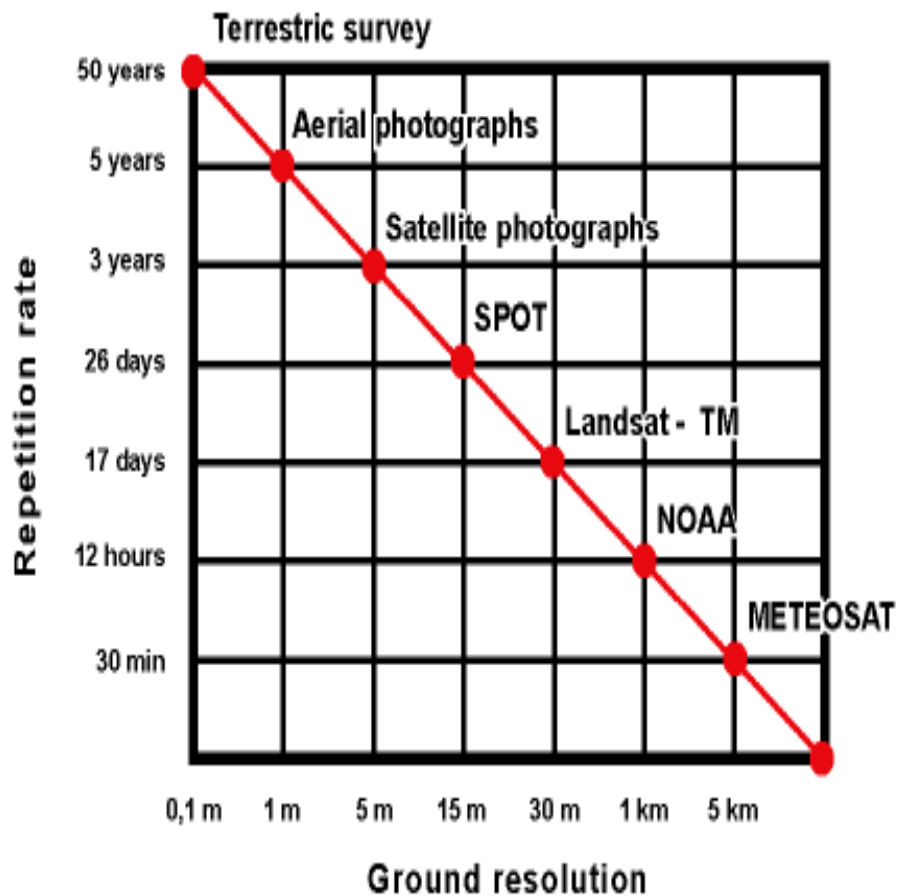
Figure 1-13 Spectral resolution, or bandwidth, of a detector. Bandwidth of this detector is 0.10 μm .

Χωρική ανάλυση – χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution).

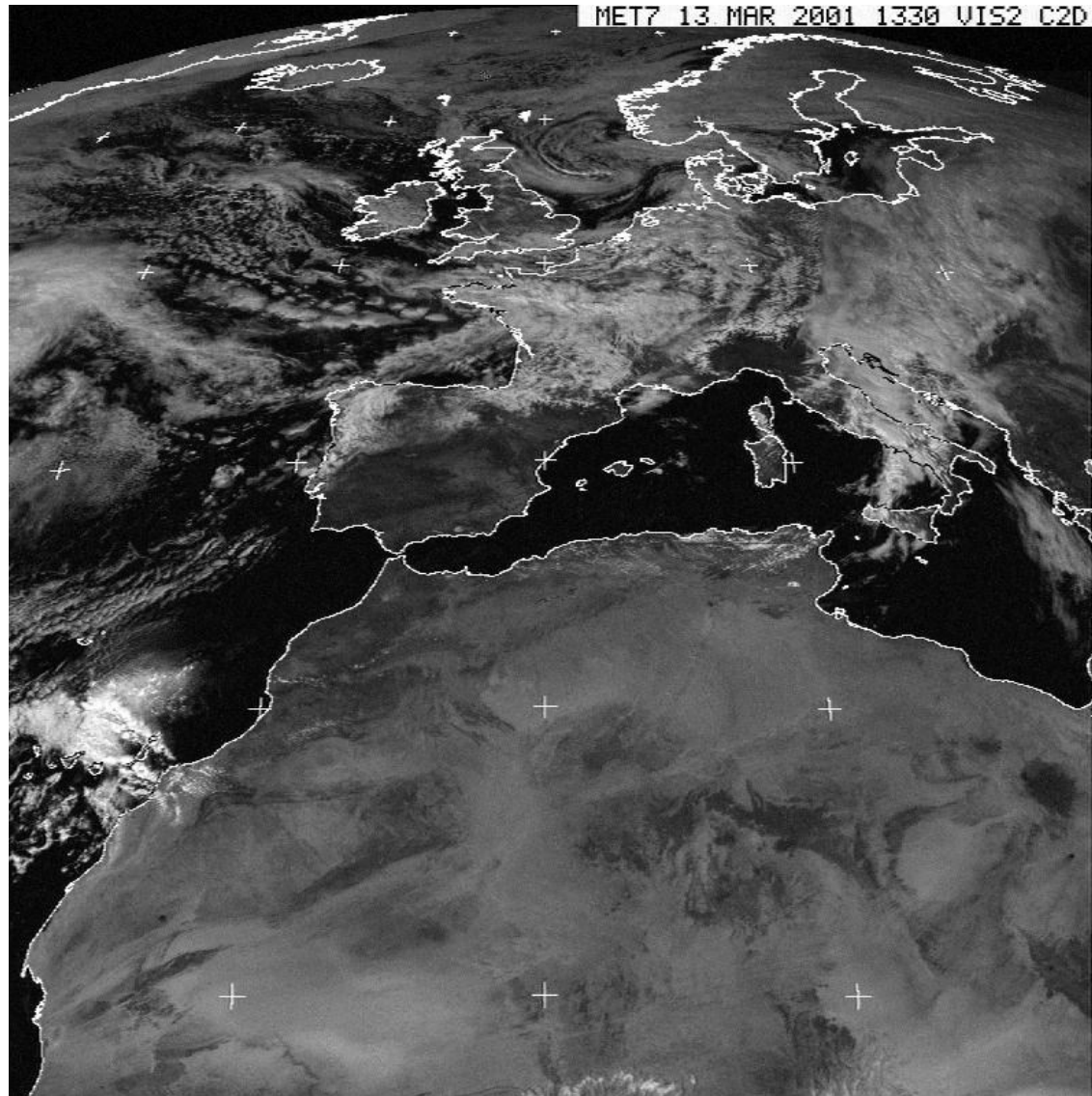
Αναφέρεται στην ικανότητα του δορυφορικού ανιχνευτή να διακρίνει δύο αντικείμενα που βρίσκονται κοντά.

Όσο τείνει προς το μηδέν, τόσο καλύτερη.

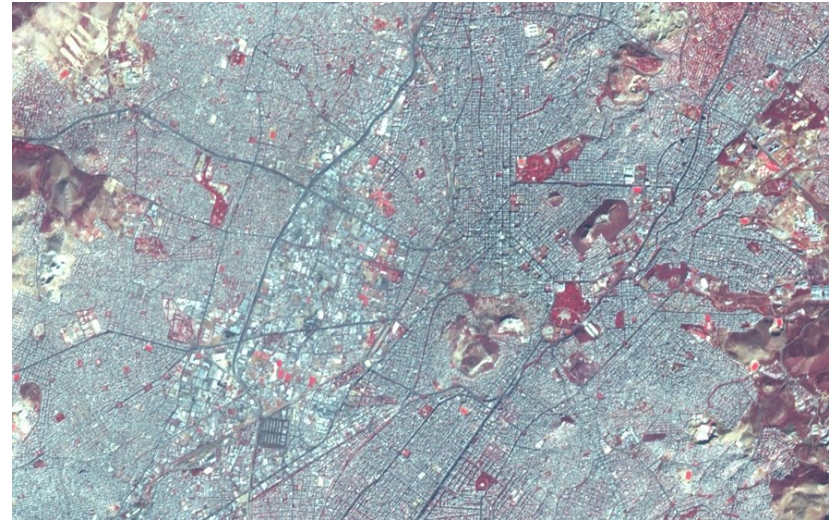




X.Δ.I. 2.5 km



Χ.Δ.Ι. 30 μέτρα (αριστερά) και 15 μέτρα (δεξιά)



X.Δ.I. 1 m



Η έννοια του Pointing Accuracy

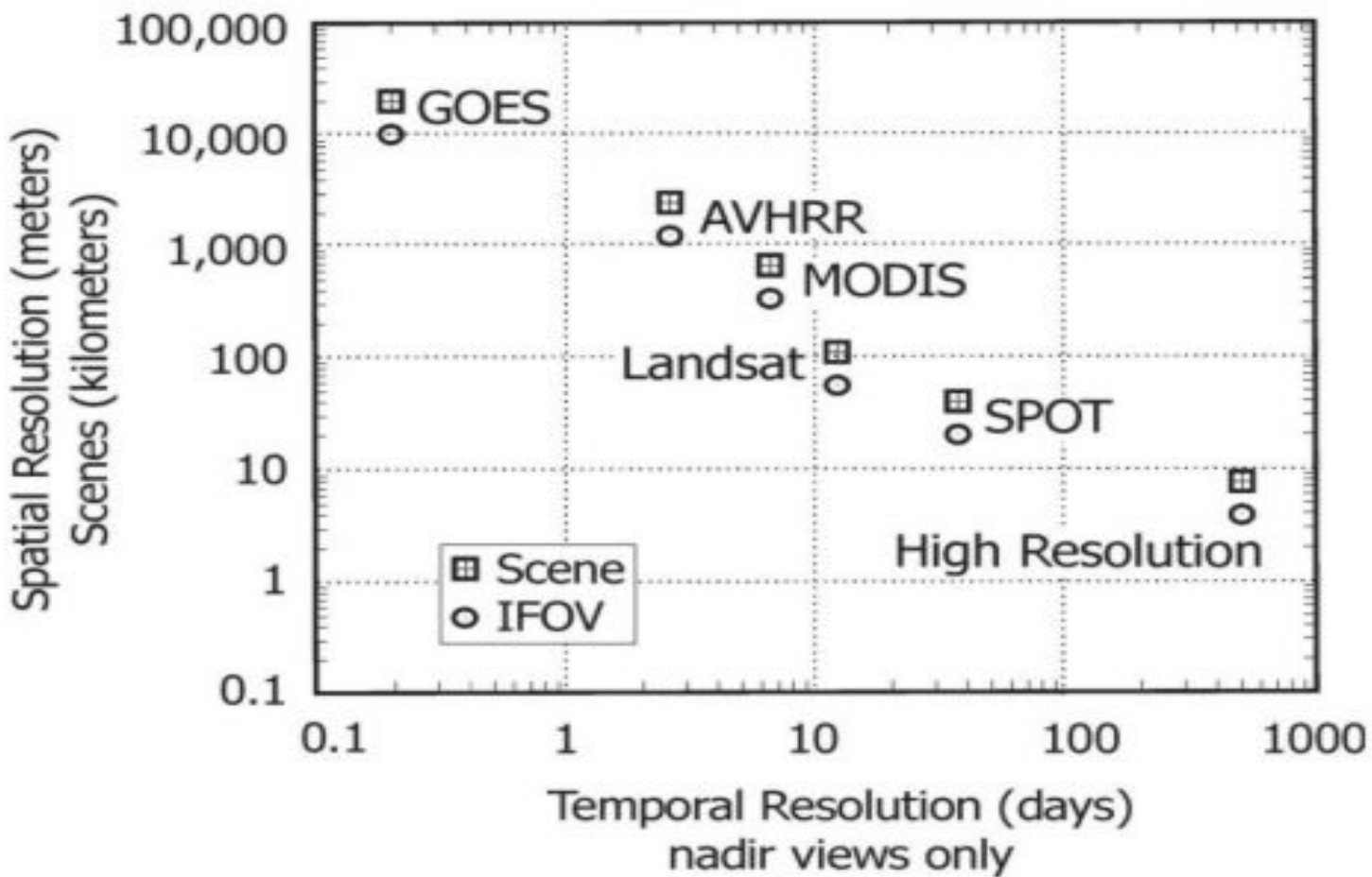
- Αναφέρεται στη δυνατότητα ενός δορυφόρου να οριοθετήσει με ακρίβεια τα όργανα που μεταφέρει προς την περιοχή την οποία παρακολουθεί ή το σταθμό εδάφους ή ένα άλλο δορυφορικό σύστημα.
- Degrees ($^{\circ}$), Arcminutes ($'$) (1 degree = 60 arcminutes), Arcseconds ($''$) (1 Arcminute = 60 arcseconds), Milliradians (mrad) (1 radian είναι περίπου 57.3 degrees και ένα milliradian είναι 1/1,000th του radian)



Ποιά η σχέση μεταξύ Pointing Accuracy και Χ.Δ.Ι.

- Σχετιζόμενες μεταξύ τους παράμετροι.
- Υψηλό P.A. υποστηρίζει υψηλή Χ.Δ.Ι. και το αντίστροφο.
- Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το P.A. για το δορυφόρο Sentinel -2 (με Χ.Δ.Ι. 10 μέτρα) είναι 0.1 deg ή 3600 arcseconds, ενώ για τους δορυφόρους World View 3 and 4 (με Χ.Δ.Ι. 1 μέτρο) έχει P.A. 0.02 deg or 72 arcseconds).

