

# Διάδοση Ακτινοβολίας

## Μηχανισμοί

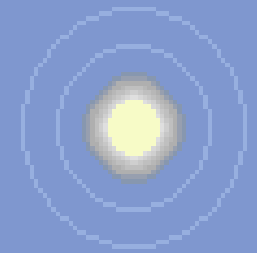
Ακτινοβολία	Μηχανισμός	Παράμετροι (σε συνάρτηση με το μήκος κύματος)
μμκ+Μμκ	Απορρόφηση	Συντελεστής απορρόφησης, συγκέντρωση χημικών ενώσεων και αιωρούμενων σωματιδίων $= f(\phi, \lambda, z)$
μμκ (παραδοχή: Μμκ περίπου μηδέν)	Σκέδαση	Συγκέντρωση και είδος αιωρούμενων σωματιδίων διάμετρος σωματιδίων
μμκ	Ανάκλαση	Ανακλαστικότητα εδάφους Ανακλαστικότητα ατμόσφαιρας και νεφών
Μμκ	Εκπομπή	Θερμικός συντελεστής εκπομπής (είδος υλικού) Θερμοκρασία

Τύπος επιφάνειας	Άλλοι χαρακτηρισμοί	Λευκαύγεια $\alpha$	Συντελεστής εκπομπής $\epsilon_s$
Νερό	Μικρή ζενίθεια γωνία	0.03-0.10	0.92-0.97
	Μεγάλη ζενίθεια γωνία	0.10-0.50	0.92-0.97
Χιόνι	Παλαιό	0.40-0.70	0.82-0.89
	Νέο	0.45-0.95	0.90-0.99
Γυμνή άμμος	Ξηρή	0.35-0.45	0.84-0.90
	Υγρή	0.20-0.30	0.91-0.95
Γυμνό έδαφος	Ξηρό, πηλώδες	0.20-0.35	0.95
	Υγρό, πηλώδες	0.10-0.20	0.97
Οδόστρωμα	Τσιμεντένιο	0.17-0.27	0.71-0.88
	Από μαύρο χαλίκι	0.05-0.10	0.88-0.95
Γρασίδι	(0.02 m - 1 m)	0.16-0.26	0.90-0.95
Καλλιέργειες	Σίτου, ρυζιού κ.λ.π.	0.10-0.20	0.90-0.99
	Οπωροφόρων	0.15-0.20	0.90-0.95
Δάση	Φυλλοβόλα	0.10-0.20	0.97-0.98
	Κωνοφόρα	0.05-0.15	0.97-0.99

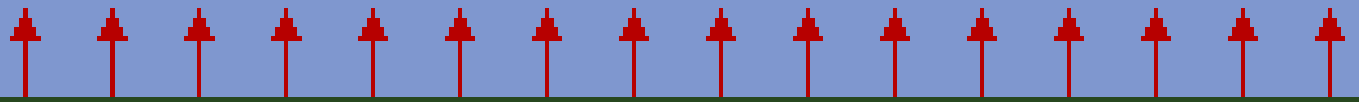
**Πίνακας 2** Σχέσεις για την εκτίμηση του συντελεστή εκπομπής της ατμόσφαιρας  
( $T_a$  =θερμοκρασία αέρα,  $T_d$  =θερμοκρασία δρόσου,  $e$ =τάση ατμών,  $n$ =νέφωση)

Προτείνων Ερευνητής	Σχέση	Σταθερές
Brunt (1932)	$\varepsilon = a + b e^{1/2}$	$\alpha=0.605$ $\beta=0.048$
Swinbank (1963)	$\varepsilon = b \cdot T_a^2$	$b = 0.92 \cdot 10^3$ ( $T_a$ σε $^{\circ}\text{K}$ )
Idso – Jackson(1969)	$\varepsilon = 1 - a \exp(-b(273 - T_a^2))$	$\alpha = 0.26$ , $b = 7.77 \cdot 10^{-4}$ ( $T_a$ σε $^{\circ}\text{K}$ ).
Brutsaert (1975)	$\varepsilon = b (e / T_a)^{1/4}$	$b=1.24$ ( $T_a$ σε $^{\circ}\text{K}$ )
Clark - Allen (1978)	$\varepsilon = a + b \ln (T_d / 273)$	$a=0.787$ και $b= 0.764$ ( $T_d$ σε $^{\circ}\text{K}$ ).
Idso 1 (1981)	$\varepsilon = b e^{1/4} \exp (350 / T_a)$	$b= 0.179$ ( $T_a$ σε $^{\circ}\text{K}$ , $e$ σε hPa )
Idso 2 (1981)	$\varepsilon = a + b e \exp (1500 / T_a)$	$a=0.70$ , $b=5.95 \cdot 10^5$ ( $T_a$ σε $^{\circ}\text{K}$ , $e$ σε hPa)
Berdahl and Martin (1984)	$\varepsilon = \alpha + b (T_d / 100) + c (T_d / 100)^2$	$a=0.711$ , $b=0.56$ , $c=0.73$ ( $T_d$ σε $^{\circ}\text{C}$ )
Brunt (νεφοσκεπής ουρανός)	$\varepsilon_{\text{νεφ}} = (a + b e^{1/2}) (1 + kn)$	$n$ , η νέφωση σε δέκατα. το $k$ εξαρτάται από το είδος των νεφών

# Sun - Earth - Atmosphere Energy System



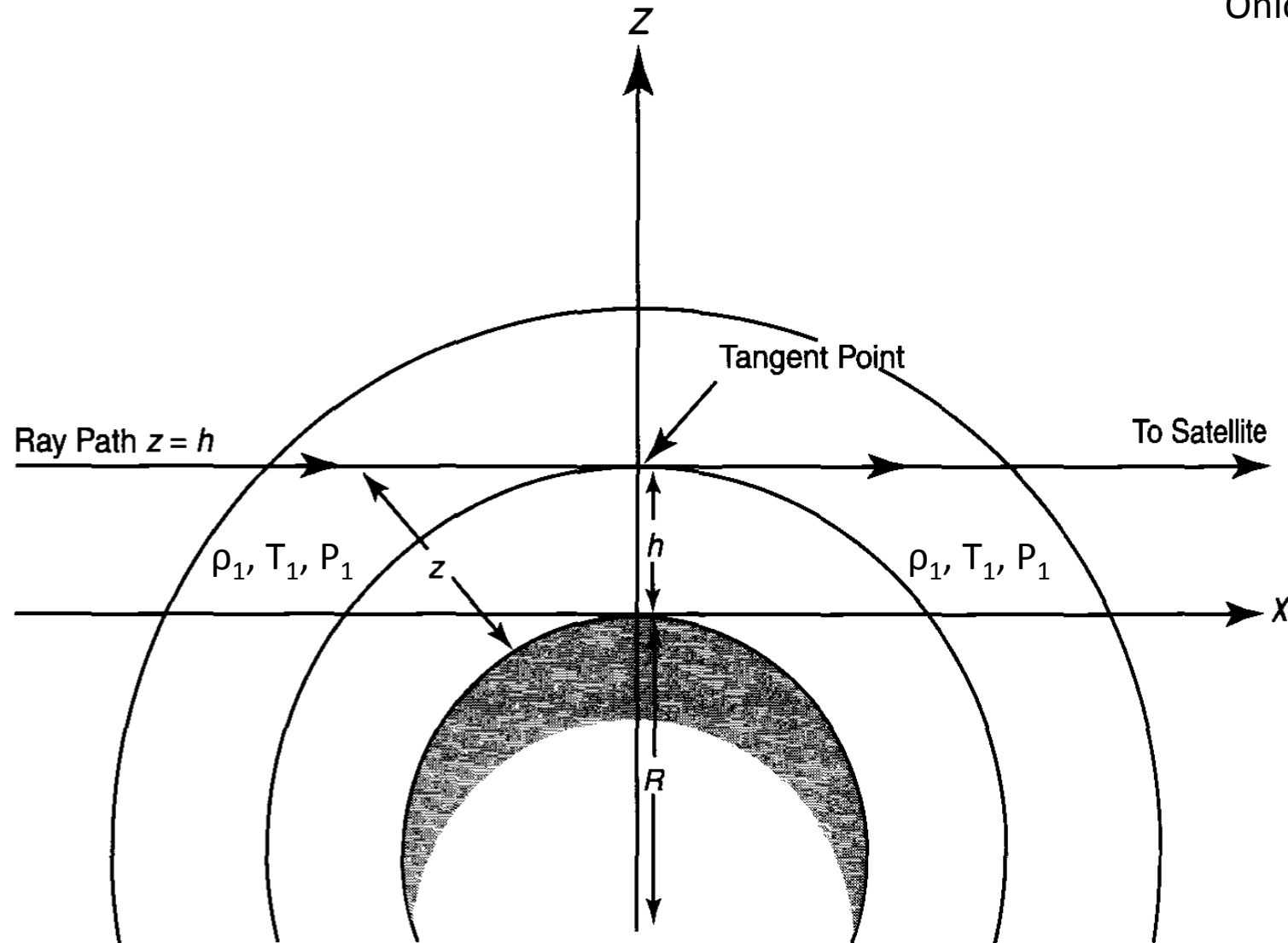
		Solar Radiation		Terrestrial Radiation	
		Absorption / Emission	Scattering	Absorption / Emission	Scattering
 Clouds	Water	✓ Small	✓ Large	✓ Moderate	✓ Negligible
	Ice	✓ Variable	✓ Moderate	✓ Small	✓ Negligible
 Molecules in the Atmosphere		✓ Small	✓ Moderate	✓ Variable	✓ Negligible
 Aerosols in the Atmosphere		✓ Small	✓ Moderate	✓ Variable	✓ Negligible
 Earth's Surface	Land	✓ Large	✓ Moderate	✓ Large	✓ Negligible
	Water	✓ Large	✓ Small	✓ Large	✓ Negligible
	Snow/Ice	✓ Variable	✓ Large	✓ Variable	✓ Negligible



