



www.aegean.gr

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Σχολή Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας



Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση και οργάνωση πληροφορίας

Διάλεξη 3. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Dr. Κωνσταντίνος Ν. Τοπουζέλης

Περιεχόμενα μαθήματος

Το μάθημα αποτελείται από τις ακόλουθες ενότητες:

- (1) Εισαγωγή στην Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση
- (2) Τροχιές, δέκτες και δορυφόροι
- (3) Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση
- (4) Ψηφιακή δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση
- (5) Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης**
- (6) Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης
- (7) Θαλάσσια τηλεπισκόπηση: από τα δεδομένα στις εφαρμογές
- (8) Εισαγωγή στις μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας**
- (9) Εισαγωγή στις δορυφορικές μετρήσεις ωκεάνιου χρώματος**
- (10) Εισαγωγή στη μικροκυματική τηλεπισκόπηση
- (11) Φωτοερμηνεία θαλάσσιων και ατμοσφαιρικών φαινομένων**
- (12) Ολοκληρωμένες εφαρμογές θαλάσσιας τηλεπισκόπησης

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)

- Ορολογία (Maxwell, Planck, Einstein...)
- Πηγές ΗΜΑ
- ΗΜ φάσμα
- ΗΜΑ και ατμόσφαιρα
 - Ατμοσφαιρικά παράθυρα
- ΗΜΑ και γήινη επιφάνεια
 - Φασματικές υπογραφές

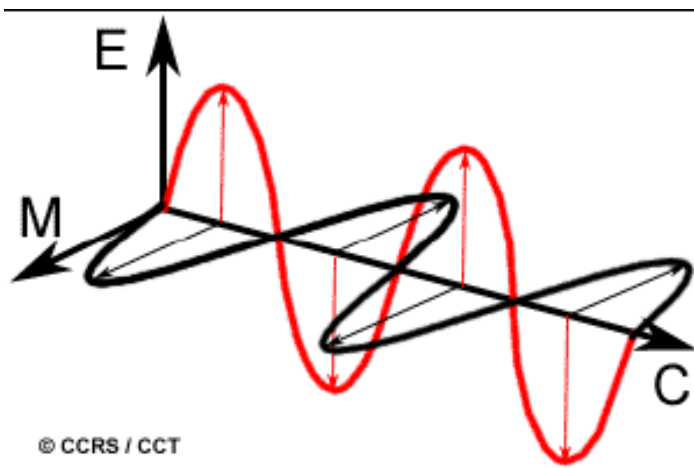
Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)

- Maxwell (1873): ΗΜ θεωρία
 - Το φως είναι *ΗΜ κύματα* που ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και προχωρούν κατά τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός
- Planck (τέλος 1800 - αρχές 1900) Θεωρία των Κβάντα
 - Τα άτομα της ύλης *εκπέμπουν ενέργεια* υπό μορφή κοκκιδίων ενέργειας, τα *κβάντα*
- Einstein (1905): Επέκταση των ιδεών του Planck στη Θεωρία των Κβάντων
 - Η ΗΜΑ διαδίδεται δια συγκεντρωμένων ποσών ενέργειας, τα κβάντα φωτός ή *φωτόνια*
 - Τα άτομα της ύλης εκπέμπουν ή απορροφούν φωτόνια

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Κύμα: η διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια με ορισμένη ταχύτητα (ταχύτητα διάδοσης κύματος).

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα -> περιοδικές κινήσεις φορτισμένων σωματιδίων -> διαταραχές στο ηλεκτρικό πεδίο -> δημιουργία μαγνητικού πεδίου.



Ηλεκτρικό πεδίο (E): εγκάρσια μεταβολή προς τη διεύθυνση διάδοσης.

Μαγνητικό πεδίο (M): κάθετο προς το ηλεκτρικό

Τα πεδία M και E ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός

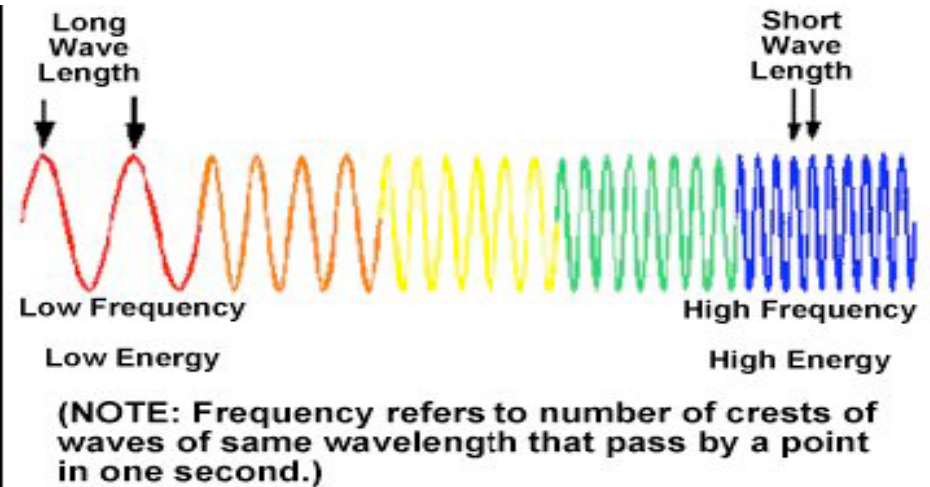
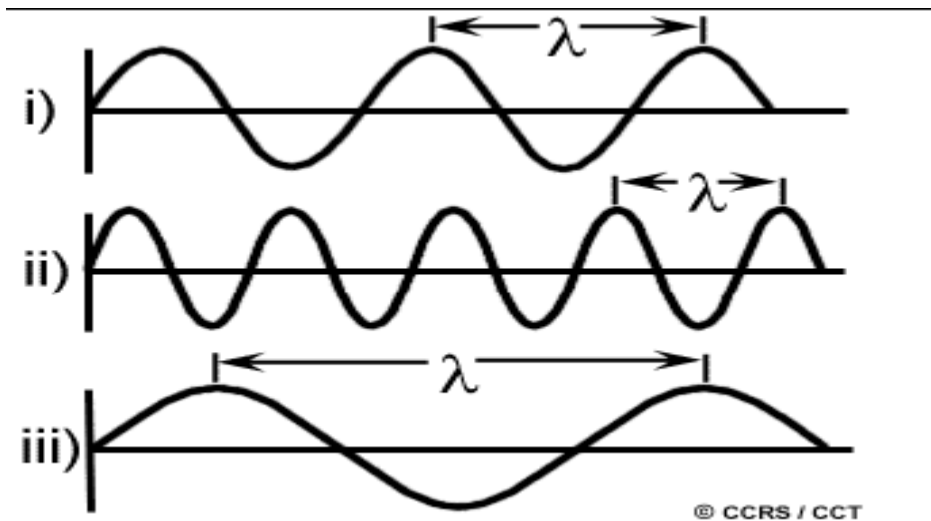
Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν χρειάζονται ελαστικό μέσο για να διαδοθούν (επηρεάζονται από την παρουσία της ύλης).

Χαρακτηρίζονται από:

- το μήκος κύματος (λ) (απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου, δηλαδή απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων).
- και τη συχνότητα (ν) (αριθμός των κορυφών ή των κοιλάδων (N) σε χρονικό διάστημα (t) $\nu=N/t$).

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα



Μήκος κύματος λ (m)

Συχνότητα ν (Hertz $1 \text{ Hz} = 1 \text{ κύκλος} / \text{ δευτερόλεπτο}$)

Πλάτος (επίπεδα ενέργειας / spectral irradiance)

Το γινόμενο του μήκος κύματος και της συχνότητας είναι σταθερό και ισούται με την ταχύτητα του φωτός c . $\nu * \lambda = c$

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

long wavelength,
low frequency

short wavelength,
high frequency



Radio waves

Microwaves

Infra-red

Visible Light

Ultra-violet

X-rays

Gamma rays

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)

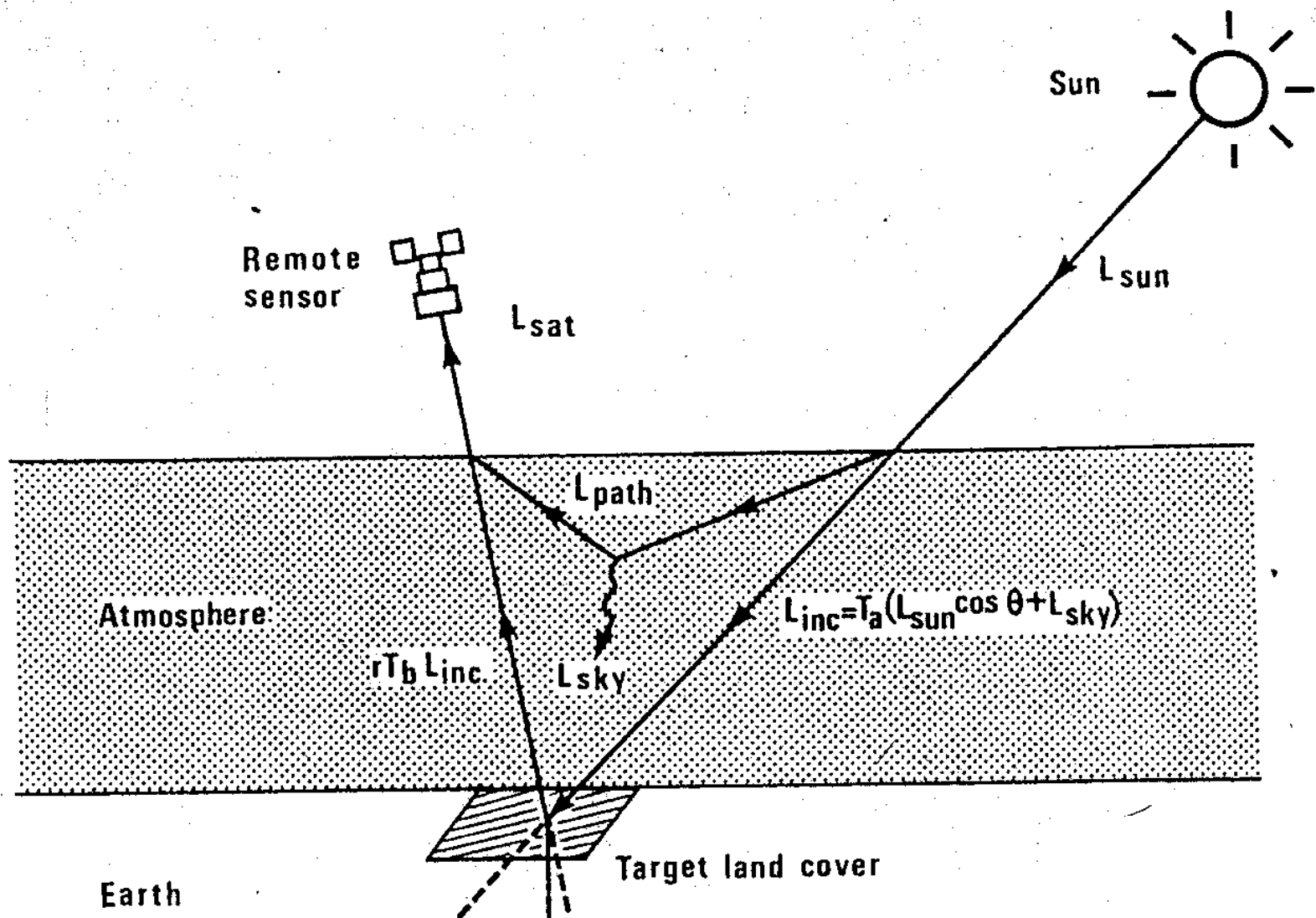
Κύρια πηγή ενέργειας του συστήματος γης – ατμόσφαιρας είναι η Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (Η/Α) του ήλιου.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ουσιαστικά αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Οι δορυφορικοί αισθητήρες καταγράφουν την Η/Α που ανακλάται από μια γήινη επιφάνεια (...).

Τηλεπισκόπηση -> Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία -> Ένταση (I), μήκος κύματος (λ), συχνότητα (ν).