Spatial vs. Temporal Resolution



Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

2-bit range
0 → 4

6-bit range
0 → 63

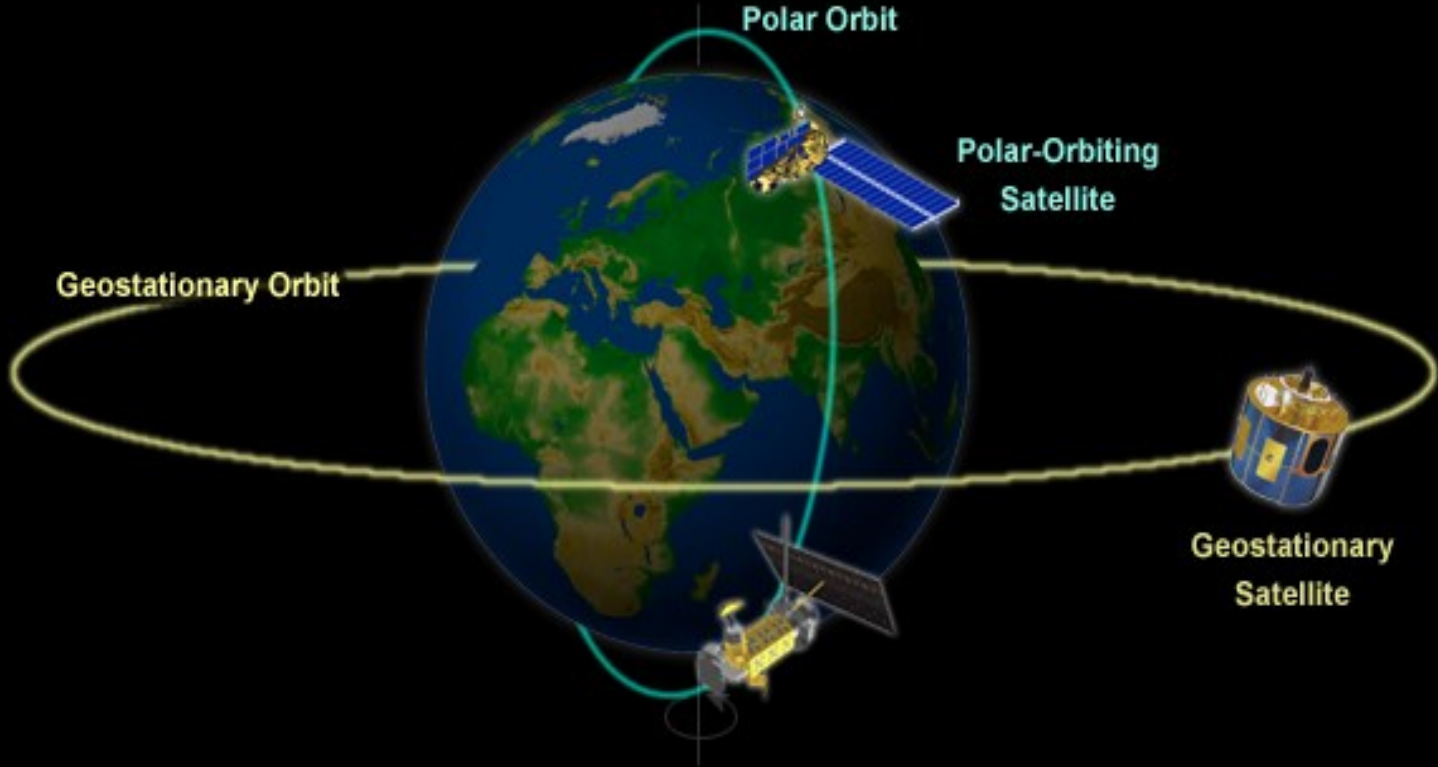
8-bit range
0 → 255

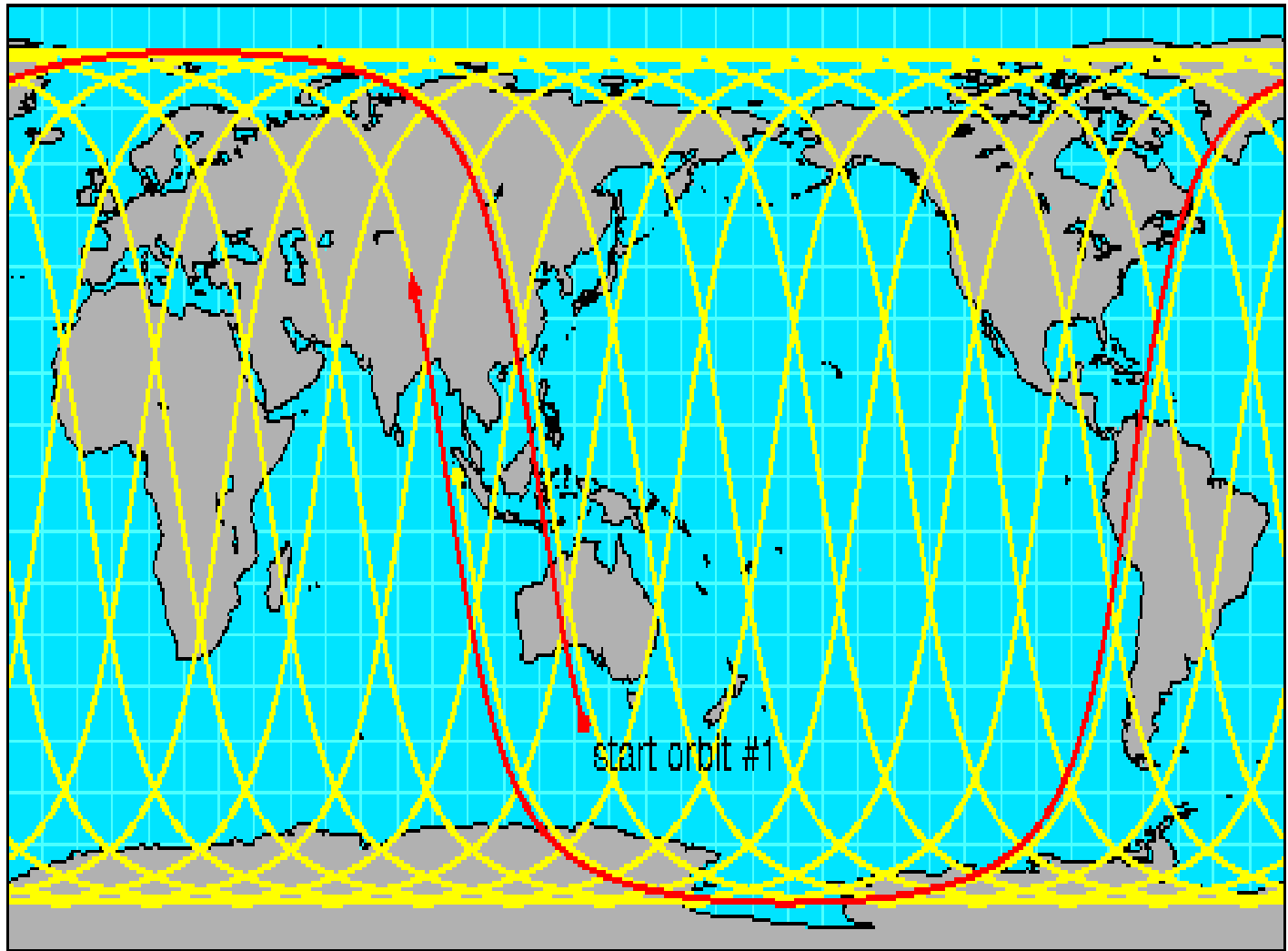
10-bit range
0 → 1023

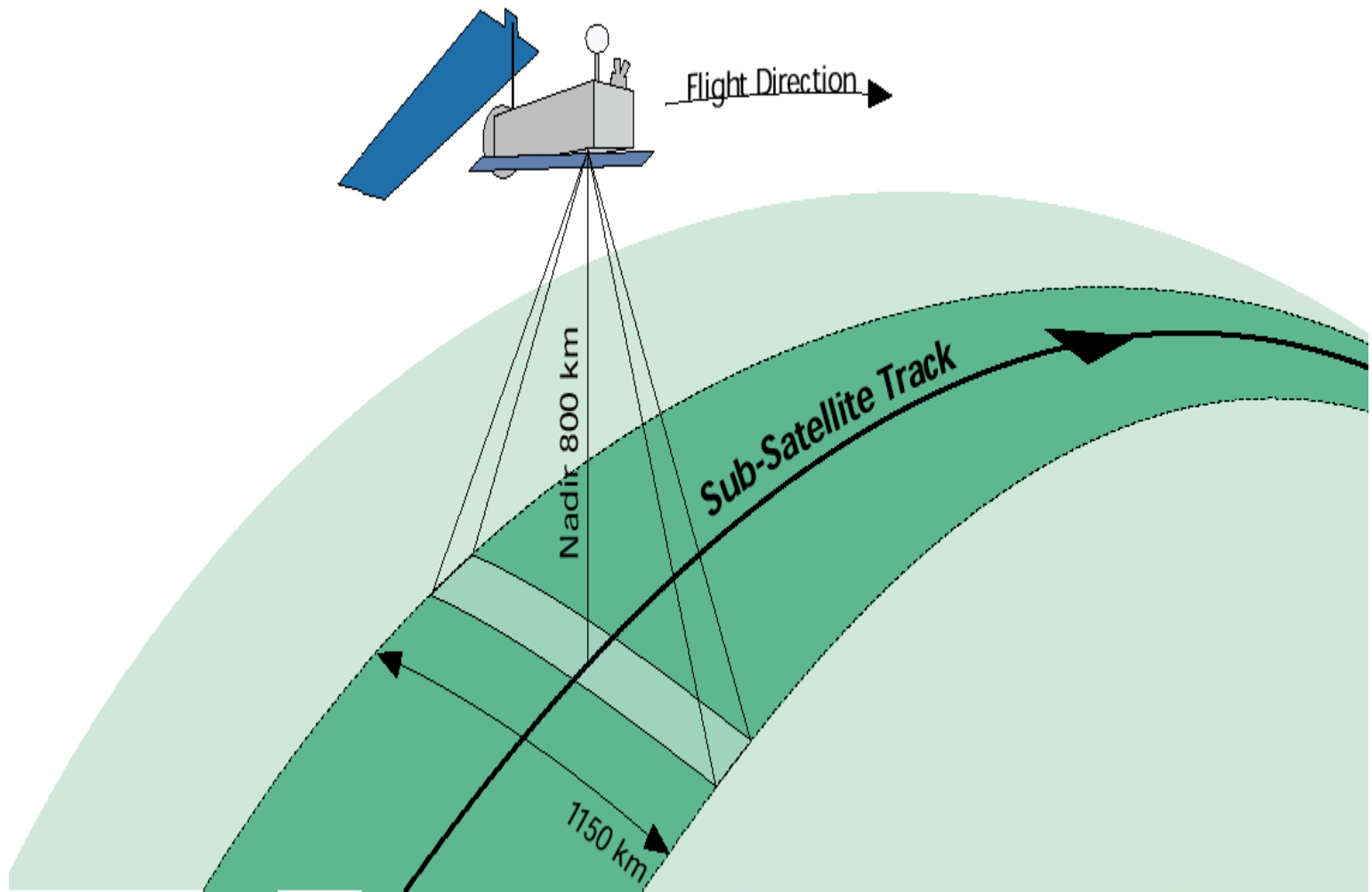


**ΤΡΟΧΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ
ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

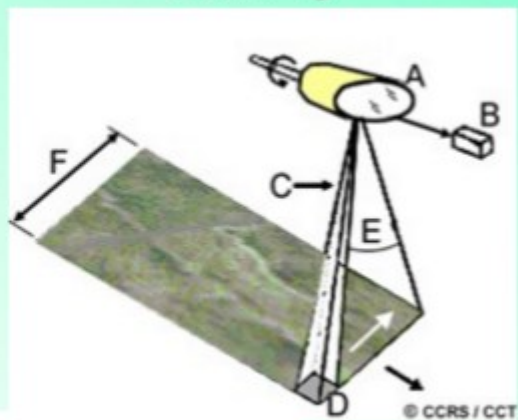
Polar-Orbiting and Geostationary Satellites



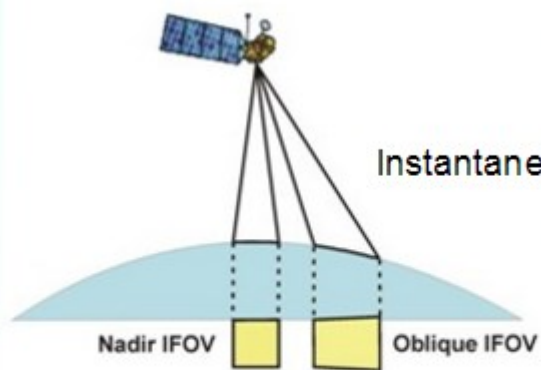
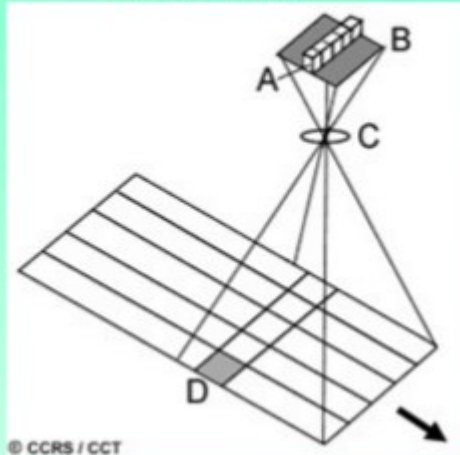




