

# Αρχές και εφαρμογές Ραντάρ

Κ. Καρτάλης και Χ. Φείδας, Αρχές και Εφαρμογές Τηλεπικοινωνίας, Εκδόσεις Τζιόλα.

Ν. Χρυσουλάκης, ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, Ενότητα 10α: Εικονοληπτικό Ραντάρ, ΙΤΕ, 2018.

<https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses>

<https://eo4society.esa.int/resources/9th-esa-training-eo/>

# Types of Remote Sensing Sensors

Spaceborne sensors for Earth remote sensing with electromagnetic waves

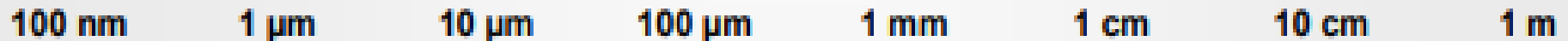
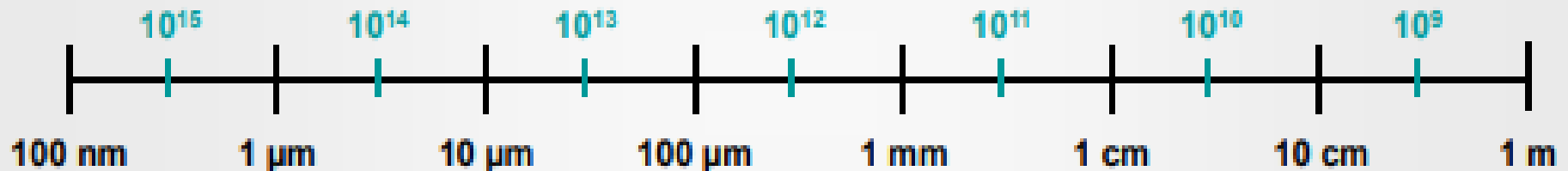
**active sensors**

**Radar**

**Lidar**



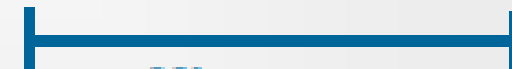
Frequency (Hz)



visible thermal Infrared

wave length

Infrared



**Microwave radiometers**



**optical sensors**

**passive sensors**

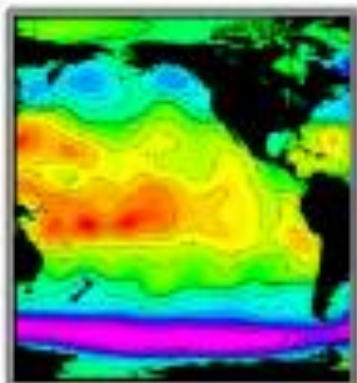
Microwaves: 300 MHz – 300 GHz:  
(1 m – 1 mm)



# Spaceborne Radar Remote Sensing

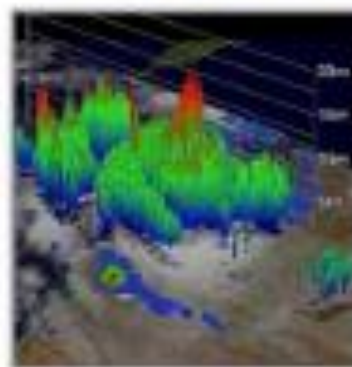
## *Radar Altimeter*

Measures surface topography (surface height)



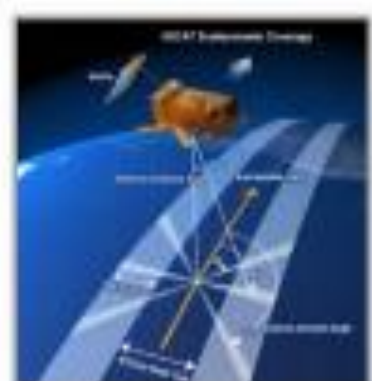
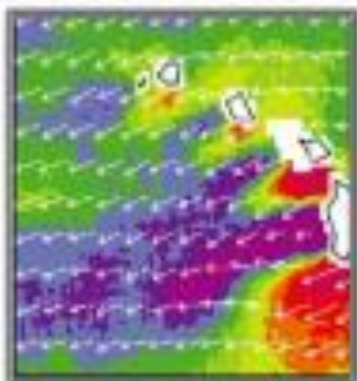
## *Weather Radar*

Measures three-dimensional rainfall distribution



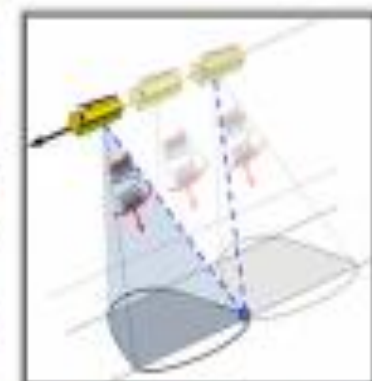
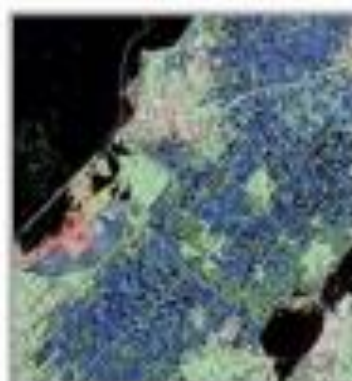
## *Radar Scatterometer*

Measures surface backscattering (sea winds)



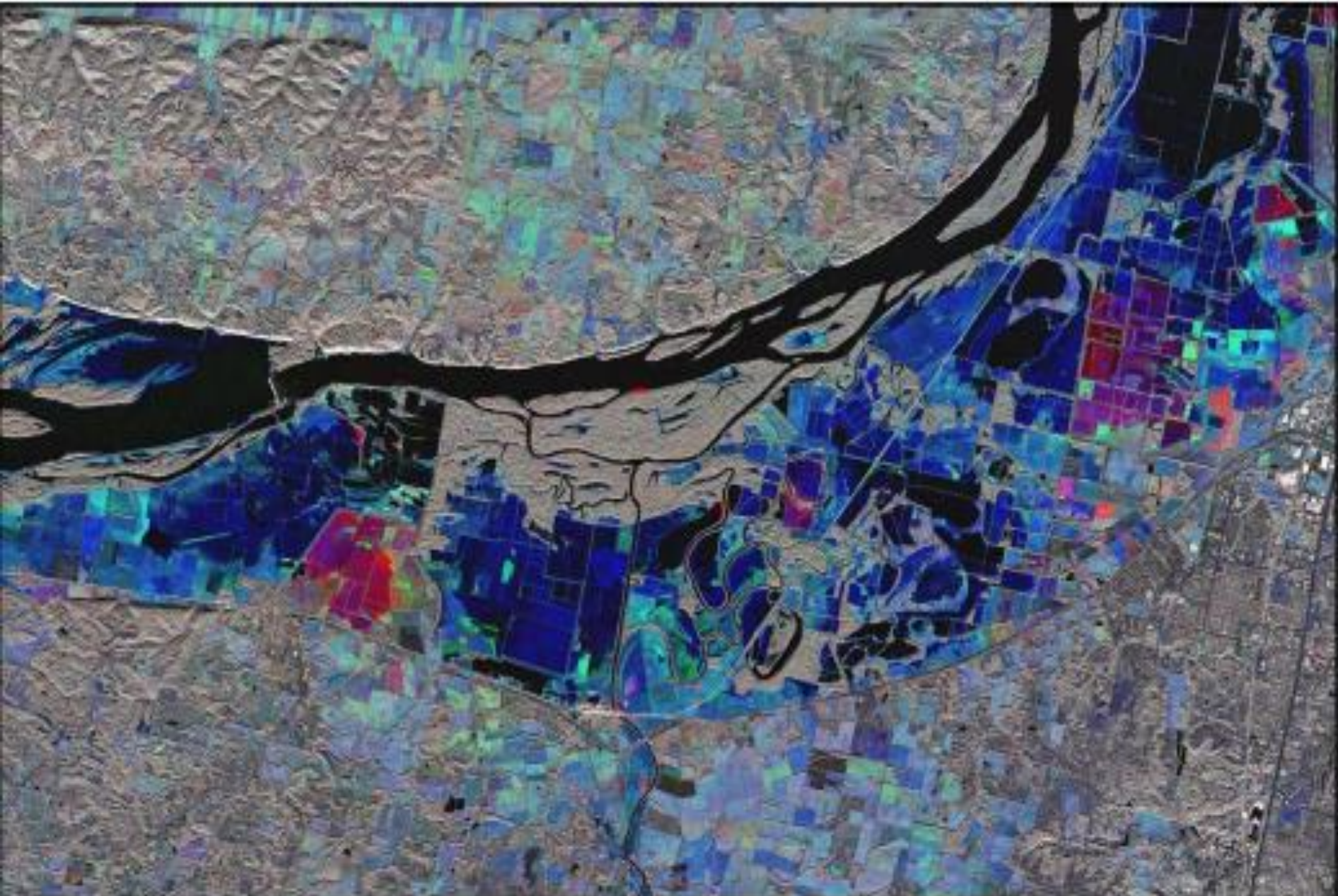
## *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

Measures 2D surface backscattering





**X-band, High Resolution Airborne SAR, F-SAR, Kaufbeuren, Germany**



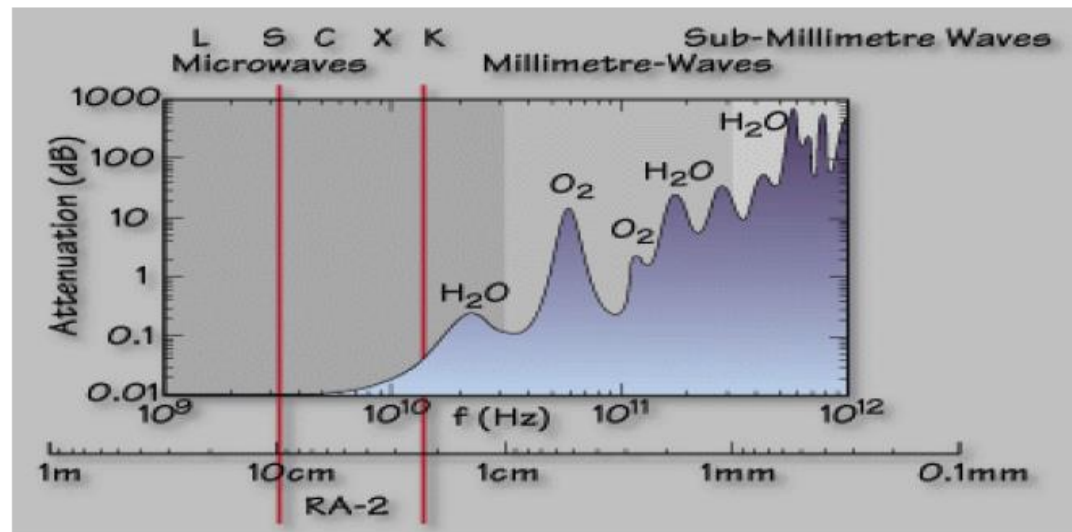
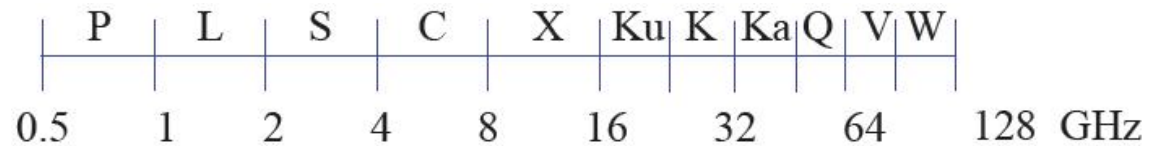
**TerraSAR-X, Mississippi, USA - Flooding**



**TerraSAR-X, Las Vegas, USA (time series of 20 images)**

# ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RADAR

Όνομασία εύρους συχνοτήτων	Περιοχή συχνοτήτων GHz	Αντίστοιχες περιοχές μηκών κύματος (cm)
C	4 - 8	3.8 - 7.5
S	2 - 4	7.5 - 15
L	1 - 2	15 - 30
P	0.3 - 1	30 - 100
Ka	26.5 - 40	0.75 - 1.1
K	18 - 25.5	1.1 - 1.67
Ku	12.5 - 18	1.7 - 2.4
X	8 - 12.5	2.4 - 3.8