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)



Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)

- **Ακτινοβολούμενη ενέργεια** (Radiant energy) είναι η ενέργεια η οποία σχετίζεται με την ΗΜ ακτινοβολία και μετράται σε **Joules** (J)
- Ο **ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας** από το ένα μέρος στο άλλο λέγεται **ροή** (flux) και μετράται σε **Watts** (W)
- Η αλληλεπίδραση της ΗΜ ακτινοβολίας με την επιφάνεια της γης μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα με την έννοια **radiant flux density**
 - **Radiant flux** είναι ο ρυθμός μεταφοράς της ΗΜ ενέργειας
 - Με τον όρο **Density** υπονοείται η κατανομή της ενέργειας στην επιφάνεια που προσπίπτει
 - Αρα ο όρος **radiant flux density** (Watts/m^2) αναφέρεται στο μέγεθος της ροής της ενέργειας η οποία προσπίπτει ή εκπέμπεται από μια μονάδα επιφάνειας

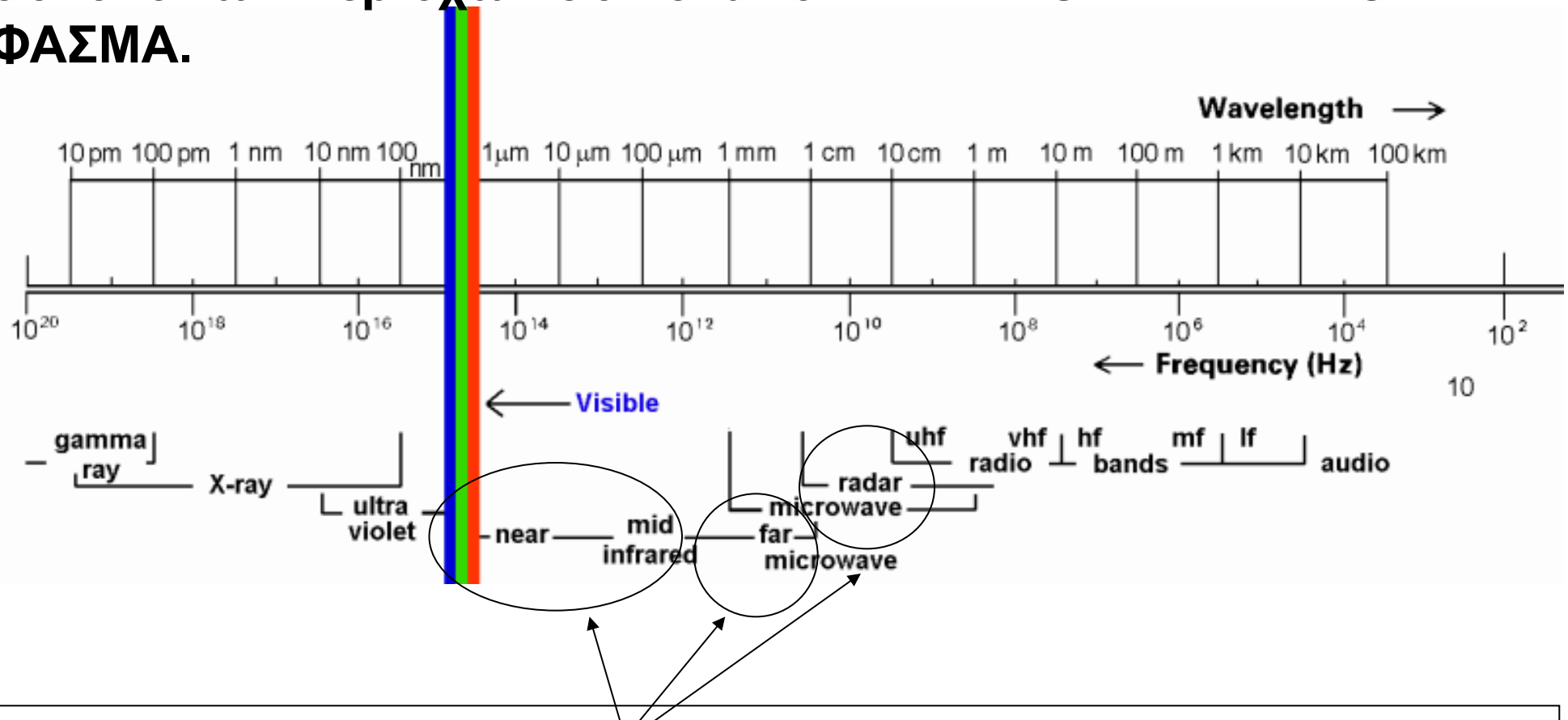
Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (ΗΜΑ)

Πηγές ΗΜ ακτινοβολίας

- Όλα τα αντικείμενα των οποίων η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη του απόλυτου μηδέν ($-273.15 \text{ } ^\circ \text{C} = 0 \text{ } ^\circ \text{K}$) εκπέμπουν ακτινοβολία (Θεωρία της κινητικής δύναμης των μορίων)
- Οι σχέσεις θερμοκρασίας ενός αντικειμένου, της ενέργειας που εκπέμπει και του μήκους κύματος αυτής μπορούν να εκφρασθούν με τη θεώρηση του μέλανος σώματος:
 - **Μέλαν σώμα (black body)** είναι μια υποθετική πηγή ενέργειας που συμπεριφέρεται κατά ιδανικό τρόπο. **Απορροφά** όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία και **δεν αντανακλά** καθόλου. Ένα μέλαν σώμα εκπέμπει ενέργεια με **τέλεια αποδοτικότητα**

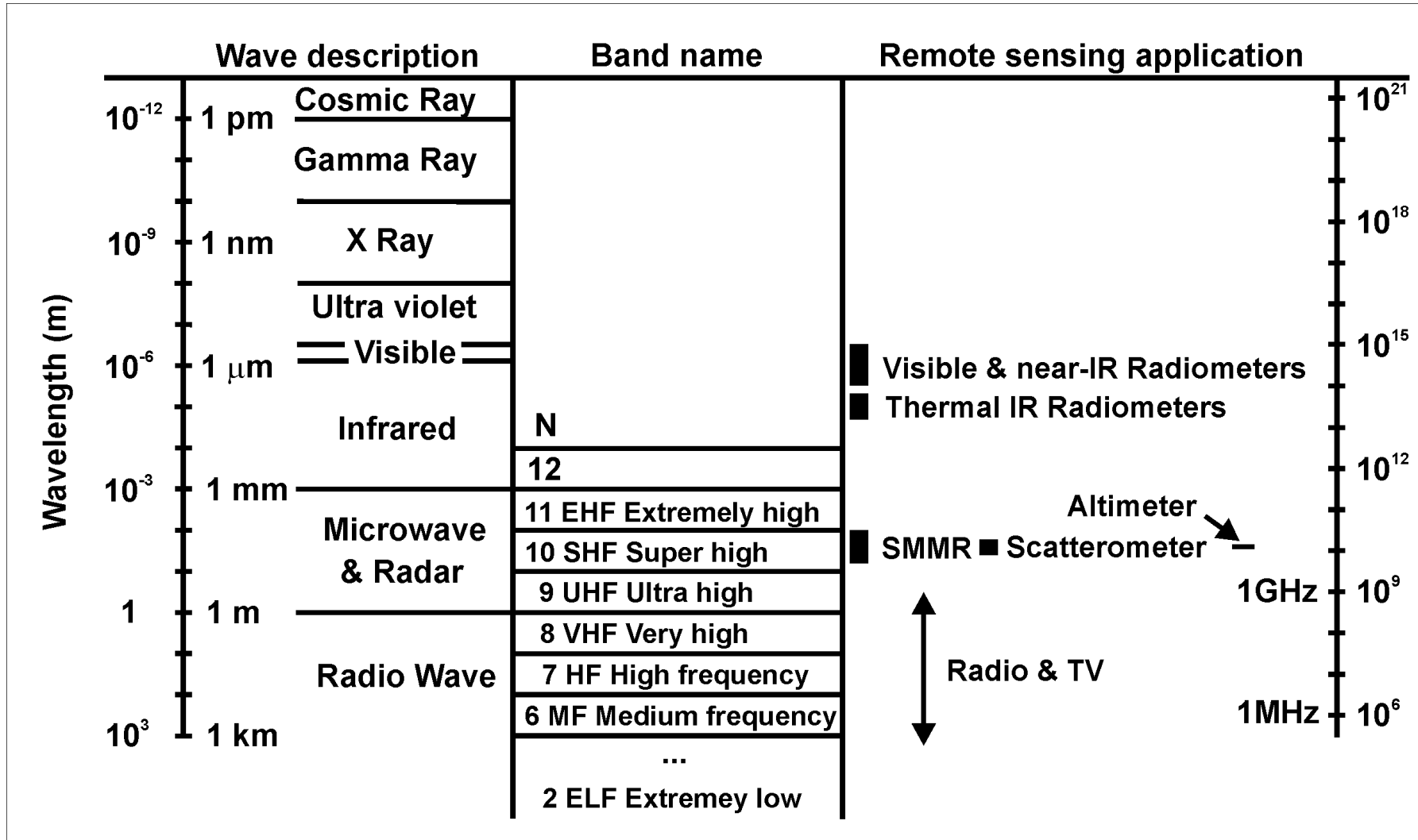
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η ΗΜΑ διαιρείται σε περιοχές με βάση το μήκος κύματος λ . Το σύνολο των περιοχών συνιστά το ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.

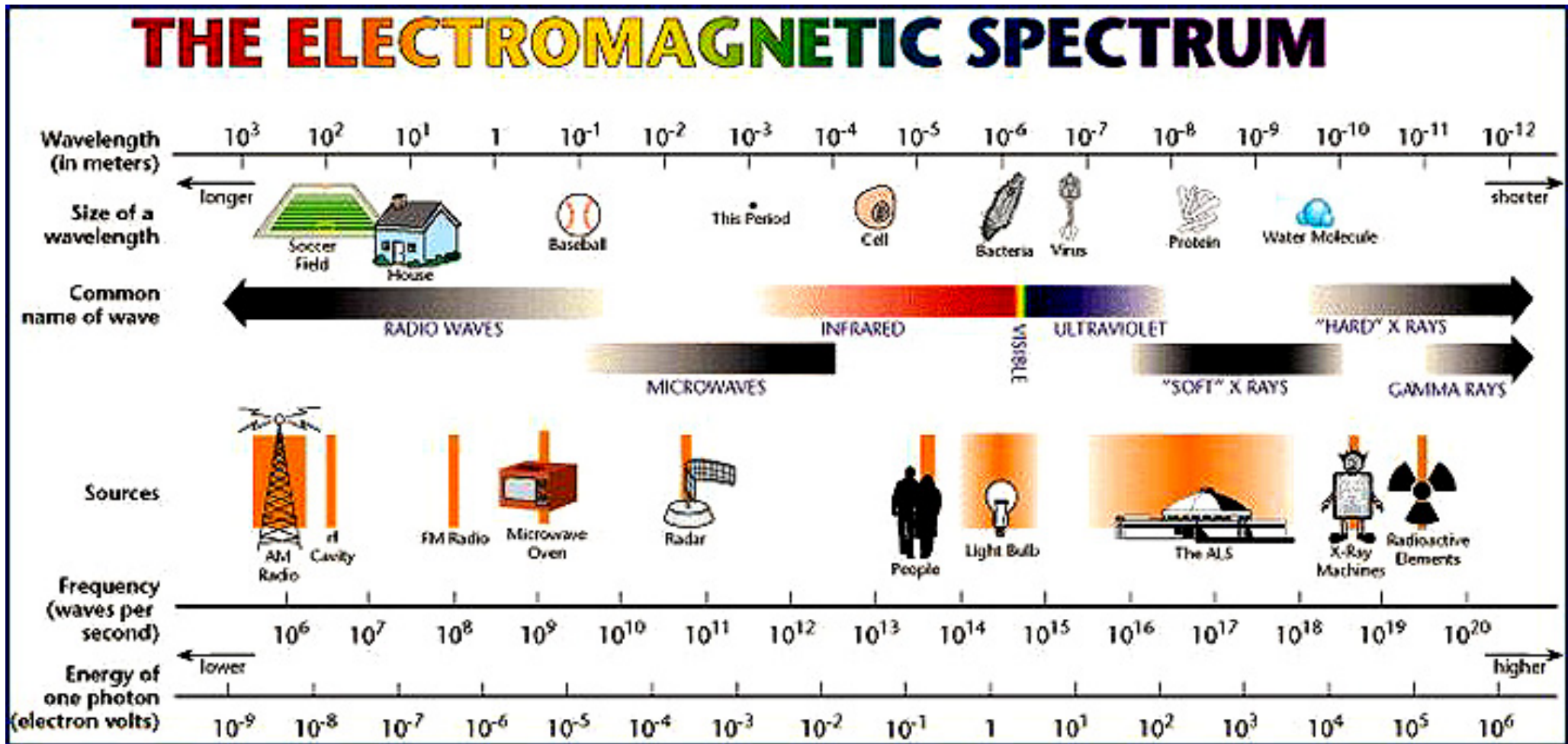


Οι περιοχές του ΗΜΦ που σχετίζονται με την τηλεπισκόπηση

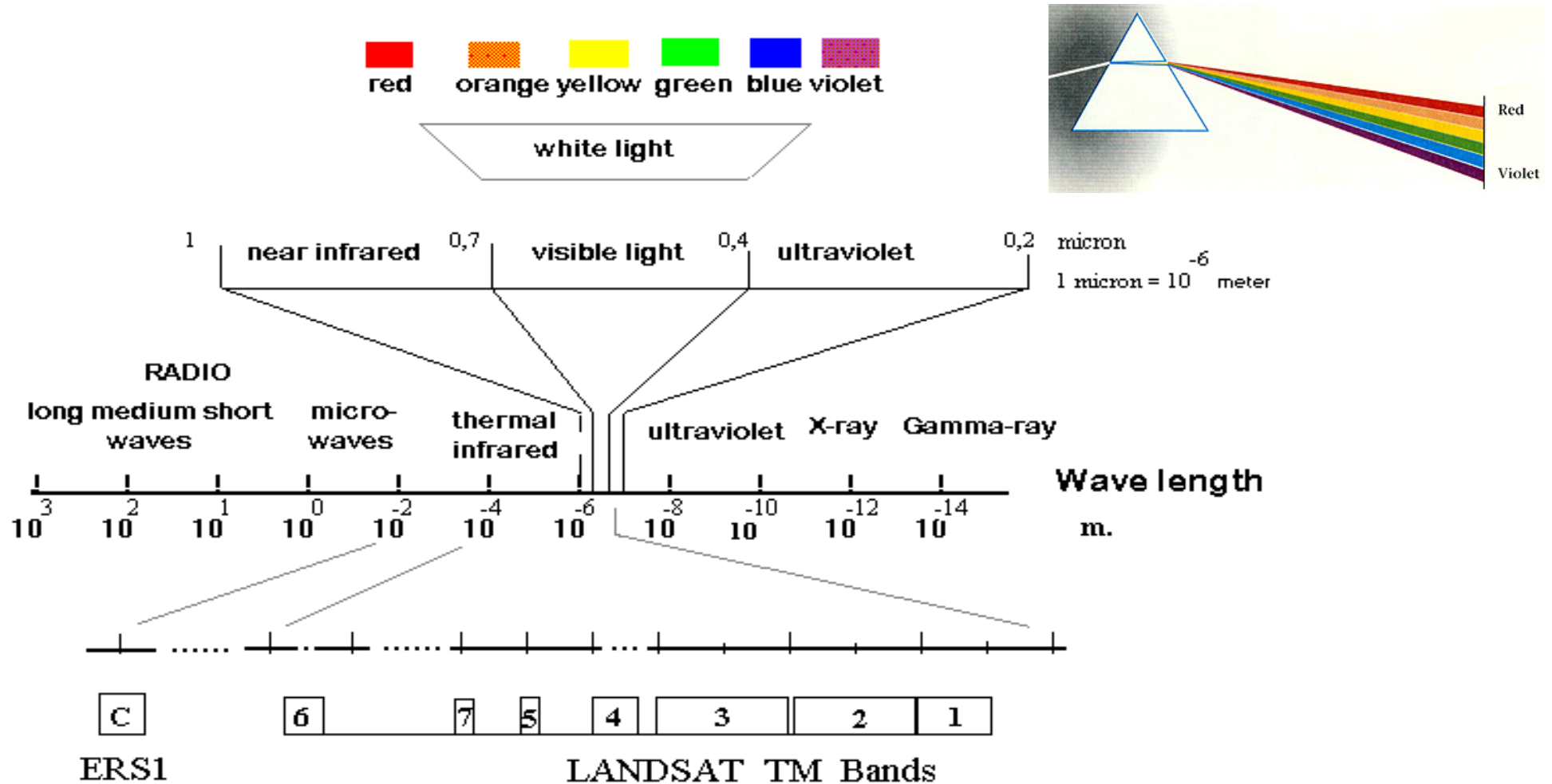
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



