

# ΤΑ LASER ΣΤΗΝ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΑ

ΜΠΑΧΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Ph.D  
ΦΥΣΙΚΟΣ

Τρίτη 28  
Μαΐου 2013



Εφαρμογές των Laser στη Βιοϊατρική:

Μια εξαιρετικά δημοφιλής ιατρική εφαρμογή: διάρριξη μυωπίας και άλλες επεμβάσεις στην οφθαλμολογία

Δρ. Κωνσταντίνος Μπαχάρης  
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ και Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

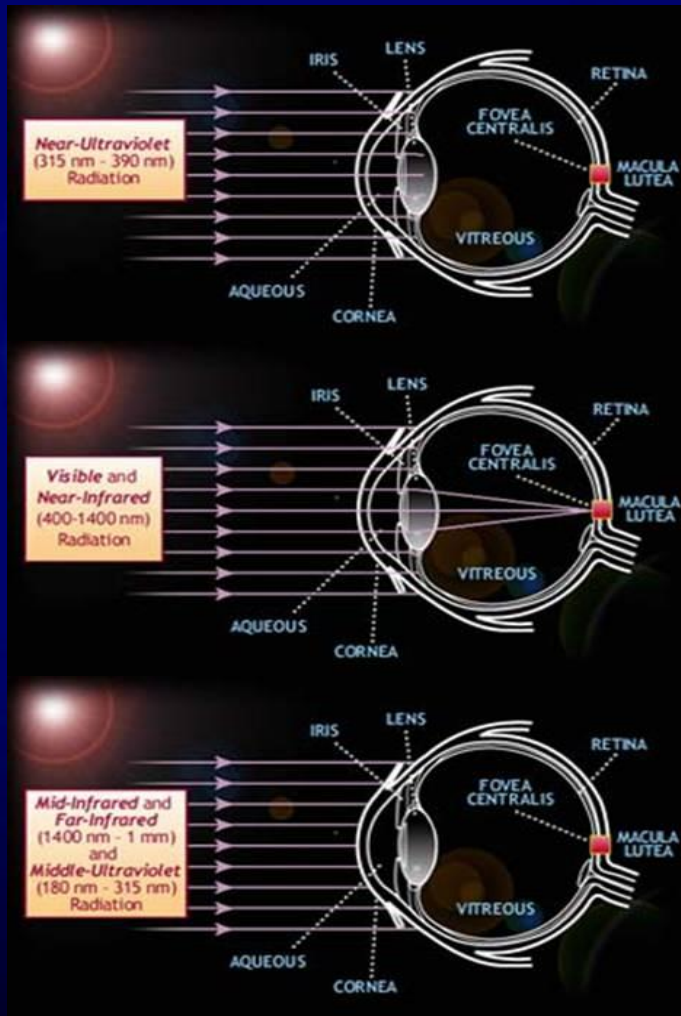
Laser ...

μια ακτίνα φωτός  
για την Έρευνα,  
την Τεχνολογία  
και τον Άνθρωπο



14 Μαΐου έως  
4 Ιουνίου 2013

# Τα laser στην Οφθαλμολογία Φωτοδιαθλαστική Χειρουργική



Χρήση του φωτός για επέμβαση στους χιτώνες του οφθαλμού

Η ανακάλυψη των Lasers έδωσε νέα ώθηση στις εφαρμογές της φωτοδιαθλαστικής χειρουργικής  
*Κοντινό υπεριώδες (315 – 390nm):*

*Εφαρμογές στον κρυσταλλοειδή φακό και τον πρόσθιο θάλαμο*

*Ορατό και κοντινό υπέρυθρο (400 – 1400nm):*

*Εφαρμογές στον αμφιβληστροειδή Μέσο και μακρινό υπέρυθρο (1400nm – 1mm) και μέσο και βαθύ υπεριώδες (180 – 315nm):*

*Εφαρμογές στον κερατοειδή*

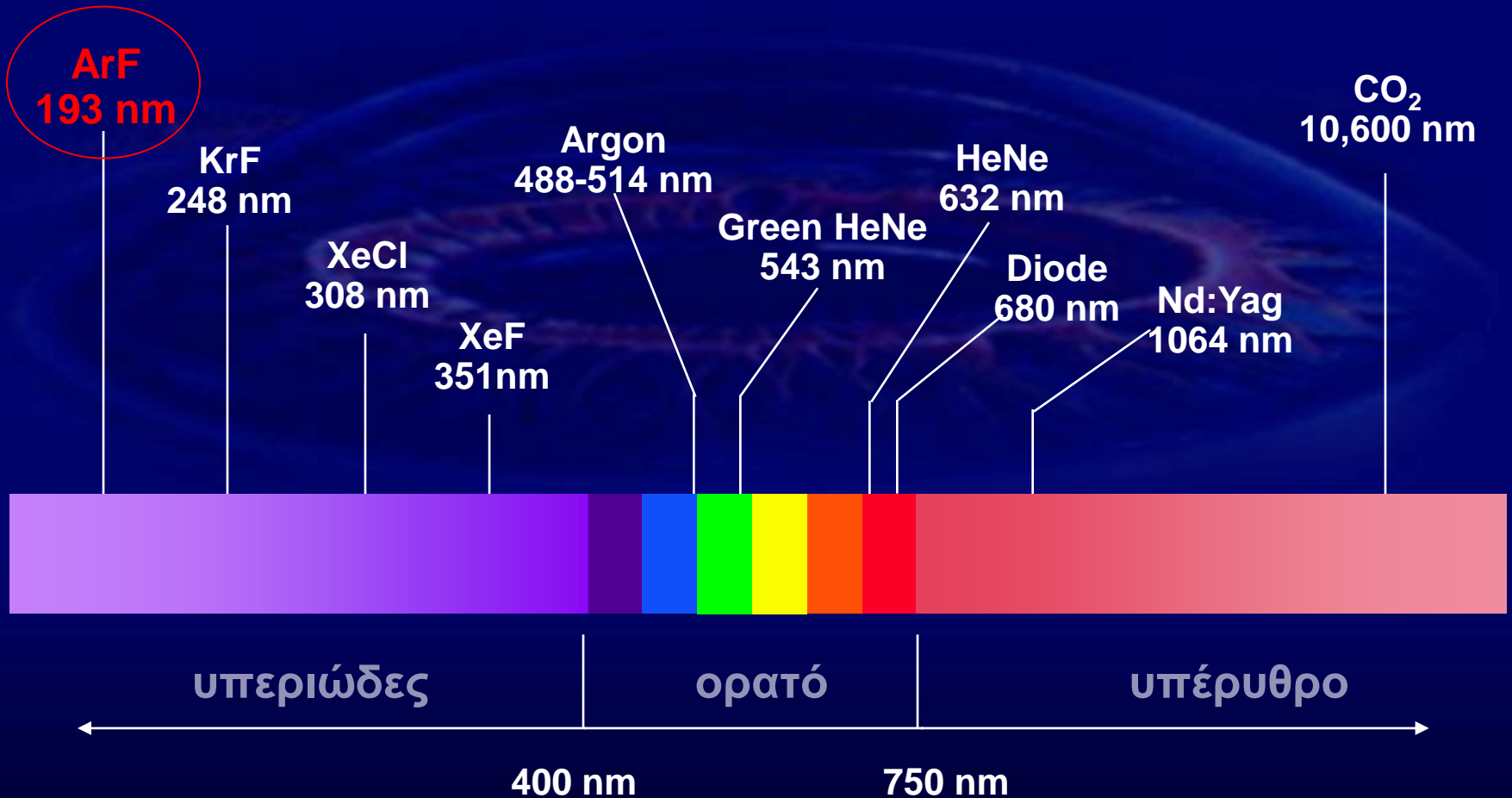
*Διηγερμένων διμερών ArF  $\lambda=193nm$*