Scanning



Pushbroom



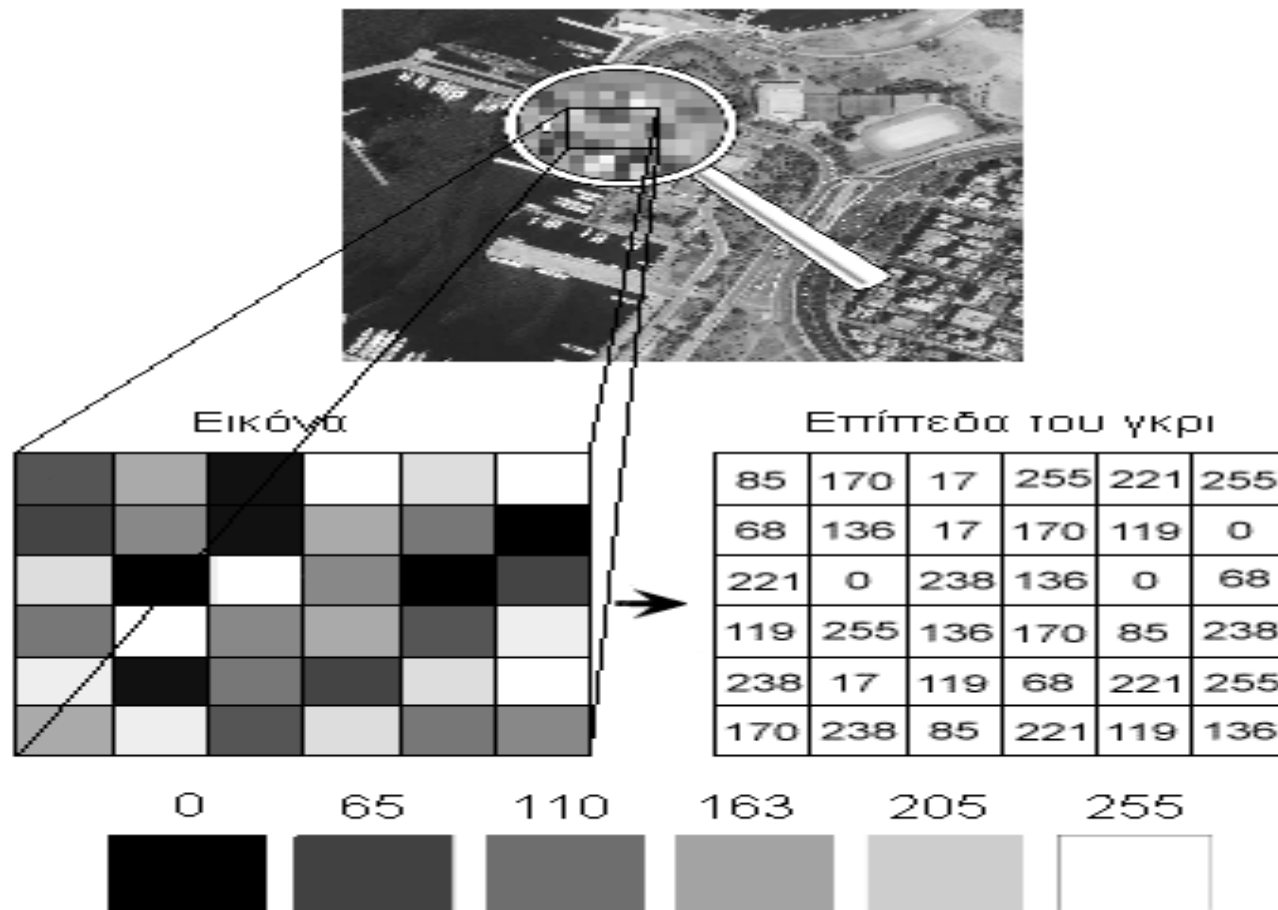
Instantaneous Field of View (IFOV)

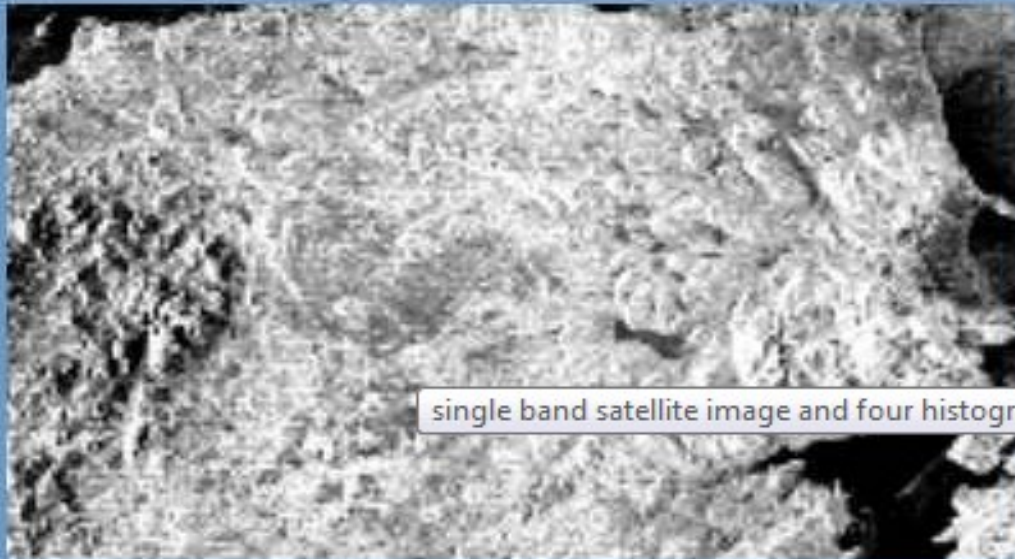
Satellite Sampling

Links:

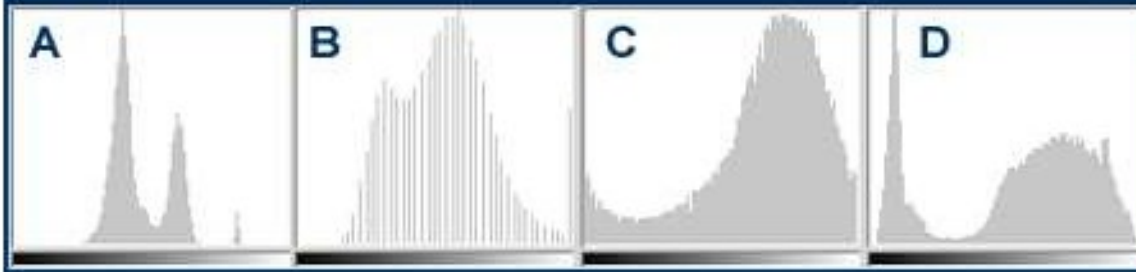
http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter2/08_e.php

Από την καταγραφή της Η/Μ ακτινοβολίας (στο δορυφορικό ανιχνευτή) στη δορυφορική εικόνα



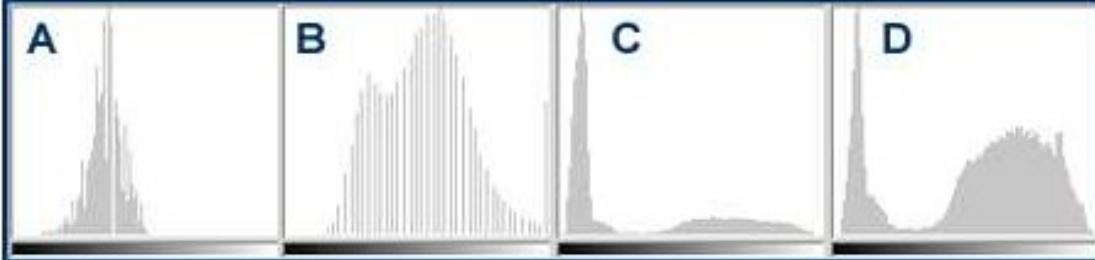


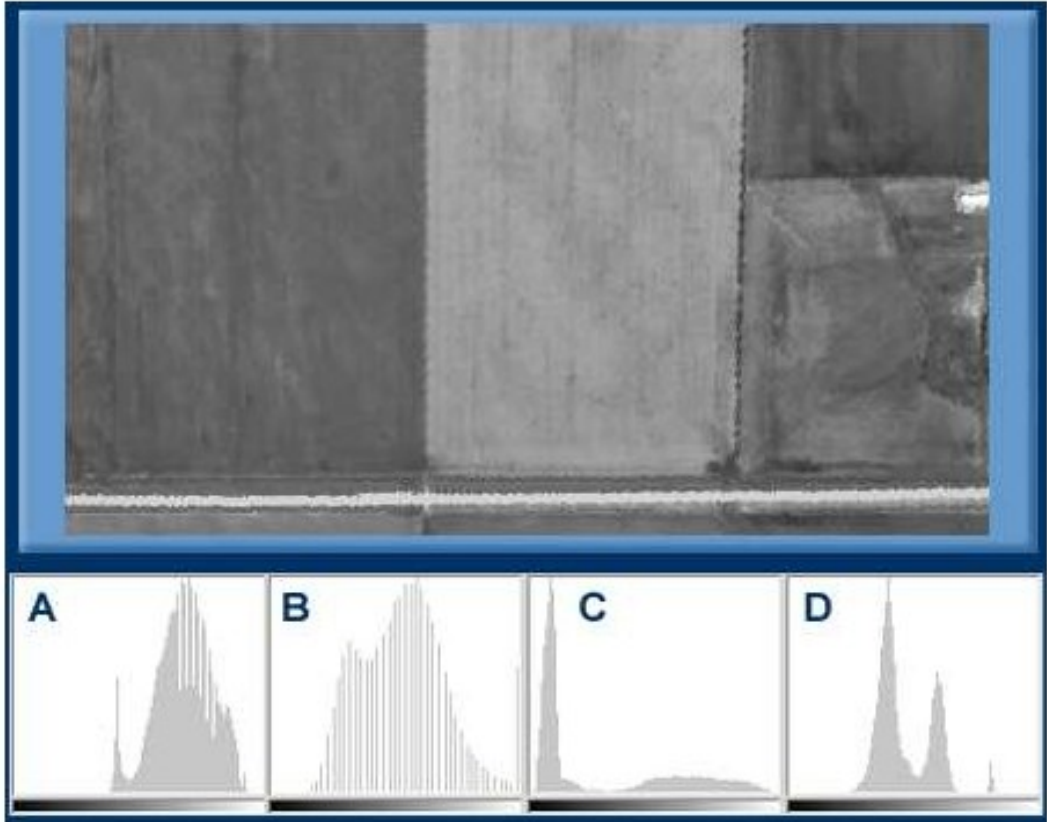
single band satellite image and four histograms

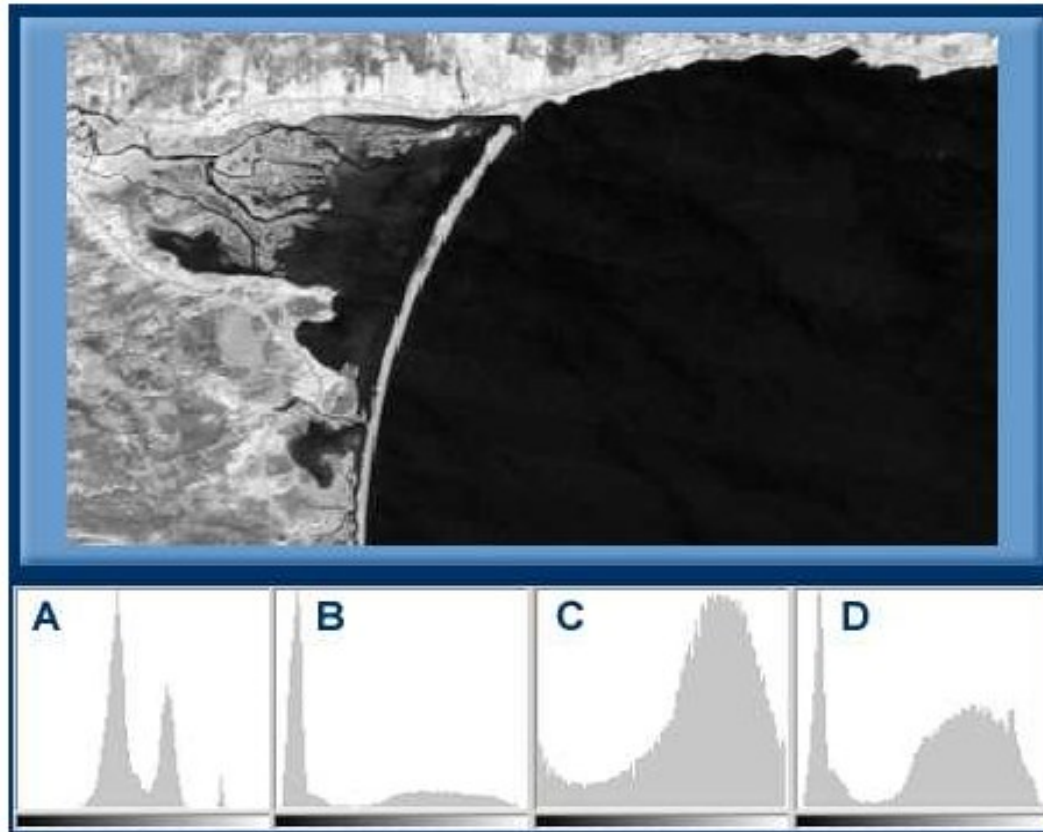


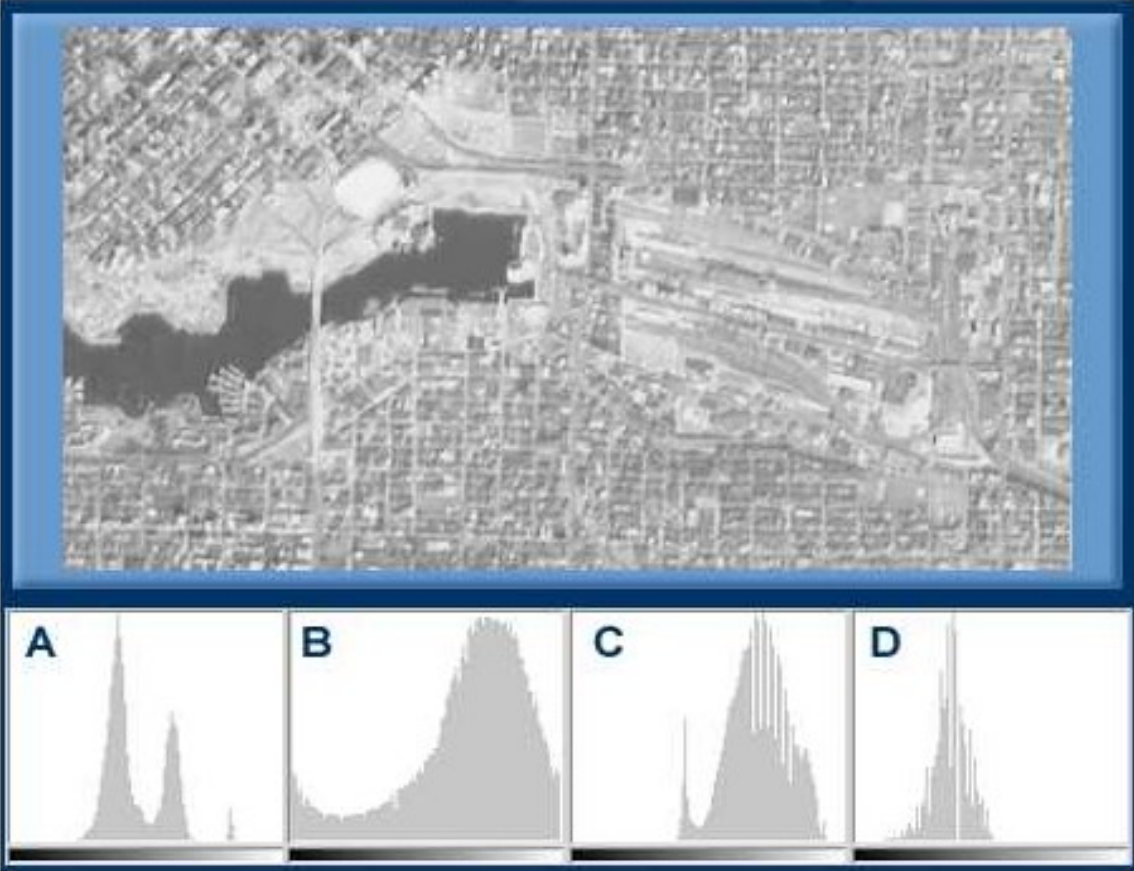


single band satellite image a









Εκπομπή

Κάθε υλικό σώμα ακτινοβολεί ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται *εκπομπή (emission)* ακτινοβολίας.

Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος. Όσο πιο θερμό είναι ένα σώμα τόσο πιο έντονα ακτινοβολεί και μάλιστα σε πιο μικρά μήκη κύματος. Εκτός όμως από τη θερμοκρασία η ένταση της ακτινοβολίας ενός σώματος εξαρτάται και από τη φύση του σώματος.

Για τη μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα υλικό σώμα χρησιμοποιείται η έννοια του μέλανος (μαύρου) σώματος. **Μέλαν σώμα** (*blackbody*) είναι το υποθετικό σώμα το οποίου η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, σε κάθε μήκος κύματος και σε κάθε θερμοκρασία, είναι η μέγιστη δυνατή.

Το μέλαν σώμα απορροφά πλήρως την ακτινοβολία όλων των μηκών κύματος που προσπίπτει σε αυτό και είναι ισότροπη πηγή δηλ. εκπέμπει σταθερή ένταση ακτινοβολίας προς όλες τις διευθύνσεις.

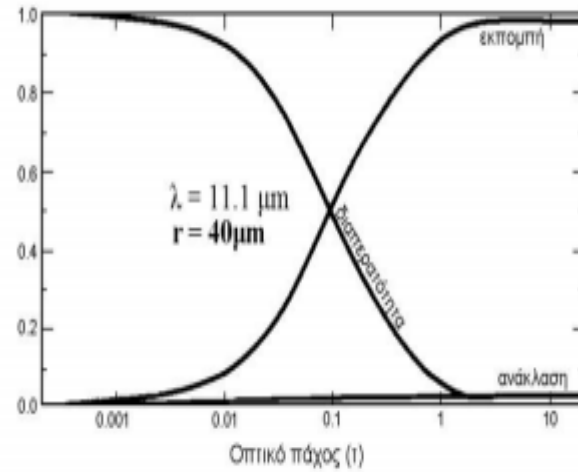
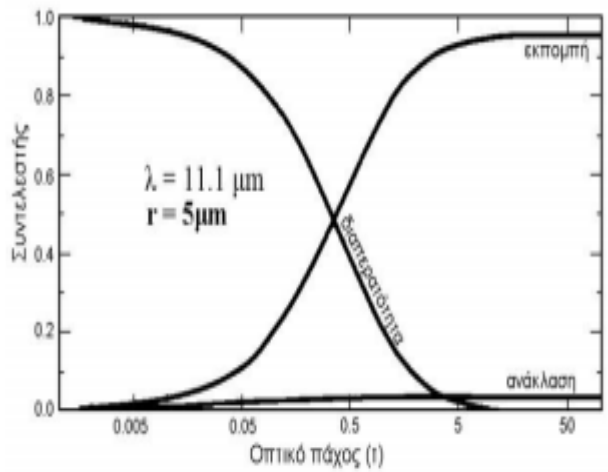
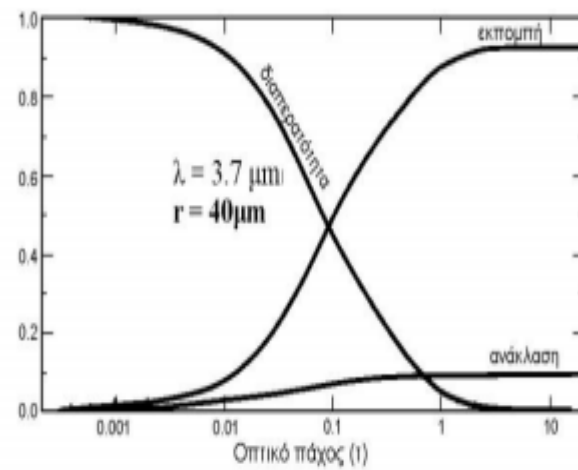
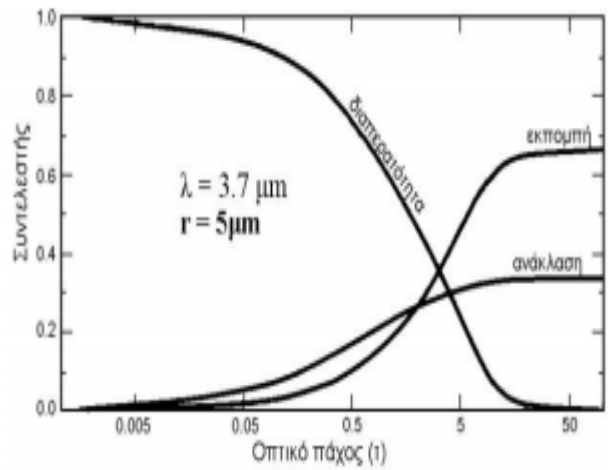
Τα περισσότερα υλικά σώματα δεν συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα. Για το λόγο αυτό εισάγεται η έννοια του συντελεστή εκπομπής, ο οποίος εκφράζει την ικανότητα του πραγματικού σώματος να εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε σχέση με αυτή του μέλανος σώματος.

Απορρόφηση

Όταν η ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα σώμα, τότε ένα μέρος αυτής απορροφάται με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό καλείται **απορρόφηση (absorption)** της ακτινοβολίας.

Το ποσό της ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος, τη φύση του υλικού και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Το μέλαν σώμα απορροφά πλήρως την ακτινοβολία όλων των μηκών κύματος.

Τα πετρώματα της γης είναι καλοί απορροφητές σε αντίθεση με το χιόνι και τον πάγο. Ιδιαίτερα, το χρώμα του σώματος παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση της ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα. Είναι γνωστό ότι τα σώματα με σκούρο χρώμα είναι καλύτεροι απορροφητές της ορατής ακτινοβολίας από τα σώματα με ανοικτά χρώματα.



Παράμετροι ενδιαφέροντος

- Οπτική διαδρομή (optical path) dS
- Οπτικό πάχος (optical depth) ρdS (ρ η πυκνότητα)
- Διαπερατότητα (transmitivity)
- Ανακλαστικότητα (reflectivity) – λευκαύγεια (albedo)
- Συντελεστής απορρόφησης
- Συντελεστής εκπομπής (emission coefficient)

Η ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



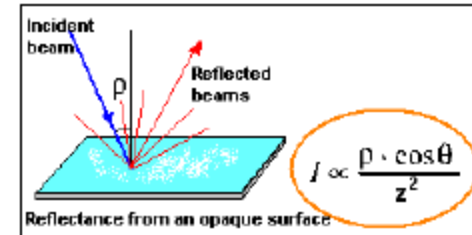
ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ (albedo) ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ/ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Λευκαύγεια (*Albedo*) ενός αντικειμένου ή μιας επιφάνειας είναι ο λόγος της διάχυτα ανακλώμενης ακτινοβολίας (ηλιακής) προς την προσπίπτουσα

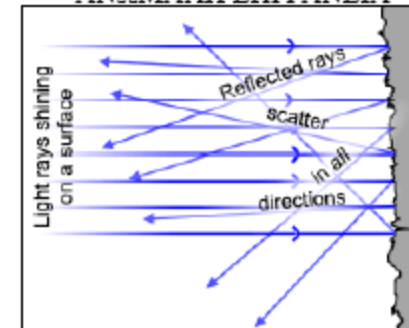
Είναι ίση με την ολοκληρωμένη *reflectivity* διάχυτη ανακλαστικότητα (δηλαδή, την ανακλαστικότητα σε διευθύνσεις) σε στερεά γωνία 2π steradians

Είναι αδιάστατο μέγεθος (τιμές 0 έως 1) και είναι ενδεικτική της διάχυτης ανακλαστικότητας του αντικειμένου/της επιφάνειας

Εξαρτάται από το μήκος κύματος και τη διεύθυνση πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Εξαιρέση ως προς το δεύτερο αποτελούν οι ισότροπες (Lambertian) επιφάνειες



ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΑΠΟ ΑΝΩΜΑΛΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



Λευκαύγεια διαφόρων τύπων επιφανειών στο κλιματικό σύστημα Γης-Ατμόσφαιρας

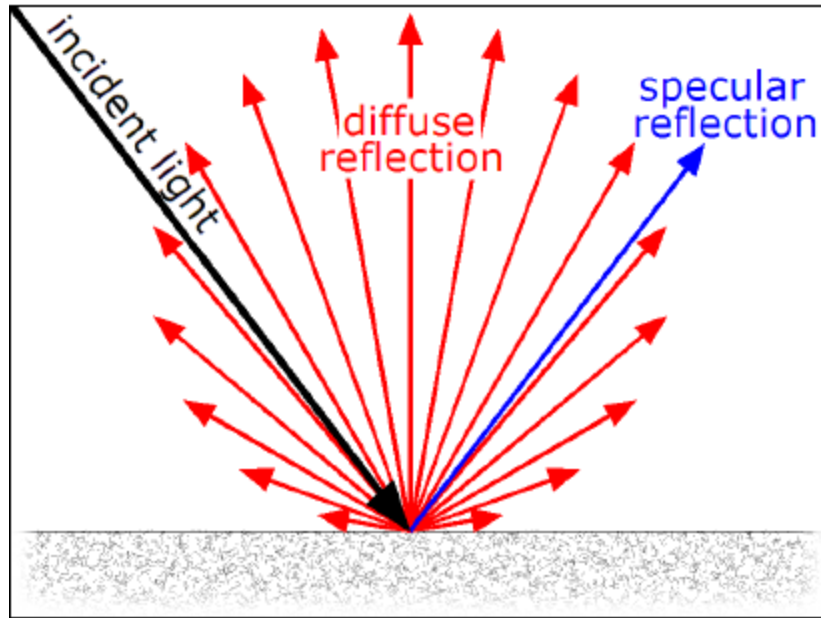
ΧΙΟΝΙ

ΝΕΦΗ

οι συνιστώσες του συστήματος με τη μεγαλύτερη λευκαύγεια (>40%)

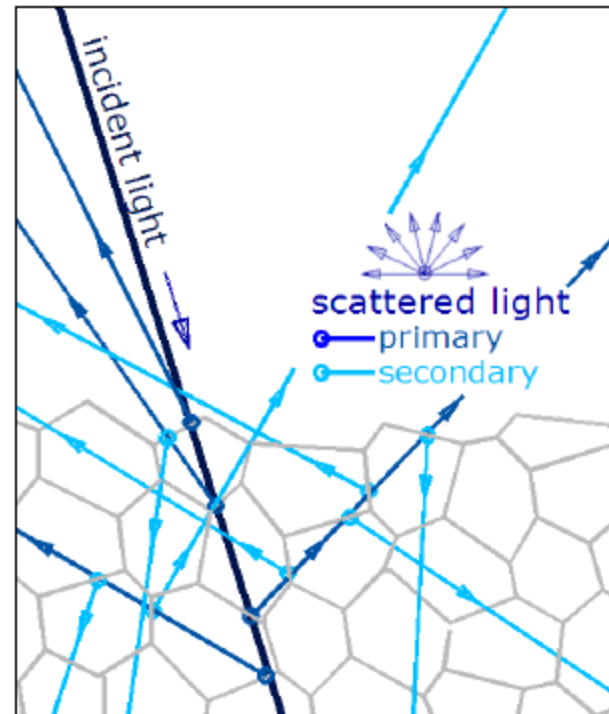
Εξαρτάται επίσης από το είδος του υλικού στο οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία.

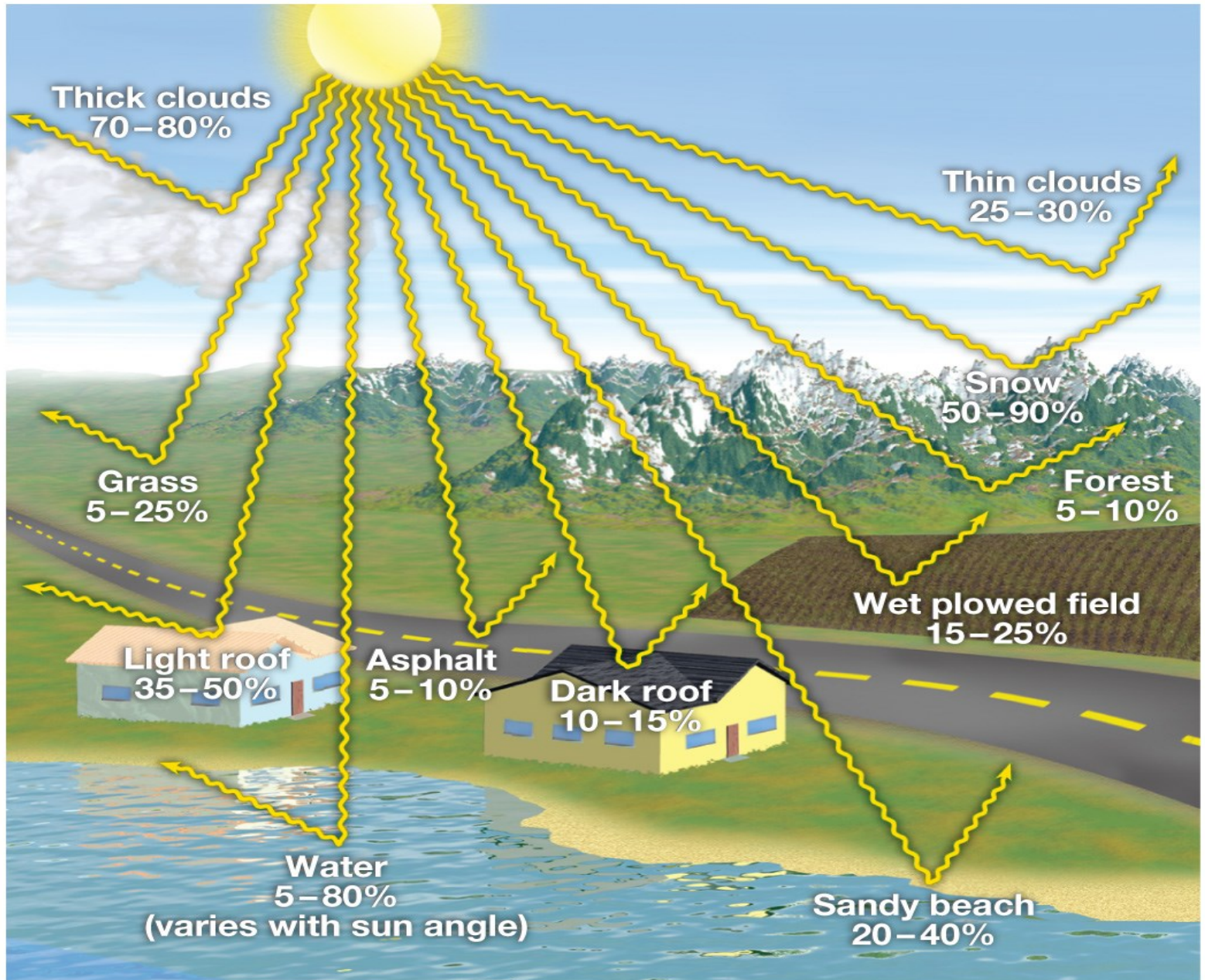
ΛΕΥΚΑΥΤΕΙΑ (albedo) ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ/ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