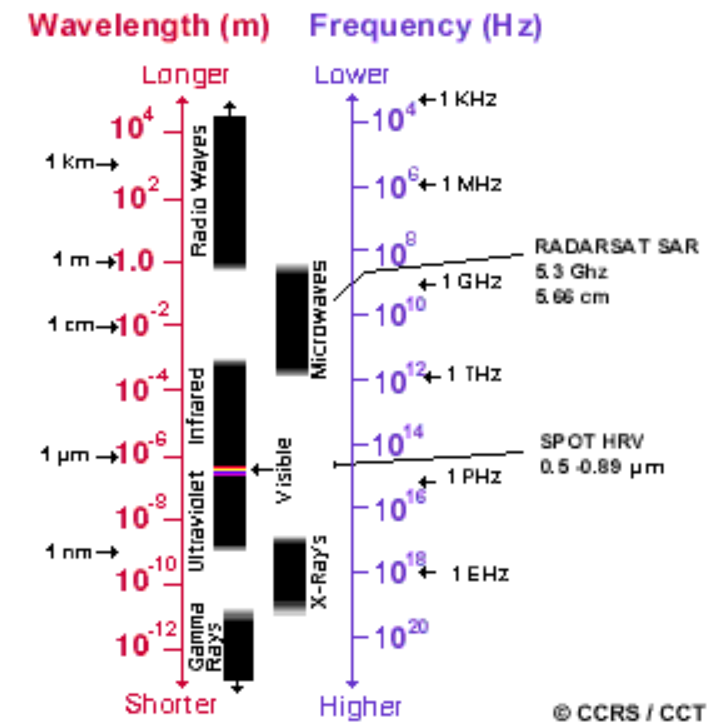
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

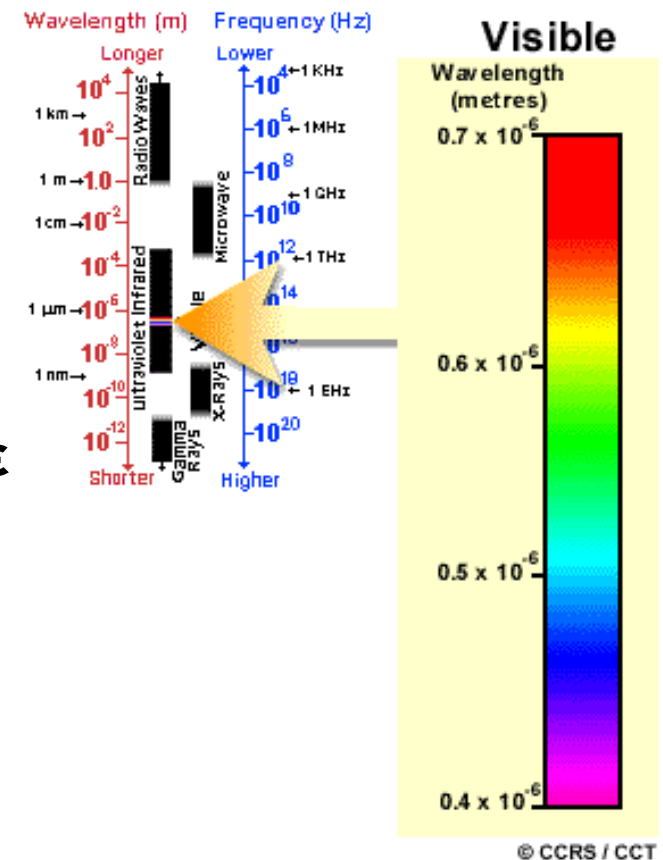
Οι ζώνες που χρησιμοποιούνται στην θαλάσσια τηλεπισκόπηση είναι:

- η ορατή (visible) στα 0.38 – 0.72 μm ,
 - η υπέρυθρη (Infrared) στα 0.7 – 1000 μm
- και τα
- τα μικροκύματα (microwaves) στα 1 mm - 1m.



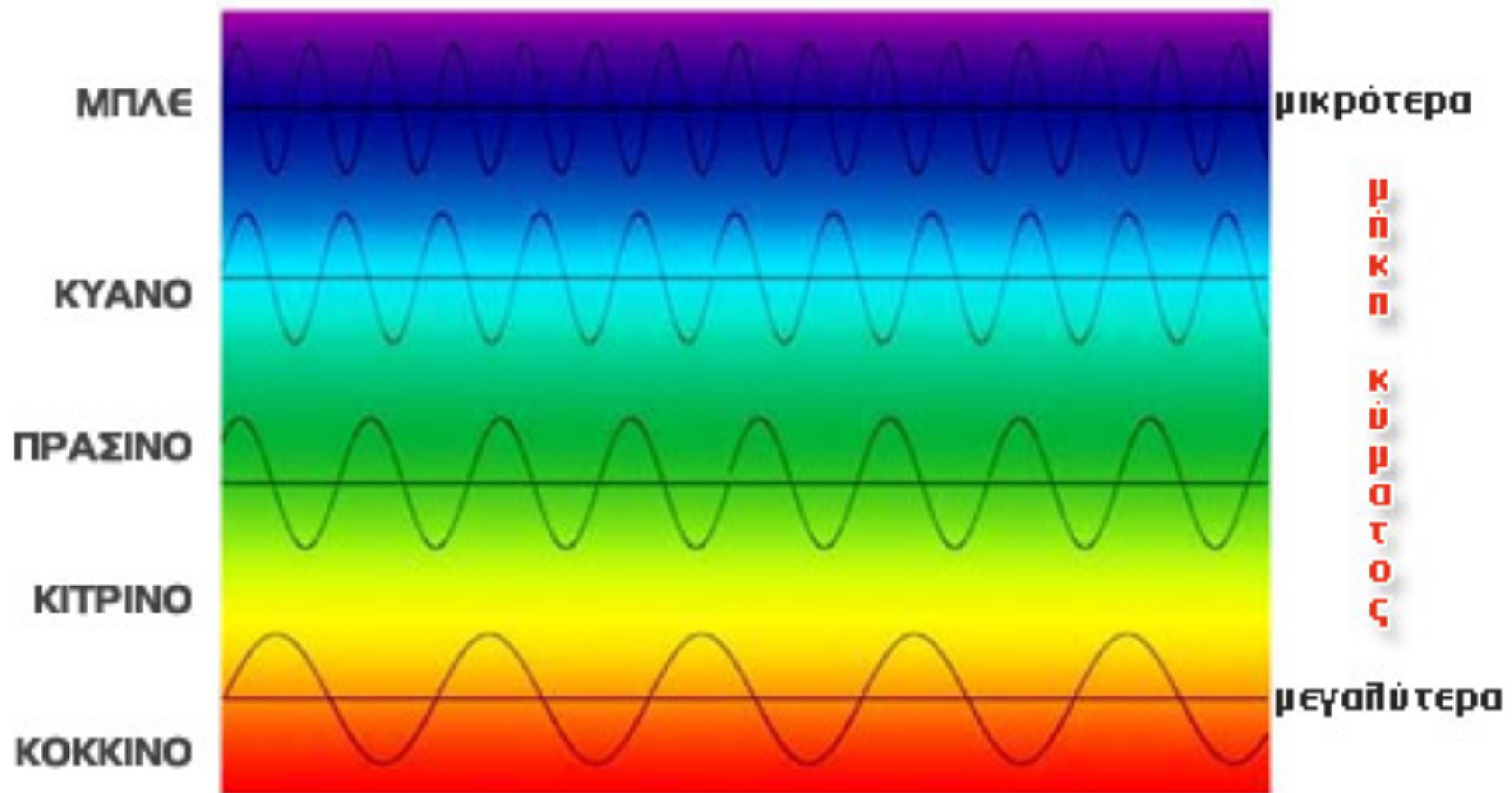
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

- Η ορατή (visible) ζώνη υποδιαιρείται στα τρία πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα: το μπλε (0.4 - 0.5 μm) το πράσινο (0.5 - 0.6 μm) και το κόκκινο (0.6 - 0.7 μm).
- Κόκκινο χρώμα -> ανάκλαση ή διάχυση του κόκκινου φωτός (απορρόφηση του μπλε και του πράσινου).
- Κίτρινο χρώμα -> απορρόφηση μπλε , ανάκλαση πράσινου και κόκκινου φωτός.
- Λευκό χρώμα



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

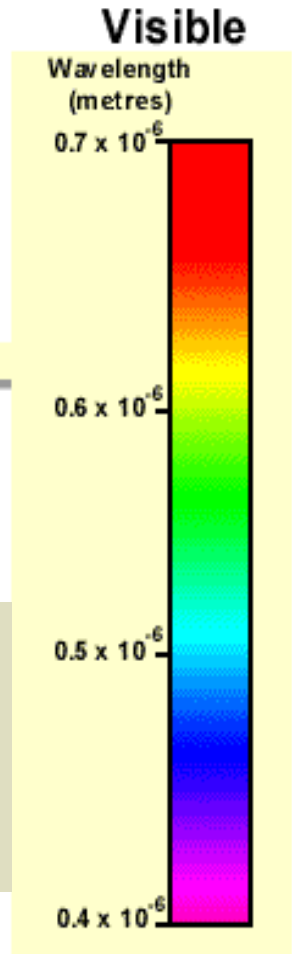
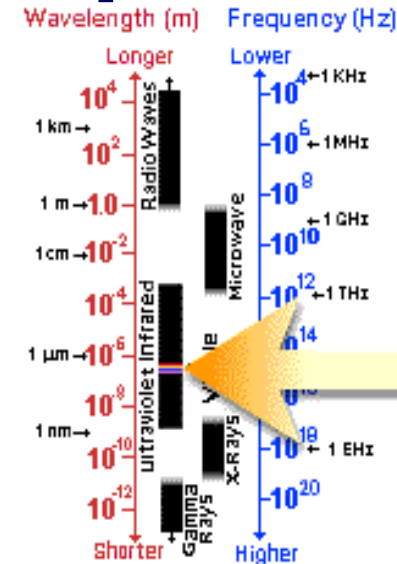
ΦΑΣΜΑ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ



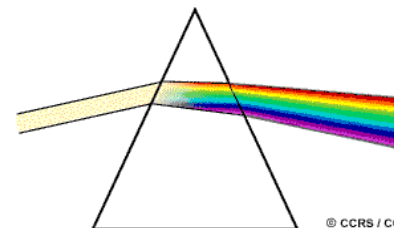
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Ορατή περιοχή (VIS, 400-700nm)

- **46%** περίπου όλης της ενέργειας πέφτει μέσα στην ορατή περιοχή του φάσματος
- Το **μπλε** σκεδάζεται εξαιρετικά από την ατμόσφαιρα (γιατί είναι μπλέ ο ουρανός; Γιατί κοκκινίζει... το ξημέρωμα και κατά τη δύση;)
- Το **ορατό** τυγχάνει ευρύτατης τηλεπισκοπικής χρήσης, ιδιαίτερα κατά την ανίχνευση διάφορων στοιχείων/υλικών της Γήινης επιφάνειας π.χ. η χλωροφύλλη των φυτών απορροφά το **ερυθρό** και το **μπλε** αλλά αντανακλά έντονα το **πράσινο**