Earth

ΠΡΟΤΥΠΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

# Onion Peeling method



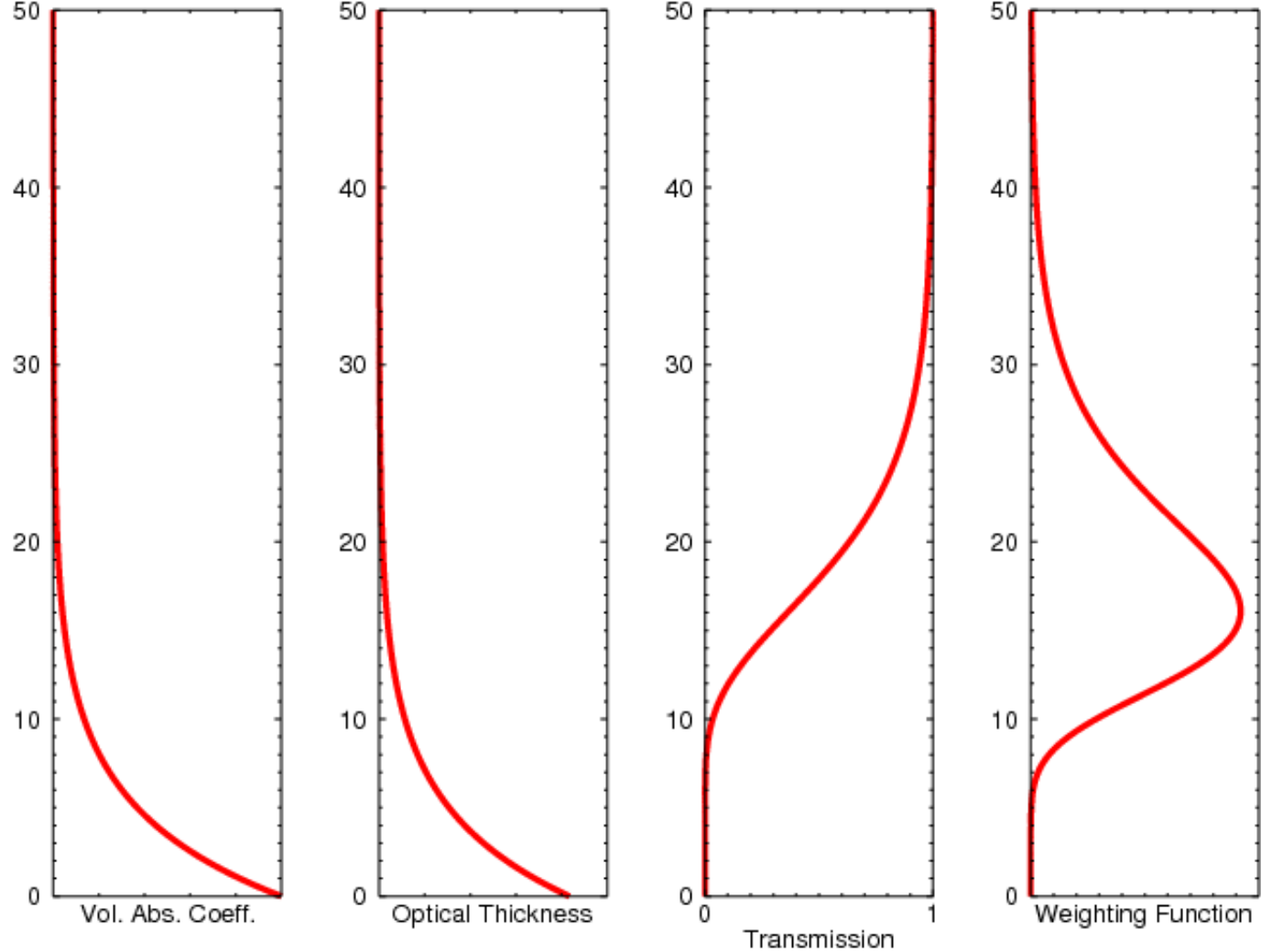
## ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

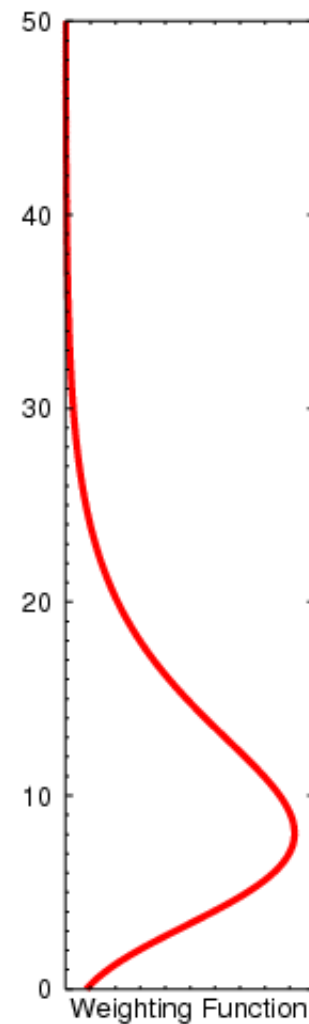
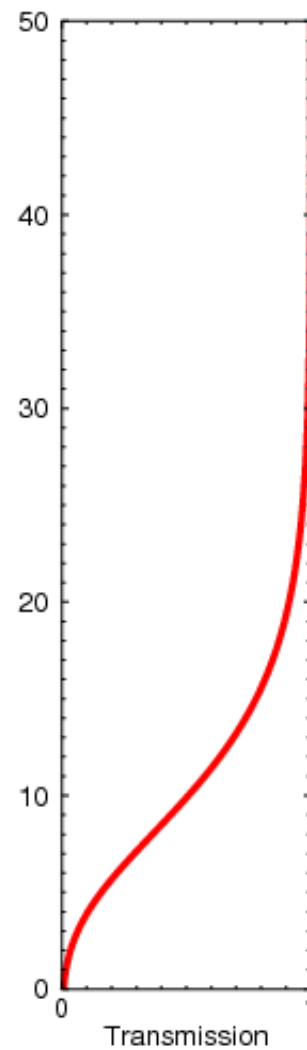
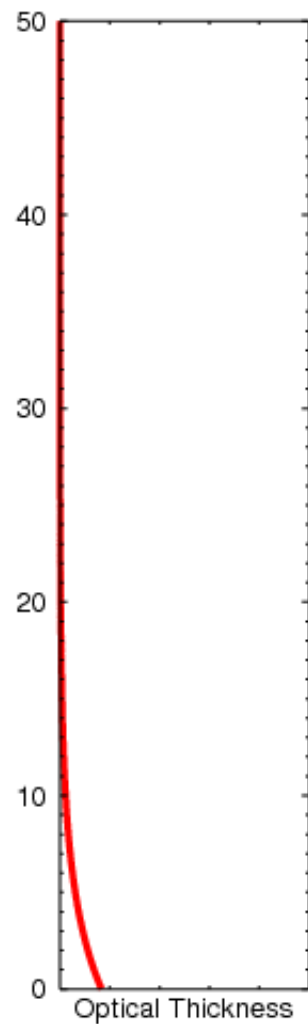
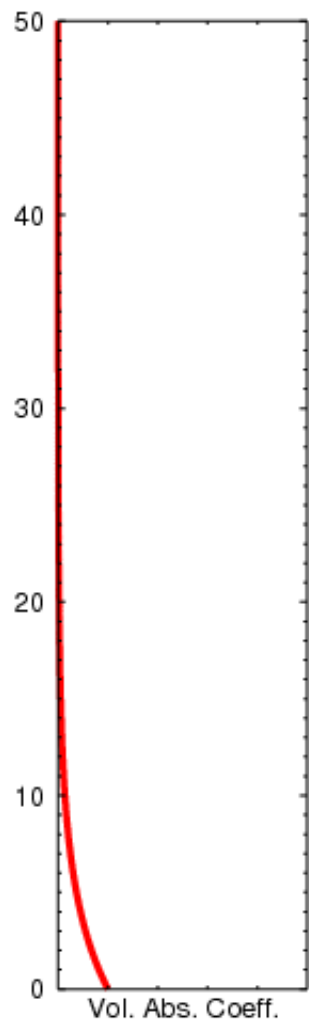
Υποδηλώνουν από ποια περιοχή της ατμόσφαιρας πηγάζει η ακτινοβολία.