*Ένα σύστημα ραντάρ αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:*

- 1. Μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικών παλμών, η ενέργεια των οποίων βρίσκεται στην περιοχή τιμών μικροκυματικής ακτινοβολίας/ραδιοκυμάτων.*
- 2. Έναν εκπομπό ηλεκτρικών παλμών.*
- 3. Ένα διακόπτη δυο κατευθύνσεων, που εξυπηρετεί στο να μη συμβάλλουν οι εκπεμπόμενοι και οι επιστρέφοντες ηλεκτρικοί παλμοί (σήματα).*
- 4. Μια κεραία, μέσω της οποίας οι ηλεκτρικοί παλμοί μετατρέπονται σε ΗΜ κύματα και εκπέμπονται στο χώρο, προς ορισμένη κατεύθυνση. Η κεραία επίσης συλλαμβάνει και ΗΜ κύματα που εκπέμπουν, εξ ανακλάσεως, διάφορα αντικείμενα στο χώρο.*
- 5. Ένα δέκτη που λαμβάνει τους επιστρέφοντες ηλεκτρικούς παλμούς και μια συσκευή καταγραφής και ψηφιακής αποθήκευσης των σημάτων αυτών.*



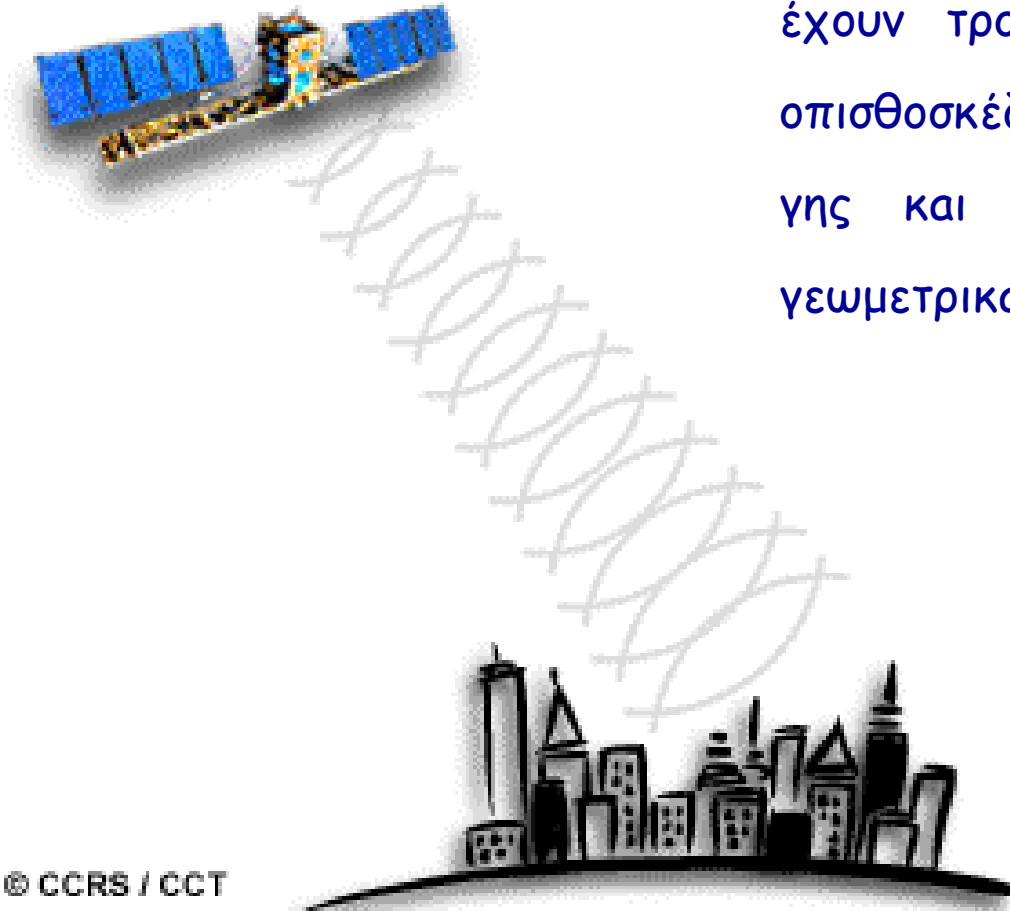
Το μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιλαμβάνει μήκη κύματος από 1mm έως 1m, τα οποία δεν είναι αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι.

Οι αισθητήρες των δορυφόρων που χρησιμοποιούν αυτά τα μήκη κύματος μπορούν να καταγράφουν επιφανειακές ιδιότητες του γήινου περιβάλλοντος οι οποίες σχετίζονται κυρίως με:

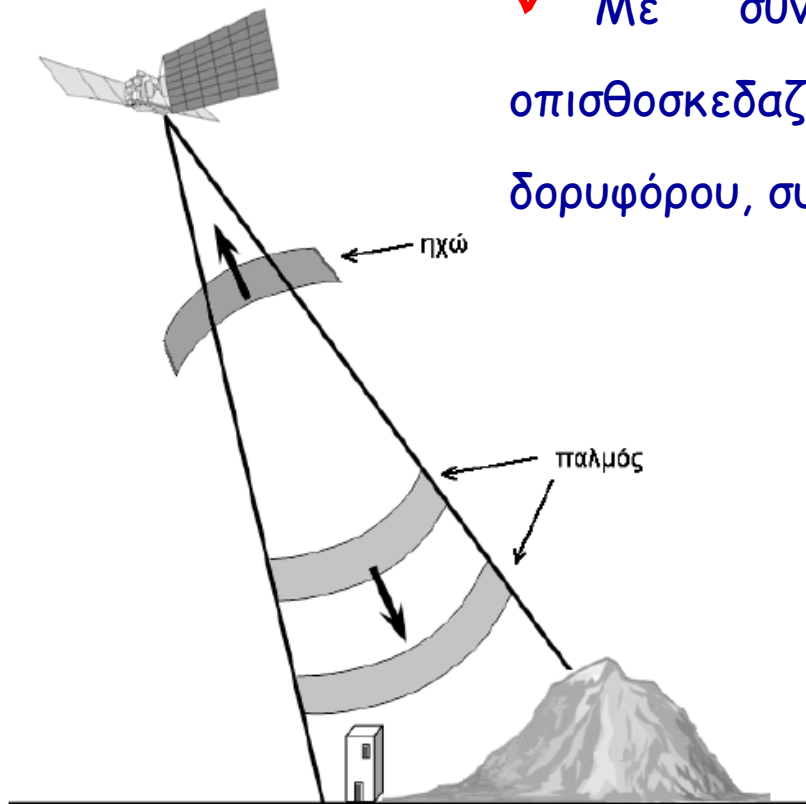
- γεωμετρικά χαρακτηριστικά (τοπογραφία, μορφολογία, τραχύτητα του εδάφους),
- την περιεκτικότητα σε νερό της βλάστησης και του εδάφους και τη διηλεκτρική συμπεριφορά των υλικών (σχετίζεται με το ποσοστό ενέργειας που ανακλάται σε σχέση με αυτό που διεισδύει και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας).

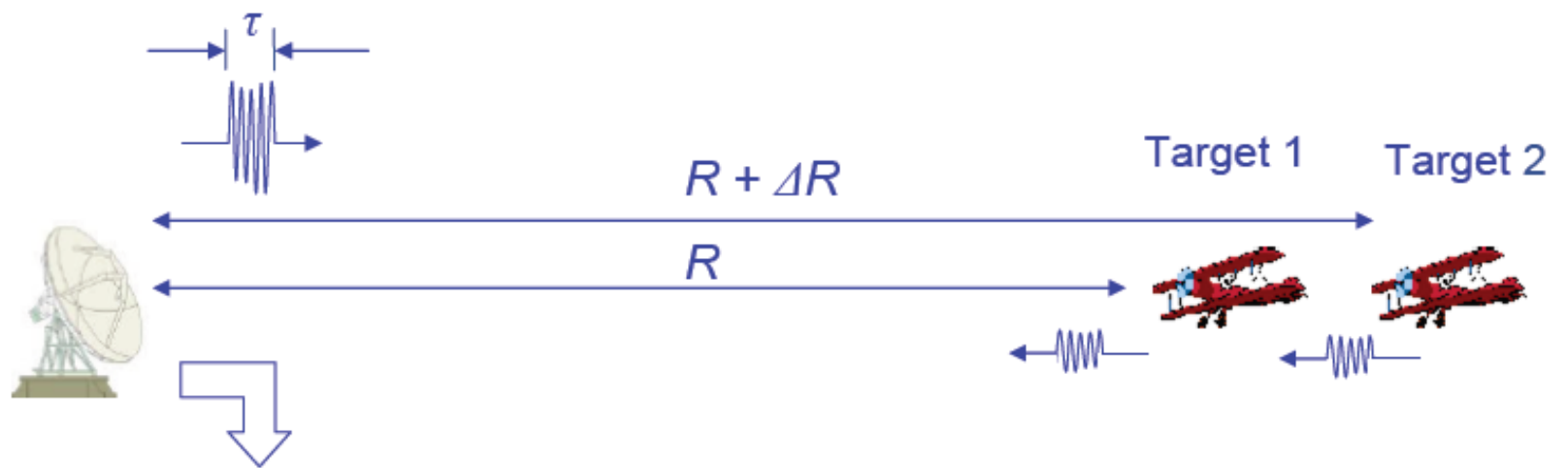
# ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RADAR

- ✓ Τα χαρακτηριστικά του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος που καταγράφει το ραντάρ έχουν τροποποιηθεί κατά τη διεργασία της οπισθοσκέδασης/ανάκλασης στην επιφάνεια της γης και φέρουν έτσι πληροφορία για τα γεωμετρικά και διηλεκτρικά χαρακτηριστικά της.

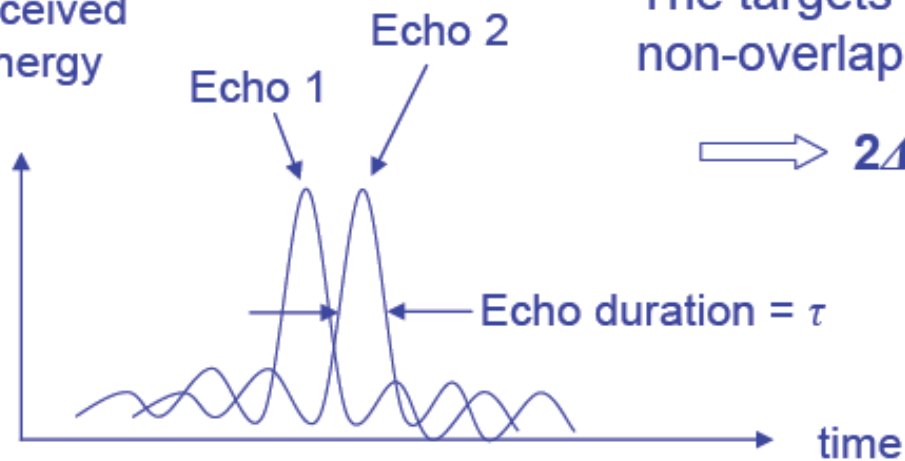


- ✓ Μετρώντας το χρόνο επιστροφής του παλμού μετά την ανάκλασή του, μπορεί να καθοριστεί η απόσταση των στόχων από το ραντάρ και κατά συνέπεια η θέση τους στο χώρο.
- ✓ Με συνεχή καταγραφή και επεξεργασία του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος κατά την κίνηση του δορυφόρου, συντίθεται μια 2D εικόνα της επιφάνειας της γης.