*Χημικά HF  $\lambda=2940nm$*

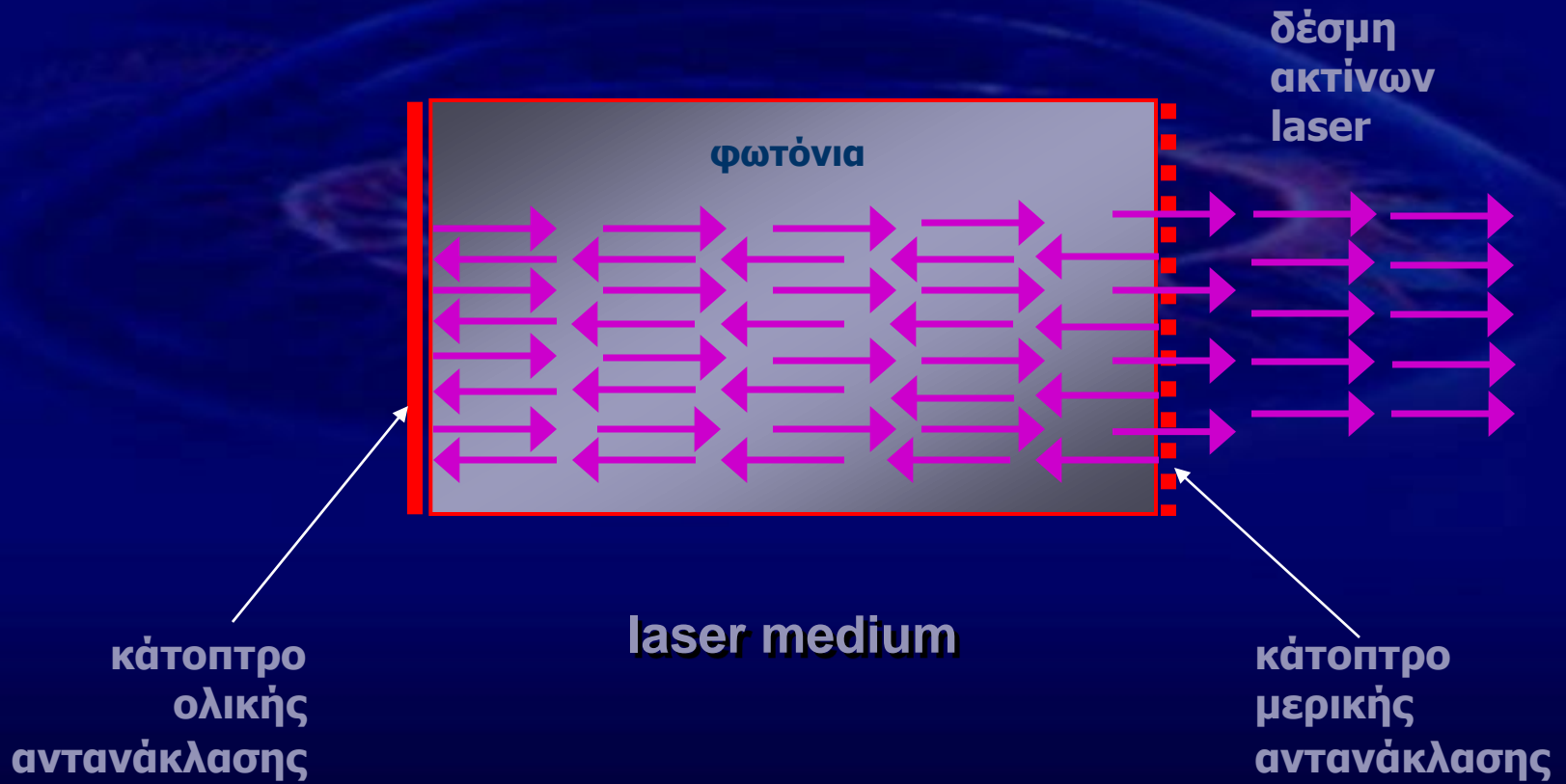
*Στερεάς κατάστασης Er:YAG*

*$\lambda=2940nm$*

# το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



# η αρχή του excimer laser



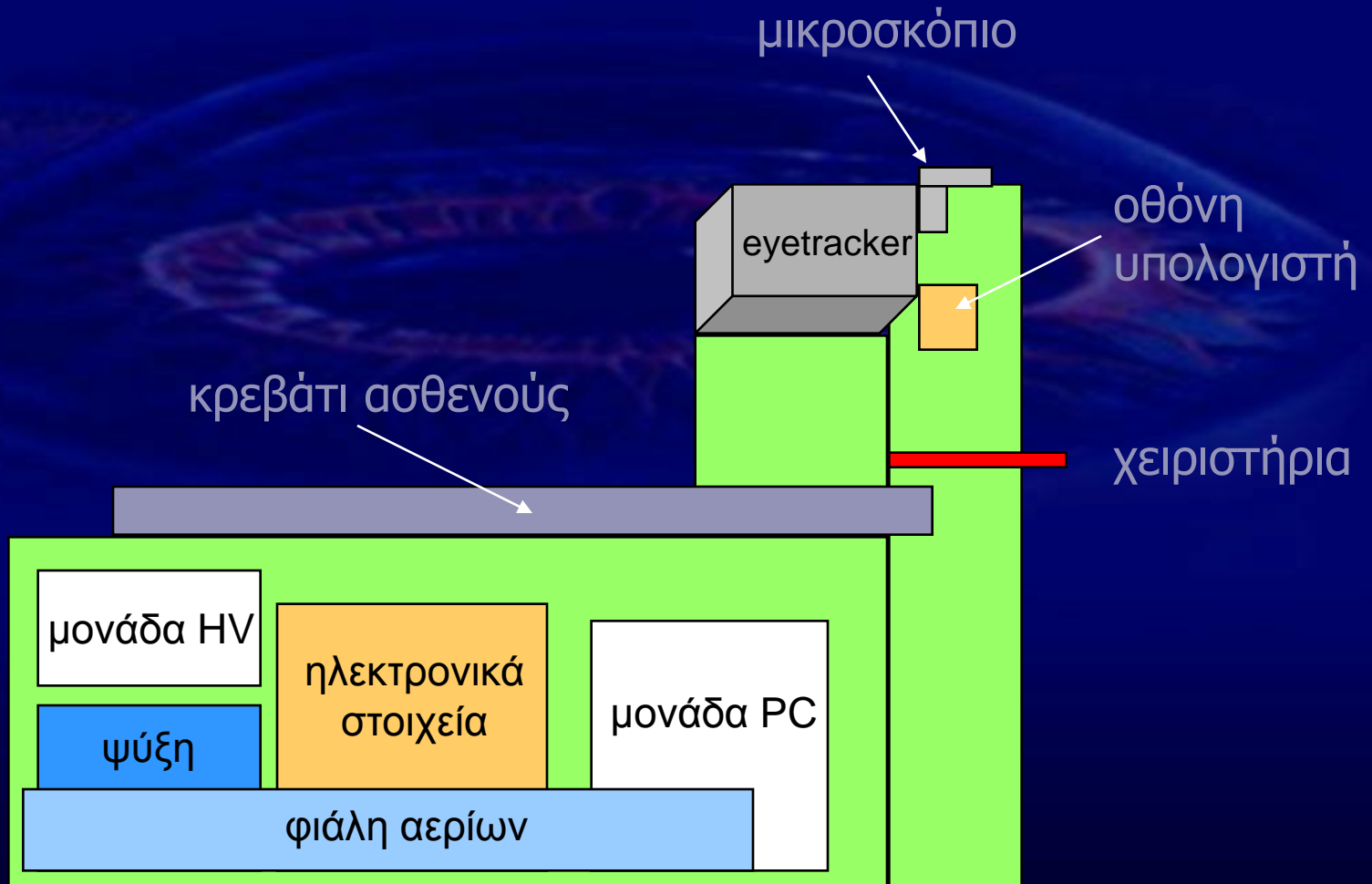
# το excimer laser

- υπεριώδεις laser 193nm (ArF)
- ψυχρό laser (αύξηση θερμοκρασίας κατά 10-20° C)
- μη επίδραση επι των παρακειμένων ιστών
- ακρίβεια βάθους αφαίρεσης  $\sim 0.25\mu\text{m}$