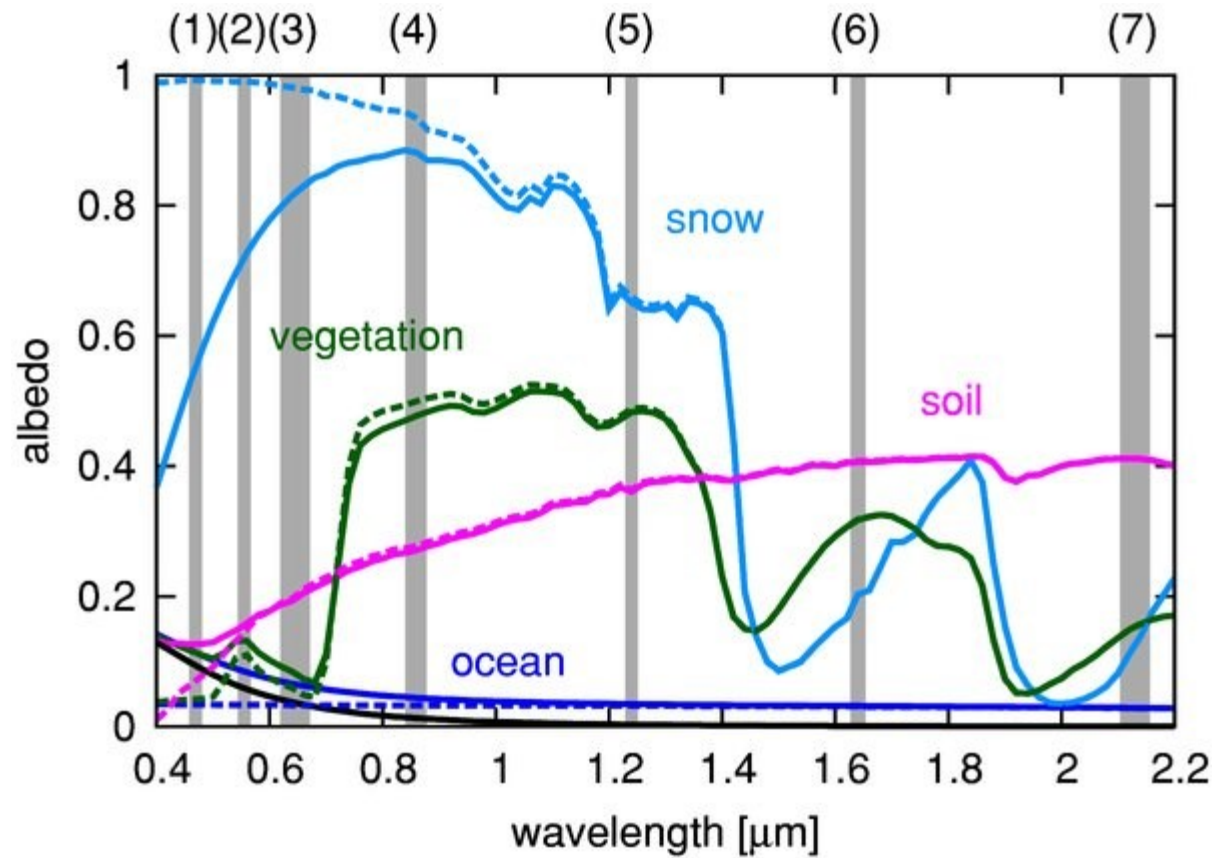


ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ
ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΗ
ΑΝΑΚΛΑΣΗ
ΑΠΟ ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

**ΓΕΝΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ
ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ
ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΤΕΡΕΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
(ΑΓΝΟΩΝΤΑΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ)**





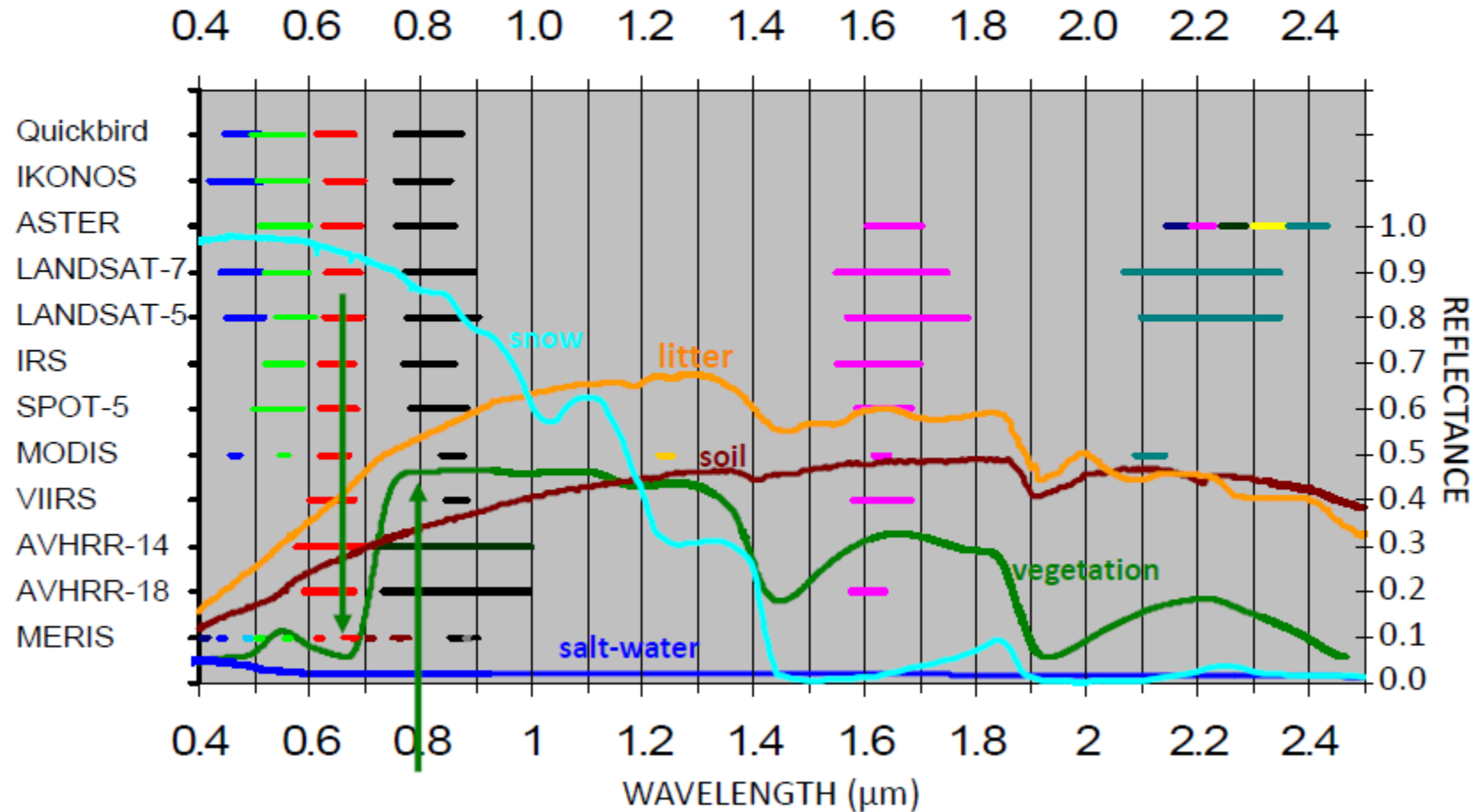




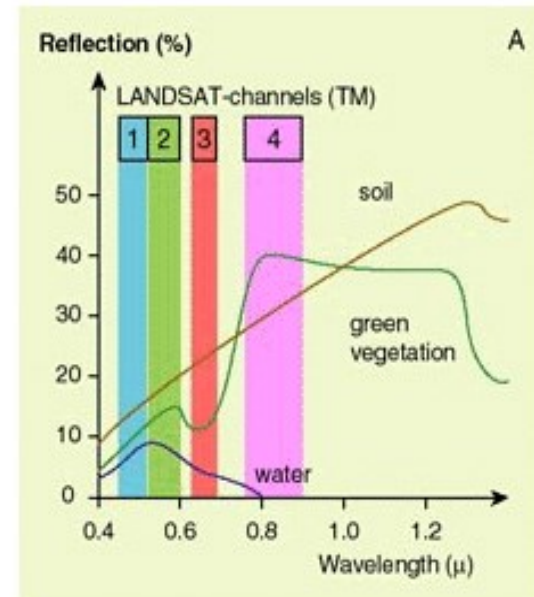
Hyperspectral component reflectance spectra

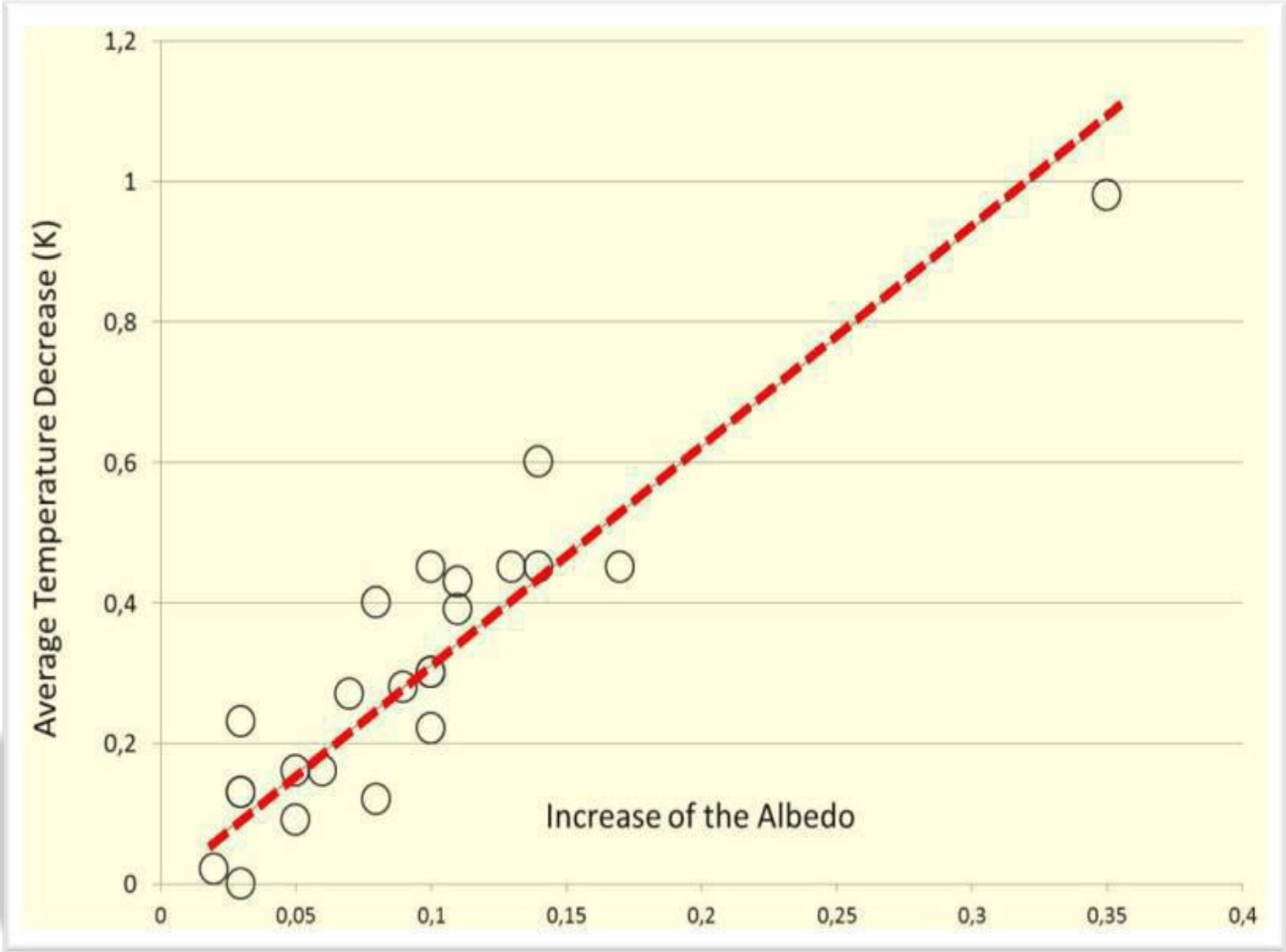
Sensors multi-spectral band resolutions

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red})$$



Η βλάστηση εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου στο κανάλι 4 και μικρή ανάκλαση στην περιοχή του ορατού στο κανάλι 3. Αυτό επιτρέπει τη διάκριση των περιοχών με βλάστηση από τις χέρσες περιοχές.





ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ



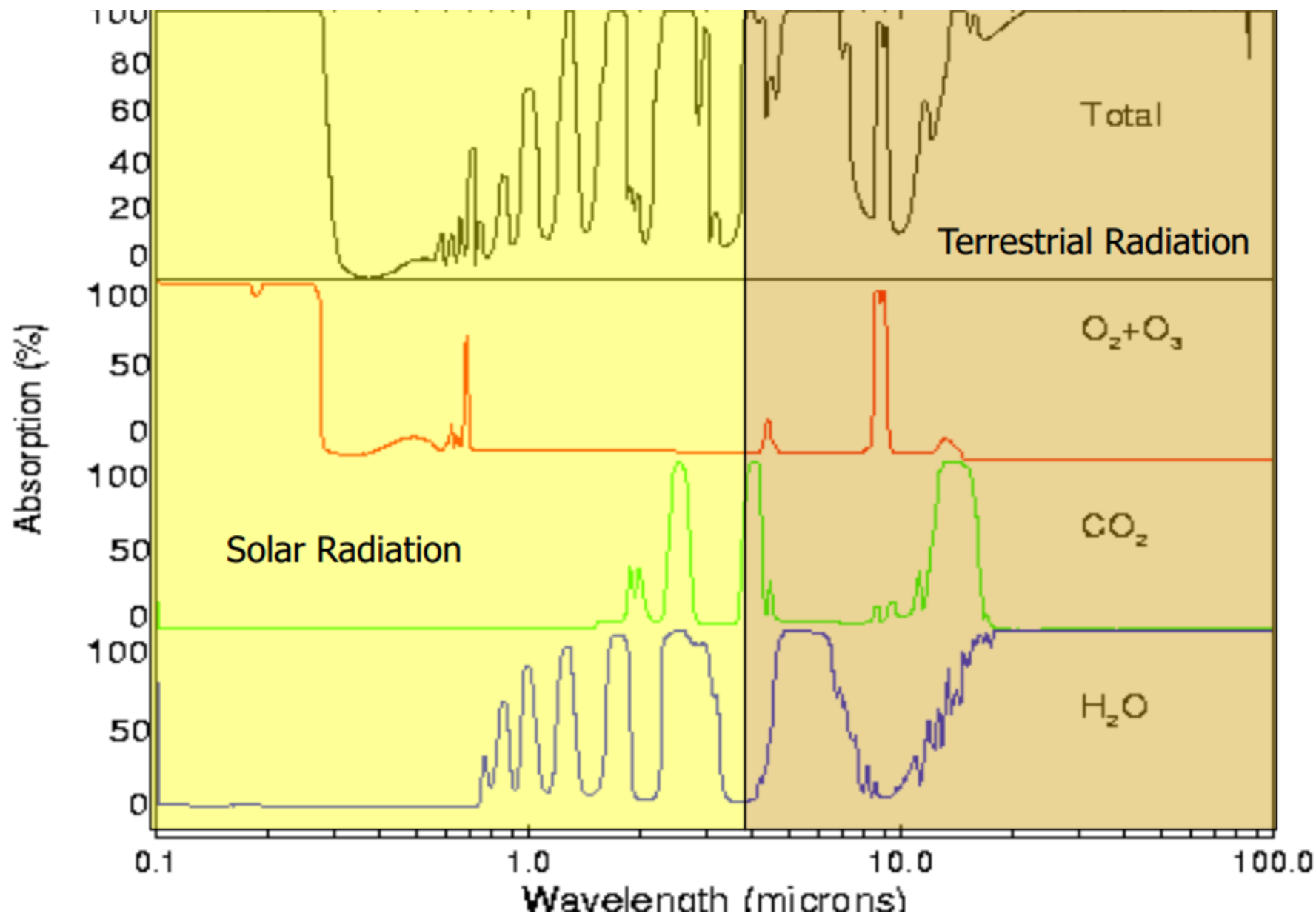
Ο **συντελεστής απορρόφησης** $\alpha_{(\lambda)}$ (*absorptivity*) ενός πραγματικού σώματος, για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφά το σώμα, όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε αυτό. Ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{\alpha(\lambda)}$ που απορροφά το σώμα, προς την ένταση της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας $I_{\pi(\lambda)}$:

$$\alpha_{(\lambda)} = \frac{I_{\alpha(\lambda)}}{I_{\pi(\lambda)}}$$

Κατ' αναλογία με τον ολικό συντελεστή εκπομπής ορίζεται και ο **ολικός ή ολοφασματικός συντελεστής απορρόφησης** $\alpha_{ολ}$ ο οποίος αναφέρεται στο ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα πραγματικό σώμα σε όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος:

$$\alpha_{ολ} = \frac{\int_0^{\infty} I_{\alpha(\lambda)} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\pi(\lambda)} d\lambda} = \frac{I_{\alpha}}{I_{\pi}}$$

όπου I_{π} η ολική ένταση ακτινοβολίας που προσπίπτει στο σώμα δηλ. για όλα τα μήκη κύματος, και I_{α} η ολική ένταση ακτινοβολίας που απορροφά το σώμα.



Ο ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



Ο συντελεστής εκπομπής $\epsilon_{(\lambda)}$ (emissivity) ενός πραγματικού σώματος για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{(\lambda)}$ που εκπέμπει το σώμα σε θερμοκρασία T , προς την ένταση ακτινοβολίας $I_{M(\lambda)}$ του ίδιου μήκους κύματος που εκπέμπει το μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία.

Ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος, το μήκος κύματος και τη διεύθυνση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Το εύρος των τιμών του κυμαίνεται από 0 έως 1.

Ο ολικός ή ολοφασματικός συντελεστής εκπομπής $\epsilon_{ολ}$ αναφέρεται στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα πραγματικό σώμα θερμοκρασίας T σε όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\epsilon_{ολ} = \frac{\int_0^{\infty} I_{(\lambda)} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{M(\lambda)} d\lambda} = \frac{I}{I_M}$$

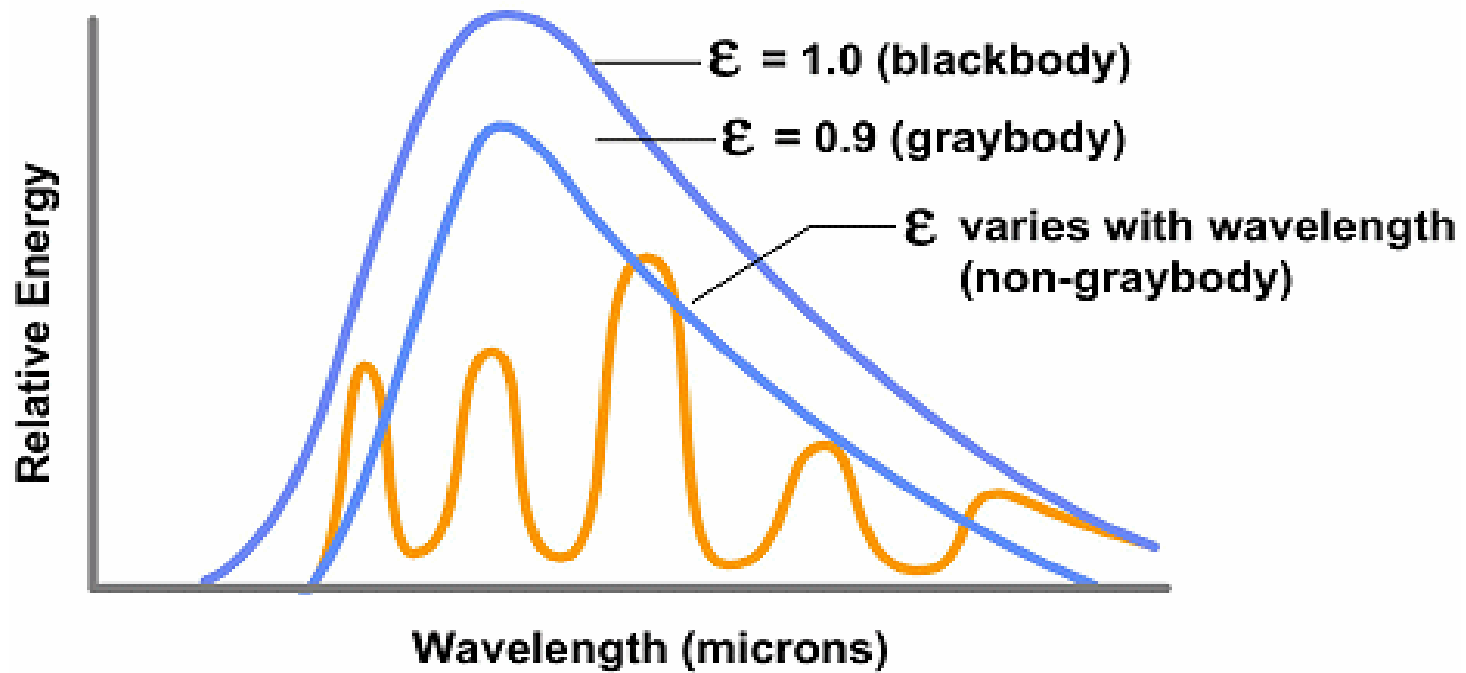
όπου I η ολική ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπει το πραγματικό σώμα δηλ. για όλα τα μήκη κύματος σε θερμοκρασία T , και I_M η ολική ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπει το μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία.

Στην πραγματικότητα τα υλικά σώματα δεν συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα, καθώς έχουν συντελεστή εκπομπής η τιμή του οποίου είναι μικρότερη της μονάδος σε διάφορα μήκη κύματος.

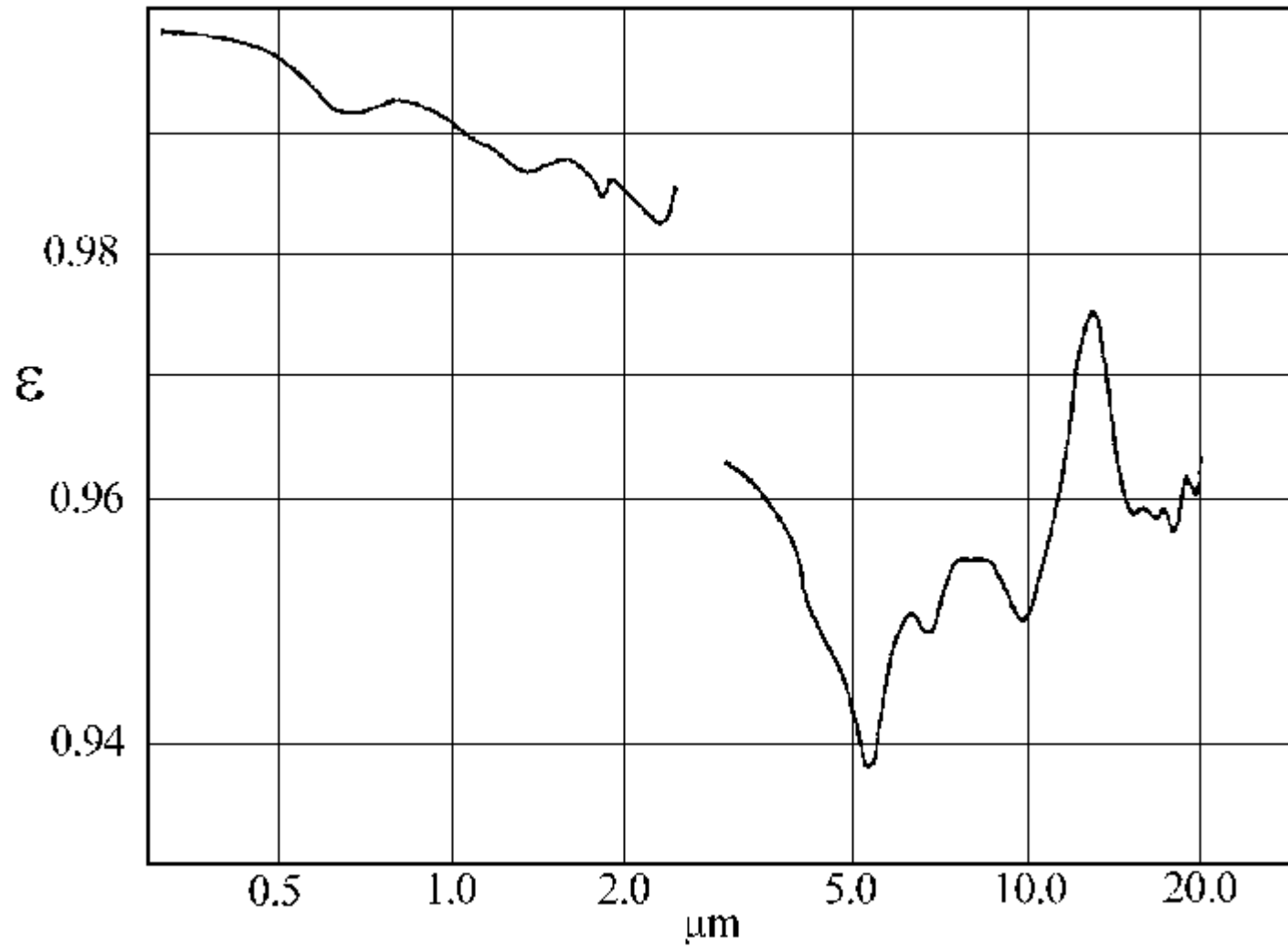
Ανάλογα όμως με την περίπτωση μπορούν να γίνουν ορισμένες προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, ο ήλιος μπορεί να θεωρηθεί μέλαν σώμα.

Ένα πραγματικό όμως σώμα μπορεί να συμπεριφέρεται ως μέλαν σώμα σε ορισμένα μόνο μήκη κύματος.

Για παράδειγμα, τα περισσότερα σώματα στη γη συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10-12 μm).



Typical Surface Emissivity



Διαπερατότητα

Στην περίπτωση που το σώμα είναι διαφανές στην προσπίπτουσα ακτινοβολία τότε ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας διέρχεται μέσα από το σώμα. Το φαινόμενο αυτό καλείται **διαπερατότητα (transmission)**.

