



Πανεπιστήμιο
Αιγαίου

Ανοικτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Διευθυντής: καθηγητής Ι. Ν. Χατζόπουλος



Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση (326Ε)

Καθηγητής Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος

ihat@aegean.gr

http://www.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/Remote_sensing.htm



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ασφάλεια στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΣΠΑ
2007-2013
Επένδυση στην ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Διάλεξη-03
Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη

Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



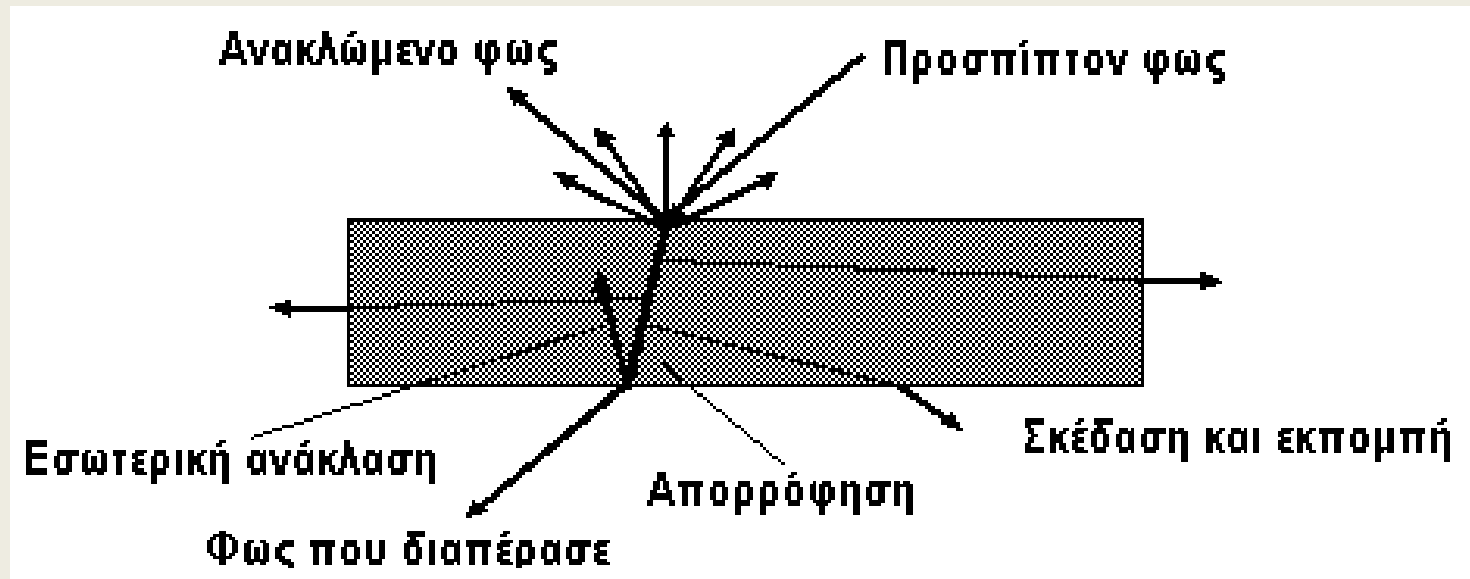
Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη

- **Η θεωρία περιλαμβάνει:**

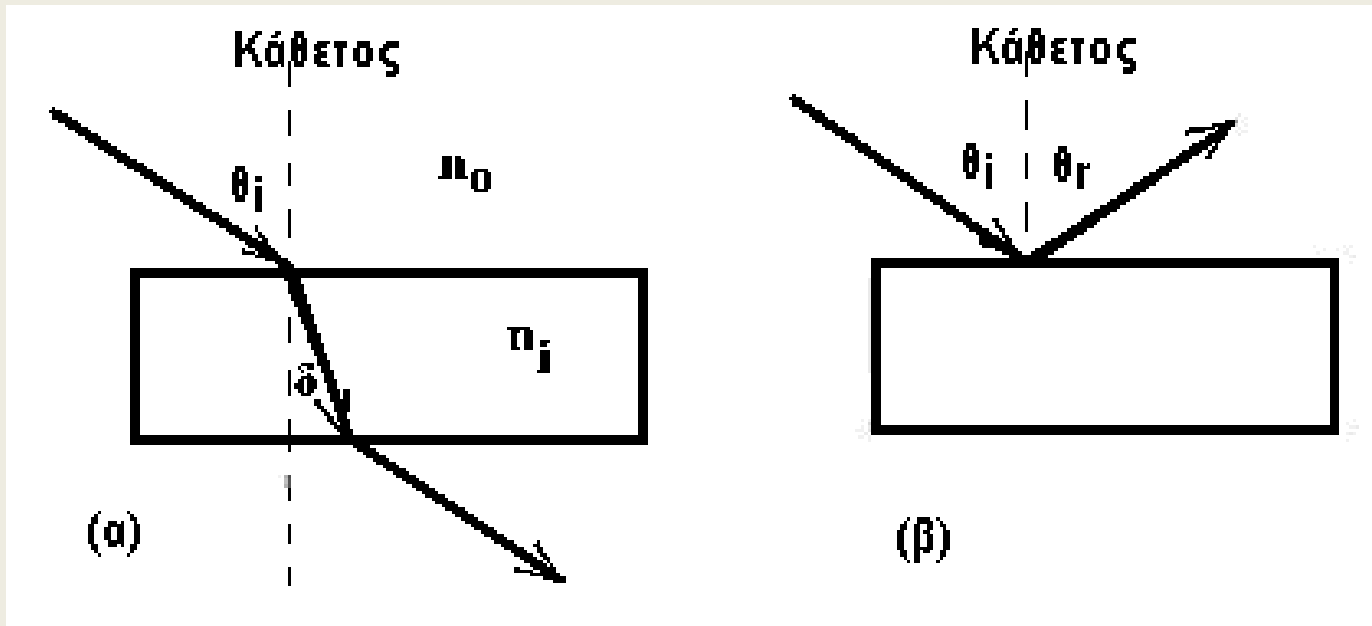
- Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης: Διάθλαση, κατοπτρική ανάκλαση, διάχυση, ανάλυση, διάφραξη, συντελεστές αλληλεπίδρασης. Σκέδαση: Rayleigh, Mie, Μη - επιλεκτική. Συνάρτηση κατανομής αμφίδρομης ανάκλασης (BRDF).
- Μέτρηση της ΗΜΑ. Αφεικτική ικανότητα (radiant exitance), πυκνότητα ροής. Στερεά γωνία, ένταση της ακτινοβολίας, ακτινοβολία (radiance). Υποκειμενική εκτίμηση: φωτεινής έντασης (I) - candela φωτεινής ροής (Φ) - Lumen, Φωτεινή λαμπρότητα (luminance) (L)-stilb, Φωτισμός (illuminance) (E) – Lux.
- Νόμος των αντίστροφων τετραγώνων και ο νόμος του συνημίτονου του Lambert: (inverse square law and Lambert's cosine law of incidence).
- Φακοί: Νόμος φακών – ακριβής εστίαση. Μεγέθυνση φακού – κλίμακα εικόνας. Είδη φακών. Σφάλματα των φακών. Διαχωριστική ικανότητα φακών (Resolving power). f-stop και βάθος πεδίου, παραδεκτή εστίαση.
- Φωτεινότητα εικόνας μέσω φακού.
- Οπτική του Gauss - σύνθετοι φακοί. Τηλεφακός, μακροφακός. Φίλτρα.
- Διαπερατότητα, διαφάνεια και πυκνότητα.
- Το σύστημα κλασσικής φωτογραφίας με φιλμ. Ευαισθησία διαφόρων φιλμ σε σύγκριση με το ανθρώπινο μάτι. Η χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ. Η σωστή έκθεση.
- Υπέρυθρη φωτογραφία.

Το εργαστήριο περιλαμβάνει: Εξαγωγή μετρικής πληροφορίας

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης

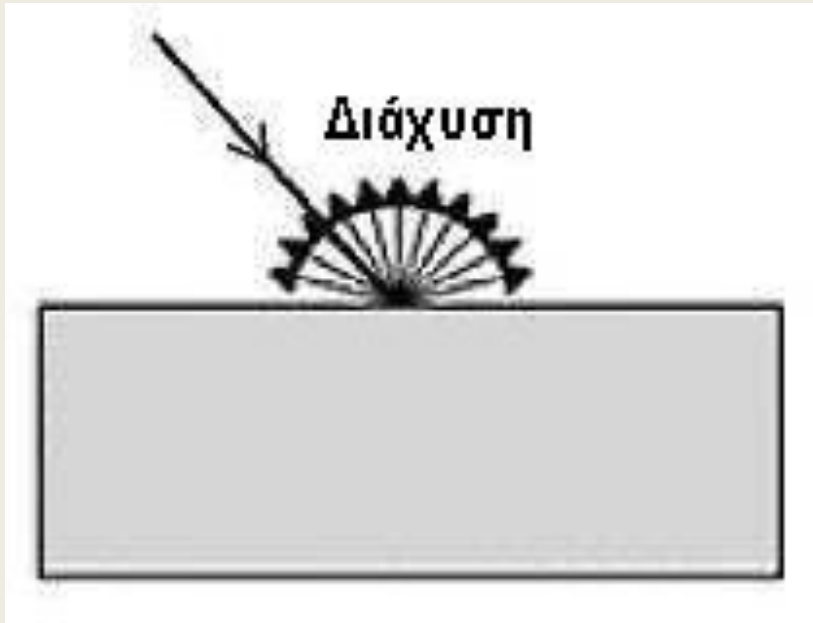


(α) Διάθλαση (β) κατοπτρική ανάκλαση

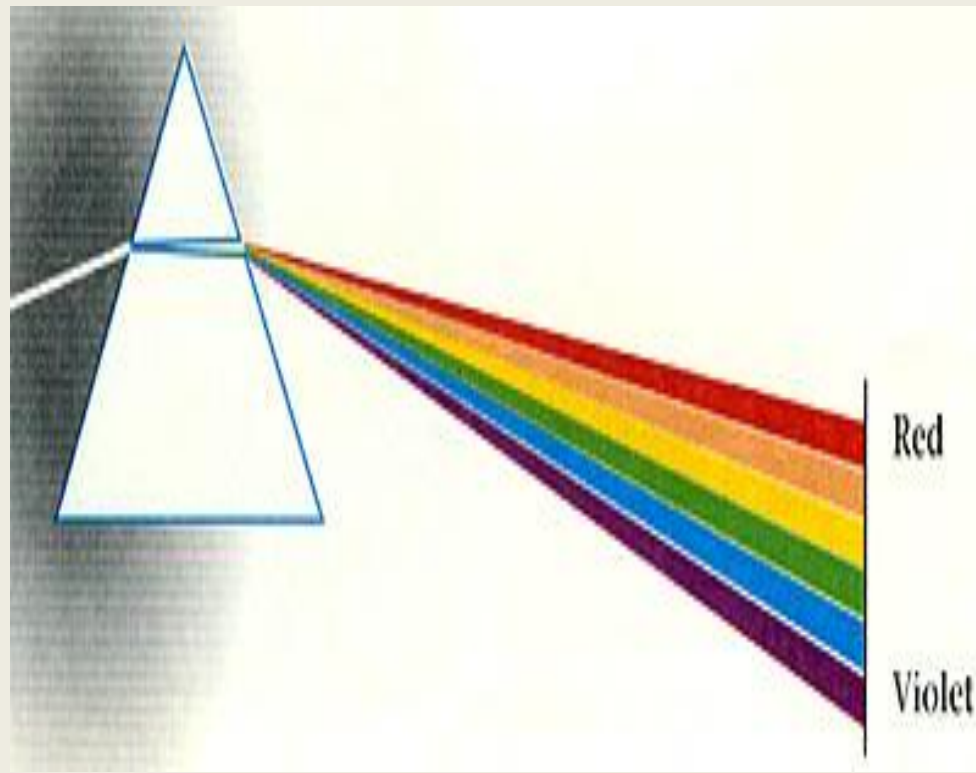


$$\frac{\eta\mu(\theta_i)}{\eta\mu(\delta)} = \frac{n_i}{n_0} \quad n_i = \frac{\eta\mu(\delta)}{\eta\mu(\theta_i)}$$

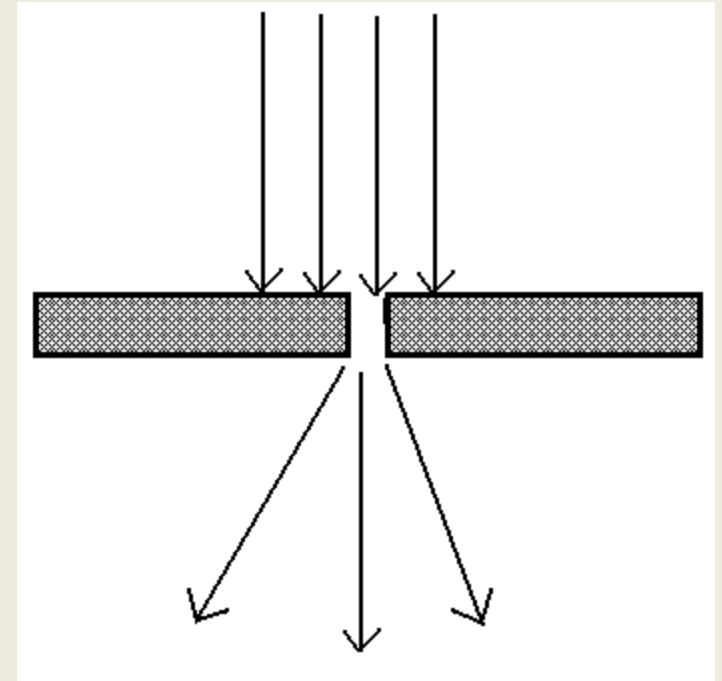
Διάχυση



όταν η επιφάνεια παρουσιάζει ισοτροπία και διατηρεί ίδια λαμπρότητα σε όλες τις κατευθύνσεις ονομάζεται *λαμπερσιανή επιφάνεια (Lambertian surface)*

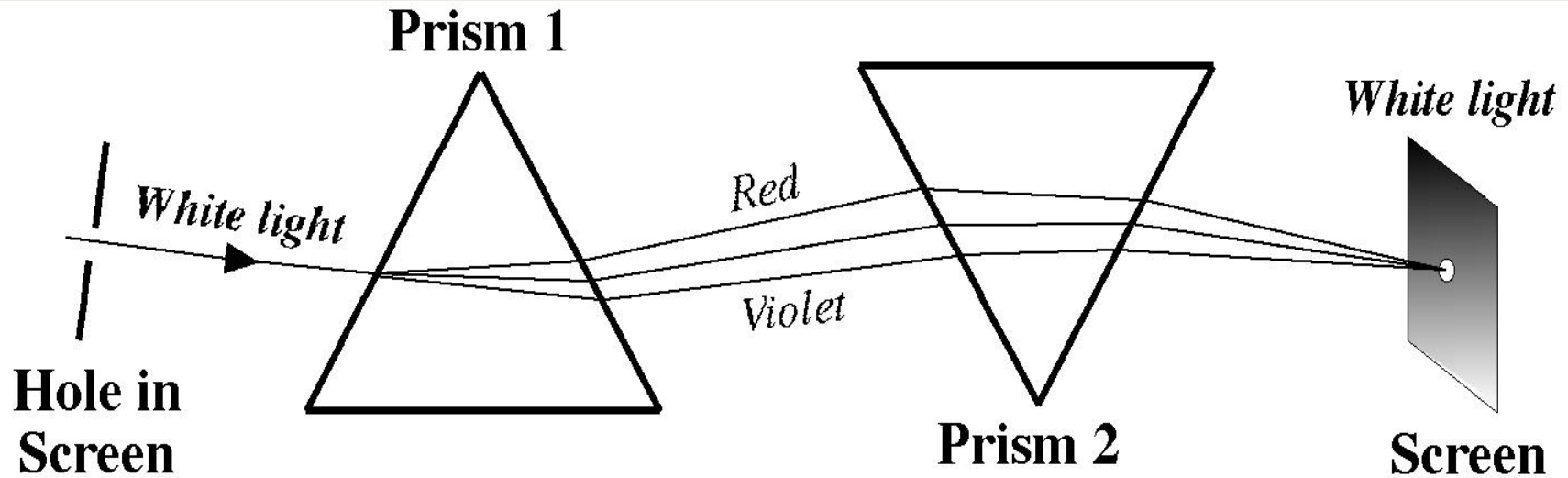


Διασπορά (dispersion).
Οφείλετε στη διαφορετική
διάθλαση που έχουν
διαφορετικά μήκη κύματος.