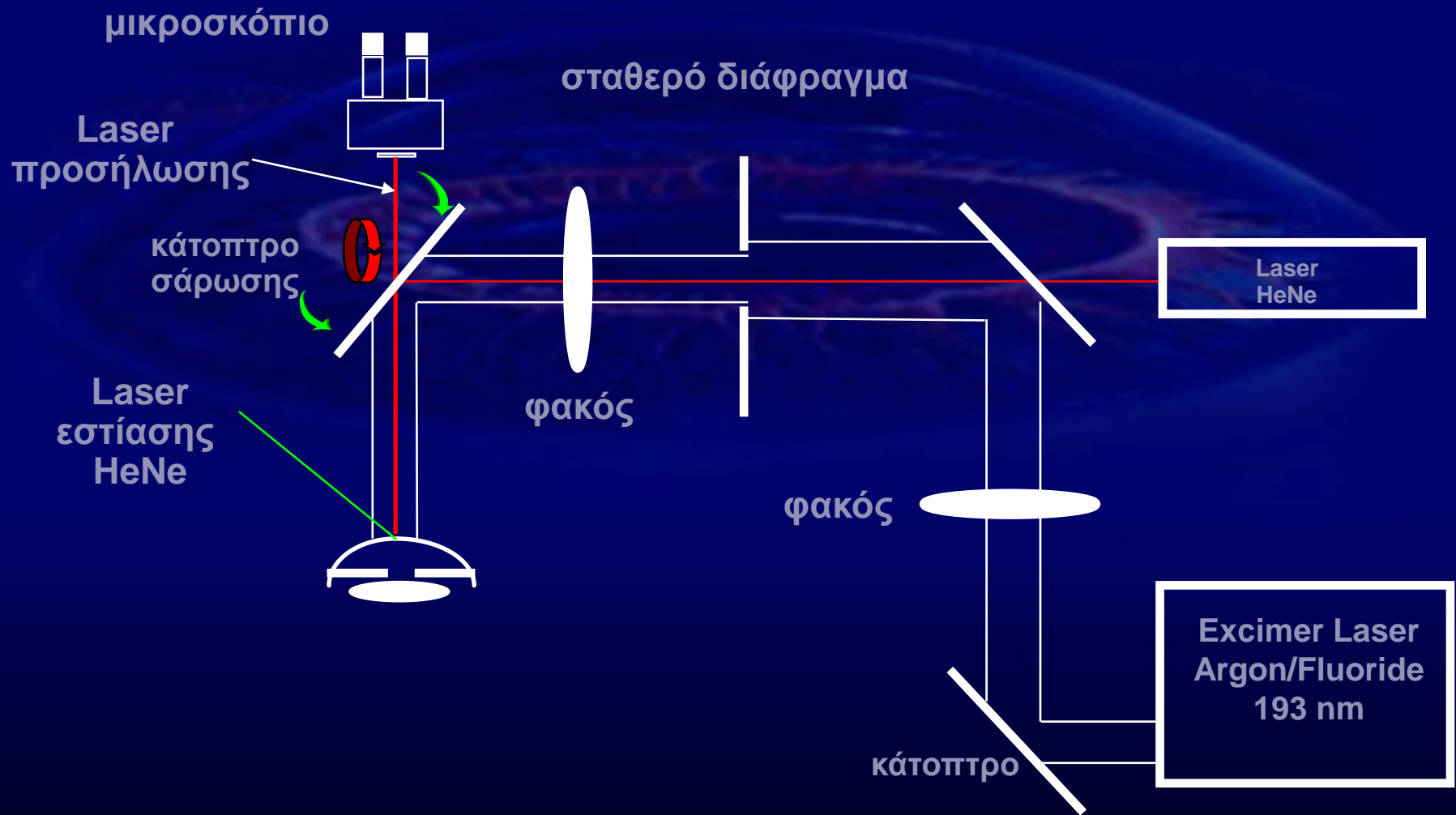
ακτινοβοληθείσα ανθρώπινη τρίχα



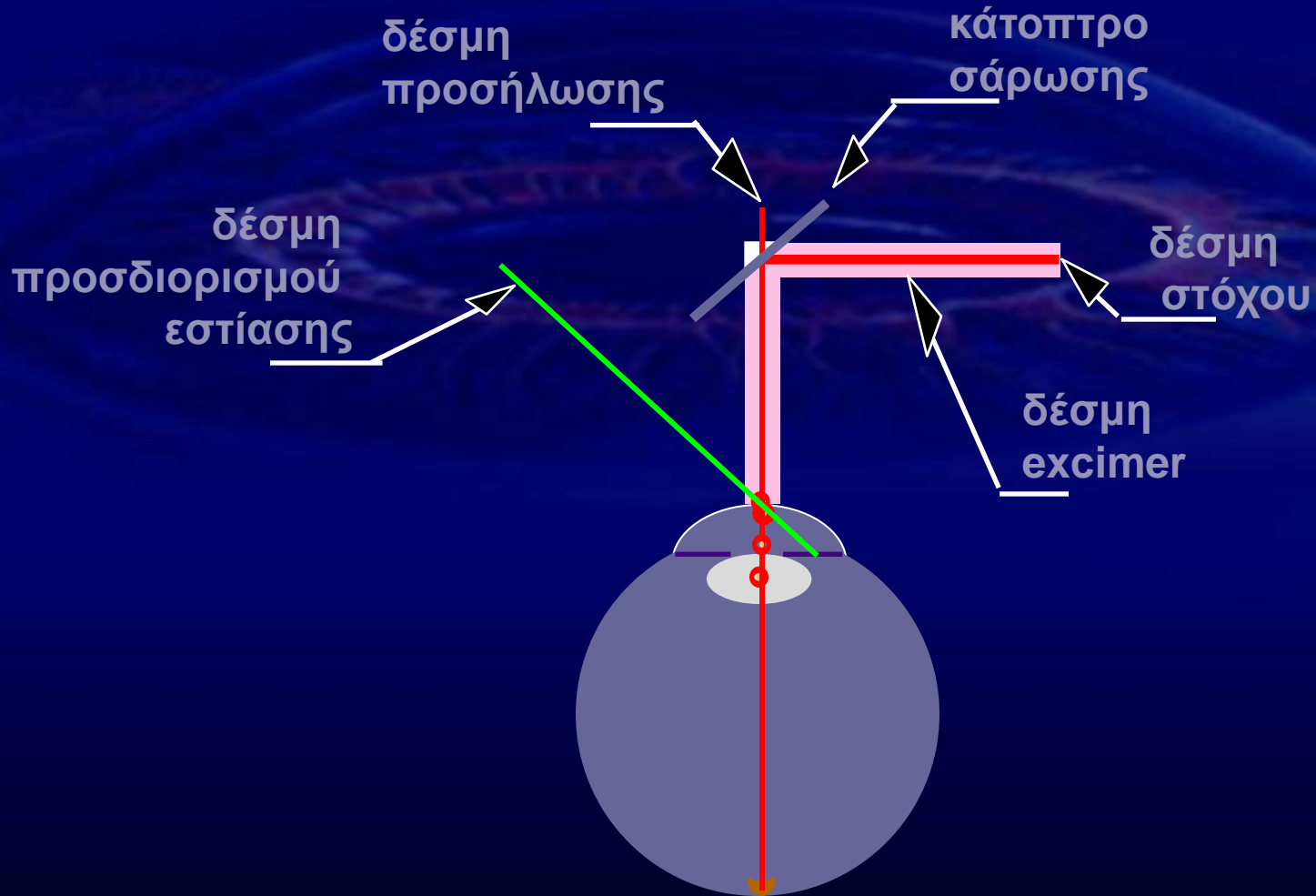
# τα κύρια στοιχεία συστήματος



# η οπτική διάταξη

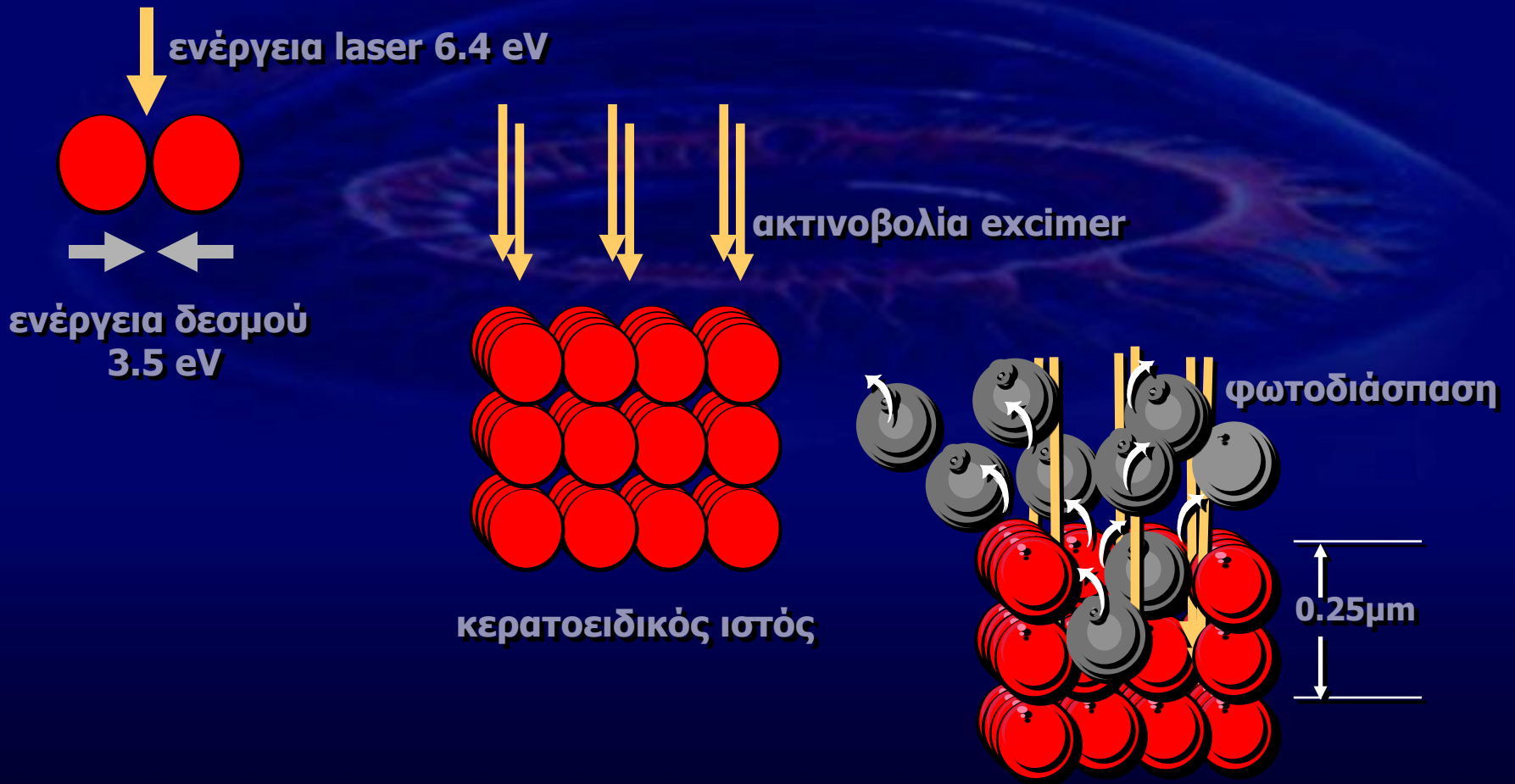


# η ευθυγράμμιση δέσμης

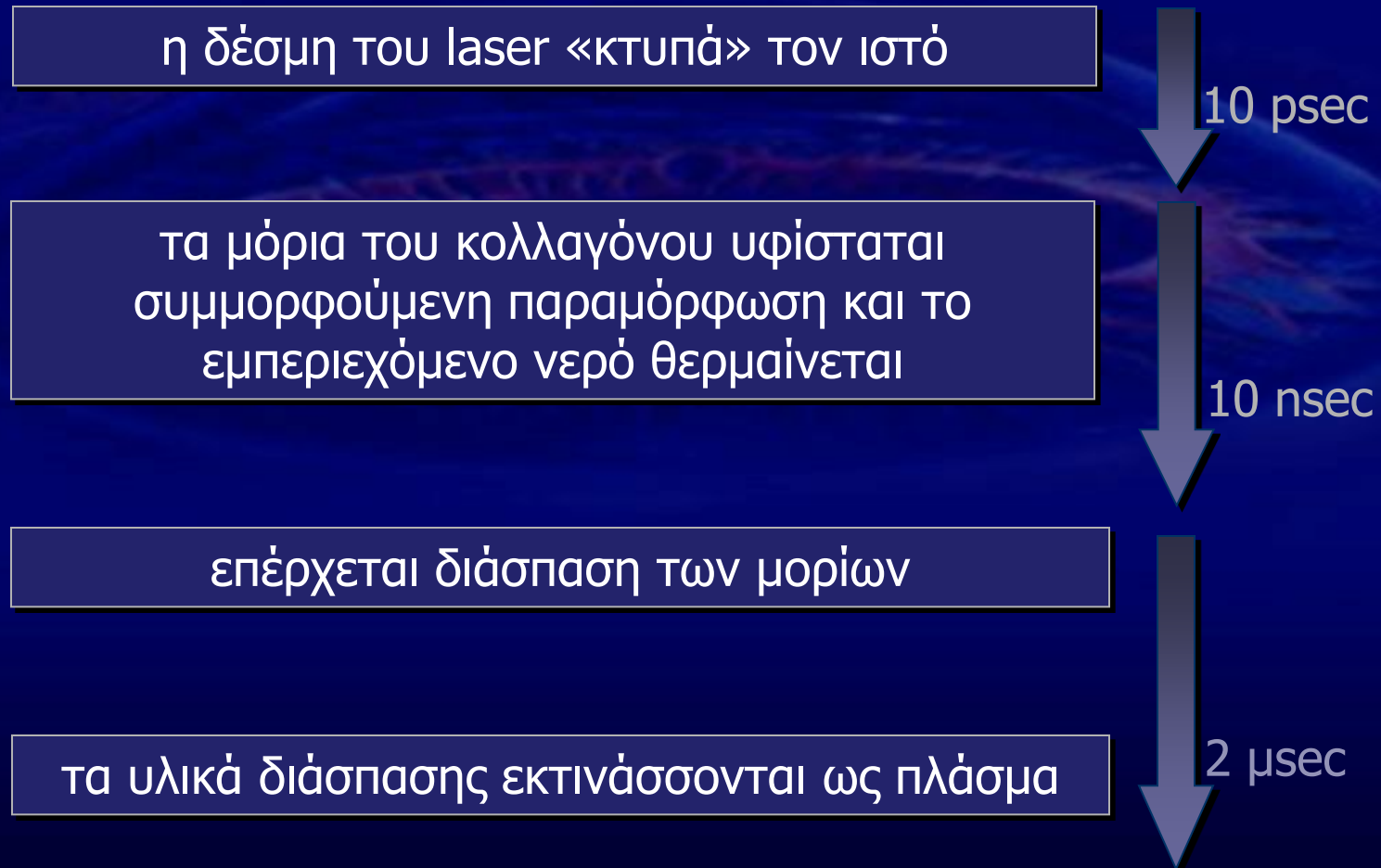




# η διαδικασία φωτοαφαίρεσης



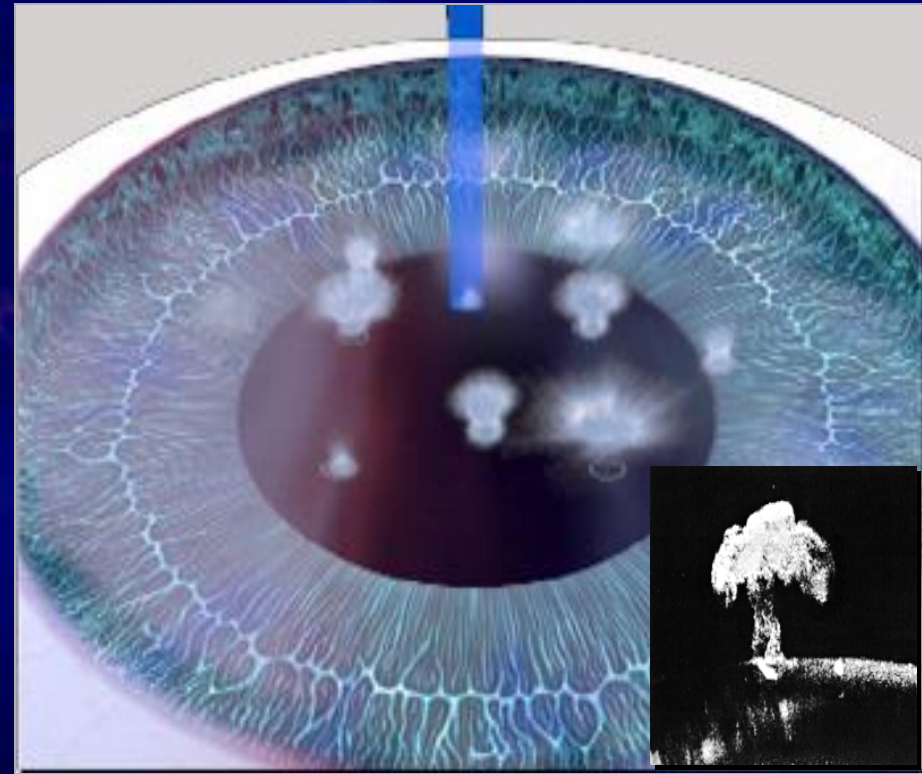
# η διαδικασία της φωτοαφαίρεσης



# excimer laser και plume evacuation

## φωτοδιάσπαση αφαίρεσης

- υψηλή ενέργεια (6.4 eV)
- ακτινοβολία επί του κερατοειδούς
  - Fluence
  - μέτρηση της ενεργειακής πυκνότητας
- ουδός φωτοαφαίρεσης
  - 50 mJ/cm<sup>2</sup>



θυσσανωτή εκκένωση

# Οφθαλμός

## Τα μέρη του ματιού

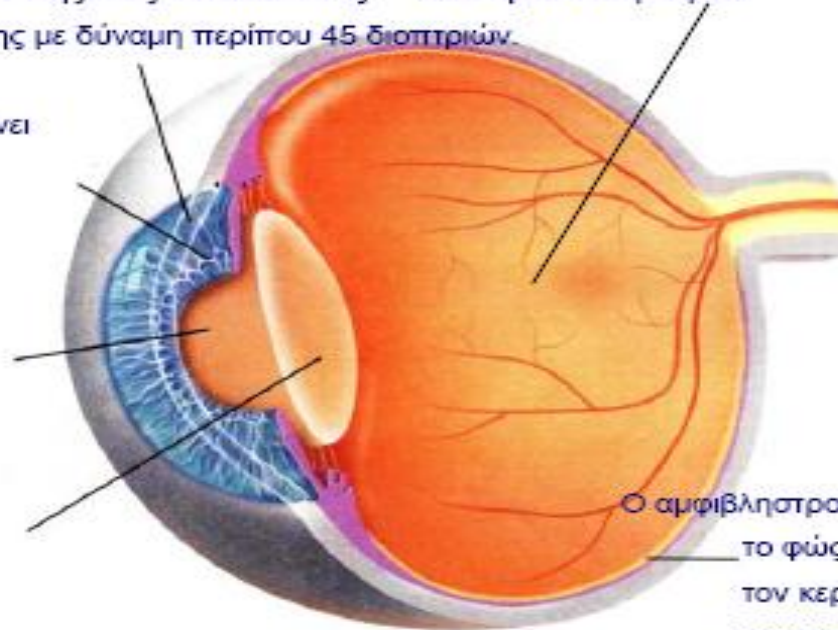
Ο κερατοειδής είναι το διαυγές, πρόσθιο, προστατευτικό τμήμα του ματιού. Είναι επίσης ένας πολύ δυνατός φακός εστίασης με δύναμη περίπου 45 διοπτριών.

Η ίριδα, το έγχρωμο τμήμα του ματιού, μεγαλώνει ή μικραίνει το άνοιγμα της κόρης.

Η κόρη είναι το μικρό άνοιγμα που επιτρέπει την είσοδο του φωτός στον οφθαλμό.

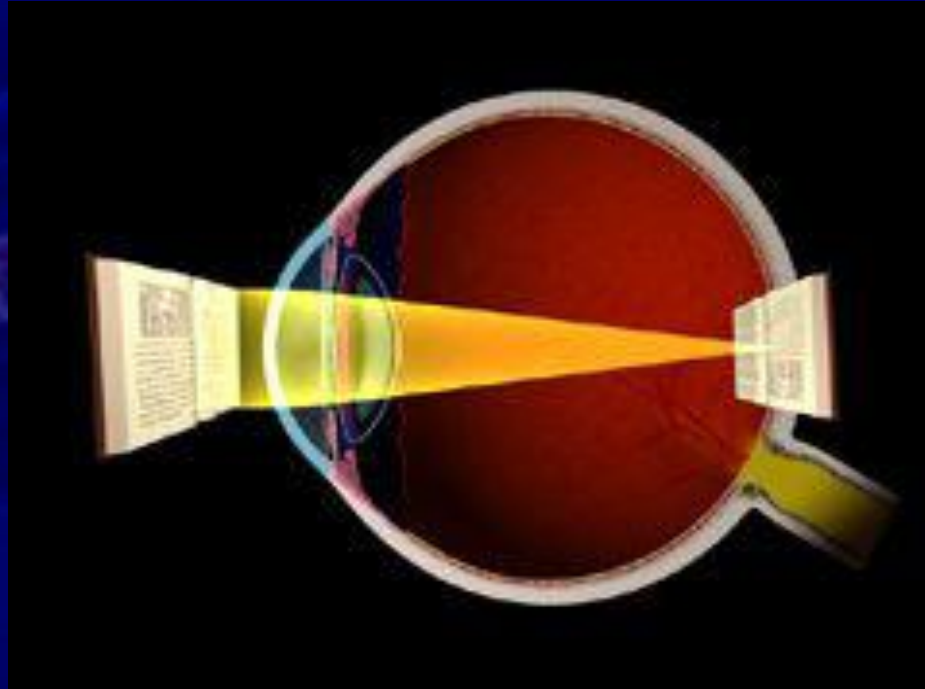
Ο φακός προβάλλει το φως επάνω στον αμφιβληστροειδή. Έχει δύναμη 18 διοπτριών περίπου.

Το διαφανές υαλώδες σώμα γεμίζει το εσωτερικό του βολβού.

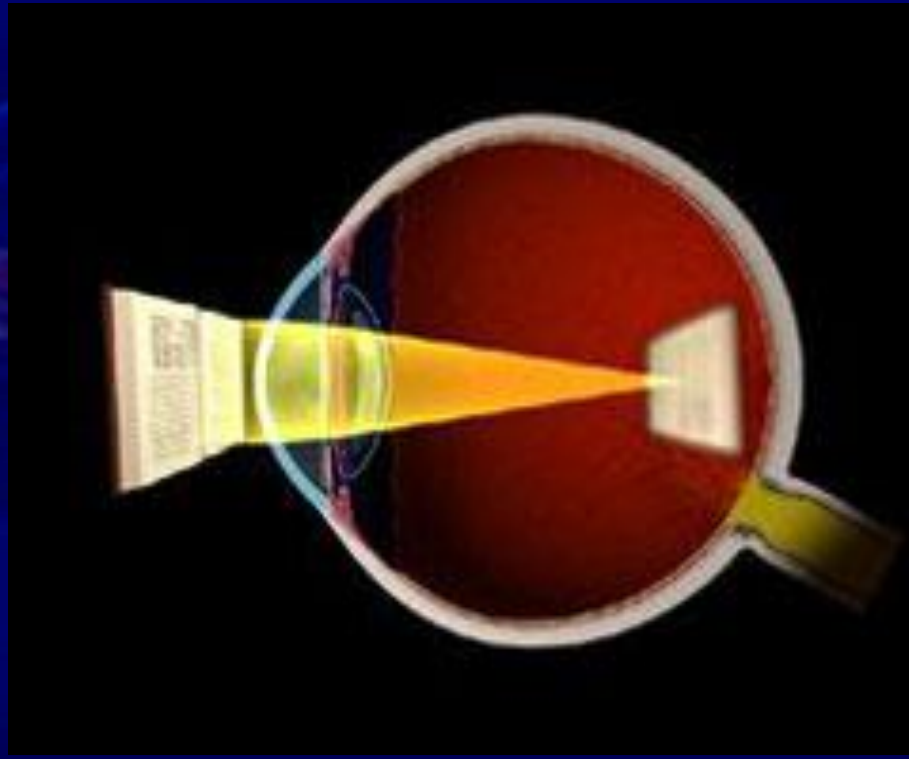


Ο αμφιβληστροειδής δέχεται το φως που εστιάζεται από τον κερατοειδή και τον φακό και το μεταφράζει σε οπτικό ερέθισμα.

