

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ : ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ & ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ : ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ**

(ΦΩΤΕΠ)

(Φωτοτυπίες διαφανειών)

Δρ. Α. ΑΡΑΒΑΝΤΙΝΟΣ

Καθ. Φυσικής

ΑΘΗΝΑ 2018

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ (ΦΩΤΕΠ)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Φωτομετρία, απόδοση φωτιστικών σωμάτων, αρχή λειτουργίας, σχέση ισοφωτισμού
2. Λειτουργία ανθρώπινης όρασης, σύγκριση με φωτογραφική μηχανή
3. Περίθλαση, περιγραφή φαινομένου, φωτογραφικές επιπτώσεις
4. Πόλωση φωτός, Νόμος Malus, λειτουργία πολωτικών φίλτρων, παραδείγματα
5. Διάταξη οπτικής ίνας, Μεταφορά εικόνας, ενδοσκοπικά συστήματα
6. Χρώμα, θεωρίες χρώματος, φίλτρα, χαρακτηριστικές καμπύλες διαπερατότητας
7. Ο χρόνος στην απεικόνιση, Στροβοσκοπική φωτογραφία
8. Φωτογραφία πολύ μεγάλης ταχύτητας, οπτικές διατάξεις
9. Συμβολή φωτός, πείραμα Young, αντανάκλαστικές επιστρώσεις φακών
10. Κάμερα μικροσκοπικής οπής, υπολογισμός σωστού ανοίγματος, παραδείγματα
11. Πανοραμική φωτογραφία
12. Στοιχεία Ιατρικής φωτογραφίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ, Π. Δρακόπουλος κ.α. Σύγχρονη Γνώση, Αθήνα 2011
2. ΟΠΤΙΚΗ Κ. Δ. Αλεξόπουλος, Παν. Εκδόσεις, Αθήνα
3. LIGHT SCIENCE, Thomas D. Rossing et al., Springer 1999
4. OPTICS, E. Hecht et al., Addison, Wesley 1974
5. OPTICS IN PHOTOGRAPHY Kingslake, SPIE, 1992
6. CAMERA TECHNOLOGY, Goldberg, Acad. Press, 1992
7. COLOR AND LIGHT IN NATURE 2nd ed. D. K. Lynch et al. Cambridge Univ. Press 2001
8. INTRODUCTION TO OPTICS, F. Pedrotti et al. Prentice Hall, 1987
9. ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ, Γ. Ασημέλλης, Σύγχρονη Γνώση, Αθήνα 2005

ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

ΦΩΤΕΙΝΗ ΡΟΗ ή ΦΩΤΕΙΝΗ ΙΣΧΥΣ

$$\Phi = dE / dt$$

Lumen (Lm) ή Watt (W)

ΦΩΤΟΒΟΛΙΑ ή ΕΝΤΑΣΗ
ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ

$$I = d\Phi / d\Omega$$

Cd ή W / Sr

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

$$B = d\Phi / dS$$

Lux ή W / m²

ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ)

1. Ελάχιστη φωτεινή ροή από σημειακή πηγή προκειμένου να γίνει αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό :

$$\Phi_{\text{ελάχιστο}} = 4 \times 10^{-13} \text{ Lm}$$

Η περίπου 200 πράσινα φωτόνια / sec ($6 \times 10^{-15} \text{ W}$)

2. Φωτοβολία (ή ένταση) τεχνητών φωτεινών πηγών :

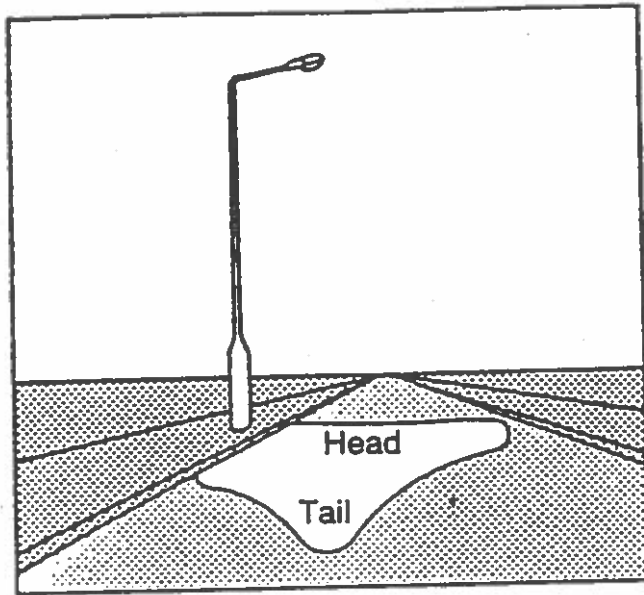
Λαμπτήρας πυρακτώσεως (100 W)	: 130 Cd
Διαφημιστικός προβολέας	: 800 Cd
Προβολέας αυτοκινήτου	: 10000 Cd
Ναυτικός φάρος	: 1500000 Cd

3. Διάφορες περιπτώσεις φωτισμού :

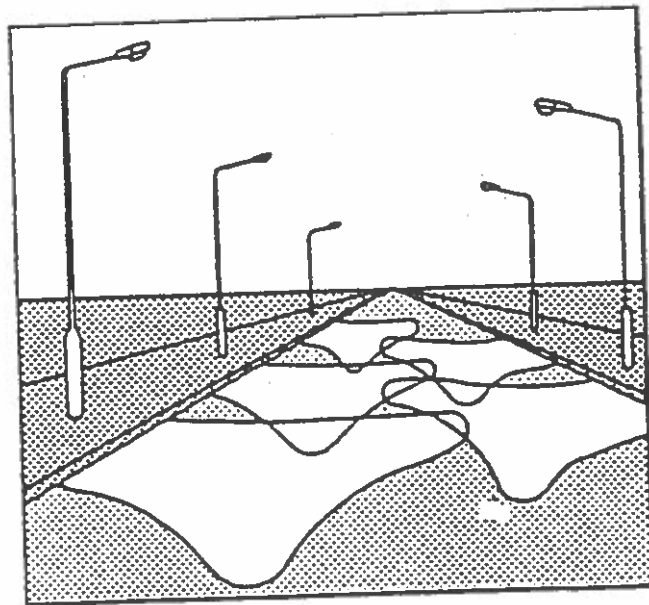
Φωτισμός στη γη από τον ήλιο	: ~ 6000 Lux
Οθόνη κινηματογράφου	: 100 Lux
Μέτριος φωτισμός αίθουσας	: 80 Lux
Φωτισμός στη γη με πανσέληνο	: 0.2 Lux

4. Περιοχές ενδεικτικών τιμών φωτισμού σε συγκεκριμένους χώρους :

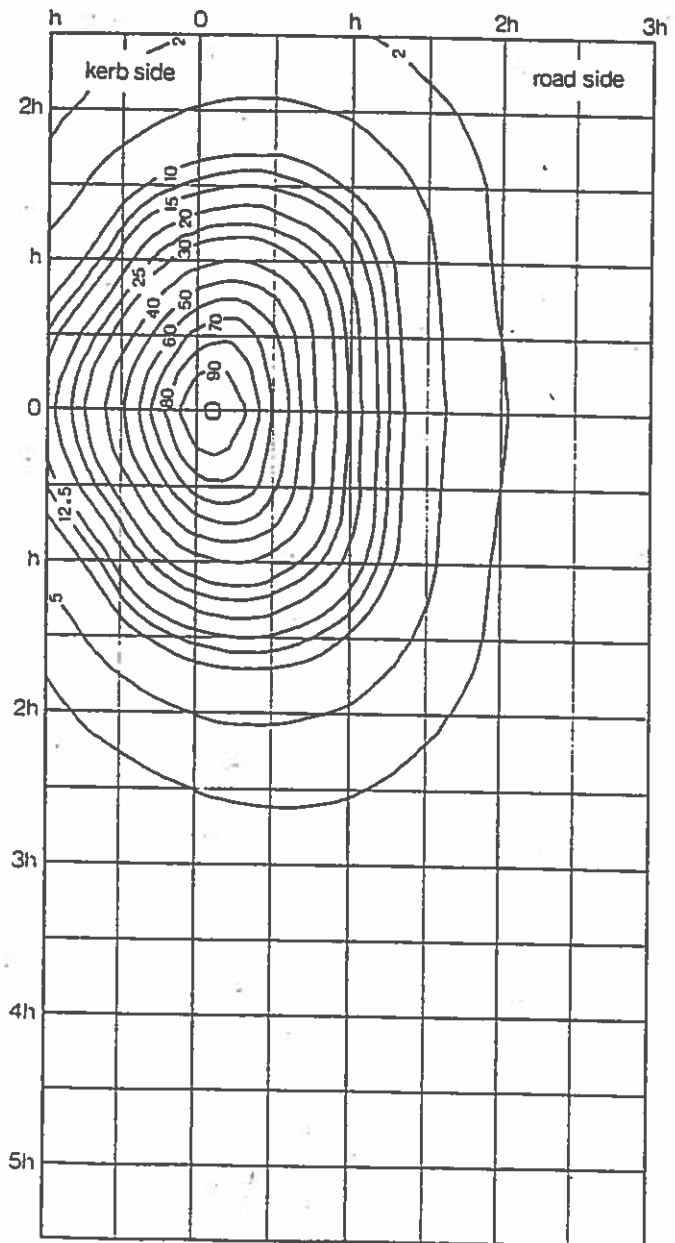
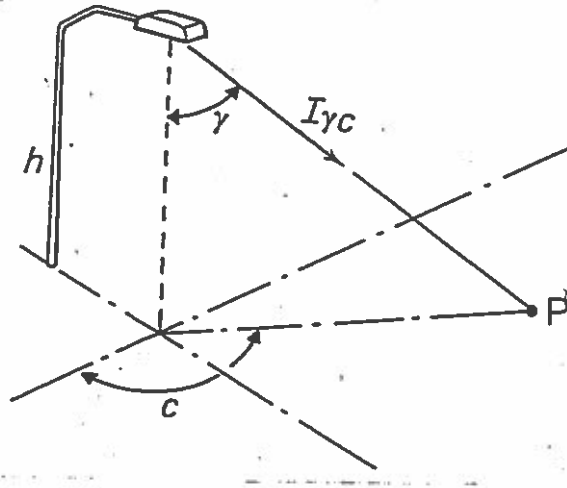
	Ελάχιστος (Lux)	Καλός (Lux)
Σπίτι		
Συνηθισμένο δωμάτιο	50	70
Γραφείο	80	120
Βιομηχανία		
Μέση εργασία	80	120
Λεπτή εργασία	120	200
Σχολείο		
Αίθουσα διδασκαλίας	80	120
Εργαστήριο	100	150
Κατάστημα		
Γενικός φωτισμός	80	150
Βιτρίνα	500	1000



Luminance patch from a single lamp

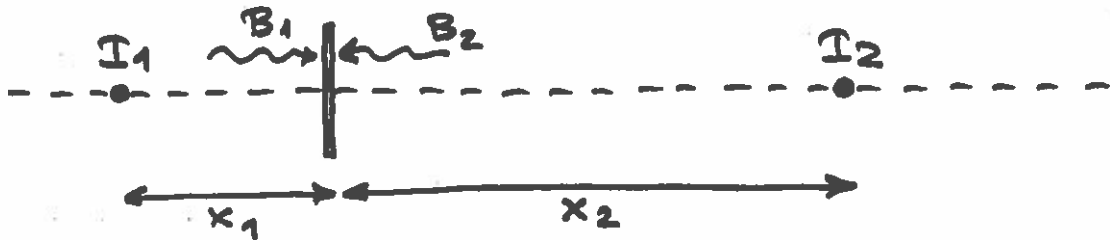


Luminance patches merging to give even lighting



ΣΥΝΘΗΚΗ ΙΣΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

(ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΓΝΩΣΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΠΛΗΞ)

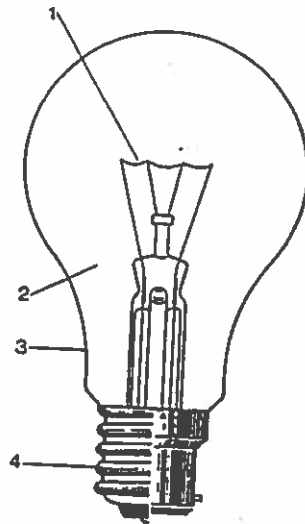


$$\text{Ισοφωτισμός: } B_1 = B_2 \text{ ή } \frac{I_1}{x_1^2} = \frac{I_2}{x_2^2}$$

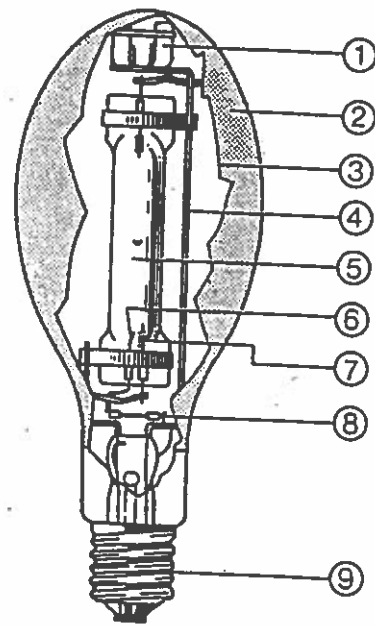
$$\text{ή } I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2$$

Εάν η Φωτεινή Πηγή 1 είναι πηγή αναφοράς με ένταση I_0 τότε η άγνωστη πηγή έχει ένταση I_x που δίνεται από τη σχέση:

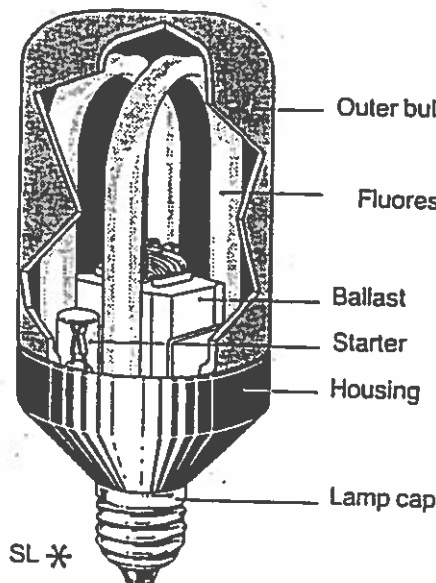
$$I_x = I_0 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2$$



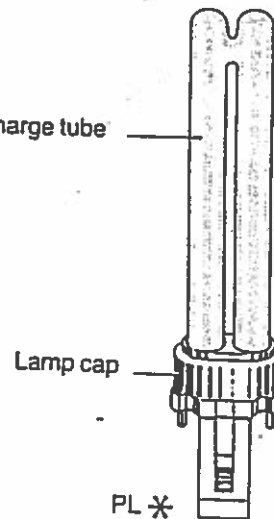
Principal parts of an incandescent lamp:
 1. Filament
 2. Fill gas
 3. Bulb
 4. Cap



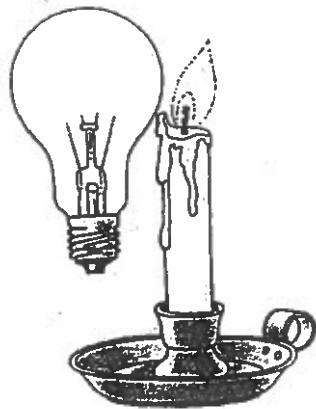
High-pressure mercury vapour lamp. 1. Support spring
 2. Uvoid hard-glass outer envelope 3. Inner phosphor coating
 4. Lead-in wire / support 5. Quartz discharge tube 6. Auxiliary
 electrode 7. Main electrode 8. Starting resistor 9. Screw base.



Principle parts of the SL * and PL * lamps.



Για φωτεινή ροή 1000 Lumens και για χρονικό διάστημα 1000 ωρών χρειάζονται οι φλόγες από 11000 κεριά ή ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως.



« Θα κάνω το φως από λαμπτήρα να κοστίζει τόσο φθηνά ώστε στο μέλλον μόνο οι πλούσιοι θα χρησιμοποιούν τη φλόγα των κεριών για να φωτίζονται ».

Thomas Alva Edison
1847 - 1931

LIGHT POLLUTION


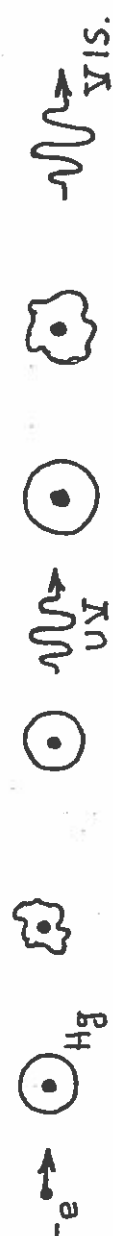

Μόλυνση στο περιβάλλον των σταθμών παραγωγής.




Οικονομία (κατανάλωση καύσιμου).

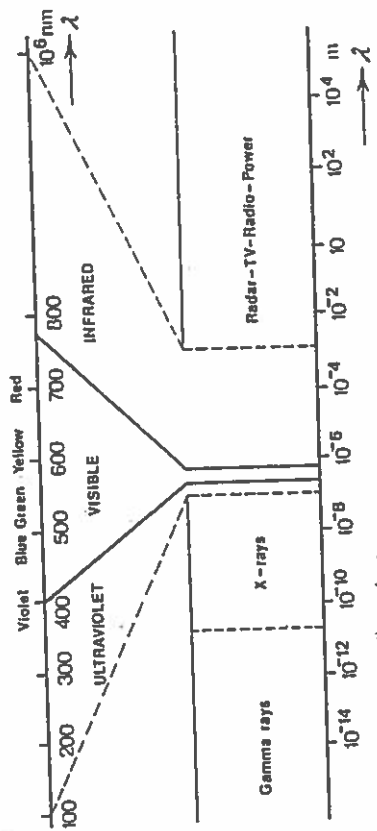
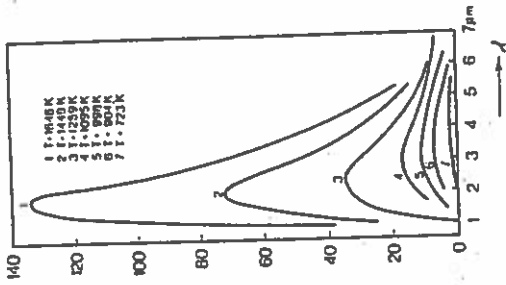
Οικολογία (θαλάσσιες χελώνες, αποδημητικά πτηνά, πυγολαμπίδες, φυλλοβόλα δέντρα, κ.α.).

Ανθρώπινος οργανισμός (έκλυση ορμόνης, οιστρογόνα, μελατονίνη).



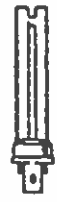
Αύξηση μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης.

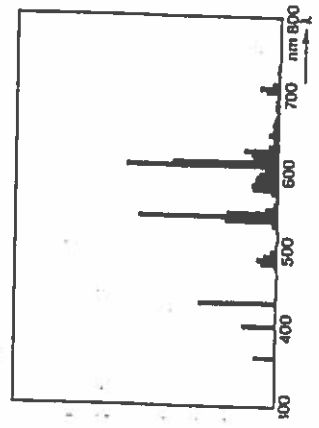
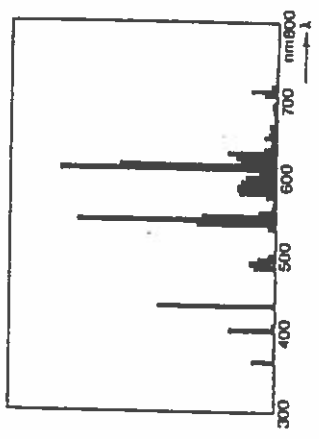
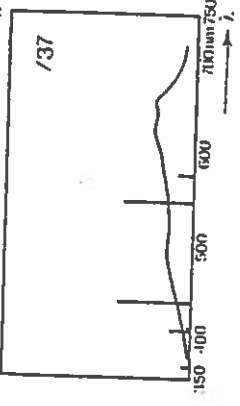
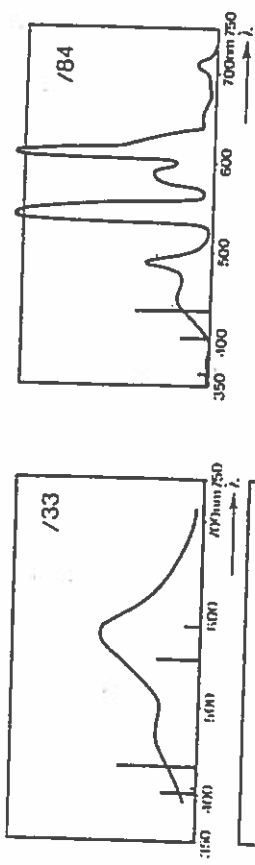
<p>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ</p>	<p>Το φως προέρχεται από την ΘΕΡΜΑΝΣΗ ενός λεπτού, μεταλλικού νήματος (σπειράμα) λόγω της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος. Πρόκειται για την αποδιέγερση μεγάλου αριθμού διηγεμένων ατόμων (ή μορίων) που αποτελούν το μεταλλικό πλέγμα του νήματος.</p> 
<p>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ</p>	<p>Το φως προέρχεται από την δημιουργία - αρχικά - υπεριώδους ακτινοβολίας σε μικρή ποσότητα αερίου (εκκένωση σε σταγόνες ατμών Hg). Στην συνέχεια η σόρατη υπεριώδης ακτινοβολία προσπίπτει σε ΦΘΟΡΙΖΟΥΣΑ ουσία την οποία και διεγείρει. Η αποδιέγερση της φθορίζουσας ουσίας γίνεται στην ορατή περιοχή του φάσματος.</p> 
<p>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ</p>	<p>Το φως προέρχεται από την συνεχή ηλεκτρική ΕΚΚΕΝΩΣΗ σε ποσότητα ιονισμένου αερίου ή ατμού. Τα άτομα του αερίου διεγείρονται και κατά την αποδιέγερσή τους ακτινοβολούν.</p> 








ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	 	Κανονικός, ανακλαστικός
		Αλογόνου

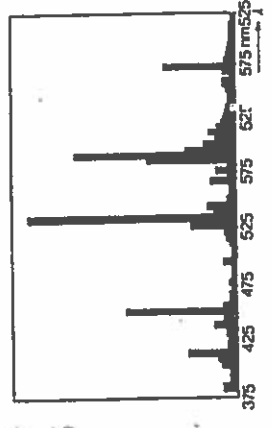
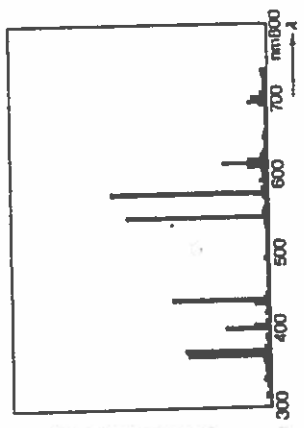
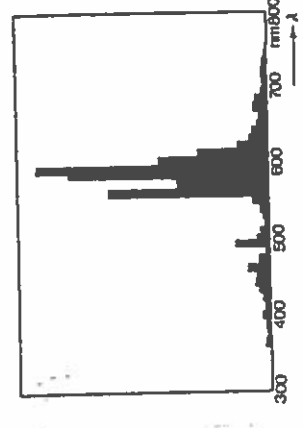
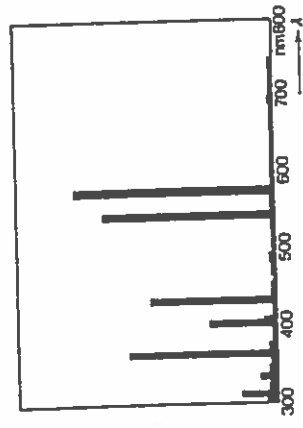
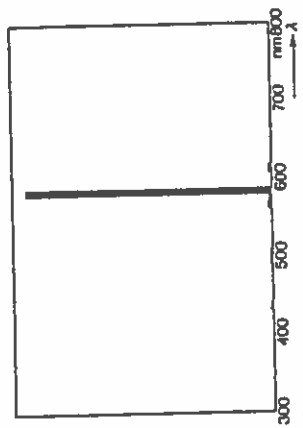


The electromagnetic spectrum.