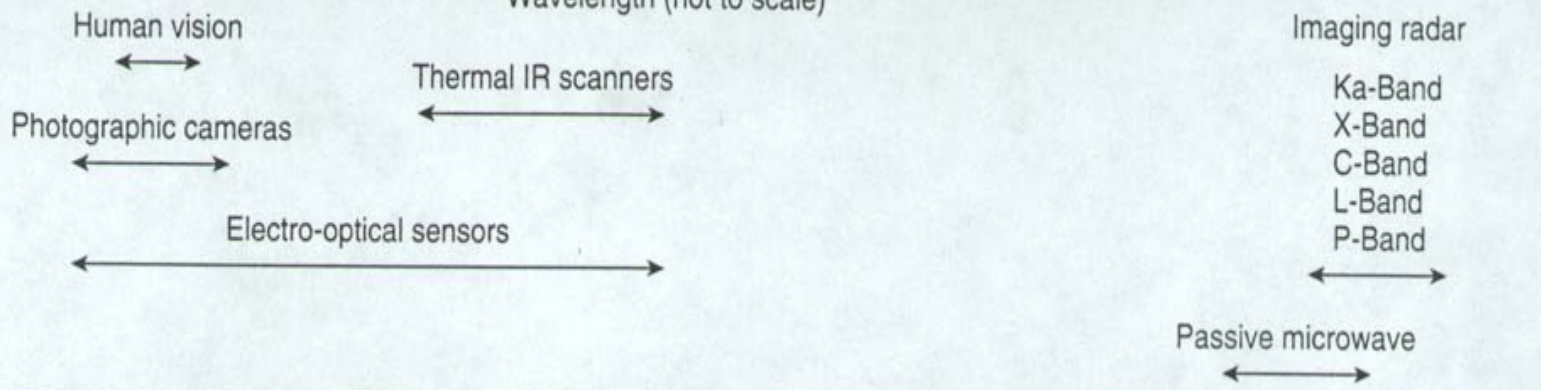
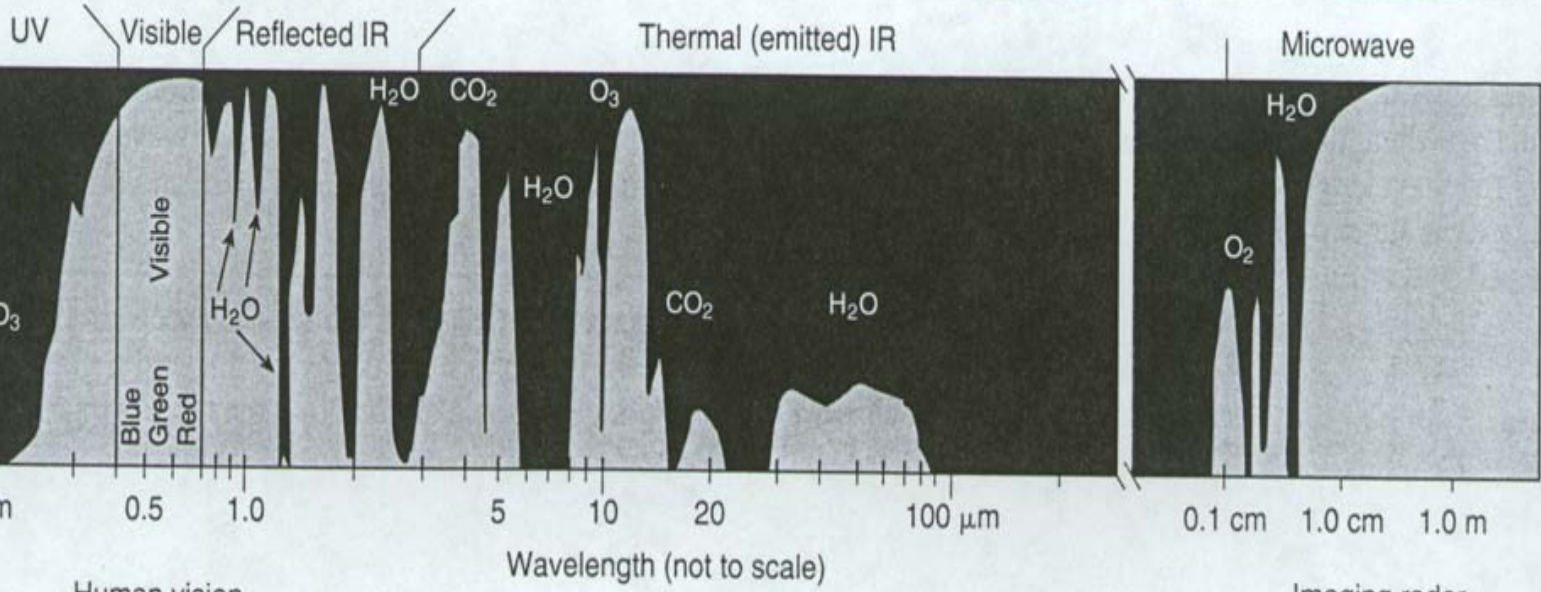
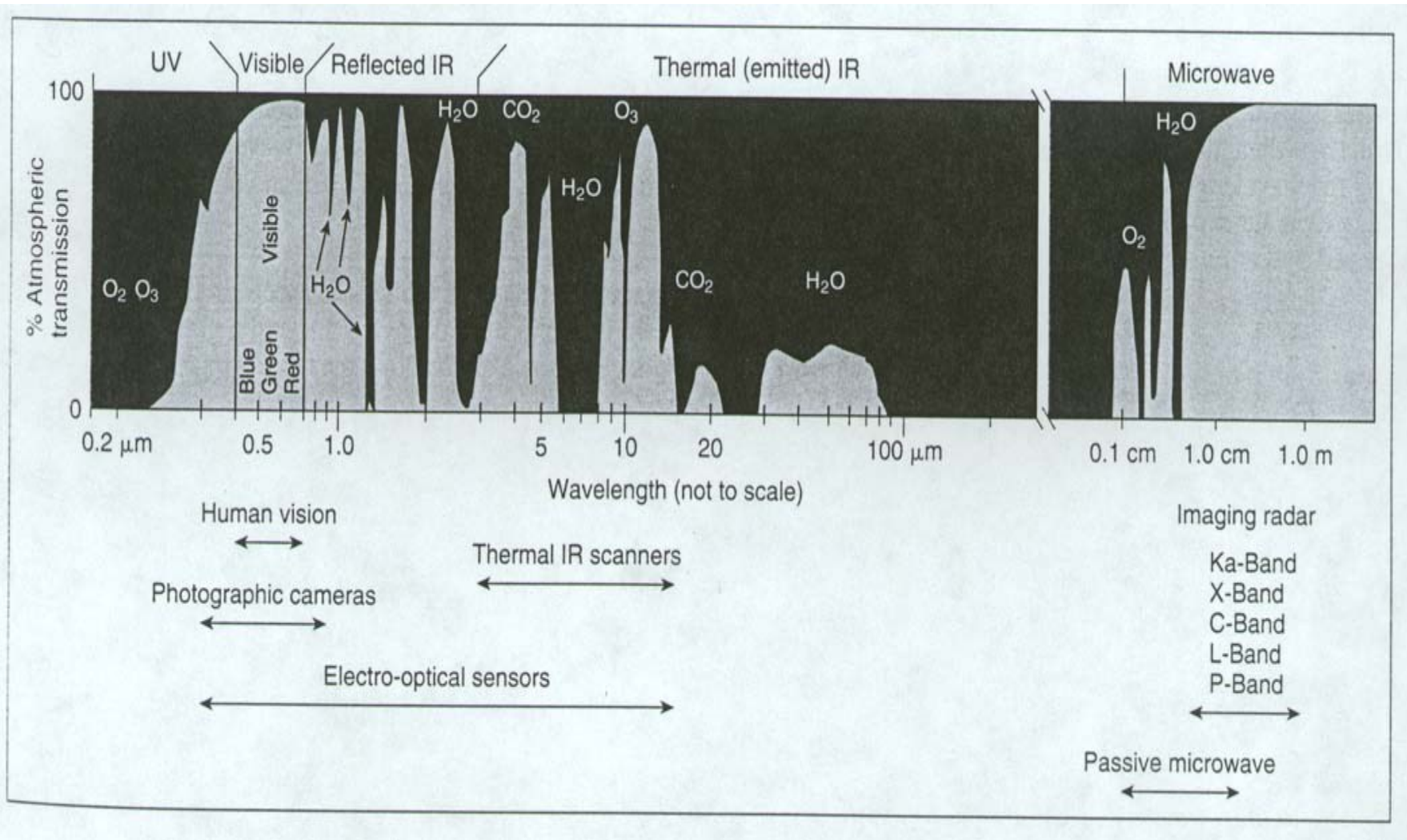
Η διαπερατότητα ενός σώματος μετράται με το **συντελεστή διαπερατότητας $t_{(\lambda)}$** ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαπερνά ένα σώμα, σε σχέση με την ακτινοβολία που δέχεται. Ορίζεται ως:

$$\alpha_{(\lambda)} = \frac{I_{t(\lambda)}}{I_{\pi(\lambda)} - I_{r(\lambda)}}$$

όπου $I_{\pi(\lambda)}$ η προσπίπτουσα στο σώμα ακτινοβολία και $I_{r(\lambda)}$ η ανακλώμενη ακτινοβολία.

Η διαπερατότητα ενός σώματος εξαρτάται εκτός από τη φύση του σώματος και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Η ατμόσφαιρα, για παράδειγμα, είναι αρκετά διαπερατή στην ηλιακή ακτινοβολία ενώ αντίθετα η διαπερατότητα της σε ορισμένα μήκη κύματος στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου είναι μηδενική.



ΠΟΙΑ Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ
ΕΚΠΟΜΠΗΣ, ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχέση μεταξύ των συντελεστών εκπομπής, διαπερατότητας και ανάκλασης

Οι συντελεστές εκπομπής ε , διαπερατότητας t και ανάκλασης r συνδέονται με τη σχέση:

$$\varepsilon = (1-t)(1-r)$$

Για πλήρως αδιαφανή σώματα, όπως είναι η επιφάνεια της γης, είναι $t = 0$, οπότε ισχύει:

$$\varepsilon = 1 - r$$

Η προηγούμενη σχέση ερμηνεύεται ως εξής: ένας καλός ανακλαστήρας είναι κακός πομπός ακτινοβολίας και αντίστροφα.

Νόμοι της ακτινοβολίας

Ο νόμος του *Planck* δίνει τη σχέση της ειδικής έντασης ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ($I_{(\lambda)M}$) με την θερμοκρασία του T και το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας. Ο νόμος του *Planck* εκφράζεται από τη σχέση:

$$I_{(\lambda)M} = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

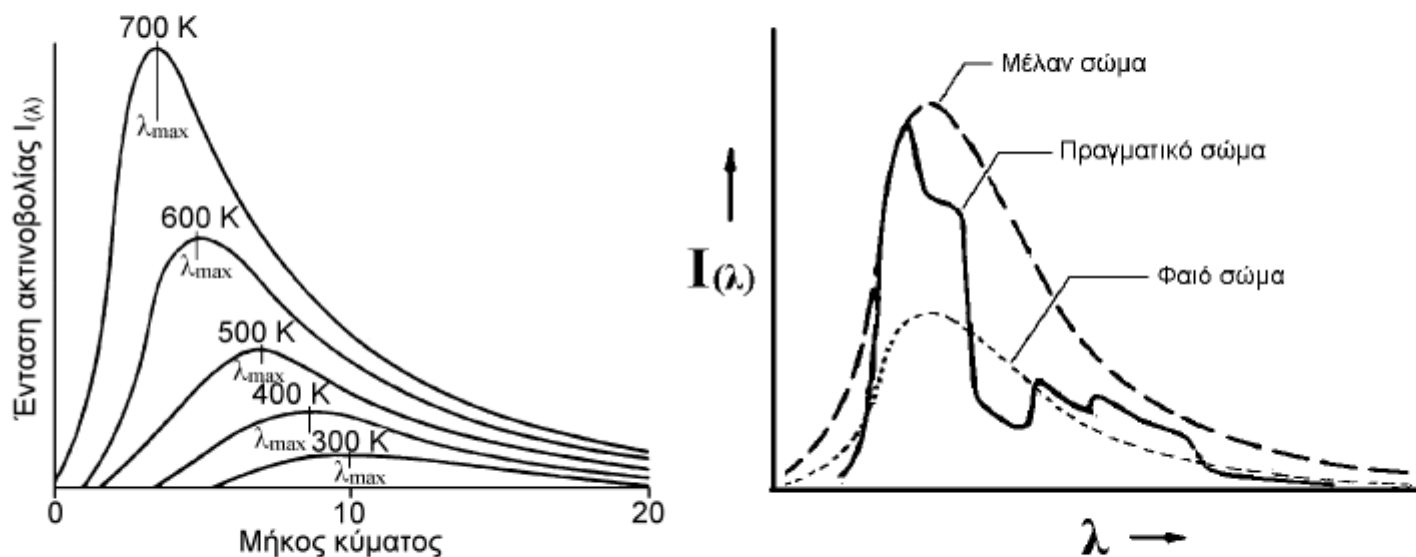
όπου $c_1 = 3.7 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$ και $c_2 = 1.43 \cdot 10^{-2} \text{ m K}$.

Τα πραγματικά σώματα, όπως η γη και τα περισσότερα σώματα στη γη, δεν συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα διότι η ικανότητα εκπομπής της μεταβάλλεται με το μήκος κύματος, επηρεάζοντας έτσι την ολική ροή της ακτινοβολίας F .

Συγκεκριμένα, η ειδική ένταση της ακτινοβολίας $I_{(\lambda)}$ ενός πραγματικού σώματος, με μήκος κύματος λ , εξαρτάται από την θερμοκρασία T , το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας και την ικανότητα εκπομπής $\varepsilon_{(\lambda)}$ στο συγκεκριμένο μήκος κύματος λ , σύμφωνα με την σχέση:

$$I_{(\lambda)} = \varepsilon_{(\lambda)} I_{(\lambda)M} = \varepsilon_{(\lambda)} \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

Η φασματική κατανομή της έντασης ακτινοβολίας μέλανος, φαιού και ενός πραγματικού σώματος παρουσιάζεται ποιοτικά στην Εικόνα που ακολουθεί:



Η ικανότητα εκπομπής $\epsilon(\lambda)$ ενός σώματος, για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος λ , αλλάζει με τη θερμοκρασία του.

Το έδαφος της γης δεν συμπεριφέρεται ως μέλαν σώμα γιατί η ικανότητα εκπομπής του $\epsilon_{(λ)}$ διαφέρει στα διάφορα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα η ολική ικανότητα εκπομπής $\epsilon_{(ολ)}$ να είναι διάφορη της μονάδας.

Για τα μήκη κύματος από 8 έως 14 μm , τα οποία, κυρίως, ανιχνεύουν οι δορυφορικοί αισθητήρες, η επιφάνεια της γης, εκτός των αστικών πλεγμάτων, καθώς και τα πυκνά νέφη, έχουν ικανότητα εκπομπής που προσεγγίζει την τιμή της μονάδας, με αποτέλεσμα τα σώματα να συμπεριφέρονται ως φαιά σώματα.