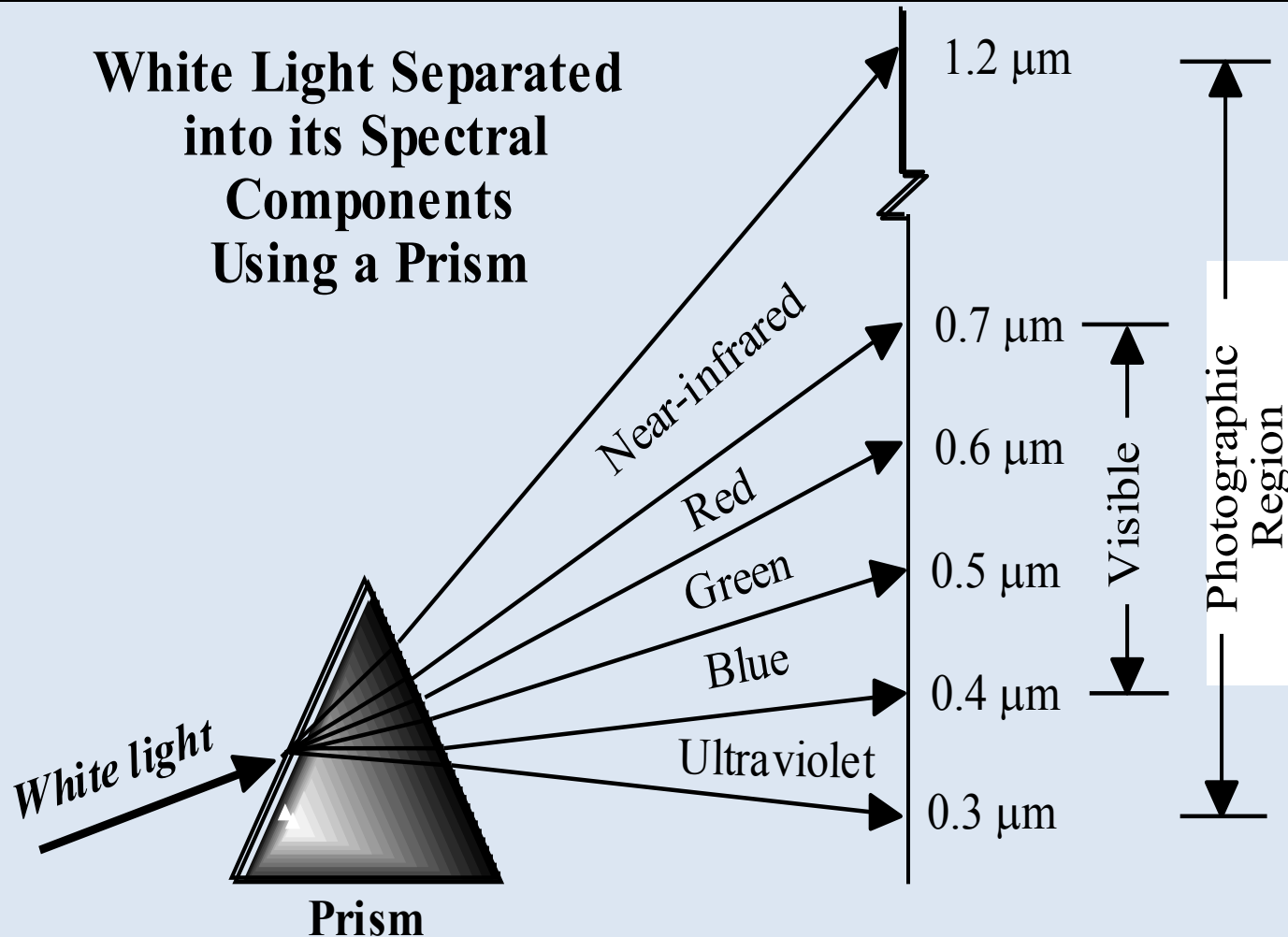


Διάφραξη

Το πείραμα του Isaac Newton το 1666



Λευκό φως διαχωρίζεται σε φασματικές συνιστώσες διερχόμενο μέσω πρίσματος



Συντελεστές αλληλεπίδρασης

Συντελεστής ανάκλασης (ρ)

Συντελεστής απορρόφησης (α)

Συντελεστής διαπερατότητας (τ)

Φ_0 είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία

Φ_1 είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία

Φ_2 είναι η απορροφούμενη ακτινοβολία

Φ_3 είναι η ακτινοβολία που διαπερνά την επιφάνεια και το υλικό μέσο

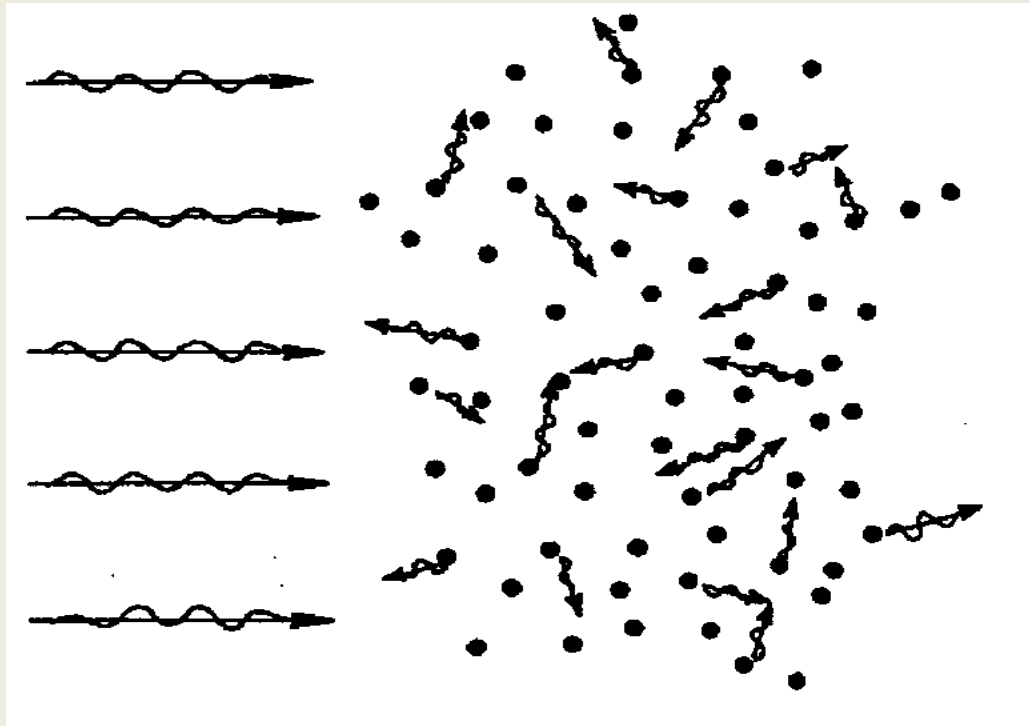
$\Phi_0 = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$, οπότε,

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

Σκέδαση

Σκέδαση (scattering) είναι η διασκόρπιση (εκτροπή) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από σωματίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα ή από μεγάλα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων.

Το ποσοστό της σκέδασης που επέρχεται εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων αυτών, από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, και από το πάχος της ατμόσφαιρας από την οποία διέρχεται η ακτινοβολία.



Η σκέδαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από σωματίδια της ατμόσφαιρας.

Η σκέδαση Rayleigh:

$(d \ll \lambda)$.

μικρά ψήγματα σκόνης
μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων
Άζωτο (N_2)
οξυγόνο (O_2).

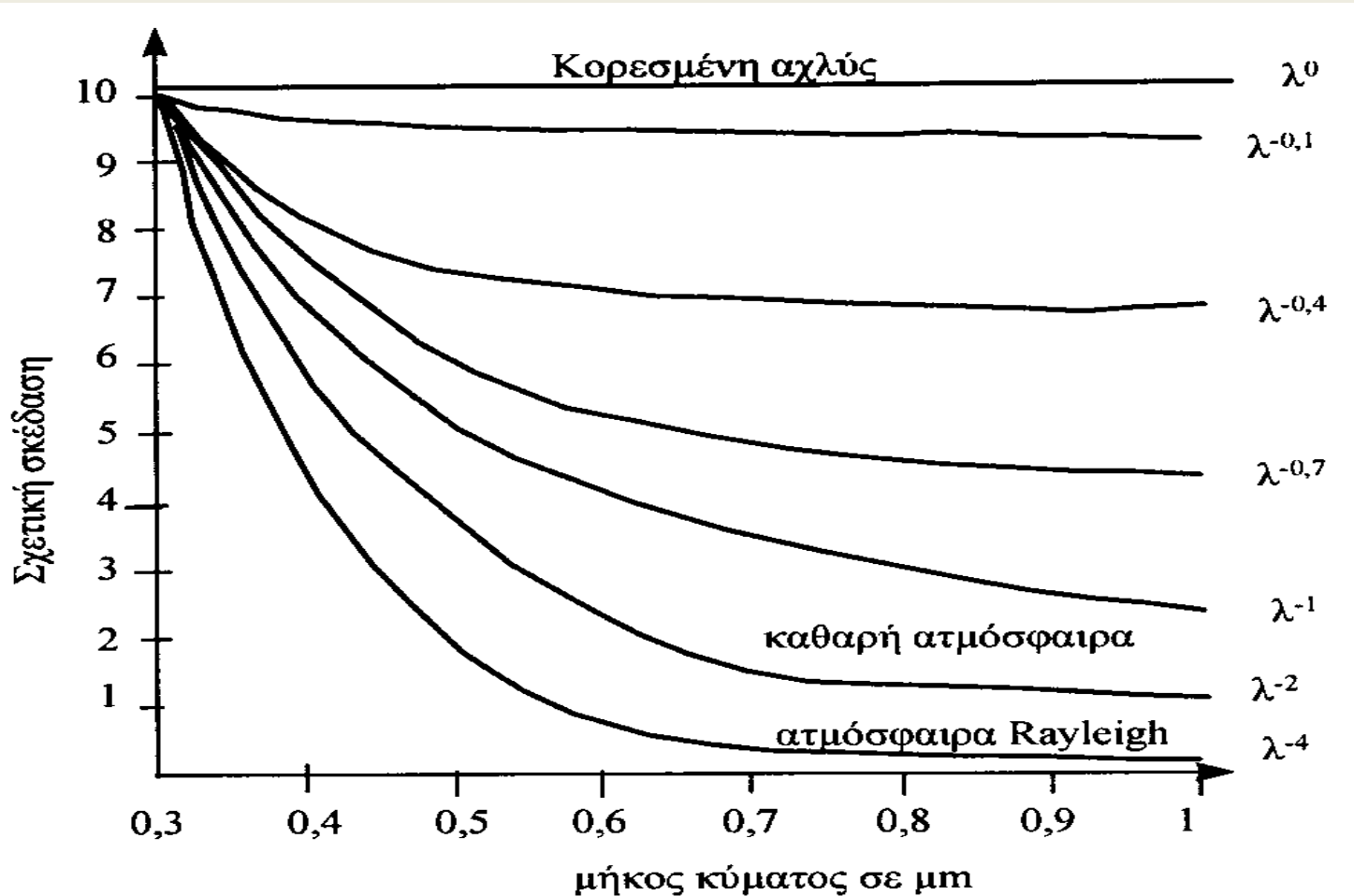
Σκέδαση της "καθαρής ατμόσφαιρας".

Το ιώδες (μπλε) φως σκεδάζεται περίπου τέσσερις φορές περισσότερο από ό,τι το κόκκινο φως. Και το υπεριώδες 16 φορές περισσότερο από ό,τι το κόκκινο φως.

Ο νόμος σκέδασης του Rayleigh δηλώνει ότι το ποσοστό της σκέδασης (%) είναι αντιστρόφως ανάλογο της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος λ , δηλαδή:

$$\text{Σκεδαση Rayleigh} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

Σκέδαση Mie προκαλείται από μεγαλύτερα σωματίδια της ατμόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένων της σκόνης, τον καπνού, της αιθαλομίχλης και των σταγονιδίων νερού. Τέτοια, σωματίδια μπορεί να θεωρούνται πολύ μικρά στην καθημερινή εμπειρία, αλλά είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από εκείνα που προκαλούν τη σκέδαση Rayleigh.



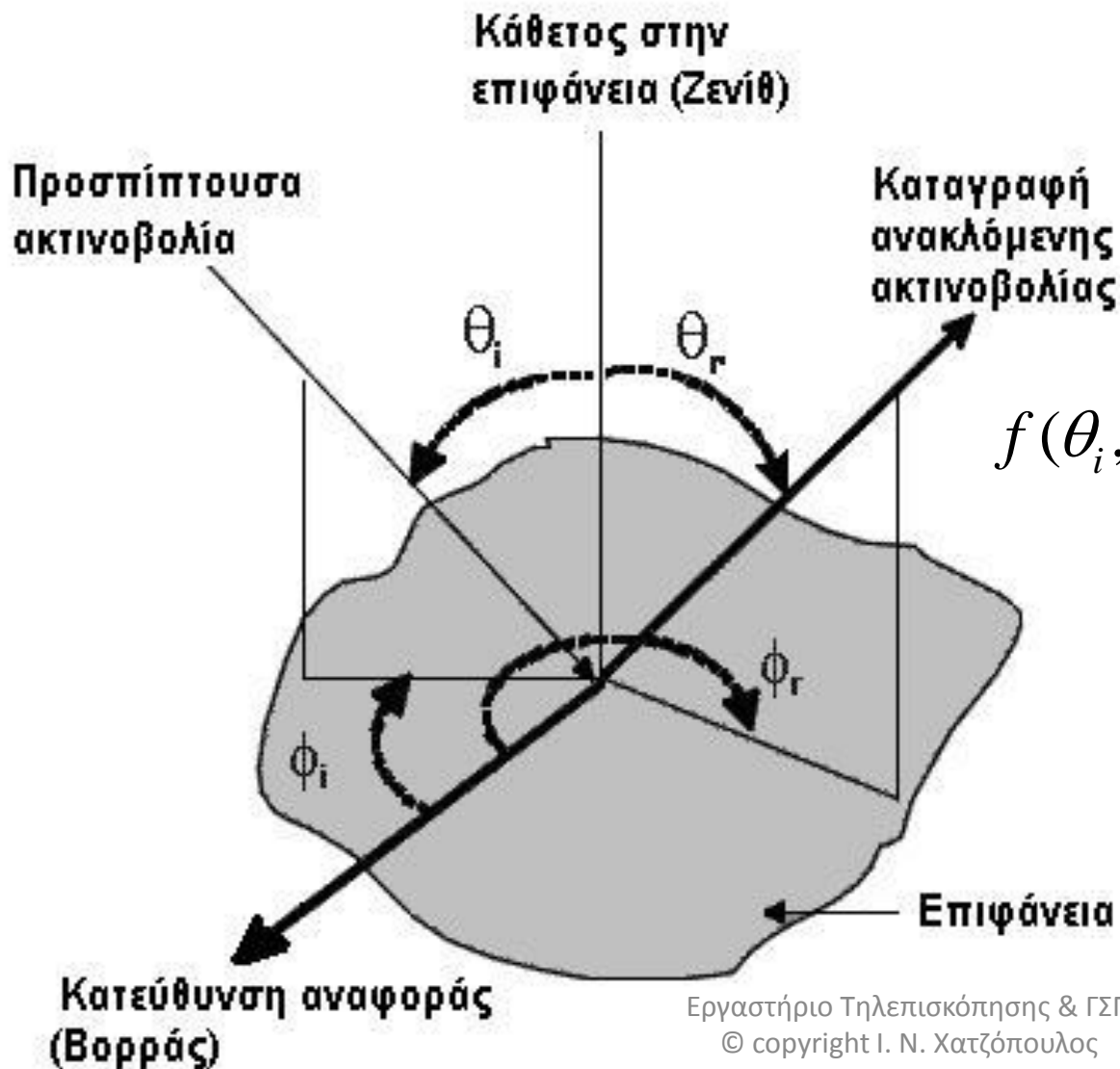
Οι διάφοροι
τύποι της
σκέδασης

Σωματίδια που προκαλούν τη σκέδαση **Mie** έχουν διαμέτρους d που είναι περίπου ίσες με το μήκος κύματος λ της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Η σκέδαση Mie μπορεί να επηρεάσει μεγάλο εύρος μηκών κύματος στην περιοχή του ορατού ή και κοντά στο ορατό. Τα αποτελέσματά της εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, αλλά όχι με τον απλό τρόπο όπως η σκέδαση Rayleigh. Η σκέδαση Mie τείνει να είναι μεγαλύτερη στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας (0-5 km), όπου τα μεγαλύτερα σωματίδια αφθονούν.