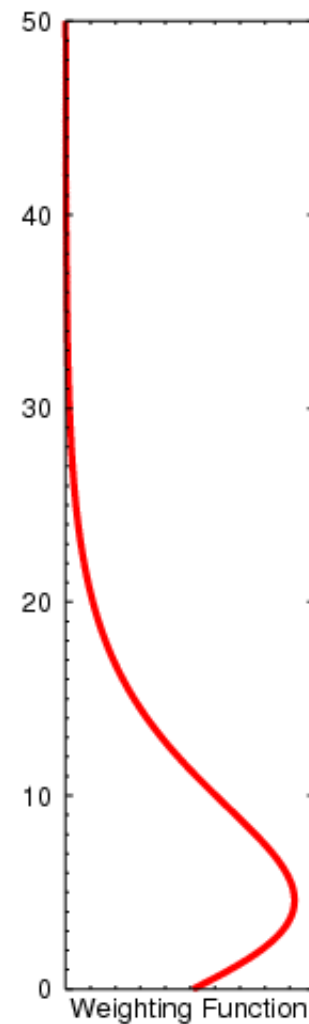
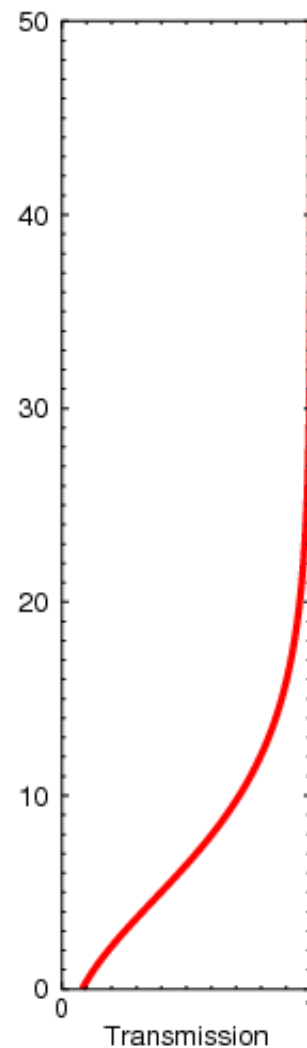
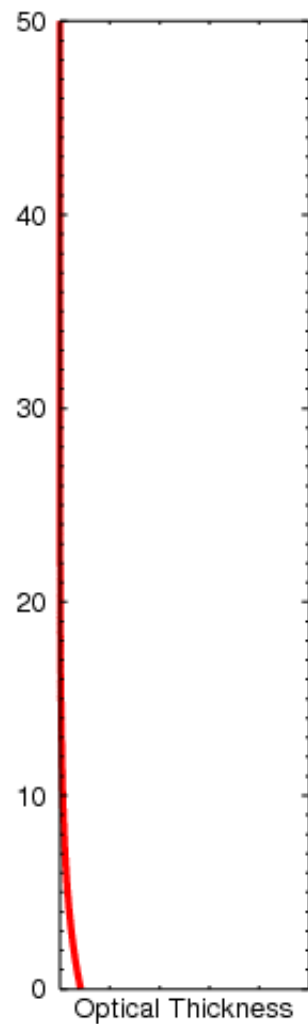
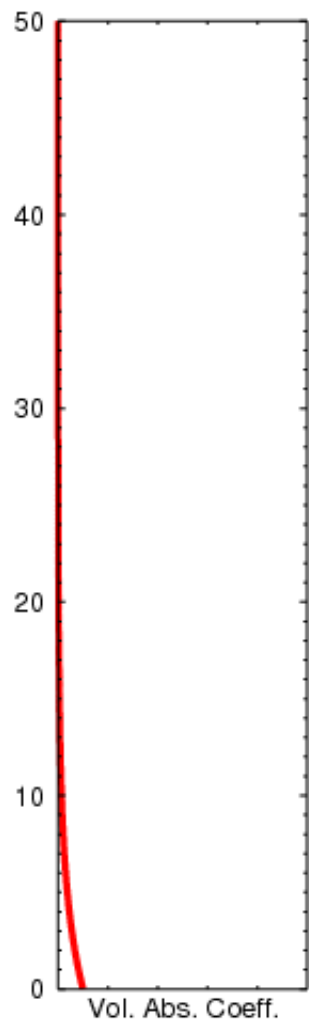
Μας επιτρέπει να συνδέσουμε την καταγραφόμενη ακτινοβολία με τα στρώματα/επίπεδα στην ατμόσφαιρα

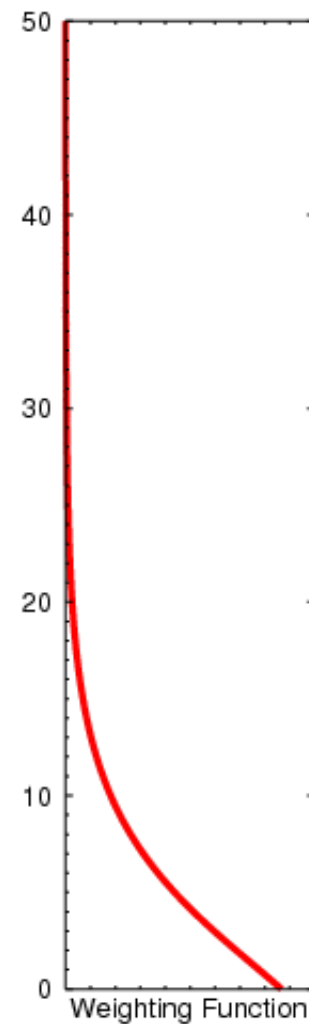
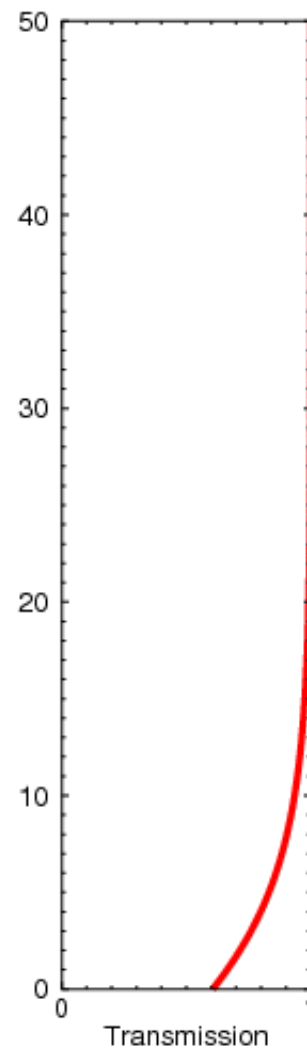
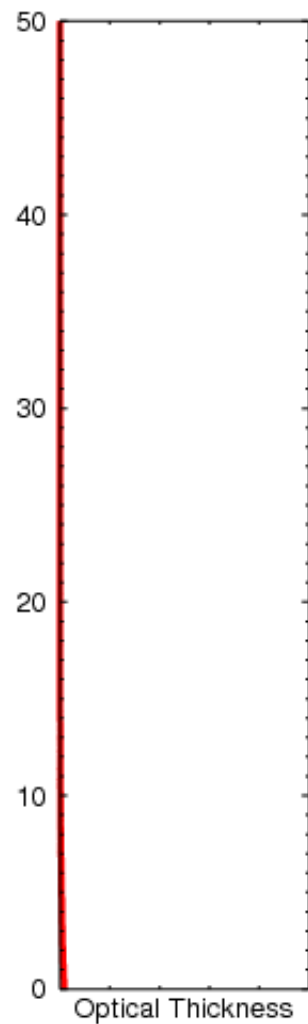
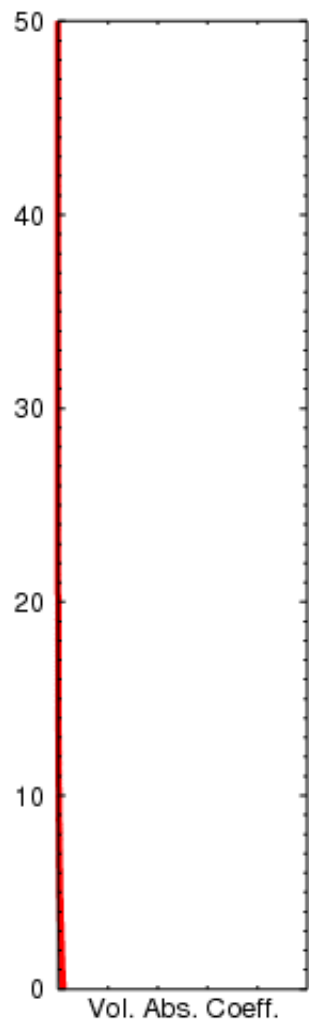


# Weighting Functions









# Αλληλεπίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και αερίων της ατμόσφαιρας

Η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τα μόρια και τα άτομα της ατμόσφαιρας.

Έτσι όταν ένα αέριο της ατμόσφαιρας (μόριο) απορροφήσει ένα φωτόνιο από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (νόμος διατήρησης της ορμής και της ενέργειας), μεταβαίνει από μια βασική σε μια διεγερμένη κατάσταση.

Ουσιαστικά το μόριο αποθηκεύει εσωτερικά ενέργεια με τρεις τρόπους:

- 1) ηλεκτρονική ενέργεια ( $E_{\text{electronic}}$ ), που σχετίζεται με την κατανομή των ηλεκτρονίων στις επιτρεπόμενες στάθμες ενέργειας του μορίου,
- 2) περιστροφική ενέργεια ( $E_{\text{rotational}}$ ), που αντιστοιχεί σε περιστροφή του μορίου γύρω από το κέντρο μάζας του, και
- 3) ενέργεια ταλάντωσης ( $E_{\text{vibrational}}$ ) που οφείλεται στην ταλάντωση των ατόμων που συγκροτούν το μόριο (Serway et al., 2000).

Αν η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία έχει μικρό μήκος κύματος (πχ. υπεριώδης ή ορατή), η διηγευμένη κατάσταση στην οποία θα βρεθεί το μόριο, αντιστοιχεί σε μια μετάβαση ενός τροχιακού ηλεκτρονίου σε ένα υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο, ανάλογα με τη συχνότητα  $\nu$  της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

*(σύμφωνα με τη σχέση  $\Delta E = h\nu$ , όπου  $\Delta E$  η ενεργειακή διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής ενεργειακής κατάστασης και  $h$  η σταθερά του Planck)*

Αντίστοιχες μεταβάσεις έχουμε μεταξύ ενεργειακών σταθμών περιστροφής και ταλάντωσης ενός μορίου, για την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας με μήκος κύματος στην περιοχή του υπερύθρου.

Δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής της διηγερμένης κατάστασης του μοριακού αερίου (molecular gas) είναι περιορισμένος, το μόριο σύντομα θα επιστρέψει στην αρχική του ενεργειακή κατάσταση.