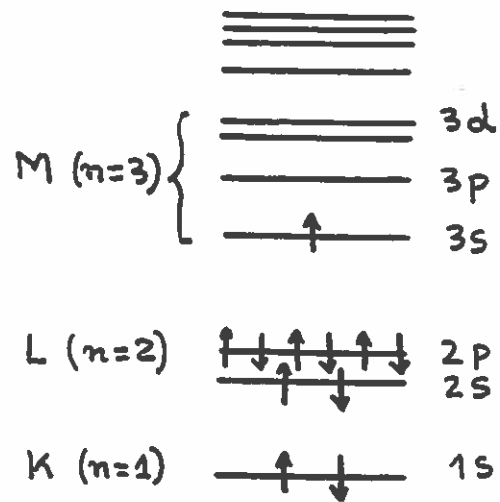
ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ	
Φθορισμού σωληνοειδής	
Φθορισμού SL*	
Φθορισμού PL*	



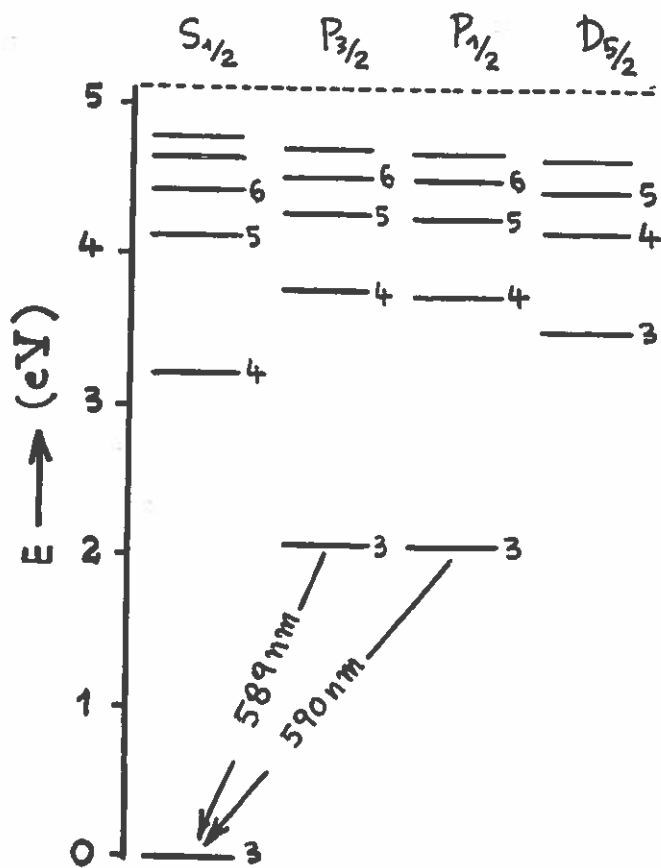
ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ			Ατμών Νατρίου
ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ			Συνδιασμένου φωτός
		 	Ατμών Υδραργύρου
ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ			Αλογονούχων Μετάλλων
		 	Ατμών Νατρίου



ΑΤΟΜΟ Na (Z=11)



Θετική ιδιότητα μαζάζουσα του ατόμου του Na
 : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$



$D_1 : 5896 \text{ \AA}$ }
 $D_2 : 5890 \text{ \AA}$ }

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (Lumen/W)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ (ώρες)	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	Κανονικός ανακλαστικός	22	1000	Εύκολη εγκατάσταση και χρήση, μεγάλη πακλία, άμεσα ξεκίνημα, χαμηλό κόστος, κατευθυνόμενη δέσμη (ανακλαστικά).	Οικιακός φωτισμός, διακοσμητικός, φωτισμός τοπικού χαρακτήρα, φωτισμός προβολής συγκεκριμένων θεμάτων.
	Αλογόνου	27	2000	Συμπαγής, μεγάλη ισχύς λευκού φωτός, εύκολη εγκατάσταση, μεγάλη διάρκεια ζωής.	Φωτισμός προβολής διαφόρων θεμάτων, έντονη φωταγωγή.
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	Φθορισμού σωληνοειδής	104	7500	Φως ευρείας επιλογής χρωμάτων, οικονομικός στην χρήση.	Εμπορικά, δημόσια κτίρια, οικιακός φωτισμός, φωτισμός δρόμων.
	Φθορισμού SL*	50	5000	Ιδιαίτερα αποδοτικός, αντικαθιστά άμεσα τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.	Οι ίδιες με τις εφαρμογές των λαμπτήρων πυρακτώσεως.
	Φθορισμού PL*	80	5000	Συμπαγής μηχανισμός μικρού όγκου, μεγάλη διάρκεια ζωής, ενεργειακά πολύ αποδοτικός.	Δημιουργεί ευχάριστη ατμόσφαιρα, σε δημόσιους χώρους, σήματα ασφαλείας, προσαυτολήμιθου.
	Αιμίων Νατρίου	200	10000	Ιδιαίτερα αποδοτικός, μεγάλη διάρκεια ζωής, Προσφέρει οξυγόνια οράσεως, σχεδόν μονοχρωματικό φως, μικρή χρωματική πιστότητα.	Πολλές εφαρμογές διαφορετικού χαρακτήρα. Ιδιαίτερη χρήση σε περιπτώσεις όπου η οικονομία προέχει ενώ η έλλειψη χρωματικής πιστότητας δεν ενοχλεί.
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ	Συνδισαμένου φωτός	28	5000	Μεγάλη διάρκεια, μεγάλη χρωματική πιστότητα, εύκολη εγκατάσταση, καλή απόδοση.	Άμεση αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως, εγκαταστάσεις σε κήπους.
	Αιμίων Υδραργύρου	63	12000	Μεγάλη απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής, μέτρια χρωματική πιστότητα.	Φωτισμός οικιστικών περιοχών, γηπέδων, εγκαταστάσεων βιομηχανίας.
	Αλογονούχων Μετάλλων	94	6000	Μεγάλη τιμή απόδοσης, μεγάλη διάρκεια ζωής, πολύ καλή χρωματική πιστότητα.	Φωτισμός λεωφόρων, έντονη φωταγωγή, φωτοβολήση εγκαταστάσεων κτηνοτροφικής.
	Αιμίων Νατρίου	125	12000	Μεγάλη απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής, καλή χρωματική πιστότητα.	Δημόσιος, βιομηχανικός φωτισμός, άμεση αντικατάσταση των λαμπτήρων υδραργύρου.
	Χαμηλής Πίεσης				

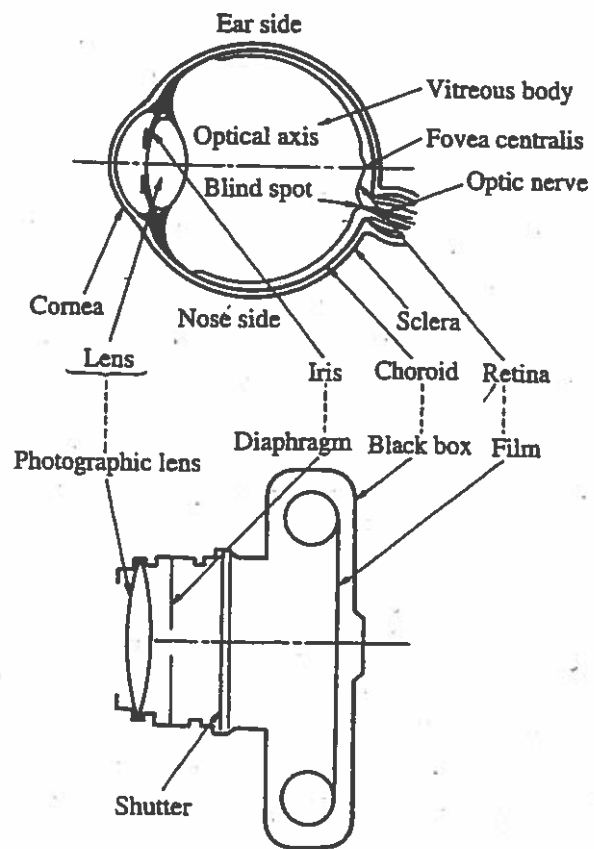
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

- Ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας (Watt)
- Συνολική παραγόμενη φωτεινή ροή (Lumen)
- Φωτεινή απόδοση (Lumen / Watt)
- Χρωματική πιστότητα
- Κόστος αγοράς – εγκατάστασης
- Κόστος λειτουργίας
- Διάρκεια ζωής
- Αξιοπιστία λειτουργίας
- Ασφάλεια στην χρήση (ηλεκτρική – θερμική μόνωση)
- Εργονομία σχεδίασης (μέγεθος – βάρος)
- Επιλογή χρωματισμού
- Γεωμετρία προσφερόμενης φωτεινής δέσμης
- Ευκολία στην συντήρηση ή και αντικατάσταση
- Δυνατότητα αυξομείωσης φωτεινής έντασης
- Συμβατότητα σε προϋπάρχουσα εγκατάσταση
- Ανθεκτικότητα κατασκευής
- Αισθητικό αποτέλεσμα εμφάνισης
- Οικολογική συμπεριφορά (υλικά κατασκευής – φάσμα εκπομπής)
- Ποικιλία εφαρμογών

COMPARISON OF THE EYE/BRAIN AND CAMERA/FILM COMBINATIONS

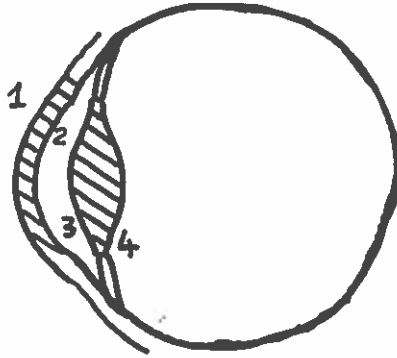
Feature	Average eye/brain combination	Typical camera-film combination
Focal length	17mm or 60 dioptres	2 to 2000mm range
Aperture range	<i>f</i> 2 to <i>f</i> 8	In the range of <i>f</i> 0.5 to <i>f</i> 250
Angle of view	120° for horizontal binocular vision	Standard lens about 50°. Range of 1° to 220° used
Stereoscopic image	Normal condition of vision over range of 0.25 to 500m	Special camera or techniques required
Focusing range	Normal range of 0.25m to ∞	Most lenses have range 1m to ∞ but closer focus is common
Resolving power	Variable over the retina	Almost uniform over the image area. May be very high
Spectral sensitivity	Non uniform over visible spectrum 400 to 700nm	Reasonably uniform over a selected wavelength range. Ultra-violet and infra-red sensitivity is possible
Light sensitivity	Very high after dark adaptation occurs. No accumulative effect with time	Great range of film speeds possible. Light has an accumulative effect on film, i.e. 'integrates'
Colour recording	Normal condition by cone vision	Colour materials or elaborate optical arrangements to analyse image are needed
Aberrations	Adequately corrected for use	Correction of even simple aberrations is costly and complicated in lens design
Access time to image	Short, less than 0.1 sec.	Processing of sensitised material required. Video recording gives good access time
Permanence of image or record	Transient or stored in unreliable memory	Can be of archival quality and information is not lost with age
Environmental problems	Recording limited to human endurance	Few restrictions on conditions of use if correctly designed
Size	Human dimensions	Large range of sizes of cameras
Useful life	Long, but properties deteriorate with age	Shelf life of materials
Power source	Eye can fatigue rapidly under some conditions	Usual restrictions and limitations of battery power
Type of detector system	Detects light intensities, i.e. amplitude information	Detects light intensities but holography gives phase information also

Camera	Eye
Black box	Sclera and choroid
Lens	Cornea and lens
Shutter	Eyelid
Diaphragm	Iris
Film	Retina



Structure of eye and camera

ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



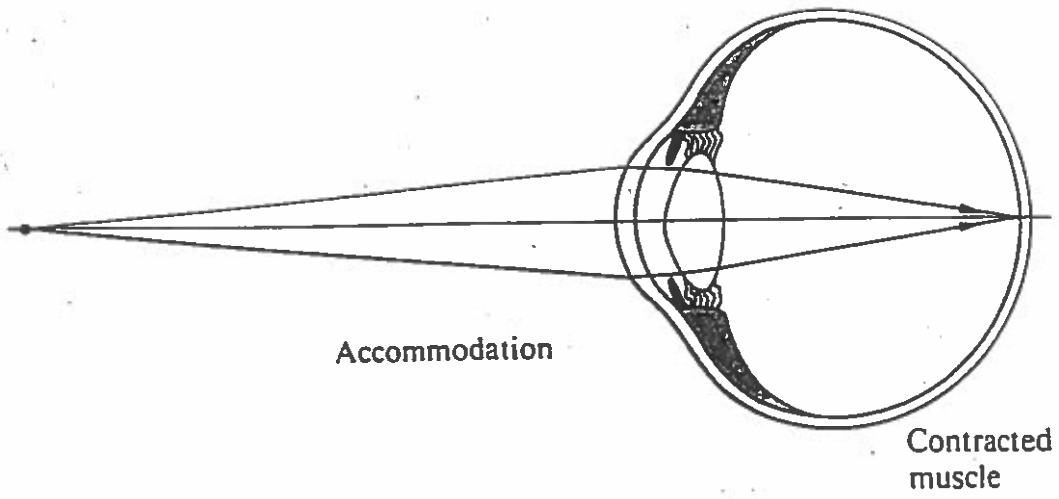
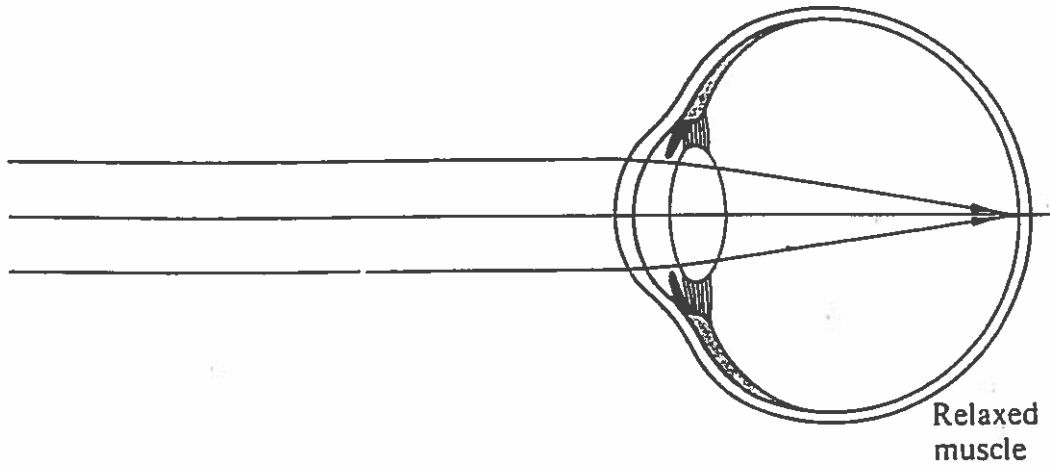
ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ $\rightarrow R_1 = 7.7 \text{ mm}$ $n \approx 1.38$
 $\rightarrow R_2 = 6.8 \text{ mm}$

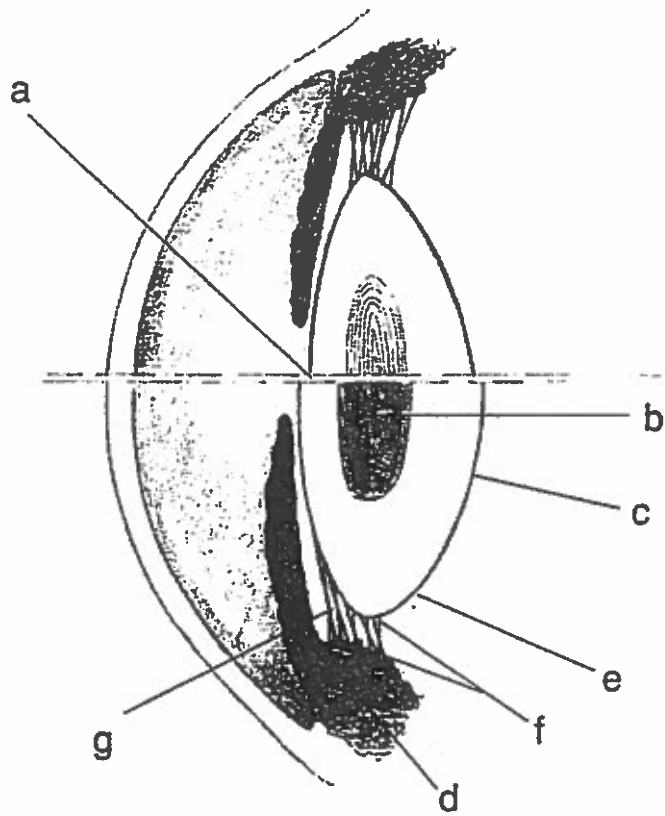
ΥΔΑΤΟΕΙΔΕΣ ΥΓΡΟ $n \approx 1.34$

ΚΡΥΣΤΑΛΟΕΙΔΗΣ $\rightarrow R_3 \approx 10 \text{ mm}$ $n \approx 1.45$
 $\rightarrow R_4 \approx -6 \text{ mm}$

ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ \rightarrow FRONT SURFACE = $\frac{1.38 - 1.00}{+0.0077} \approx 49.4 \text{ D}$ }
BACK SURFACE = $\frac{1.34 - 1.38}{+0.0068} \approx -5.9 \text{ D}$ }

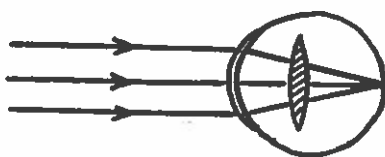
ΚΡΥΣΤΑΛΟΕΙΔΗΣ \rightarrow FRONT SURFACE = $\frac{1.45 - 1.34}{+0.01} \approx +11.0 \text{ D}$ }
BACK SURFACE = $\frac{1.34 - 1.45}{-0.006} \approx +18.3 \text{ D}$ }





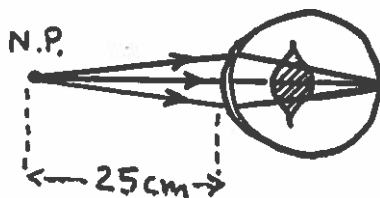
NORMAL EYE

OBJECT AT INFINITY



NO ACCOMMODATION

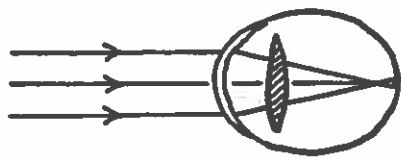
OBJECT AT NEAR POINT



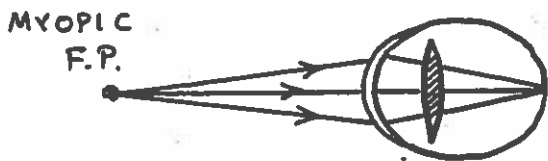
FULL ACCOMMODATION

MYOPIC EYE

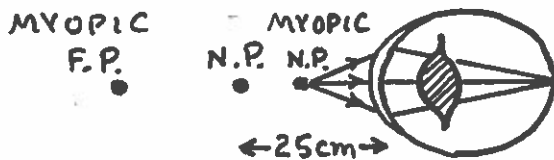
UNAIDED



NO ACCOMMODATION

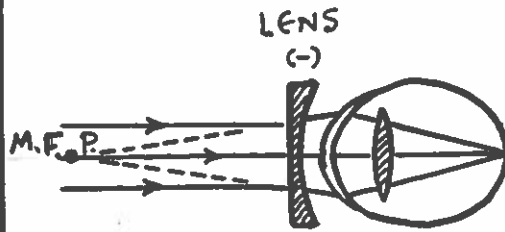


NO ACCOMMODATION



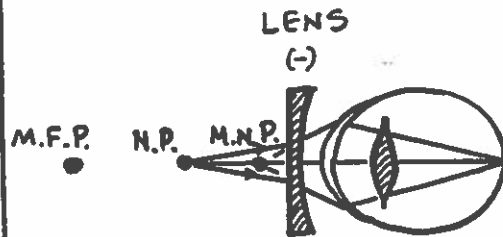
FULL ACCOMMODATION

CORRECTED



NO ACCOMMODATION

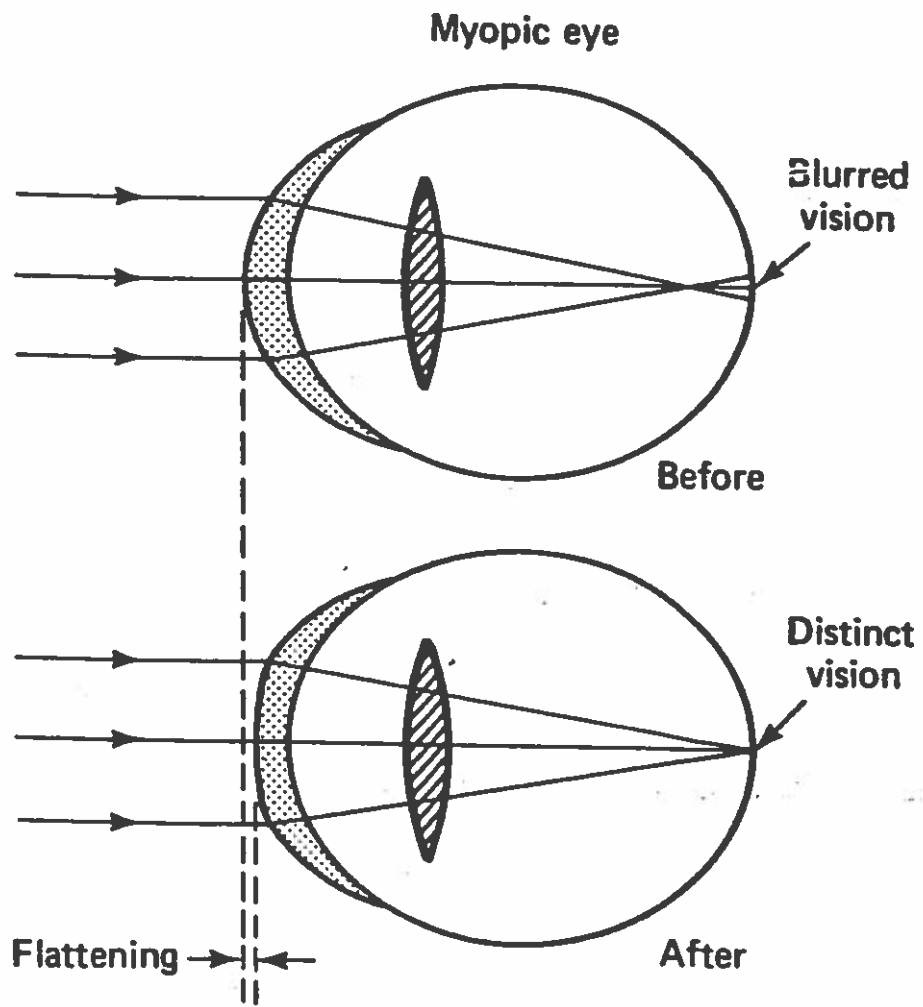
Το ∞ και το M.F.P. ΣΥΖΥΓΗ ΣΗΜΕΙΑ



PARTIAL ACCOMMODATION

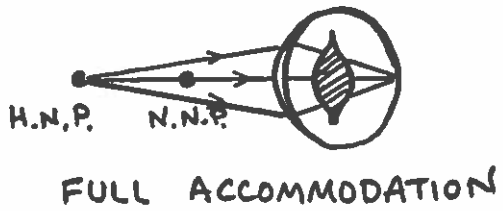
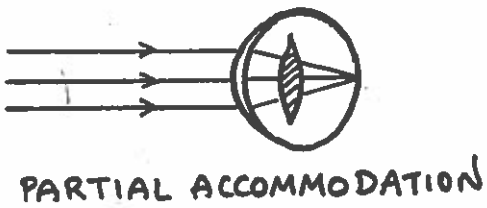
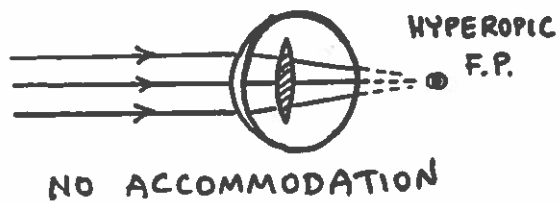
Τα N.P. και M.N.P. ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΣΥΖΥΓΗ ΣΗΜΕΙΑ

[Το είδωλο αριστερά του M.N.P.]

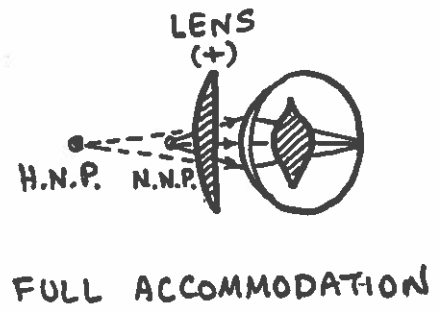
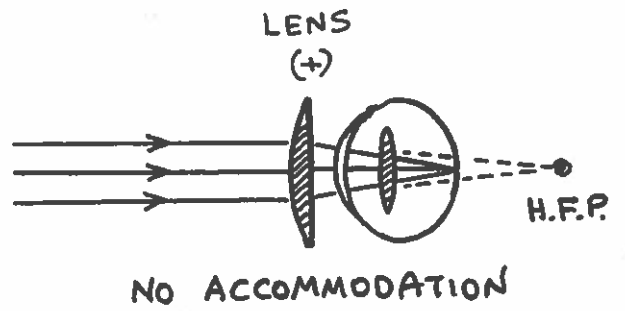


HYPEROPIC EYE

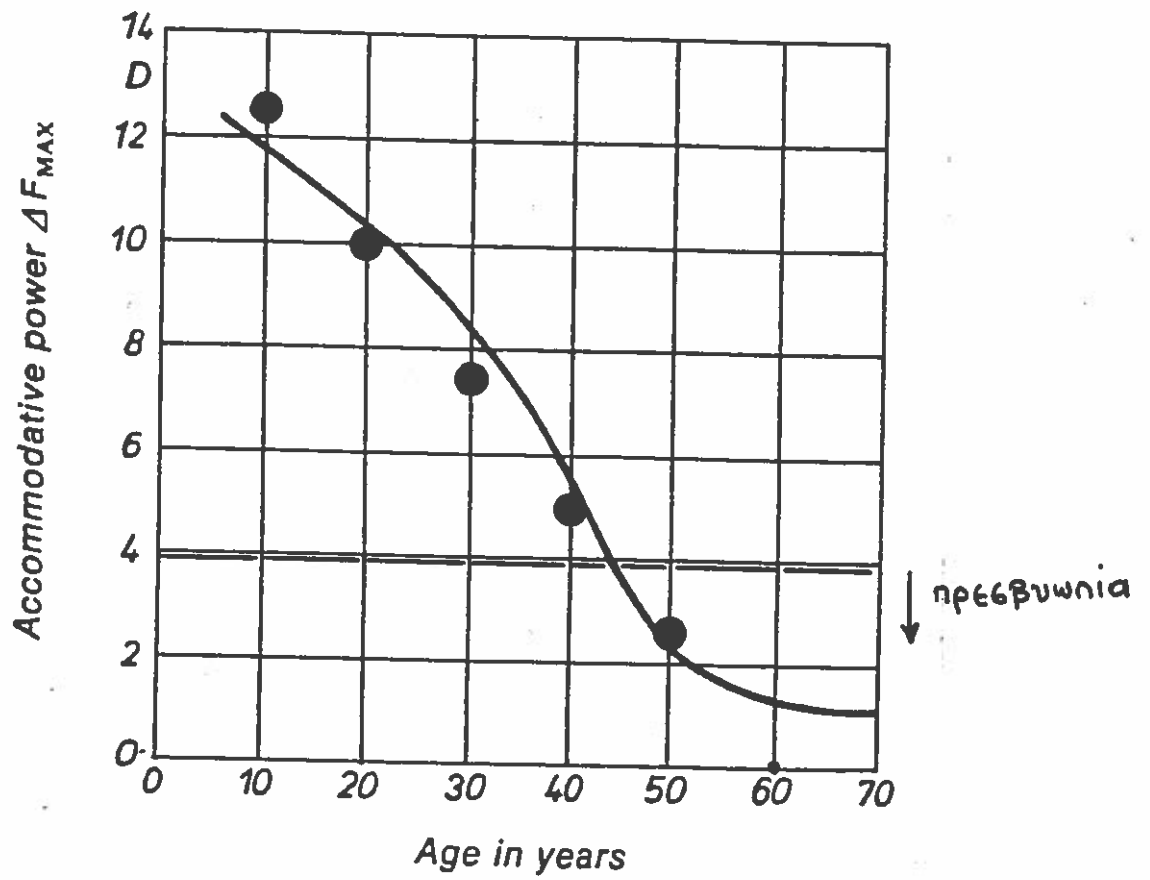
UNAIDED



CORRECTED

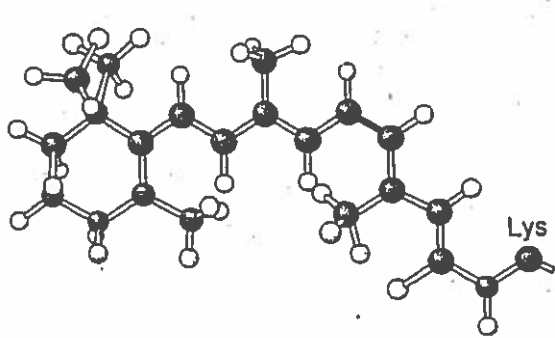
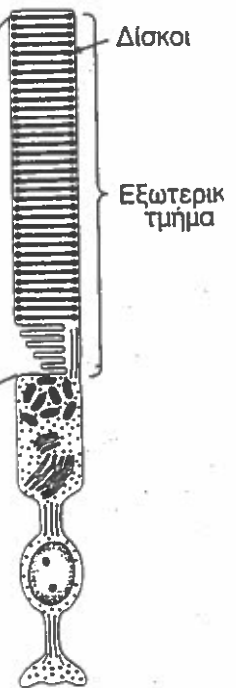
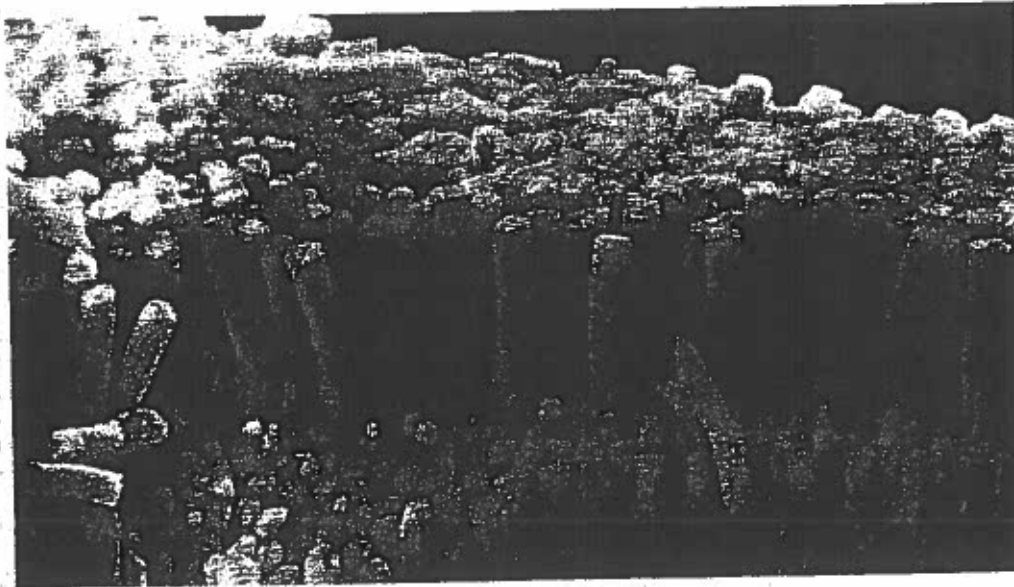


H.N.P. \equiv Hyperopic Near Point
 N.N.P. \equiv Normal Near Point
 H.F.P. \equiv Hyperopic Far Point



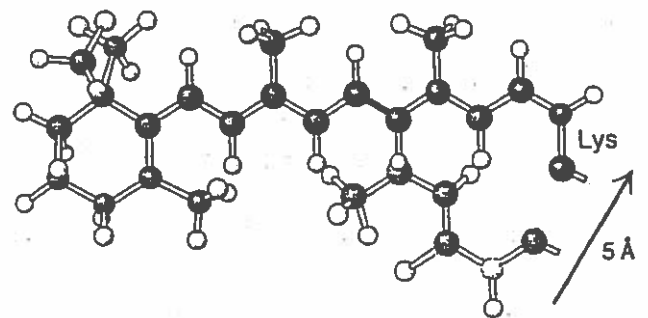
accommodation ~ προσαρμογή.