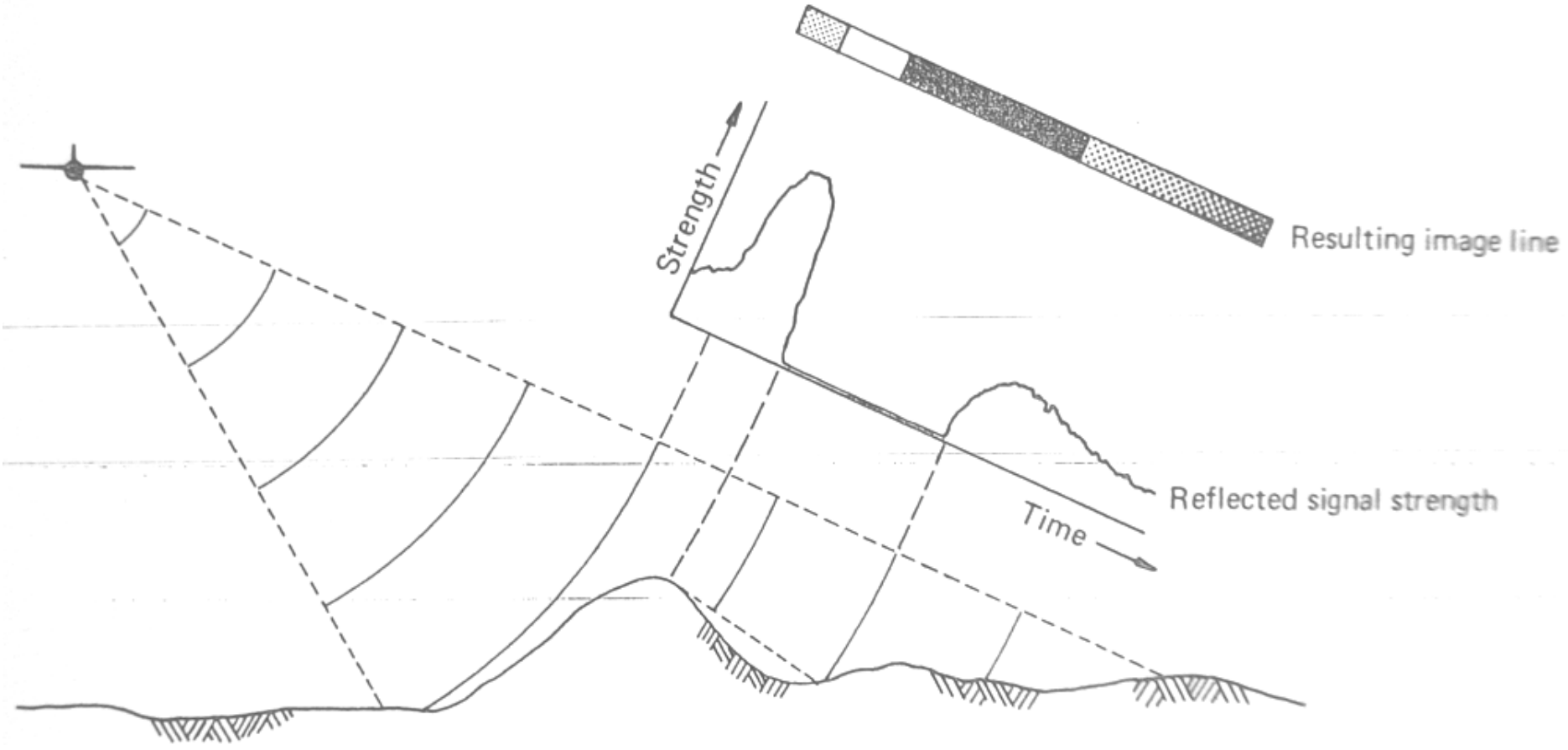


Received energy

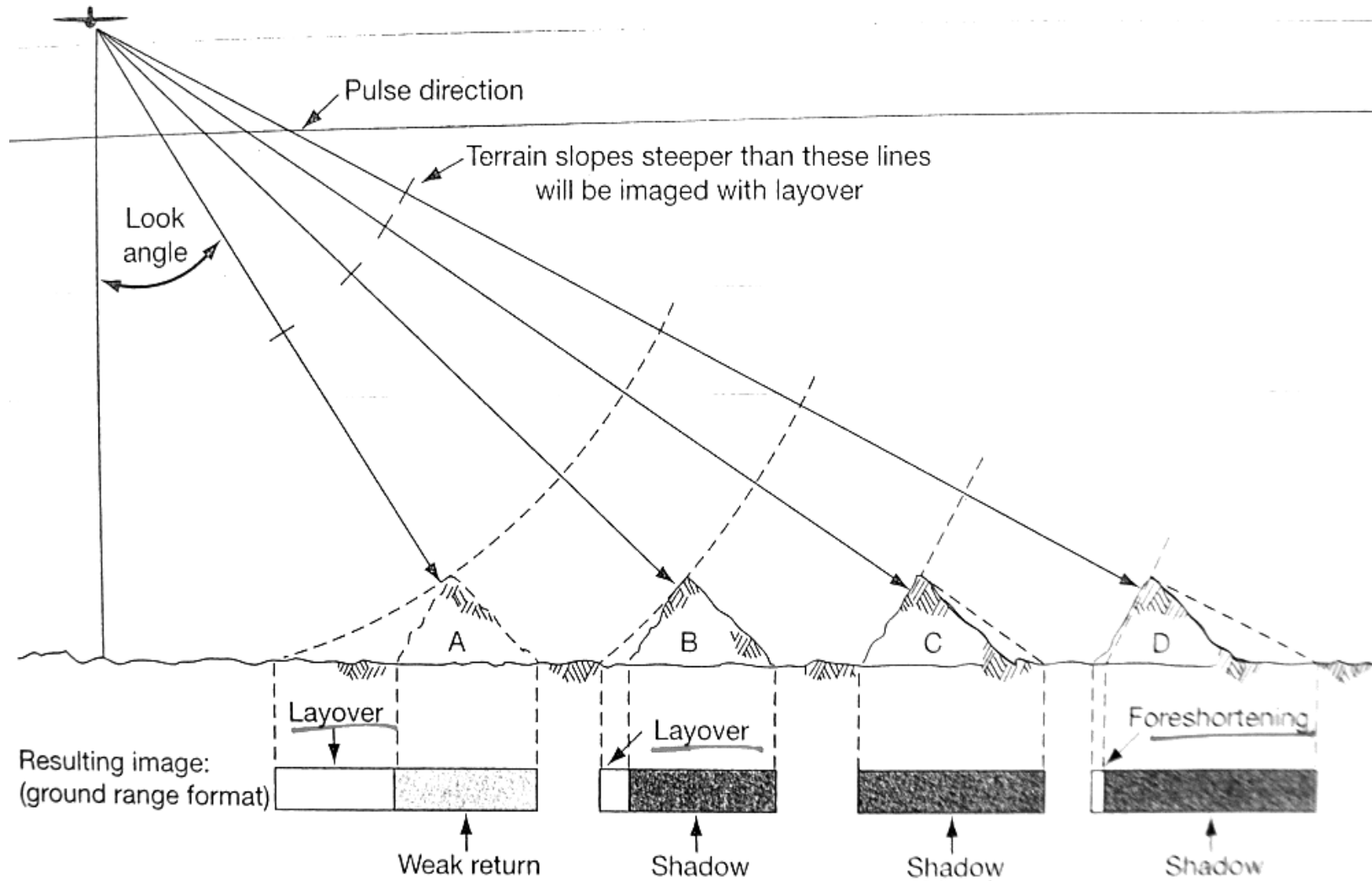


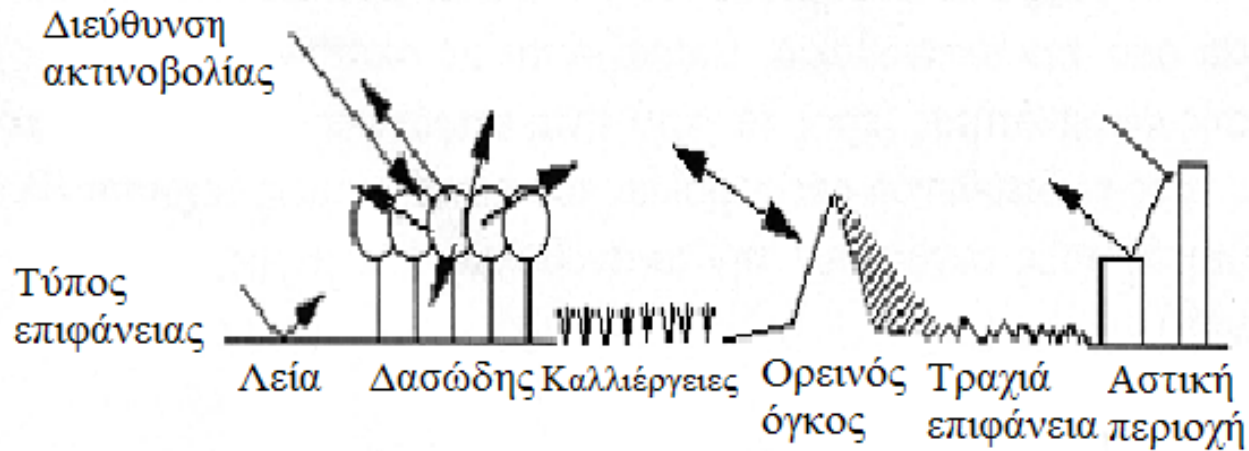
The targets are just resolved if the echoes are just non-overlapping i.e. if they are separated by  $> \tau$

$$\implies 2\Delta R/c > \tau \text{ or } \Delta R > c\tau/2$$

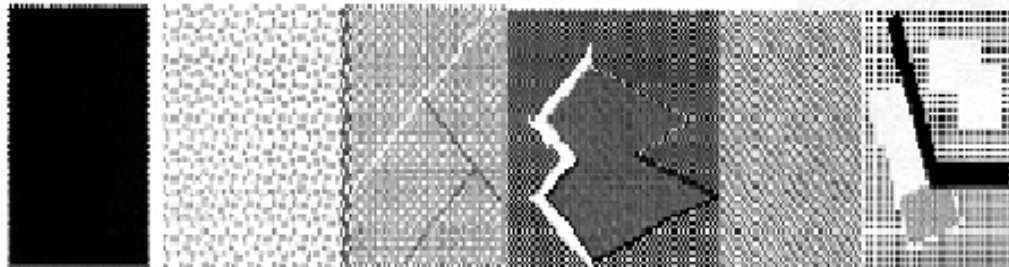


# ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RADAR



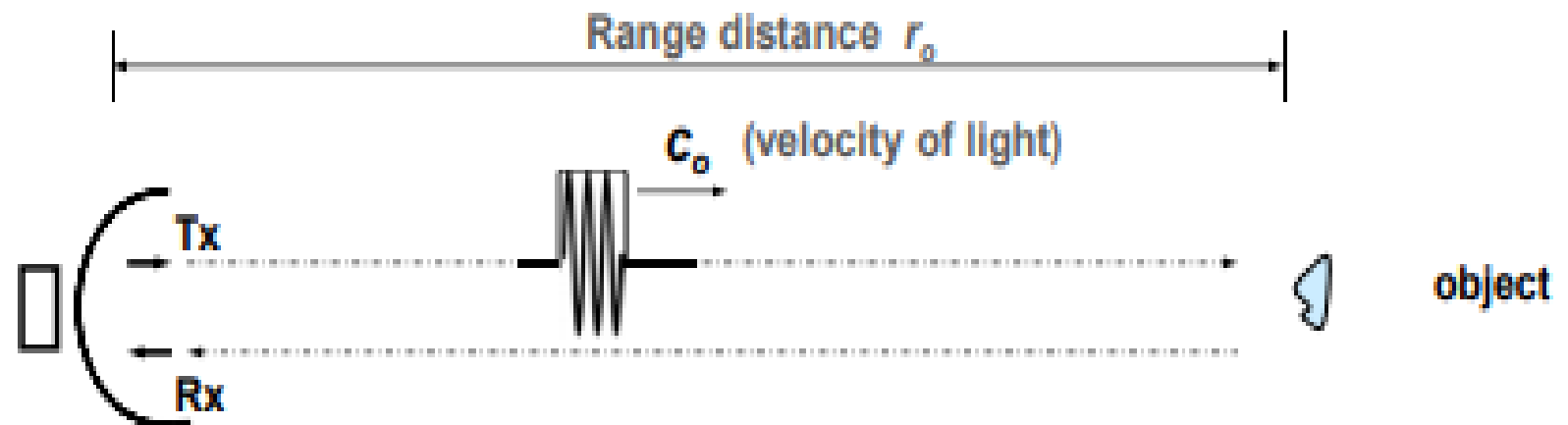


Εικόνα ραντάρ

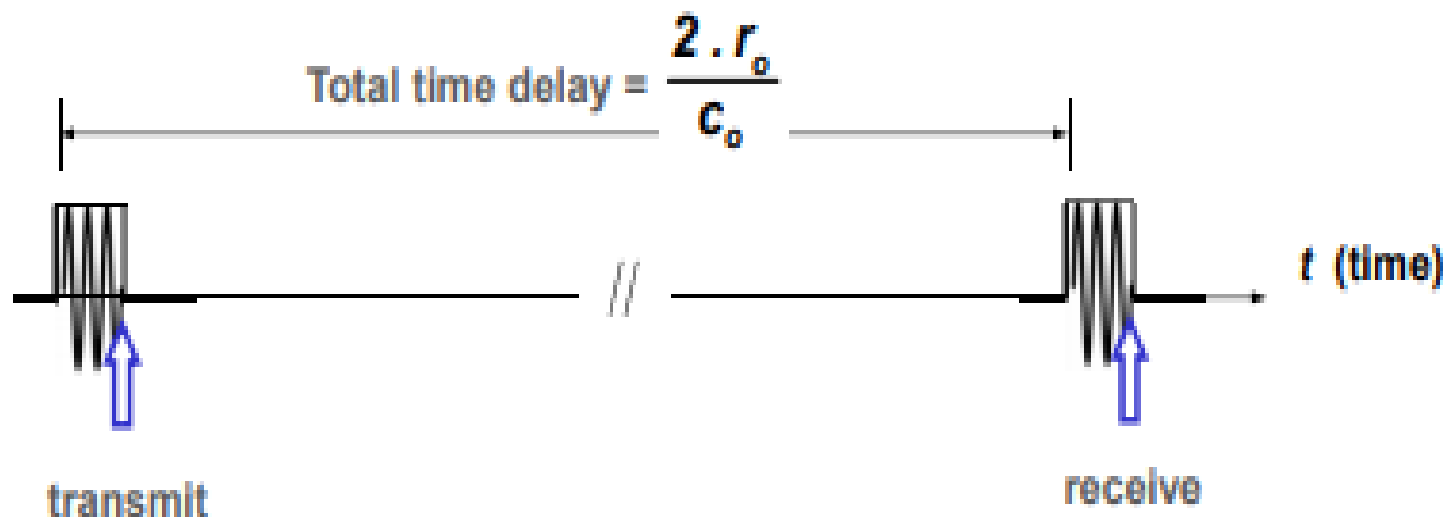


**Υφή και τονικότητα εικόνας ραντάρ από επιφάνειες διαφορετικού τύπου**

# Radar Measurement Principle



- Received echo signal (back-scattered signal of imaged object):