Υπάρχουν λοιπόν **δύο μηχανισμοί αποδιέγερσης** του μορίου:

Μηχανισμός 1) Το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει πίσω στη βασική του ενεργειακή κατάσταση εκπέμποντας ένα φωτόνιο που έχει ακριβώς την ίδια ενέργεια και συχνότητα με αυτήν του αρχικού προσπίπτοντος φωτονίου. Το φωτόνιο όμως αυτό εκπέμπεται σε μια τυχαία διεύθυνση.

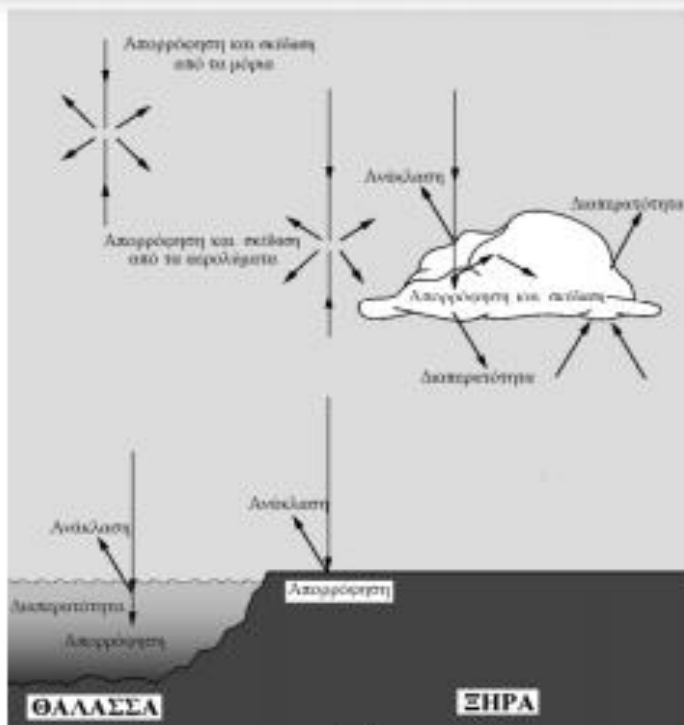
Μηχανισμός 2) Σε σχετικά υψηλές πιέσεις ( $\sim 1$  atm) τα μόρια της ατμόσφαιρας συνεχώς αλληλεπιδρούν μέσω συγκρούσεων. Έτσι, υπάρχει η πιθανότητα η ενέργεια  $\Delta E$  που εκπέμπεται κατά την αποδιέγερση του μορίου να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (πχ. κινητική ενέργεια  $\rightarrow$  θερμότητα). Στην περίπτωση αυτή έχουμε τοπική αύξηση της θερμοκρασίας και λέμε ότι το φωτόνιο έχει απορροφηθεί.

Ουσιαστικά η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάδοσή της στην ατμόσφαιρα εξασθενεί είτε σε φαινόμενα σκέδασης (Μηχανισμός 1) και απορρόφησης (Μηχανισμός 2).

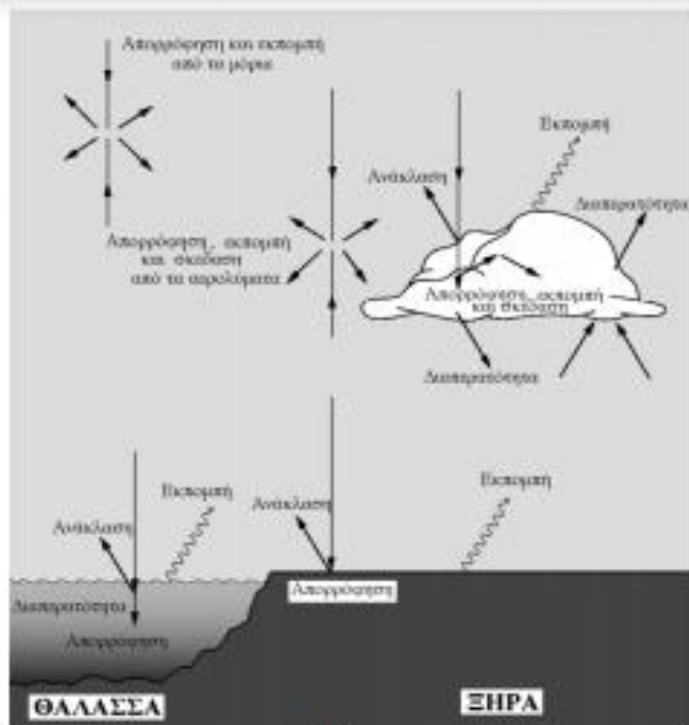


ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

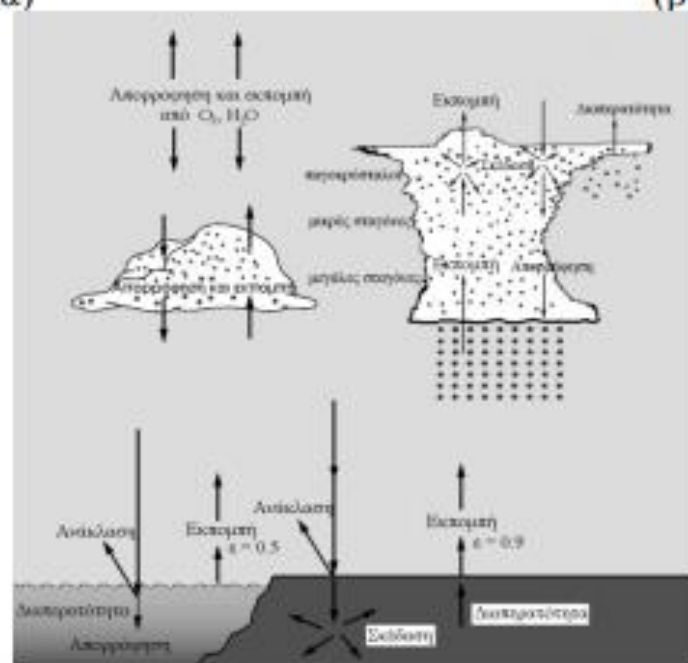
ΤΑ ΝΕΦΗ



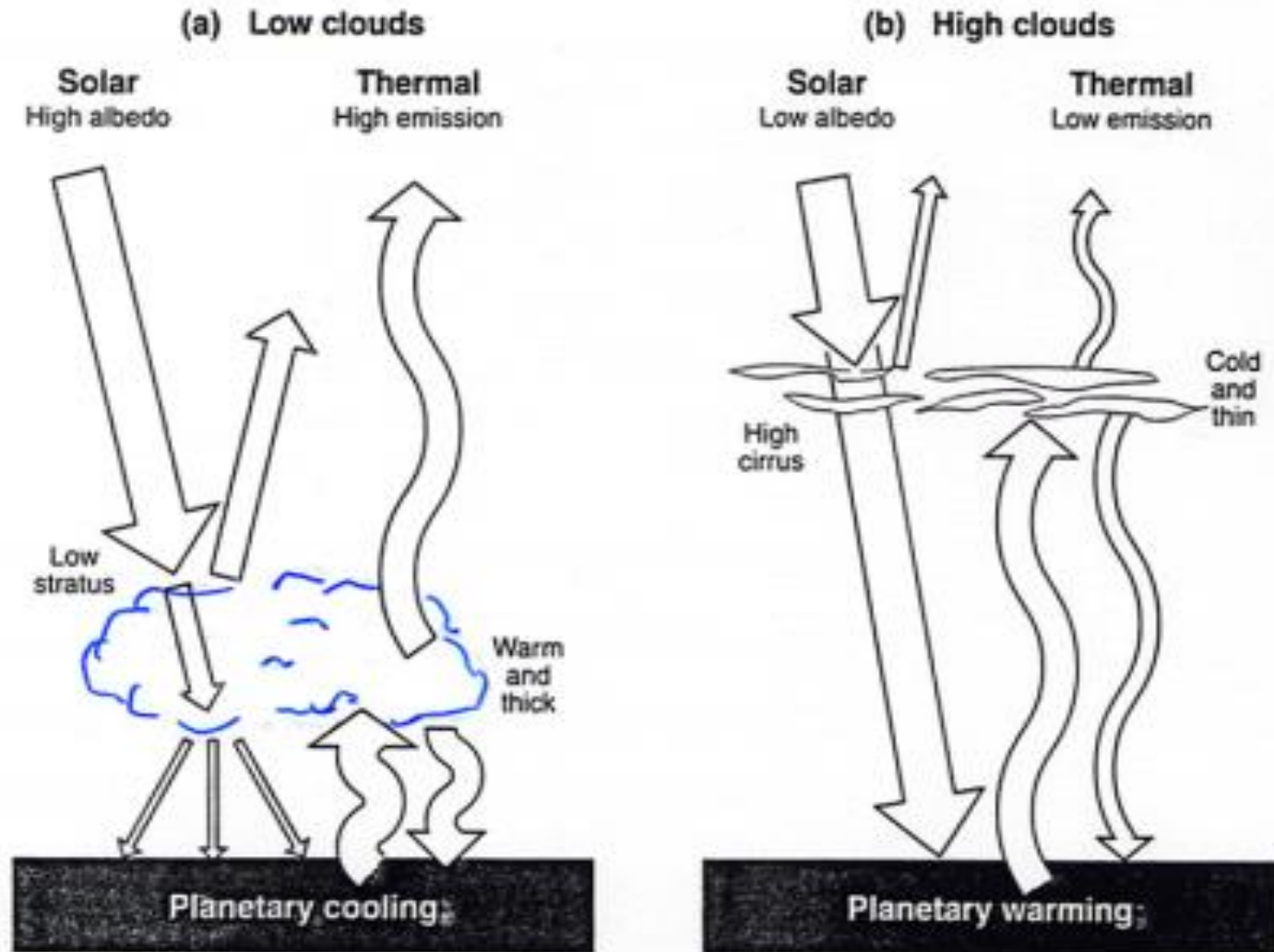
(α)



(β)



# Όμως υπάρχει και η θερμική ακτινοβολία



## ΣΚΕΔΑΣΗ

Η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται τόσο στην ύπαρξη των αιωρουμένων σωματιδίων (aerosols) (φαινόμενο σκέδασης Mie), όσο και των μορίων της ατμόσφαιρας (φαινόμενο σκέδασης Rayleigh).