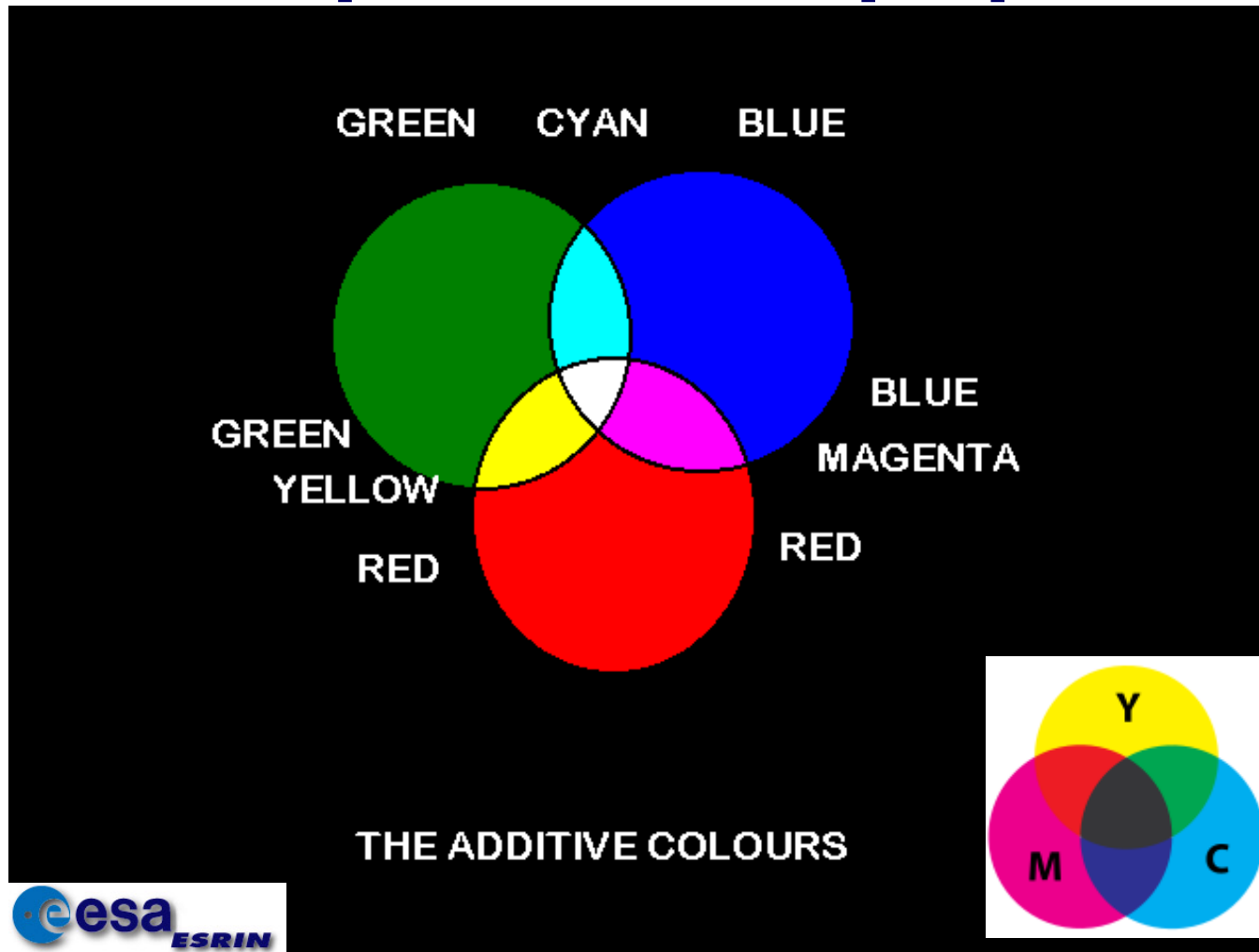


- ☑ Violet: 0.4 - 0.446 μm
- ☑ Blue: 0.446 - 0.500 μm
- ☑ Green: 0.500 - 0.578 μm
- ☑ Yellow: 0.578 - 0.592 μm
- ☑ Orange: 0.592 - 0.620 μm
- ☑ Red: 0.620 - 0.7 μm

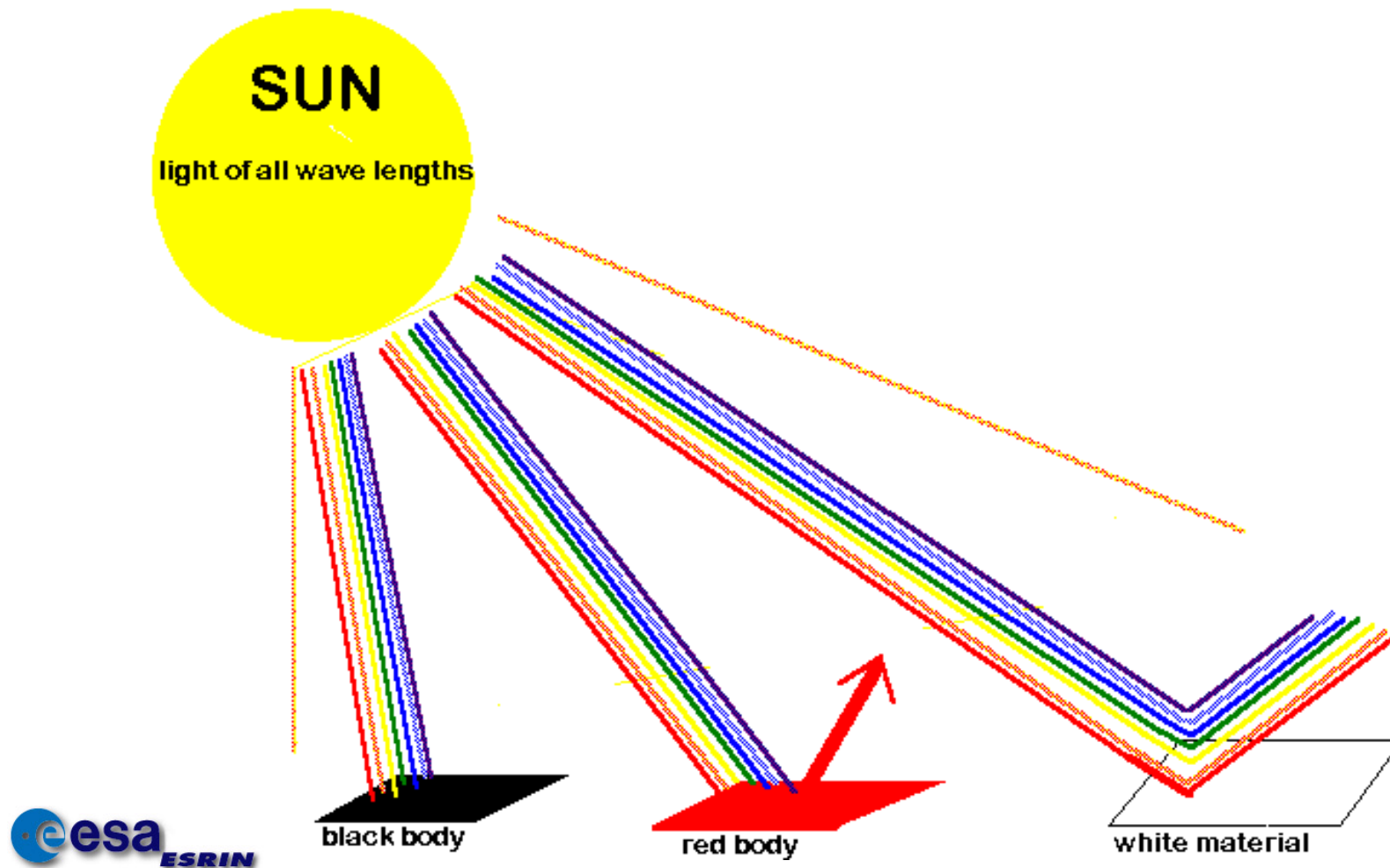


© CCRS / CCT

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

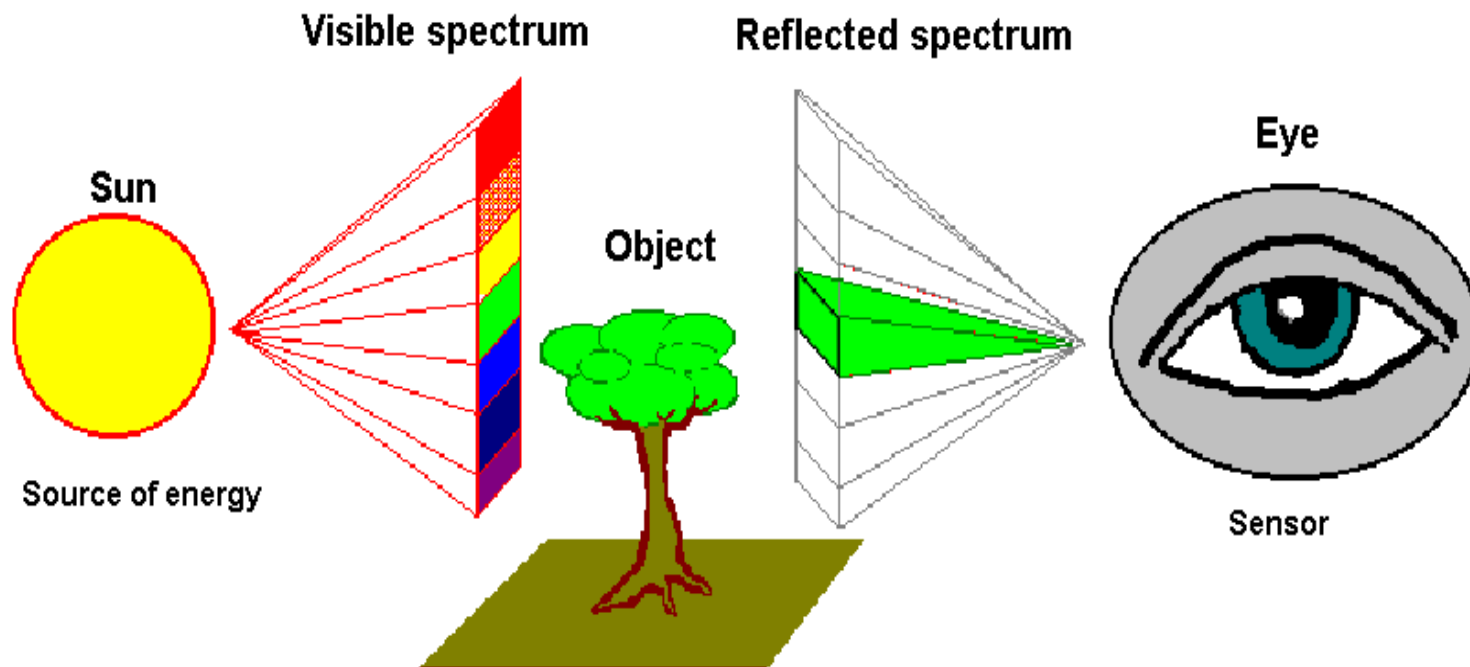


Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

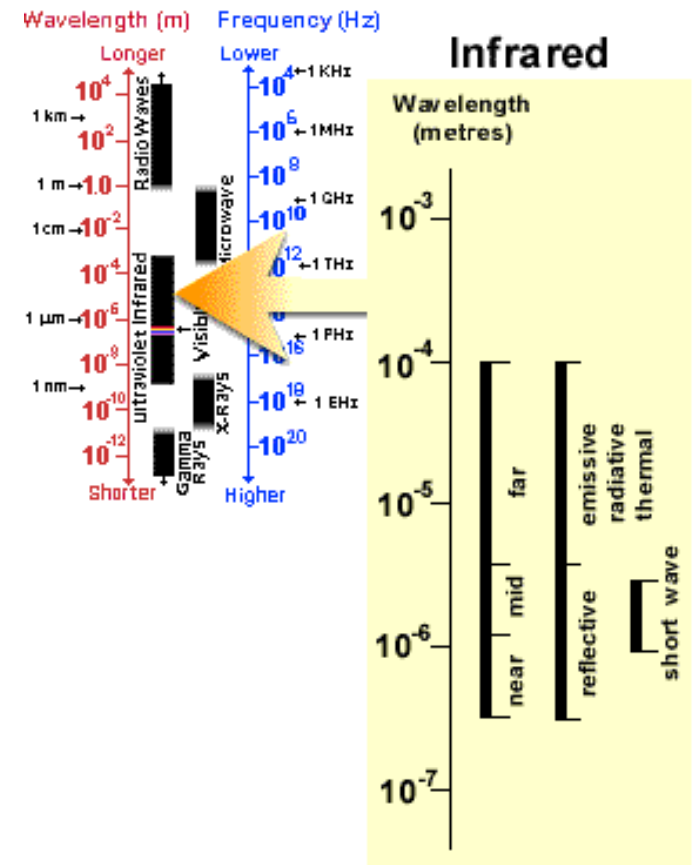
Reflection of colours



E. L.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

- Η υπέρυθρη (infrared) περιοχή του Η/Φ διαιρείται σε τρεις ζώνες: στο εγγύς (0.72 – 1.5 μm), μέσο (1.5 – 5.6 μm) και απώτερο υπέρυθρο (5.6 – 1000 μm).
- Η υπέρυθρη (infrared) περιοχή του Η/Φ χωρίζεται επίσης στο: ανακλώμενο υπέρυθρο (0.72 – 3.0 μm) και θερμικό υπέρυθρο (3.0 – 1000 μm).