<p>ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ (Dpt)</p>	$= 15 - \frac{\text{Ηλικία (years)}}{4}$
---	--

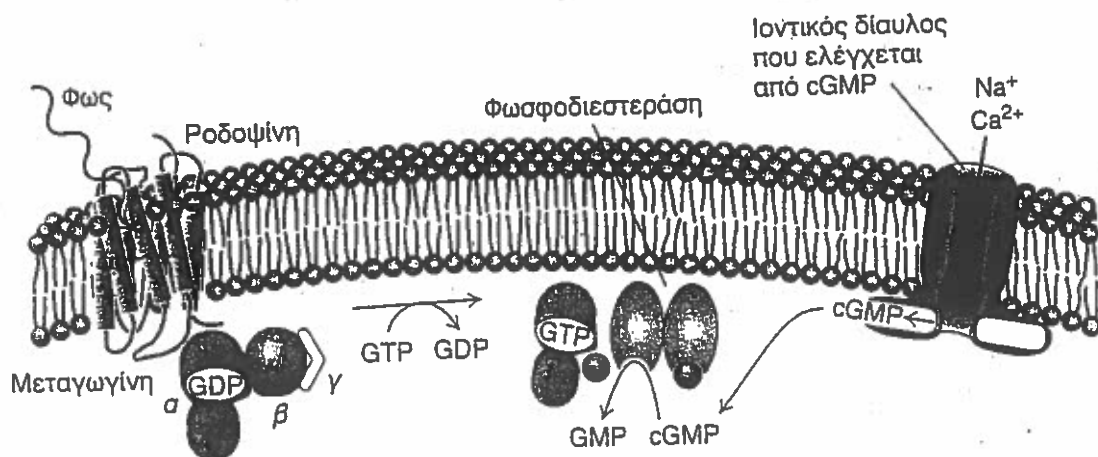


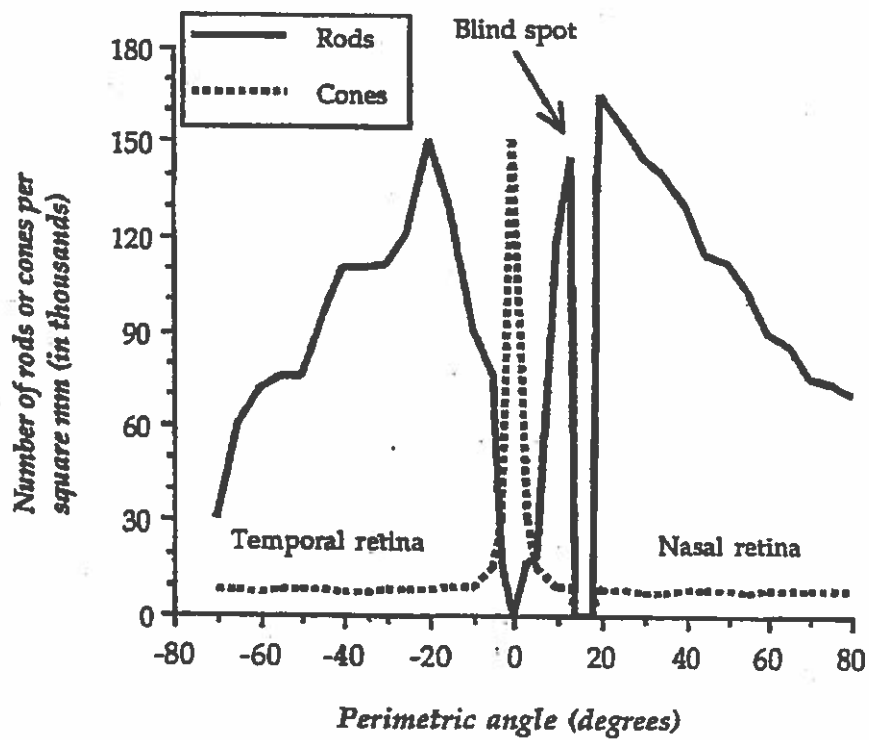
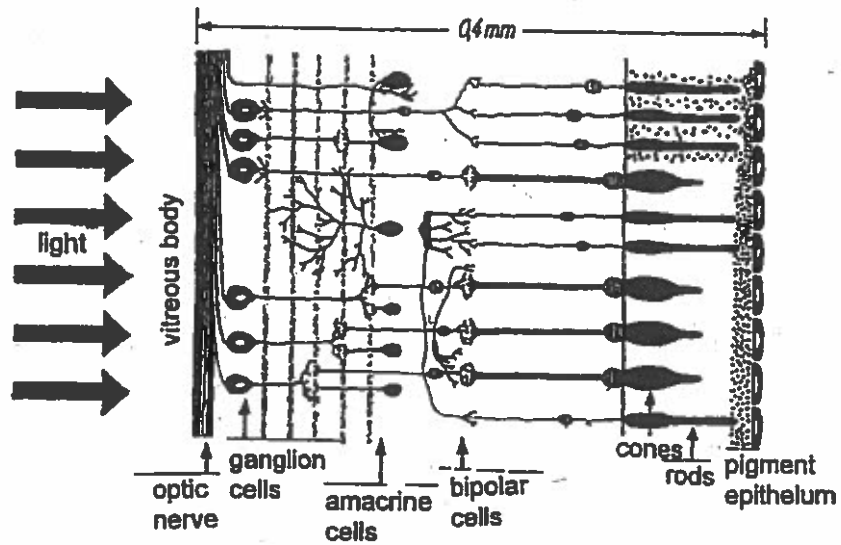
11-*cis*-ρετινάλη

Φως →

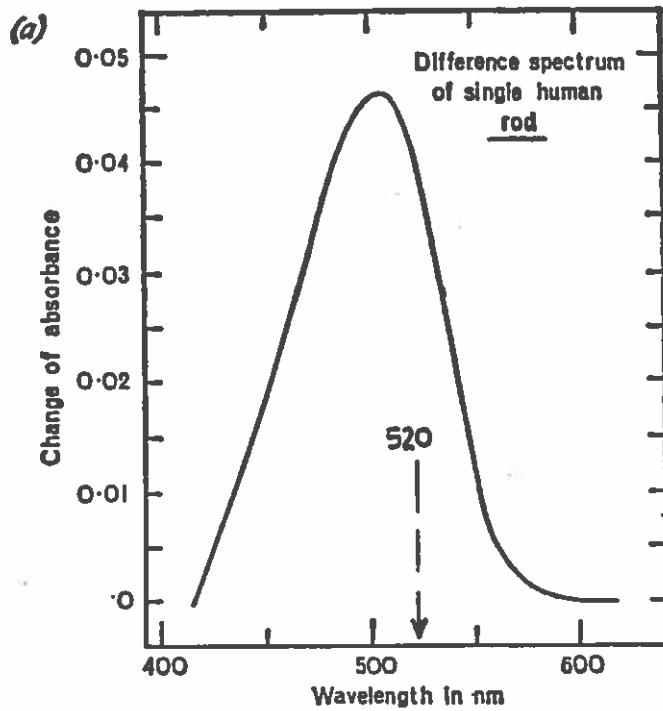


Όλο-*trans*-ρετινάλη





Distribution of rods and cones within the retina.

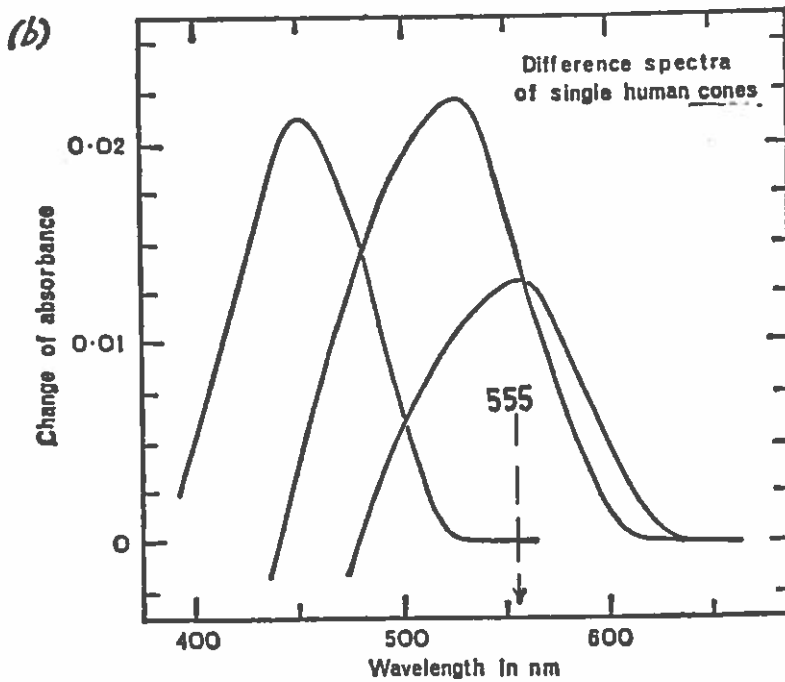


ΡΑΒΔΙΑ

πλήθος : 1.2×10^8

Ελάχιστη
ένταση
ερεθισμού : 0.05 Cd/m^2

Λυκόφως

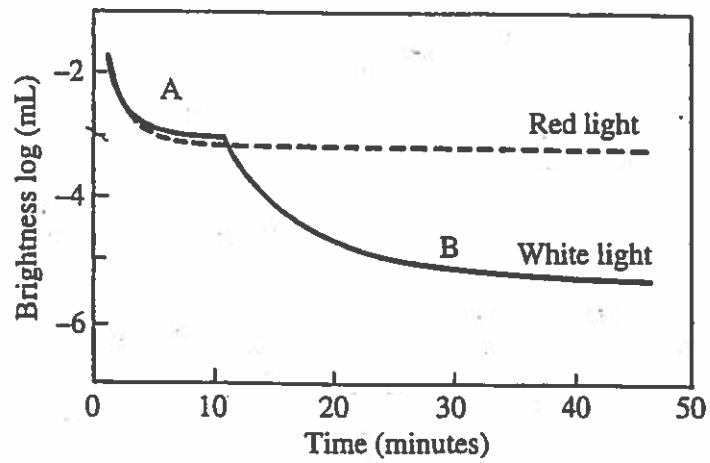
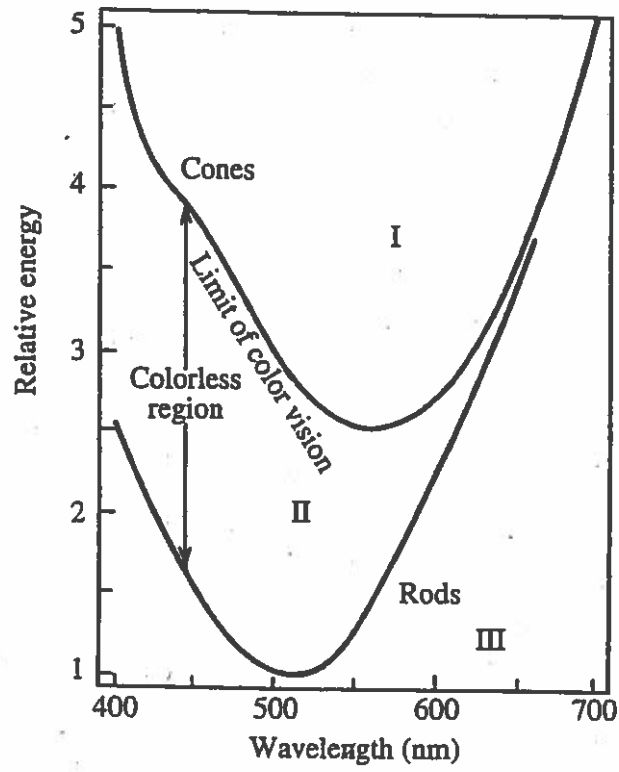


ΚΟΝΙΑ

πλήθος : 6×10^6

Ελάχιστη
ένταση
ερεθισμού : 3 Cd/m^2

φως-χρώματα



Progress of dark adaptation

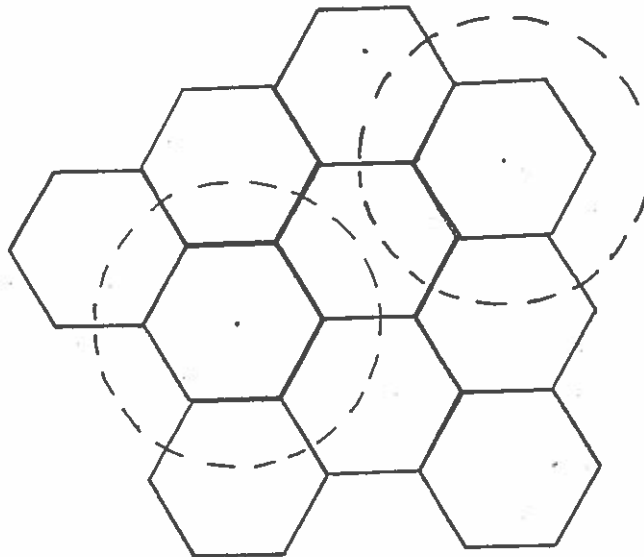
ΟΞΥΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

Διάμετρος κωνίων κοντά στην ωχρά κηλίδα : 2.5 μm

Διάμετρος δίσκου του Airy (φαινόμενο περίθλασης) : 4.0 μm

(άνοιγμα οφθαλμικής κόρης : 2.5 mm
μέσο μήκος κύματος φωτός : 550 nm
διάσταση κοιλότητας βολβού : 15 mm)

Για να γίνουν οριακά αντιληπτά δυο διακριτές φωτεινές σημειακές πηγές θα πρέπει ανάμεσα στους αντίστοιχους δίσκους Airy να παρεμβάλεται τουλάχιστον ένα κωνίο.



Έτσι, το γωνιακό διακριτικό όριο δ_0 για τον ανθρώπινο οφθαλμό είναι :

$$\delta_0 = (2 \times 2.5 \mu\text{m}) / 15 \text{ mm} = 0.3 \text{ mrad} = 0.017^\circ = 1' \text{ μοίρας}$$

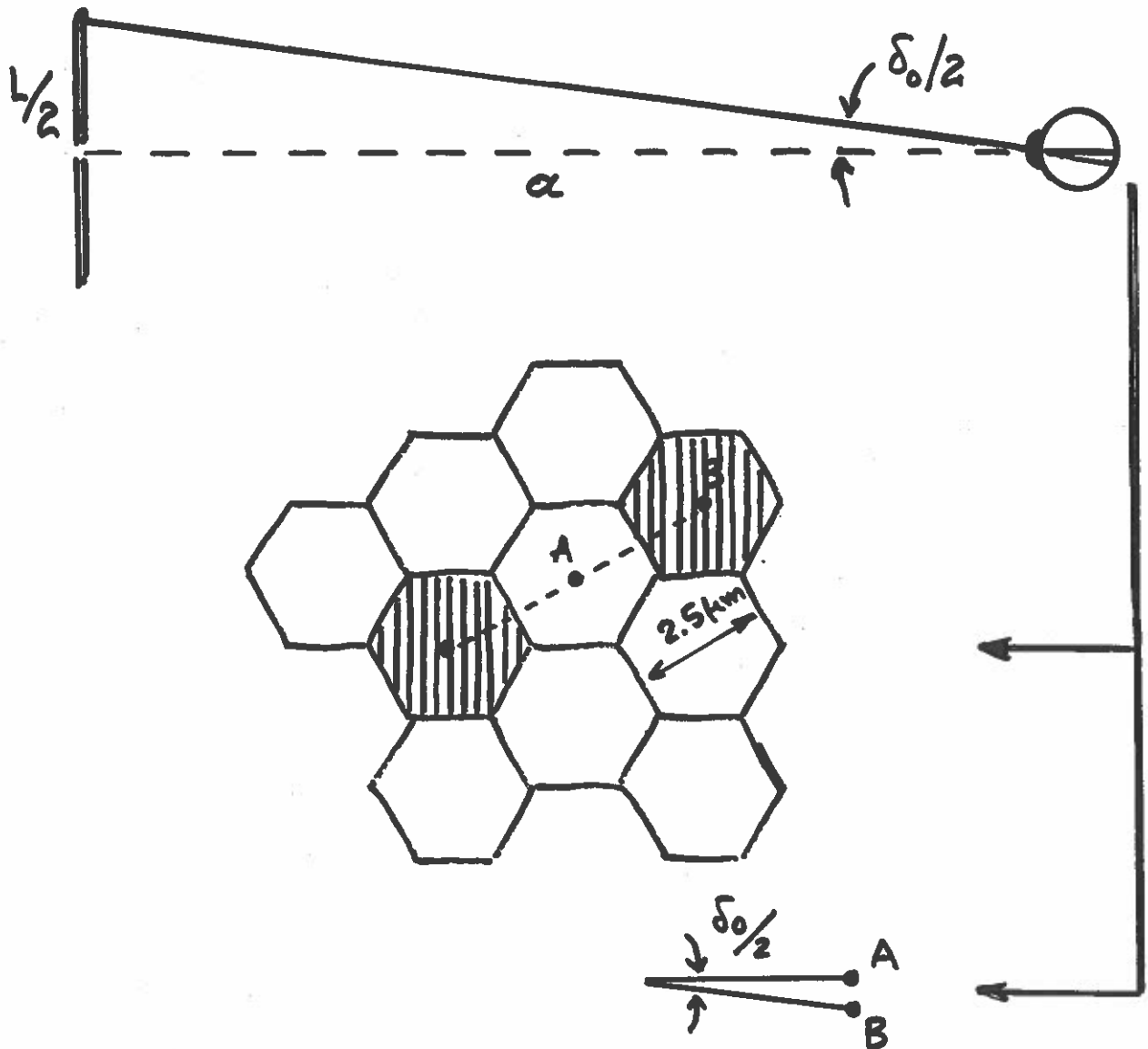
πρακτικά δηλαδή, καλή οπτική οξύτητα σημαίνει ότι :

Το μέγεθος του οριακά παρατηρούμενου αντικειμένου σε κάποια απόσταση είναι το 1 / 3000 αυτής της απόστασης.

Παραδείγματα : Σύρμα πάχους 1mm σε απόσταση 3 m.

Μπάλα (ποδοσφαίρου) διαμέτρου 25cm σε απόσταση 750 m.

Άνθρωπος ύψους 1.60 m σε απόσταση 4800 m.



ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

$$\epsilon \phi \frac{\delta_0}{2} = \frac{(AB)}{15\text{mm}} = \frac{2.5 \times 10^{-6} \text{m}}{15 \times 10^{-3} \text{m}} \quad \hat{=} \quad \delta_0 = \frac{5 \times 10^{-6}}{15 \times 10^{-3}} \approx \frac{1}{3000}$$

$$\text{Δηλαδή : } \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3000}$$

L: μέγεθος αντικείμενου
α: απόσταση —||—

Πουαντιχισμός : Ζωγραφικός πίνακας που αποτελείται από χρωματικές μπουκίδες.

Georges Seurat (1859-1929)

Εάν η μέση απόσταση των μπουκίδων $D \approx 2,0 \text{ mm}$ και η διάμετρος της κόρης του οφθαλμού $d \approx 1,5 \text{ mm}$. Ποση είναι η απόσταση παρατήρησης πέρα από την οποία δεν μπορούν να ξεχωρίσουν οι διακριτές μπουκίδες του πίνακα;



φαινόμενο περίθλασης : $\theta_R = 1,22 \frac{\lambda}{d}$ }

η γωνία παρατήρησης : $\theta \approx \frac{D}{L}$

εάν $\theta > \theta_R$ ξεχωριστές μπουκίδες

εάν $\theta < \theta_R$ όχι ξεχωριστές

στο όριο ίσχυει : $\theta = \theta_R \Rightarrow L = \frac{D \cdot d}{1,22 \lambda}$

$\lambda_{\text{blue}} \rightarrow L = 6,1 \text{ m}$
$\lambda_{\text{yellow}} L = 4,5 \text{ m}$
$\lambda_{\text{red}} \rightarrow L = 3,5 \text{ m}$

ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ ή ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (SHARPNESS)

Η ευκρίνεια εξαρτάται από :

- ΟΞΥΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (ή ΑΝΤΙΘΕΣΗ) και
- ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

π.χ. σε φωτογραφική συστήματος γραμμών

η ΟΞΥΤΗΤΑ σχετίζεται με την ΠΟΙΟΤΗΤΑ
των απεικονιζόμενων γραμμών,

η ΑΝΑΛΥΣΗ με το ΠΛΗΘΟΣ των
απεικονιζόμενων γραμμών.

ΟΞΥΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (ή ΑΝΤΙΘΕΣΗ)

- Πρόκειται για την ταχύτητα με την οποία εναλλάσσεται η πληροφορία της εικόνας σε μια ακμή. Δηλαδή χαρακτηρίζει το πόσο διακριτά είναι τα περιγράμματα στις εικόνες.
- Η οξύτητα καθορίζεται από την ποιότητα του φωτογραφικού φαινομένου, τον αριθμό των pixels καθώς και τον τύπο της επεξεργασίας.
- Χρειάζονται απλά - καθαρά περιγράμματα τα οποία όμως να είναι και πραγματικά διαφορετικά (σε περίπτωση αζύδων μεγάλης ανίδεσης) θα δημιουργήσει εικόνα με ψεύτικη οξύτητα (= ψευδή εικόνα).

ACUTENESS ή CONTRAST

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

- Πρόκειται για την ικανότητα διάκρισης πολύ κοντινών στοιχείων (π.χ. σημείων ή γραμμών).
- Η ανάλυση καθορίζεται από την διάσταση των pixels στον αισθητήρα.
- Η ανάλυση συσχετίζεται με την απόσταση παρατήρησης: όσο πιο μακριά παρατηρείται μια εικόνα τόσο μικρότερη ανάλυση απαιτείται για να θεωρηθεί ικανοποιητική.

RESOLUTION ή RESOLVING POWER

ΕΝΤΡΟΠΙΑ ή ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΑΞΙΑΣ

Πρόκειται για τη φυσική τάση μεταβίβασης των πραγμάτων τα οποία από μια οργανωμένη μορφή τείνουν προς την αταξία.

• Έτσι, η πληροφορία κατά την διαδικασία σχηματισμού μιας εικόνας μπορεί ΜΟΝΟ να μειωθεί.

Στη φωτογραφία η αύξηση της ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ σημαίνει απώλεια της αντίθεσης και μείωση της διαχωριστικής ικανότητας του συστήματος.

π.χ. ΓΕΝΙΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

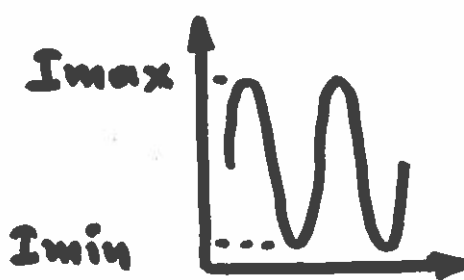
- Ψηφιακή εικόνα στη μηχανή ή αρνητικό στο αναλογικό φιλμ : Εικόνα 1^{ης} γενιάς
- Εντυπωμένη φωτογραφία : Εικόνα 2^{ης} γενιάς
- Φωτογράφιση φωτογραφίας : Εικόνα 3^{ης} γενιάς
- Νέα εντύπωση της προηγούμενης προσπάθειας : Εικόνα 4^{ης} γενιάς

Λόγω της ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ η κάθε νέα γενιά εικόνων θα είναι με μειωμένη ποιότητα σε σχέση με την αντίστοιχη προηγούμενη.

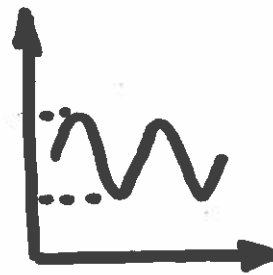
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ

CONTRAST MODULATION

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100\%$$



αντικείμενο -
- στόχος



φωτογραφικό -
- είδωλο

Συμπελεστής $\gamma \geq 80\%$ \rightarrow υψηλής αντίθεσης

Συμπελεστής $\gamma \leq 20\%$ \rightarrow χαμηλής αντίθεσης

ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΑΚΟΥ

ΤΟΠΙΑ : Ευρυχώνιος φακός ομοιόμορφα οφύς σε ολόκληρο το οπτικό πεδίο όταν ο φακός είναι κλειστός (μεγάλο Β.Π.).

ΠΟΡΤΡΑΙΤΟ Τηλεφακός (μεβαίος) με μεγάλη οφύνητα κυρίως στη κεντρική περιοχή. Το διάφραγμα ανοικτό (θολό ζόντο).

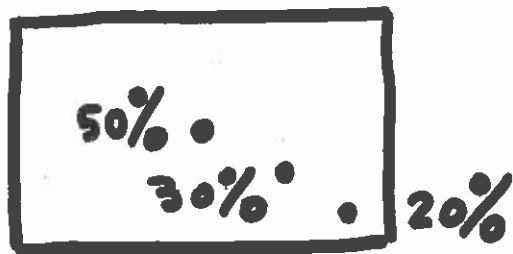
ΔΡΑΣΗ ή ΡΕΠΟΡΤΑΖ ΔΡΟΜΟΥ Φακός ZOOM με οφύνητα σε όλη του την έκταση (πρόκειται για μεγάλο Β.Π.).

ΦΨΣΗ : Φακός μεγάλης εστιακής απόστασης με οφύνητα όταν είναι ανοικτός (θολό ζόντο) για να τονιστεί το κεντρικό θέμα.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΦΩΤ. ΦΑΚΟΥ =

ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ x ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ .

- > Συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης
Modulation Transfer Function (MTF)
 - > Συνάρτηση οπτικής διαμόρφωσης
Optical Transfer Function (OTF)
 - > Υποκειμενικός Παράγοντας Ποιότητας
Subjective Quality Factor (SQF)
- Αναφορά SQF σε ολόκληρη την φωτογραφία



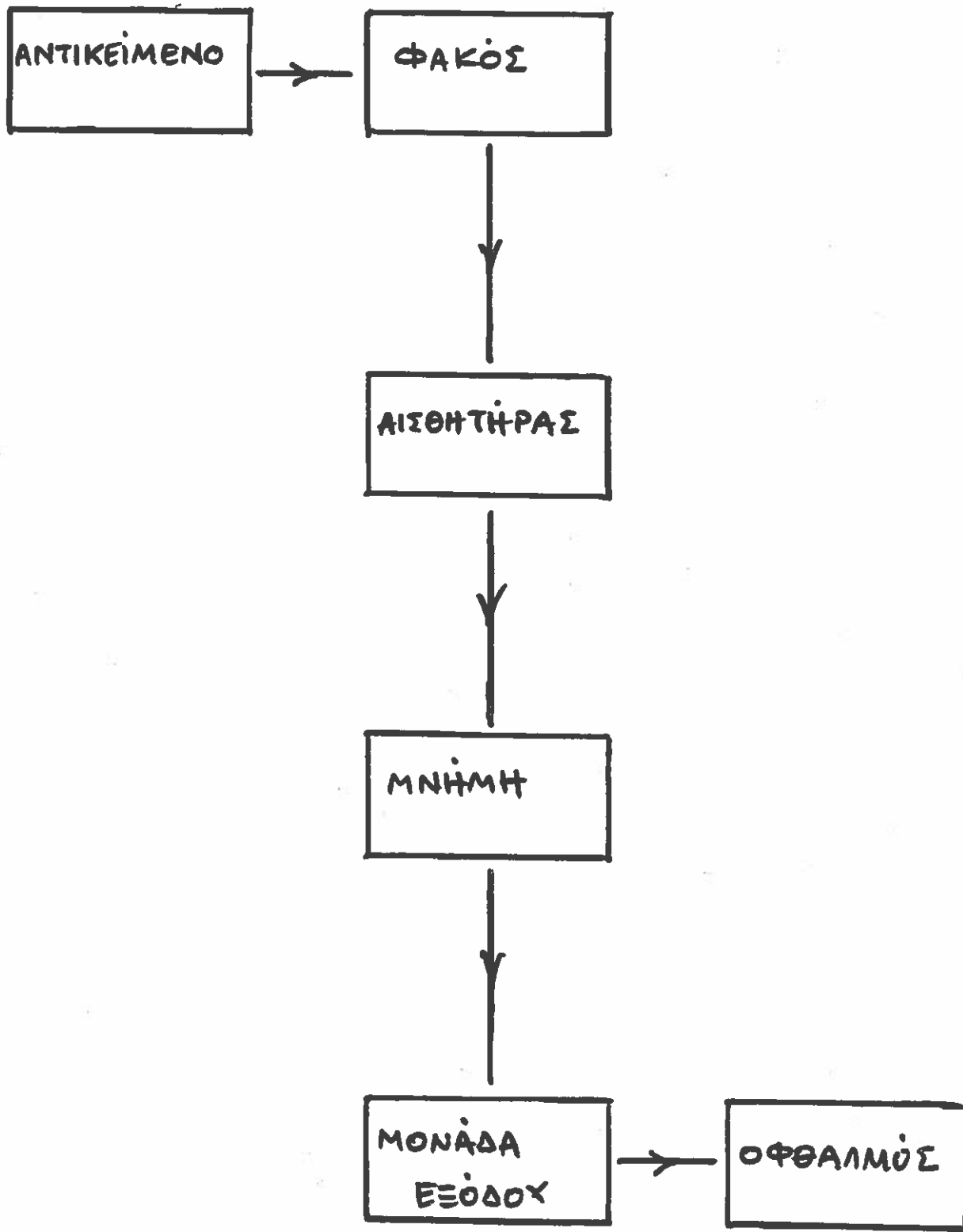
Photos 1 (90, 80, 60)

$$SQF_{total} = 90 \times 0.5 + 80 \times 0.3 + 60 \times 0.2 = 81$$

Photos 2 (100, 90, 15)

$$SQF_{total} = 100 \times 0.5 + 90 \times 0.3 + 15 \times 0.2 = 81$$

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ : ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



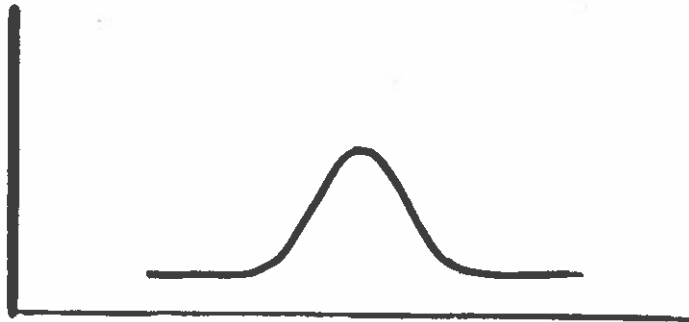
ΦΟΤΟΓΡΑΦΙΣΗ: ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

- Σφάλμα κατά την διαδικασία της ΕΚΘΕΣΗΣ (τυχαιότητα στα γωνία που προσπίπτει στη φωτοαίσθητη επιφάνεια).
- Σφάλμα κατά την διαδικασία της ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (τυχαιότητα λόγω της δομής του αρνητικού, κοκκώδης).
- Σφάλμα κατά την ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα (φωτοηλεκτρικός θόρυβος).
- Σφάλμα κατά την ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ του ηλεκτρονικού σήματος (ηλεκτρονικός θόρυβος).
- Σφάλμα κατά την ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ από αναλογική σε ψηφιακή μορφή (θόρυβος ψηφιοποίησης).

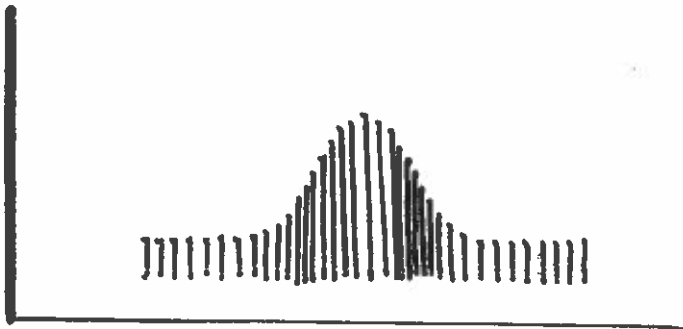
Συνολικό σφάλμα: $S_{tot.}^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2$ ή

$$S_{tot.} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2}$$

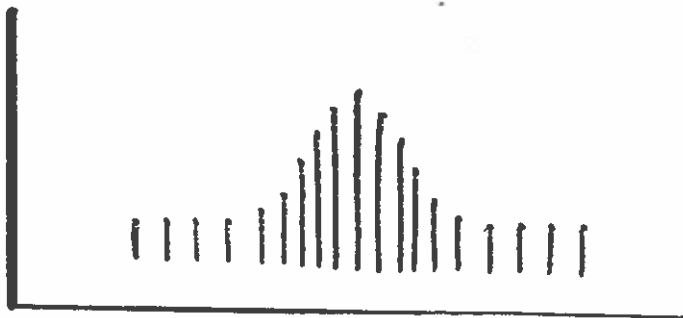
ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ



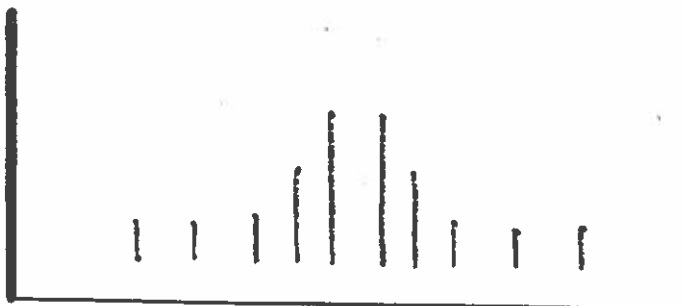
$N = \infty$



$N = 37$



$N = 19$



$N = 10$

Καθαρότητα εικόνας: οι παράγοντες που την επηρεάζουν λειτουργούν με ΣΥΝΕΡΓΕΙΑ

> Σύστημα 1 :

Φωτογραφικός φακός διακρίνει $50 \text{ lines/mm} \rightarrow 20 \mu\text{m}$ }

Φιλμ (ή αισθητήρας) -||- $25 \text{ lines/mm} \rightarrow 40 \mu\text{m}$ }

$$\text{συνολικά: } \sqrt{(20)^2 + (40)^2} = \sqrt{2000} = 44 \mu\text{m}$$

δηλαδή το σύστημα φακός-φιλμ διακρίνει: $23 \frac{\text{lines}}{\text{mm}}$

· Έστω τώρα ότι αλλάξει ΜΟΝΟ ο φακός

> Σύστημα 2 :

Φωτογραφικός φακός διακρίνει $100 \text{ lines/mm} \rightarrow 10 \mu\text{m}$ }

Φιλμ (ή αισθητήρας) -||- $25 \text{ lines/mm} \rightarrow 40 \mu\text{m}$ }

$$\text{συνολικά: } \sqrt{(10)^2 + (40)^2} = \sqrt{1700} = 41 \mu\text{m}$$

δηλαδή το νέο σύστημα φακός-φιλμ διακρίνει: $24 \frac{\text{lines}}{\text{mm}}$

Πρόκειται για μια πολύ μικρή βελτίωση:

από $23 \frac{\text{lines}}{\text{mm}}$ σε $24 \frac{\text{lines}}{\text{mm}}$.



Η διαφορετικότητα στην εμφάνιση της εικόνας (κοντά : Einstein, μακριά : Μοντρε) οφείλεται στο ότι η «σύνθετη» αυτή φωτογραφία περιέχει δυο κατάλληλα συνδυασμένες φωτογραφίες πορτραίτων με χαμηλές αλλά και υψηλές χωρικές συχνότητες. Συγκεκριμένα

Η φωτογραφία της Μοντρε χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές χωρικής συχνότητας (αραιή πυκνότητα γραμμώσεων) και αντιστοιχεί στα «αδρά» χαρακτηριστικά της εικόνας όπως π.χ. μπορεί να είναι η συνολική φωτεινότητα της. Ενώ,

Η φωτογραφία του Einstein χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές χωρικής συχνότητας (πυκνή κατανομή ραβδώσεων) και αντιστοιχεί στα λεπτομερή χαρακτηριστικά της εικόνας όπως είναι π.χ. οι σχετικές μεταβολές της φωτεινότητας.

Ο ανθρώπινος οφθαλμός σε μικρή σχετικά απόσταση παρατήρησης έχει καλή οπτική οξύτητα (ή διακριτική ικανότητα). Μπορεί λοιπόν εύκολα να διακρίνει λεπτομέρειες όπως καμπύλες, γραμμές και περιγράμματα που αφορούν την σύνθετη εικόνα και έτσι διακρίνει κυρίως την φωτογραφία του Einstein. Αυξάνοντας τώρα την απόσταση παρατήρησης η οξύτητα (ή διακριτική ικανότητα) του οφθαλμού μειώνεται δραστικά με αποτέλεσμα να μην μπορεί πλέον να ξεχωρίσει τις προηγούμενες λεπτομέρειες και έτσι να διαγράφεται απεικονιστικά το πρόσωπο της Μοντρε σε χαμηλή όμως ανάλυση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ελάττωση της οξύτητας του οφθαλμού που παρατηρεί μπορεί εναλλακτικά να προέλθει και από την σχετική μείωση της διαμέτρου της κόρης. Έτσι εάν παρατηρήσουμε από κοντά την φωτογραφία θα δούμε τον Einstein ενώ εάν κλείσουμε οριακά τα μάτια μας (από την ίδια πάντα κοντινή απόσταση) θα εμφανιστεί μπροστά μας το περίγραμμα του προσώπου της Μοντρε. Δηλαδή όσο μεγαλώνει η διάσταση της κόρης τόσο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα παρατήρησης και έτσι αποκαλύπτονται υψηλότερες χωρικές συχνότητες (καταγραφή των σχετικών λεπτομερειών).

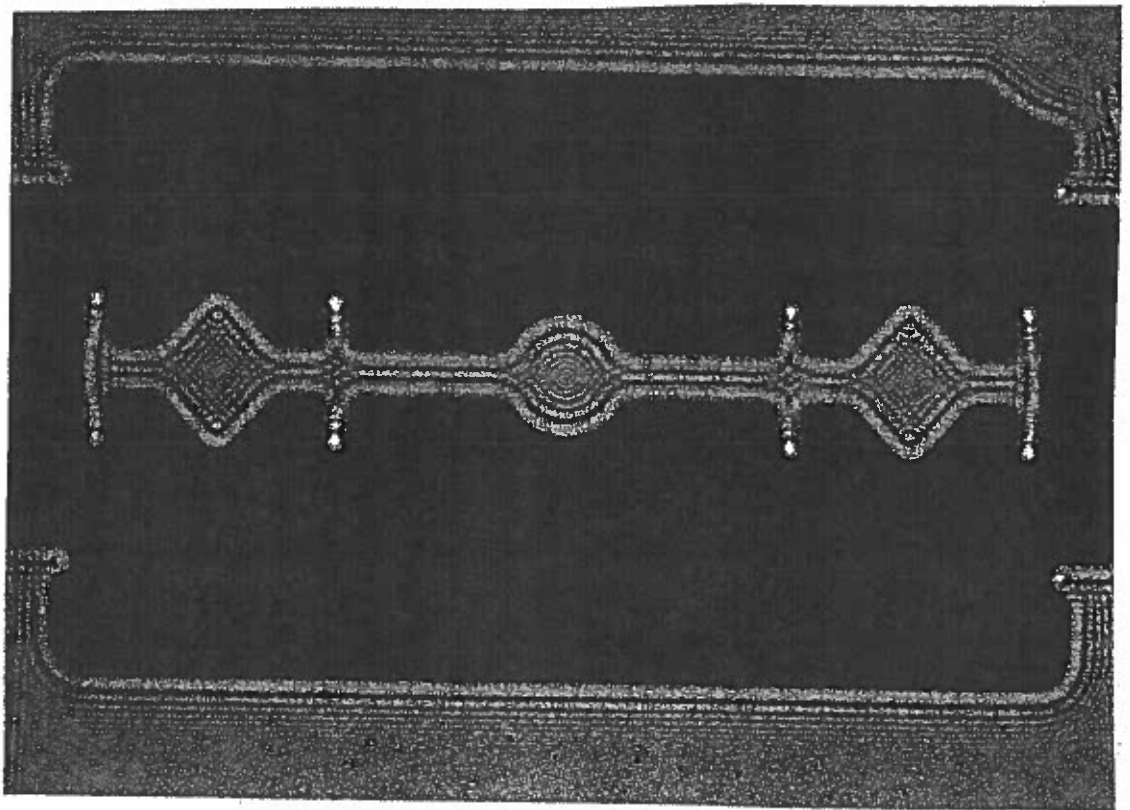
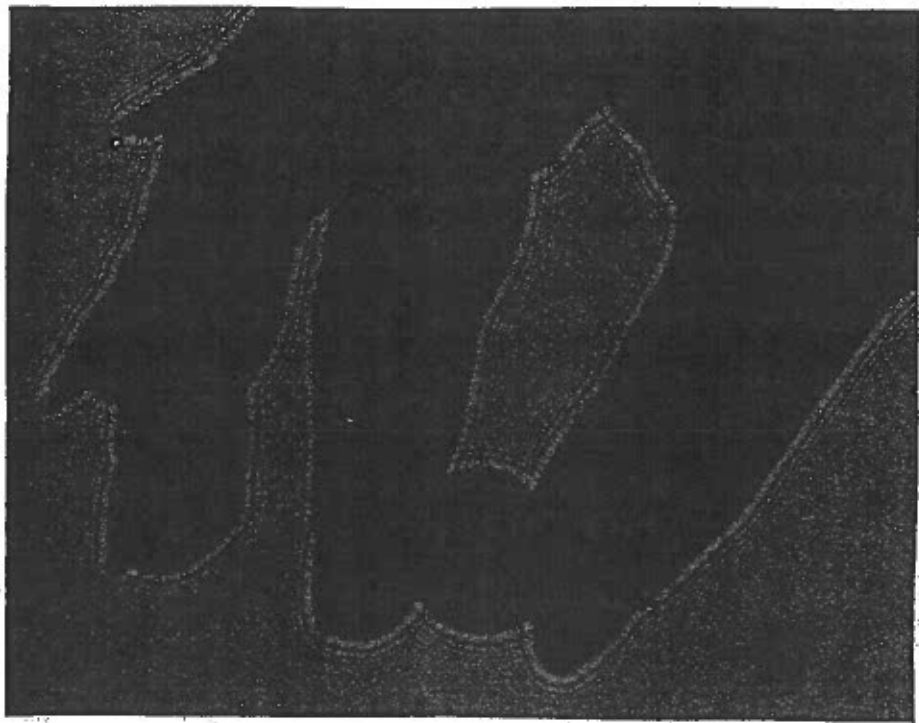
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΦΩΤΕΙΝΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η "κάμψη" του φωτός στα όρια αδιαφανούς εμπόδιου έχει σαν αποτέλεσμα την "αλλοίωση" των άκρων της γεωμετρικής οπτικής. Το φαινόμενο αυτό που καταβραχυγεί τη λογική της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός καλείται ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ.

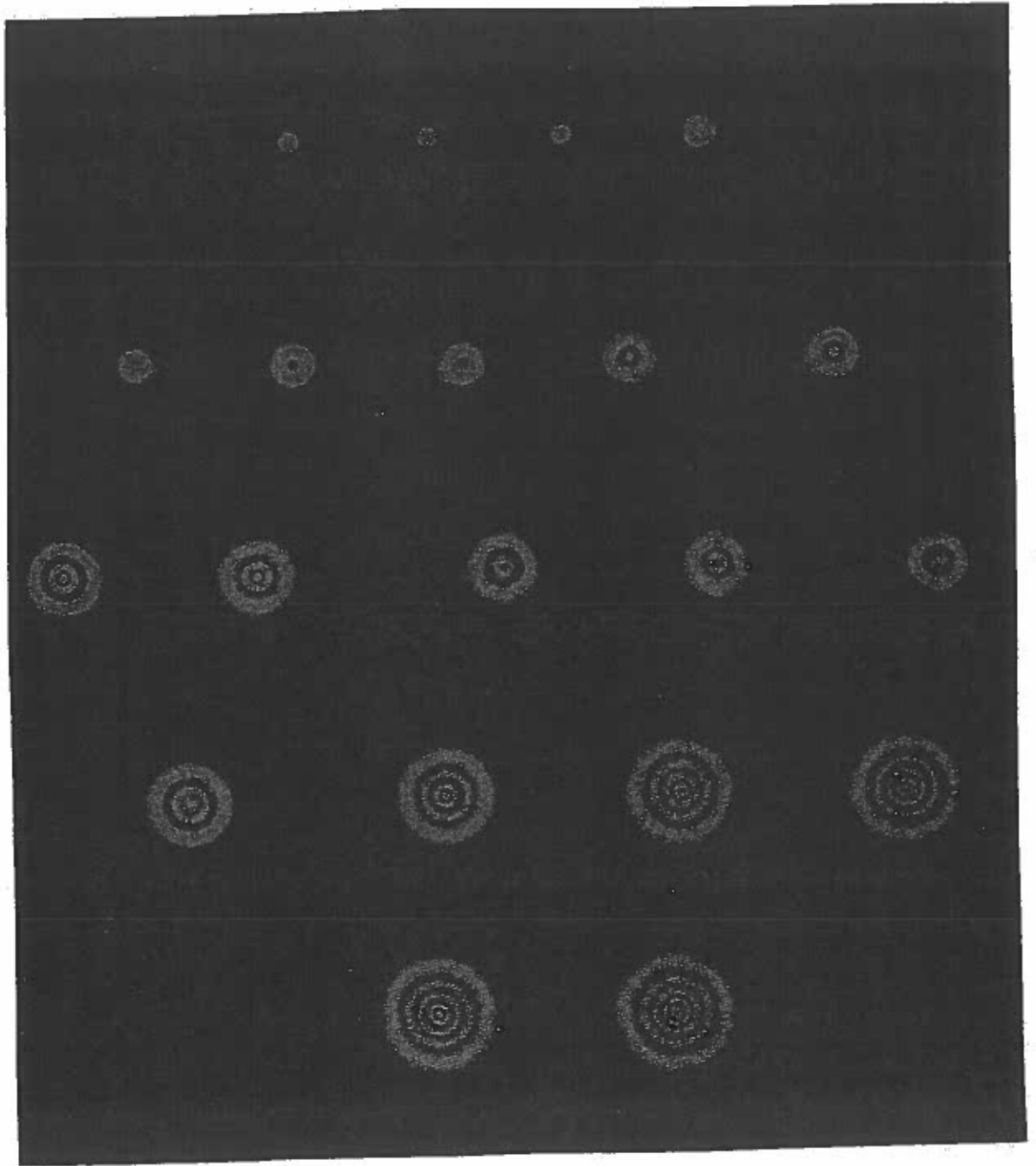
Η συμβολή και η περίθλαση είναι ουσιαστικά το ίδιο κυματικό φαινόμενο που όμως ενώ στη συμβολή αφορά μικρό σχετικά αριθμό φωτεινών ηχητών (συνήθως δυο), στη περίθλαση αναφέρεται σε μια συνεχή κατανομή φωτεινών κλάσεων σύμφωνα με τη θεωρία του Huygens.

Οι μελετούμενες κατηγορίες των φαινομένων της περίθλασης είναι κυρίως δυο :

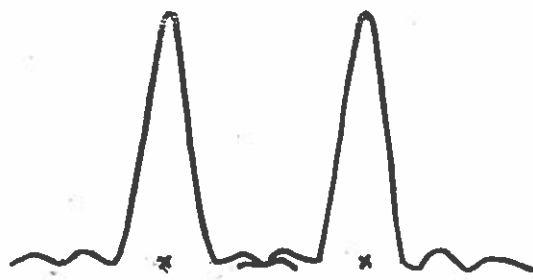
- ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ FRESNEL
(Augustin Jean Fresnel 1788-1827)
- ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ FRAUNHOFER
(Joseph von Fraunhofer 1787-1826)



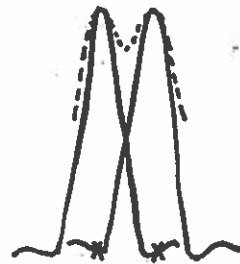
45/020



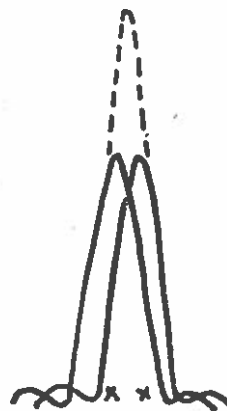
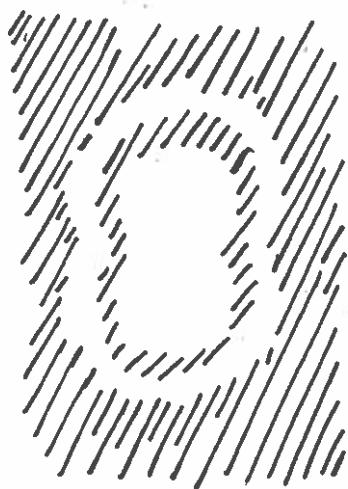
RESOLUTION OF IMAGING SYSTEMS



CLEARLY
RESOLVED



RAYLEIGH



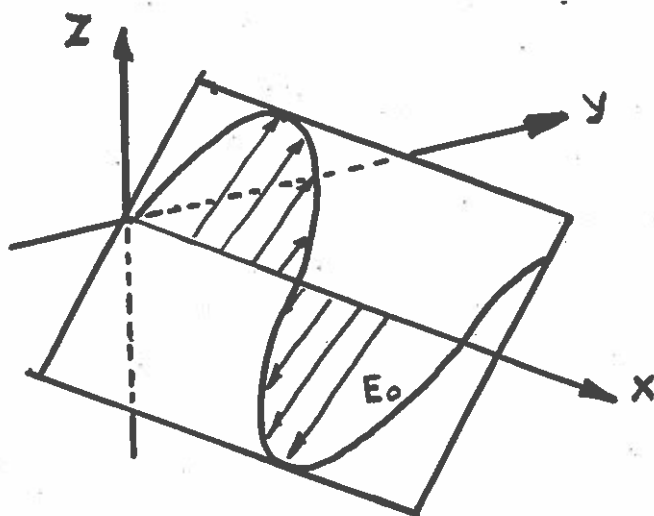
NOT
RESOLVED

ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

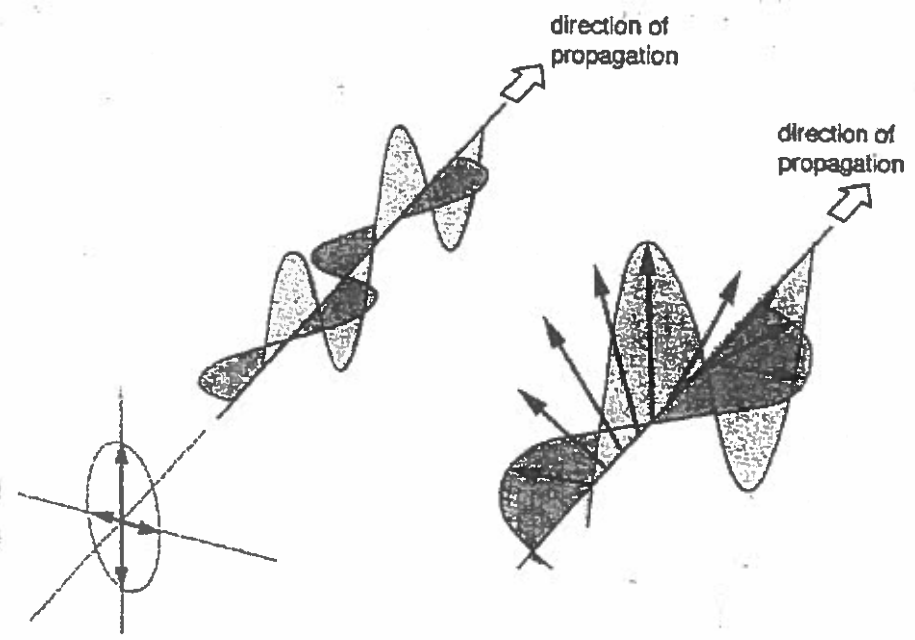
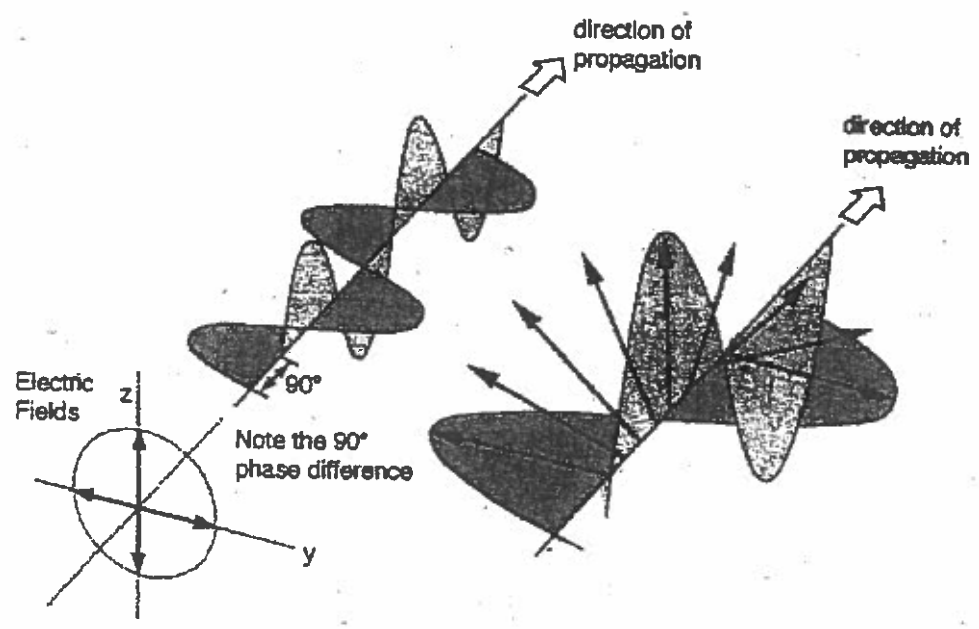
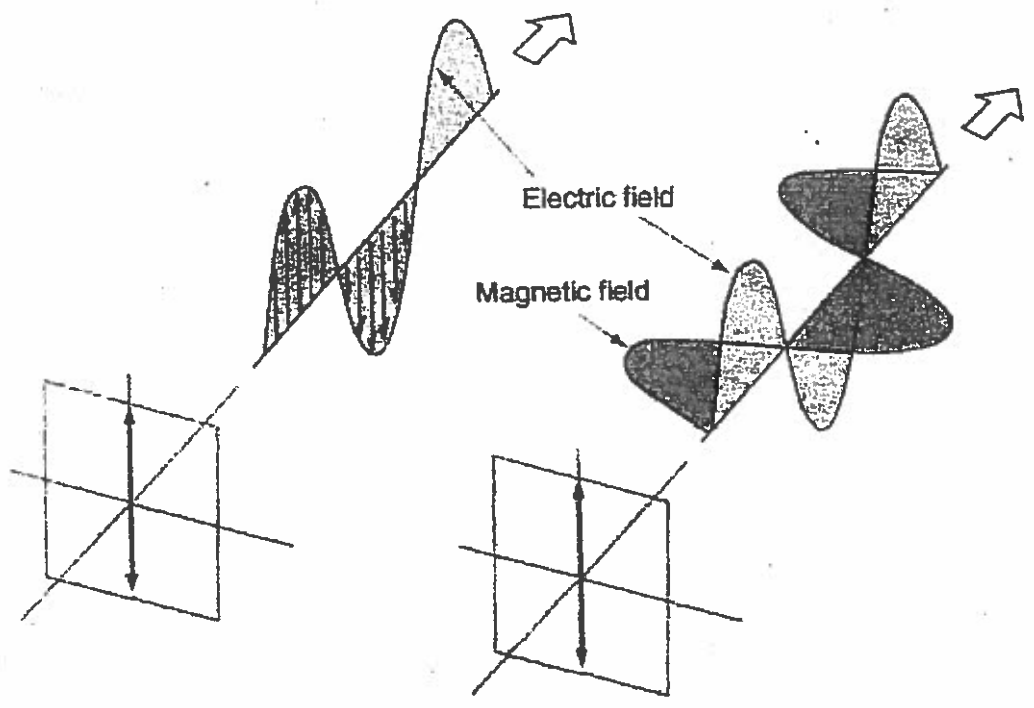
Πρόκειται για το φαινόμενο της μετατροπής δέσμης φωτεινών ακτίνων φυσικού φωτός σε δέση που οι ταλαντώσεις πραγματοποιούνται παράλληλα προς ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό επίπεδο.