# ΟΡΙΣΜΟΙ

- ✓ Ο κάθετος άξονας στη διεύθυνση της τροχιάς του δορυφόρου καλείται **εύρος** (range) ενώ ο παράλληλος σε αυτή άξονας ονομάζεται **αζιμούθιο** (azimuth).
- ✓ **Γωνία πρόσπτωσης** (incidence angle) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της δέσμης και της κάθετης στην επιφάνεια του στόχου. Αυξάνεται με την απομάκρυνση από το ναδίρ.
- ✓ **Γωνία κατόπτρευσης** (look angle) είναι η γωνία με την οποία βλέπει το ραντάρ τη γήινη επιφάνεια.
- ✓ **Εύρος φωτισμού** (illumination range) είναι γωνιακό εύρος της δέσμης που αντιστοιχεί σε μέτρα στο έδαφος.
- ✓ **Κεκλιμένη απόσταση** (slant range distance) είναι η απόσταση της πλατφόρμας από το στόχο.
- ✓ **Εδαφική απόσταση** (ground range distance) είναι η πραγματική οριζόντια απόσταση στο έδαφος από το ναδίρ στο στόχο.

$$P_r = P_t \times G \times \frac{1}{4\pi R^2} \times \sigma \times \frac{1}{4\pi R^2} \times \overbrace{\frac{G\lambda^2}{4\pi}}^{A_a} = P_t \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad [\text{Watt}]$$

$P_t$ : Transmit peak power at antenna input

$G$ : Antenna gain =  $A_a \times 4\pi/\lambda^2$

$1/(4\pi R^2)$ : Free-space spreading factor

$\sigma$ : Target radar cross-section [m<sup>2</sup>]

$A_a$ : Antenna effective area [m<sup>2</sup>]

$f$ : Frequency = number of oscillations per second (Hz)

$c$ : Speed of light in vacuum [m/s]

$\lambda$ : Wavelength =  $c/f$

$$\sigma \propto D/\lambda$$

$D$ : Target dimension

➤ συχνότητα

➤ πόλωση

➤ γωνία πρόσπτωσης

➤ τραχύτητα επιφάνειας

➤ γεωμετρική μορφή επιφάνειας

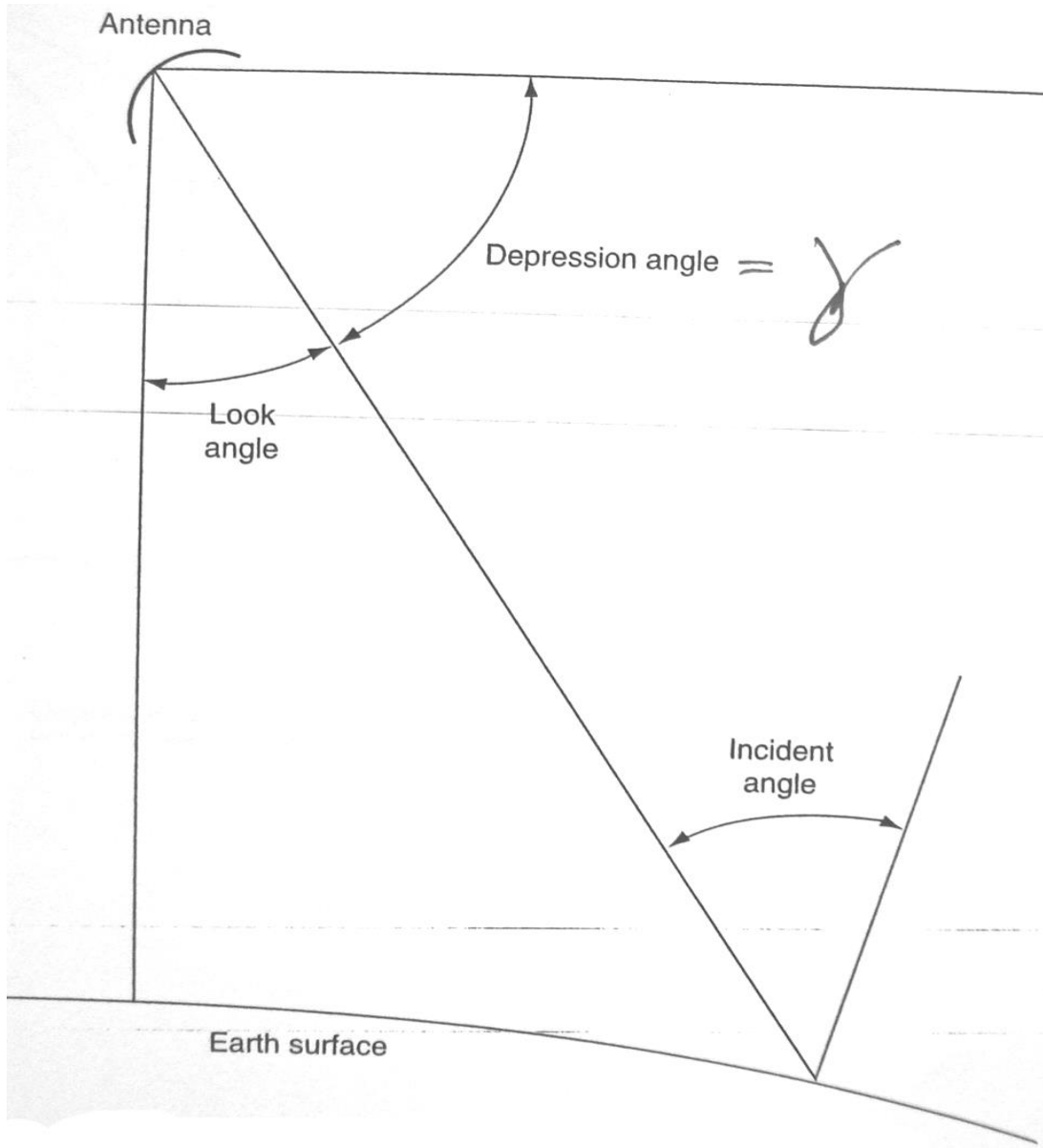
➤ διηλεκτρική σταθερά επιφάνειας

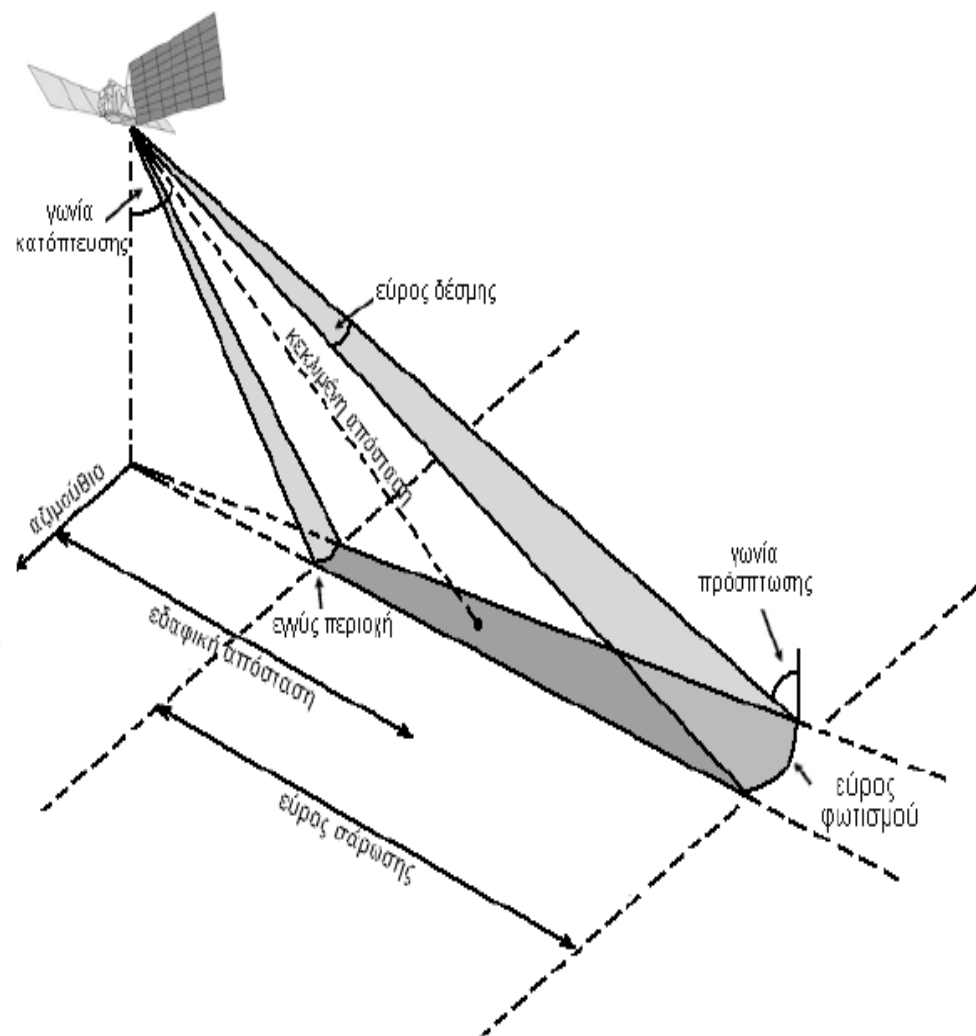
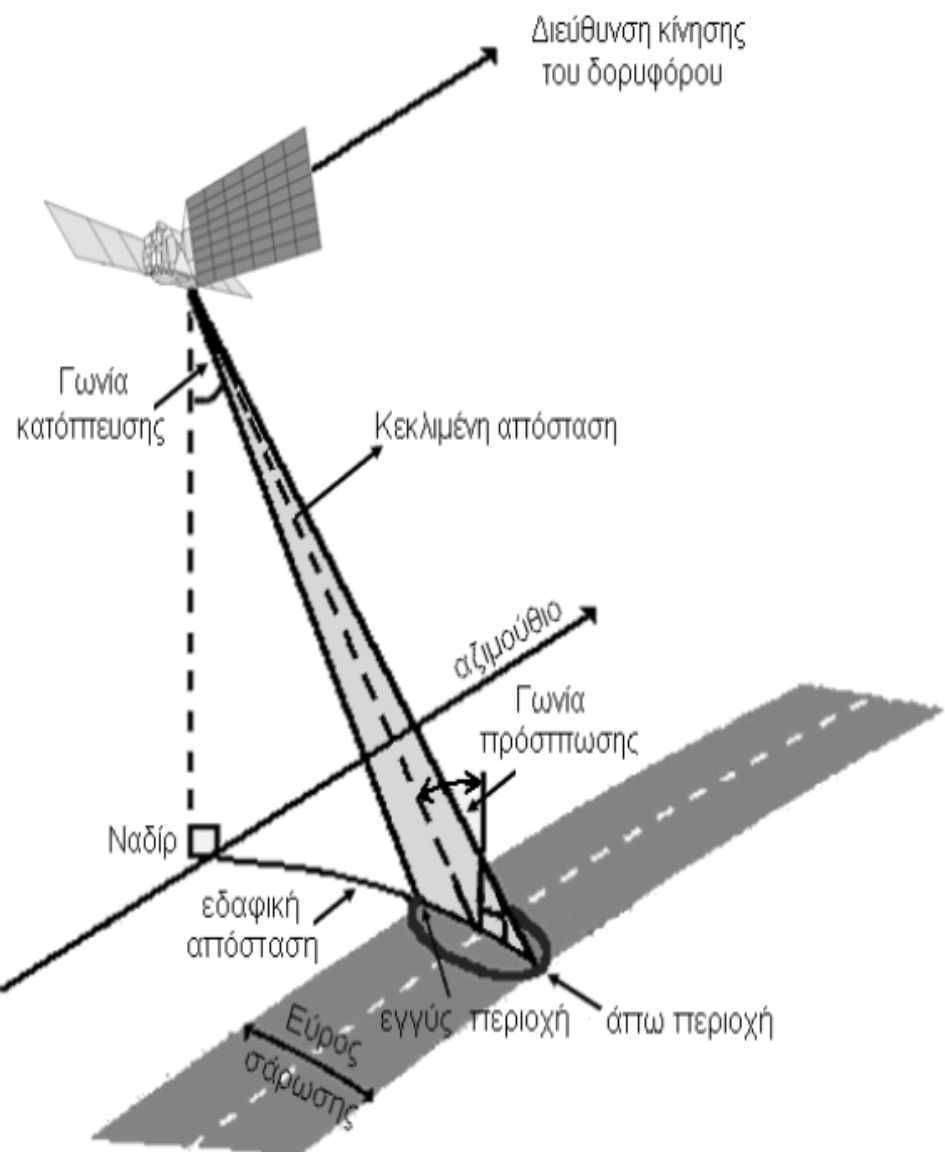
Η διηλεκτρική σταθερά (dielectric constant) ενός υλικού αυξάνεται με την περιεκτικότητά του σε νερό. Αύξηση της διηλεκτρικής σταθεράς σημαίνει περιορισμένη διείσδυση της ακτινοβολίας στο υπέδαφος και αύξηση του συντελεστή οπισθοσκέδασης, επομένως και της ισχύος του σήματος επιστροφής.