# Φυσιολογικός οφθαλμός



# Μυωπικός οφθαλμός



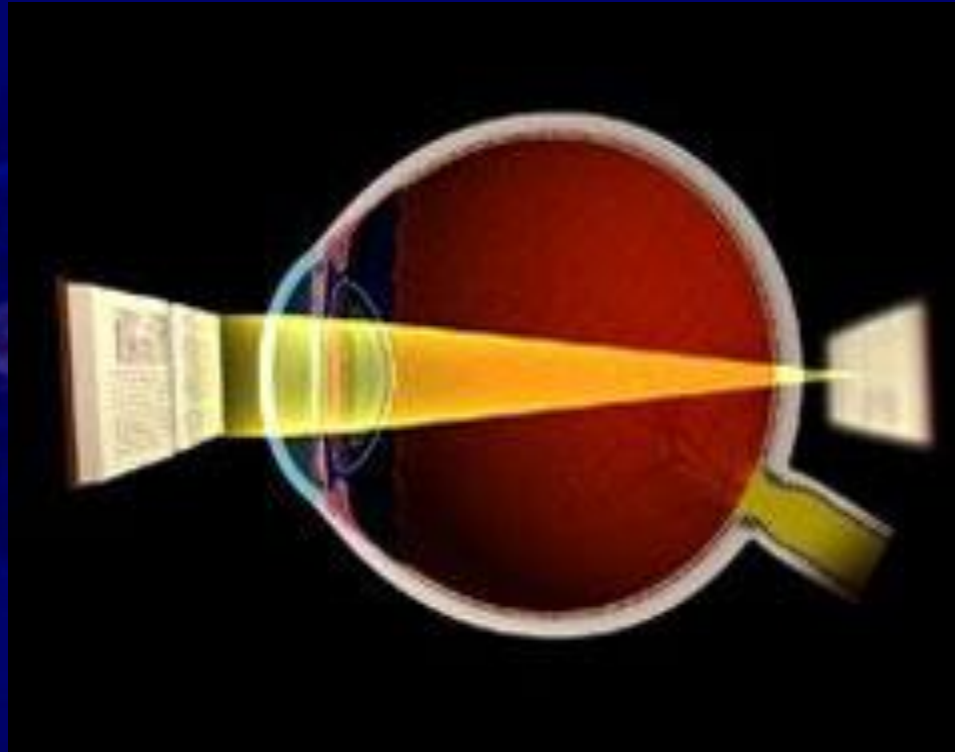
Μυωπία

*Μεγαλύτερη καμπυλότητα κερατοειδούς ή ελλειψοειδές (μακρύτερο) σχήμα οφθαλμού*

# Μυωπικός οφθαλμός



# Υπερμετρωπικός οφθαλμός



Υπερμετρωπία

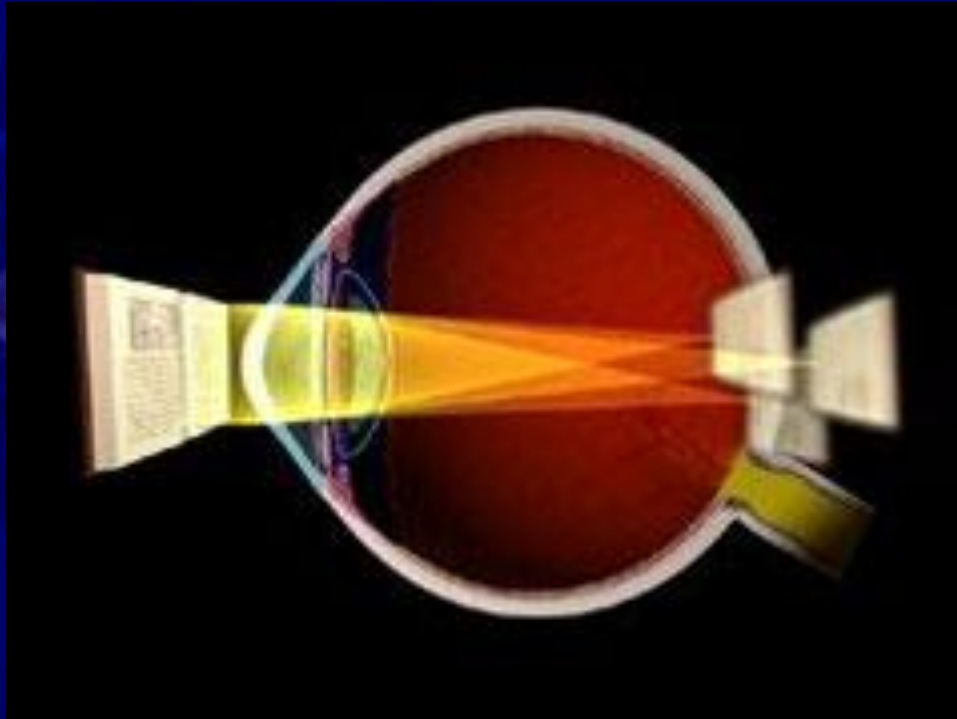
*Μικρότερη καμπυλότητα κερατοειδούς ή  
ελλειψοειδές (κοντύτερο) σχήμα οφθαλμού*



# Υπερμετρωπικός οφθαλμός



# Αστιγματικός οφθαλμός



Αστιγματισμός

*Διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας σε  
διαφορετικούς άξονες*

# Αστιγματικός οφθαλμός

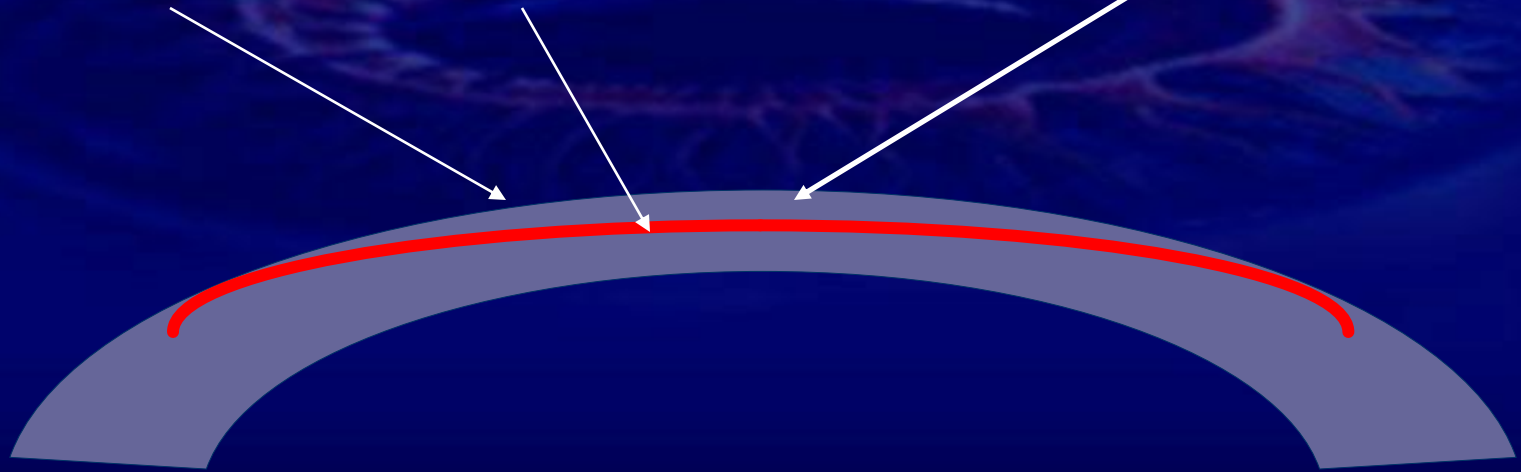


# μυωπική διόρθωση

σχήμα πρόσθιου κερατοειδούς  
αρχικό

**ΤΕΛΙΚΟ**

αφαιρούμενος ιστός



κερατοειδής

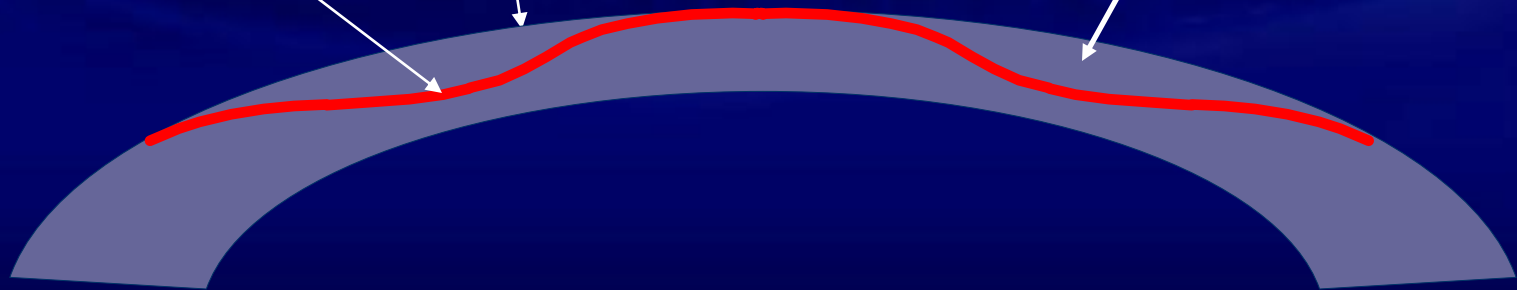
# υπερμετρωπική διόρθωση

σχήμα πρόσθιου κερατοειδούς

ιστός που αφαιρείται

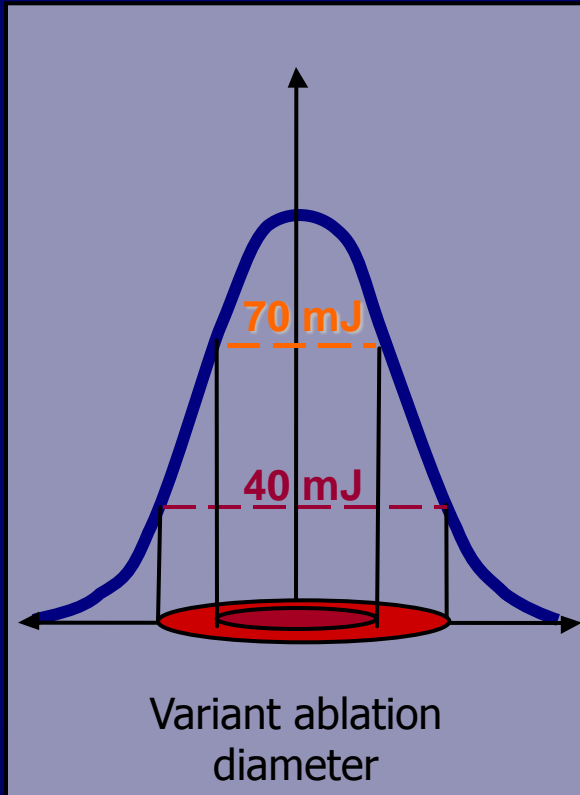
ΤΕΛΙΚΟ

αρχικό

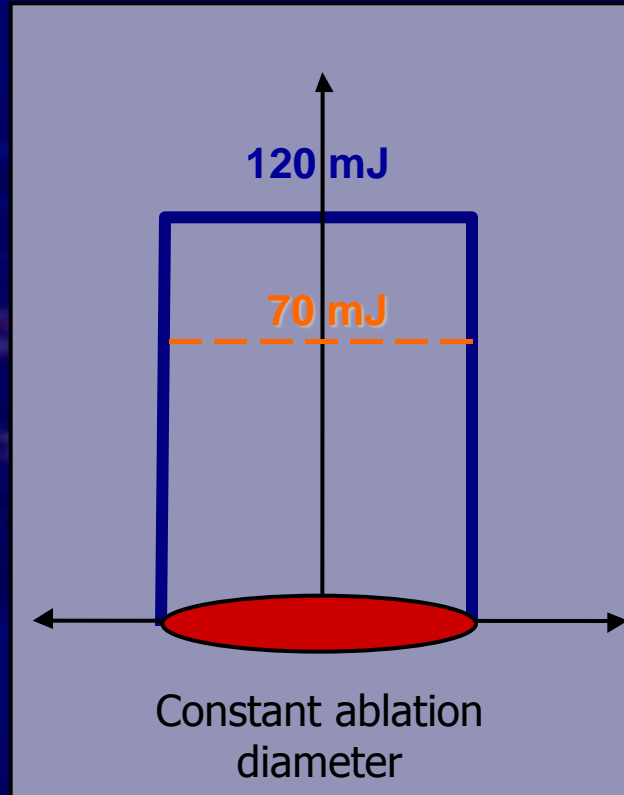


κερατοειδής

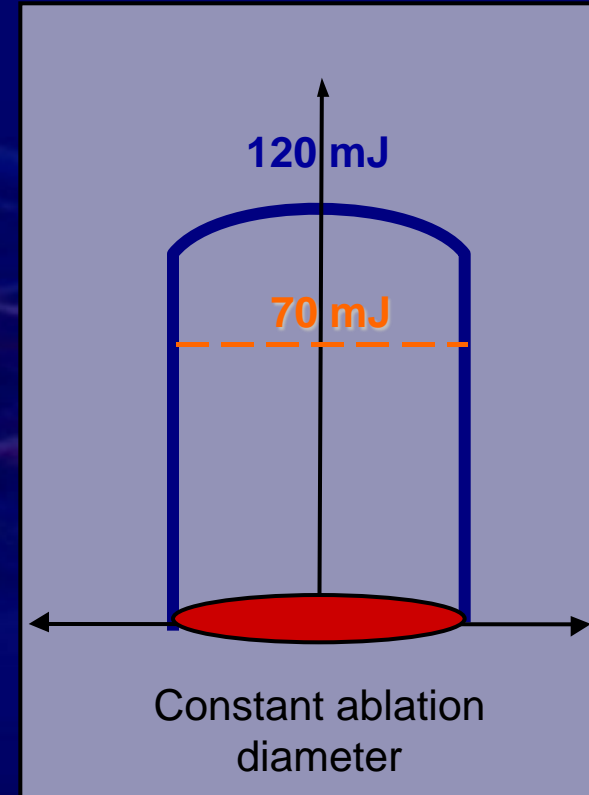
# $\tau_a$ beam shapes



Gaussian beam profile



Flat top beam profile



Truncated gaussian beam profile

# Τύποι συστημάτων excimer laser

<b>broad beam</b> (ευρείας δέσμης)	<b>scanning slit</b> (σχιμοειδούς σάρωσης)	<b>flying spot</b> (σημειακής σάρωσης)
Summit Apex plus, Chiron Keracor 116, Schwind Keratom I/II, Visx 220/B	Meditec MEL-60, Nidek EC-5000	Laser Sight, Meditec MEL-70, Allegretto Wave, Novatec, Technolas 217C, VISX StarS3, Autonomous LADARVision