Μη - επιλεκτική σκέδαση

(non-selective scattering) προκαλείται από σωματίδια όπως των σύννεφων, της ομίχλης κλπ., που είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας ($d \gg \lambda$). Για ακτινοβολία στο ορατό και στο εγγύς του ορατού, τέτοια σωματίδια μπορεί να είναι μεγαλύτερα από σταγονίδια νερού ή μεγάλα σωματίδια της αιωρούμενης σκόνης. Μη-επιλεκτική σκέδαση σημαίνει ότι η σκέδαση δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας και όλα τα μήκη κύματος σκεδάζονται ομοιόμορφα. Έτσι, όταν επέλθει τέτοια σκέδαση, παρατηρείται μια, λευκόχρους ή γκριζωπή αχλύς, επειδή όλα τα μήκη κύματος σκεδάζονται ομοιόμορφα στην περιοχή του ορατού φάσματος

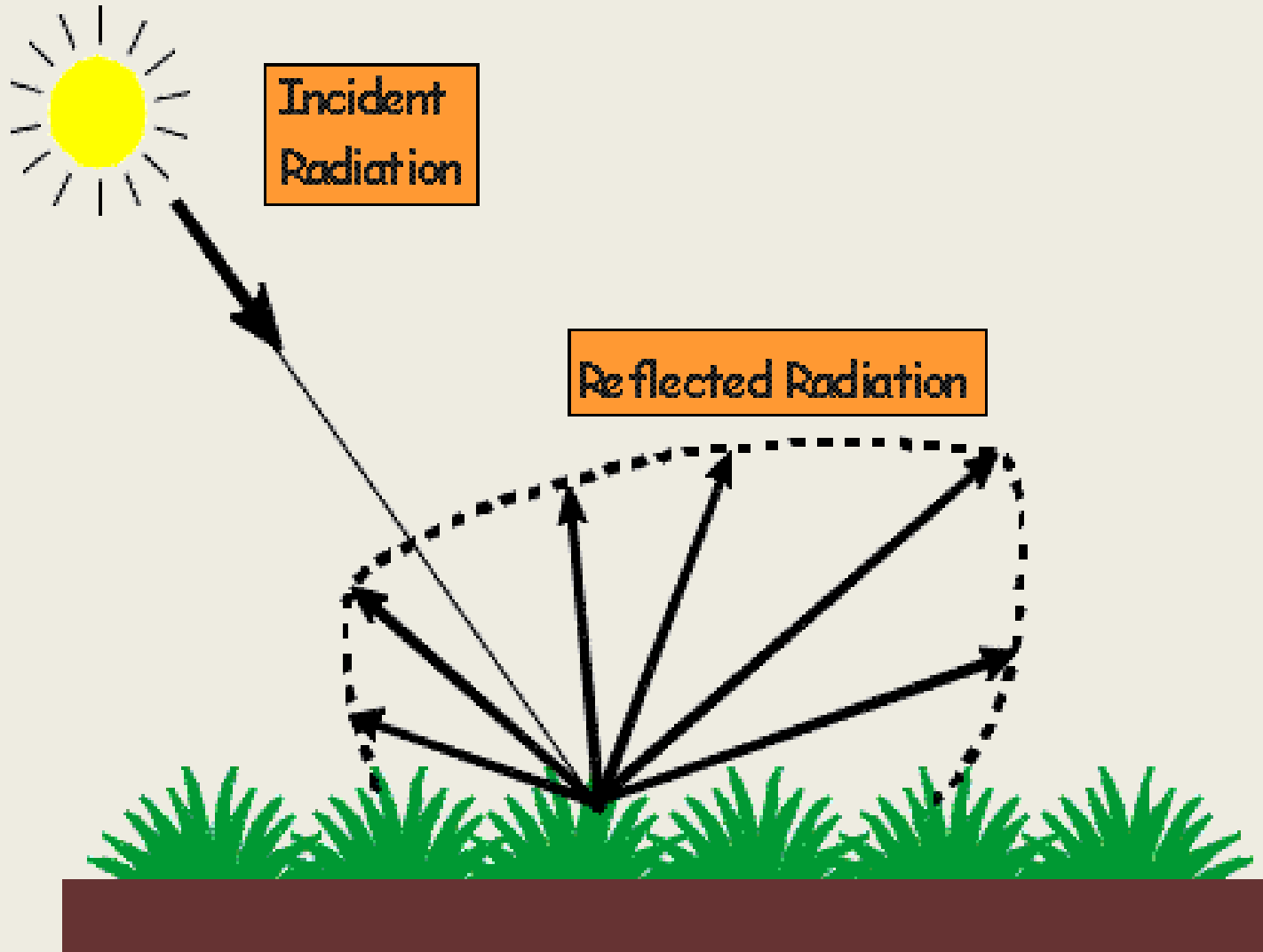
Συνάρτηση κατανομής αμφίδρομης ανάκλασης (BRDF)



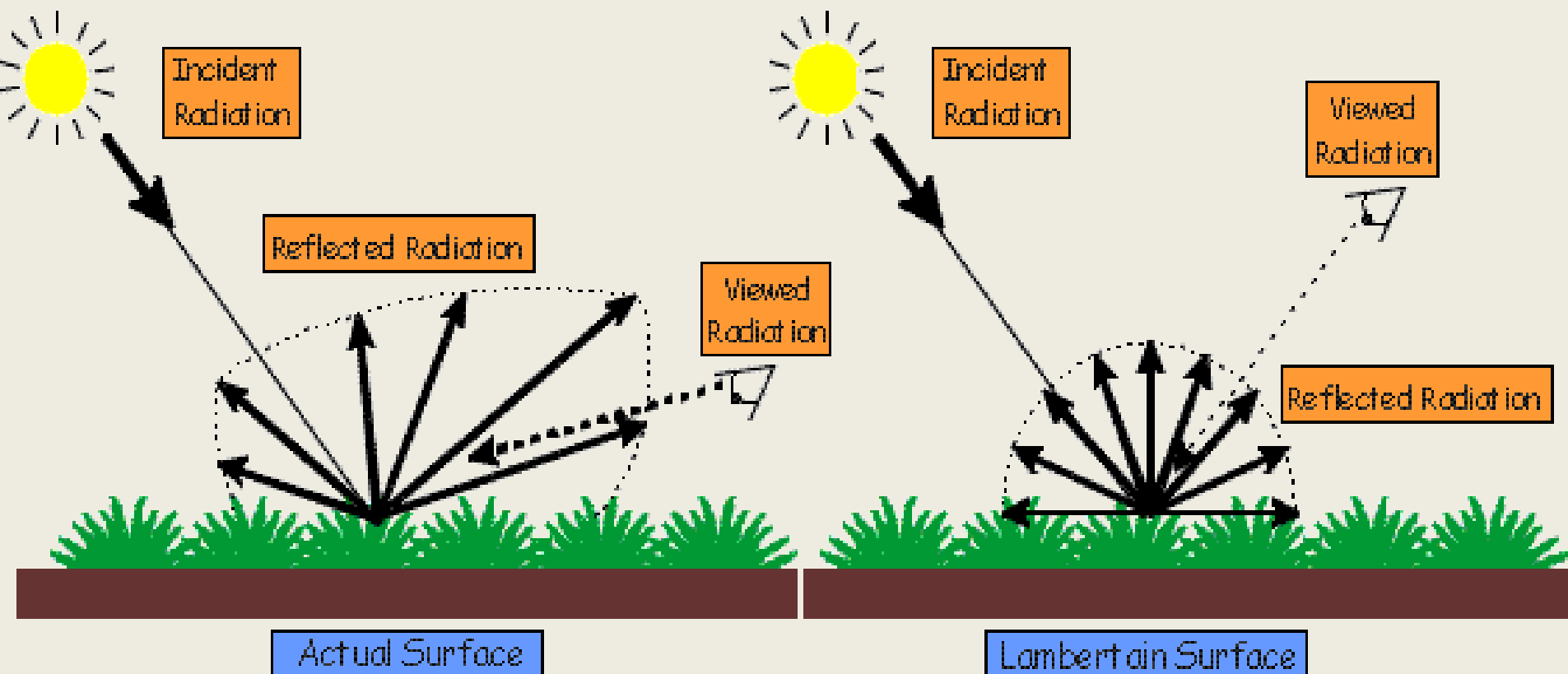
$$f(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r, \lambda) = \frac{dL(\theta_r, \phi_r, \lambda)}{dE(\theta_i, \phi_i, \lambda)}$$

Τι είναι αμφίδρομη ανάκλαση (BRDF)

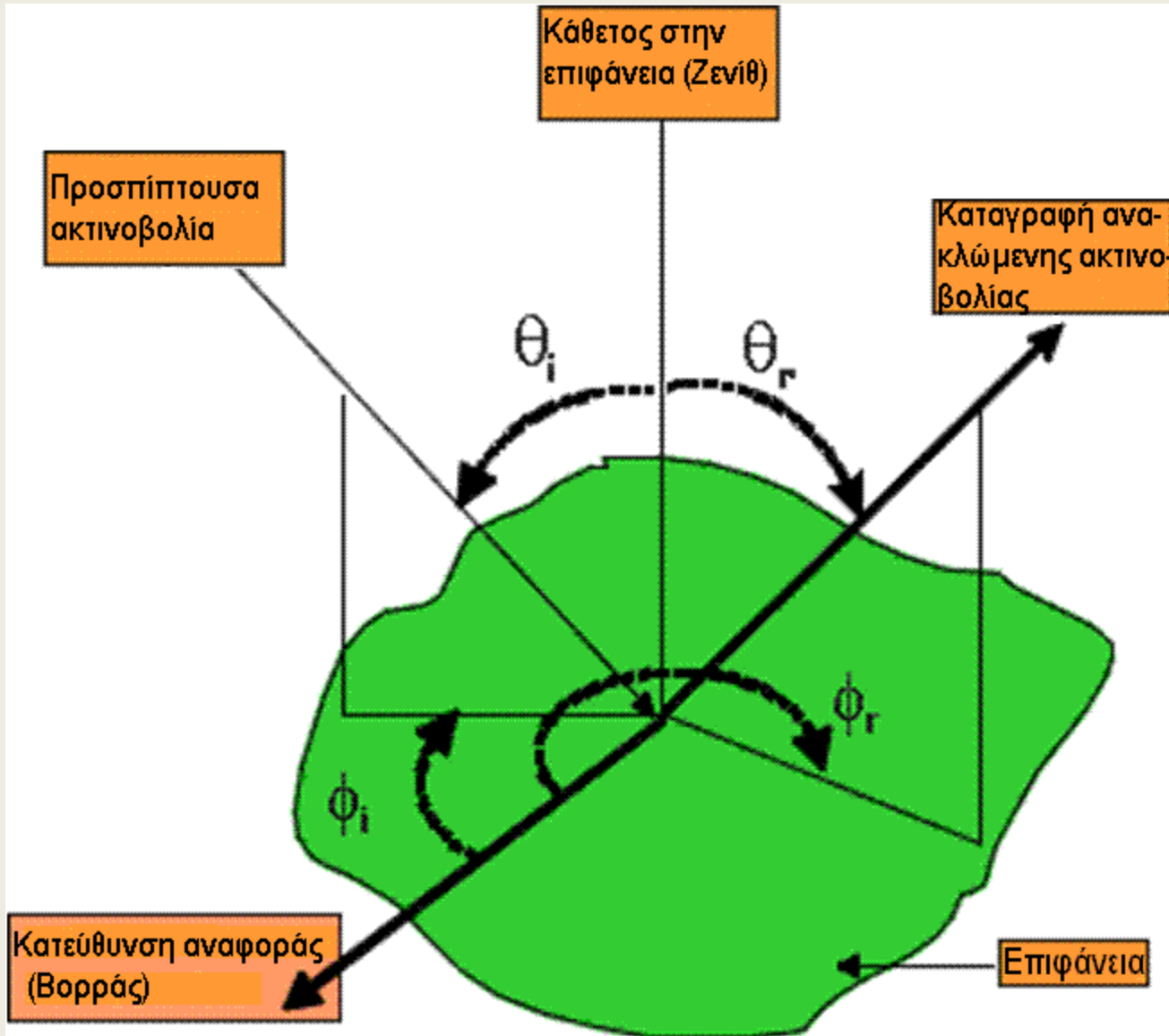
Η ανάκλαση από μια επιφάνεια εξαρτάται από την κατεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (και τα χαρακτηριστικά της), τις ραδιομετρικές ιδιότητες της επιφάνειας και την κατεύθυνση από την οποία παρατηρείται η επιφάνεια.



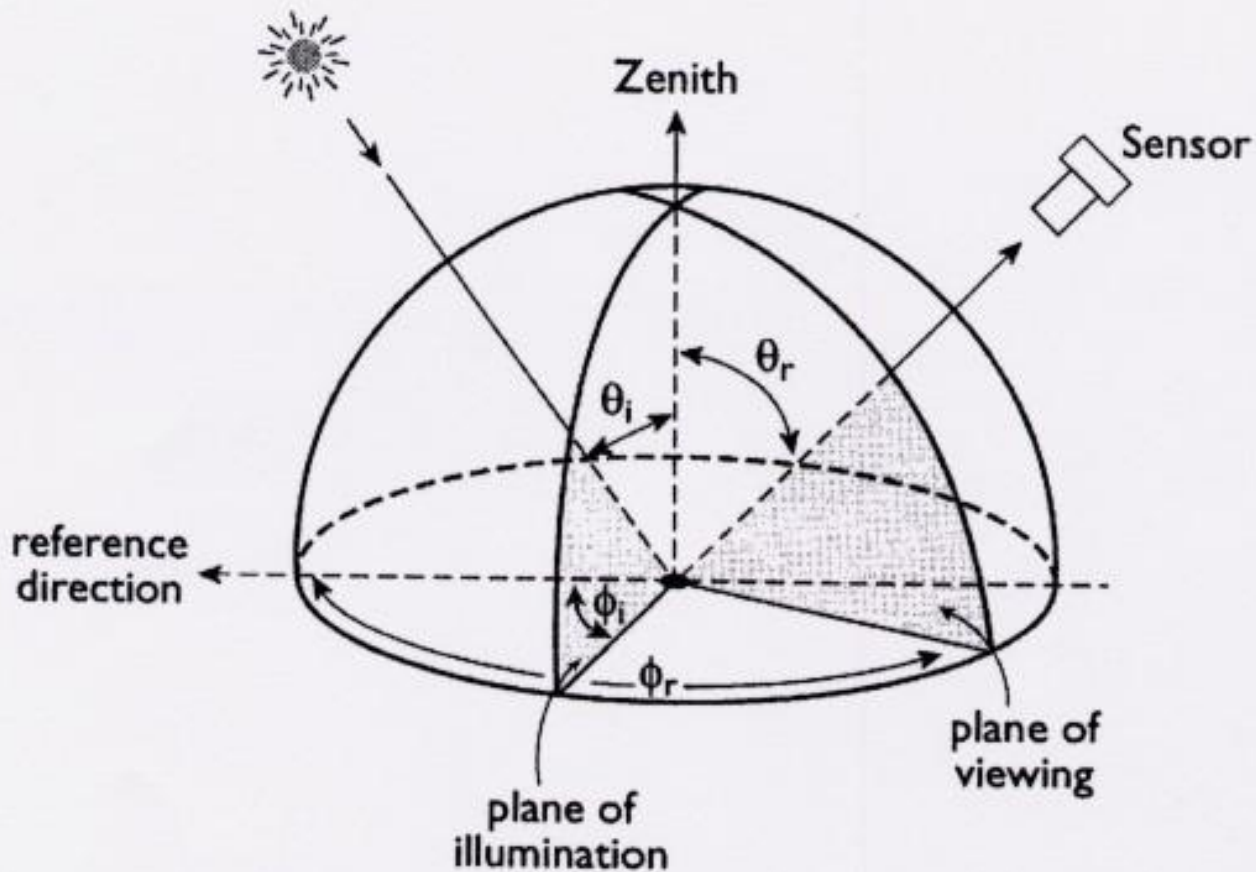
- Η εξάρτηση από την κατεύθυνση παρατήρησης της ανάκλασης της επιφάνειας πολλές φορές χαρακτηρίζεται διαιρώντας την ακτινοβολία της επιφάνειας με αυτή της Λαμπερσιανής επιφάνειας που φωτίζεται και παρατηρείται με τον ίδιο τρόπο όπως η υπό εξέταση επιφάνεια. Ο λόγος αυτός ονομάζεται συντελεστής ανάκλασης (*reflectance factor*).



Γενικά ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται από τη γωνία παρατήρησης (θ_r, ϕ_r) και τη ζενιθία γωνία του ήλιου (θ_i, ϕ_i). Επειδή υπεισέρχονται δύο κατευθύνσεις (θ_i, θ_r), χρησιμοποιείται ο όρος αμφίδρομος συντελεστής ανάκλασης (BRDF).