Για αυτό το λόγο οι εικόνες ραντάρ μπορούν να αξιοποιηθούν στο να εκτιμηθεί η υγρασία του εδάφους, η οποία παρέχει πολύτιμες υδρολογικές και εδαφολογικές πληροφορίες.

Επί πλέον, σε ξηρά εδάφη, όπου η διηλεκτρική σταθερά είναι μικρή, η ακτινοβολία ραντάρ μπορεί να διεισδύσει σε βάθος μερικών μέτρων και να δώσει πληροφορίες για τη δομή του υπεδάφους.

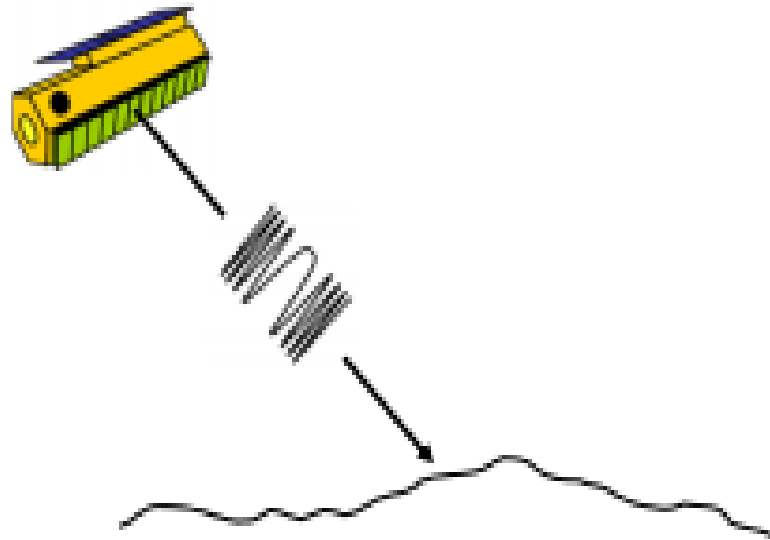
Σε υδάτινες μάζες η διηλεκτρική σταθερά είναι μεγάλη και η διείσδυση της ΗΜ ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή.



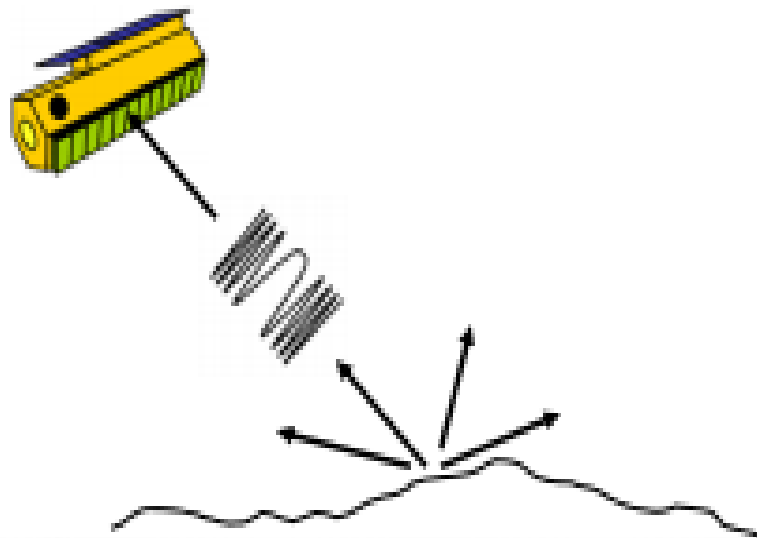


# What does the Radar measure ?

- Radar reflectivity (backscattered signal) of targets as a function of their position



- radar transmits a pulse (travelling velocity is equal to velocity of light)



- some of the energy in the radar pulse is reflected back towards the radar. This is what the radar measures. It is known as radar backscatter  $\sigma_0$  (sigma nought or sigma zero).

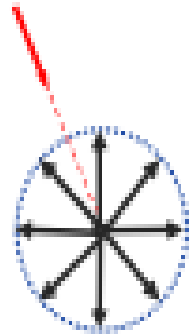
# What does the Radar measure ?

- Normalized radar cross-section (backscattering coefficient) is given by:

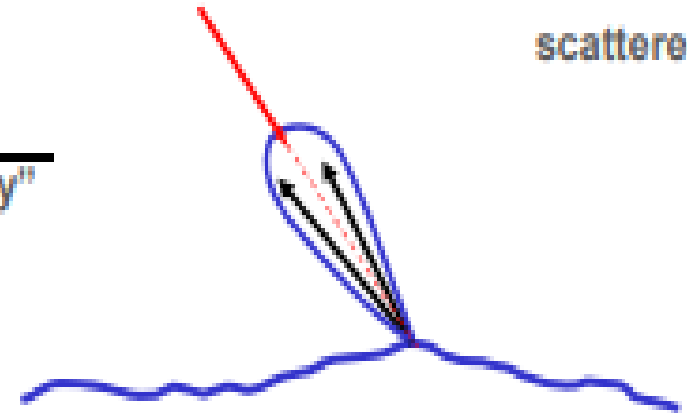
$$\sigma_o \text{ (dB)} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \text{ (energy ratio)}$$

whereby

$$\text{energy ratio} = \frac{\text{received energy by the sensor}}{\text{"energy reflected in an isotropic way"}}$$

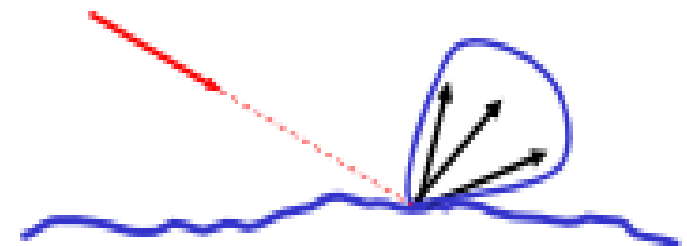


Isotropic  
scatterer



The backscattered coefficient can be a positive number if there is a focusing of backscattered energy towards the radar

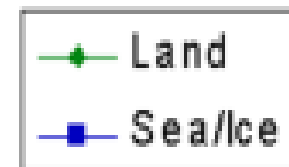
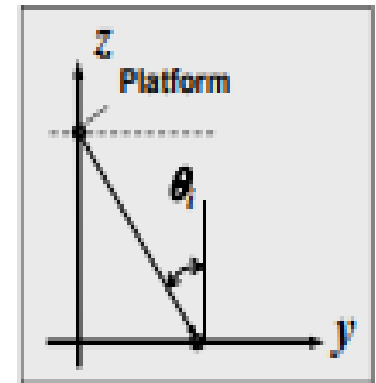
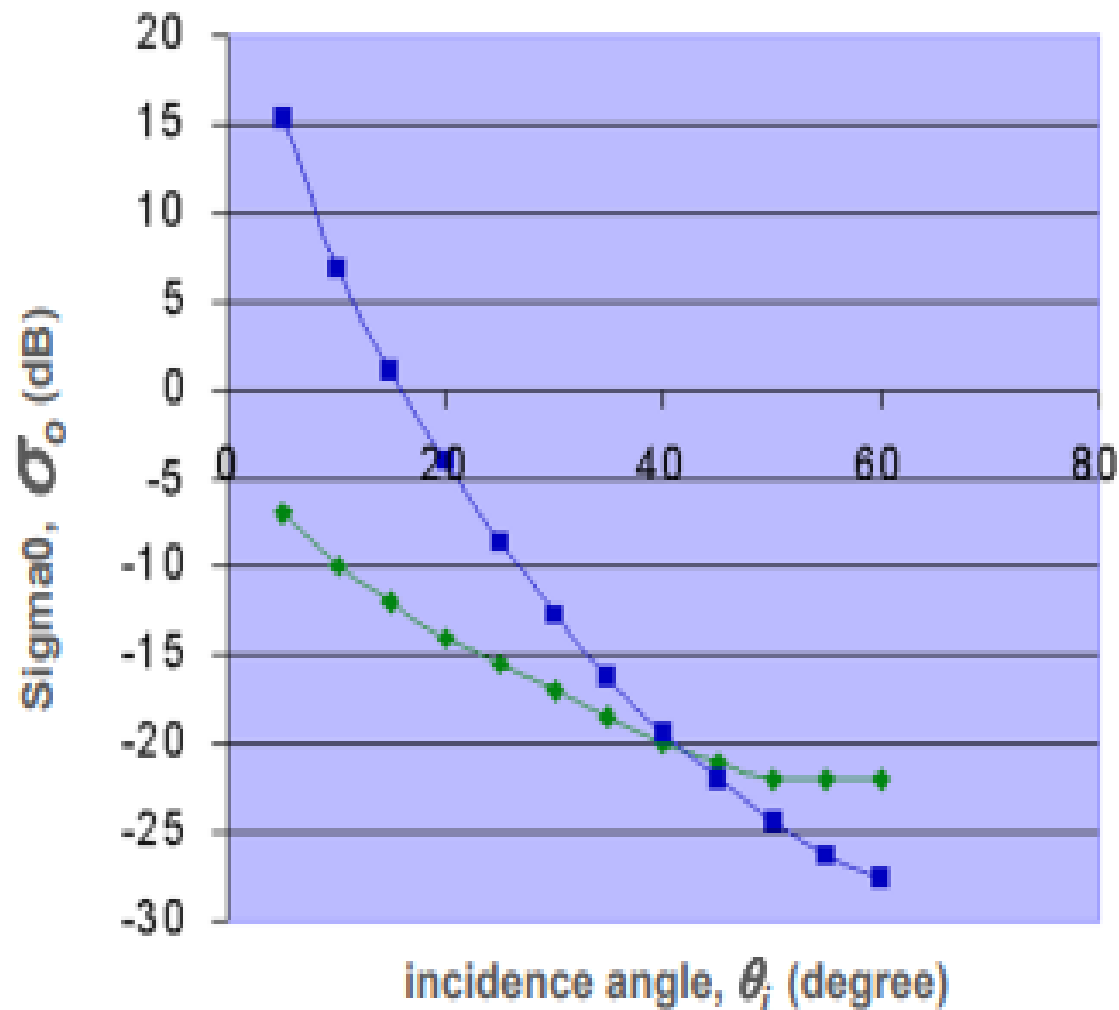
or



The backscattered coefficient can be a negative number if there is a focusing of backscattered energy away from the radar (e.g. smooth surface)

