

Διάδοση Ακτινοβολίας

Μηχανισμοί

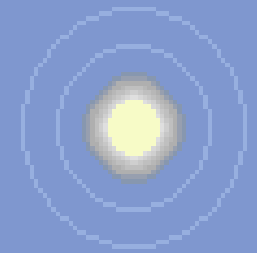
Ακτινοβολία	Μηχανισμός	Παράμετροι (σε συνάρτηση με το μήκος κύματος)
μκ+Μκ	Απορρόφηση	Συντελεστής απορρόφησης, συγκέντρωση χημικών ενώσεων και αιωρούμενων σωματιδίων $= f(\phi, \lambda, z)$
μκ (παραδοχή: Μκ περίπου μηδέν)	Σκέδαση	Συγκέντρωση και είδος αιωρούμενων σωματιδίων διάμετρος σωματιδίων
μκ	Ανάκλαση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

Τύπος επιφάνειας	Άλλοι χαρακτηρισμοί	Λευκαύγεια α	Συντελεστής εκπομπής ϵ_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

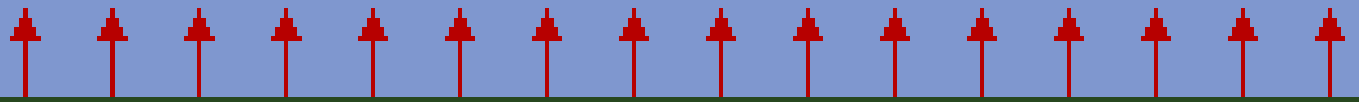
Πίνακας 2 Σχέσεις για την εκτίμηση του συντελεστή εκπομπής της ατμόσφαιρας
(T_a =θερμοκρασία αέρα, T_d =θερμοκρασία δρόσου, e =τάση ατμών, n =νέφωση)

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

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 διηγερμένη κατάσταση στην οποία θα βρεθεί το μόριο, αντιστοιχεί σε μια μετάβαση ενός τροχιακού ηλεκτρονίου σε ένα υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο, ανάλογα με τη συχνότητα ν της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

(σύμφωνα με τη σχέση $\Delta E = h\nu$, όπου ΔE 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 (~ 1 atm) τα μόρια της ατμόσφαιρας συνεχώς αλληλεπιδρούν μέσω συγκρούσεων. Έτσι, υπάρχει η πιθανότητα η ενέργεια ΔE 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) ή/και απορρόφησης (Μηχανισμός 2).

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).

Η σκέδαση εξαρτάται από:

(1) Το μήκος κύματος (λ) της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