Προσδιορισμός των γωνιών που υπεισέρχονται στην
φασματοσκοπία πεδίου (υιοθετήθηκε από Kreibel, 1976,
Remote Sensing of Environment, 4, 257-264)

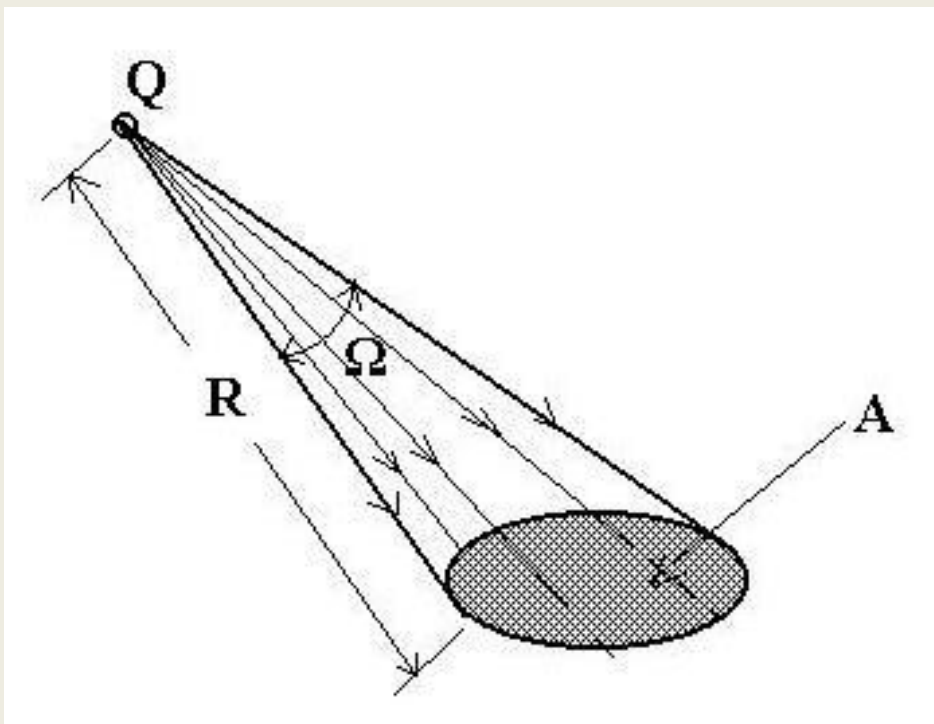


Το Sandemeir goniometer που είναι η βάση για το FIGOS goniospectrometer. Το όργανο εδώ χρησιμοποιείται στην μέτρηση της κατευθυνόμενης φασματικής ανάκλασης από είδη γρασιδιού



Μέτρηση της ΗΜΑ

Ακτινοβολία εντός στερεάς γωνίας.



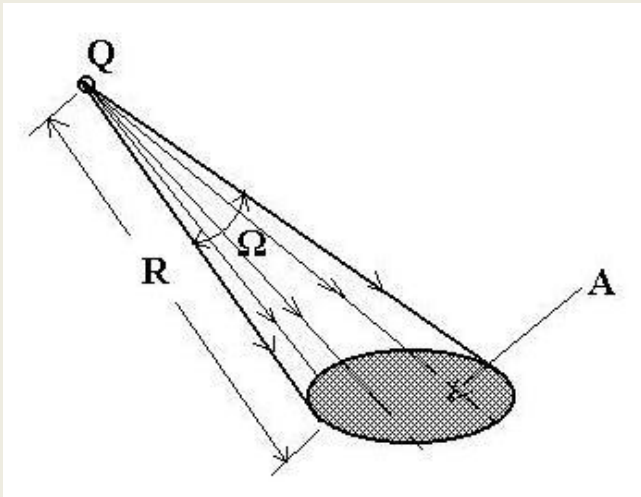
Η μέτρηση της ΗΜΑ γίνεται από τη ραδιομετρία με όργανα τα οποία ονομάζονται ραδιόμετρα. Οι ραδιομετρικές μονάδες μέτρησης ακτινοβολιών είναι **φυσικές μονάδες μέτρησης** όπως είναι η ενέργεια, η ισχύς κτλ. και αναφέρονται σε όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ενώ η φωτομετρία περιορίζεται στα μήκη κύματος του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και χρησιμοποιεί **υποκειμενικές μονάδες μέτρησης** (κεριά κλπ.). Οι έννοιες και οι ορισμοί είναι οι ίδιοι και στις δύο περιπτώσεις (ραδιομετρική ροή / φωτεινή ροή).

Η ΗΜΑ είναι ενέργεια Q η οποία ρέει στο χώρο ανά μονάδα χρόνου t με μια ροή (flux) Φ που δίνεται από τη σχέση:

Η ραδιομετρική ροή που ονομάζεται και ισχύς (*radiant power*) μετράται σε **Joule/sec [J/s] ή Watt [w]**

$$\Phi = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{dQ}{dt}$$

Αφεικτική ικανότητα (*radiant exitance*), πυκνότητα ροής



Ακτινοβολία εντός στερεάς γωνίας.

Στην περίπτωση που η ροή Φ προσπίπτει σε επιφάνεια εμβαδού A , τότε η **πυκνότητα ροής E** δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Όταν η **πυκνότητα ροής ακτινοβολίας** οφείλεται στην εκπεμπόμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία, τότε ονομάζεται **αφεικτική ικανότητα M (*radiant exitance*)**.

Στερεά γωνία, ένταση της ακτινοβολίας, ακτινοβολία (radiance)

μια σημειακή πηγή που εκπέμπει φωτεινή ενέργεια Q προς όλες τις κατευθύνσεις (σφαιρικά), τότε η **στερεά γωνία** Ω σε **στερεακτίνα**, που ορίζεται από την επιφάνεια A της σφαίρας ακτίνας R , δίνεται από τη σχέση:

$$\Omega = \frac{A}{R^2}, \quad d\Omega = \frac{dA}{R^2}$$

Ονομάζουμε **ένταση της ακτινοβολίας (radiant intensity)** I την ποσότητα: Η ποσότητα I μετράται σε **watt ανά στερεακτίνα** (Wsr^{-1})

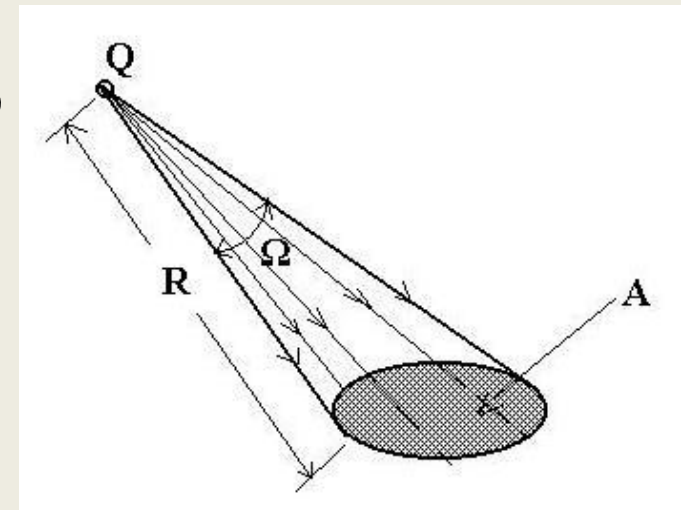
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Ονομάζουμε **ακτινοβολία (radiance)** L την ποσότητα: σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο και στερεακτίνα ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$)

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA} \text{ συν}\theta$$

Ισότροπη φωτεινή πηγή είναι αυτή που ακτινοβολεί εξίσου προς όλες τις διευθύνσεις.

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}, \quad [\text{W} / \text{Sr}]$$



Υποκειμενική εκτίμηση: φωτεινής έντασης (I) - *candela* φωτεινής ροής (Φ) - Lumen, Φωτεινή λαμπρότητα (*luminance*) (L)-*stilb*, Φωτισμός (*illuminance*) (E) - Lux

Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και αντίστοιχες ποσότητες με μονάδες μέτρησης που βασίζονται σε υποκειμενική εκτίμηση της φωτεινής ακτινοβολίας από το ανθρώπινο μάτι. Τέτοιες μονάδες είναι οι εξής:

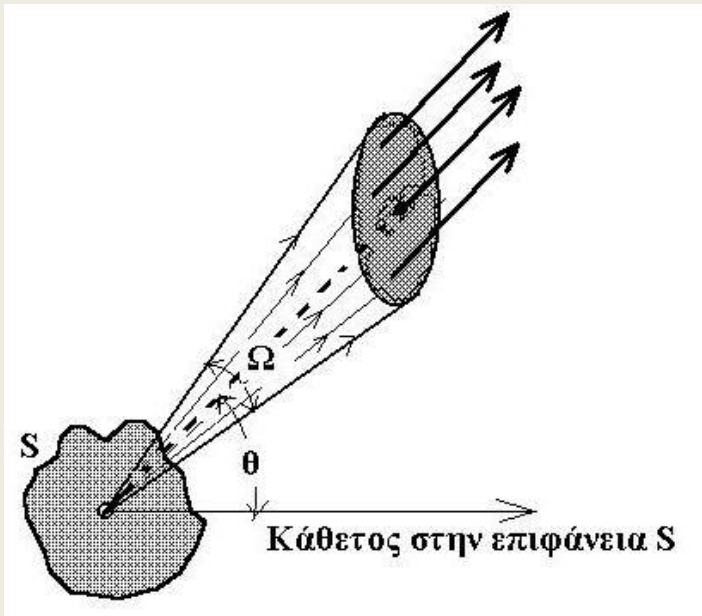
Μονάδα μέτρησης της **φωτεινής έντασης (I) είναι η *candela* ή *κερί* (cd)** και ορίζεται από το 1/60 της φωτεινής ισχύος που εκπέμπει επιφάνεια 1 cm² μελανού σώματος σε θερμοκρασία 1769 °C που είναι το σημείο τήξης του λευκόχρυσου.

Μονάδα μέτρησης της **φωτεινής ροής (Φ) είναι το Lumen** που αντιστοιχεί σε φωτεινή ροή που εκπέμπει ένα cd εντός στερεάς γωνίας ενός στερεακτινίου.

Φωτεινή λαμπρότητα (*luminance*) (L) είναι φωτεινή ένταση ανά μονάδα επιφάνειας και μετρείται σε cd/cm² και ονομάζεται *stilb*.

Φωτισμός (*illuminance*) (E) είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας και μετρείται σε Lux όπου Lux = Lumen/m².

Νόμος των αντίστροφων τετραγώνων και ο νόμος του συνημίτονου του Lambert: (inverse square law and Lambert's cosine law of incidence).



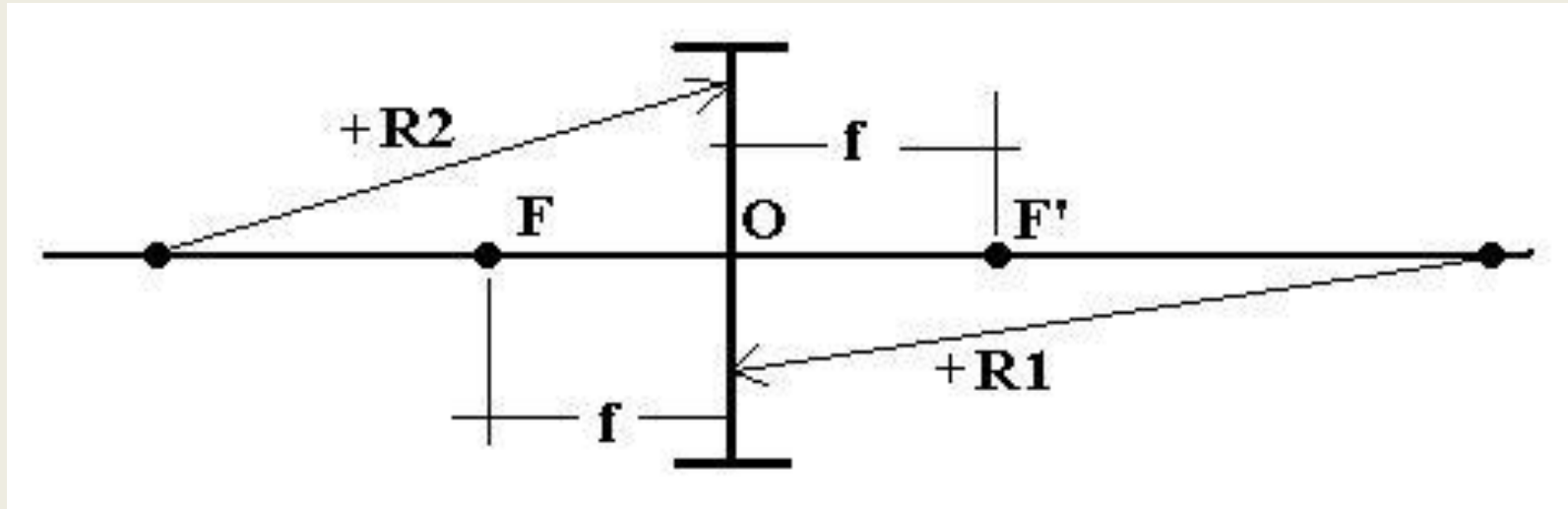
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \quad E = \frac{I}{R^2} \sigma\upsilon\nu(\theta), \quad I = \frac{E \cdot R^2}{\sigma\upsilon\nu(\theta)}$$

Η **φωτεινότητα ή λαμπρότητα L** μιας επιφάνειας σε δεδομένη διεύθυνση ορίζεται από τη φωτεινή ένταση της επιφάνειας προβαλλόμενης σε αυτή τη διεύθυνση.

$$L = \frac{I}{S \cdot \sigma\upsilon\nu(\theta)} \quad F = L \cdot S \cdot \Omega \cdot \sigma\upsilon\nu(\theta)$$

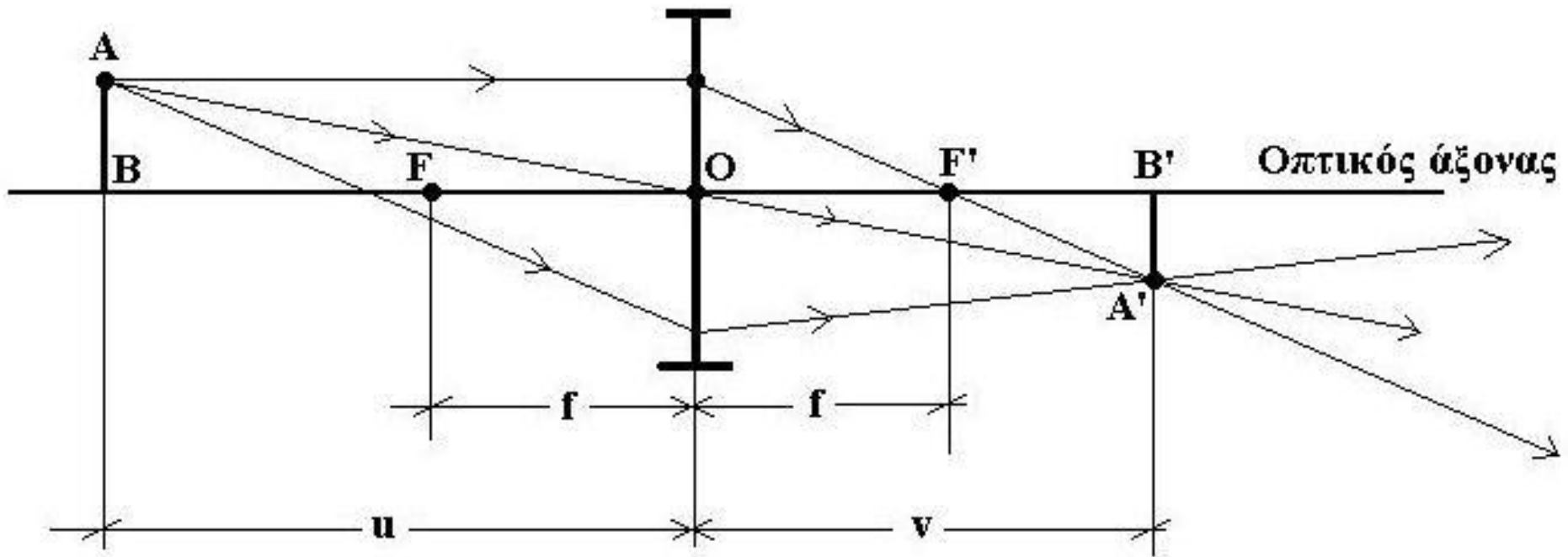
Όταν η φωτεινότητα μιας επιφάνειας δεν αλλάζει τιμή σε σχέση με τη γωνία που τη βλέπουμε, (**είναι ισότροπη**) τότε η φωτεινή αυτή επιφάνεια ονομάζεται **Λαμπερτιανή (Lambertian)**

Φακοί



$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Νόμος φακών – ακριβής εστίαση