# Backscattering Coefficient $\sigma_0$





- Variation of  $\sigma_0$  as a function of incidence angle  $\theta_i$

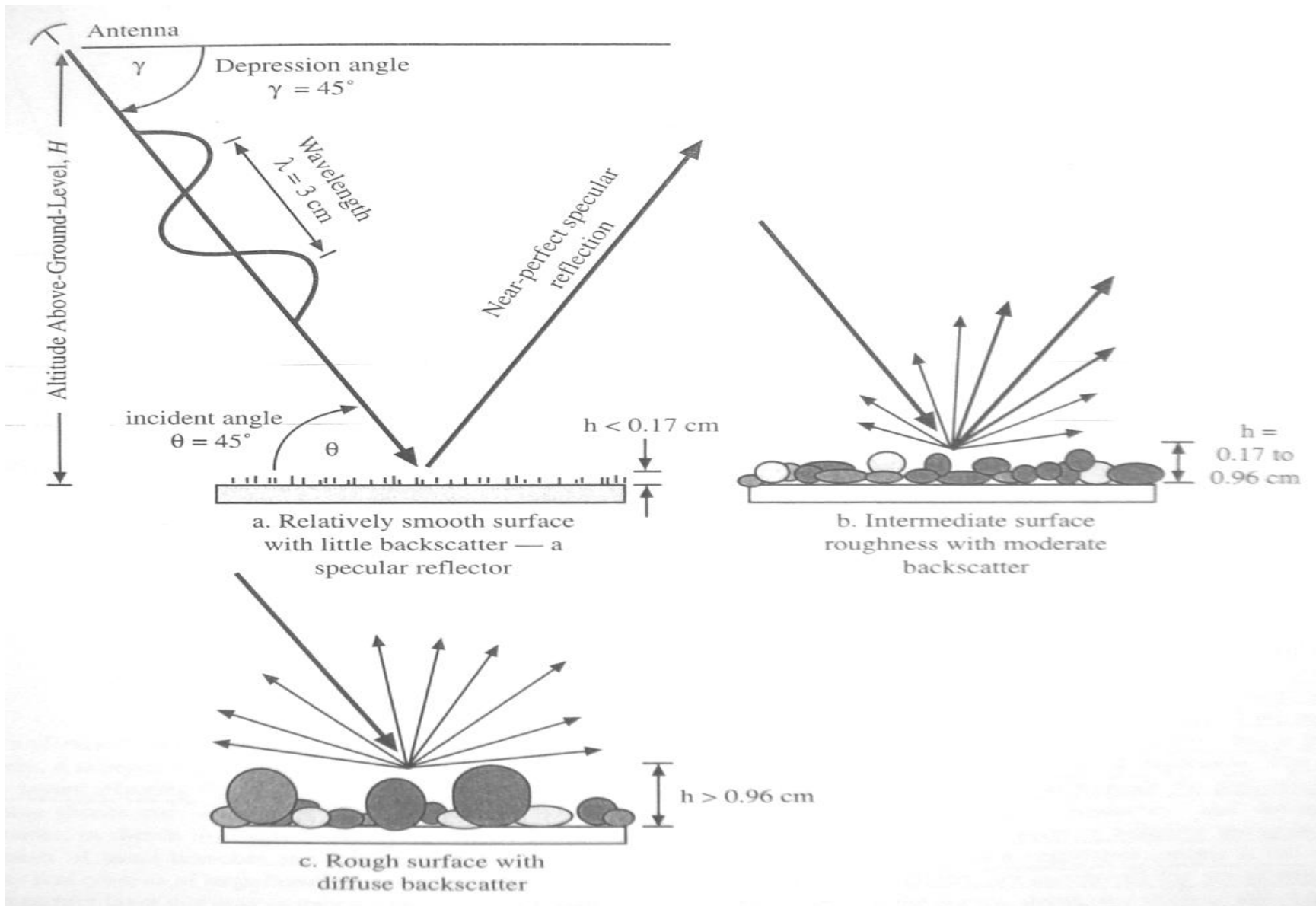


- Dynamic range of received SAR signal is usually greater than 50 dB



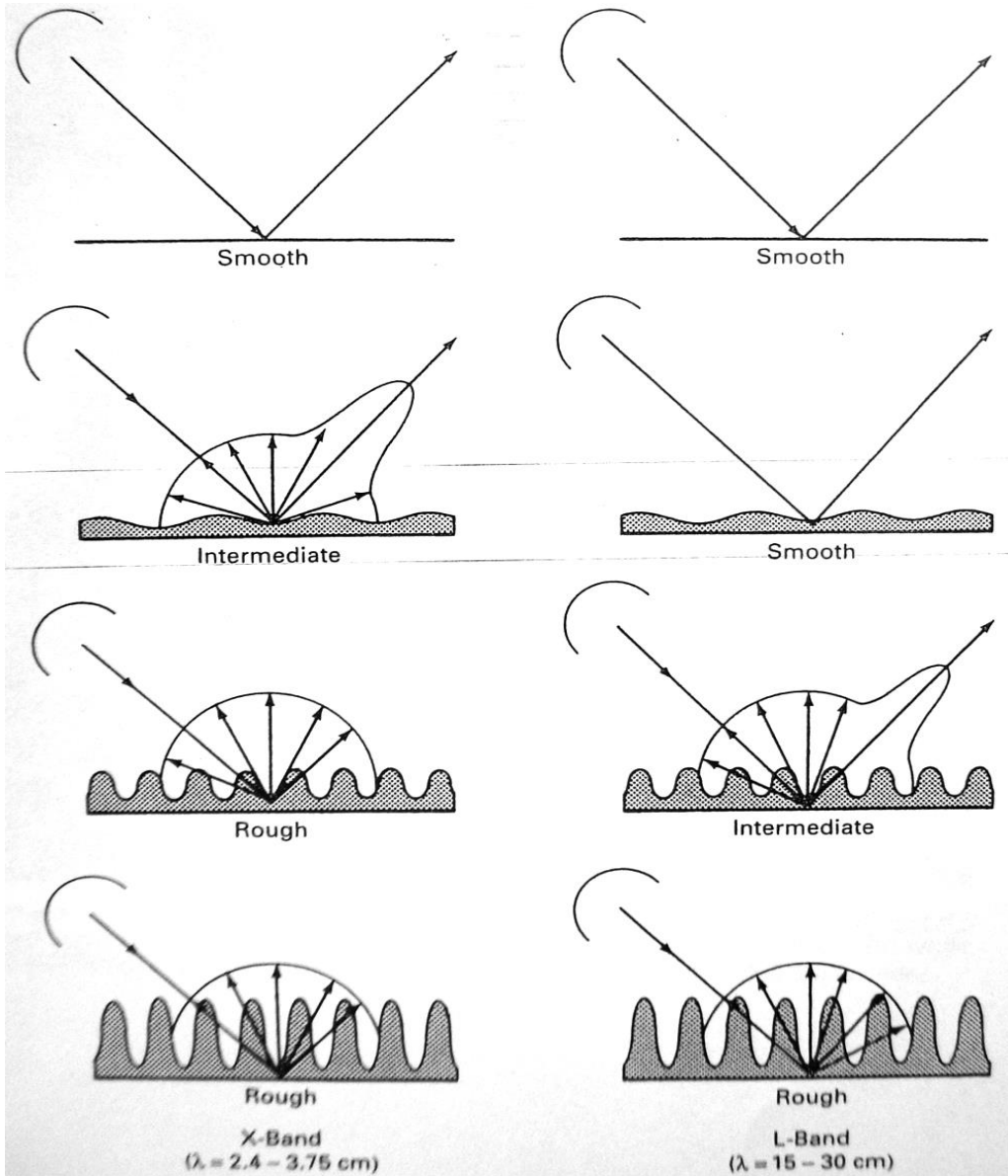
# Backscattering Coefficient $\sigma_0$

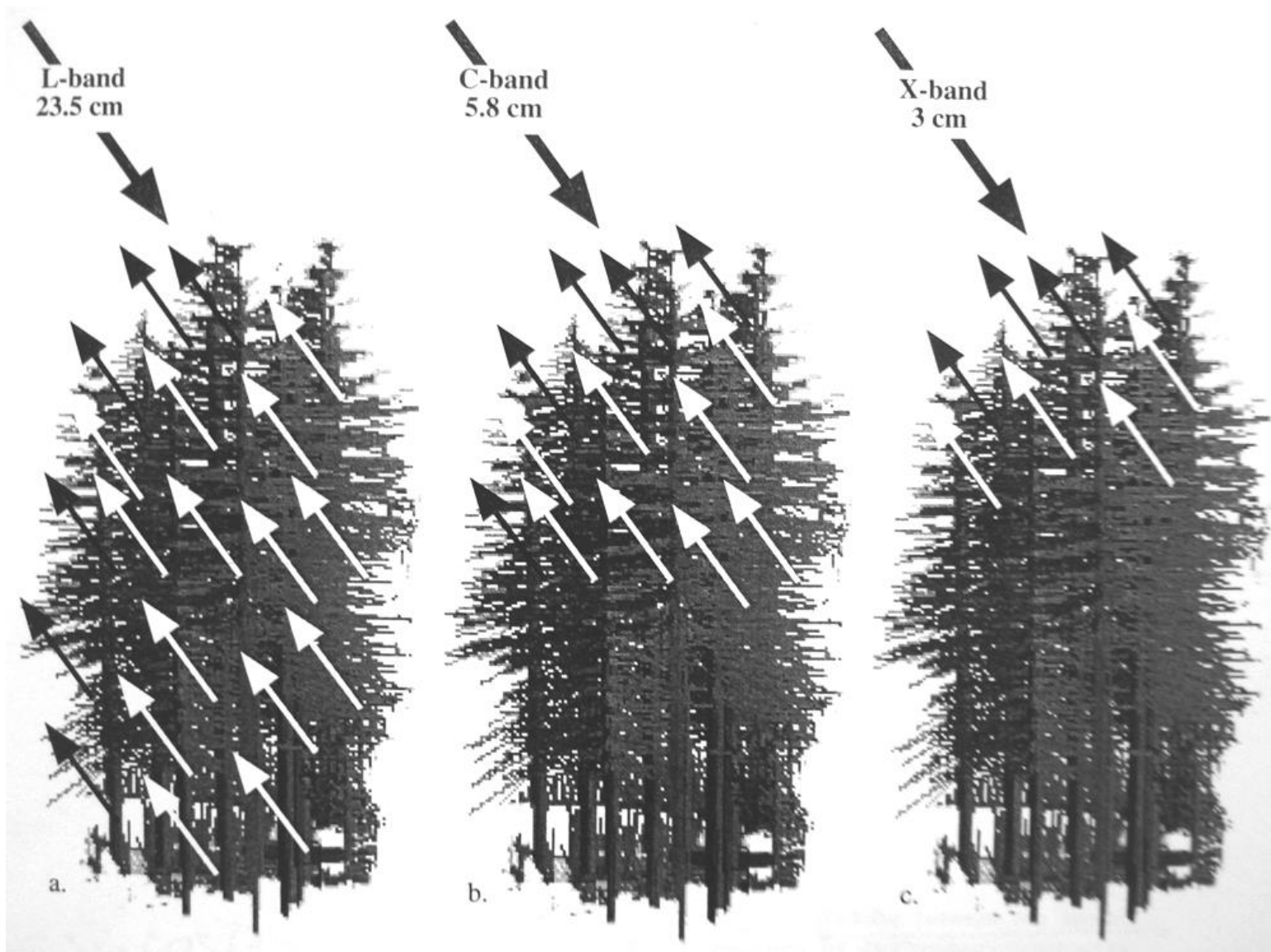
Levels of Radar backscatter	Typical scenario
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Very high backscatter (above -5 dB)</i></li></ul>	 <p><i>Man-Made objects (urban)</i> <i>Terrain Slopes towards radar</i> <i>very rough surface</i> <i>radar looking very steep</i></p>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>High backscatter (-10 dB to 0 dB)</i></li></ul>	 <p><i>rough surface</i> <i>dense vegetation (forest)</i></p>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Moderate backscatter (-20 to -10 dB)</i></li></ul>	 <p><i>medium level of vegetation</i> <i>agricultural crops</i> <i>moderately rough surfaces</i></p>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Low backscatter (below -20 dB)</i></li></ul>	 <p><i>smooth surface</i> <i>calm water, road</i> <i>very dry terrain (sand)</i></p>



Η τραχύτητα (roughness) της επιφάνειας είναι σημαντικός παράγοντας διαμόρφωσης του επιστρέφοντος σήματος. Σε μια τραχειά επιφάνεια η προσπίπτουσα ακτινοβολία σκεδάζεται σε όλες τις διευθύνσεις και επιστρέφει ως ένα ισχυρό σήμα. Μια λεία επιφάνεια ανακλά κατοπτρικά την ακτινοβολία σε μια μόνο διεύθυνση, οπότε δίνει ασθενές σήμα στις άλλες διευθύνσεις.