# συστήματα broad beam excimer laser



Summit Apex Plus



VISX Star S2



# σύστημα scanning slit excimer lasers



EC 5000 της Nidek

# flying spot excimer laser

## ➤ πλεονεκτήματα

- χαμηλό ενεργειακό output
- ομοιογένεια δέσμης
- μη δημιουργία κεντρικών νησίδων
- custom αφαιρέσεις

## ➤ μειονεκτήματα

- μεγαλύτερος χειρουργικός χρόνος
- απαιτούν ταχύτατο ενεργό tracker

# συστήματα flying spot excimer lasers

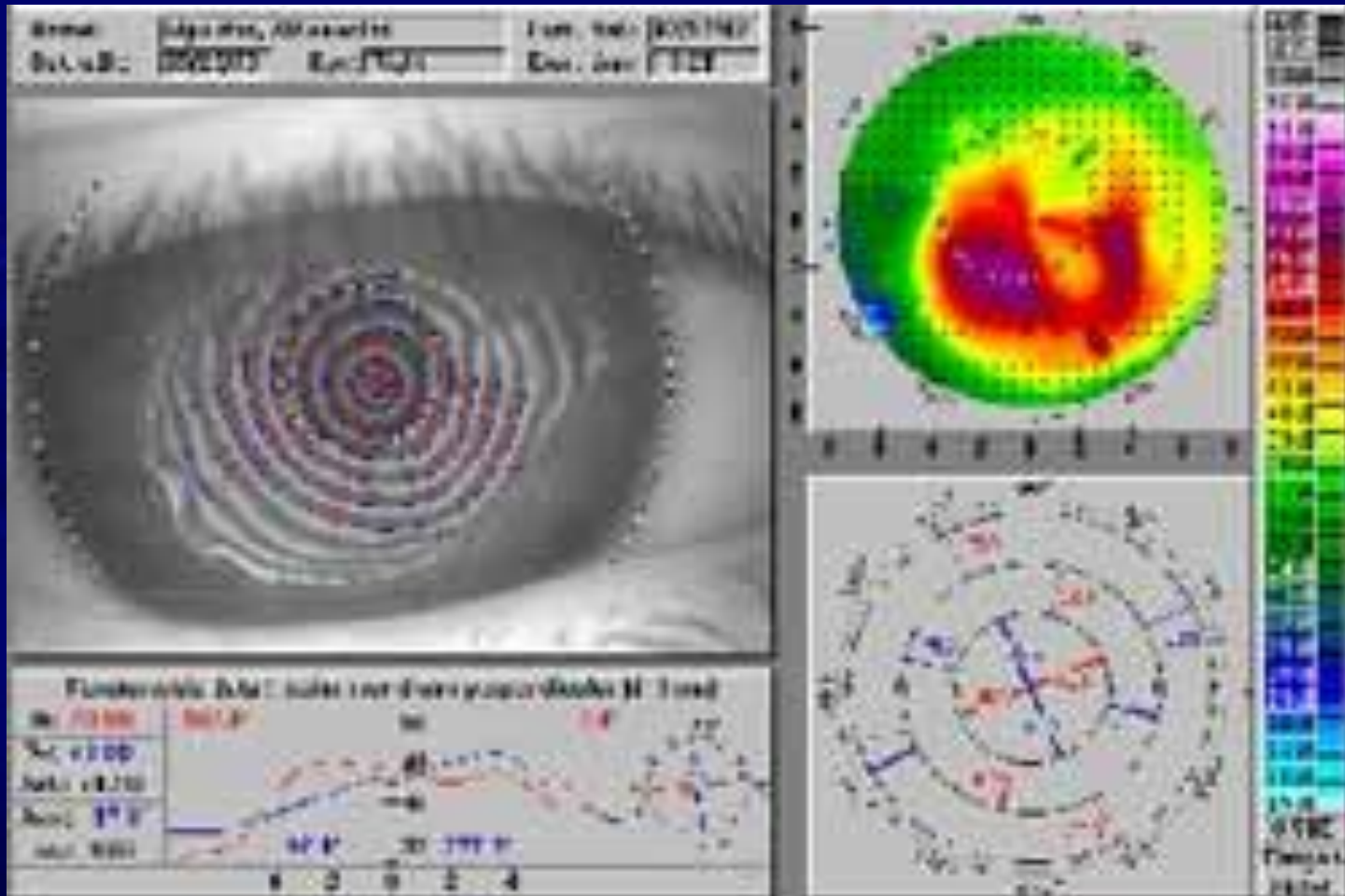


**Technolas 217 της B&L**



**LADARVision της Alcon**

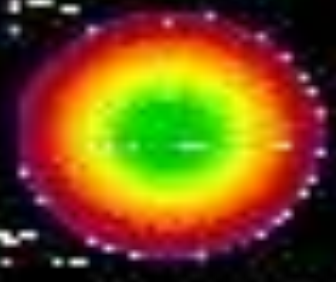
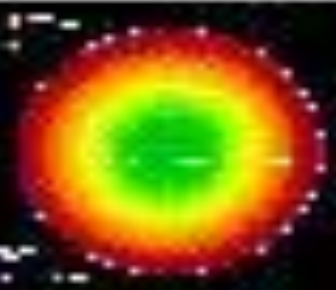
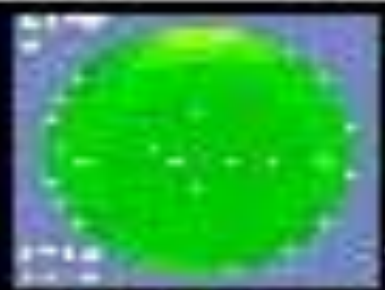
# Τοπογραφία κερατοειδούς