$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

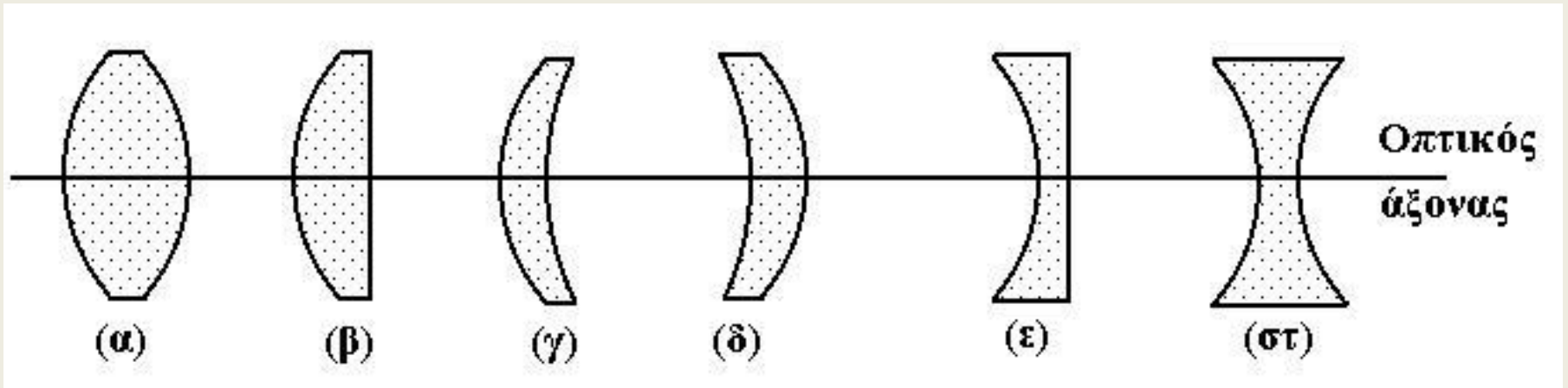
Μεγέθυνση φακού – κλίμακα εικόνας

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$m = \frac{\text{Μηκος στην εικονα}}{\text{Αντιστοιχο μηκος στο αντικειμενο}} = \frac{(A'B')}{(AB)} = \frac{v}{u}$$

$$u = \frac{v \cdot f}{v - f} = f \left(1 + \frac{1}{m}\right), \quad v = \frac{u \cdot f}{u - f} = f(1 + m), \quad m = \frac{f}{u - f}$$

Είδη φακών



Σφάλματα των φακών

Οι φακοί δεν είναι τέλεια όργανα και παρουσιάζουν σφάλματα τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας, π.χ. η εικόνα ενός σημείου δεν είναι ένα ακριβές σημείο αλλά πολλά σημεία μαζί στον τρισδιάστατο χώρο. Τα σφάλματα των φακών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η καμπυλότητα των επιφανειών, ο δείκτης διάθλασης και το πάχος των στοιχείων του φακού. Τα σφάλματα των φακών ή εκτροπές είναι οι εξής: **(α) σφαιρική εκτροπή, (β) κόμμα, (γ) αστιγματισμός, (δ) καμπυλότητα του πεδίου, (ε) διαστρόφη και (στ) χρωματική εκτροπή.**

Τα περισσότερα σφάλματα των φακών διορθώνονται με συνδυασμούς θετικών και αρνητικών φακών όπως είναι η σφαιρική και χρωματική εκτροπή καθότι ο μιν θετικός φακός έχει θετικό σφάλμα ενώ ο αρνητικός φακός έχει αρνητικό σφάλμα. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται φακοί που αποτελούνται από πολλούς επιμέρους απλούς φακούς και με τον τρόπο αυτό τα σφάλματα περιορίζονται εντός ορίων που καθορίζονται από προδιαγραφές. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μηχανές για αεροφωτογράφιση ο φακός μπορεί να αποτελείται ακόμη και από 20 απλούς φακούς. Άλλα σφάλματα των φακών ελαττώνονται με τη χρήση μικρού ανοίγματος στο διάφραγμα.

Παράδειγμα σύνθετου φακού

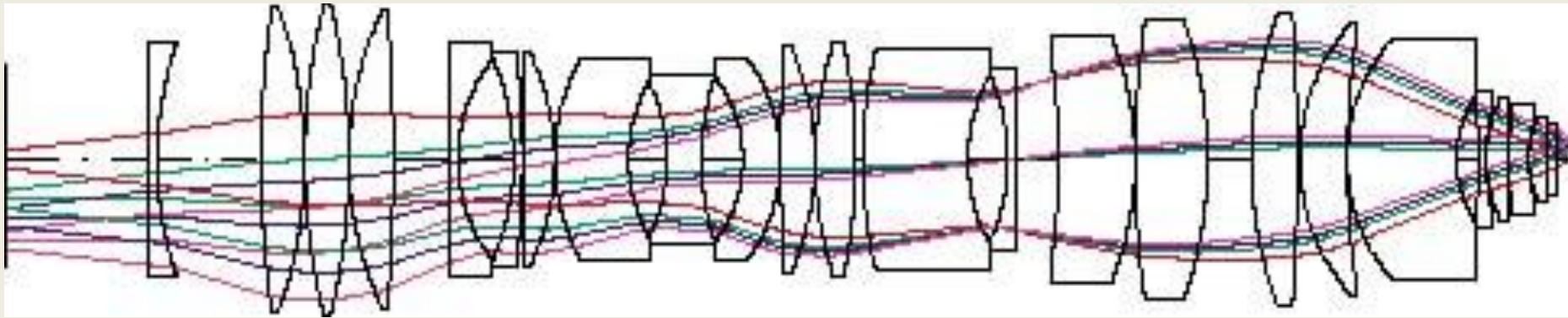


Diagram 3

Doubly telecentric 0.25X reduction camera lens for microlithographic use operating at the ArF laser line (0.193 microns)

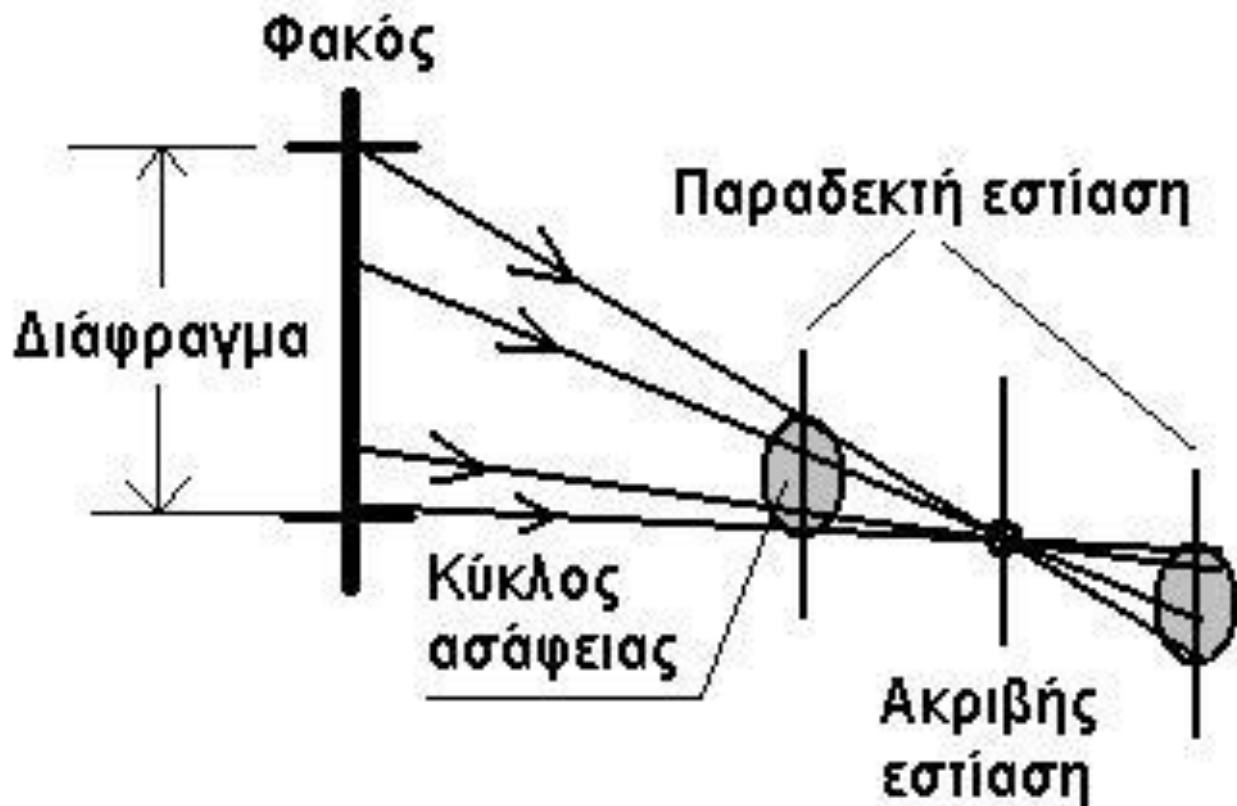
Διαχωριστική ικανότητα φακών (Resolving power)

$$\delta.l. = \frac{1}{1.22\lambda \left(\frac{f}{d}\right)}, \quad \delta.l. = \frac{1460}{f} [\text{γραμμες ανα } mm]$$

f-stop και βάθος πεδίου

$$f - stop = \frac{\text{Εστιακή απόσταση}}{\text{Ωφέλιμη διαμετρος}} = \frac{f}{d} = N$$

N: 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22 κλπ.

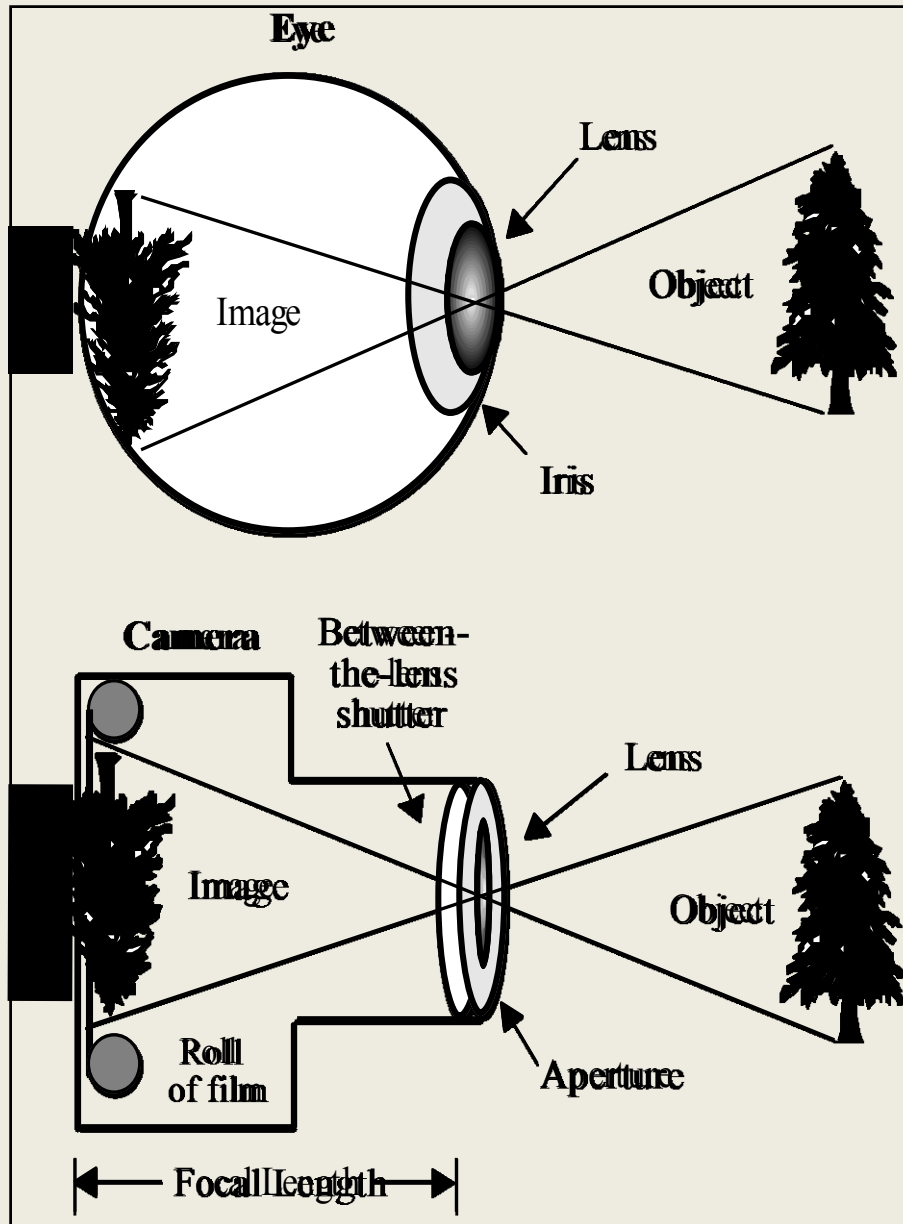


Box Camera

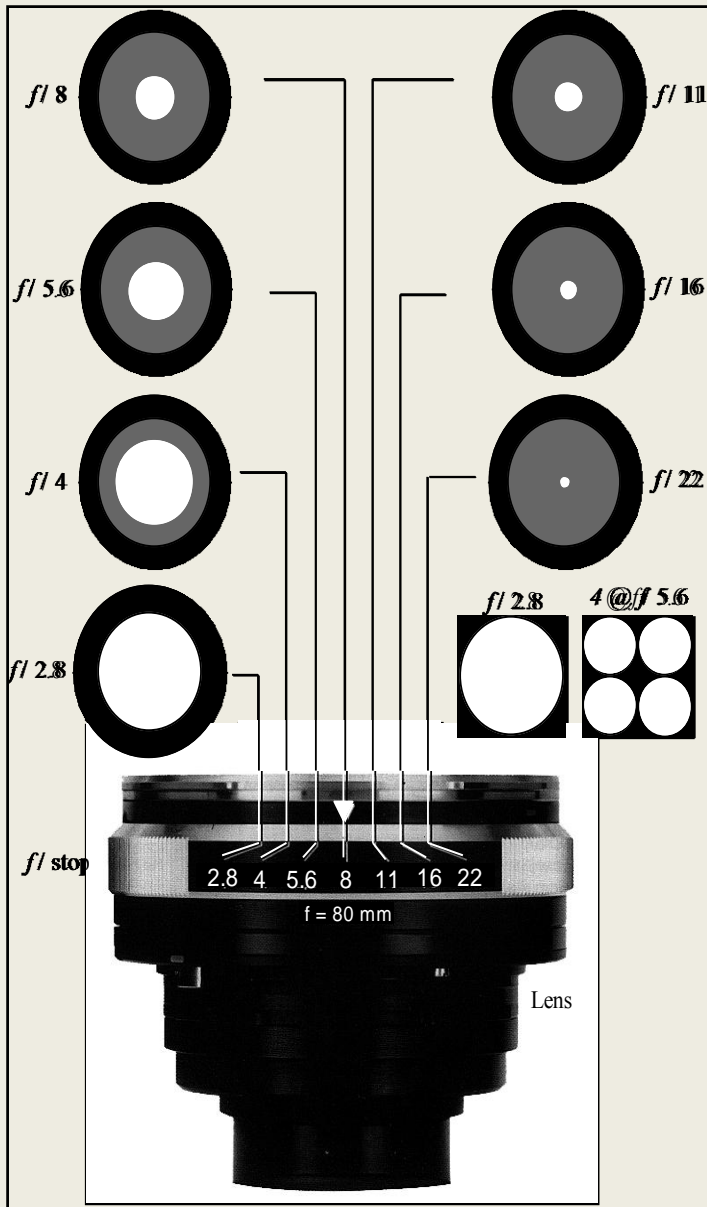


One of the first commercially available box cameras created for Louis Daguerre by Samuel F. B. Morse, inventor of the Morse code.