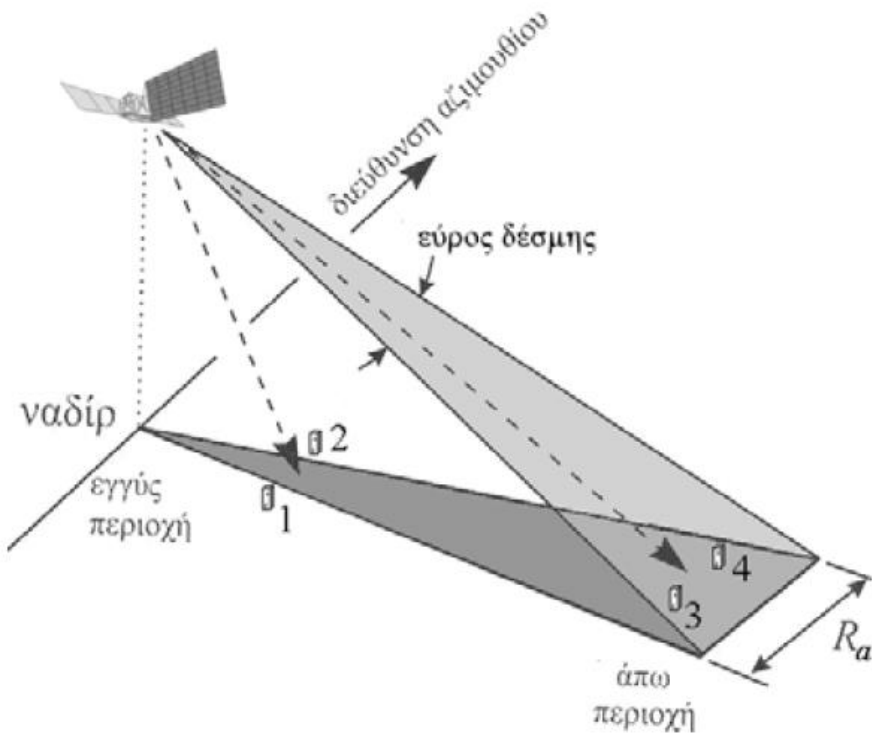
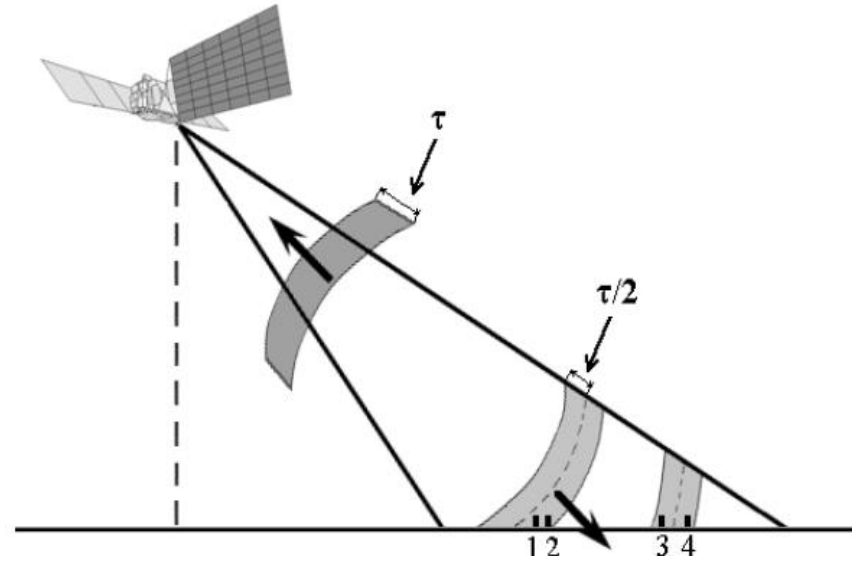
Η τραχύτητα μιας επιφάνειας εξαρτάται τόσο από το τοπογραφικό ανάγλυφο, όσο και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας του ραντάρ.





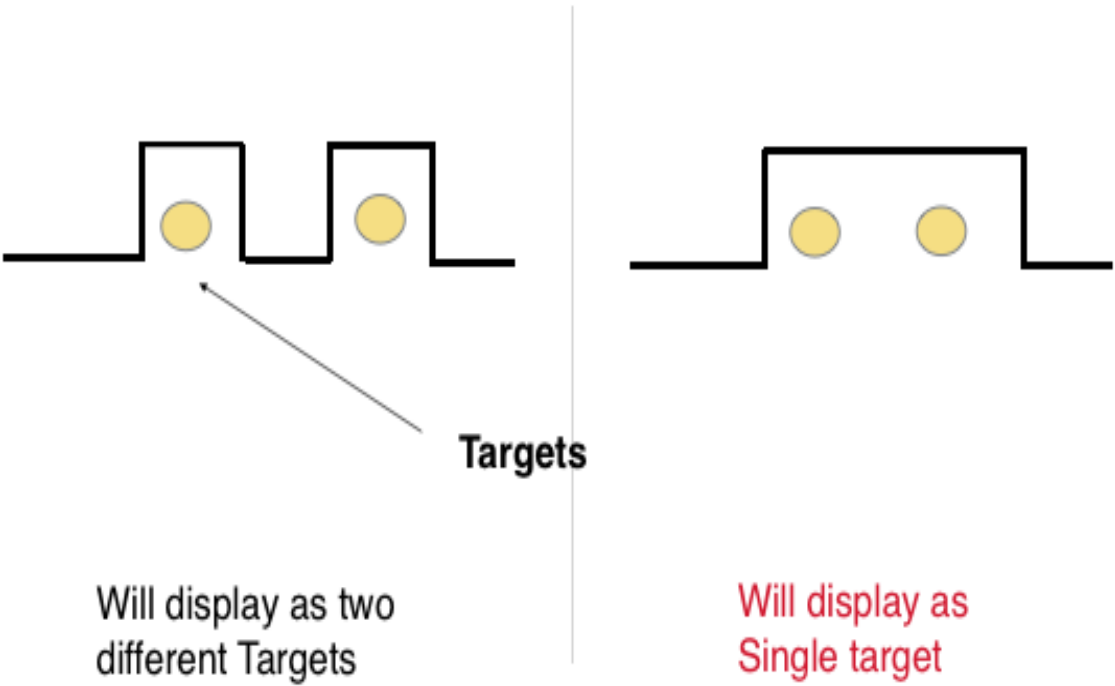
# Radar resolution

✓ Η χωρική διακριτική ικανότητα της απόστασης καθορίζεται από τη διάρκεια του παλμού.



✓ Η χωρική διακριτική ικανότητα του αζιμουθίου καθορίζεται από το εύρος "φωτισμού" που εξαρτάται από το γωνιακό εύρος της δέσμης και την κεκλιμένη απόσταση. Το εύρος της δέσμης είναι αντιστρόφως ανάλογο του μήκους της **κεραίας** του ραντάρ

# Range Resolution



Targets

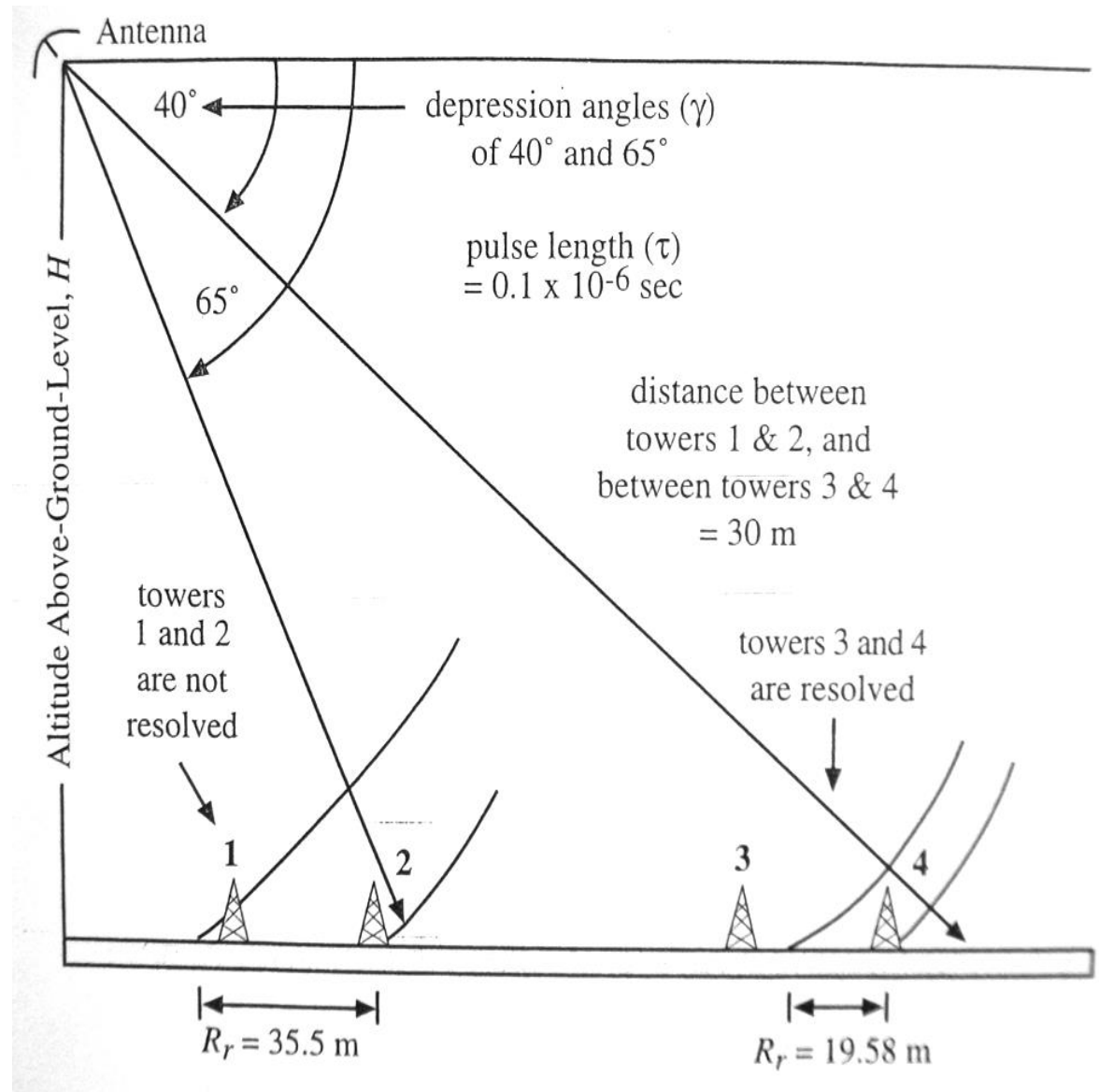
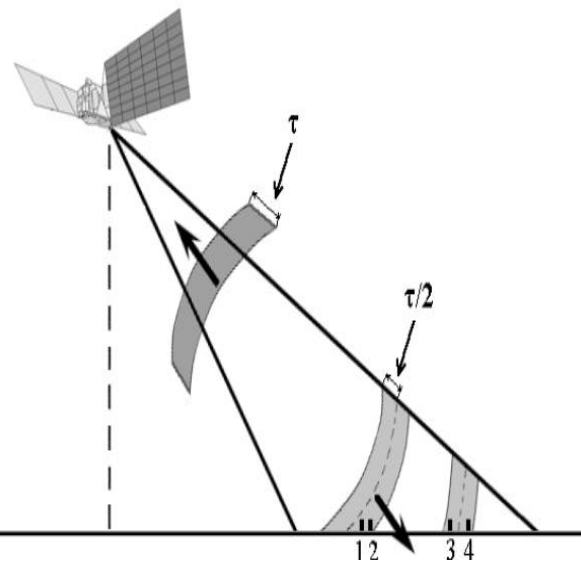
Will display as two different Targets