MEASURE 100  
NO. 100

TYPE

MEASURE 100 / 100



MEASURE 100 / 100

ME

MEASURE 100 / 100



MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

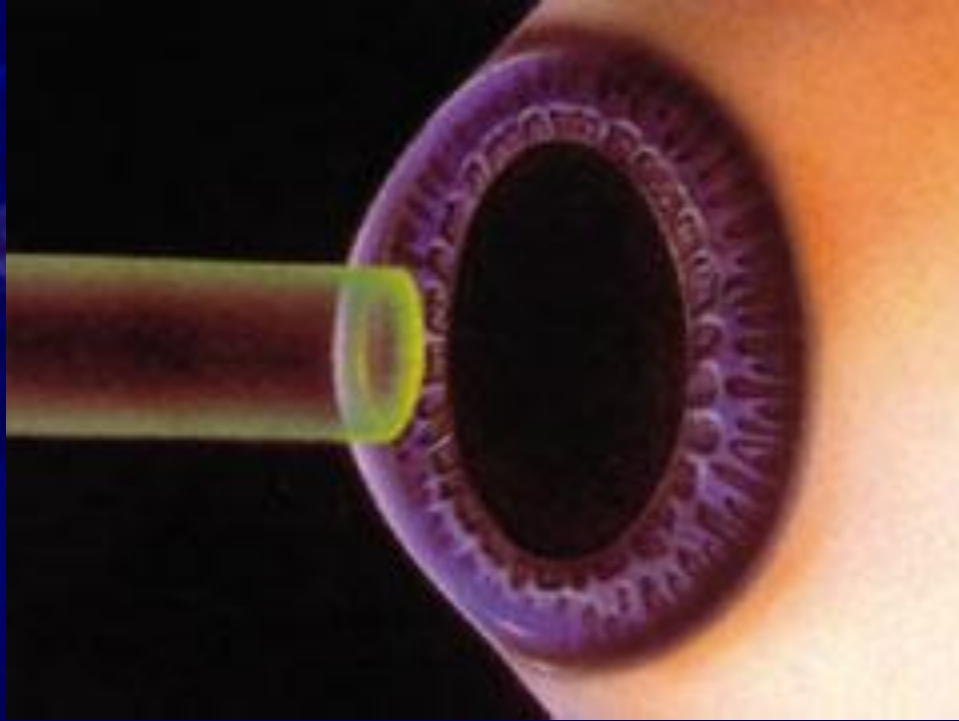
MEASURE 100 / 100

MEASURE 100 / 100

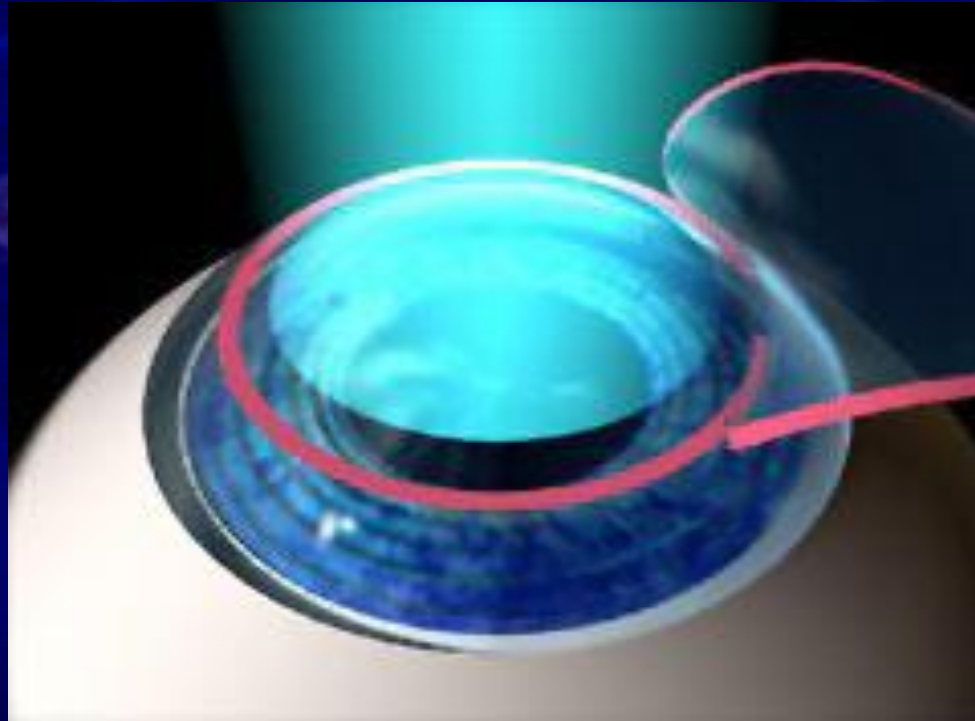
MEASURE 100 / 100



# PRK

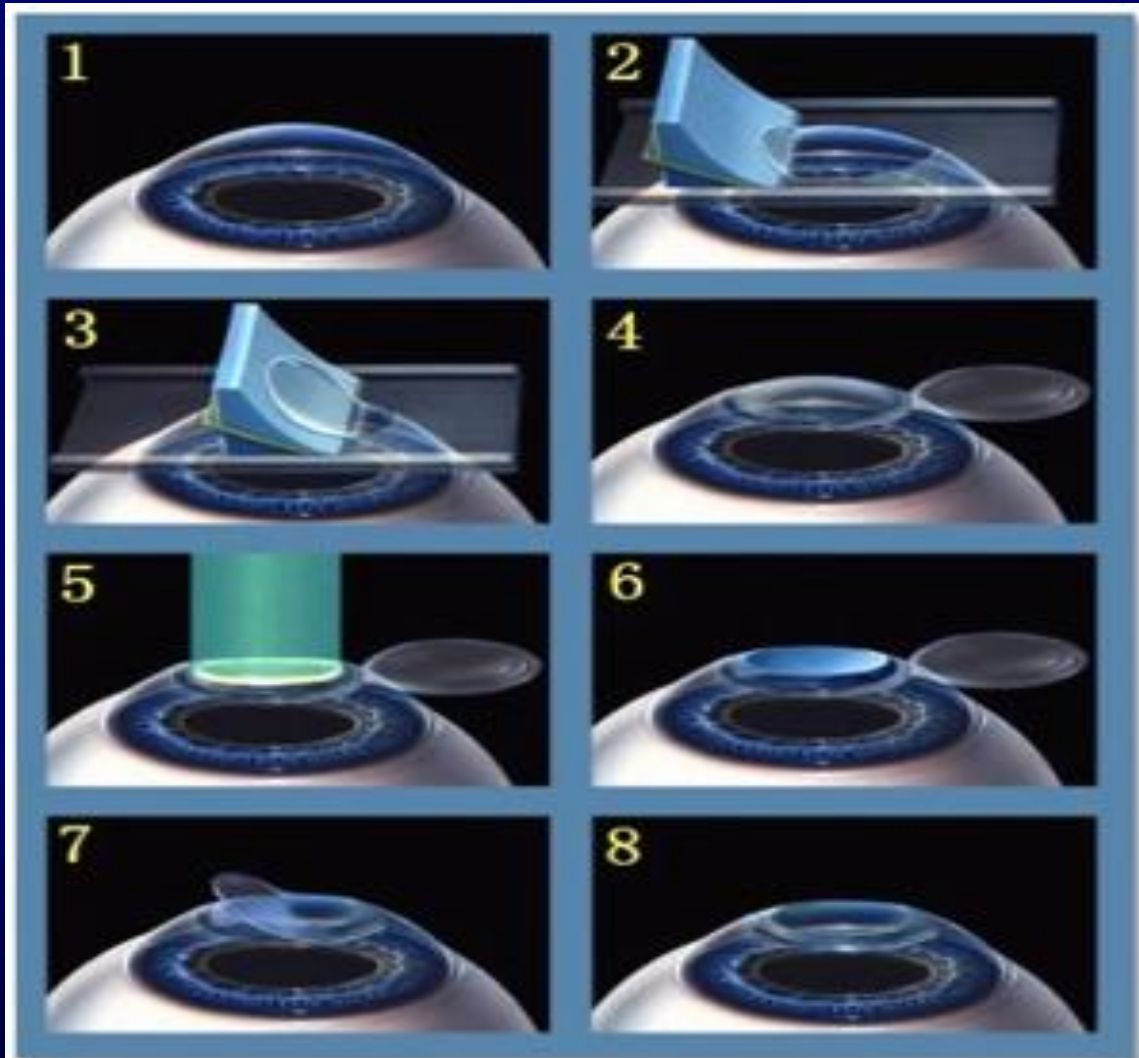


# LASIK





# LASIK



*Δημιουργία κρημνού με  
μικροκερατόμο (μηχανικό ή  
laser)*

*Ανασήκωση και προστασία  
του κρημνού (flap)*

*Εφαρμογή ακτινοβολίας  
laser – Εγχάραξη*

*κατάλληλου φακού*

*Επανατοποθέτηση του*

*κρημνού (flap)*

*Τοποθέτηση φακού επαφής*

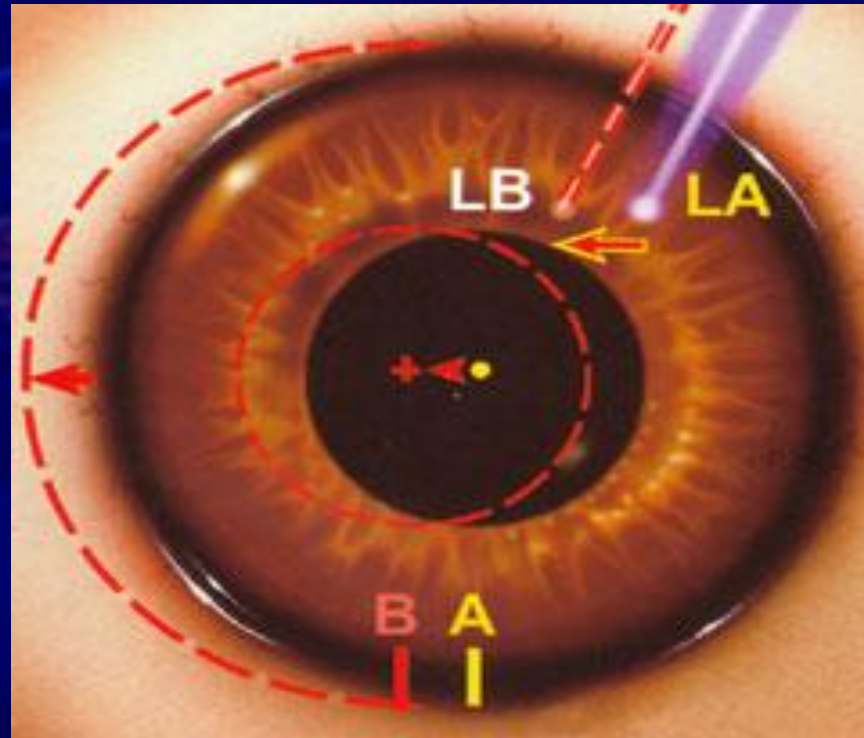
*για προστασία του  
κερατοειδούς*

**Απλοποιημένη σχηματική παράσταση LASIK με  
μηχανικό κερατόμο**

# EYE TRACKER



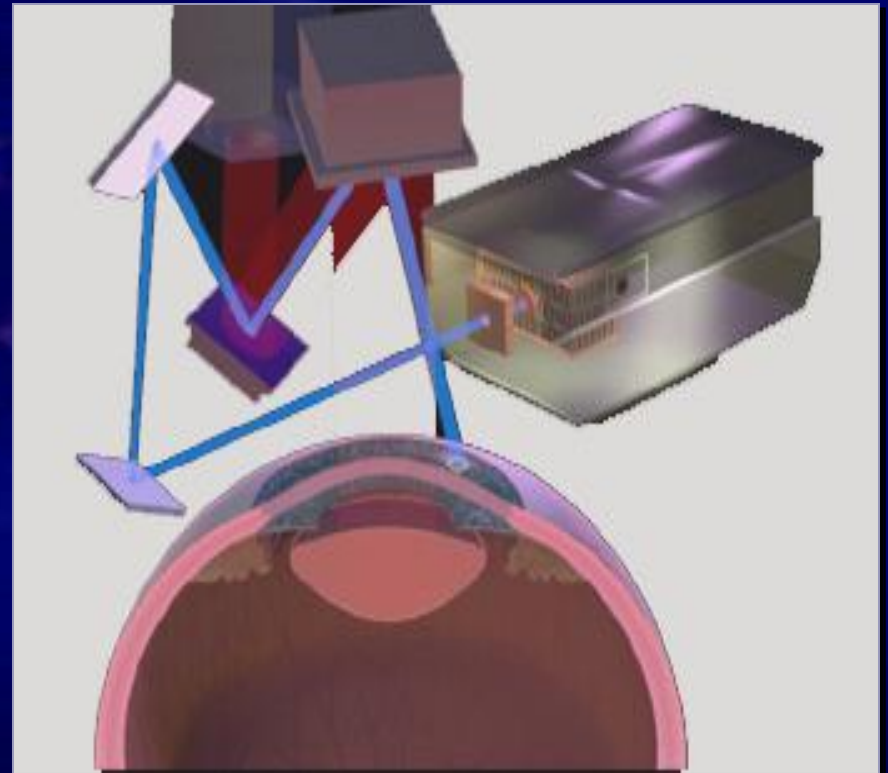
# EYE TRACKER



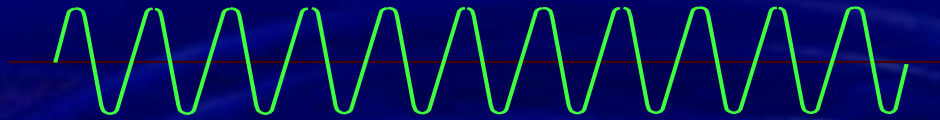
# eye tracker

## ενεργό eye tracker

- η δέσμη του laser ακολουθεί τις κινήσεις του οφθαλμού



# ενεργό eye tracker

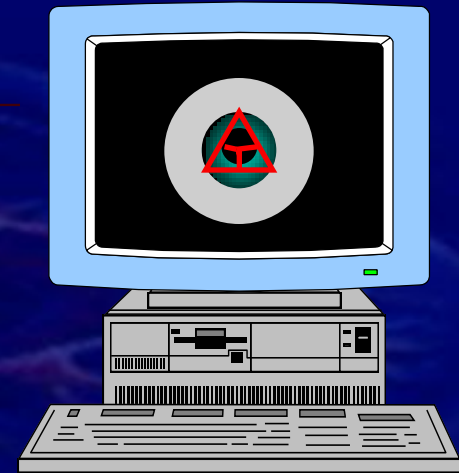
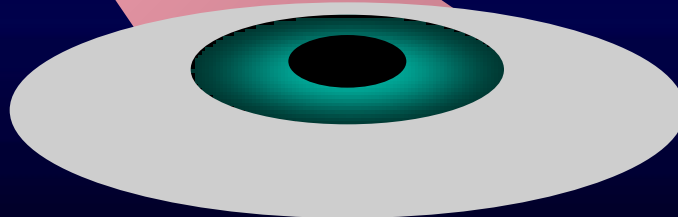


10 εκατομμύρια υπολογισμοί/sec



υπεριώδης camera  
υψηλής ανάλυσης

υπέρυθρος φωτισμός



επεξεργαστής εικόνας

# χρόνος αντίδρασης eyetracker

λήψη πληροφορίας  
κίνησης

camera exposure  
time

**συνήθως διαρκεί  
λιγότερο από  
1 msec**

συλλογή  
πληροφορίας  
της εικόνας  
camera read  
out time

εξαρτάται από το  
Frequency Number  
διαρκεί 2-60  
msec

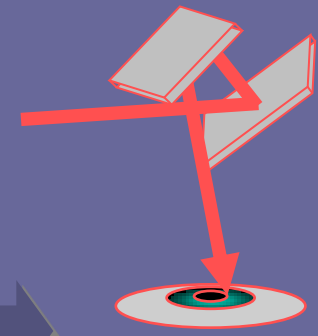
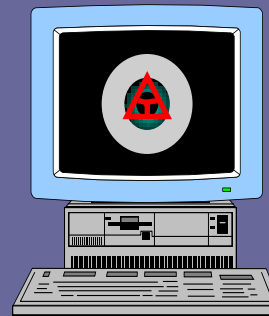
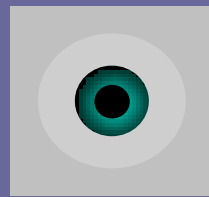
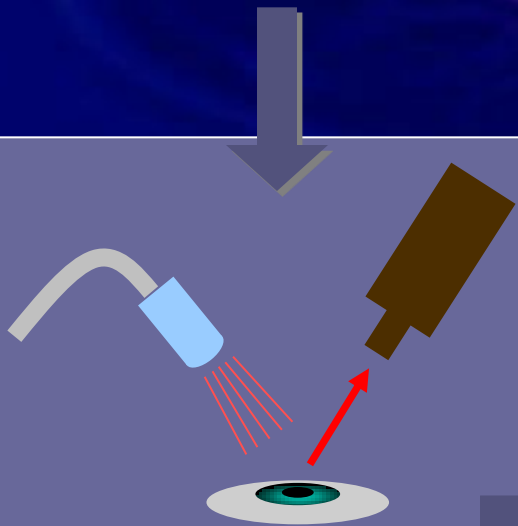
μεταφορά  
πληροφορίας  
στον υπολογιστή

data transfer time  
and detection of the  
eye movement  
εξαρτάται από το  
software και τους  
αλγόριθμους  
αμελητέος  
χρόνος

συγχρονισμός  
scanner

scanner setting  
time

εξαρτάται από το  
software/hardware  
ποικίλλει από  
λίγα έως μερικές  
δεκάδες msec



## ο τύπος του Munnerlyn

$$T = \frac{Dh^2}{3}$$

- T : το βάθος αφαίρεσης σε μ
- D : η διοπτρική τιμή της αφαίρεσης σε D
- h : η διάμετρος της αφαίρεσης σε mm (δηλαδή η οπτική ζώνη)