Jensen, 2000

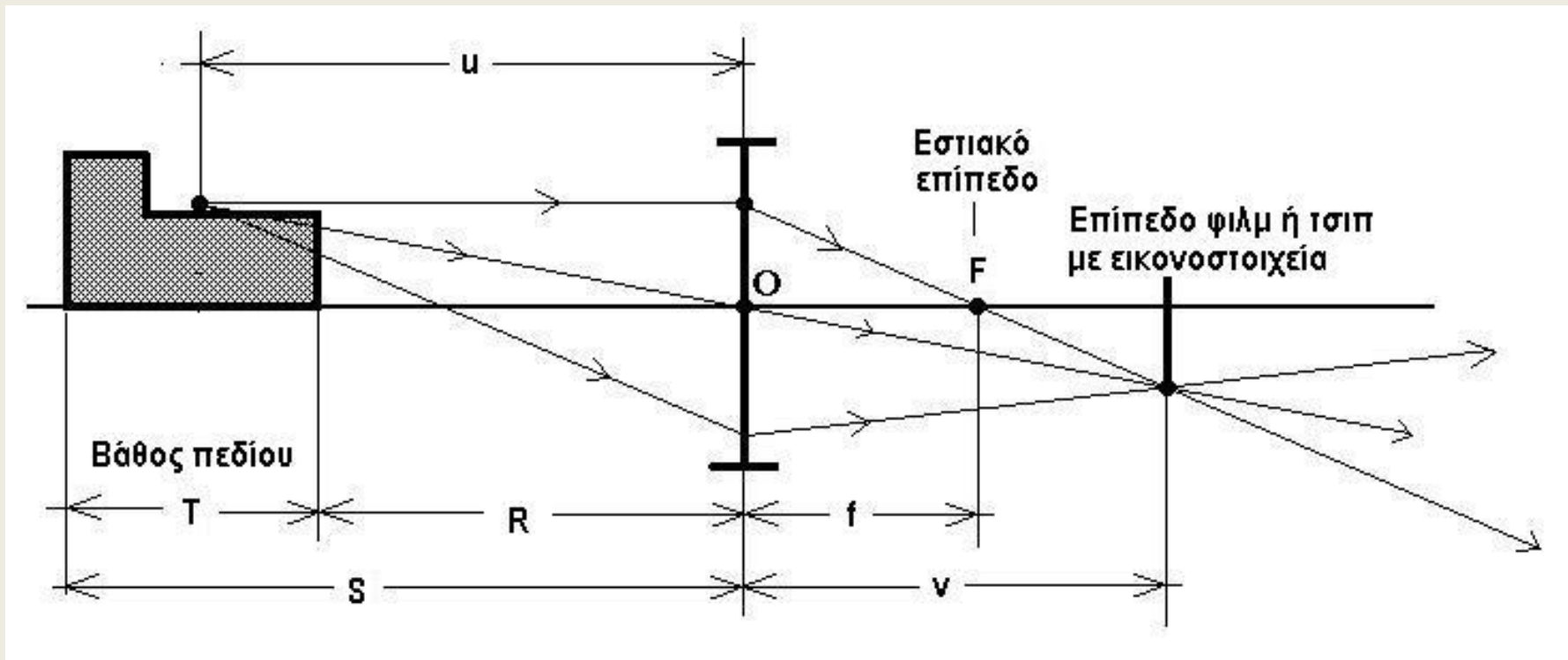


Comparison of the Optical Components of the Simple Camera with those of the Human Eye



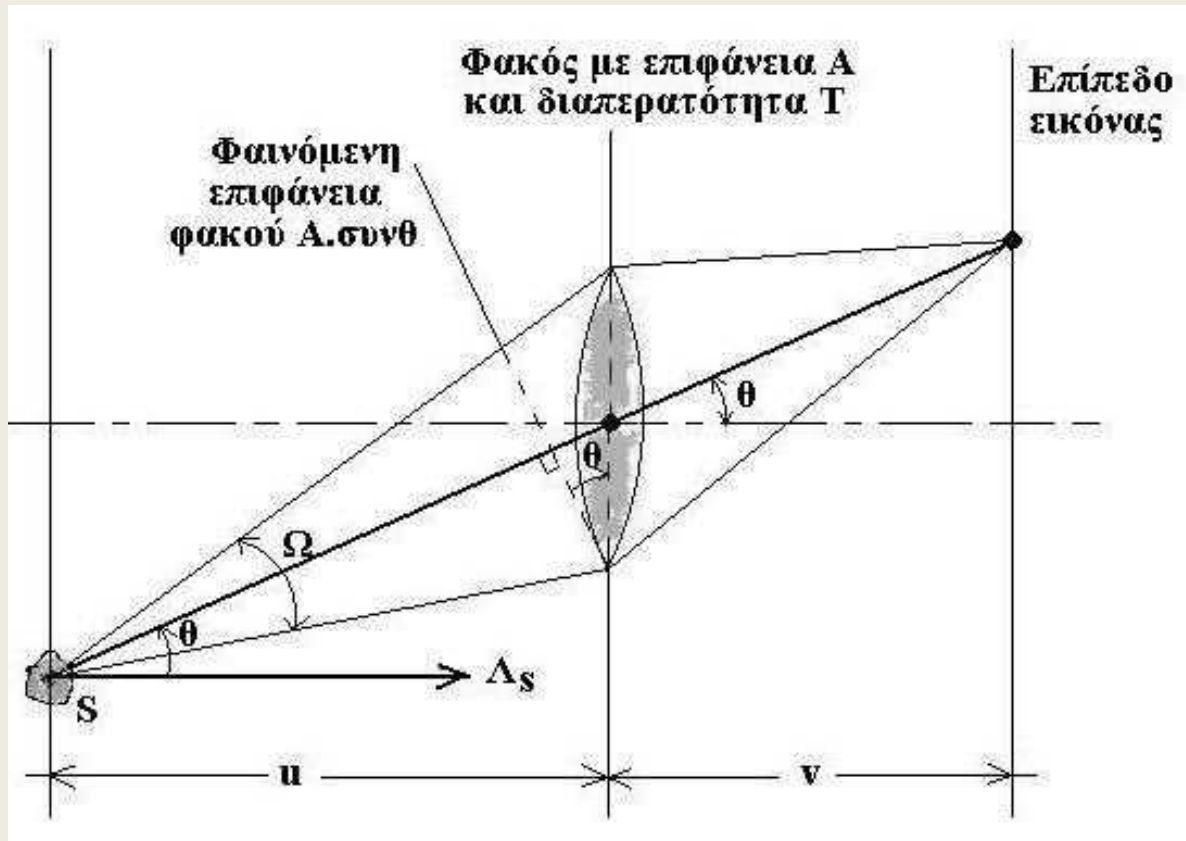
The f /stops for a Camera Lens and the Size of the Aperture Openings

Βάθος πεδίου



$$S = \frac{h \cdot u}{h - u + f}, \quad R = \frac{h \cdot u}{h + u - f}, \quad h = \frac{f^2}{c \cdot N}, \quad T = S - R$$

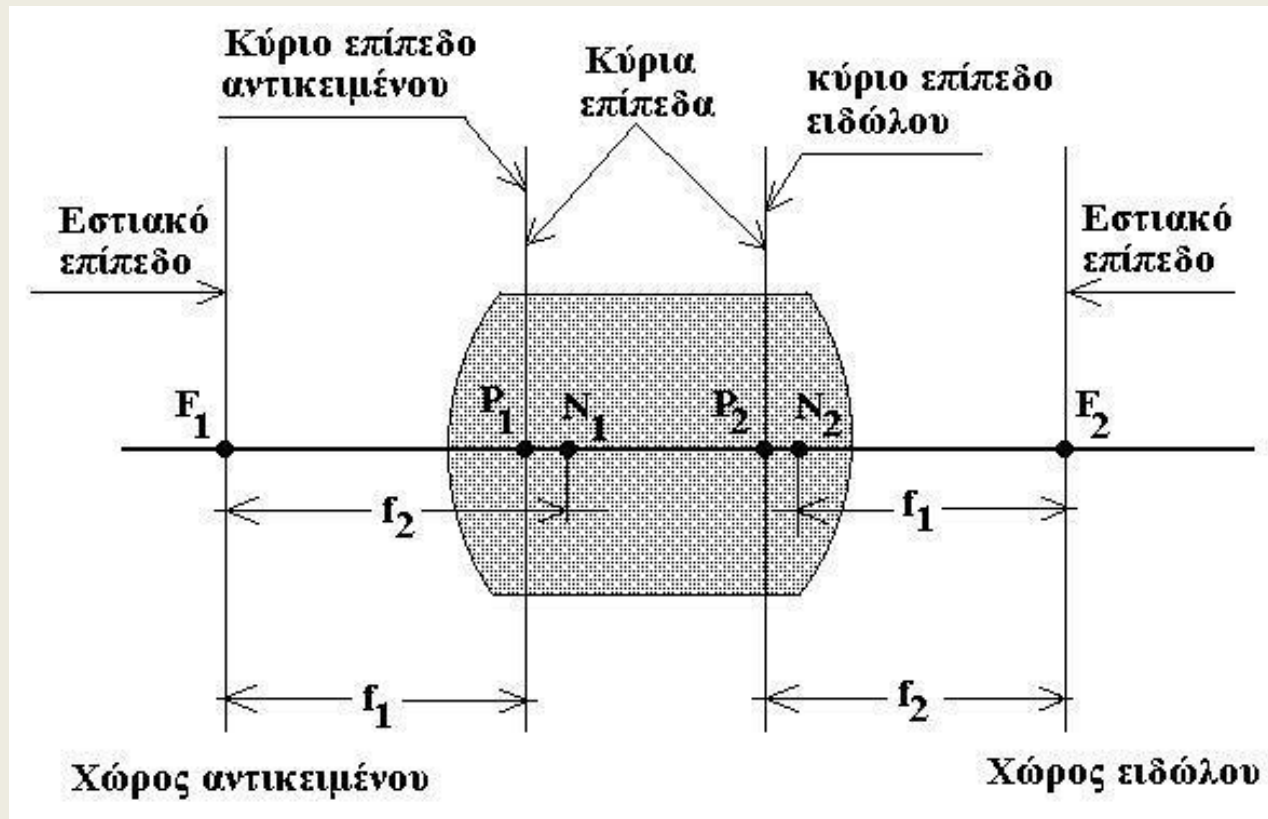
Φωτεινότητα εικόνας μέσω φακού



$$E = \frac{\pi \cdot \tau \cdot L \cdot \sigma \nu^4(\theta)}{4N^2}$$

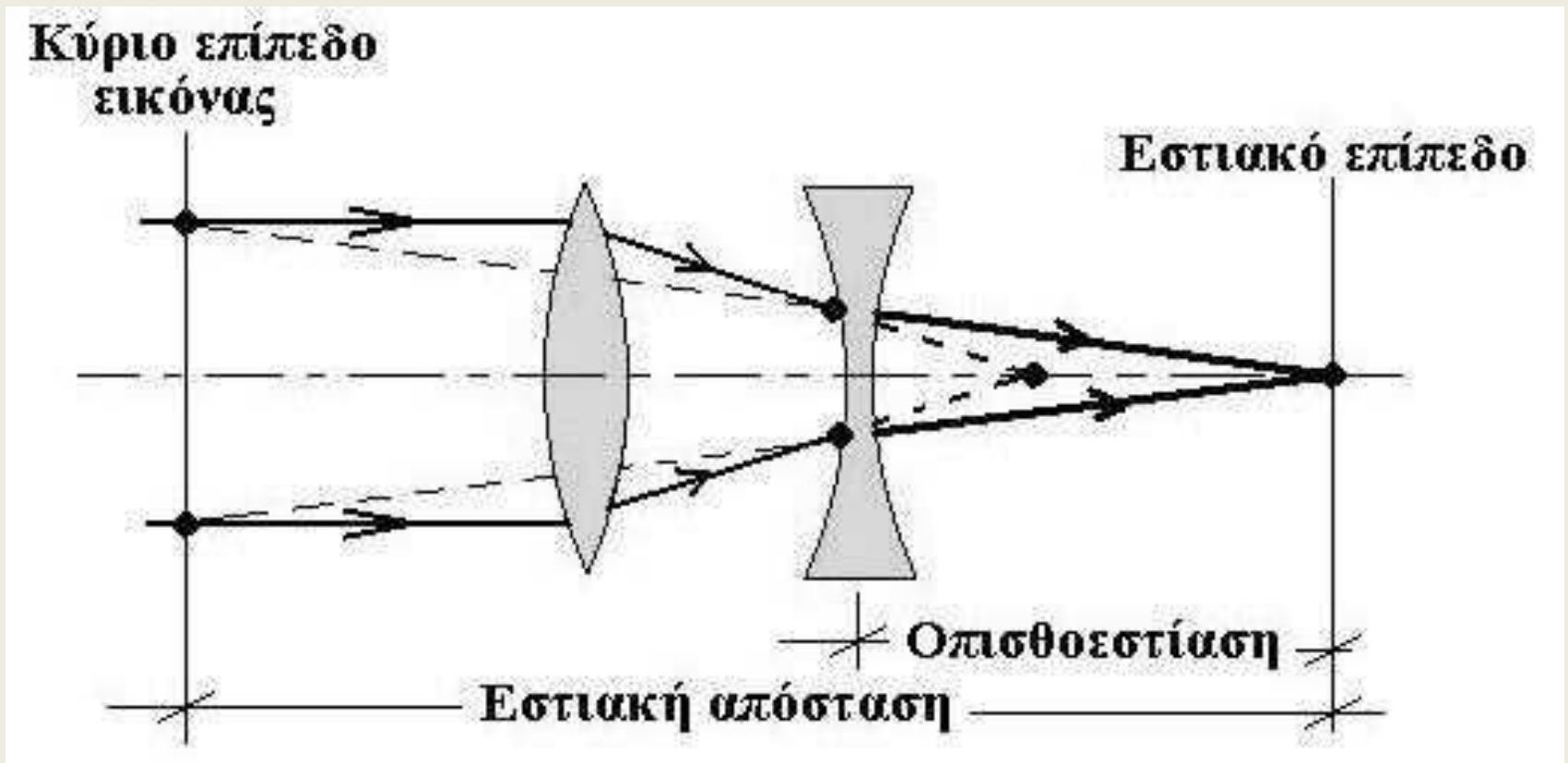
$$E = \frac{\tau L S A \sigma \nu^4(\theta)}{S' u^2} \quad \text{αλλά: } \frac{S}{S'} = \frac{u^2}{v^2}, \quad A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad N = \frac{f}{d}, \quad \eta, \quad N = \frac{v}{d}$$

Οπτική του Gauss - σύνθετοι φακοί

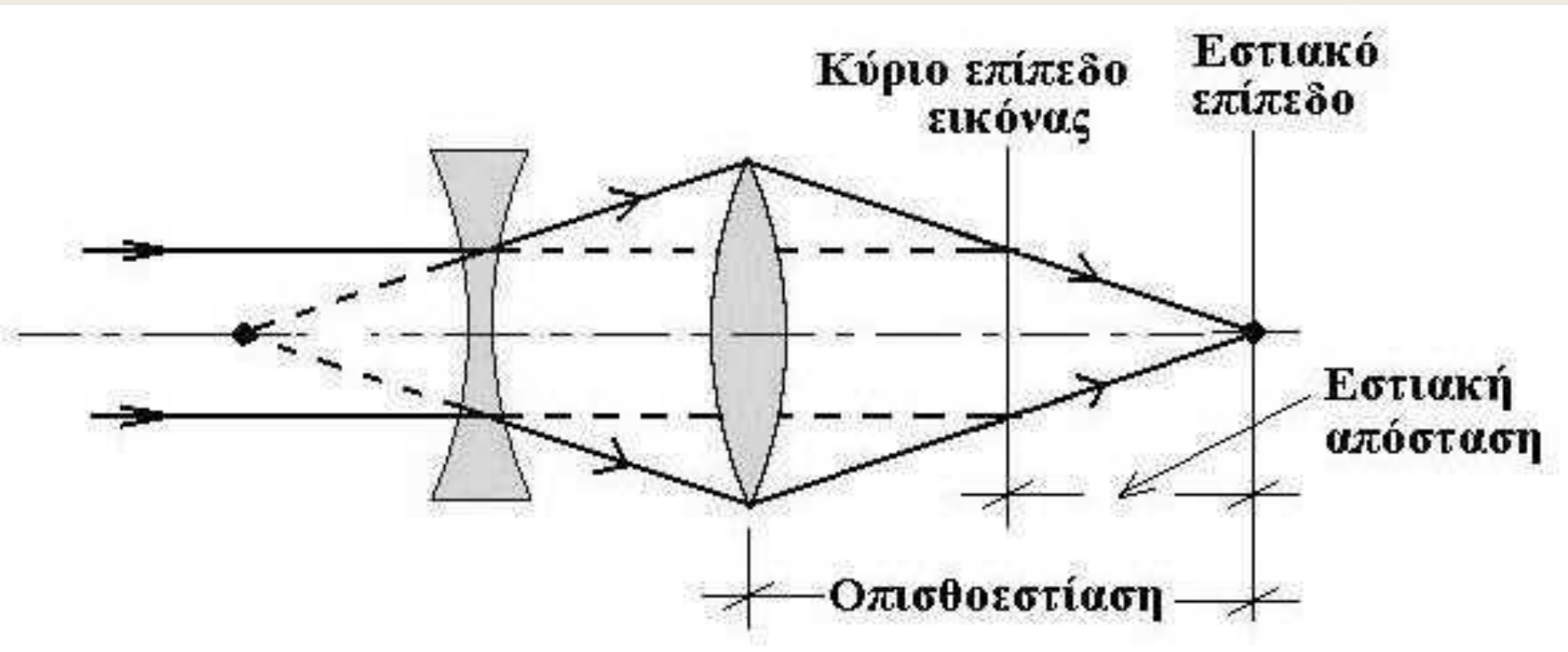


Φακοί με συγκεκριμένο πάχος υπακούουν το νόμο των φακών με την προϋπόθεση ότι οι αποστάσεις αντικειμένου και ειδώλου μετρούνται από δύο θεωρητικά επίπεδα P_1, P_2