**Και στις δύο περιπτώσεις το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται παραμένει σταθερό (ελαστική σκέδαση).**

- **Elastic scattering** – the wavelength (frequency) of the scattered light is the same as the incident light (*Rayleigh and Mie scattering*)
- **Inelastic scattering** – the emitted radiation has a wavelength different from that of the incident radiation (*Raman scattering, fluorescence*)
- **Quasi-elastic scattering** – the wavelength (frequency) of the scattered light shifts (e.g., in moving matter due to Doppler effects)

Η σκέδαση εξαρτάται από:

(1) Το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

(2) Το μέγεθος του σκεδάζοντος σωματιδίου

(3) Το 
$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

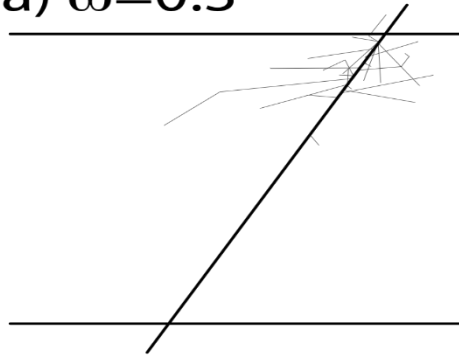
$r$  η ακτίνα,  $\lambda$  το μήκος κύματος

(4) Τις οπτικές ιδιότητες του σωματιδίου (δείκτης διάθλασης)

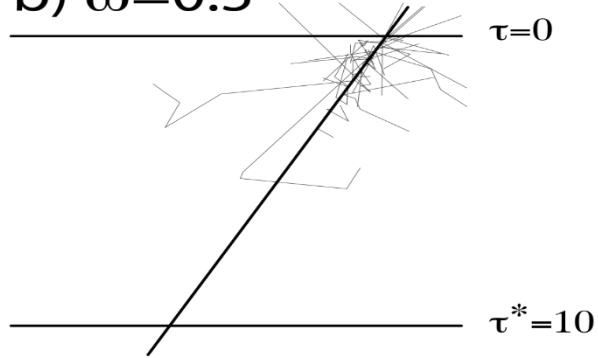
- $x \ll 1$  : Σκέδαση κατά Rayleigh
- $x \sim 1$  : Σκέδαση κατά Mie
- $x \gg 1$  : Γεωμετρική σκέδαση

- **Single scattering:** photons scattered only once
  - Prevails in optically thin media ( $\tau \ll 1$ ), since photons have a high probability of exiting the medium (e.g., a thin cloud) before being scattered again
  - Also favored in strongly absorbing media
- **Multiple scattering:** prevails in optically thick, strongly scattering and non-absorbing media
  - Photons may be scattered hundreds of times before emerging

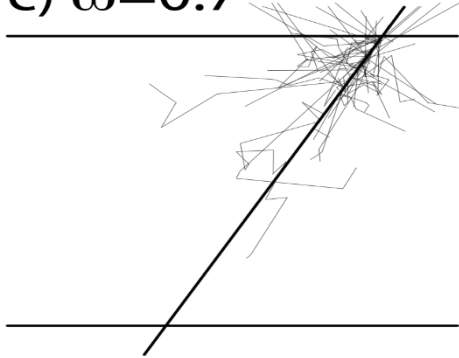
a)  $\omega=0.3$



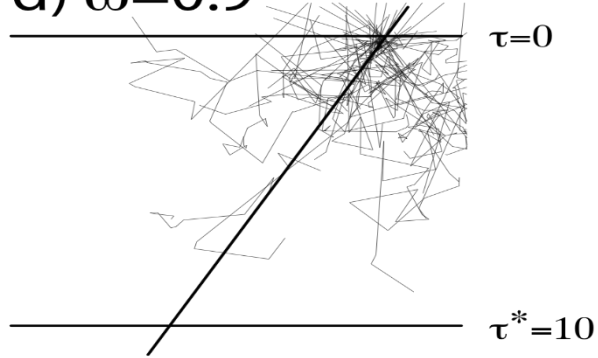
b)  $\omega=0.5$



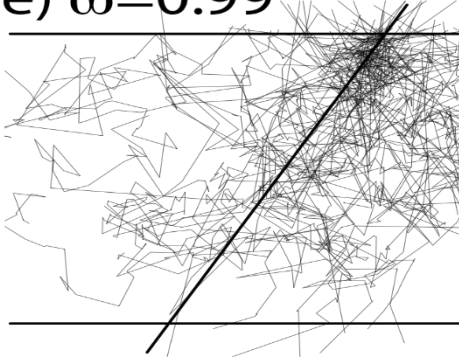
c)  $\omega=0.7$



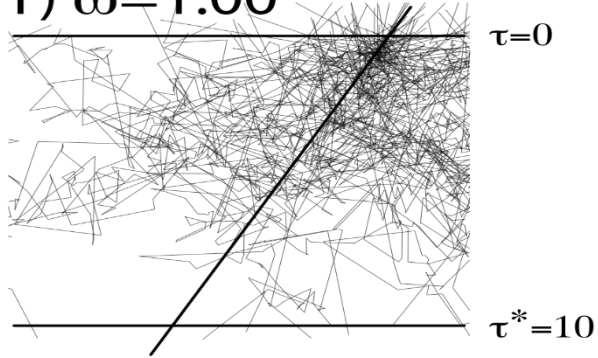
d)  $\omega=0.9$



e)  $\omega=0.99$



f)  $\omega=1.00$



single scatter albedo ( $\omega$ )



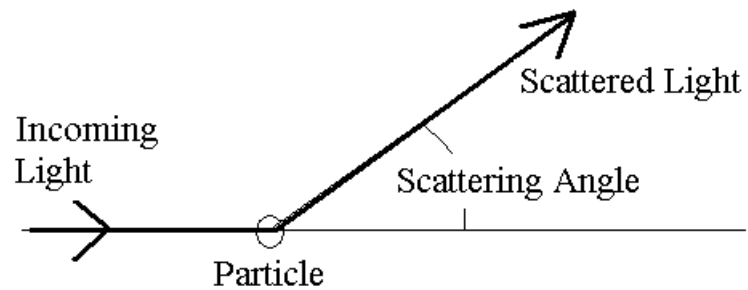
**Σκέδαση Rayleigh.** Η σκέδαση Rayleigh προκαλείται από μόρια αέρα ή μικρά σωματίδια αιωρημάτων (κυρίως τύπου Aitken) με ακτίνες  $r < 0,05 \mu\text{m}$ , δηλαδή σωματίδια τα οποία έχουν διαστάσεις μικρότερες του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στην περίπτωση αυτή η μονοχρωματική ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας  $I_{\lambda_{sc}}$  είναι αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος  $\lambda$  και ανάλογη της συνάρτησης σκέδασης  $(1 + \cos^2 \theta)$ , δηλαδή ισχύει:

$$I_{\lambda_{sc}} \propto I_{\lambda} \frac{1 + \cos^2 \theta}{\lambda^4},$$

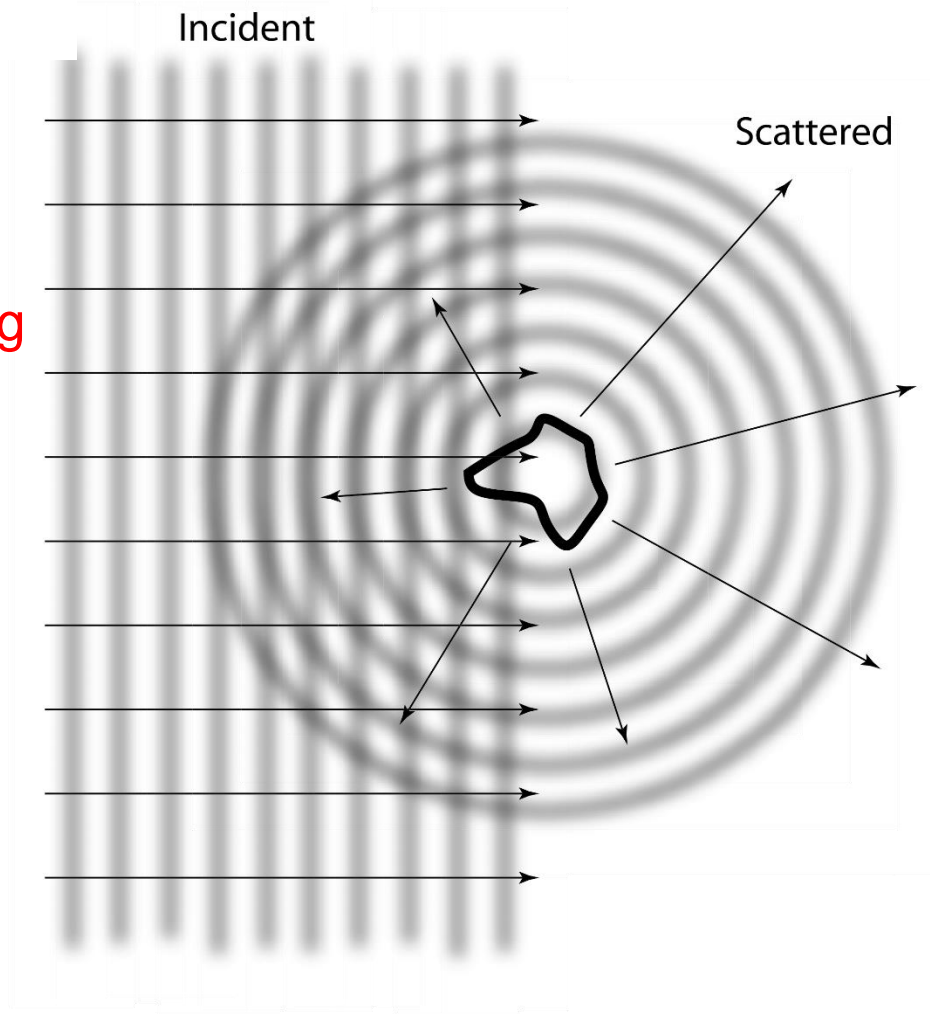
Σκέδαση Mie. Στην περίπτωση αυτή η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται από μεγαλύτερου μεγέθους αιωρούμενα σωματίδια με ακτίνες  $0.05 \mu\text{m} < r < 1.0 \mu\text{m}$ , οι οποίες είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του ορατού φωτός.