Εάν το επίπεδο είναι μόνο ένα: γραμμικά πολωμένο φως ή ολικά πολωμένο φως.

Εάν τα επίπεδα είναι δύο (κάθετα μεταξύ τους): μερικώς πολωμένο φως.



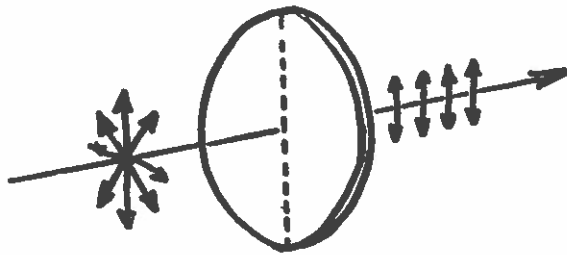
Επίπεδο πόλωσης θεωρείται το επίπεδο των μεταβολών της έντασης E του ηλεκτρικού πεδίου. Το διάνυσμα είναι πάντοτε κάθετο στη διεύθυνση διάδοσης.



ΦΥΣΙΚΟ ΦΩΣ ΣΕ ΠΟΛΩΤΗ

Το διαρχόμενο φως έχει σταθερή ένταση ανεξάρτητα της γωνίας θ .

Η ένταση αυτή είναι η μισή της προοπτικότητας.

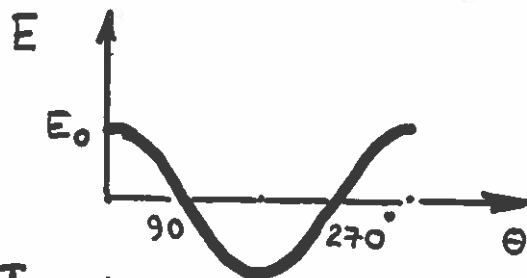


$$I(\theta) = \frac{1}{2} I(0)$$

Το εξερχόμενο φως είναι γραμμικά πολωμένο.

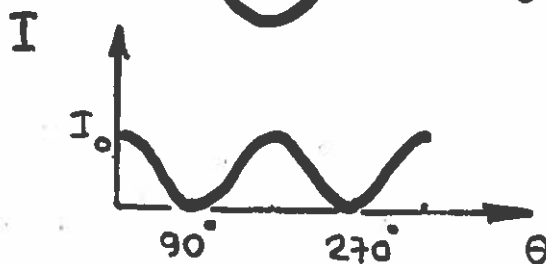
ΝΟΜΟΣ MALUS

ΠΛΑΤΟΣ

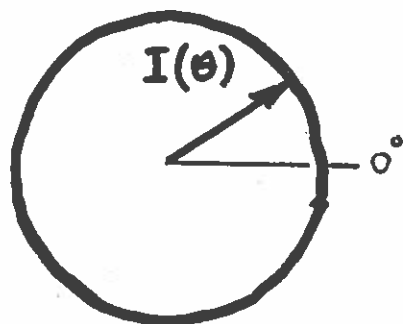


$$E = E_0 \cdot \cos \theta$$

ΕΝΤΑΣΗ

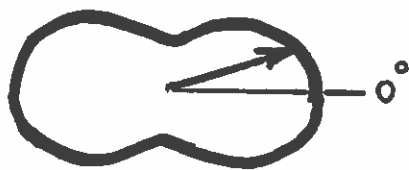


$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$



ΦΥΣΙΚΟ
ΦΩΣ

ΠΟΛΙΚΟ
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



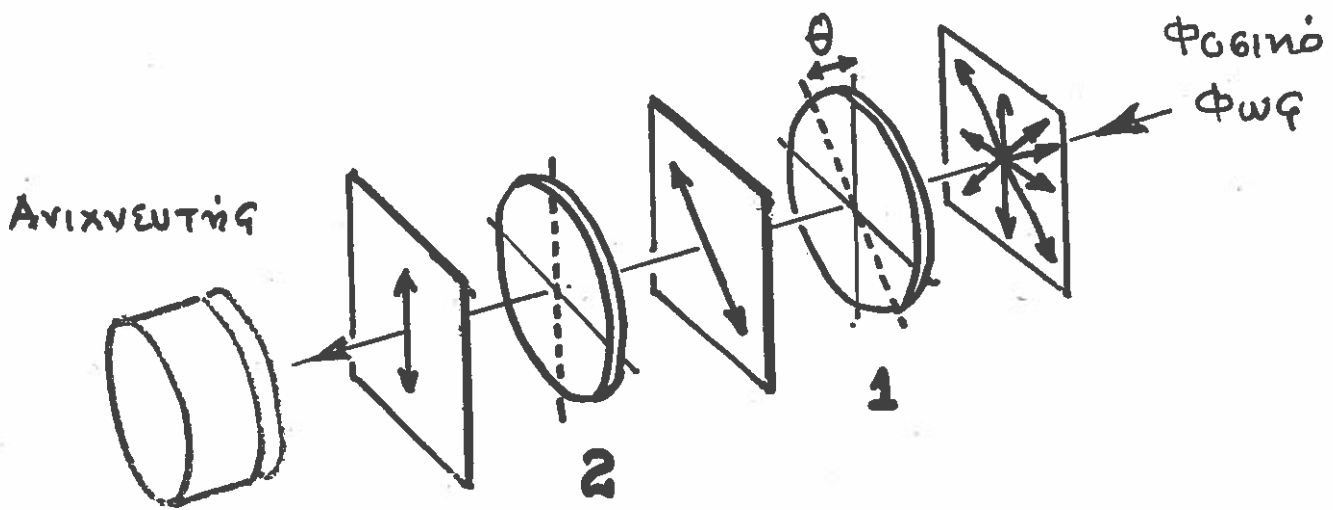
ΜΕΡΙΚΑ
ΠΟΛΩΜΕΝΟ
ΦΩΣ

ΕΝΤΑΣΗΣ



ΓΡΑΜΜΙΚΑ
ΠΟΛΩΜΕΝΟ
ΦΩΣ

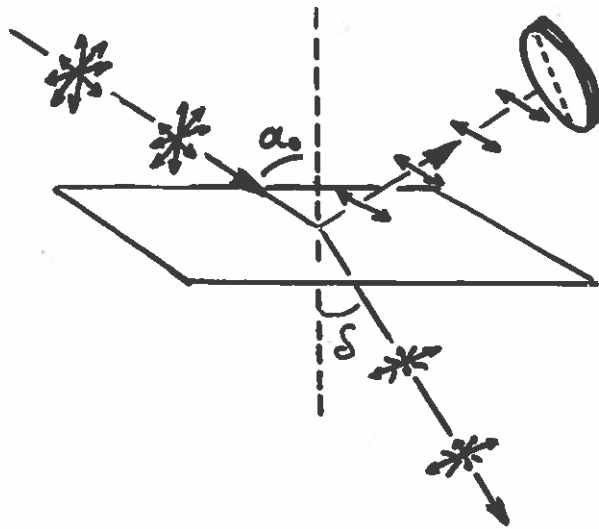
Νόμος του Malus



- 1: Πολωτής
- 2: Αναλύτης

$$I(\theta) = I(0) \cdot \cos^2 \theta$$

ΠΟΛΩΣΗ ΑΠΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗ



Γυάλινη διαθλαστική
επιφάνεια (δ.δ. η).

- Για ευθυεπιμήκη γωνία προσπτώσεως α_0 πραγματοποιείται **ΟΛΙΚΗ ΠΟΛΩΣΗ** της ανακλώμενης (στη γυάλινη επιφάνεια) φωτεινής ακτίνας.
- Η **ΟΛΙΚΗ ΠΟΛΩΣΗ** συμβαίνει όταν η ανακλώμενη και η διαθλώμενη ακτίνα είναι μεταξύ τους κάθετες.
- Αποδεικνύεται ότι ισχύει: $\epsilon\phi\alpha_0 = \pi$,
εάν $\eta = 1,5$ (γυαλί) τότε $\alpha_0 \approx 57^\circ$.
- Πόλωση δεν προκύπτει από ανακλάσεις σε μεταλλικές επιφάνειες.

ΠΟΛΩΣΗ - ΣΥΜΒΟΛΗ

- Δυο δέσμες γραμμικά πολωμένον φωτός συμβάλλουν μόνο εάν έχουν το ίδιο επίπεδο πόλωσης.
- Δυο πολωμένες δέσμες σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν φαινόμενα συμβολής.

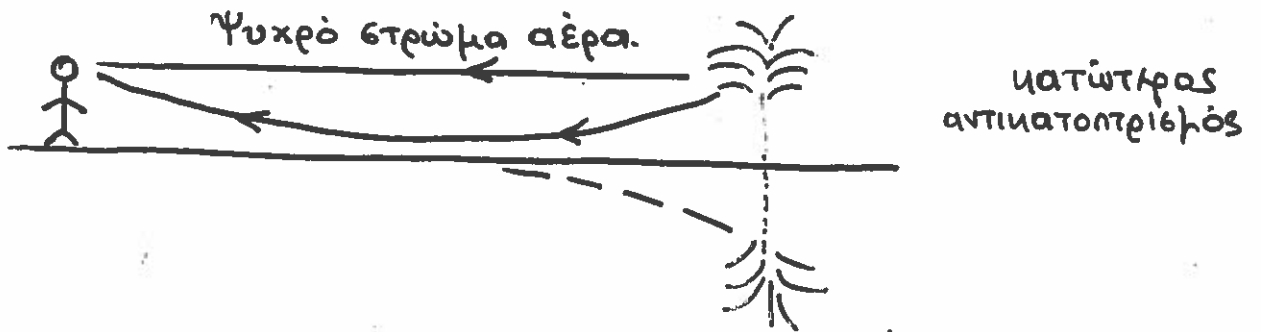
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΟΛΩΣΗΣ

- Γυαλιά ηλίου
- Προβολείς αυτοκινήτων
- Στερεοσκοπική (3D) παρατήρηση
- Φωτογραφική βημερική της δερματολογίας (π.χ. ουρανός...)
- Παρατήρηση διαφανών αντικειμένων σε οπτικό μικροσκόπιο
- Οθόνες LCD.

ΦΥΣΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

▷ Διαδίδεται το φως ως κύμα;

Αντιαποπριβήος



θερμός αέρας : n_1 ($< n_2$)

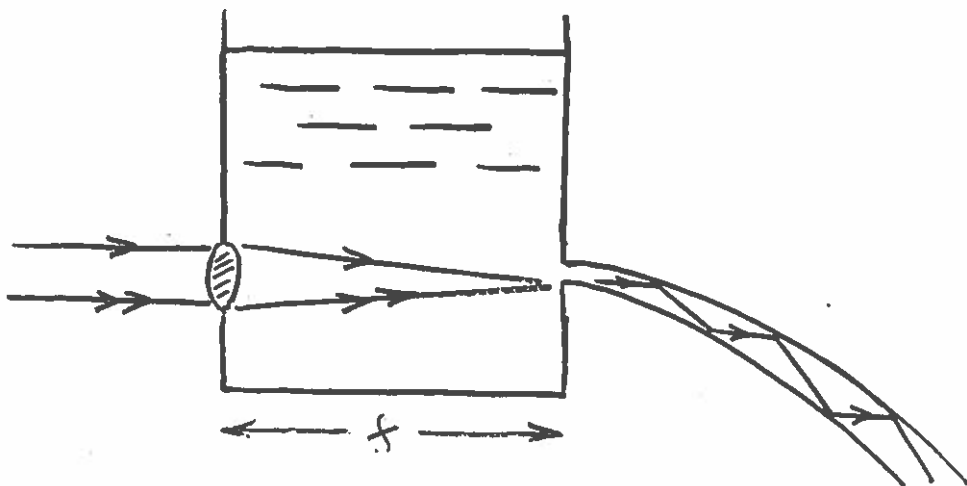


- ολική ανάκλαση στα θημά στρώματα.

▷ Οι φωτεινές ακτίνες στρέφουν ΠΑΝΤΑ ταυοίλα προς τα οπικέ αραμόζτρα στρώματα (μικρόζτρος δείμης διάθλασης)

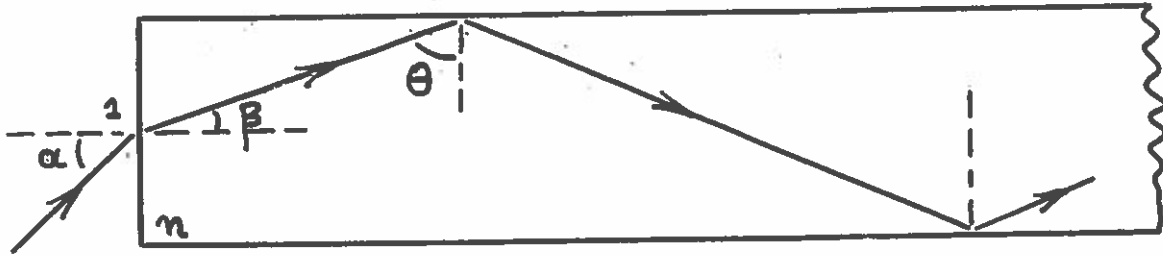
▷ Φαινόμενο ολικής ανάκλασης

▷ φωτεινή υχερή φλέβα.



Υπολογισμός αποδεδειγμένων γωνιών πρόσπτωσης α για διέλκση σε οπτική ίνα με δείκτη διάθλασης n .

ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗ.



Σημείο 1: $1 \cdot \psi\alpha = n \cdot \psi\beta = n \cdot \psi(90 - \theta) = n \cdot \cos\theta$ ή

$$\psi\alpha = n \cdot \sqrt{1 - \psi^2\theta}$$

Όταν θ είναι η οριζή γωνία ισχύει: $\psi\theta = \frac{1}{n}$ } \rightarrow

$$\psi\alpha = n \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} = \sqrt{n^2 - 1} \rightarrow \boxed{\psi\alpha = \sqrt{n^2 - 1}}$$

Εάν $n = 1.3 \rightarrow \psi\alpha = (1.69 - 1)^{1/2} = 0.831 \rightarrow \alpha = 56.2^\circ$

Θα πρέπει λοιπόν η γωνία $0^\circ < \alpha < 56.2^\circ$

> Δηλαδή για $\alpha = 60^\circ \rightarrow 1 \cdot \psi\alpha = n \cdot \psi\beta \rightarrow \psi\beta = 0.666 \rightarrow$

$\beta = 41.8^\circ \rightarrow \theta = 90^\circ - 41.8^\circ = 48.2^\circ$

και διότι $\delta_{\text{ορ}} = 50.3^\circ \rightarrow$ θα έχω έφοδο.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΣΗΜΕΙΩΣΗ

1912 : ΧΑΝΝΑΝΤΣ - ΟΡΕΣΤΕΣ

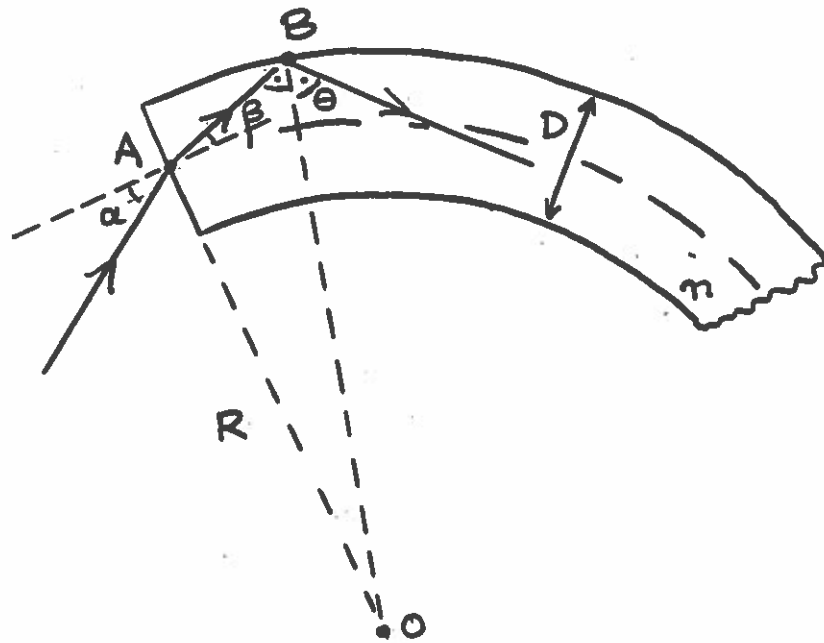
1929 : ΚΑΡΝΑΟΥ

1930 : ΚΑΡΝΑΟΥ

1930 : ΚΑΡΝΑΟΥ

1930 : ΚΑΡΝΑΟΥ

Να υπολογιστεί η ελάχιστη αποδευτή τμή αιζινας
καμυλοτοπιας R οπτιμης ινας διαμετρου D ηε δ.δ. η
ετι ωτε να νηαρχει διελευση (γωνια ηροβηζωγεωσ α).



$$1. \eta \alpha = \eta \cdot \eta \beta \Rightarrow \eta \beta = \frac{\eta \alpha}{\eta}$$

$$\triangle OAB \rightarrow \frac{OA}{\eta \cos \theta} = \frac{OB}{\eta (90 + \beta)} \Rightarrow \frac{R}{\eta \cos \theta} = \frac{R + D/2}{\eta \sin \beta} \Rightarrow$$

$$R \cdot \sqrt{1 - \eta^2 \beta^2} = \eta \cos \theta (R + \frac{D}{2}) \Rightarrow R \cdot \sqrt{1 - \frac{\eta^2 \alpha^2}{\eta^2}} = \eta \cos \theta (R + \frac{D}{2})$$

Οταν θ είναι η οριζή γωνία ισχύει: $\eta \cos \theta = \frac{1}{\eta}$

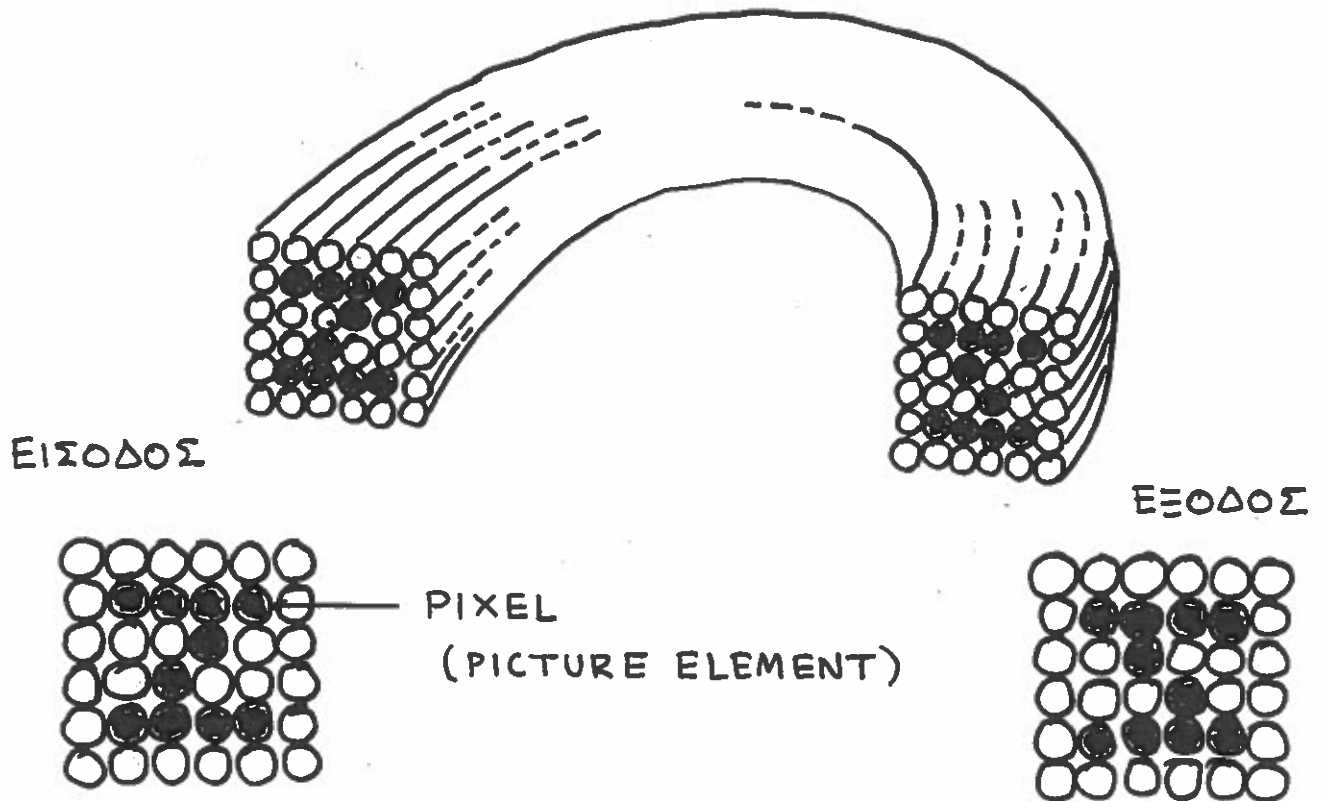
$$\text{έτσι } R_{\min} \cdot \sqrt{\eta^2 - \eta^2 \alpha^2} = R_{\min} + \frac{D}{2} \Rightarrow$$

$$R_{\min} = \frac{D/2}{\sqrt{\eta^2 - \eta^2 \alpha^2} - 1}$$

Βέβαια εάν $\alpha = 0^\circ \Rightarrow R_{\min} = \frac{D/2}{\eta - 1}$ και εάν $\eta = 1.5$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{D/2}{0.5} = D$$

ΜΕΤΑΦΕΡΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΣΧΗ)

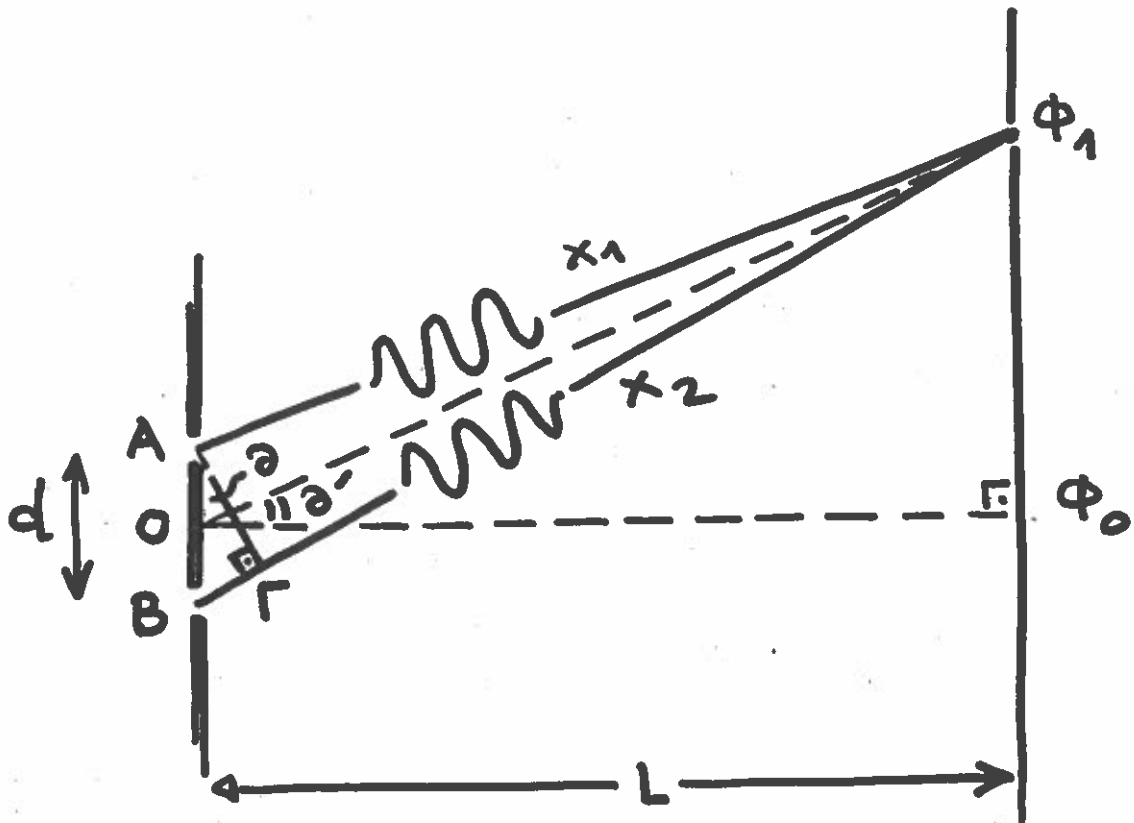


ΦΩΤΕΙΝΟ ΣΗΜΑ \neq ΟΠΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

ΔΕΣΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

1. Η ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΚΑΘΕ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ.
2. ΜΕΓΑΛΗ ΟΠΤΙΚΗ "ΜΟΝΩΣΗ" ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.
3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΕΙΣ - ΘΡΑΨΕΙΣ.

ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG (1801)



$$\begin{aligned} \Delta AB\Gamma &\leadsto \sin\theta = \frac{B\Gamma}{d} = \frac{x_2 - x_1}{d} \\ \Delta \Phi_0\Phi_1 &\leadsto \tan\theta' = \frac{\Phi_0\Phi_1}{L} \\ \text{διότι } \theta' \approx \theta &\leadsto \sin\theta = \tan\theta' \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \Delta AB\Gamma \\ \Delta \Phi_0\Phi_1 \end{aligned}} \right\} \frac{\Phi_0\Phi_1}{L} = \frac{x_2 - x_1}{d}$$

όπως $x_2 - x_1 = \lambda$ και έτσι:

$$\Phi_0\Phi_1 = L \cdot \frac{\lambda}{d}$$

οπου: $\Phi_0\Phi_1$: απόσταση διαδοχικών κροσσών

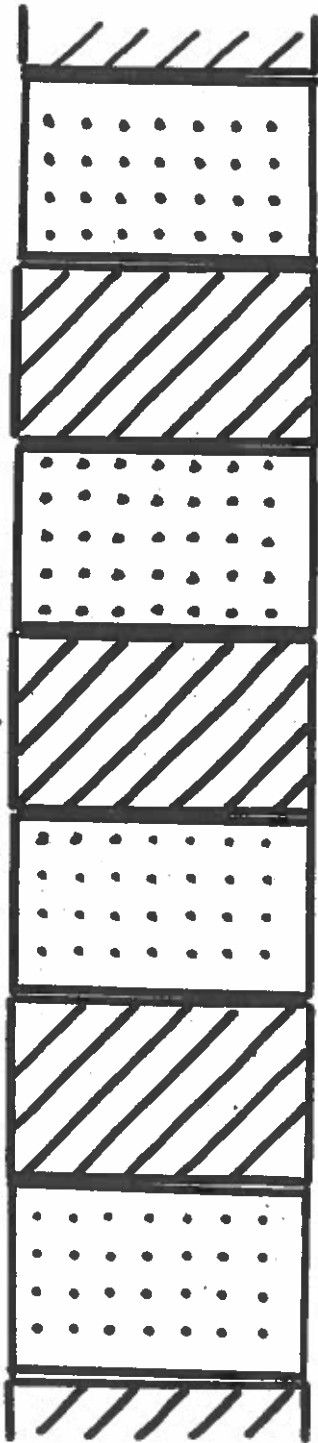
λ : μήκος κύματος φωτός

L : απόσταση πετάσματος

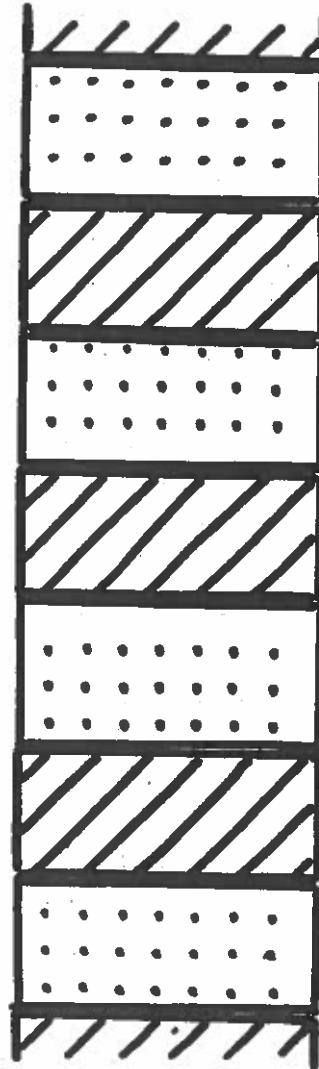
d : απόσταση σχισμών

ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG

ΕΙΚΟΝΕΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ

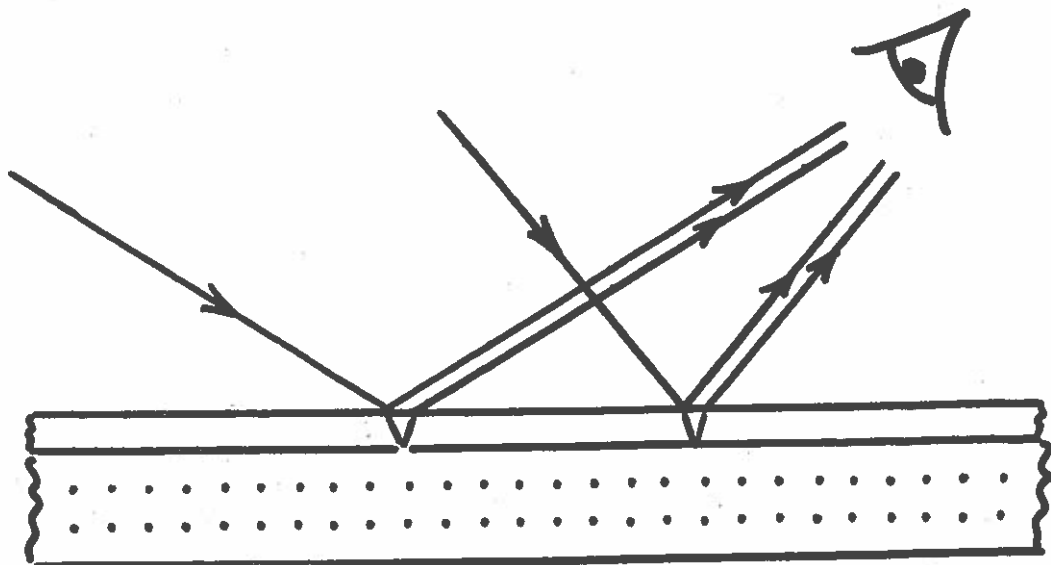
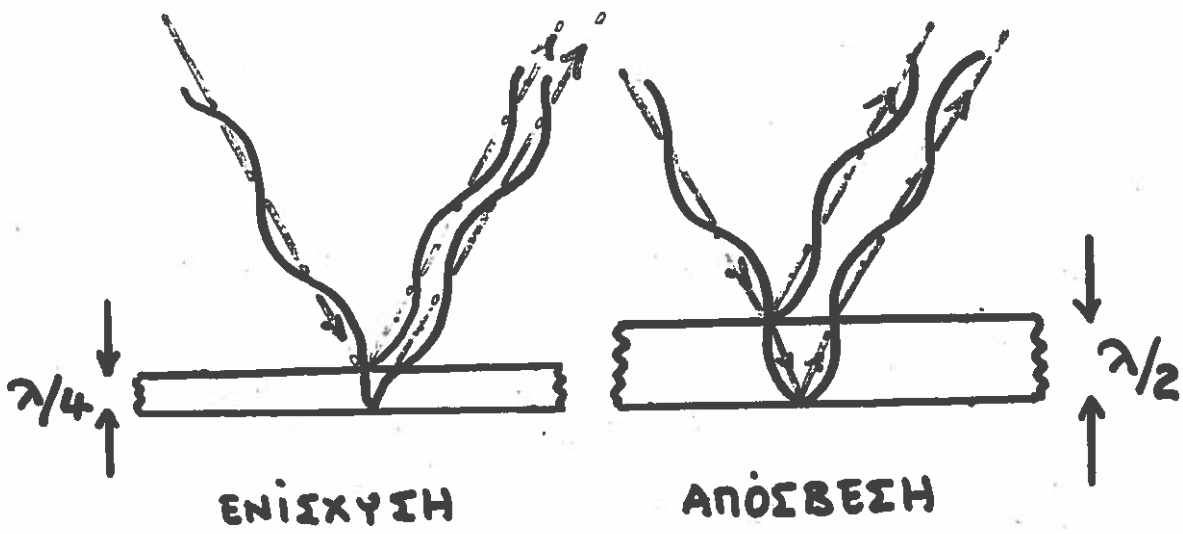


RED
 $\lambda = 633 \text{ nm}$

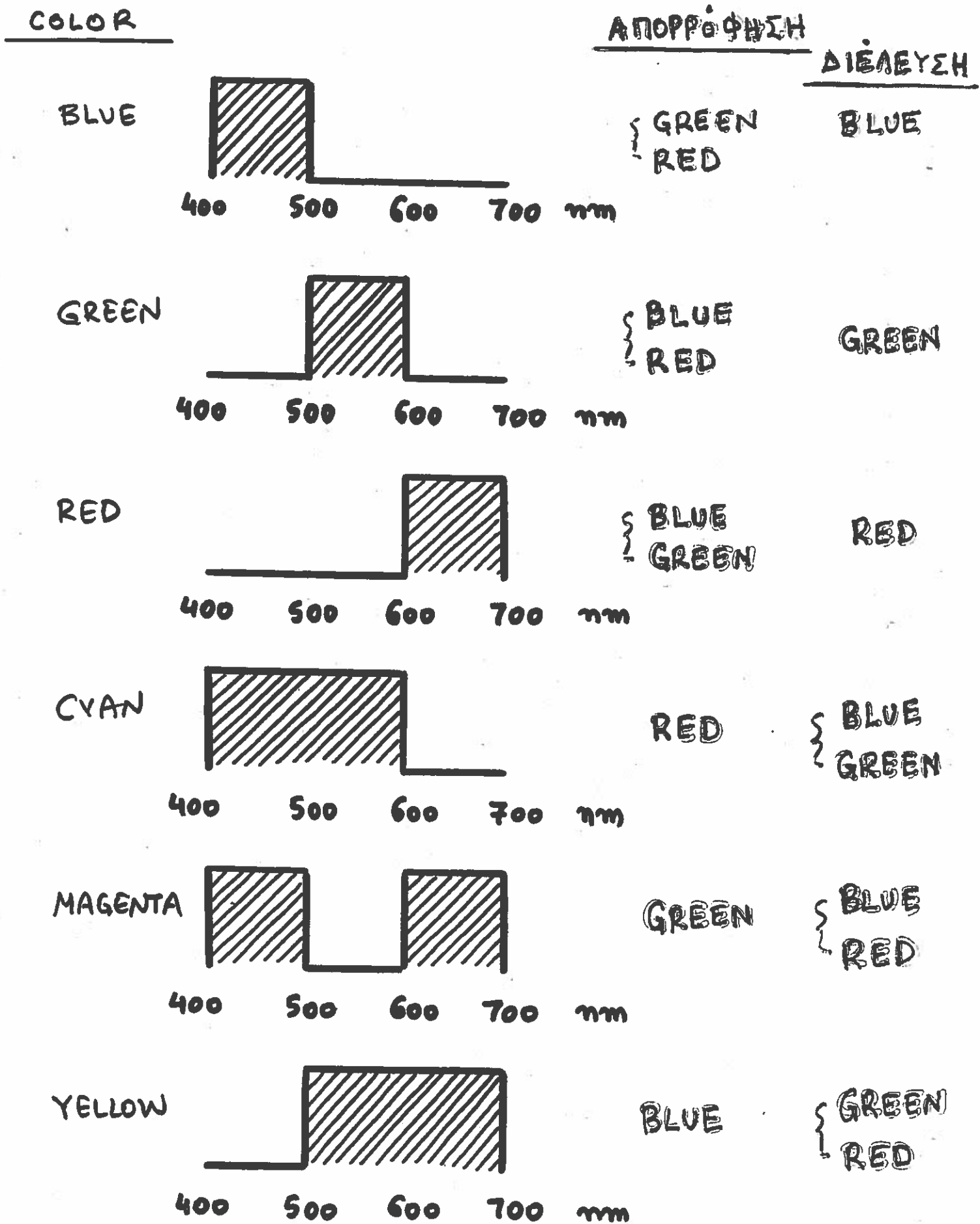


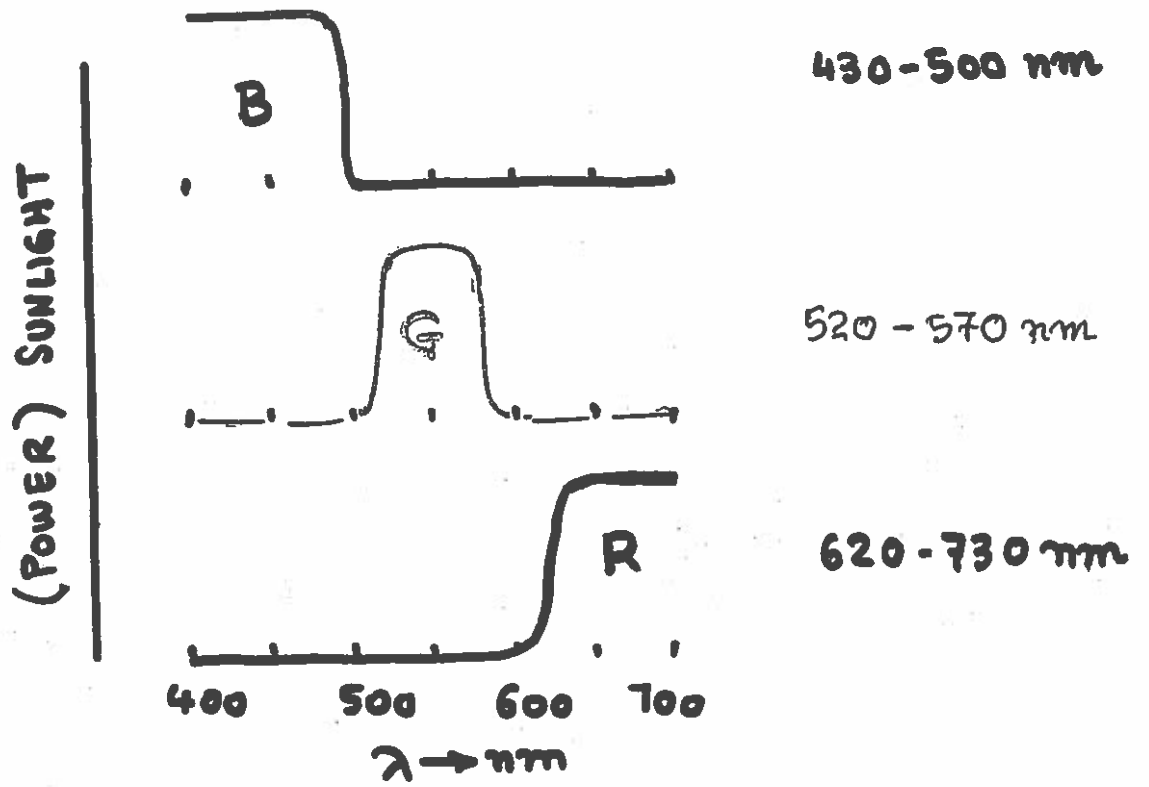
BLUE
 $\lambda = 450 \text{ nm}$

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΕ ΛΕΠΤΑ ΥΜΕΝΙΑ

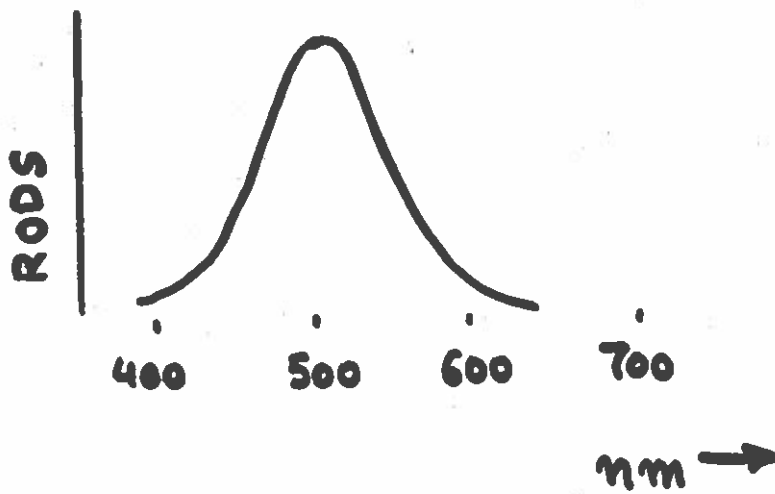
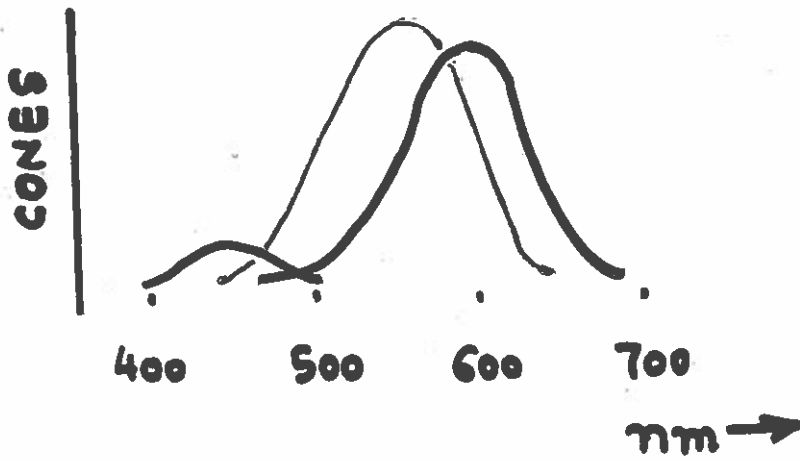


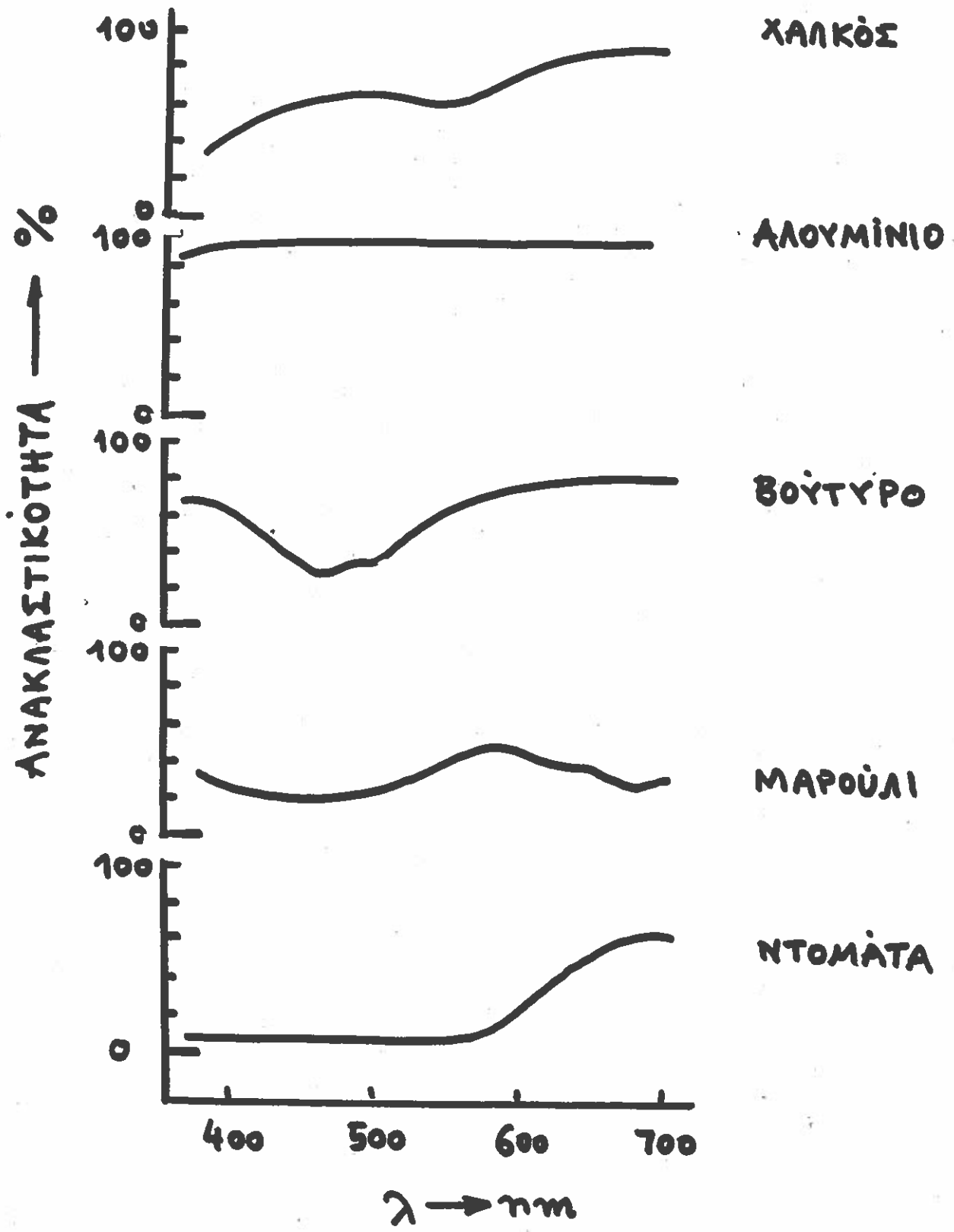
ΕΓΧΡΩΜΑ ΦΙΛΤΡΑ - ΚΑΜΠΥΛΙΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ



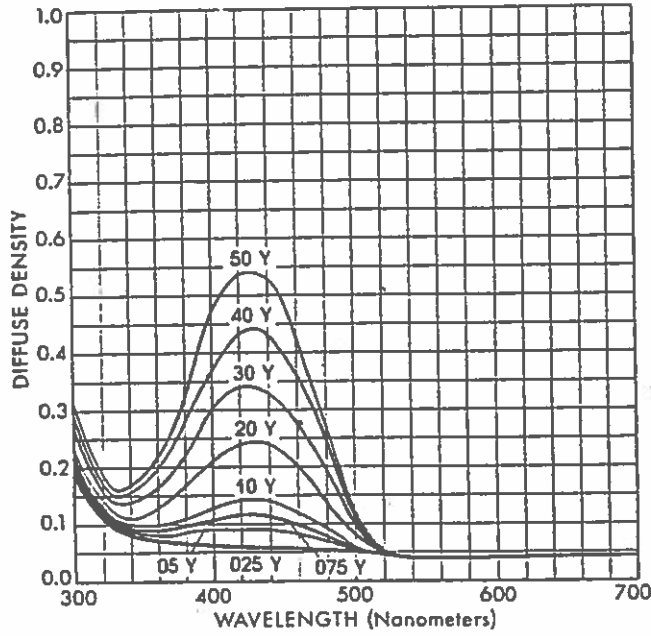


EYE SENSITIVITY





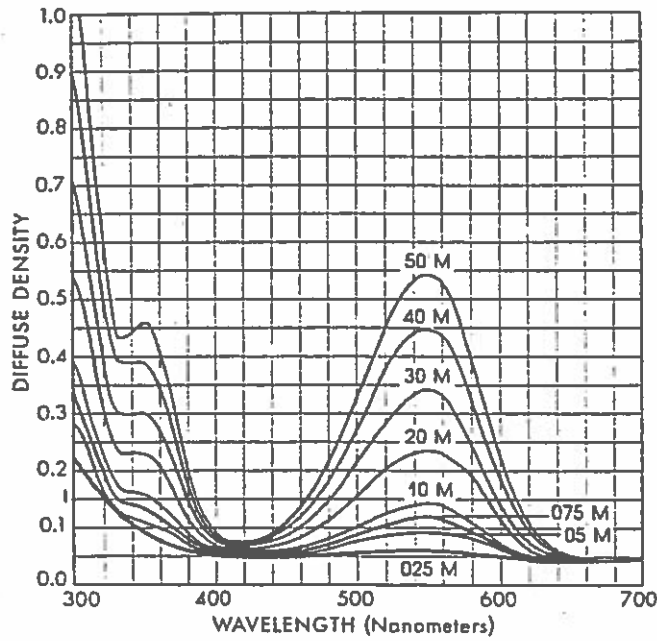
YELLOW



absorbs BLUE

Stability: *
CC025Y-AAA
CC05Y-AAA
CC10Y-AAA
CC20Y-AAA
CC30Y-AAA
CC40Y-AAA
CC50Y-AAA

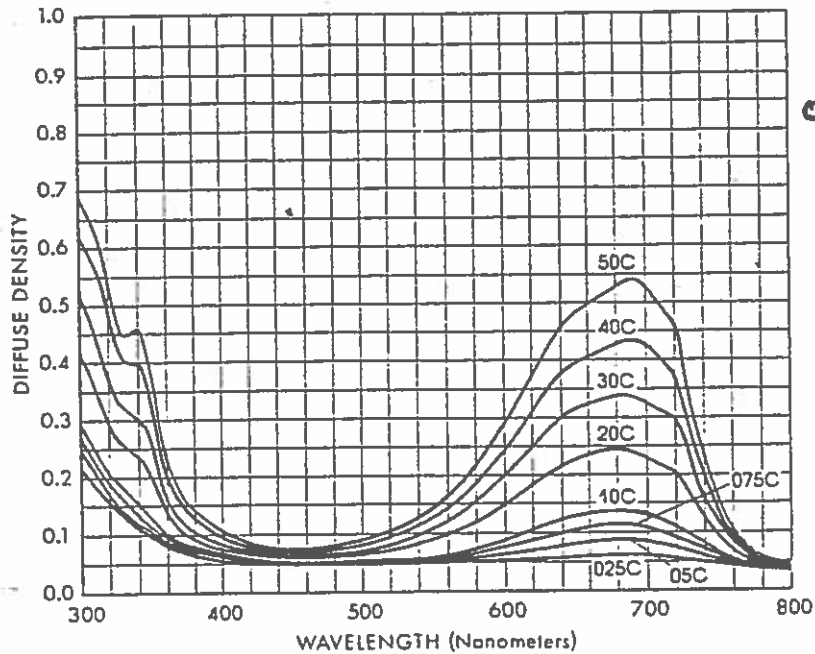
MAGENTA



absorbs GREEN

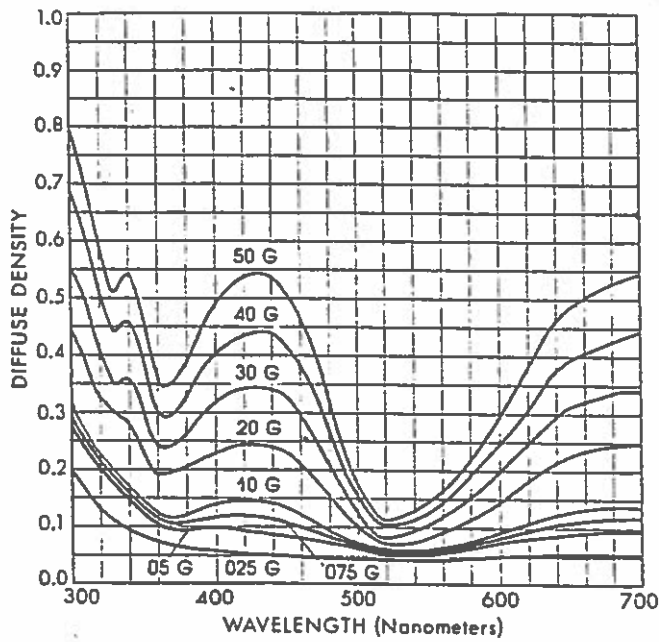
Stability:
CC025M-AAA
CC05M-AAA
CC10M-AAA
CC20M-ABA
CC30M-BBA
CC40M-BCB
CC50M-ACA