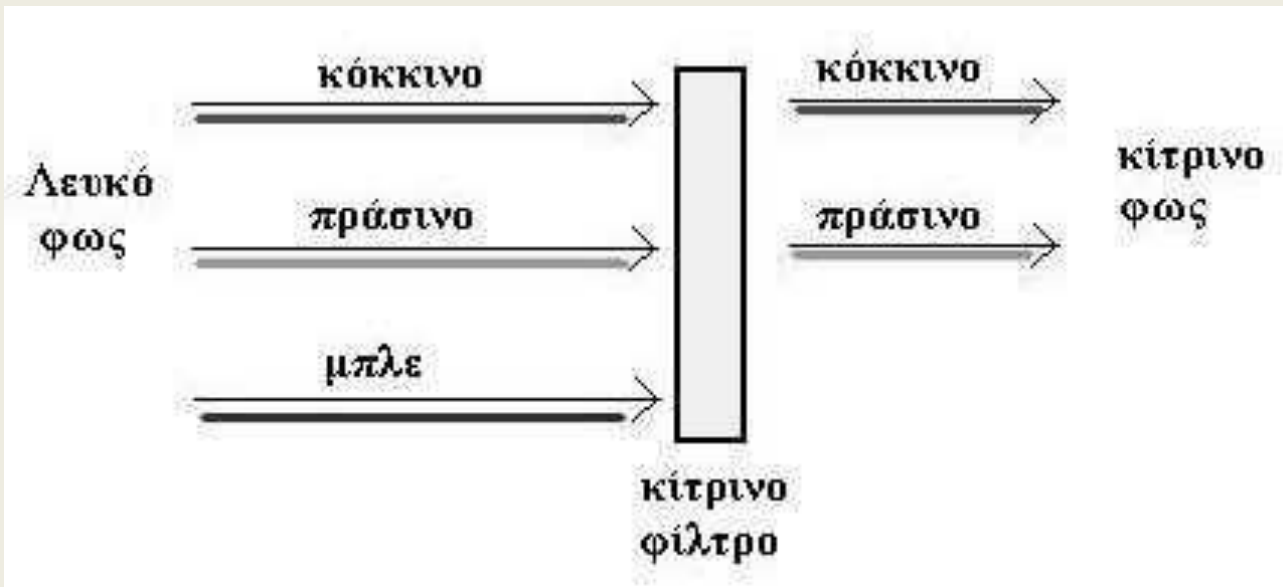
Τηλεφακός



Μακροφακός



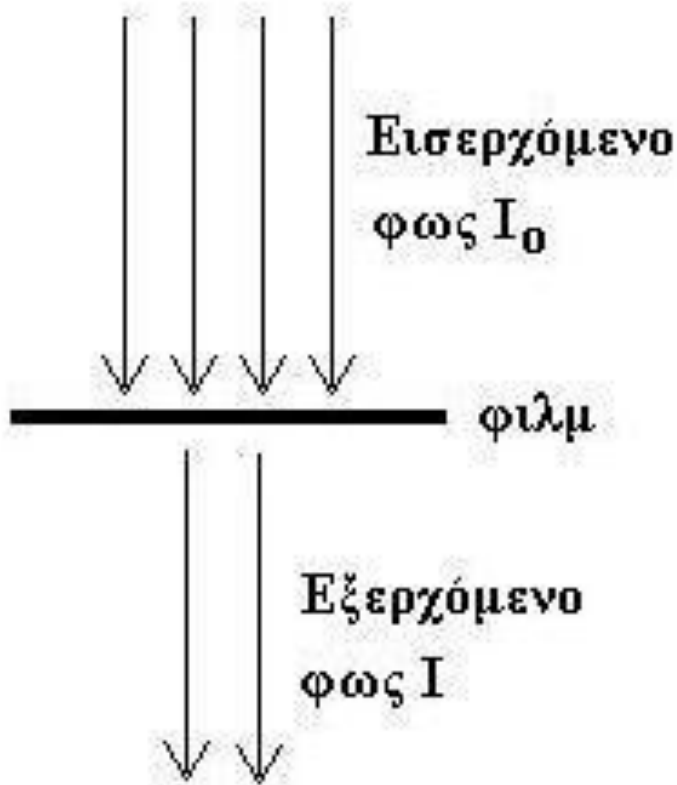
Φίλτρα



Φίλτρα αντίθεσης
Φίλτρα
διορθωτικά
Φίλτρα Πόλωσης

$$\text{Παραγοντας φίλτρου} = \frac{\text{Εκθεση με φίλτρο}}{\text{Εκθεση χωρίς φίλτρο}}$$

Διαπερατότητα, διαφάνεια και πυκνότητα



$$\text{διαπερατότητα } T = \frac{I}{I_0}$$

$$\text{Διαφάνεια} = \frac{I_0}{I}$$

$$\text{Πυκνότητα } D = \log \frac{I_0}{I}$$

Το σύστημα κλασσικής φωτογραφίας με φιλμ

Ο σκοτεινός θάλαμος

Φωτογραφικά υλικά

Η έκθεση (E) που δημιουργεί την λανθάνουσα εικόνα στο φιλμ δίνεται από τον τύπο:

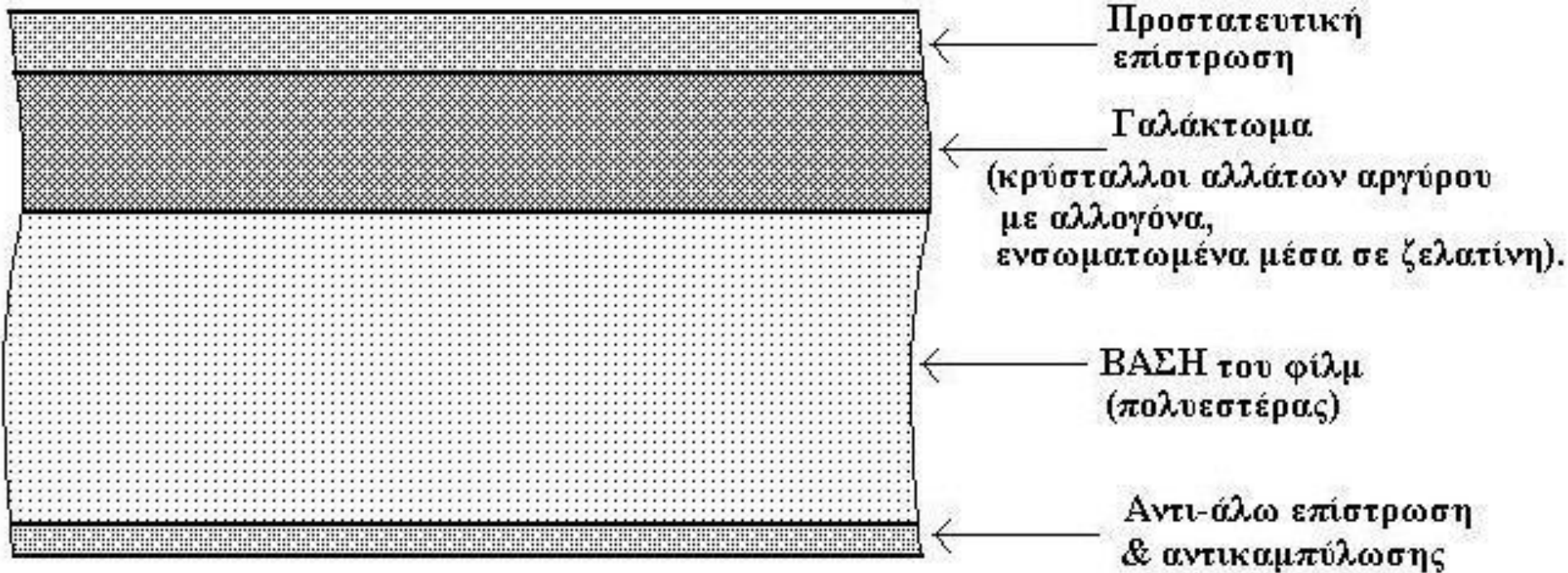
$E = L \cdot t = \text{Φωτισμός} \times \text{Χρόνος έκθεσης}$

Η έκθεση μεταβάλλεται ανάμεσα στο όριο της έκθεσης των υψηλών τόνων E_{\max} και στο όριο των χαμηλών τόνων E_{\min} , ενώ η διαφορά $E_{\max} - E_{\min}$ ονομάζεται και αντίθεση του αντικειμένου.

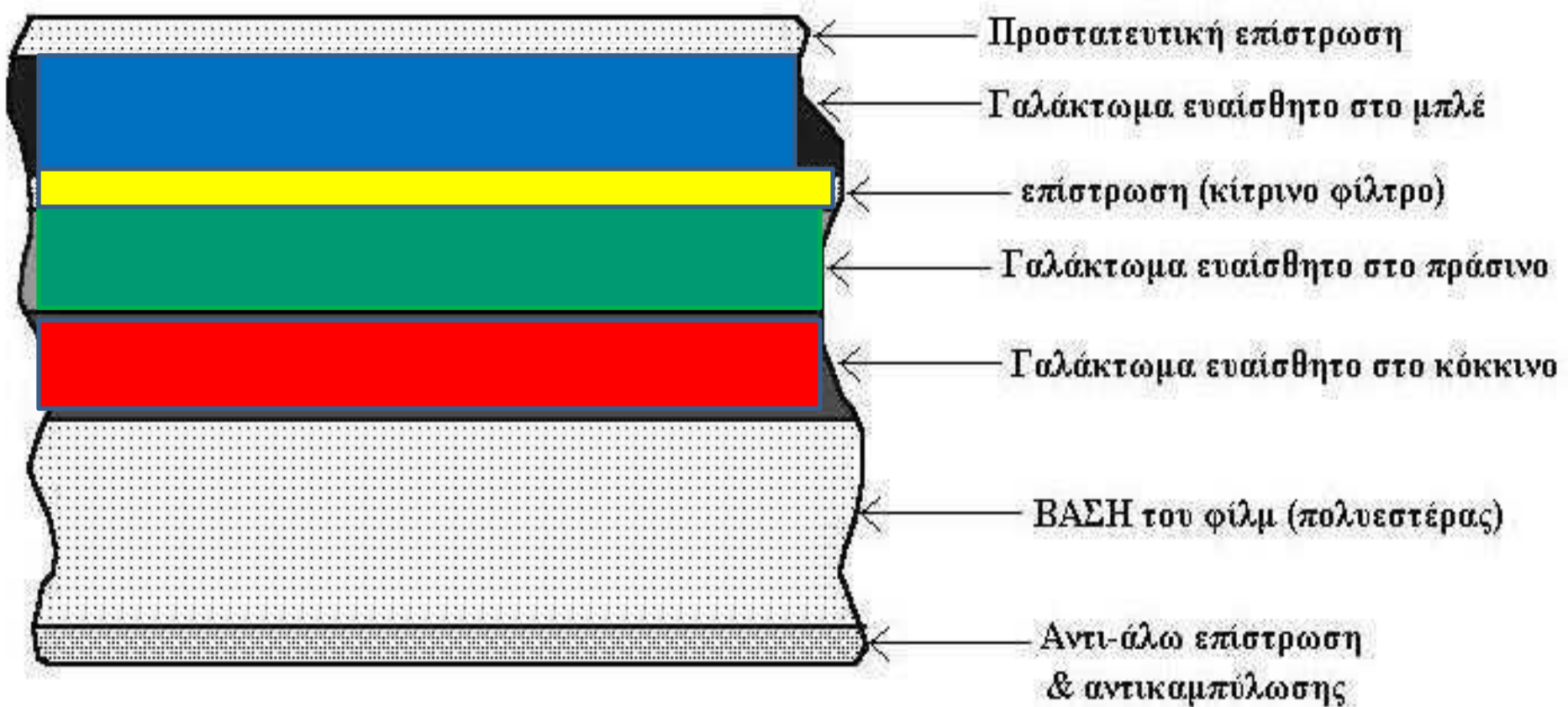
Ευαισθησία διαφόρων फिल्म σε σύγκριση με το ανθρώπινο μάτι



Τυπική τομή μαυρόασπρου φιλμ

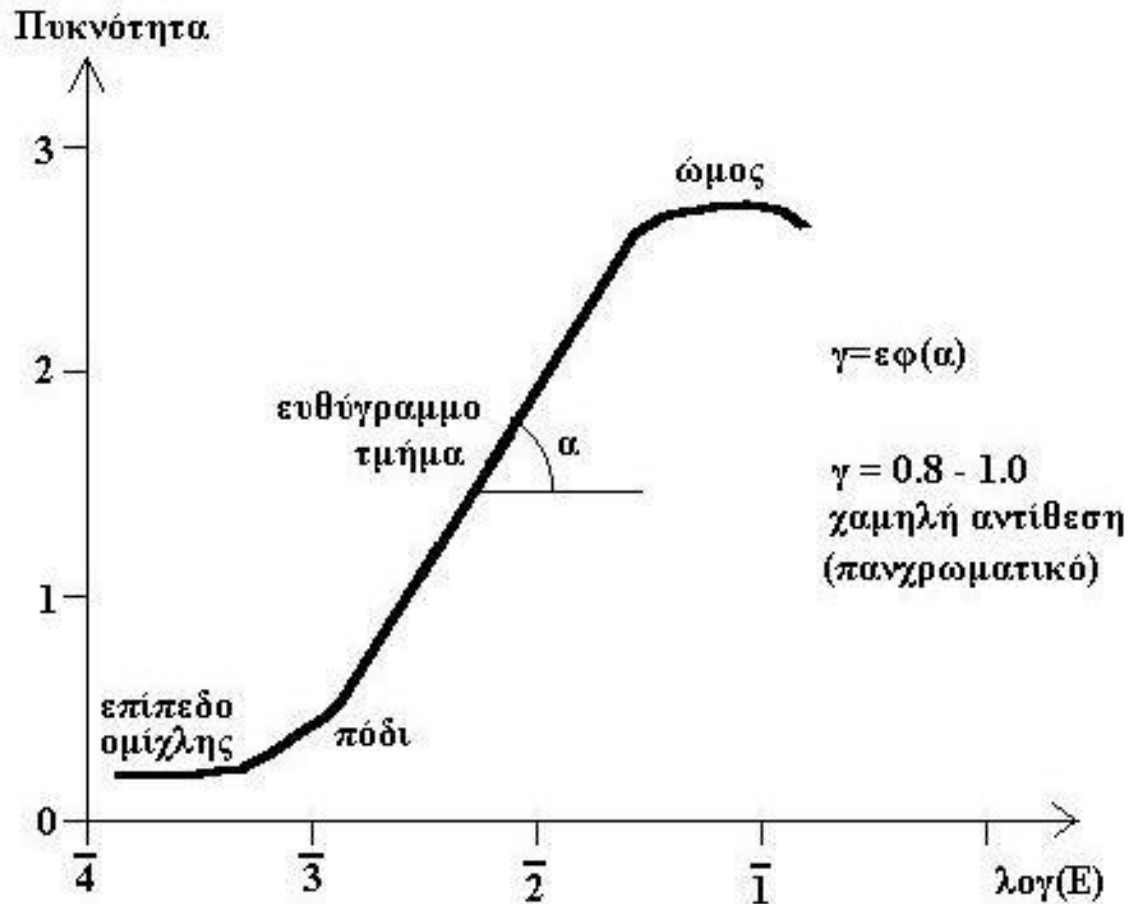


Τυπική τομή έγχρωμου φιλμ



Η χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ

$$ISO = \frac{0.8}{E_m}, \quad DIN = 10 |\log(E_m)| \quad E_m \rightarrow 0.1 \text{ πάνω από ομίχλη}$$