Και η σκέδαση αυτή είναι επιλεκτική, υπό την έννοια ότι είναι μεγαλύτερη στα μικρά  $\lambda$  καθώς είναι αντιστρόφως ανάλογη του  $\lambda$ .

Σε κάθε περίπτωση, το αποτέλεσμα της σκέδασης Mie είναι αρκετά ασθενέστερο αυτού της περίπτωσης Rayleigh.



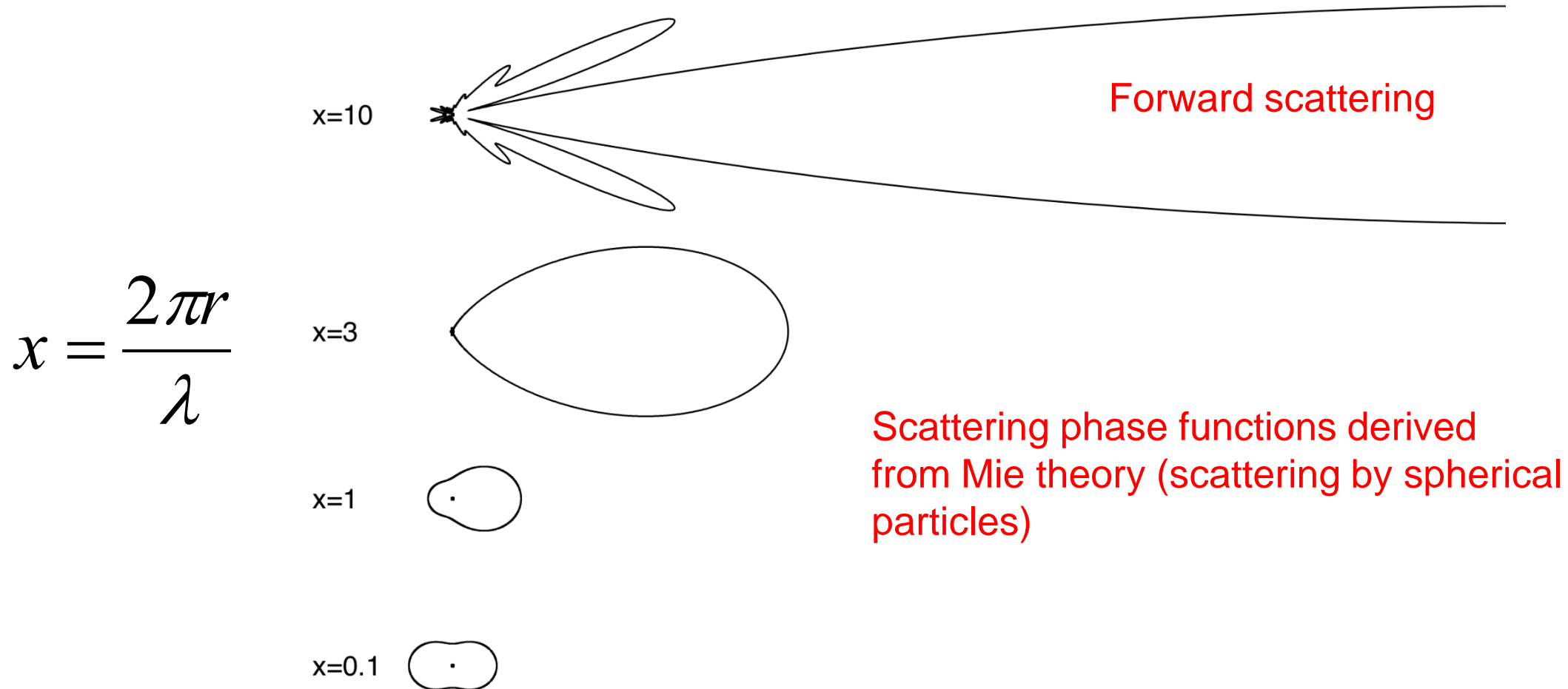
Backward scattering  
(backscattering)