Will display as Single target

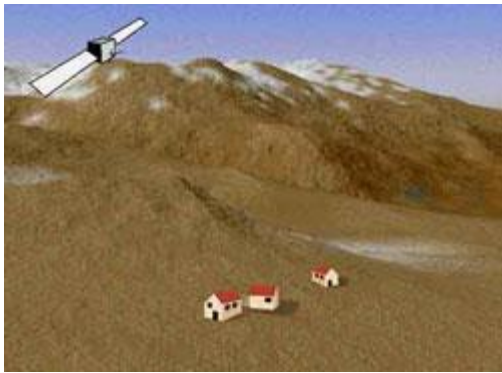


# ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RADAR

$$R_r = \frac{\tau c}{2 \cos \gamma}$$



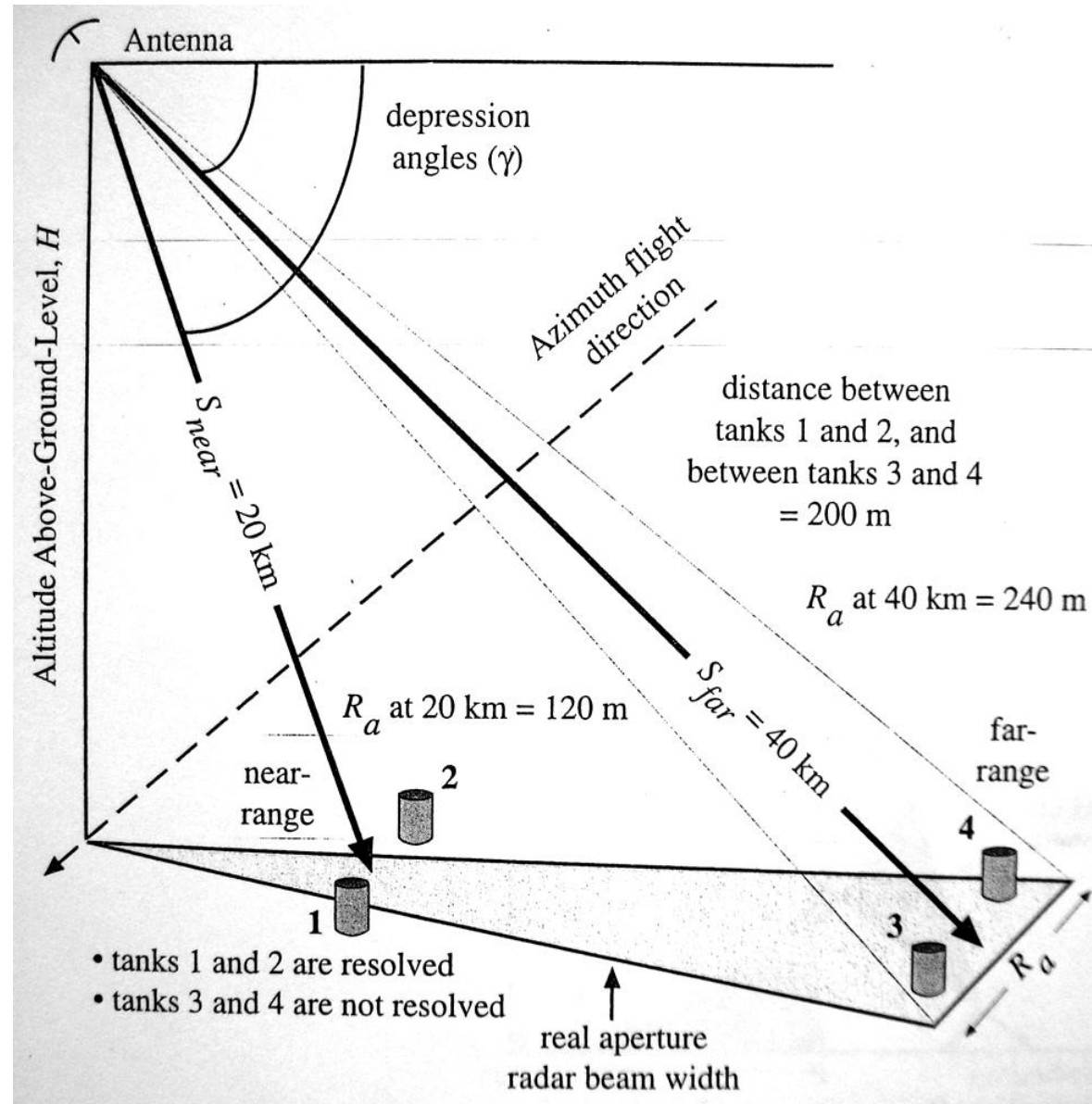
# ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RADAR



$$R_a = \frac{H}{\sin \gamma} \frac{\lambda}{L}$$

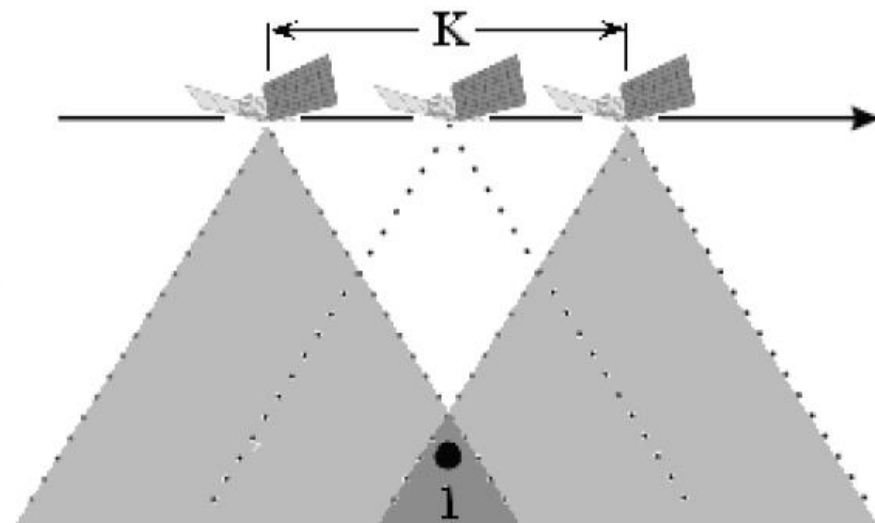
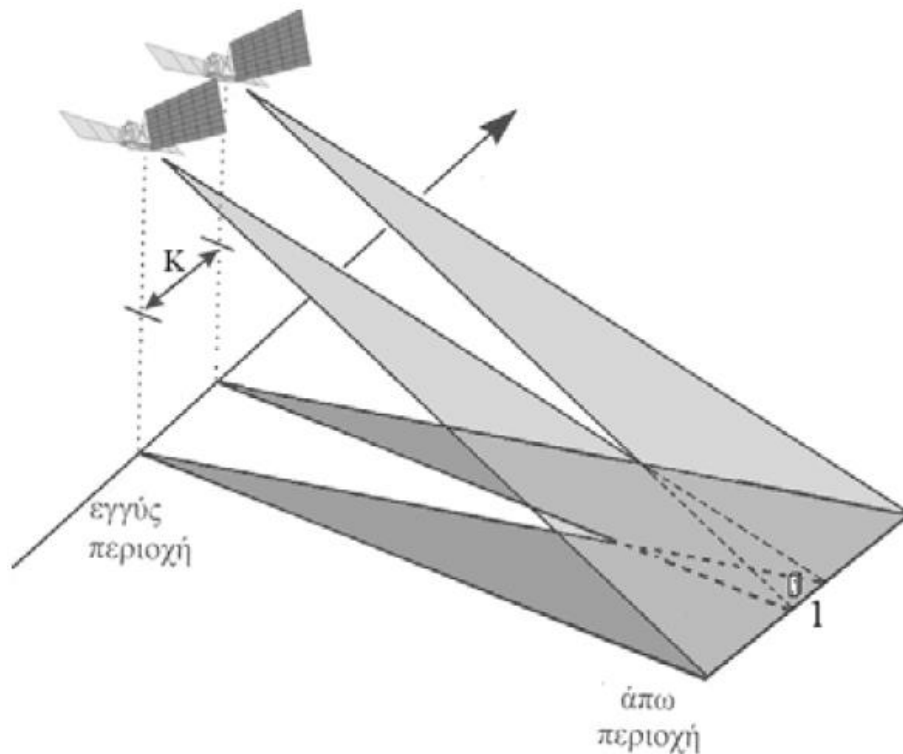
$H = 8 \text{ km}$ ,  $\lambda = 24 \text{ cm}$ ,  $L = 4 \text{ m}$   
και  $\gamma = 30 \text{ μοίρες}$

Τότε  $R_a = 550 \text{ m}$



# SAR

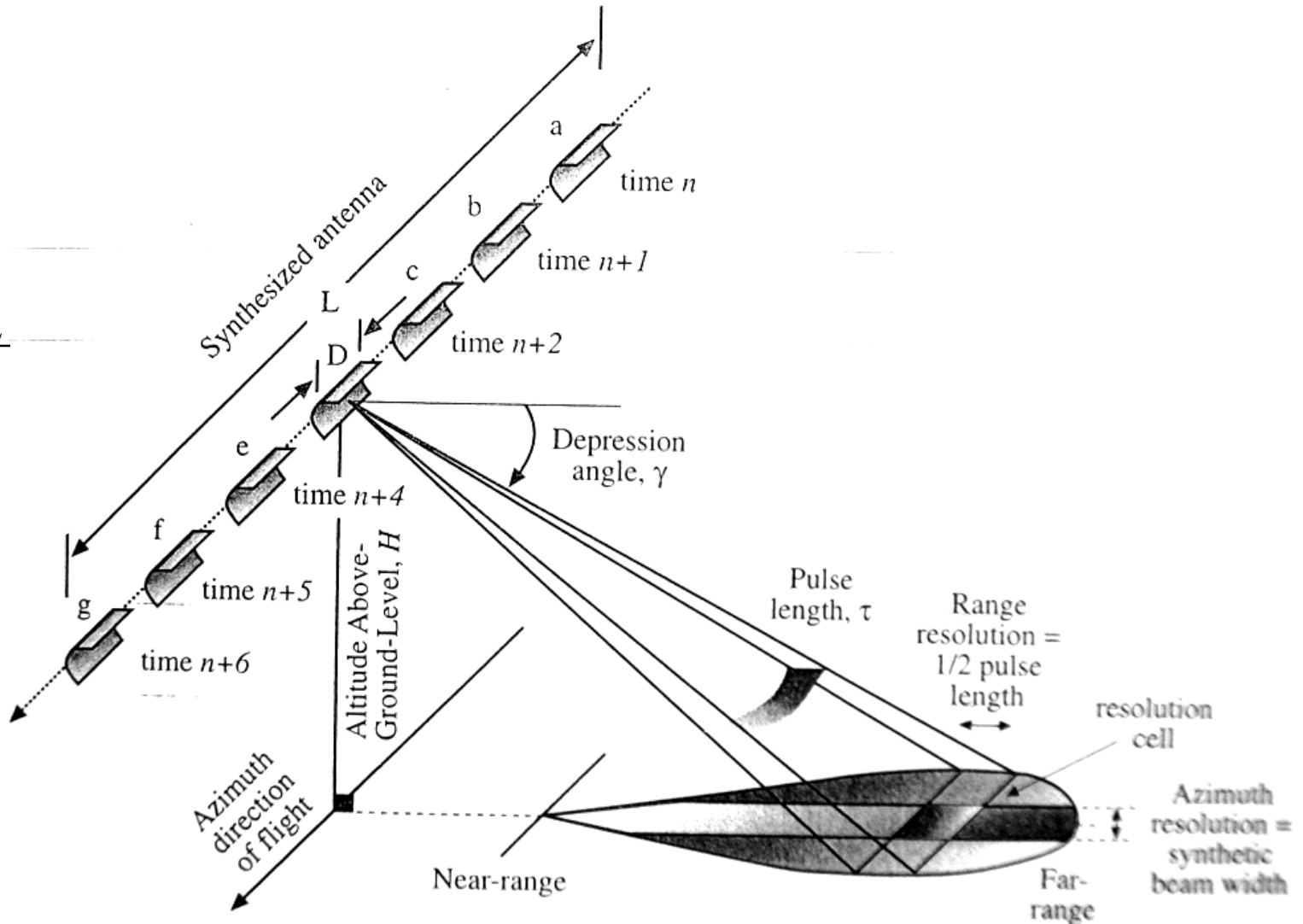
- ✓ Το **SAR** συνθέτει εικονική κεραία μεγάλου μήκους σε σχέση με την πραγματική, αξιοποιώντας την κίνηση της πλατφόρμας και το φαινόμενο Doppler, χρησιμοποιώντας ειδικές διαδικασίες καταγραφής και επεξεργασίας του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος.



# SAR

$$R_{r_{SAR}} = \frac{\tau}{2}$$

$$R_{a_{SAR}} = \frac{L_{REAL}}{2}$$



# SAR Main Properties and Applications

- high resolution capability (independent of flight altitude)
- weather independence by selecting proper frequency range
- day/night imaging capability due to own illumination
- complementary to optical systems
- polarization signature can be exploited (physical structure, dielectric constant)
- Innumerous applications areas:

- Topography (DEM generation with interferometry)
- Oceanography (wave spectra, wind speed, ocean currents)
- Glaciology (snow wetness, snow water equivalent, glacier monitoring)
- Agriculture (crop classification and monitoring, soil moisture)
- Geology (terrain discrimination, subsurface imaging)
- Forestry (forest height, biomass, deforestation)
- Moving Target Indication (MTI)
- Volcano and earthquake monitoring (differential interferometry)
- Environment monitoring (oil spills, flooding, urban growth, global change)
- Military surveillance and reconnaissance (strategic policy, tactical assessment)