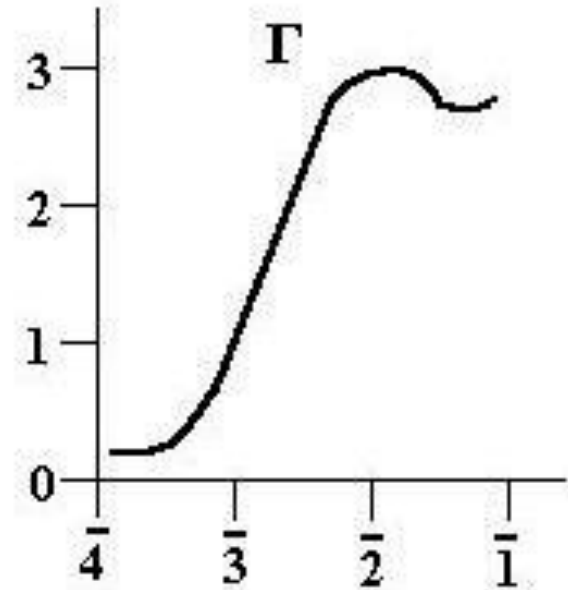
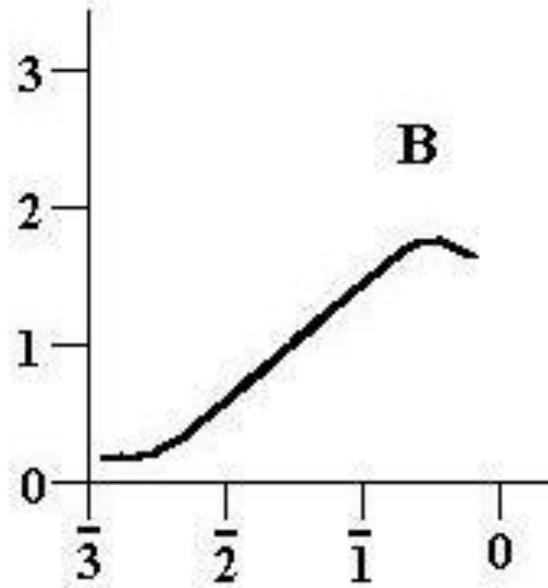
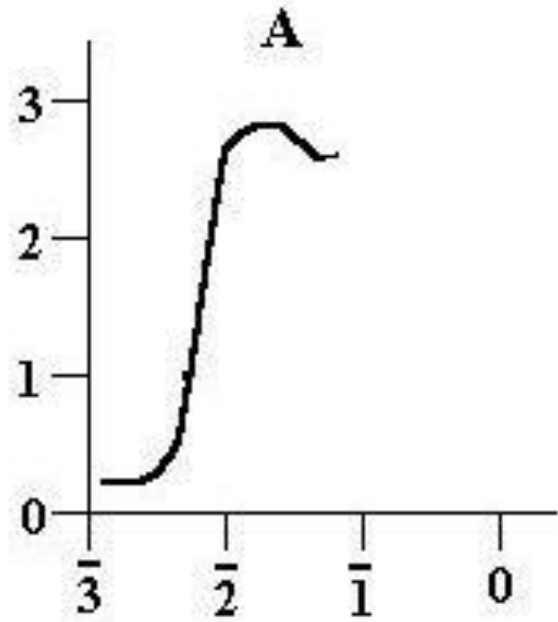


Τα φιλμ για αεροφωτογράφιση έχουν γ το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 1.2 και 2.0. Η ταχύτητα του ασπρόμαυρου φιλμ προς αεροφωτογράφιση AFS (Aerial Film Speed) είναι:

$$AFS = \frac{2}{3M}$$

$M \rightarrow 0.3$ πάνω από ομίχλη

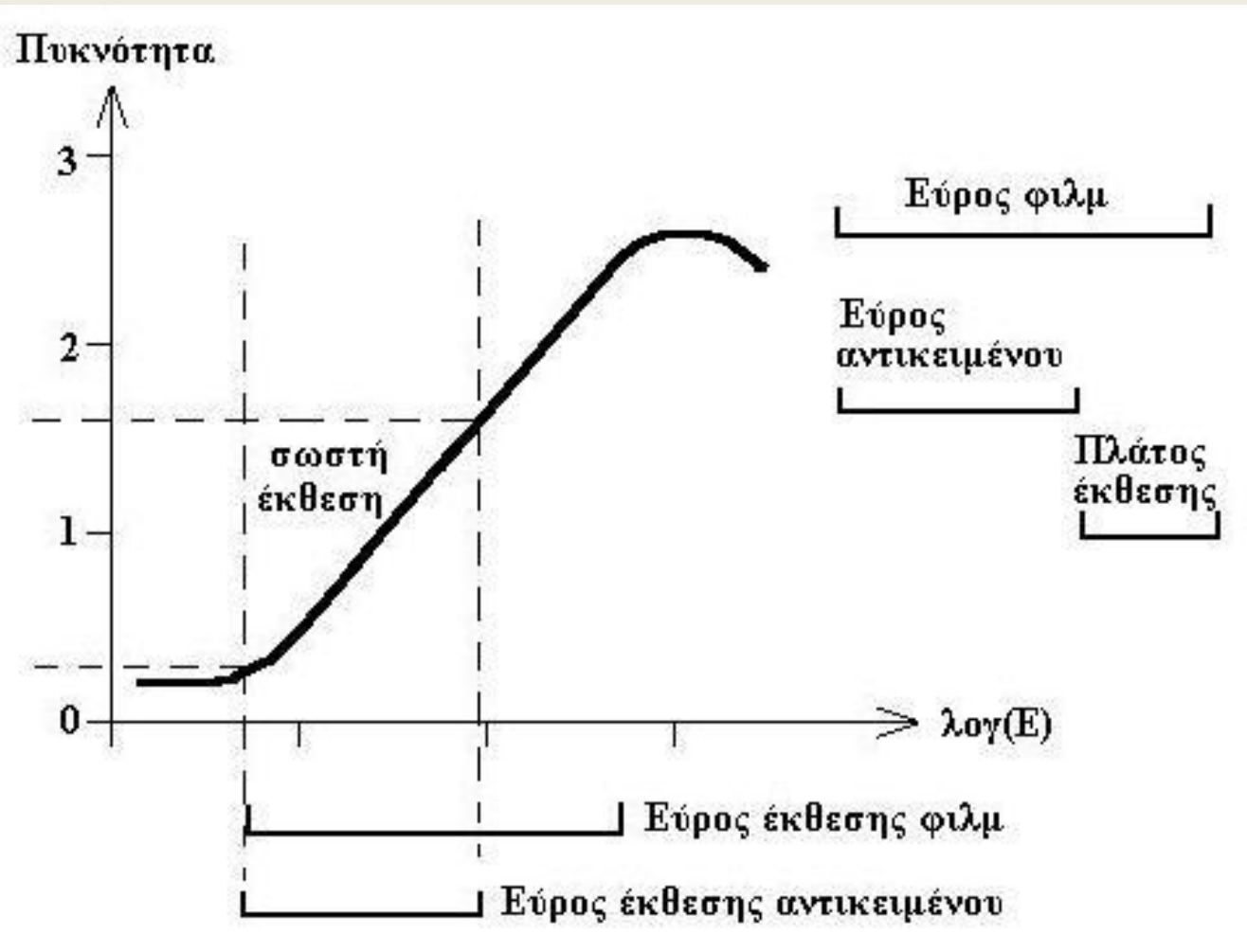
Η επιλογή του φιλμ



φιλμ (Α) με μεγάλη αντίθεση, φιλμ(Β) με μικρή αντίθεση, και φιλμ (Γ) με μεγάλη ταχύτητα

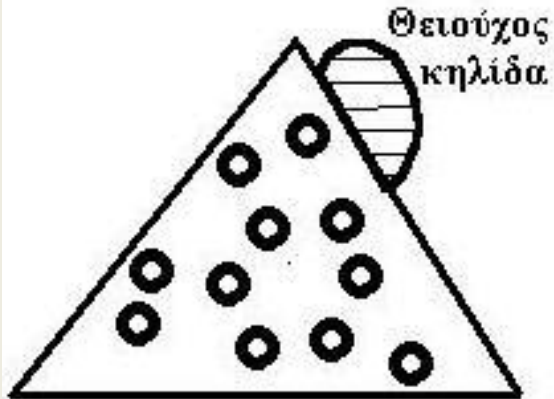
Η σωστή έκθεση

Εύρος Εκθέσεων = Έκθεση υψηλών φωτισμών - Έκθεση χαμηλών φωτισμών
Πλάτος έκθεσης = Εύρος έκθεσης φιλμ - Εύρος έκθεσης αντικειμένου

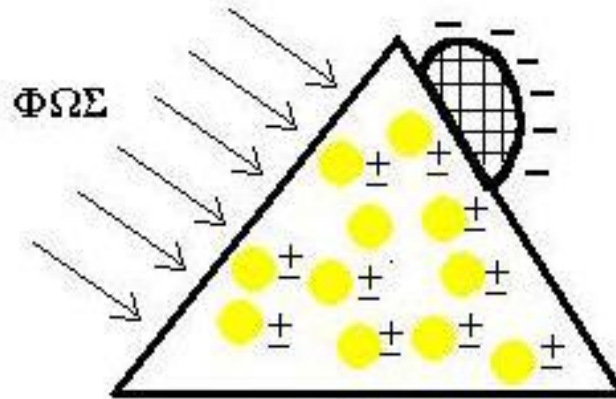


Εμφάνιση φιλμ, εκτυπώσεις

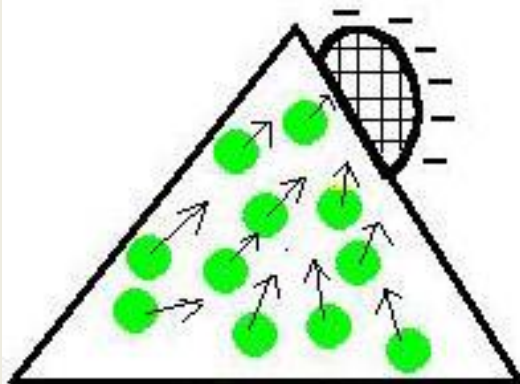
Κρύσταλλος γαλακτώματος αργύρου



κόκκος χωρίς έκθεση



έκθεση



μετακίνηση ιόντων

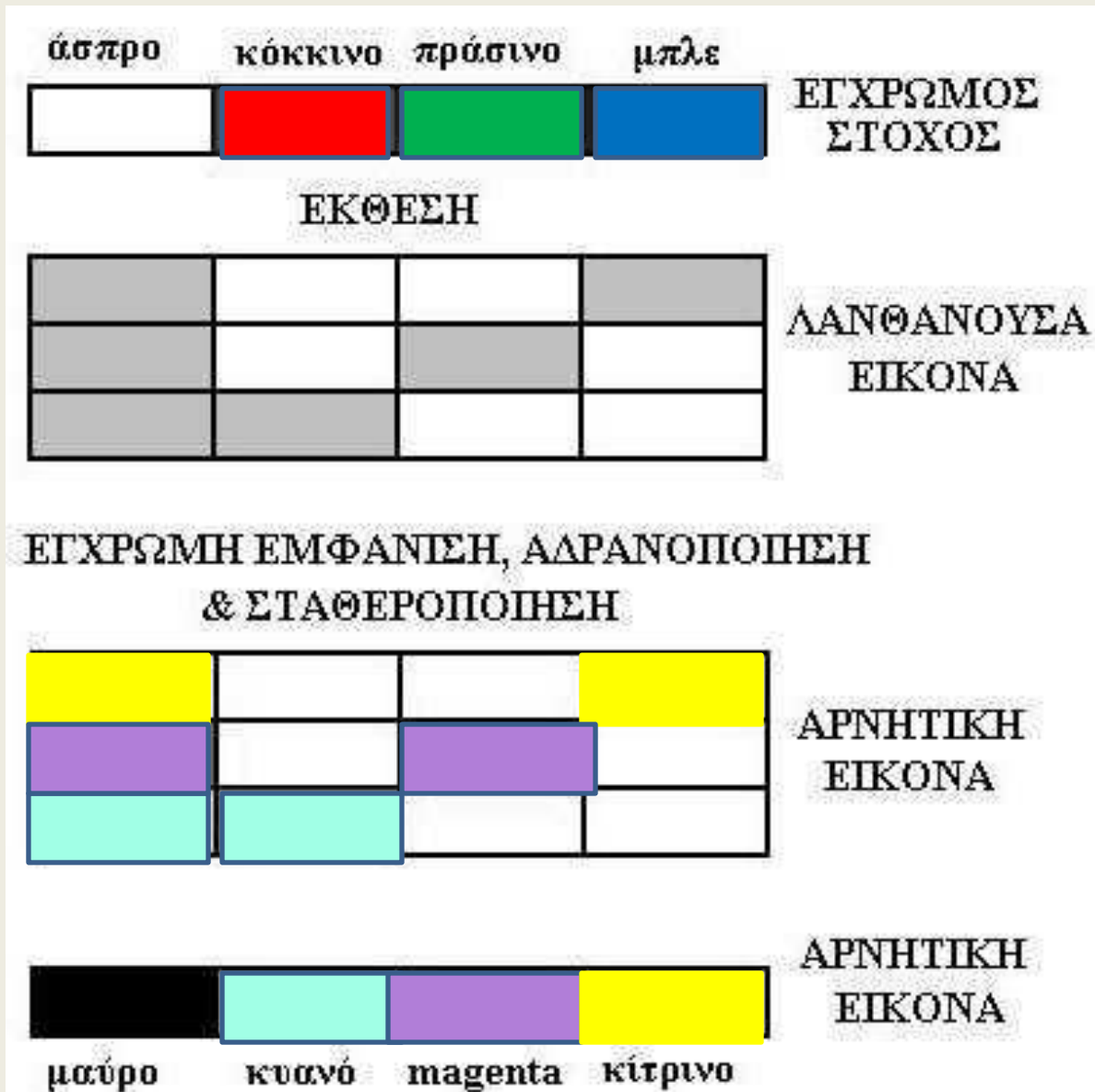


λανθάνουσα εικόνα

1. Εμφάνιση
2. Σταμάτημα της εμφάνισης
3. Σταθεροποίηση
4. Πλύσιμο
5. Στέγνωμα

Εμφάνιση έγχρωμου αρνητικού φιλμ

1. Έκθεση
2. Έγχρωμη εμφάνιση
3. Αδρανοποίηση
4. Πλύσιμο
5. Στέγνωμα

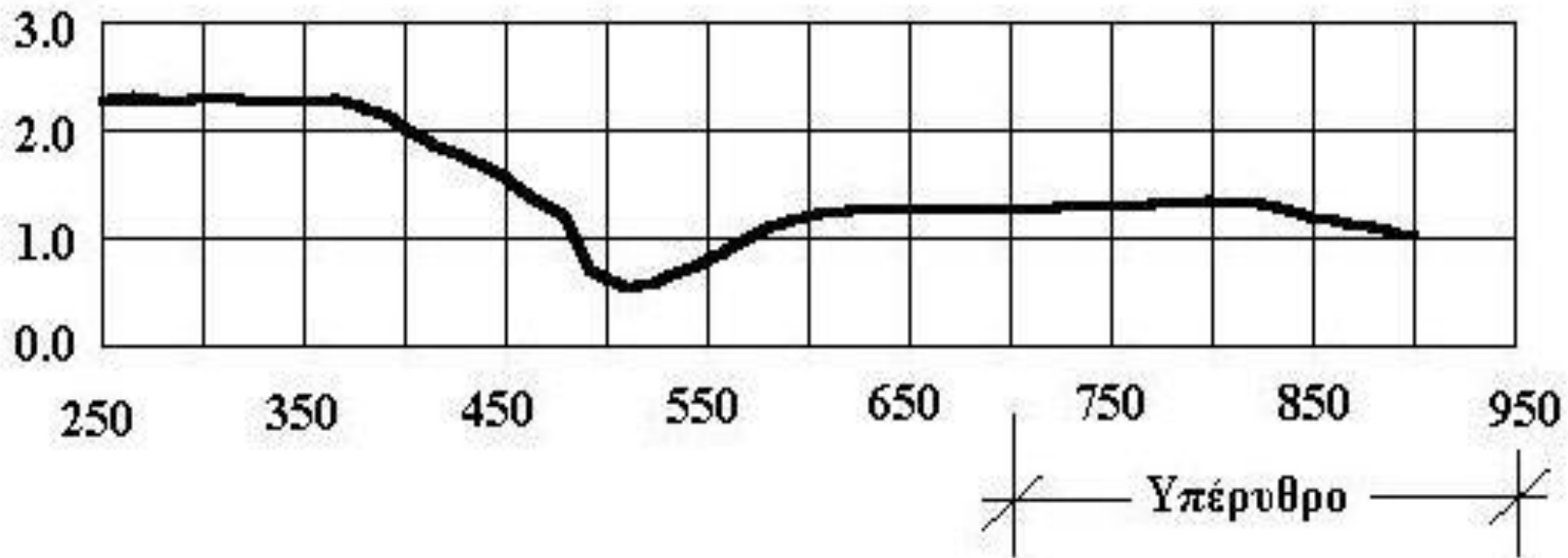


Εμφάνιση θετικού έγχρωμου φιλμ σλάιντ

1. Έκθεση
2. Εμφάνιση B&W
3. έκθεση σε λευκό φως
4. Έγχρωμη εμφάνιση
5. Αδρανοποίηση
6. Πλύσιμο
7. Στέγνωμα



Υπέρυθρη φωτογραφία



Μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει την ψηφιακή μηχανή για υπέρυθρες φωτογραφίες χρησιμοποιώντας π. χ., ένα από τα εξής υπέρυθρα φίλτρα: Kodak Wratten #89B, #88A, #87, #87B, or #87C.