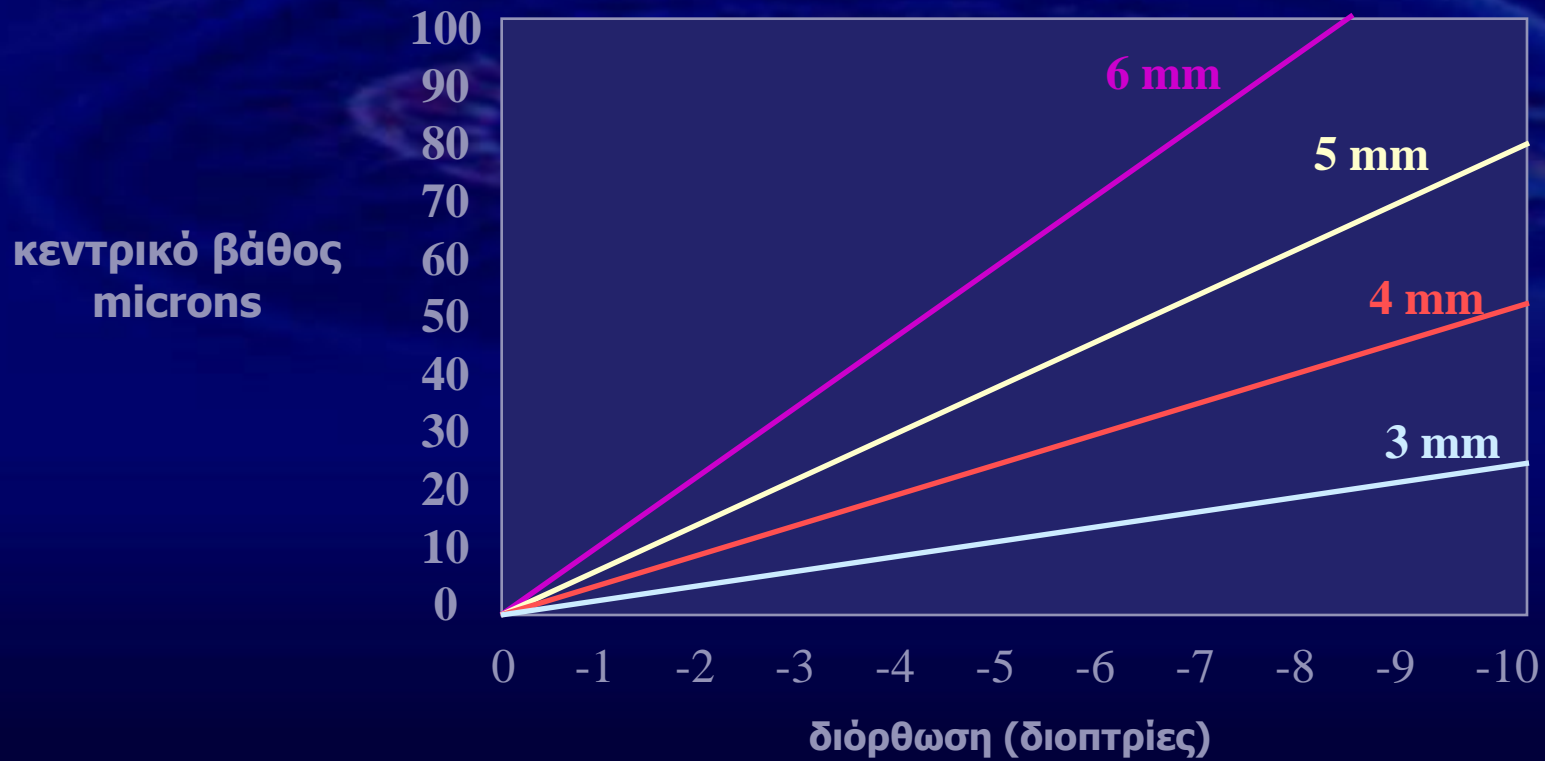
# excimer laser και βάθος αφαίρεσης

ανά διοπτρία διόρθωσης	
διάμετρος	βάθος
3.00 mm	3.0 microns
4.00 mm	5.3 microns
5.00 mm	8.3 microns
6.00 mm	11.9 microns
7.00 mm	16.2 microns
8.00 mm	21.2 microns



# βάθος αφαίρεσης


βάθος αφαίρεσης versus διόρθωσης



# η βαθμονόμηση του excimer (calibration)

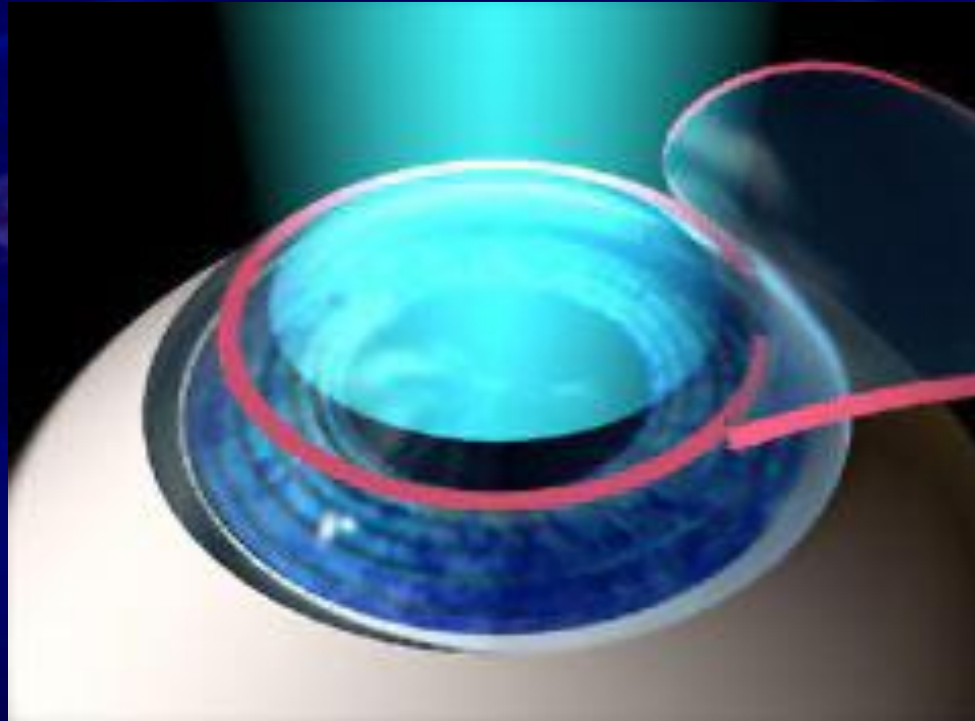
- η βαθμονόμηση είναι ο καθοριστικός παράγων των αποτελεσμάτων
- επηρεάζεται από
  1. το μείγμα των αερίων
  2. την κατάσταση των οπτικών συστημάτων
  3. το επίπεδο ενέργειας
  4. συνθήκες περιβάλλοντος (υγρασία, θερμότητας, καθαρότητας δέσμης, κλπ)