Forward scattering

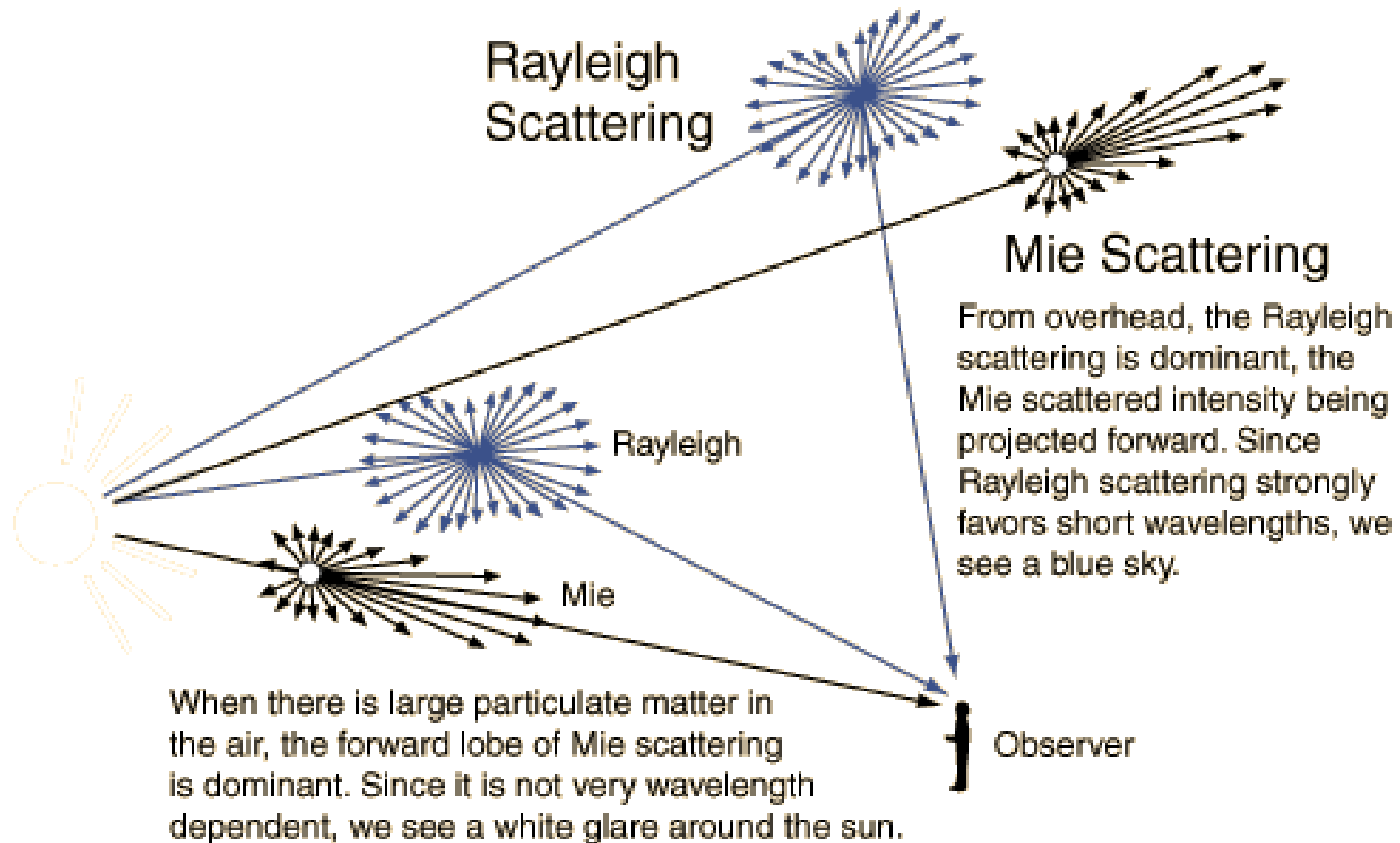


# Scattering phase functions

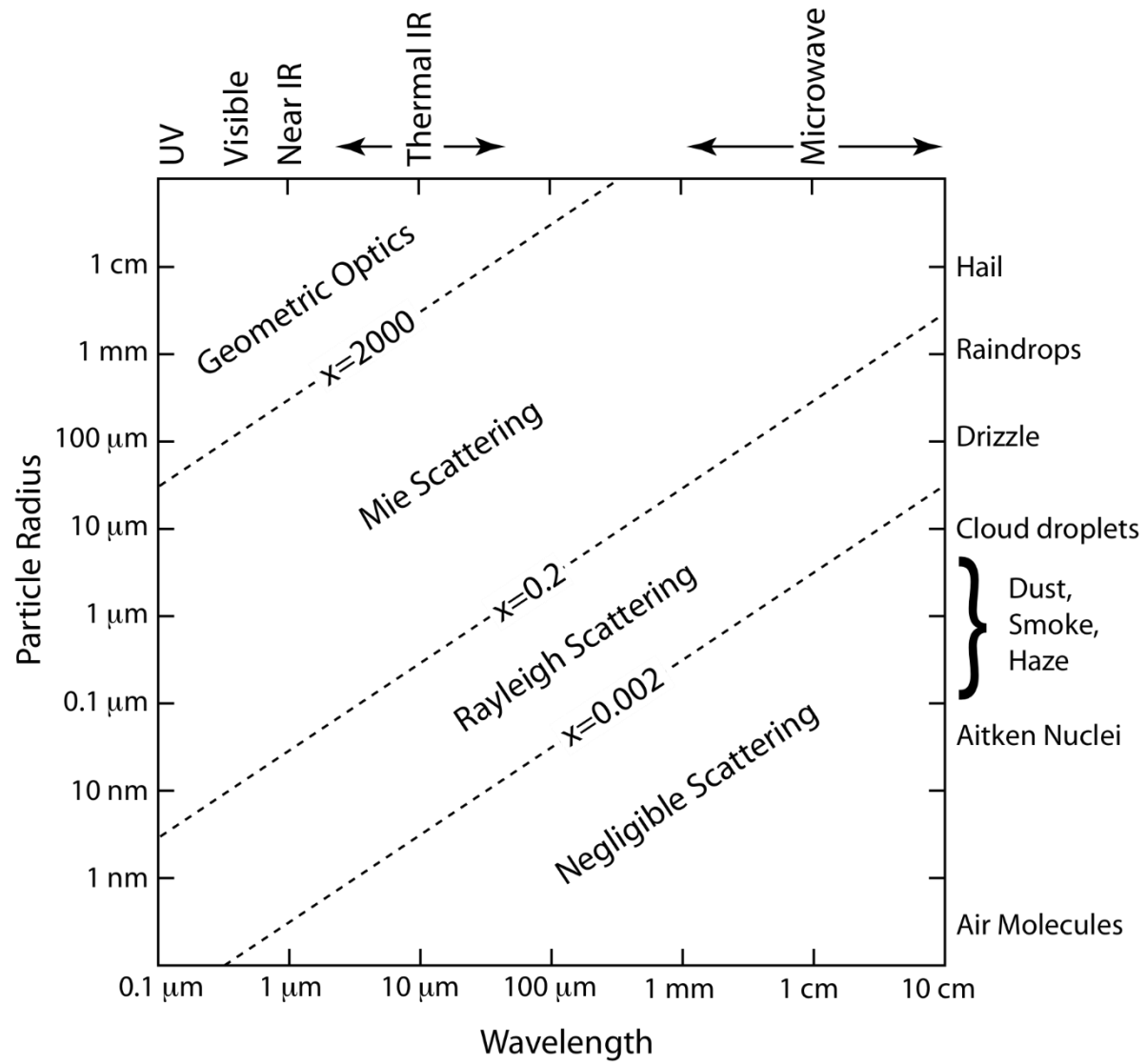


The scattering phase function, or phase function, gives the angular distribution of light intensity scattered by a particle at a given wavelength

# Rayleigh and Mie scattering



- Scattering determines the brightness and color of the sky

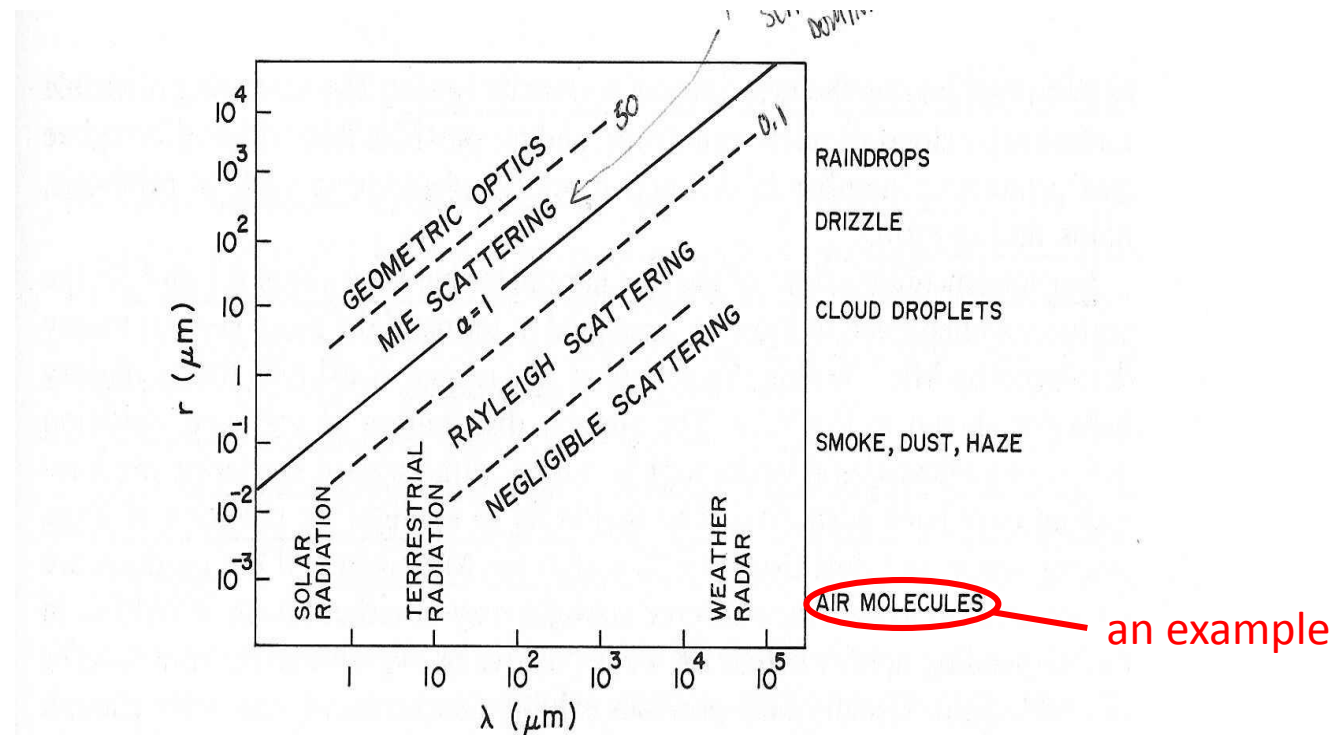


**Size Parameter,  $\alpha$**   

$$\alpha = 2\pi r / \lambda$$

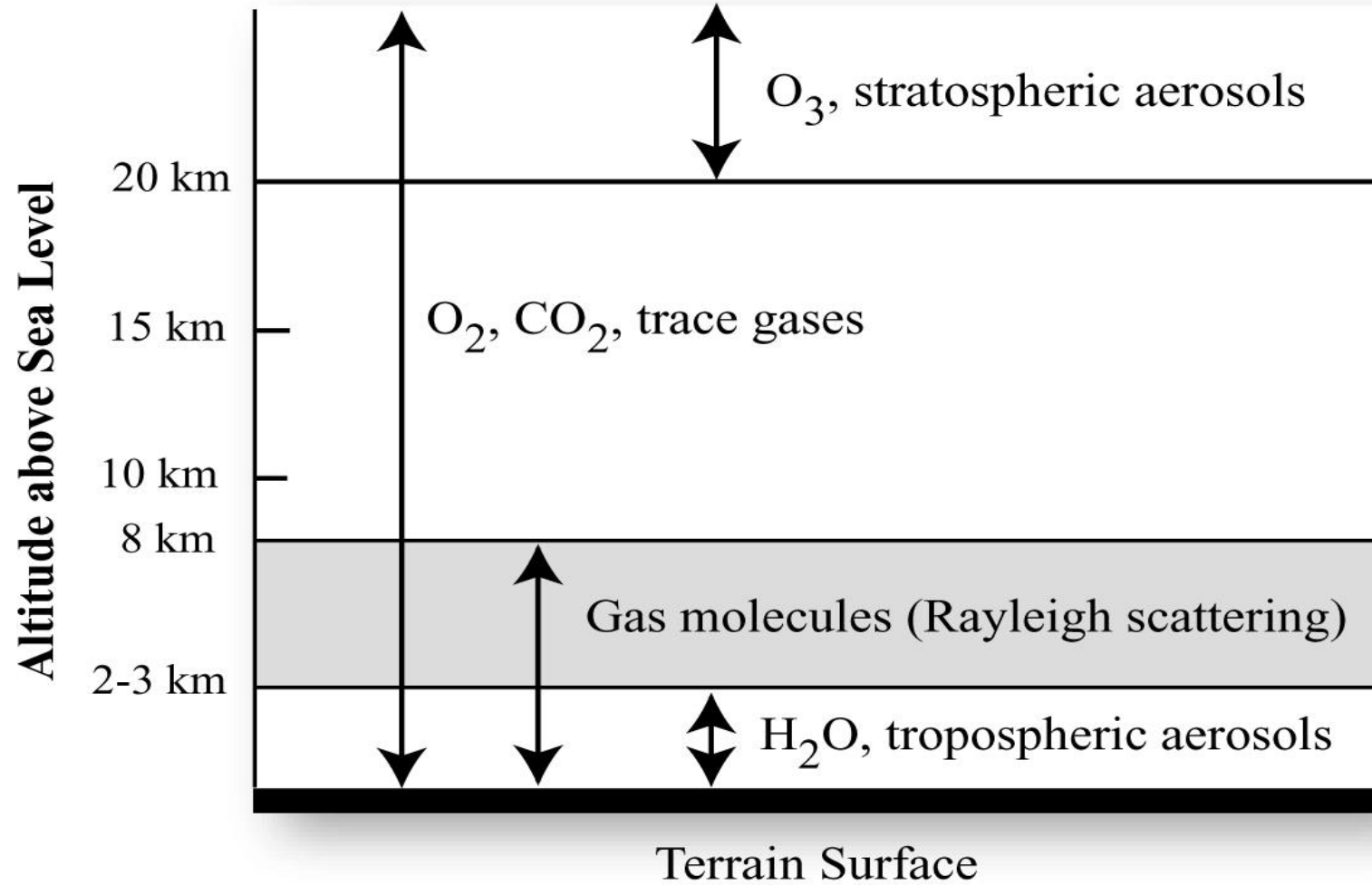
# Rayleigh Scattering

- $\alpha \ll 1$  [ $2\pi r \ll \lambda$ ]
  - Scattered radiation is evenly divided between the forward and backward hemispheres