(2) Το μέγεθος του σκεδάζοντος σωματιδίου

(3) Το $x = \frac{2\pi r}{\lambda}$

r η ακτίνα, λ 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

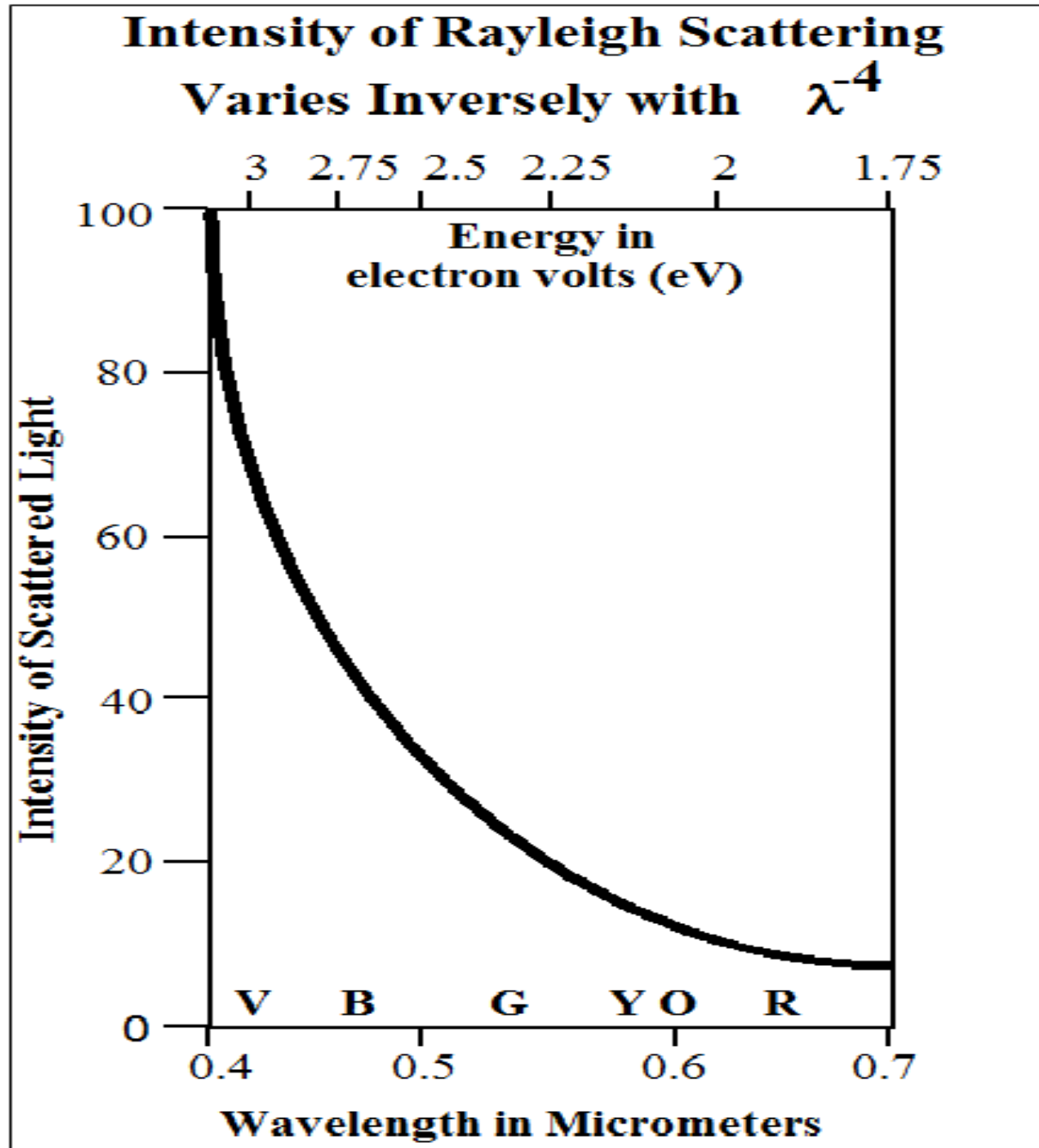
- **Ελαστική σκέδαση** – το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι ίδιο με αυτό της προσπίπτουσας (*Rayleigh and Mie scattering*)
- **Ανελαστική σκέδαση** – η εκπεμπόμενη ακτινοβολία έχει μήκος κύματος διαφορετικό από αυτό της προσπίπτουσας (*Raman scattering, fluorescence*)
- **σχεδόν ελαστική (quasi elastic) σκέδαση** – το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας μετατοπίζεται (shifts) (λ.χ., Doppler effects)

- **Απλή σκέδαση:** τα φωτόνια σκεδάζονται μια φορά
 - Επικρατεί σε μέσα μικρού οπτικού πάχους ($\tau \ll 1$)
 - Επίσης στην περίπτωση μέσων με ισχυρή ικανότητα απορρόφησης
- **Πολλαπλή σκέδαση:** τα φωτόνια σκεδάζονται πολλαπλώς
 - επικρατεί σε μέσα με σημαντικό οπτικό πάχος, ισχυρή σκεδαστική ικανότητα και μικρή ικανότητα απορρόφησης
 - Τα φωτόνια μπορεί να σκεδαστούν εκατοντάδες φορές πριν εξέλθουν του μέσου.

Σκέδαση **Rayleigh**. Η σκέδαση αυτή προκαλείται από μόρια αέρα ή μικρά σωματία αιωρημάτων (κυρίως τύπου Aitken) με ακτίνες $r < 0.05 \mu\text{m}$, δηλαδή σωματία τα οποία έχουν διαστάσεις μικρότερες του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Στην περίπτωση αυτή, η μονοχρωματική ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας I , είναι αντιστρόφως της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος λ και ανάλογη της συνάρτησης σκέδασης $(1 + \cos^2\theta)$, δηλαδή ισχύει:

$$I_{\lambda, \sigma\kappa} = I_{\lambda} * (1 + \cos^2\theta) / \lambda^4$$



Η σκέδαση κατά Rayleigh είναι αντιστρόφως ανάλογη του λ^4

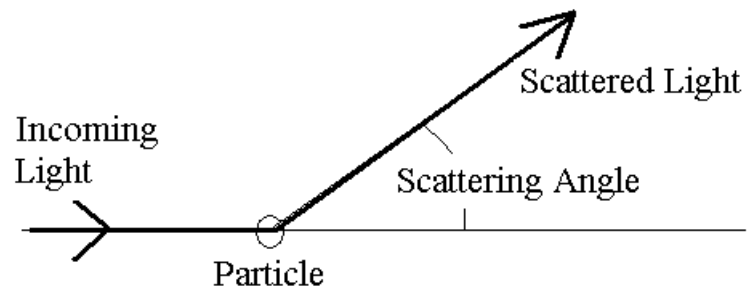
Στον άξονα λ , με τα γράμματα V, B, G, Y, O, R αναφέρονται τα χρώματα στην περιοχή του ορατού

V: violet, B: blue, G: green, Y: yellow, O: orange, R: red

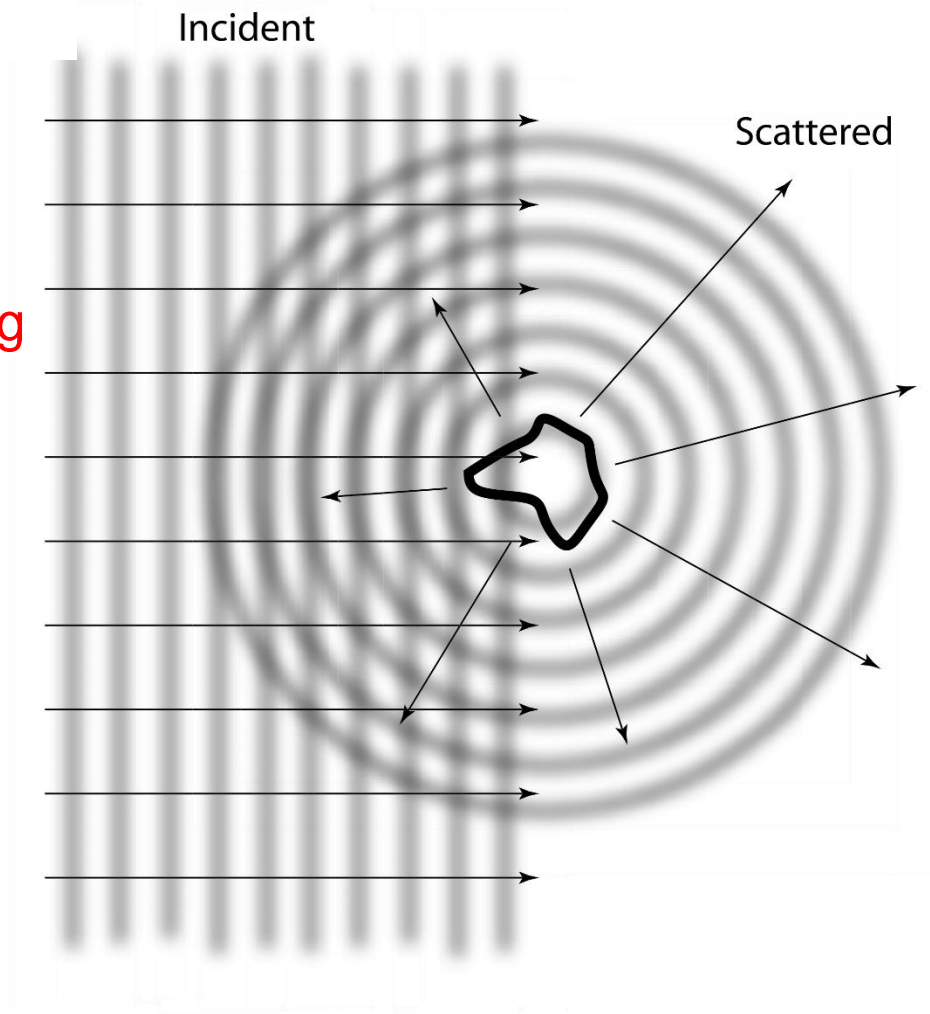
Σκέδαση Mie. Στην περίπτωση αυτή η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται από μεγαλύτερου μεγέθους αιωρούμενα σωματίδια με ακτίνες $0.05 \mu\text{m} < r < 1.0 \mu\text{m}$, οι οποίες είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του ορατού φωτός.