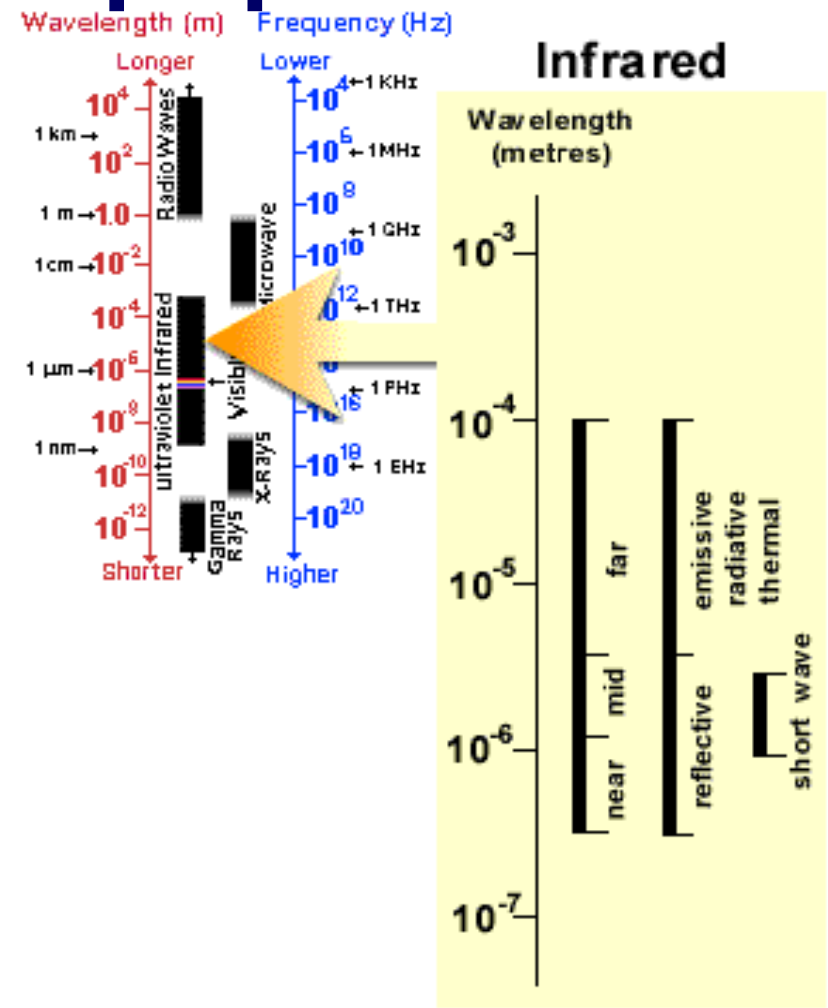


© CCRS / CCT

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Υπέρυθρη περιοχή (IR, 0.7-1000 μm)

- Απορροφάται πλήρως από το νερό
- Μικρή απορρόφηση από ομίχλη
 - **Εγγύς** ή Κοντινό NIR (0,72 - 1,5 μm)
 - Παρόμοιες ιδιότητες με ορατό
 - Ιδιαίτερα χρήσιμο π.χ. ανίχνευση χαρακτηριστικών βλάστησης με δείκτες (NDVI...)
 - **Μέσο** MIR (1,5 – 5,6 μm)
 - Παρόμοια χαρακτηριστικά με εγγύς IR
 - Κατάλληλο για γεωλογικές εφαρμογές
 - **Απώτερο** FIR (5,6 μm – 1mm)



© CCRS / CCT

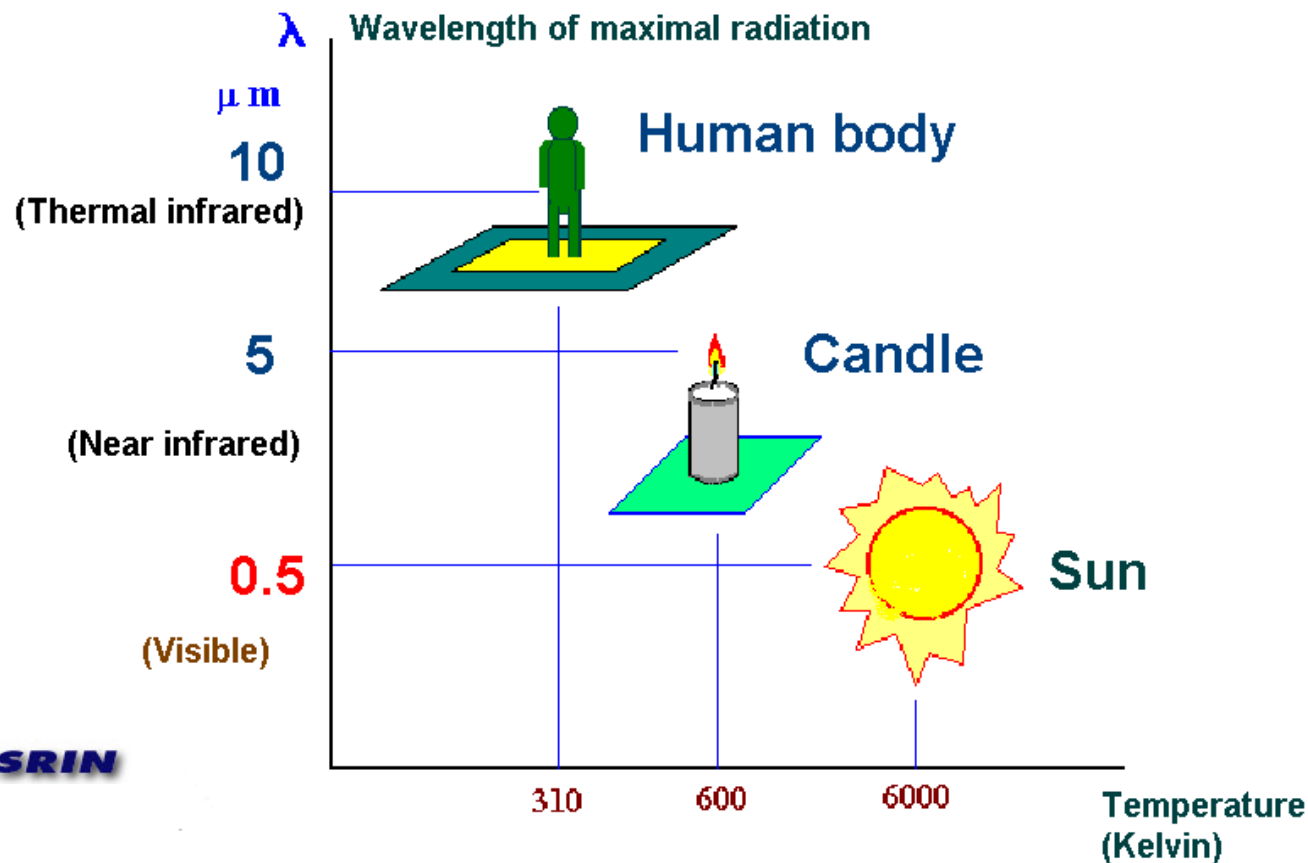
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Υπέρυθρη περιοχή (IR, 0.7-1000 μm)

- **Ανακλώμενο** (Reflected IR, 0,72 – 3,0 μm)
- **Θερμικό** (Thermal IR, 3 - 1000 μm)
 - **Διαχωρισμός Τύπων Πετρωμάτων:** Ανάλογα με την πυκνότητά τους έχουν διαφορετική θερμική αδράνεια με αποτέλεσμα τη διαφορετική θερμική υπογραφή
 - **Χαρτογράφηση Επιφανειακής Υγρασίας:** Το υγρό έδαφος έχει ψυχρότερη υπογραφή από το ξηρό έδαφος, εξαιτίας ψύξης λόγω εξάτμισης
 - **Χαρτογράφηση Γεωλογικών Ρηγμάτων:** Ψυχρές γραμμικές ανωμαλίες κατά μήκος των ζωνών ρήξεως εξαιτίας της συγκέντρωσης υγρασίας
 - **Μέτρηση Επιφανειακών Θερμοκρασιών Ενεργών Ηφαιστείων**
 - **Παρακολούθηση Δασικών Πυρκαγιών:** Μήκη κύματος στο θερμικό υπέρυθρο διαπερνούν τον καπνό (όχι τα νέφη)

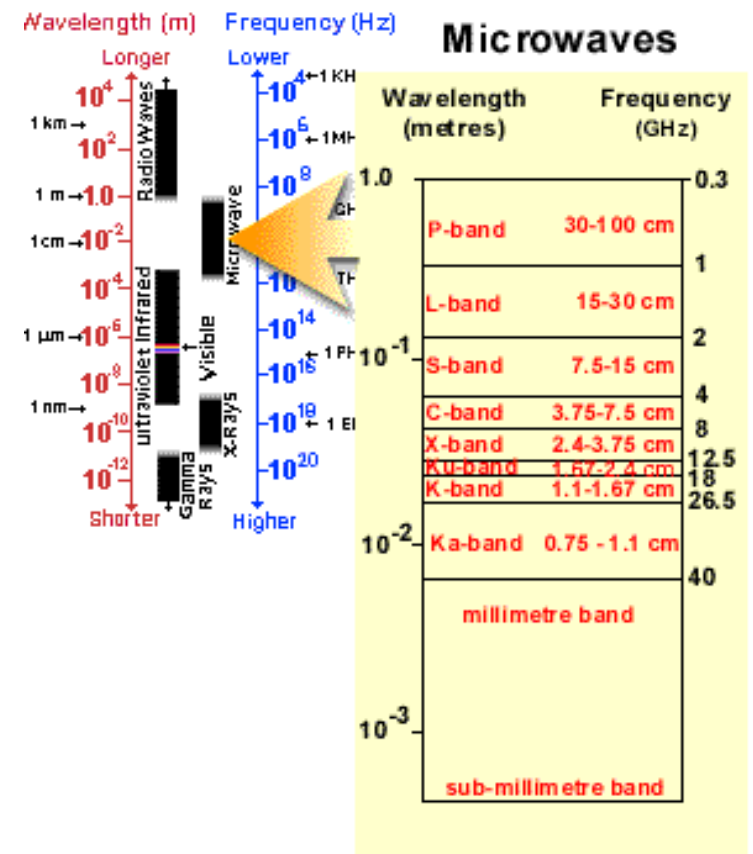
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

Radiation of bodies: the real Temperature



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

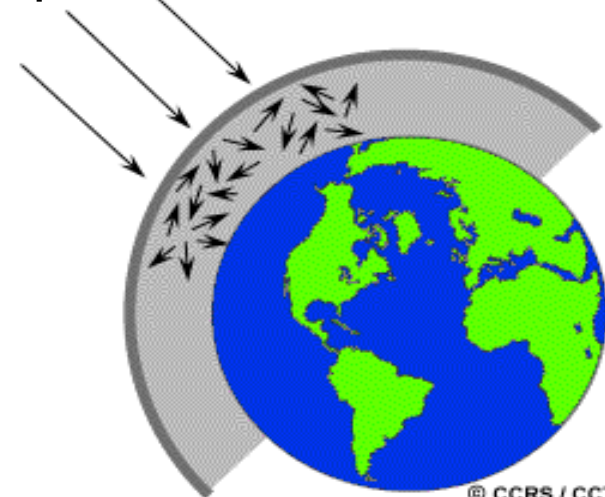
- Η μικροκυματική ακτινοβολία ή απλά μικροκύματα (microwaves) περιλαμβάνει μεγάλα μήκη κύματος (1 mm – 1 m).
- Τα μικροκύματα είναι ανεξάρτητα από την ηλιακή ακτινοβολία και έχουν την ιδιότητα να διαπερνάν τα σύννεφα και να εισχωρούν βαθιά στην γήινη επιφάνεια.



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμόσφαιρα

Σκέδαση (scattering):

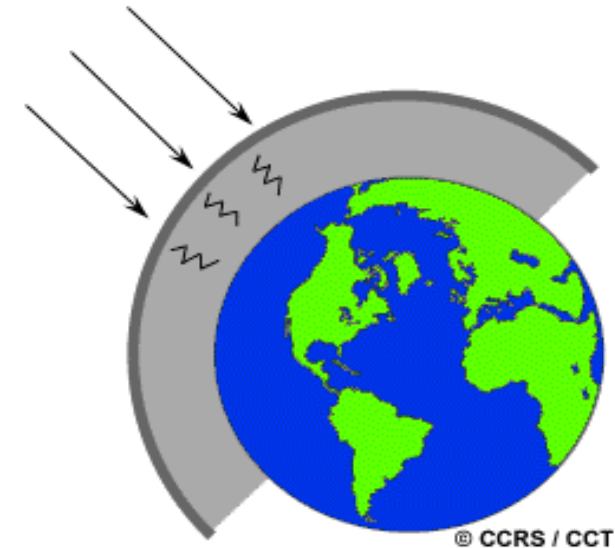
- Η εκτροπή της ΗΜΑ από τα αιωρούμενα σωματίδια ή από τα μεγάλα μόρια ατμοσφαιρικών αερίων
- Εξαρτάται από:
 - το μέγεθος και πλήθος των μορίων ατμοσφ. αερίων
 - το μήκος κύματος της ΗΜΑ
 - το βάθος της ατμόσφαιρας που διαπερνά



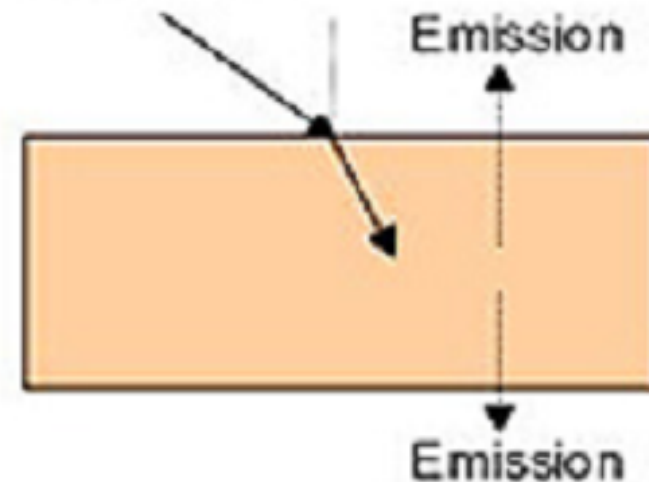
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμόσφαιρα

Απορρόφηση (absorption):

- Απορρόφηση συμβαίνει όταν η ατμόσφαιρα εμποδίζει ή εξασθενεί έντονα τη μετάδοση της ΗΜΑ
- Τρία αέρια είναι (κυρίως) υπεύθυνα:
 - Το όζον (O_3), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και οι υδρατμοί (H_2O)
 - Το O_3 απορροφά τις υπεριώδης ακτίνες (UV) και το CO_2 απορροφά την ΗΜΑ στη μέση και μακρά υπέρυθρη περιοχή ($13-17.5\mu m$)