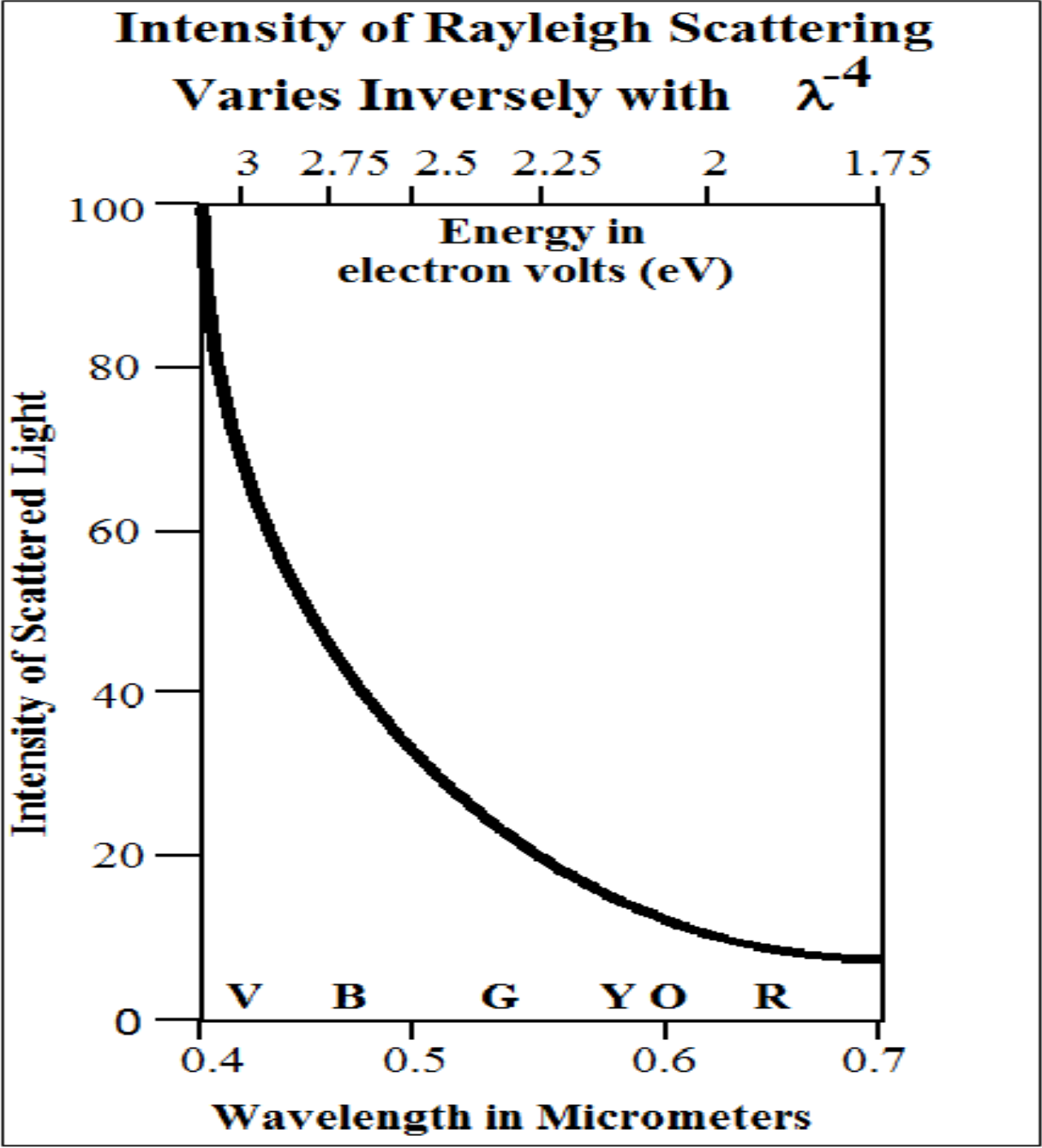


**Fig. 6.11** Size parameter  $\alpha$  as a function of wavelength of the incident radiation and particle radius.

# Atmospheric Layers and Constituents







# Mie Scattering

- $0.1 < \alpha < 50$ 
  - Scattering of sunlight by particles of haze, smoke, smog, and dust usually falls within this regime

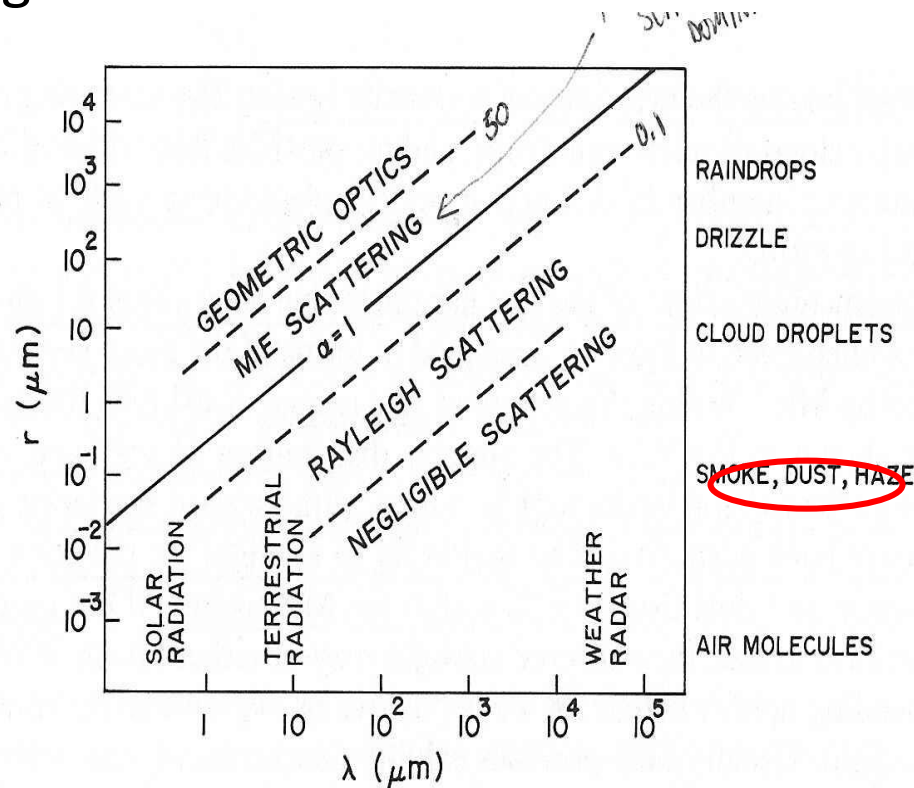


Fig. 6.11 Size parameter  $\alpha$  as a function of wavelength of the incident radiation and particle radius.

# Geometric Optics

- $\alpha > 50$ 
  - Angular distribution of scattered radiation can be described by geometric optics (ray tracing)
  - Scattering of visible radiation by cloud droplets, raindrops, and ice particles falls within this regime

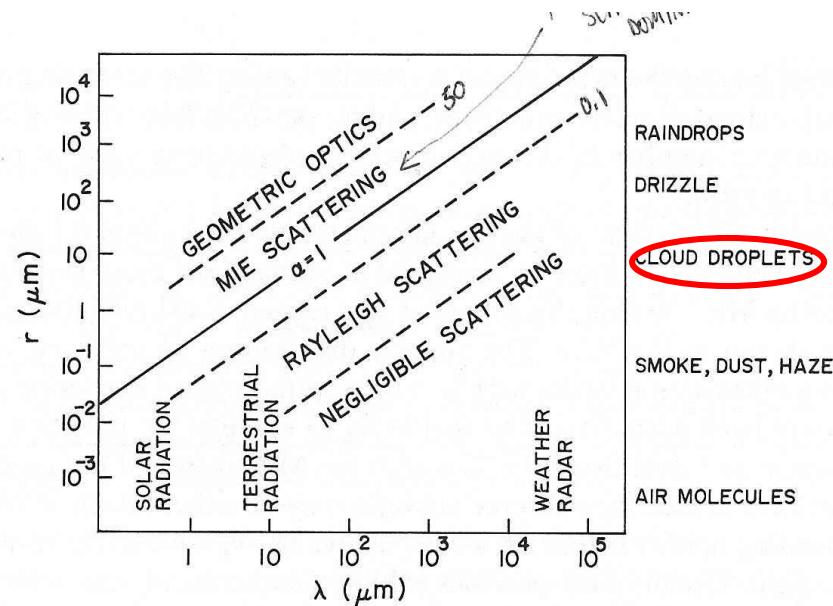


Fig. 6.11 Size parameter  $\alpha$  as a function of wavelength of the incident radiation and particle radius.