Υπάρχουν όμως ορισμένες εξαιρέσεις, όπως το χιόνι και η βλάστηση των οποίων οι ικανότητες εκπομπής και απορρόφησης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος κύματος και συνεπώς οι επιφάνειές τους δεν συμπεριφέρονται ως αληθινά φαιά σώματα. Το χιόνι απορροφά, σχετικά, ασθενώς στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα και έντονα στις υπόλοιπες περιοχές της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

1ος ΝΟΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ - PLANCK

εκπεμπόμενη ακτινοβολία από σώμα θερμοκρασίας $T_1 (> 0K)$

$$E_{\lambda}^* = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}$$

$$c_1 = 3.74 \cdot 10^8 \text{ W } \mu\text{m}^4 \text{ m}^{-2}$$

$$c_2 = 1.44 \cdot 10^4 \text{ } \mu\text{m K}$$

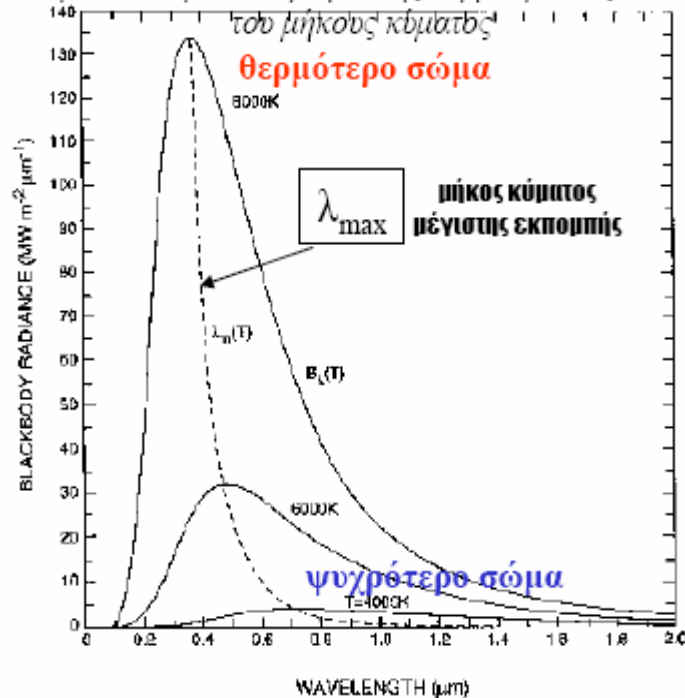
Εξίσωση Planck

$hc/K (T > 0 K)$

$$h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$K = 1.37 \times 10^{-23} \text{ J/grad}$$

καθορίζει το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από μέλαν σώμα συναρτήσει της θερμοκρασίας του και



Μοναδικό μέγιστο λ_{max}

Εξάρτηση από T

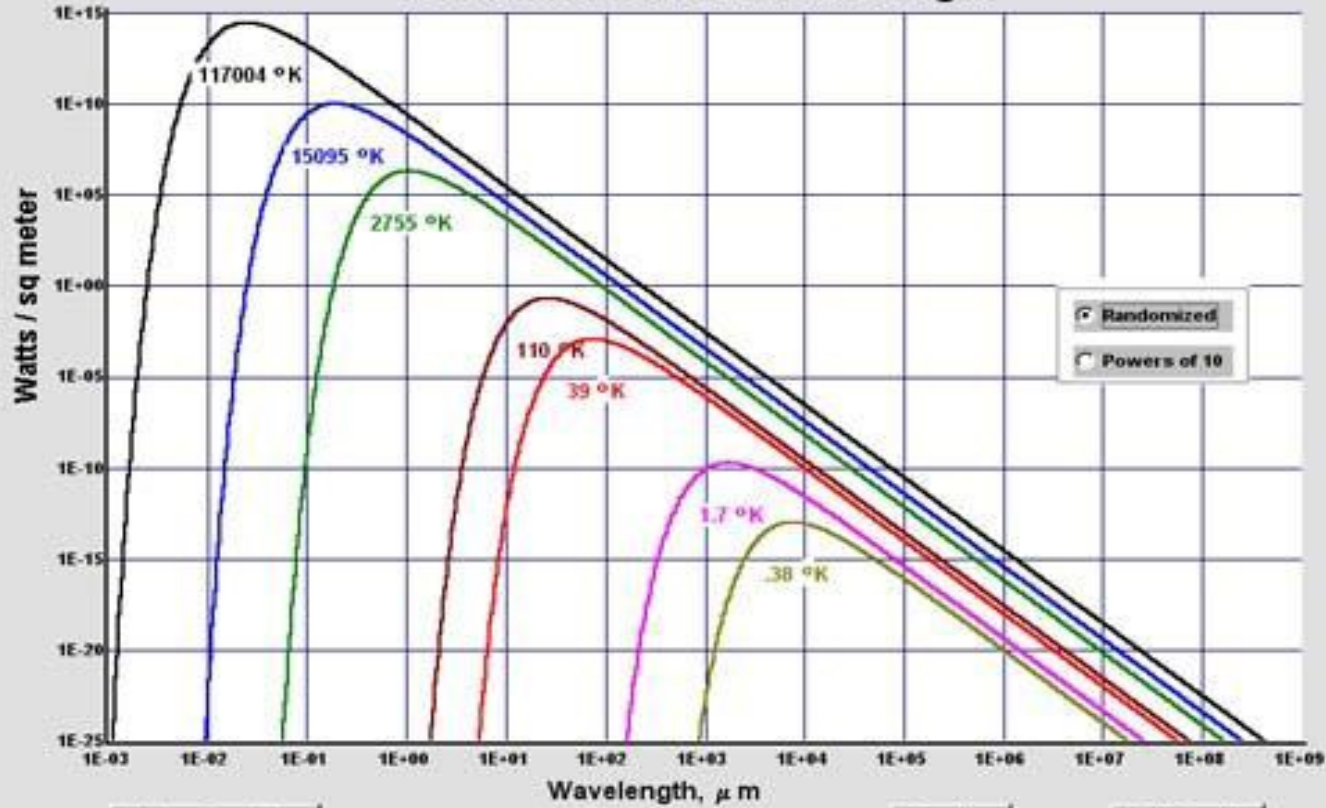
αύξηση θερμοκρασίας

αύξηση E_{λ}

ελάττωση λ_{max}



Radiative Power vs Wavelength



Show Equation

Audio

Exit Graphs

Ο νόμος του Wien

Νόμος του Wien δίνει τη σχέση του μήκους κύματος λ_{max} , όπου η ειδική ένταση ακτινοβολίας $I_{(\lambda)M}$ του μέλανος σώματος είναι μέγιστη, με την θερμοκρασία T του σώματος:

$$\lambda_{max} = \frac{C_1}{T} \quad (1.26)$$

όπου $C_1 = 2898$ $\mu\text{m K}$. Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση το λ_{max} μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την θερμοκρασία T του σώματος.

Συνεπώς, σώματα με υψηλή θερμοκρασία εκπέμπουν ακτινοβολία με μικρά μήκη κύματος ενώ σώματα με χαμηλή θερμοκρασία εκπέμπουν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.

Αν γνωρίζουμε το μήκος κύματος λ_{max} , τότε η θερμοκρασία που βρίσκεται από την επίλυση της προηγούμενης σχέσης ως προς T , λέγεται *θερμοκρασία χρώματος (colour temperature)*.

Ο νόμος των Stefan – Boltzmann

Ο νόμος των **Stefan – Boltzmann** δίνει την ολική ροή ακτινοβολίας μέλανος σώματος F_M σε σχέση με την θερμοκρασία του T και εκφράζεται από την σχέση:

$$F_M = \sigma T^4$$

όπου $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ η σταθερά του Stefan - Boltzmann και T η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin της πηγής.

Η ολική ροή F της ακτινοβολίας ενός πραγματικού σώματος σε θερμοκρασία T και με ολική ικανότητα εκπομπής $\varepsilon_{ολ}$, δίνεται από τη σχέση:

$$F = \varepsilon_{ολ} F_M = \varepsilon_{ολ} \sigma T^4$$

Γνωρίζοντας την ολική ροή ακτινοβολίας F ή την ολική ροή ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος (π.χ στο θερμικό υπέρυθρο) και την αντίστοιχη ολική ικανότητα εκπομπής $\varepsilon_{ολ}$, τότε η θερμοκρασία T ονομάζεται **θερμοκρασία ακτινοβολίας** ή **λαμπρότητας** (*temperature radiation or brightness temperature*).

Η επίλυση της σχέσης ως προς T καθορίζει τη θερμοκρασία που θα είχε το σώμα αν ήταν μέλαν σώμα.

Η θερμοκρασία αυτή καλείται *ισοδύναμη θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας μέλανος σώματος* (*equivalent temperature radiation or brightness temperature*).

Το μέγιστο της ακτινοβολίας της επιφάνειας της γης και των πυκνών νεφών βρίσκεται ανάμεσα στα 10 και 12 μm , δηλαδή στο θερμικό υπέρυθρο. Σε αυτά τα μήκη κύματος η επιφάνεια της γης και τα πυκνά νέφη είναι δυνατόν να θεωρηθούν μέλανα σώματα ($\epsilon_{\text{ολ}} = 1$) και, κατά συνέπεια, σύμφωνα με τον νόμο των Stefan - Boltzmann η ακτινοβολία που εκπέμπουν μπορεί να μετατραπεί σε θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας, η οποία, στην περίπτωση αυτή, είναι ίση με την *ισοδύναμη θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας μέλανος σώματος*.

Η ακτινοβολία στο θερμικό υπέρυθρο καλείται και *θερμική ακτινοβολία* (*thermal radiance*), η οποία εξαρτάται άμεσα τόσο από την θερμοκρασία της πηγής, σύμφωνα με τον νόμο των Stefan - Boltzmann όσο και από την επίδραση της ατμόσφαιρας κατά την διέλευσή της μέσα από αυτήν.

Ποια η σχέση μεταξύ του νόμου ακτινοβολίας μέλανος σώματος και του νόμου Stefan - Boltzman

Νόμος του Planck για την ακτινοβολία μέλανος σώματος:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$\text{ή} \quad \nu = c/\lambda$$

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

Νόμος των Stefan-Boltzmann για την ολική ροή ενός μέλανος σώματος:

$$f(T) = \pi \int_0^{\infty} B_{\lambda}(T) d\lambda$$

$$hc/\lambda kT = y$$

$$f(T) = \frac{2\pi(kT)^4}{h^3 c^2} \int_0^{\infty} \frac{y^3 dy}{e^y - 1}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{y^3 dy}{e^y - 1} = \pi^4/15$$

Τελικά προκύπτει:

$$f(T) = \sigma T^4 \quad \text{με}$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2}$$

Terminology of radiant energy

**Energy from
the Earth Atmosphere**

over time is

Flux

which strikes the detector area

Irradiance

at a given wavelength interval

**Monochromatic
Irradiance**

over a solid angle on the Earth

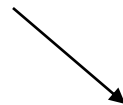
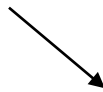
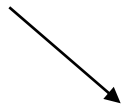
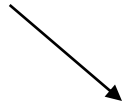
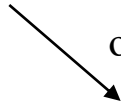
**Radiance observed by
satellite radiometer**

is described by

The Planck function

can be inverted to

Brightness temperature



Ορισμοί

QUANTITY	SYMBOL	UNITS
Energy	dQ	Joules
Flux	dQ/dt	Joules/sec = Watts
Irradiance	dQ/dt/dA	Watts/meter²
Monochromatic Irradiance	dQ/dt/dA/dλ	W/m²/micron
	or	
	dQ/dt/dA/dν	W/m²/cm⁻¹
Radiance	dQ/dt/dA/dλ/dΩ	W/m²/micron/ster
	or	
	dQ/dt/dA/dν/dΩ	W/m²/cm⁻¹/ster

Νόμος Beer - Lambert

Όταν μια ακτινοβολία προσπέσει σε ένα υλικό που δεν είναι τέλειο σώμα, τότε ένα μέρος της θα σκεδαστεί, ένα μέρος θα απορροφηθεί και το υπόλοιπο θα περάσει μέσα από το σώμα.

Σύμφωνα με το νόμο του Beer-Lambert, η μείωση της ειδικής έντασης της ακτινοβολίας $dI_{(\lambda)}$ λόγω απορρόφησης κατά τη διέλευσή της μέσα από ένα ρευστό είναι ανάλογη της έντασης $I_{(\lambda)}$ της εισερχόμενης ακτινοβολίας, της πυκνότητας ρ του ρευστού και του μήκους διαδρομής dx μέσα στο ρευστό και εκφράζεται από τη σχέση:

$$dI_{\lambda} = -I_{\lambda} k_{\lambda}^{opt} \rho dx$$

όπου k_{λ}^{opt} ο συντελεστής εξασθένησης λόγω απορρόφησης του ρευστού ο οποίος εξαρτάται από τη φύση του υλικού και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Αν πέραν της απορρόφησης υπάρχει και σκέδαση δηλ. απομάκρυνση των φωτονίων από την αρχική δέσμη και μεταβολή της διεύθυνσης κίνησής τους, τότε ο νόμος του Beer-Lambert θα δίνεται από τη σχέση:

$$dI_{\lambda} = -I_{\lambda} k_{\lambda}^{\sigma\kappa} \rho dx$$

όπου $k_{\lambda}^{\sigma\kappa}$ ο συντελεστής εξασθένησης λόγω σκέδασης.

Αν σε ένα υλικό συμβαίνει και σκέδαση και απορρόφηση, τότε ο νόμος του Beer-Lambert εκφράζεται από τη σχέση:

$$dI_{\lambda} = -I_{\lambda}(k_{\lambda}^{sc} + k_{\lambda}^{ab})\rho dx$$

Οι προηγούμενες σχέσεις παίρνουν τη μορφή:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} e^{-k_{\lambda}\rho x}$$

όπου I_{λ_0} η αρχική ένταση ακτινοβολίας, I_{λ} η ένταση ακτινοβολίας μετά τη διέλευση απόστασης x μέσα στο υλικό, k_{λ} ο συντελεστής εξασθένισης λόγω σκέδασης ή απορρόφησης ή και των δυο και ρ η μέση πυκνότητα του στρώματος x .

Η προηγούμενη σχέση πολλές φορές εκφράζεται ως:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} e^{-u}$$

όπου u το *οπτικό πάχος* του ρευστού, το οποίο εξαρτάται από τη φύση του υλικού (k_{λ}), την περιεκτικότητα του σε σωματίδια (ρ) και το γεωμετρικό πάχος (x) του στρώματος.