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

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

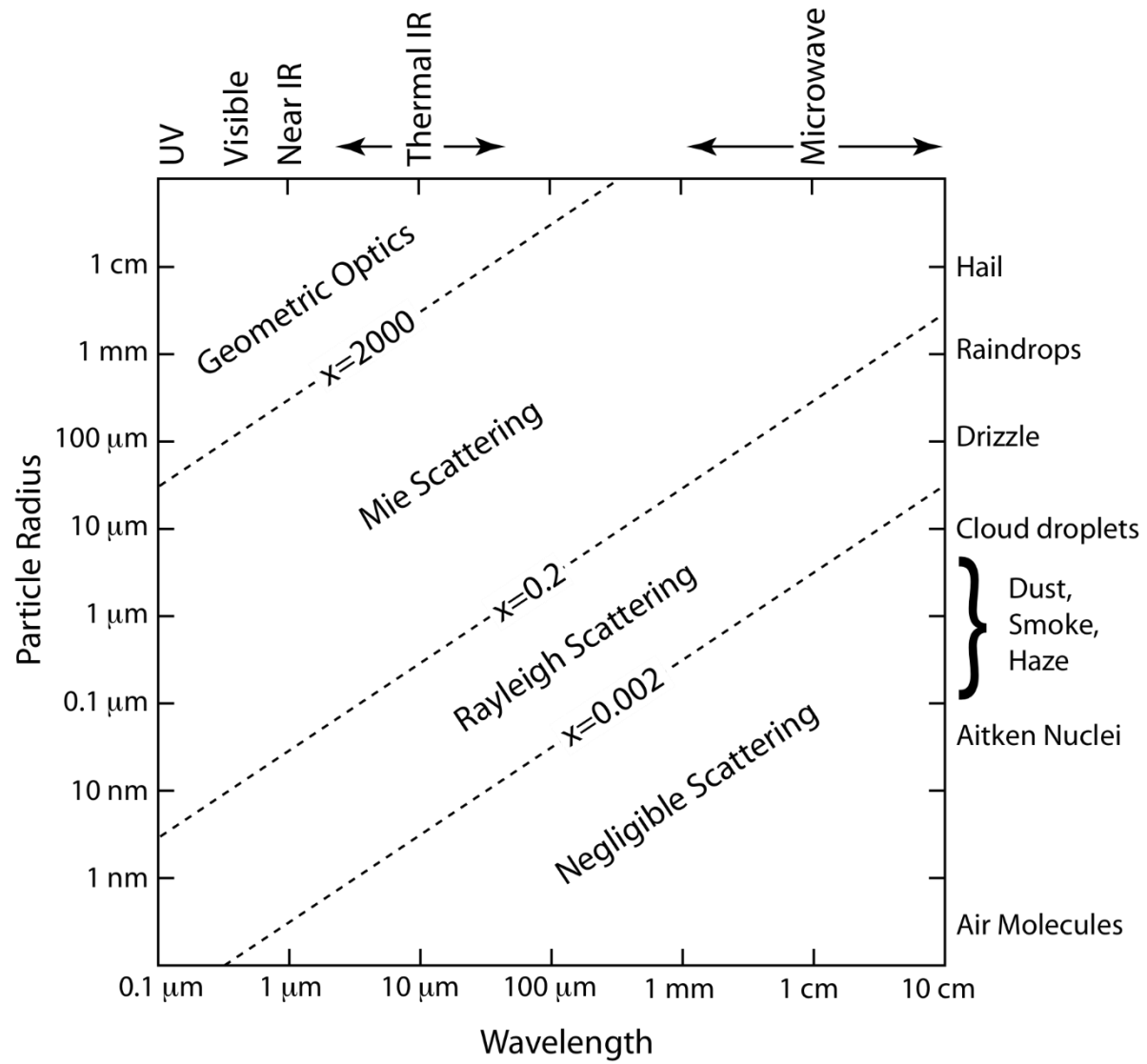


Backward scattering
(backscattering)



Forward scattering





Size Parameter, α

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