CYAN



absorbs RED

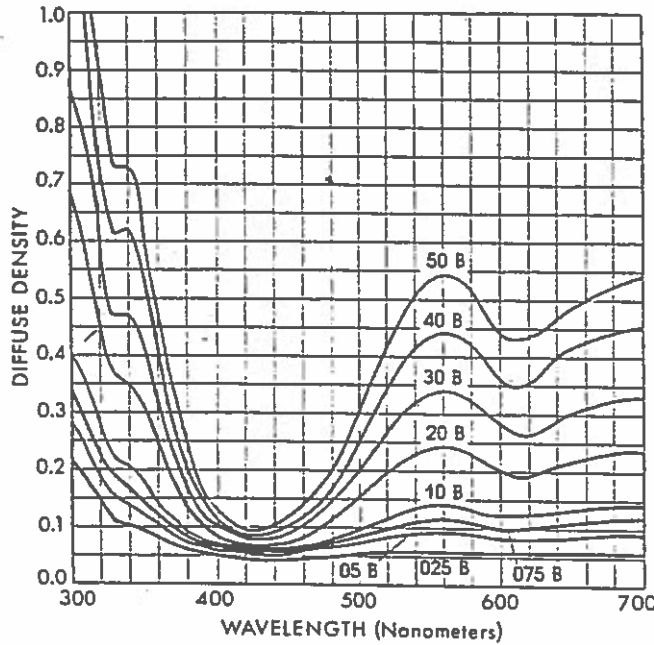
GREEN



absorbs BLUE, RED

Stability: *
CC025G-AAA
CC05G-AAA
CC10G-AAA
CC20G-ABA
CC30G-ABA
CC40G-ABB
CC50G-ABB

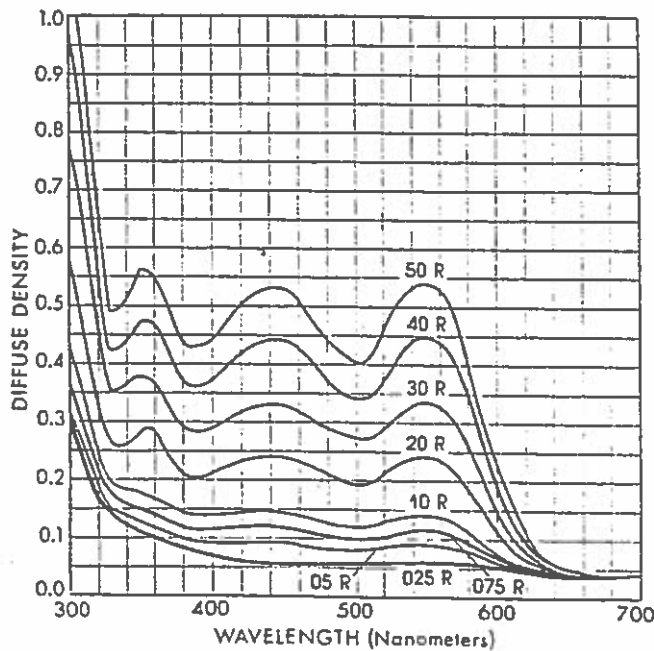
BLUE



absorbs RED, GREEN

Stability: *
CC025B-AAA
CC05B-AAA
CC10B-AAA
CC20B-AAA
CC30B-ABA
CC40B-ABA
CC50B-ABA

RED

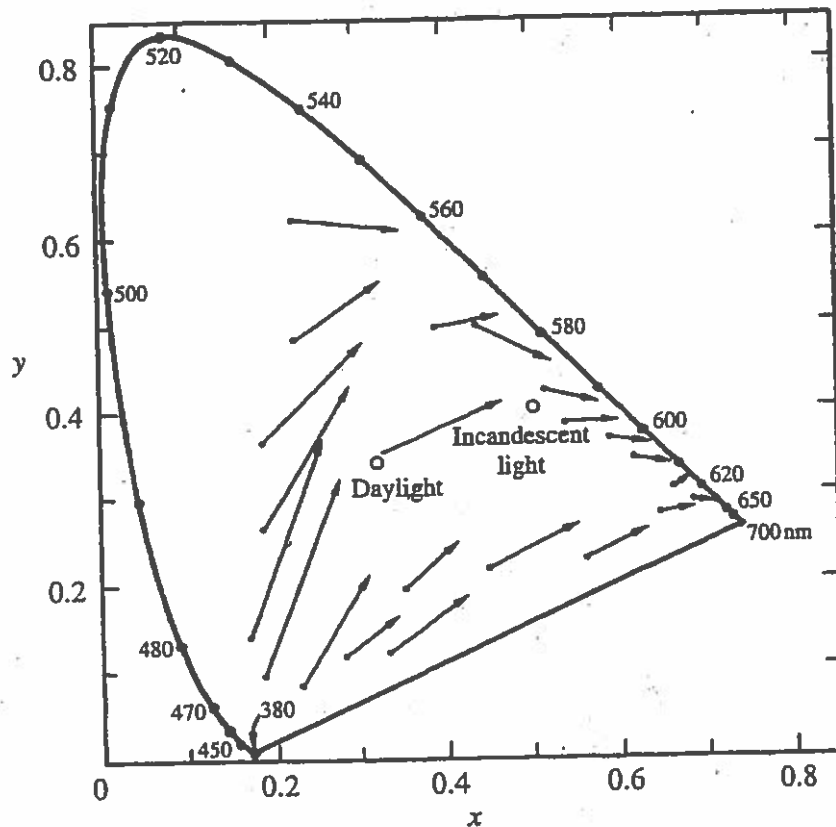


absorbs BLUE, GREEN

Stability: *
CC025R-AAA
CC05R-AAA
CC10R-AAA
CC20R-AAA
CC30R-ABA
CC40R-ABA
CC50R-ABA

ΑΙΤΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Γενική Κατηγορία	#	Μηχανισμός	Παραδείγματα
Γεωμετρική και Κυματική Οπτική	1	Διάθλαση	Ουράνιο τόξο, Χρωματική εκτροπή
	2	Διάχυση	Μπλέ του ουρανού, Κόκκινο της δύσης
	3	Συμβολή	Έγχρωμα λεπτά υμένα, χρώματα σε έντομα, αντιρεφλέξ κρύσταλλα
	4	Περίθλαση	Χρώματα σε έντομα, υγροί κρύσταλλοι, οπάλιο
Μεταπτώσεις σε στερεά υλικά (θεωρίες ζώνης)	5	Μέταλλα	Χαλκός, ασήμι, χρυσός, σίδηρος, ορείχαλκος
	6	Ημιαγωγοί (καθαροί)	Πυρίτιο, γαληνίτης, διαμάντι, κιννάβαρι
	7	Ημιαγωγοί (με προσμίξεις)	Διαμάντι (μπλέ, κίτρινο), δίοδοι, φωσφόροι, Laser ημιαγωγών
Χρώματα σε κρυσταλλικά πεδία	8	Μέταλλα μετάβασης	Τυρκουάζ, χρωστικές, μερικά Laser
	9	Ατέλειες μετάλλων μετάβασης	Ρουμπίνι, σμαράγδι, χαλαζίτης, μερικός φθορισμός, μερικά Laser
	10	Κέντρα χρώματος	Αμέθυστος, αμέθυστος της ερήμου, μερικός φθορισμός, σκοτεινό γαλάζιο
Μεταπτώσεις από μοριακά τροχιακά	11	Μετάπτωση φορτίου	Μπλέ ζαφείρι, μαγνητίτης
	12	Συζευγμένοι δεσμοί σε οργανικά μόρια	Οργανικά χρωστικά, φυτικά και ζωικά χρώματα, λαζουρίτης, πυγολαμπίδα, μερικός φθορισμός, έγχρωμα Laser
Μεταπτώσεις σε άτομα, ελεύθερα ιόντα και μόρια, φλόγα	13	Πυράκτωση	Μέλαν σώμα, φλόγα, σπινθήρας
	14	Αποδιεγέρσεις αερίων, ατμών, εκκενώσεις	Κεραυνός, εκρήξεις αερίων, μερικά Laser
	15	Μοριακές δονήσεις (ταλαντώσεις, περιστροφικές κινήσεις)	Χρώμα πρασινογάλαζο νερού, πάγου.

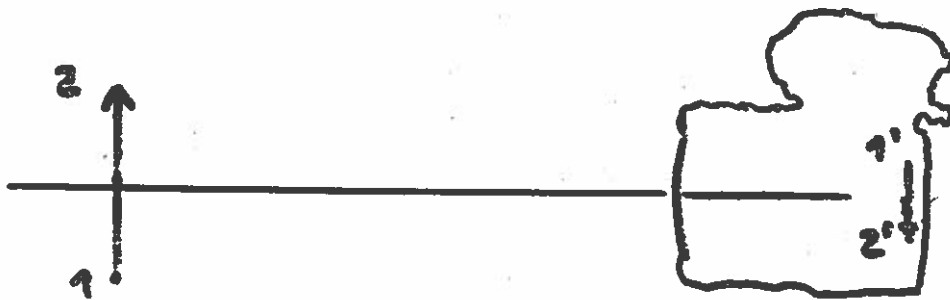


Corresponding colors when daylight is changed to incandescent light (colors change in the direction of arrowhead) (MacAdam 1956).
 Reproduced by permission of Optical Society of America

Φωτογραφικός φακός εστιακή απόσταση f

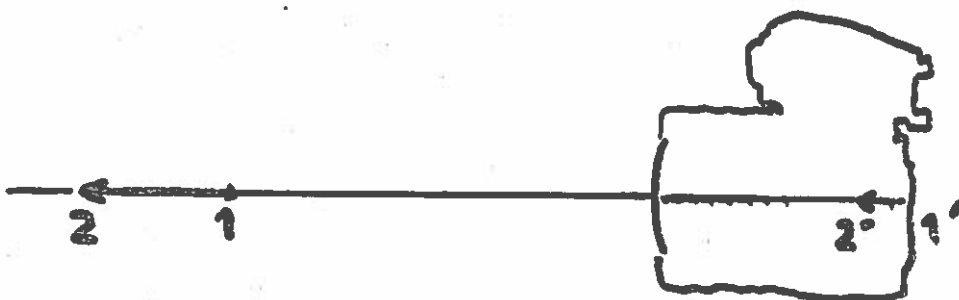
απεικονίζει κινούμενα, σημειακά αντικείμενα

σε απόσταση a .



κίνηση αντικειμένου ΚΑΘΕΤΑ στον οπτικό άξονα =

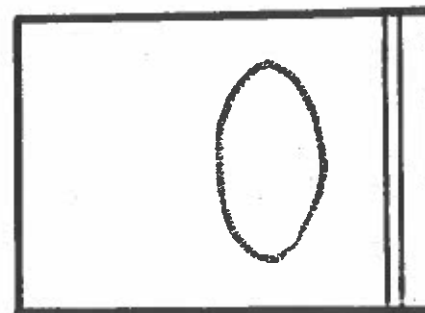
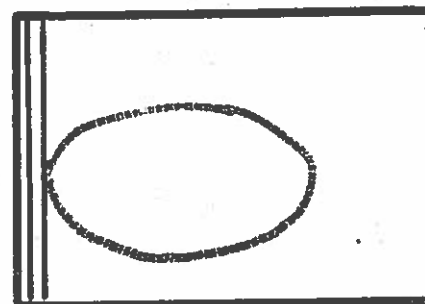
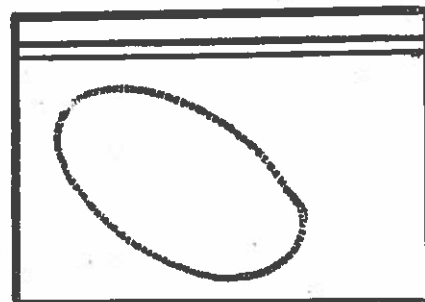
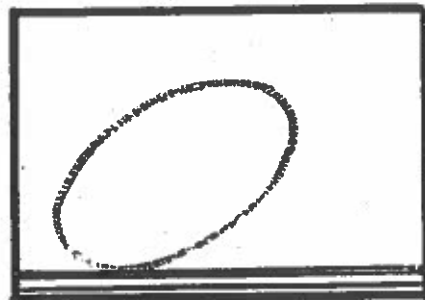
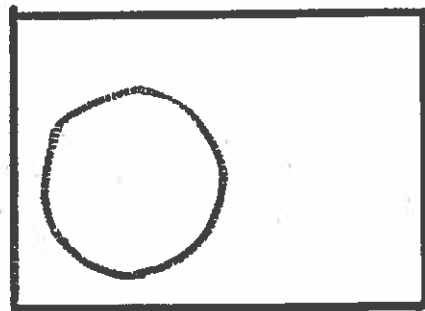
$$v_{\text{ειδ.}} = v_{\text{αντ.}} \cdot \left(\frac{f}{a}\right)$$

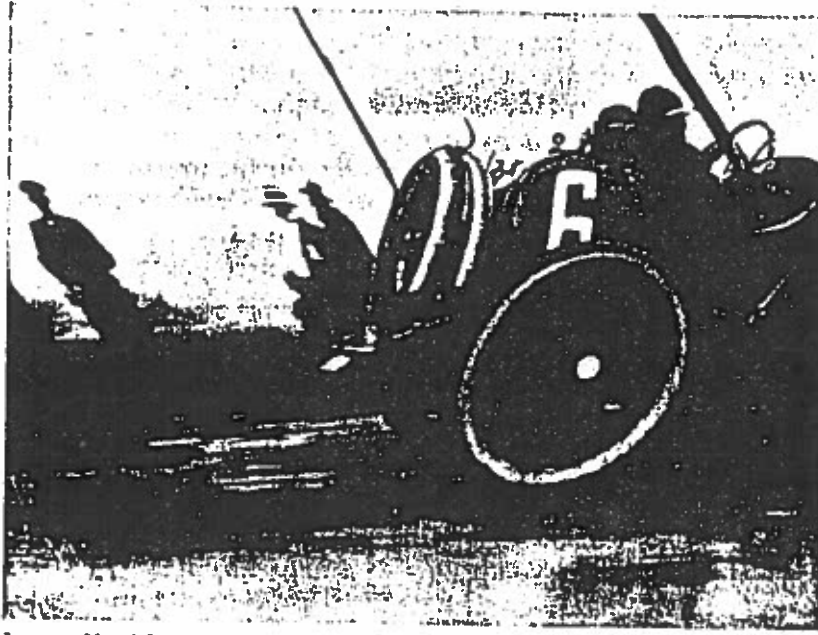
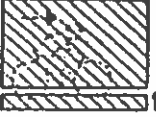
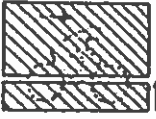
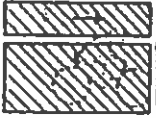
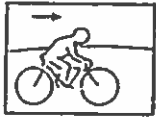


κίνηση αντικειμένου ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ του οπτικού άξονα

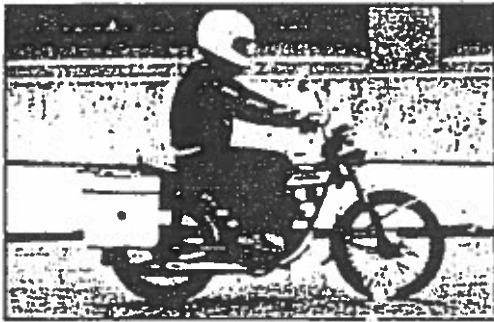
$$v_{\text{ειδ.}} = v_{\text{αντ.}} \cdot \left(\frac{f}{a}\right)^2$$

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΛΕΙΣΤΡΩ ΕΣΤΙΑΚΩ ΕΠΙΠΕΔΩ

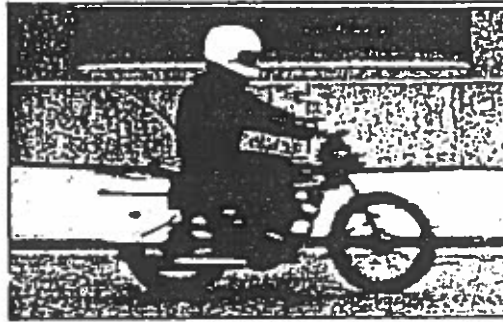




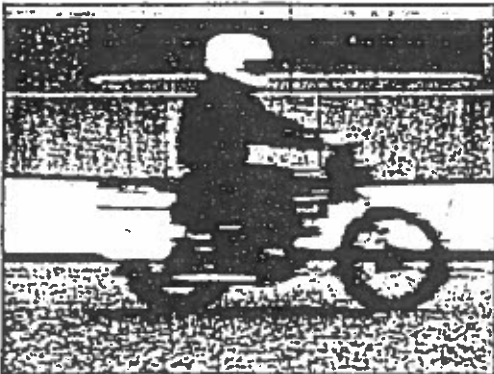
Jacques Henri Lartigue: Έκράν Π,δ, 1912
(παράδειγμα παραμορφώσεως κλειστού φασιδίου)



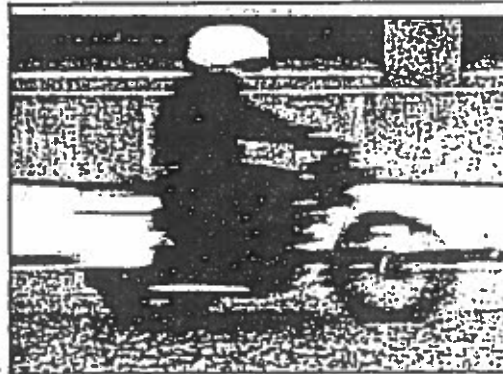
1/500 sec f/5.6



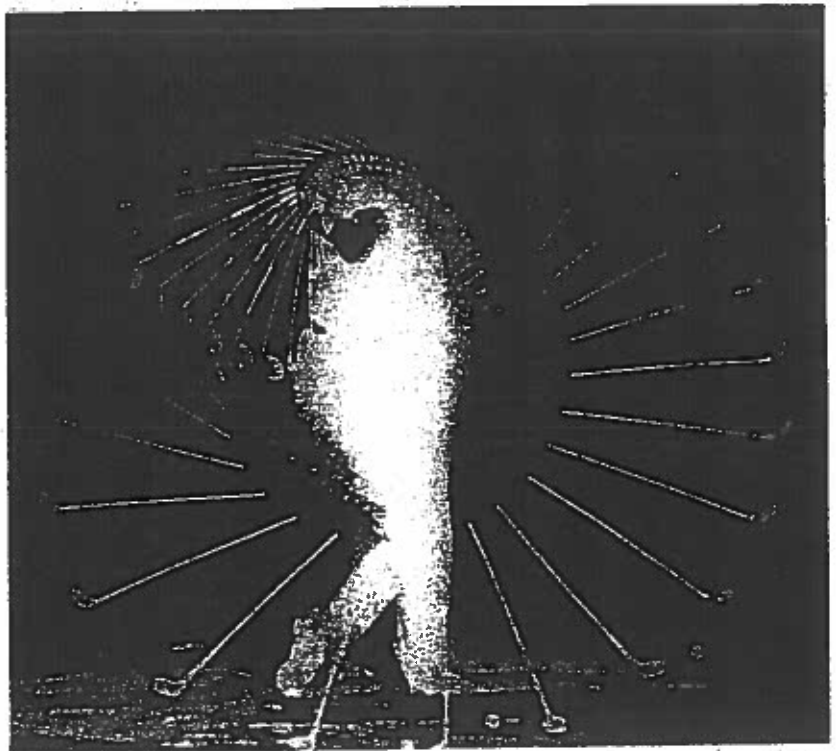
1/250 sec f/8



1/125 sec f/11



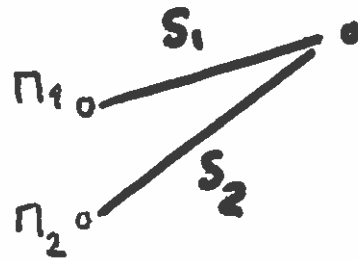
1/60 sec f/16



ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

Δυο κύματα με
ίδιο μήκος κύματος λ '
ίδιο πλάτος

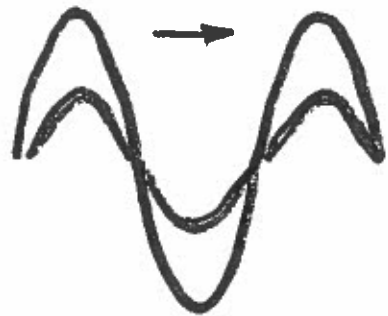
$$\Delta S = S_2 - S_1$$



- ΕΝΙΣΧΥΣΗ
φωτεινές περιοχές όταν :

$$\Delta S = 0, 2\frac{\lambda}{2}, 4\frac{\lambda}{2}, \dots$$

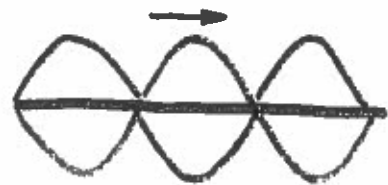
δηλαδή : $\Delta S = 2n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($n=0,1,2,\dots$)



- ΑΝΑΪΡΕΣΗ
σκοτεινές περιοχές όταν :

$$\Delta S = \frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, 5\frac{\lambda}{2}, \dots$$

δηλαδή : $\Delta S = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ($n=1,2,3,\dots$)



Οι περιοχές αυτές (φωτεινές ή σκοτεινές)
ονομάζονται ζώνες συμβολής.

Για τη δημιουργία σταθερών ειδών συμβολής
χρειάζονται ΣΥΜΦΩΝΕΣ φωτεινές πηγές. Θα
πρέπει δηλαδή να ισχύουν :

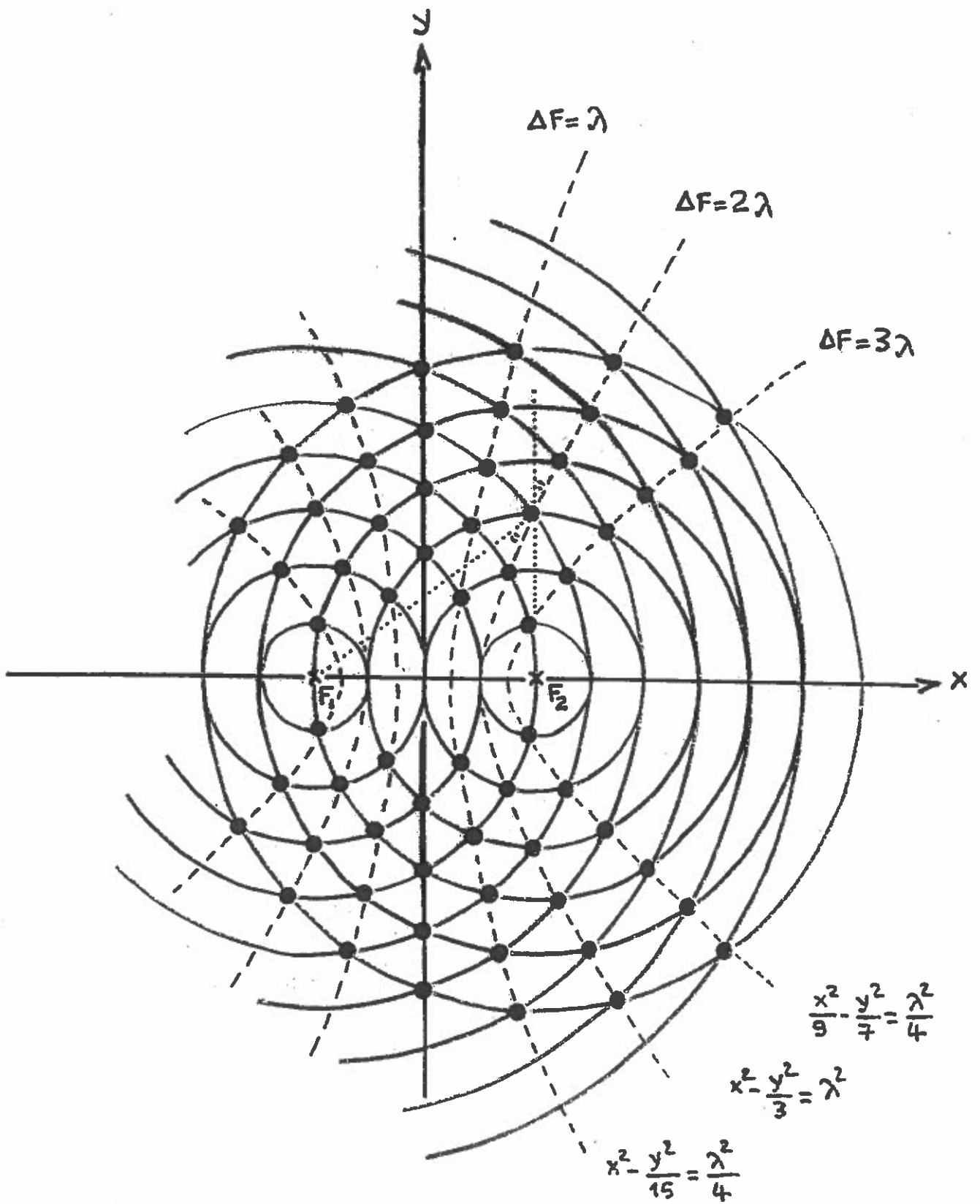
Οι δυο πηγές να εκπέμπουν μονοχρωματικά
φωτεινά κύματα.

Τα κύματα που συμβάλουν να έχουν την ίδια
πάντα διαφορά φάσης στη περιοχή εωάντησης
(π.χ. δημιουργία δυο φωτεινών πηγών από μοναδική
πηγή).

Το πλάτος των κυμάτων να είναι το ίδιο.

Οι φωτεινές πηγές με διαβάσεις σχετιικά
περιορισμένες.

Οι φωτεινές πηγές να είναι κοντά ή μακριά
άλλη.



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΦΩΤΕΙΝΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ
(σε σχέση με το τρόπο που δημιουργήθηκαν).

Διαχωρισμός του μετώπου φωτεινού κύματος

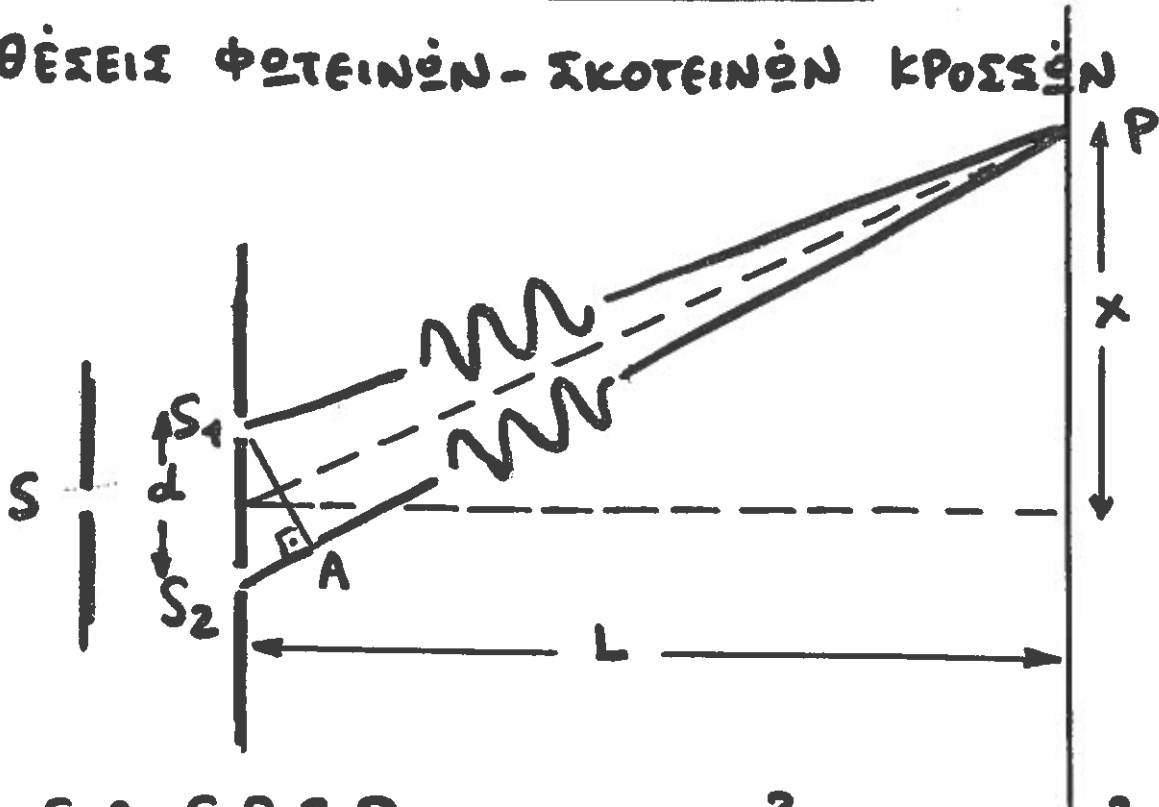
- απαιτείται σημειακή φωτεινή πηγή ή πολύ στενή φωτεινή δέσμη
- δεν δημιουργείται "συμπληρωματική" εικόνα συμβολής με ανεστραμμένα χαρακτηριστικά
π.χ. Διατάξεις πλάκας Young, Fresnel

Διαχωρισμός του πλάτους σε φωτεινό κύμα

- Πραγματοποιείται και με φωτεινή πηγή μεγάλων σχετικά διαστάσεων.
- Δημιουργείται η συμπληρωματική εικόνα των κροσσών συμβολής.
π.χ. Διατάξεις λεπτών υμενίων, δακτύλιοι Newton.

ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG (1801)

ΘΕΣΕΙΣ ΦΩΤΕΙΝΩΝ - ΣΚΟΤΕΙΝΩΝ ΚΡΟΣΣΩΝ



$$S_2A = S_2P - S_1P \quad \text{Ισχύουν: } \left. \begin{aligned} S_2P^2 &= L^2 + (x + \frac{d}{2})^2 \\ S_1P^2 &= L^2 + (x - \frac{d}{2})^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$S_2P^2 - S_1P^2 = (x + \frac{d}{2})^2 - (x - \frac{d}{2})^2 = 2xd \rightsquigarrow$$

$$(S_2P - S_1P) \cdot (S_2P + S_1P) = 2xd \quad \text{και εάν θεωρηθεί ότι: } S_2P + S_1P \approx 2L \text{ τότε:}$$

$$S_2A = S_2P - S_1P = \frac{xd}{L} \quad \left. \begin{aligned} \text{εάν } \frac{xd}{L} &= 2n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{ΦΩΣ} \\ & \quad (n=0,1,2,\dots) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{εάν } \frac{xd}{L} &= (2n-1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{ΣΚΟΤΟΣ} \\ & \quad (n=1,2,3,\dots) \end{aligned} \right\}$$

Αποστάσεις x_n από κέντρο για φωτεινούς κροσμούς:

$$x_n = 2n \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (n=0,1,2,\dots)$$

Αποστάσεις x_n από κέντρο για σκοτεινούς κροσμούς:

$$x_n = (2n-1) \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (n=1,2,3,\dots)$$

{ λ : μήκος κύματος φως, L : απόσταση πετάσματος και d : απόσταση S_1, S_2 }

Η απόσταση β μεταξύ δυο διαδοχικών (φωτεινών ή σκοτεινών) κροσμών δίνεται από τη σχέση:

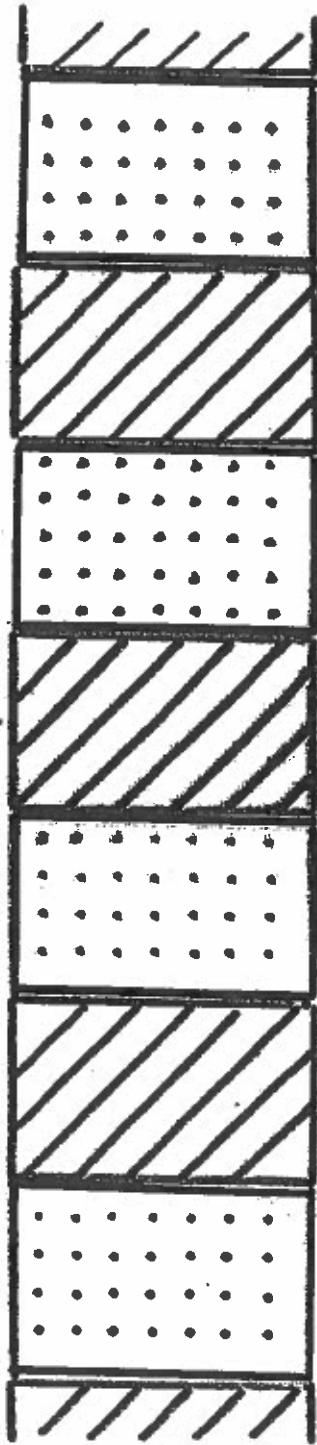
$$\beta = \frac{L}{d} \cdot \lambda$$

και είναι ανεξάρτητη από την τάξη n των κροσμών.

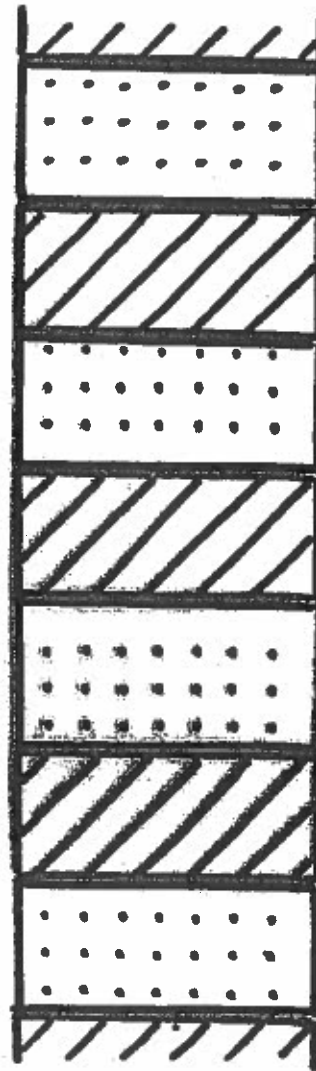
Προφανώς ισχύει: $\beta_{\text{red}} > \beta_{\text{blue}}$

ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG

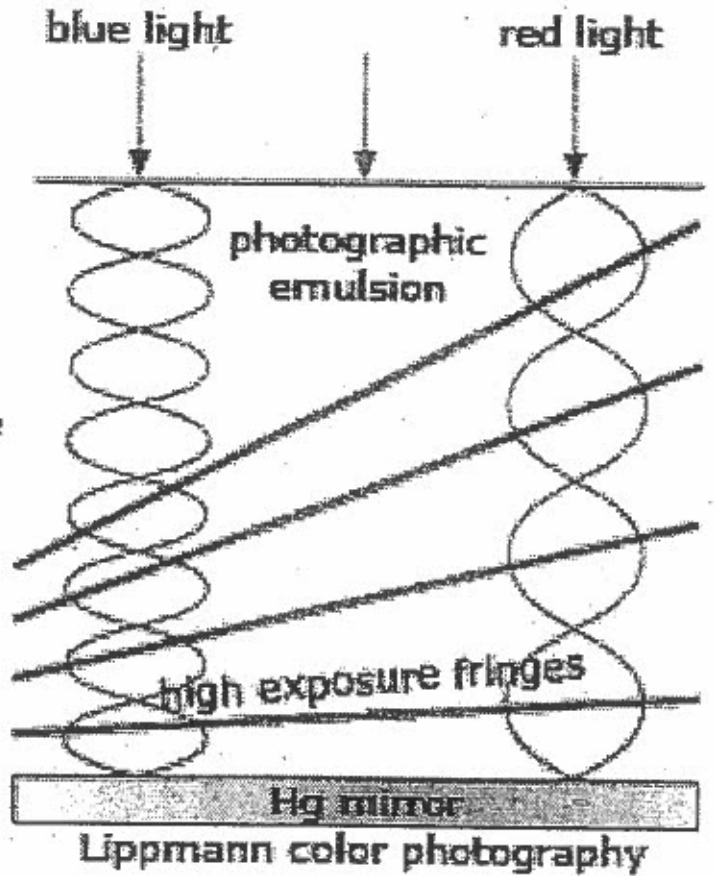
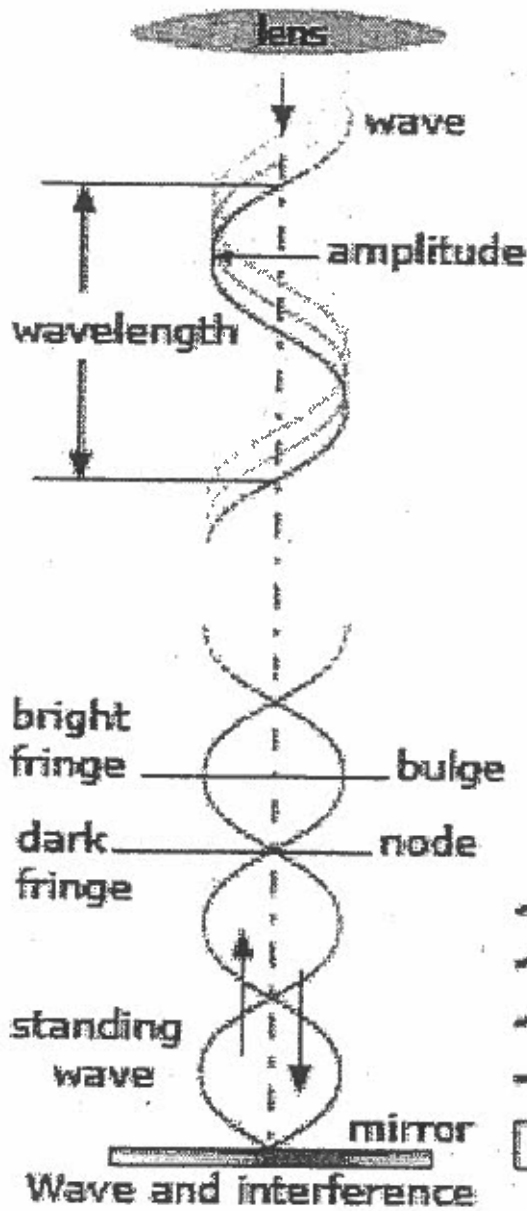
ΕΙΚΟΝΕΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ

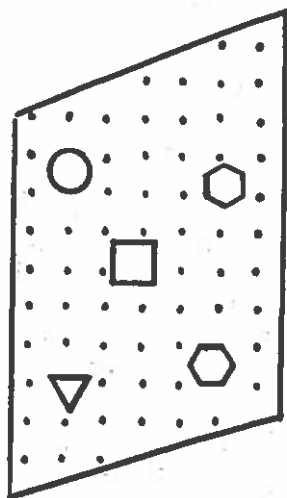


RED
 $\lambda = 633 \text{ nm}$



BLUE
 $\lambda = 450 \text{ nm}$



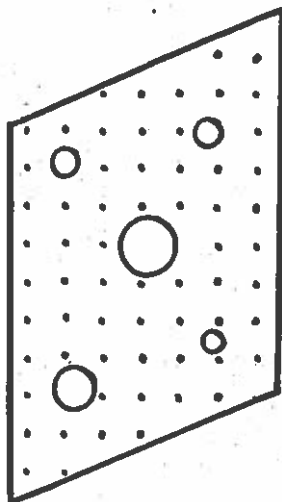


ΤΑ ΦΩΤΕΙΝΑ ΕΙΔΩΛΑ

ΌΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΕΙΝΑΙ ΚΥΚΛΙΚΟΥ

ΣΧΗΜΑΤΟΣ



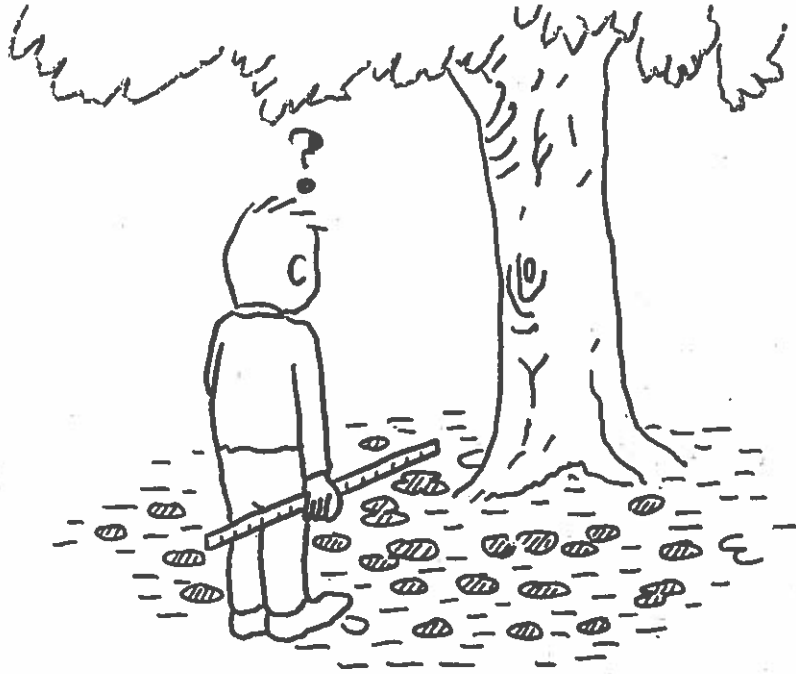
ΤΑ ΦΩΤΕΙΝΑ ΕΙΔΩΛΑ

ΌΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΕΙΝΑΙ ΦΩΤΕΙΝΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

ΙΔΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ

Τα φυλλώματα λειτουργούν σαν "πηκτες" και δημιουργούν στο εδαφος "εικόνες" του ήλιου. Διαθέτουμε ένα μέτρο και με τη γνώση ότι ο ήλιος απέχει 150.000.000 km να υπολογιστεί πρόχειρα η διάμετρος του ήλιου.



Απάντηση :

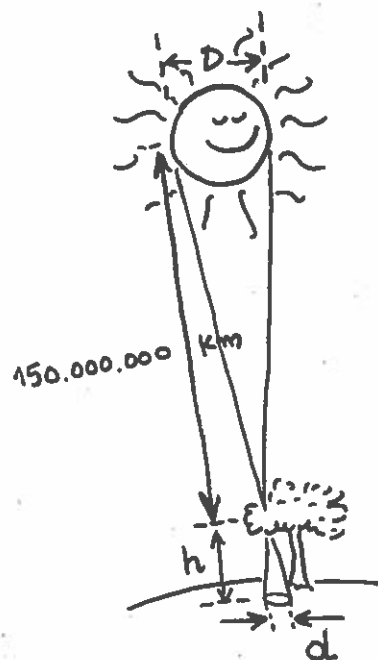
$$\text{Γεγύει: } \frac{D}{150.000.000} = \frac{d}{h} \Rightarrow$$

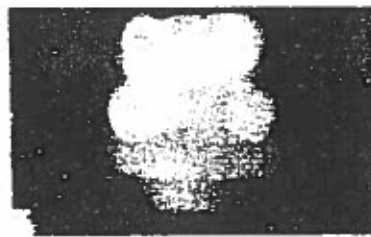
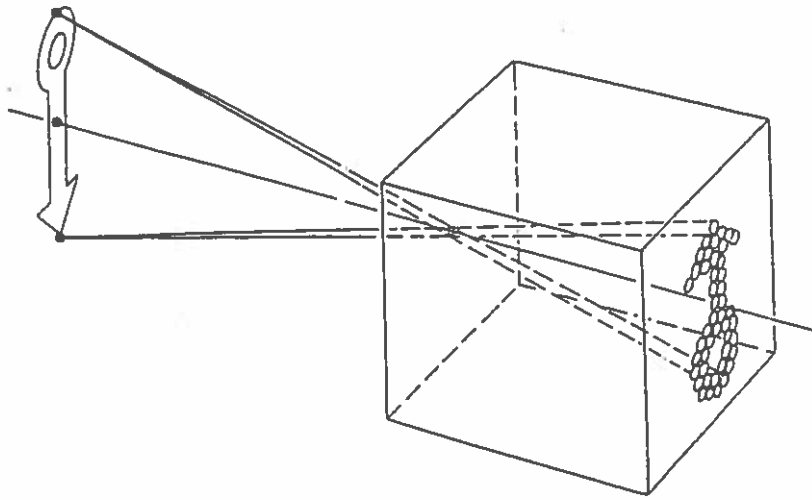
$$D = \frac{d}{h} \cdot 150.000.000 \text{ km}$$

$$\text{ή μέτρηση έδωσε } \frac{d}{h} \approx \frac{1}{108} \Rightarrow$$

$$D = \frac{1}{108} \cdot 150.000.000 \text{ km} = 1.400.000 \text{ km}$$

Η πραγματική τιμή είναι: $D = 1.392.000 \text{ km}$





2 mm



1 mm



0.6mm



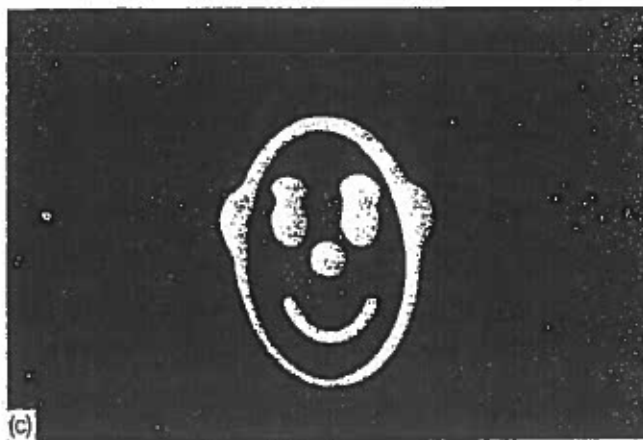
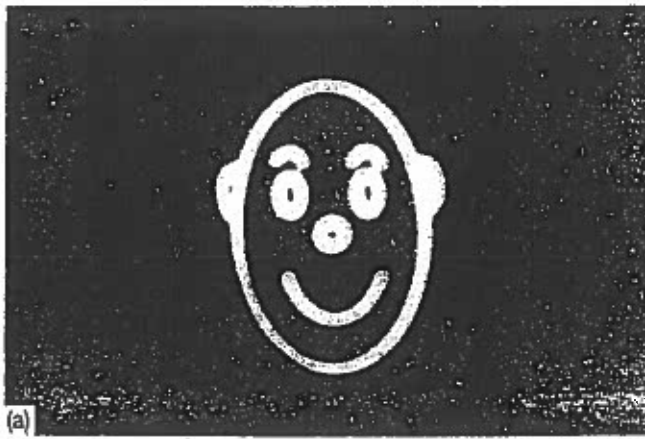
0.35 mm

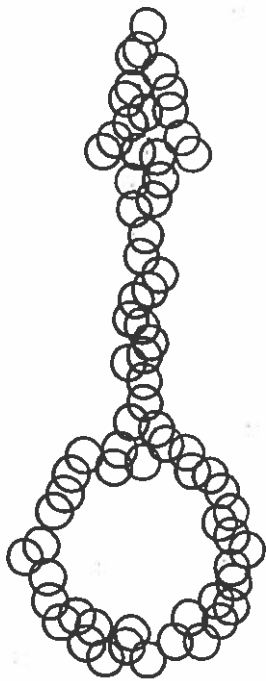


0.15 mm

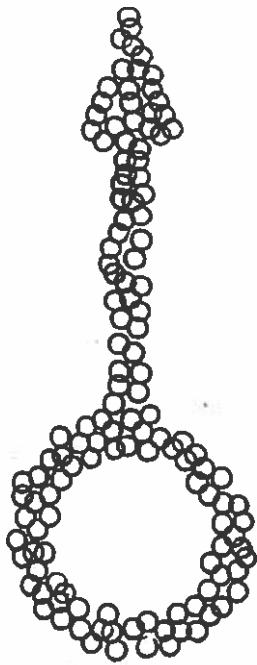


0.07 mm

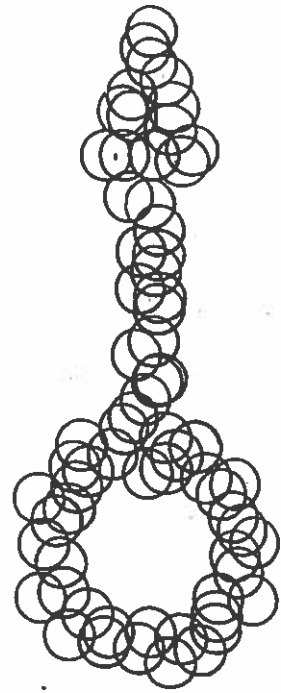




5 mm



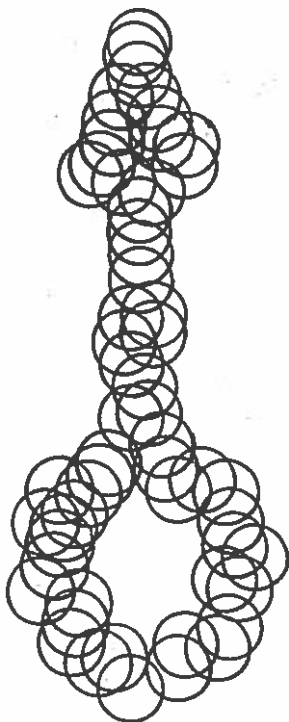
3 mm



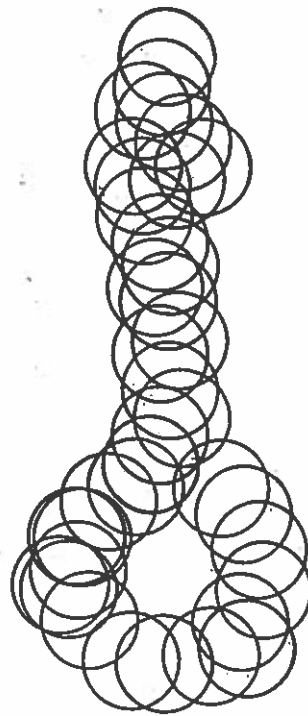
7 mm



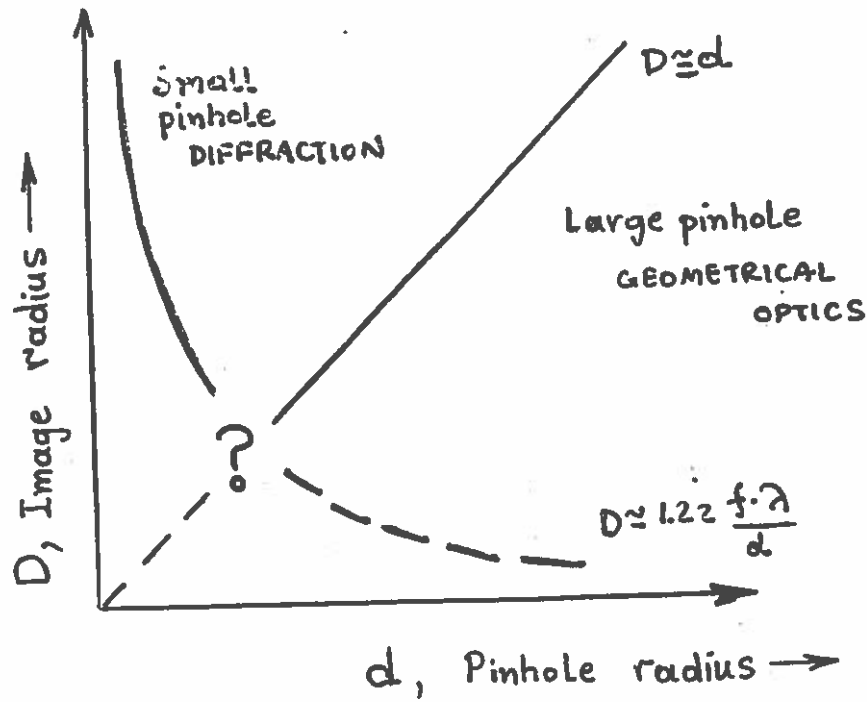
1 mm



9 mm



13 mm

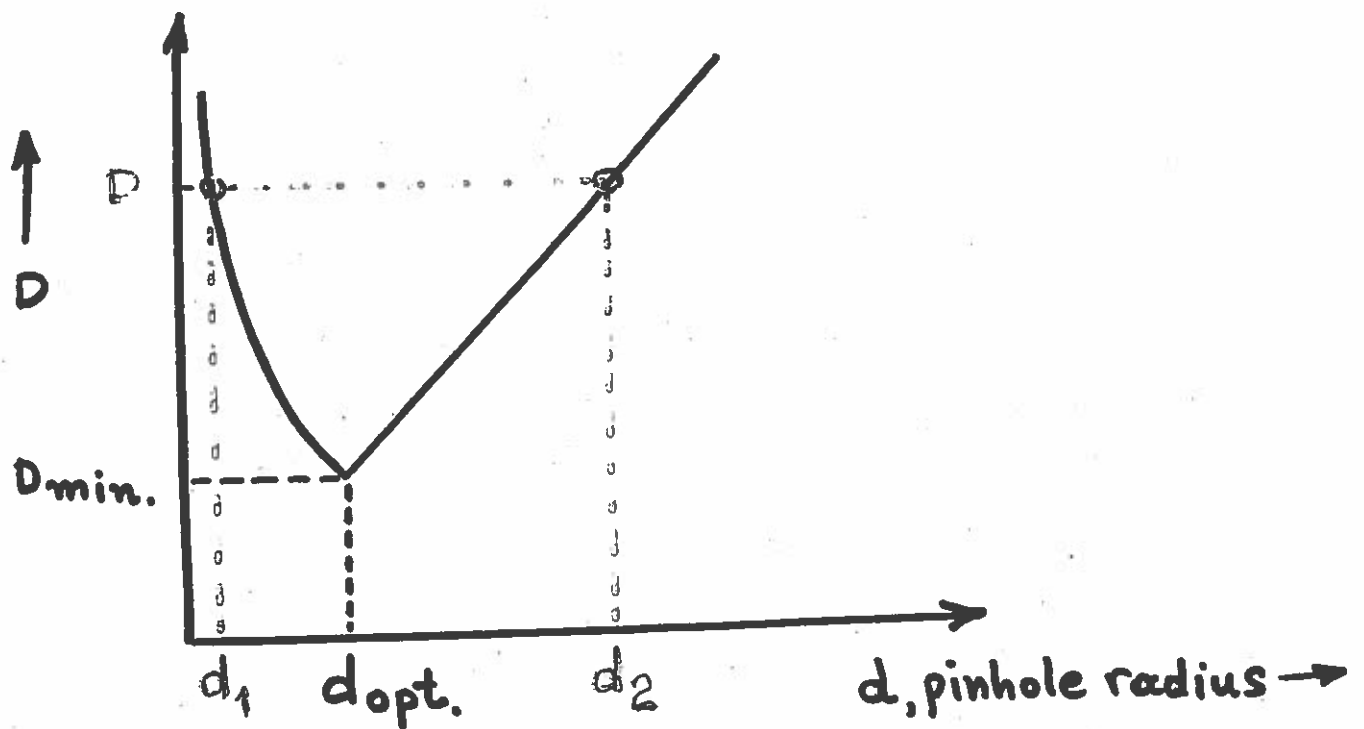


"Σημείο Τολμής" ίσχύει:

$$1,22 \frac{f \cdot \lambda}{d_{opt.}} = d_{opt.} \Rightarrow d_{opt.}^2 = 1,22 f \cdot \lambda$$

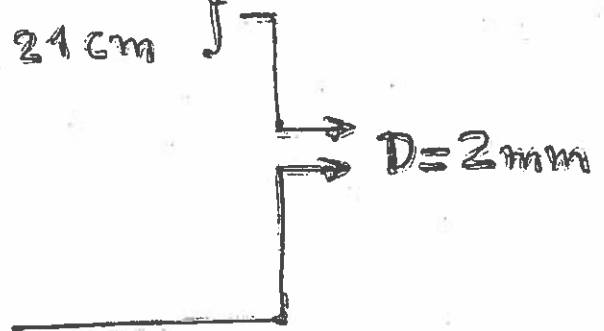
και τελικά :

$$d_{opt.} = \sqrt{1,22 f \cdot \lambda}$$



Για $d_1 = 0,07 \text{ mm}$ $\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 550 \text{ nm} \\ f = 21 \text{ cm} \end{array} \right\}$

Για $d_2 = 2 \text{ mm}$



Επί $d_{\text{opt.}} = \left(1,22 \times 21 \times 10^{-2} \times 550 \times 10^{-9} \right)^{1/2} \approx 0,38 \text{ mm}$