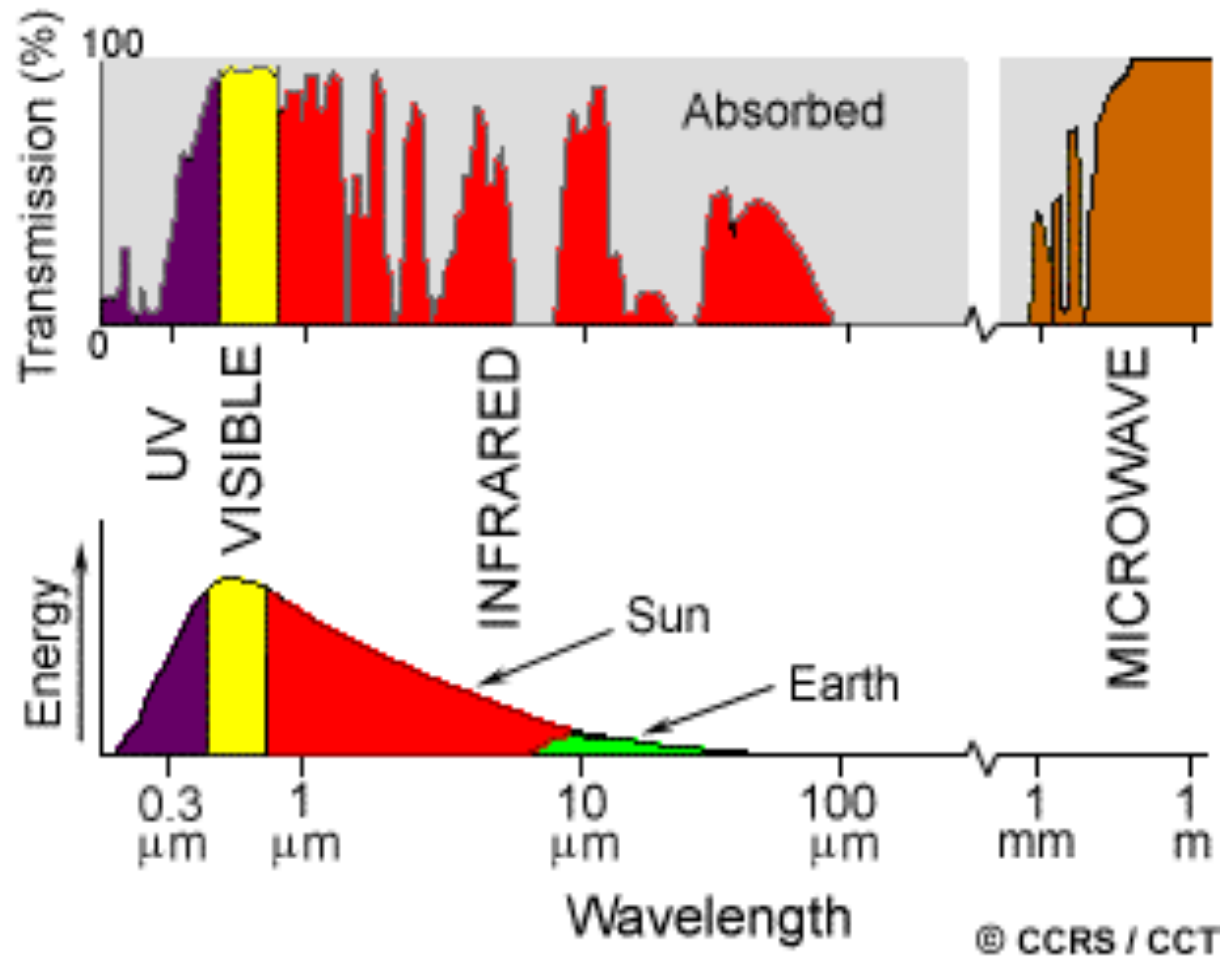
Absorption



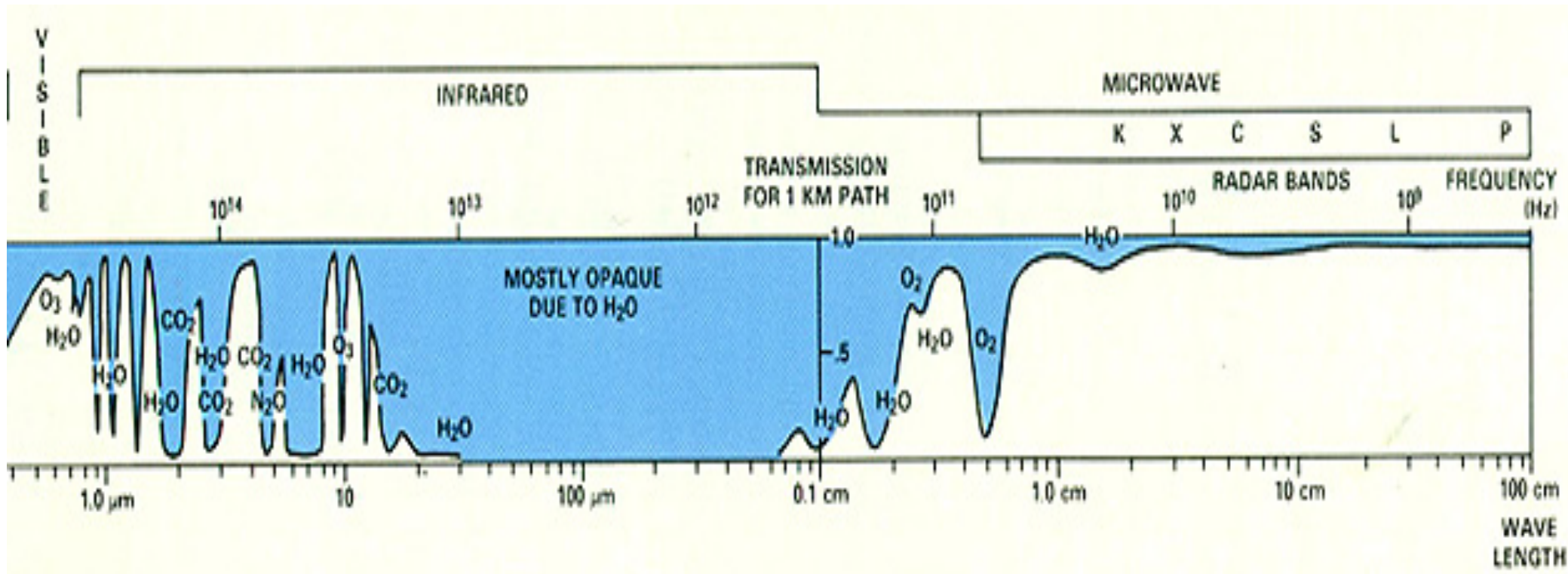
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμοσφαιρικά παράθυρα

Υπεριώδη και ορατή περιοχή	0.30-0.75 μm 0.77-0.91 μm
Εγγύς υπέρυθρη περιοχή	1.55-1.75 μm 2.05-2.40 μm
Θερμική υπέρυθρη περιοχή	8.00-9.20 μm 10.2-12.4 μm
Περιοχή μικροκυμάτων	7.5-11.5 mm 20.0+ mm

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμοσφαιρικά παράθυρα



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμοσφαιρικά παράθυρα



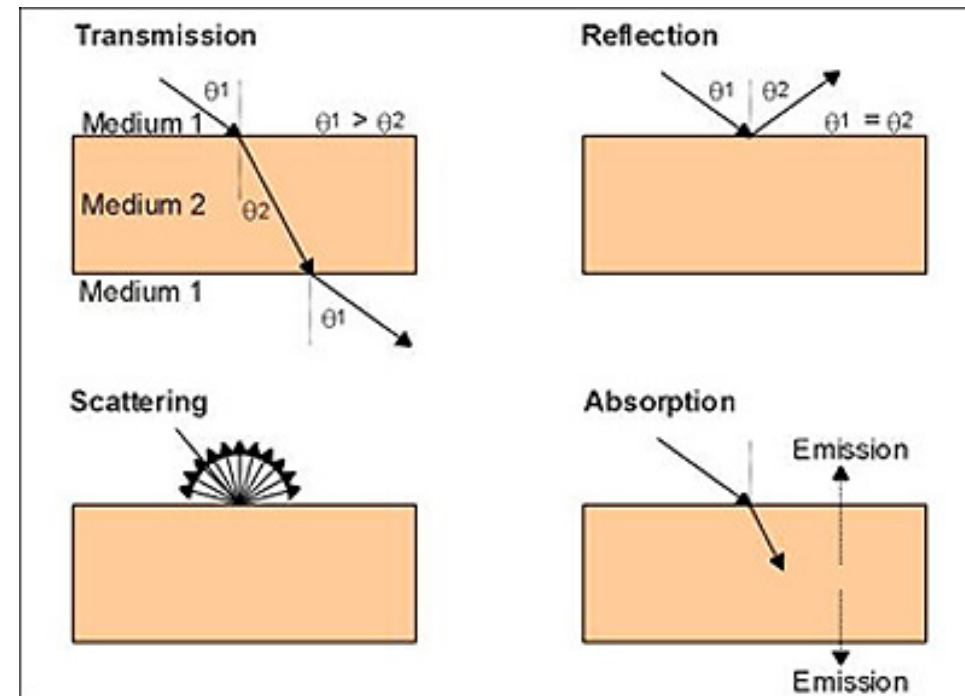
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γήινη επιφάνεια

- Όταν η ΗΜΑ προσπίπτει σε μια επιφάνεια, αλληλεπιδρά με τρεις τρόπους:

- Ανακλάται
- Απορροφάται
- Διαπερνά και μεταδίδεται

- ανάλογα με:

- τη φύση της προσπίπτουσας επιφάνειας
- το μήκος κύματος
- τη γωνία πρόσπτωσης



Αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας

Διάδοση

$$\theta_1 > \theta_2$$

$$T = \Phi / \Phi_0$$

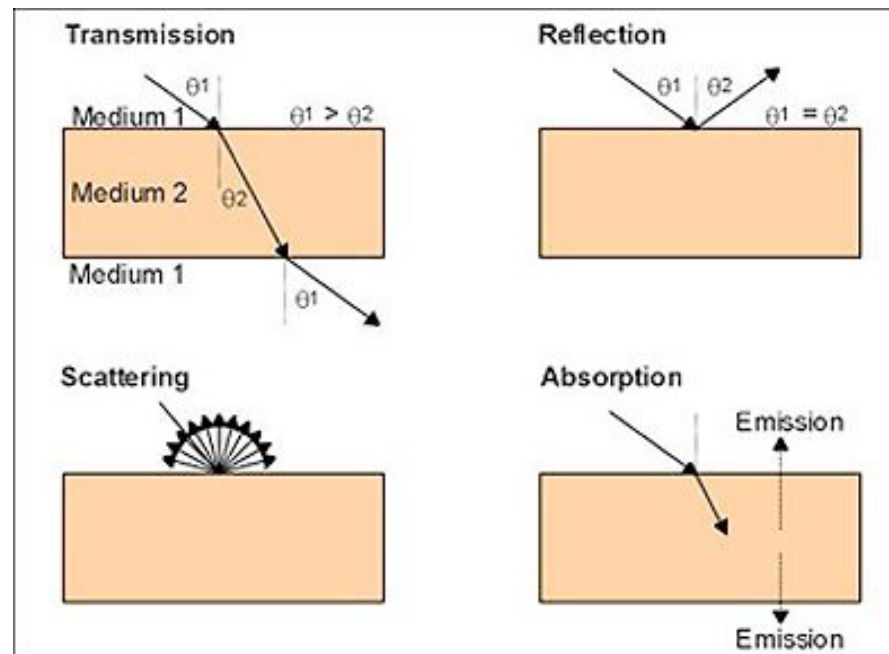
T = συντελεστής διαπερατότητας
 Φ = Διερχόμενη ισχύς
 Φ_0 = Προσπίπτουσα

Διάχυση

Ανώμαλη επιφάνεια

Πυκνότητα Ροής επιφάνειας [W/m²]

$$E = \frac{I_0}{r^2} \cos\theta$$



Ανάκλαση

Κατοπτρική

$$\theta_1 = \theta_2$$

Ομαλή επιφάνεια

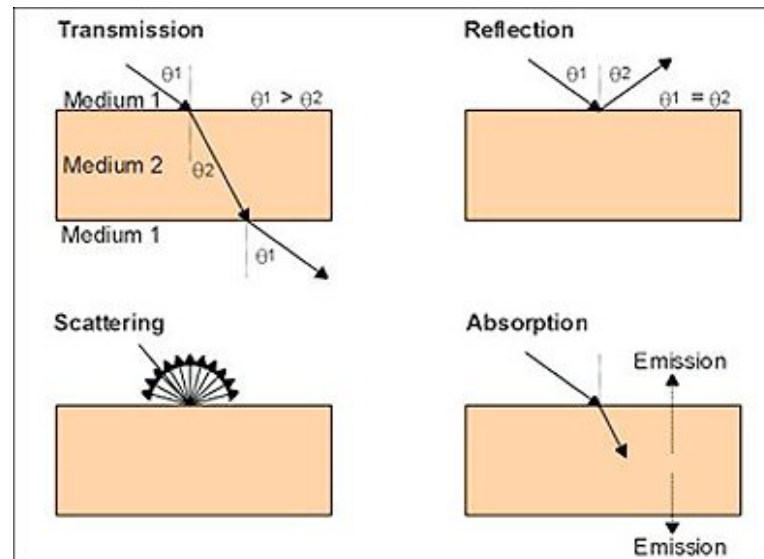
Απορρόφηση

I_0 = ένταση ακτινοβολούσας πηγής
 r = απόσταση επιφάνειας από την πηγή
 θ = γωνία πρόσπτωσης

Αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας

Διάδοση

Διάχυση



Ανάκλαση
Κατοπτρική

Απορρόφηση

Συντελεστής απορρόφησης (α) = απορροφούμενη προς προσπίπτουσα ακτινοβολία

Συντελεστής ανάκλασης (ρ) = ανακλώμενη προς προσπίπτουσα ακτινοβολία

Συντελεστής διαπερατότητας (τ) = διαδιδόμενη προς προσπίπτουσα ακτινοβολία

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

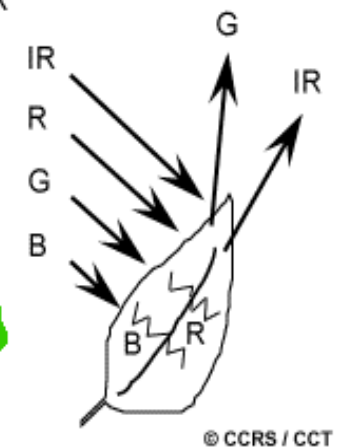
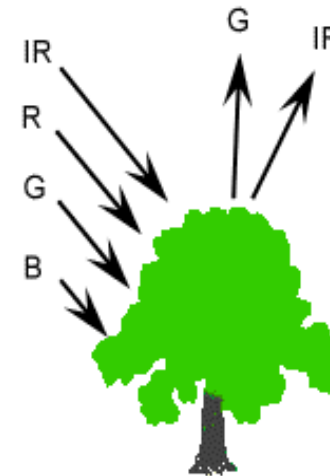
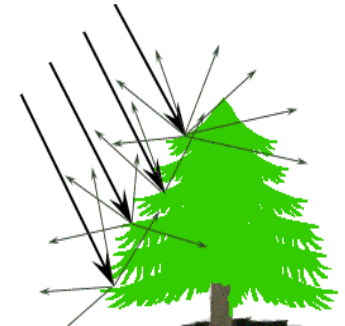
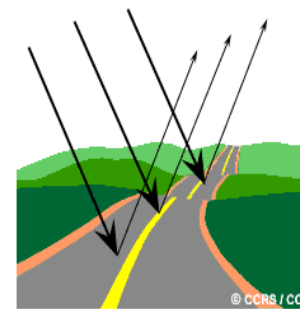
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γήινη επιφάνεια

- Όταν η ΗΜΑ προσπίπτει σε μια επιφάνεια, αλληλεπιδρά με τρεις τρόπους:

- Ανακλάται
- Απορροφάται
- Διαπερνά και μεταδίδεται

- ανάλογα με:

- τη φύση της προσπίπτουσας επιφάνειας
- το μήκος κύματος
- τη γωνία πρόσπτωσης



© CCRS / CCT

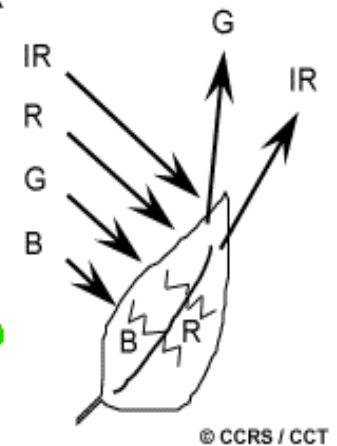
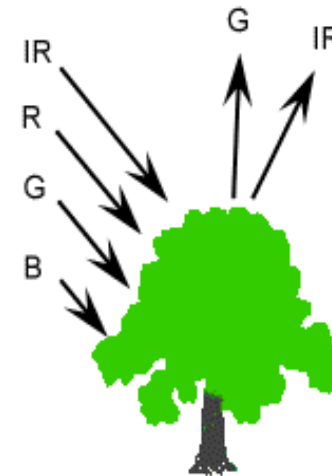
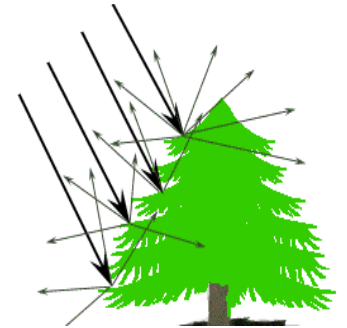
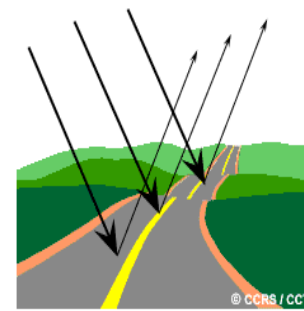
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γήινη επιφάνεια

- Όταν η ΗΜΑ προσπίπτει σε μια επιφάνεια, αλληλεπιδρά με τρεις τρόπους:

- Ανακλάται
- Απορροφάται
- Διαπερνά και μεταδίδεται

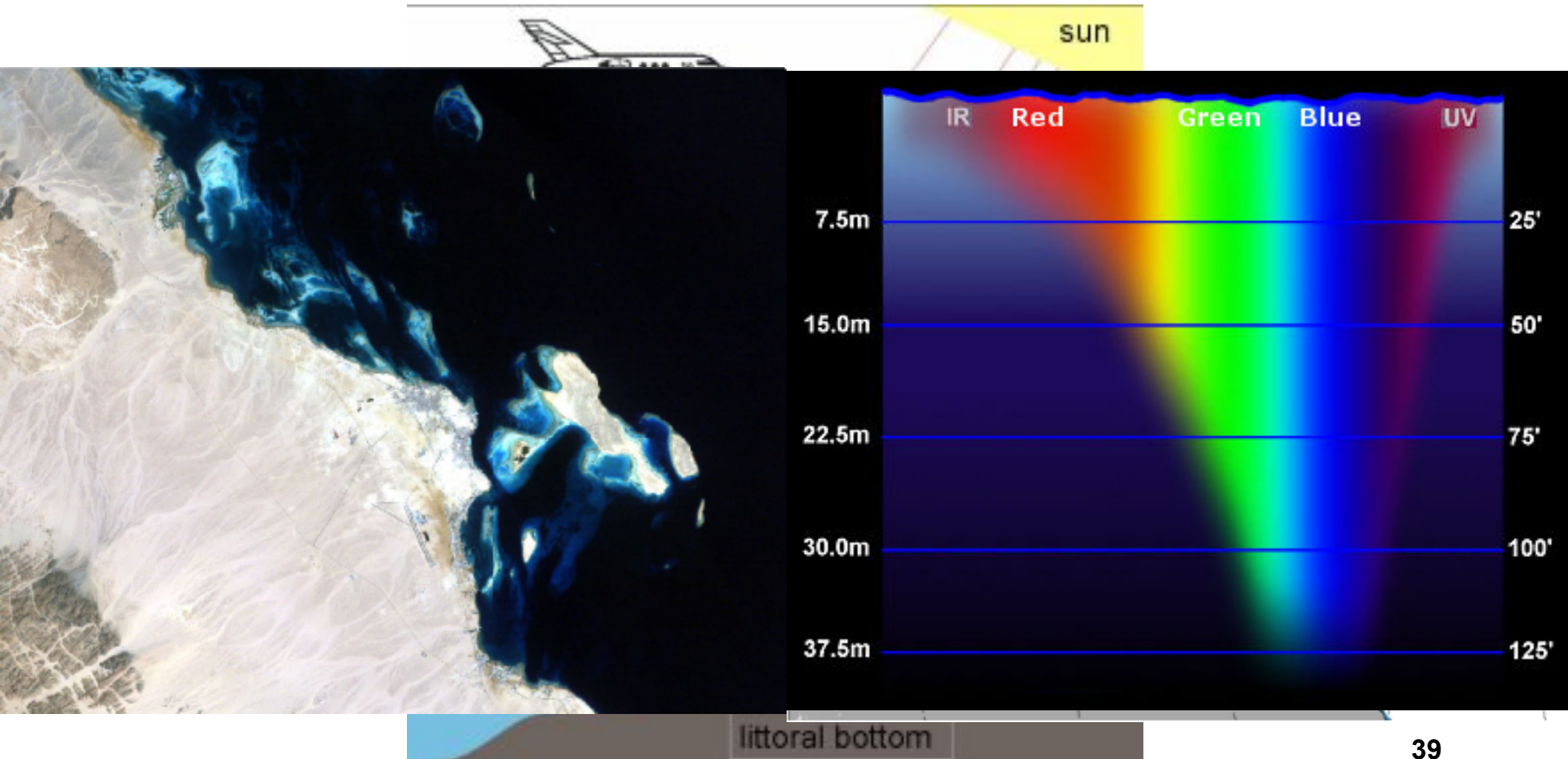
- ανάλογα με:

- τη φύση της προσπίπτουσας επιφάνειας
- το μήκος κύματος
- τη γωνία πρόσπτωσης

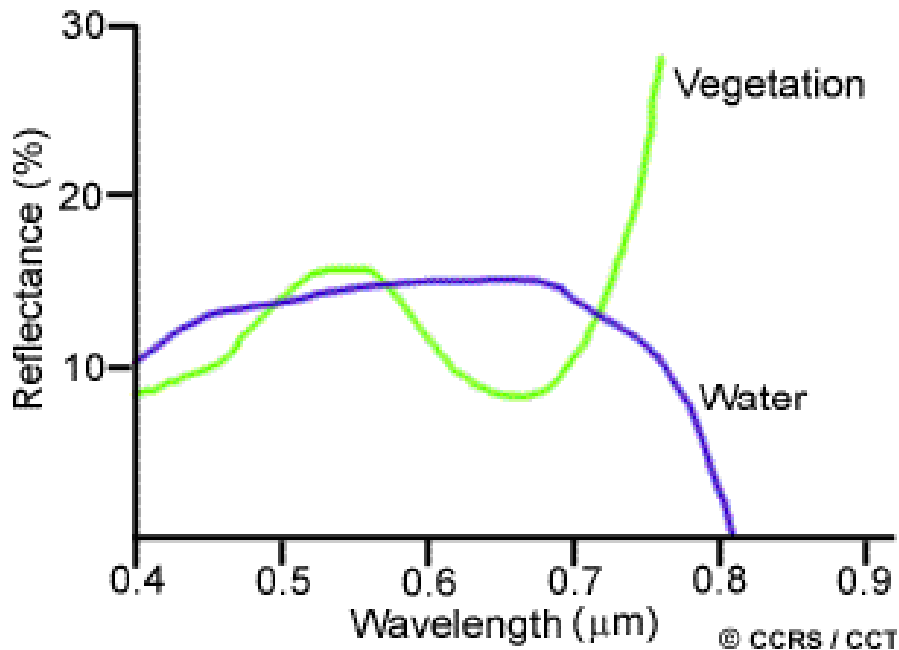


© CCRS / CCT

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γήινη επιφάνεια



Φασματικές υπογραφές

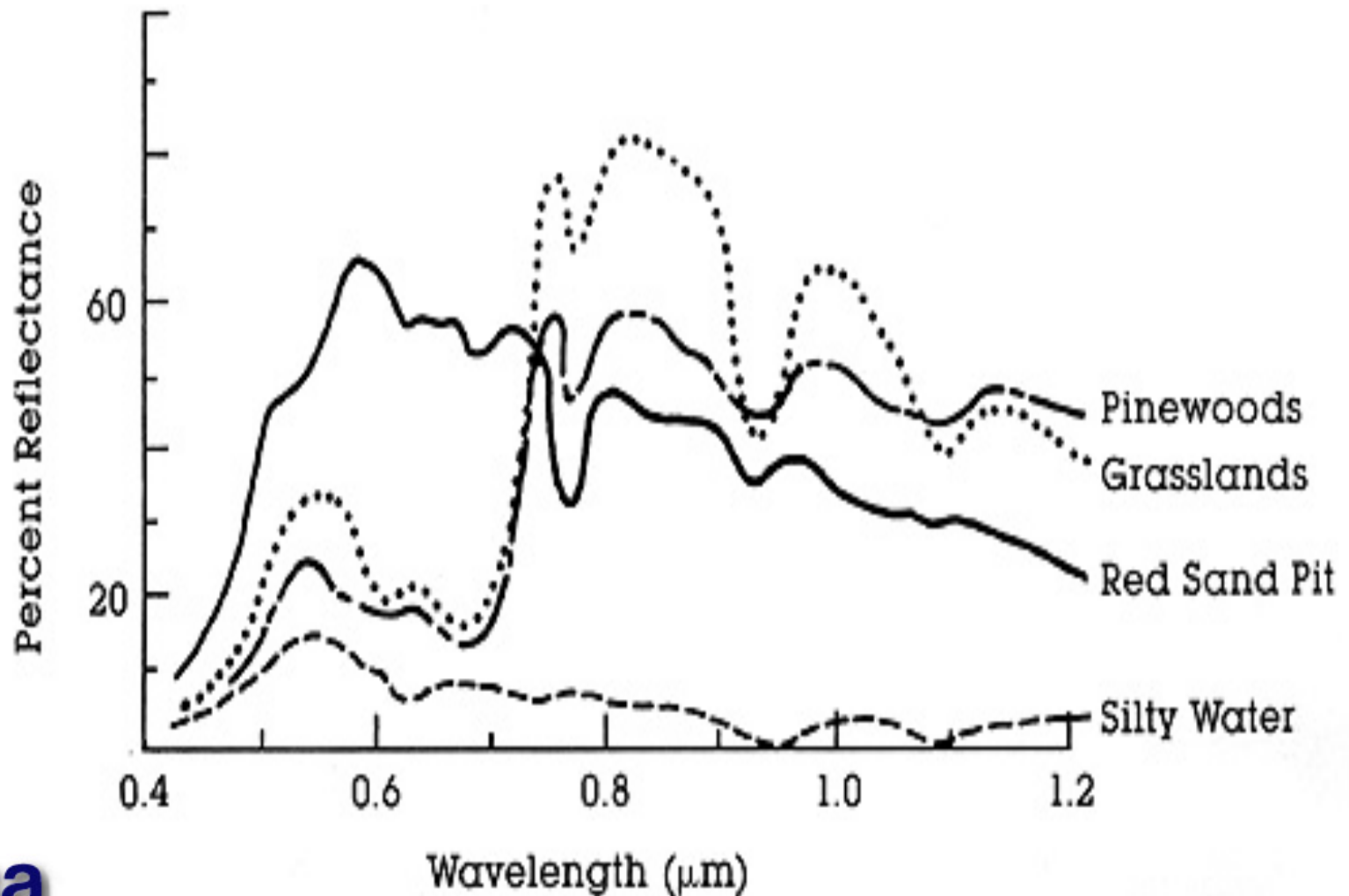


Φασματικές ιδιότητες αντικειμένων

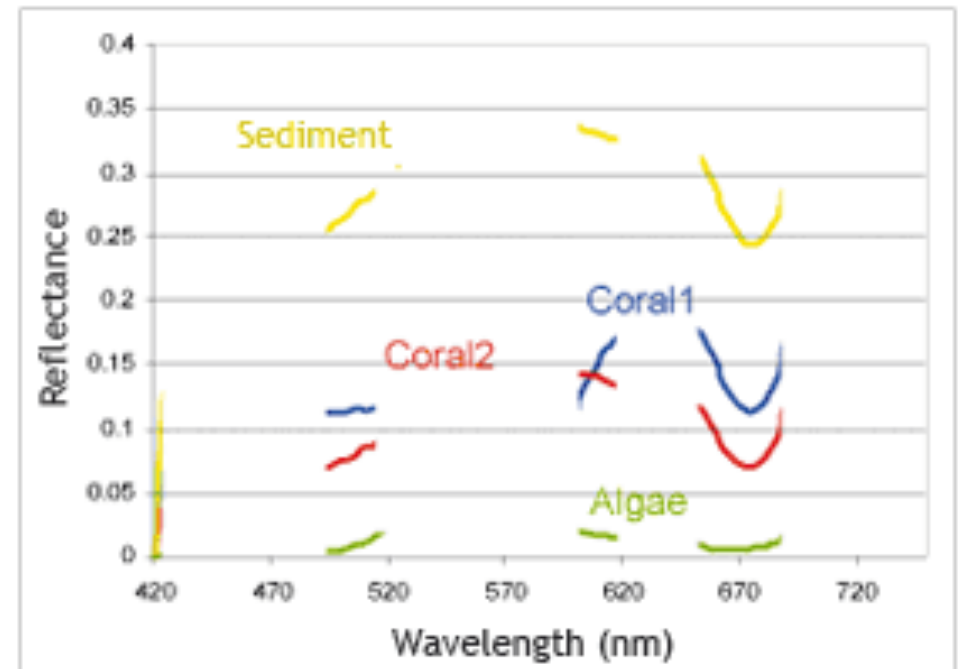
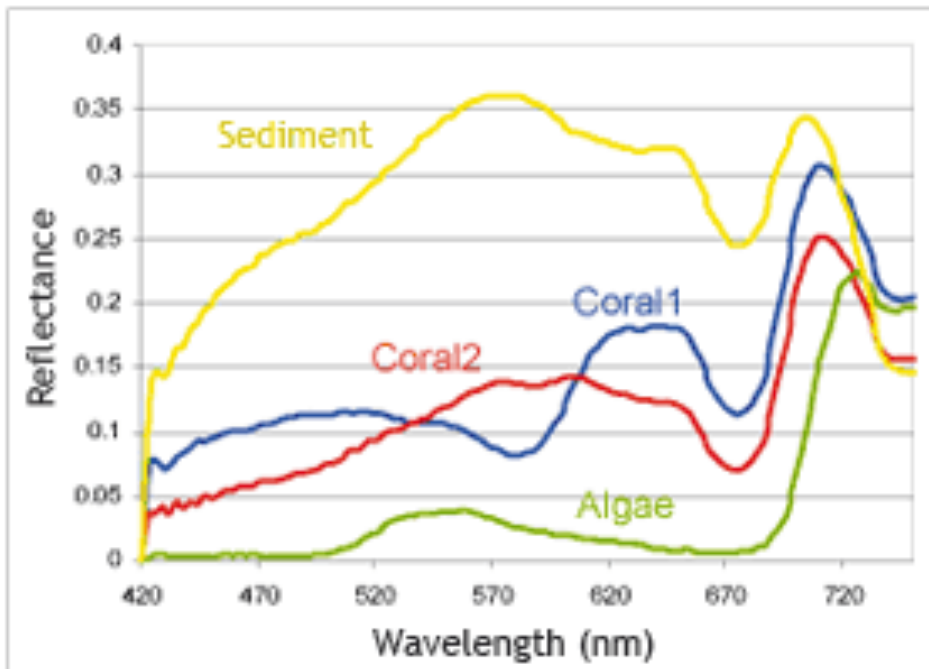
Το νερό και η βλάστηση έχουν παρόμοια ανάκλαση στο ορατό φως αλλά διαφέρουν στο υπέρυθρο.

Χρησιμοποιώντας αισθητήρες σε διαφορετικά μήκη κύματος διαχωρίζονται επιφάνειες / σώματα/ ατμοσφαιρικά στοιχεία.

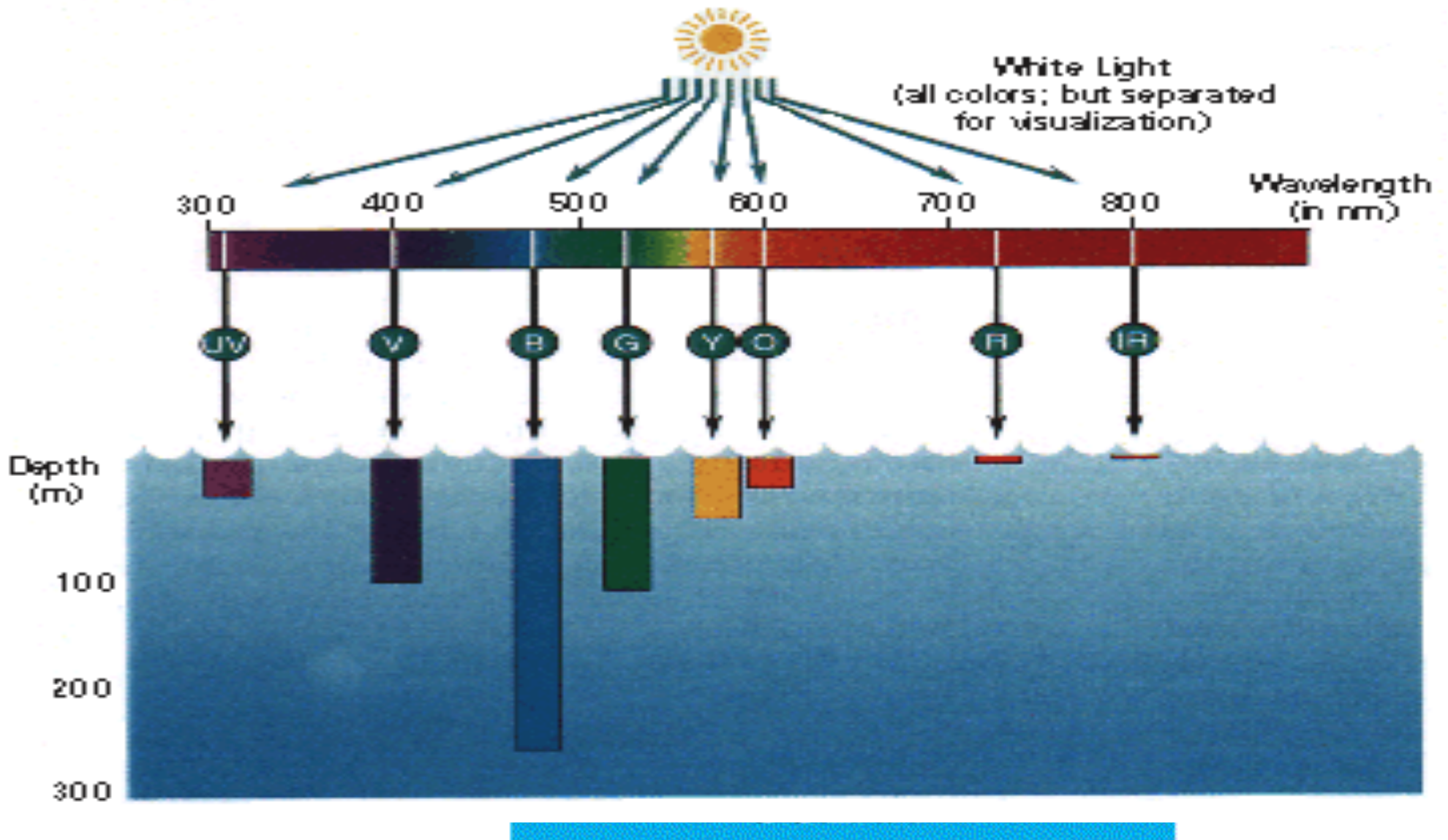
Φασματικές υπογραφές



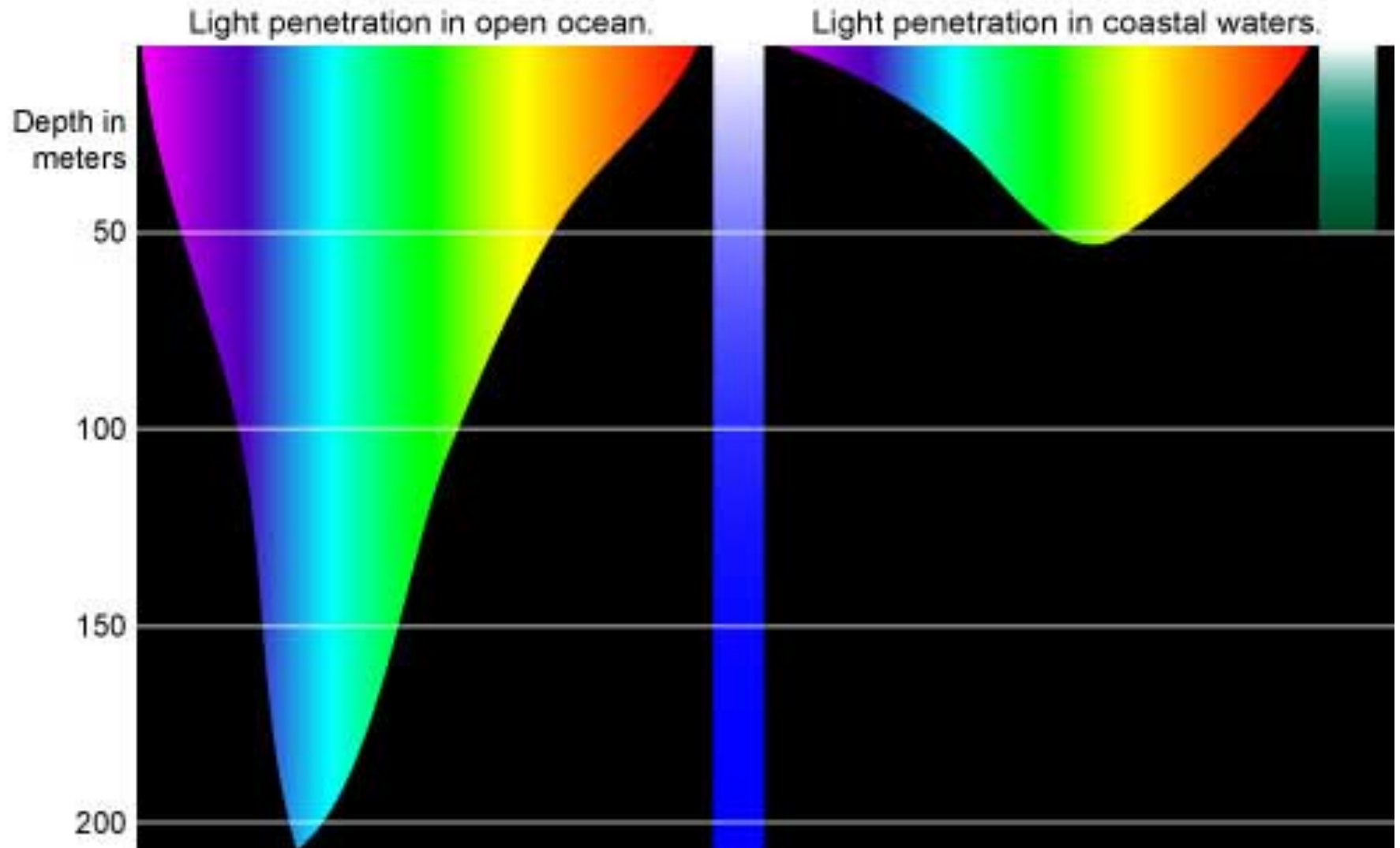
Φασματικές υπογραφές



Φασματικές υπογραφές



Φασματικές υπογραφές



Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

- Η βάση των τηλεπισκοπικών μεθόδων και συστημάτων είναι απλά η μέτρηση των μεταβαλλόμενων ενεργειακών επιπέδων της στοιχειώδους μονάδας στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γνωστού ως φωτόνιο.
- οι μεταβολές στην ενέργεια των φωτονίων (μετρ. σε Joules συνήθως) είναι συνδεδεμένες με την παράμετρο μήκος κύματος ή του αντιστρόφου του, συχνότητα
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μεταβαλλόμενη (χαμηλή-υψηλή) ενέργεια αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
- Ακτινοβολία από συγκεκριμένα μέρη του ΗΜ φάσματος περιέχει φωτόνια με διαφορετικό μήκος κύματος που τα ενεργειακά τους επίπεδα είναι σε ένα διακριτό πεδίο τιμών

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση

- Όταν το οποιοδήποτε υλικό/στόχος διεγείρεται από εσωτερικές διαδικασίες ή μετά από αλληλεπίδραση με προσπίπτουσα ΗΜ ακτινοβολία, εκπέμπει φωτόνια διαφορετικών μηκών κύματος κατά τρόπο διαγνωστικό για το εκάστοτε αντικείμενο/στόχο.
- Η ενέργεια των φωτονίων που λαμβάνεται από τους ανιχνευτές συνήθως δηλώνεται ως μονάδες ισχύος όπως Watts ανά τ.μ ανά μονάδα μήκους κύματος.
- Το διάγραμμα της μεταβολής ισχύος με το μήκος κύματος δίνει μια καμπύλη συγκεκριμένου σχήματος η οποία είναι και η φασματική υπογραφή για το υλικό το οποίο ανιχνεύεται