Η Φυσική  
ΤΟΥ  
Femtosecond  
laser

# LASIK



# PULSE DURATION

10-12nsec

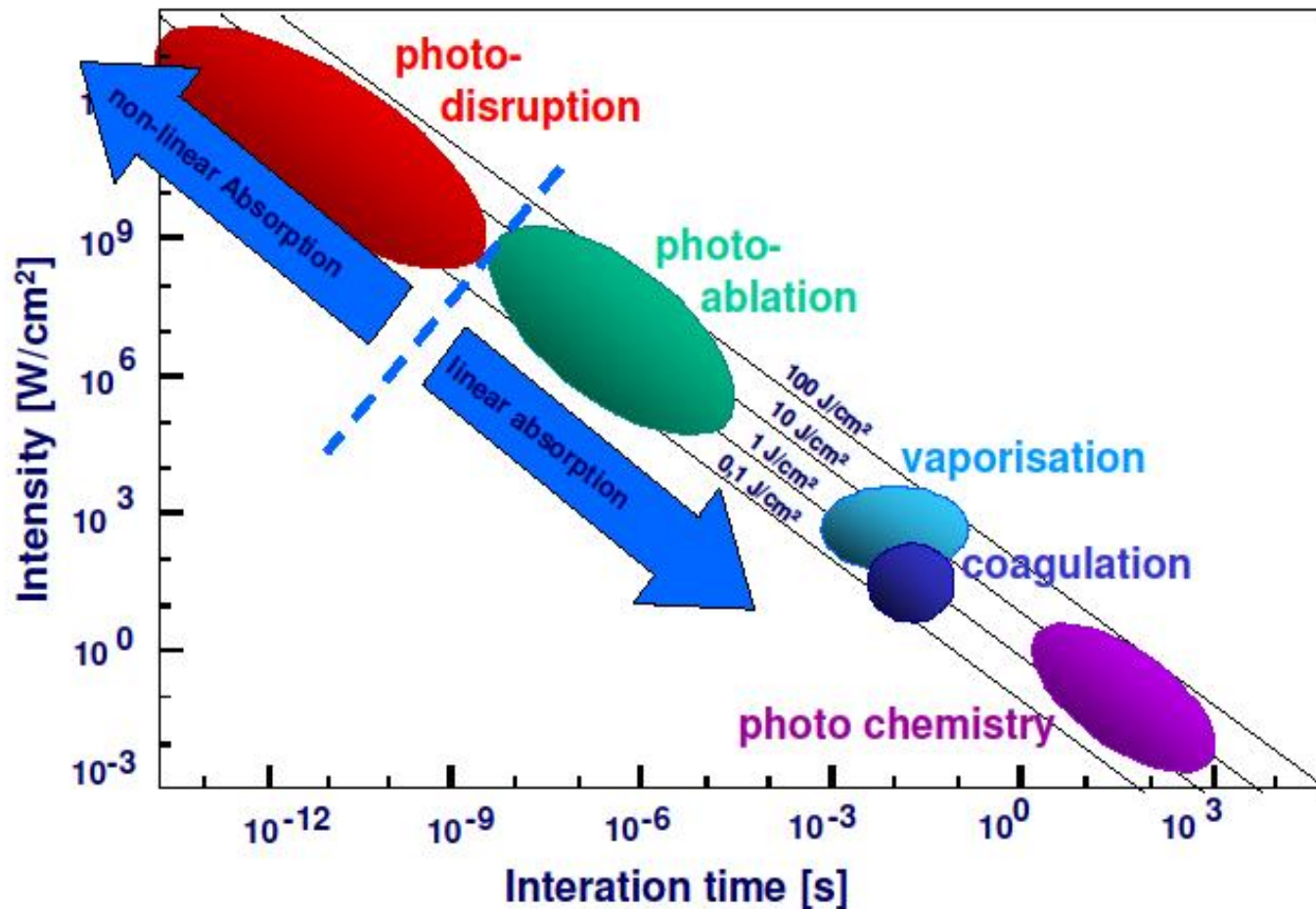


5nsec



35psec

# Laser Tissue Interaction



# Photodisruption, Optical Breakdown

focussed fs laser beam



nonlinear absorption



plasma



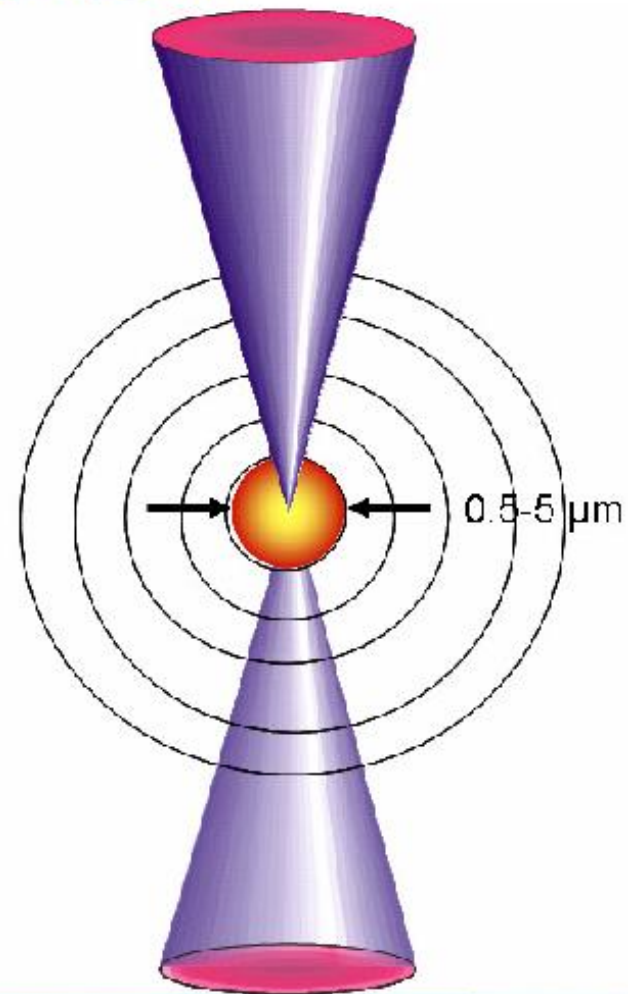
shock wave



cavitation bubble



gas bubble



# Photodisruption

A pulse of laser energy is focused to a precise location inside the cornea

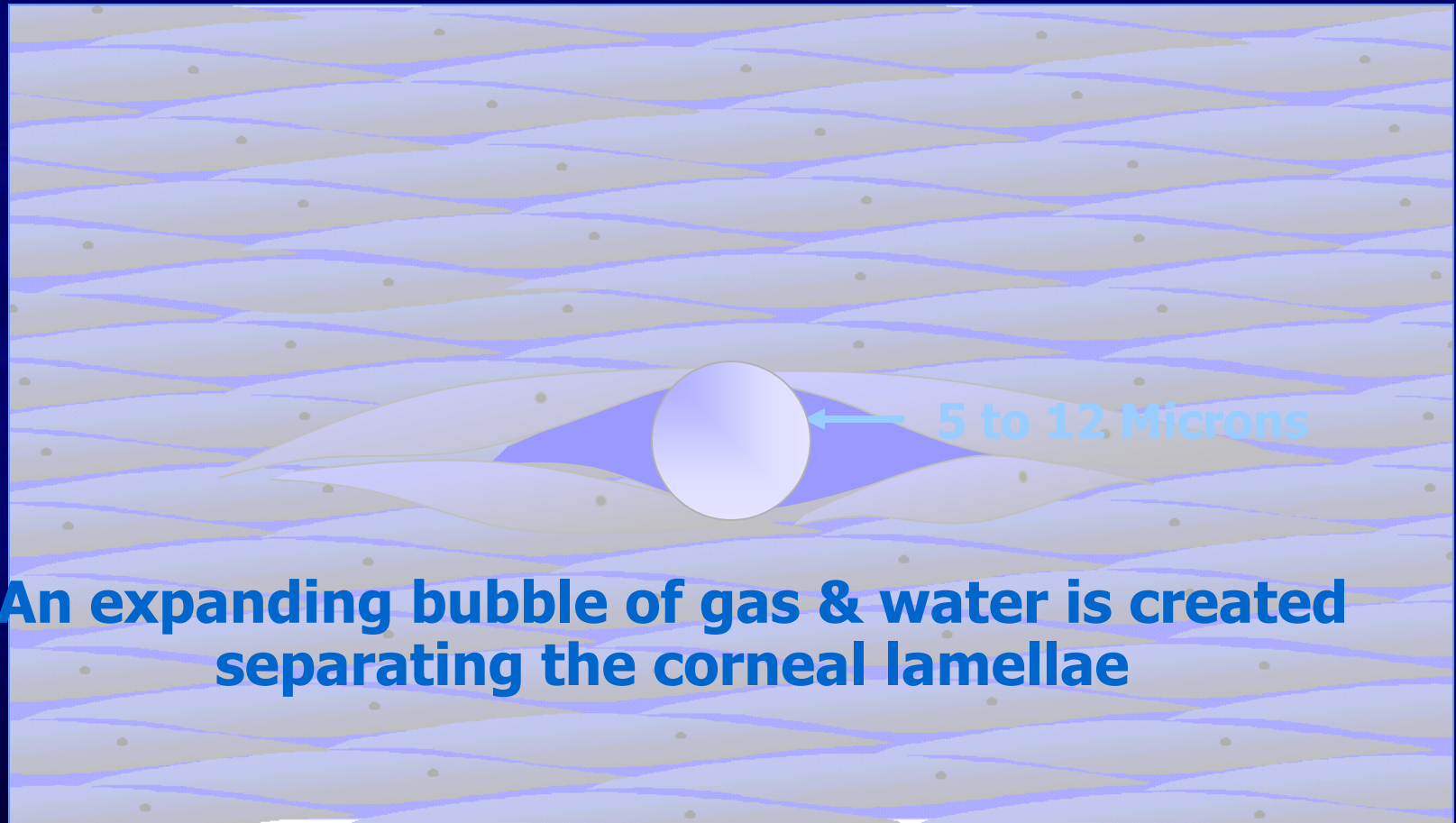
**1 Micron**



A microplasma is created, vaporizing approximately 1 micron of corneal tissue

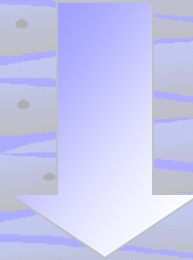


# Photodisruption

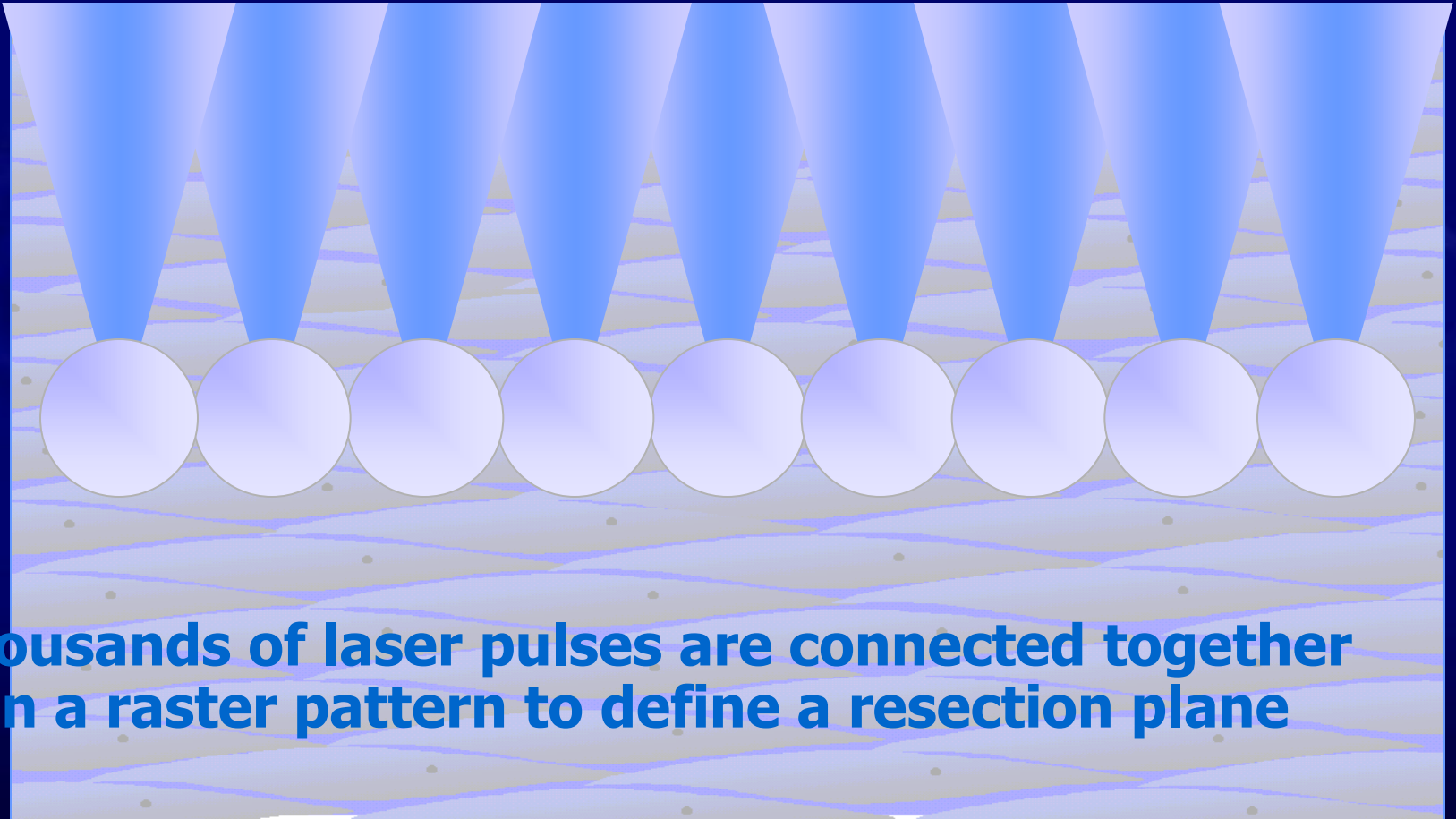


# Photodisruption

The bi-products of photodisruption ( $\text{CO}_2$  & water) are absorbed by the mechanism of the endothelial pump, leaving a resection plane in the cornea



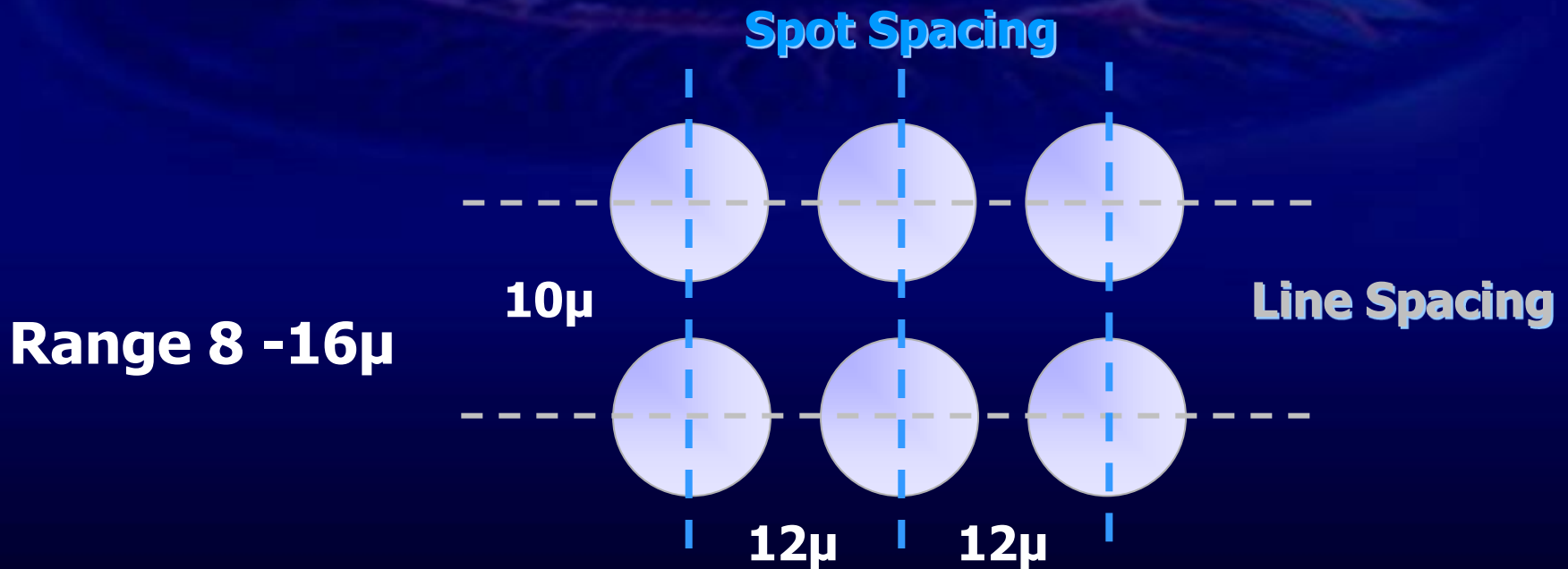
# Photodisruption



**Thousands of laser pulses are connected together in a raster pattern to define a resection plane**

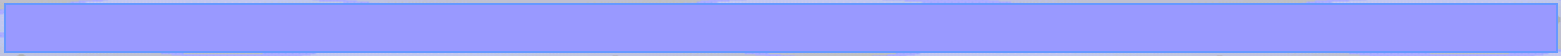
# Spot & Line Spacing

- The distance from the center of each spot to the one next to & above it can be adjusted
  - Decreasing distance will increase treatment time, but lower pulse energy requirements



# Photodisruption

**A resection plane is created**

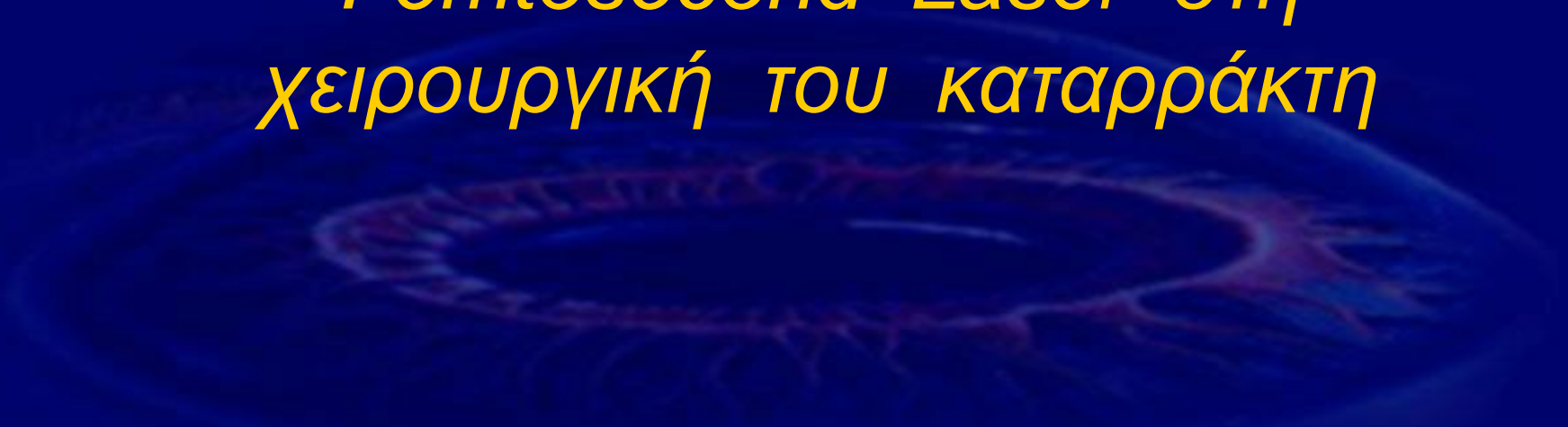


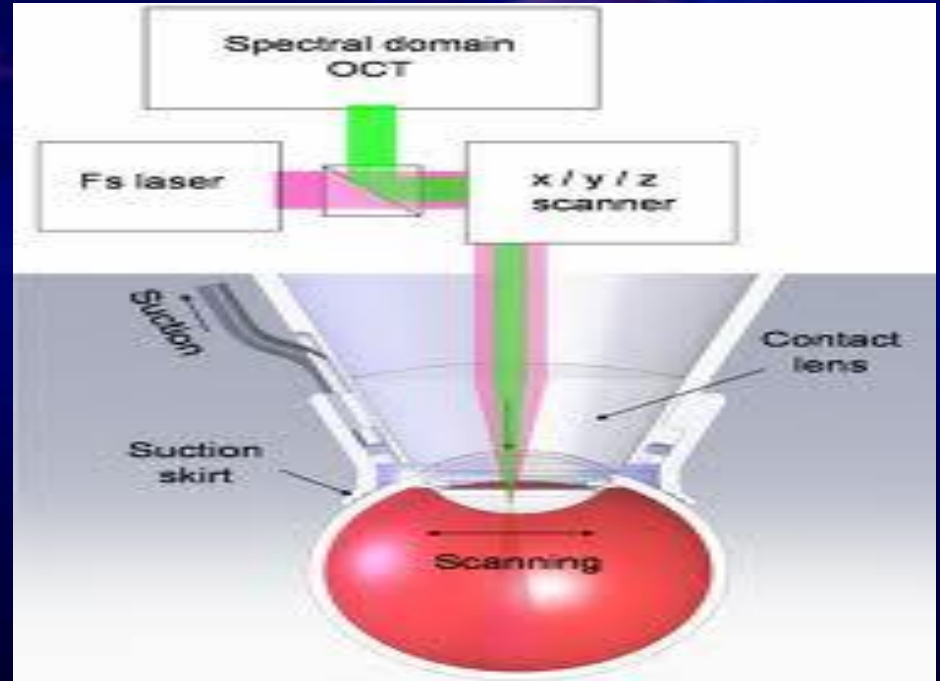
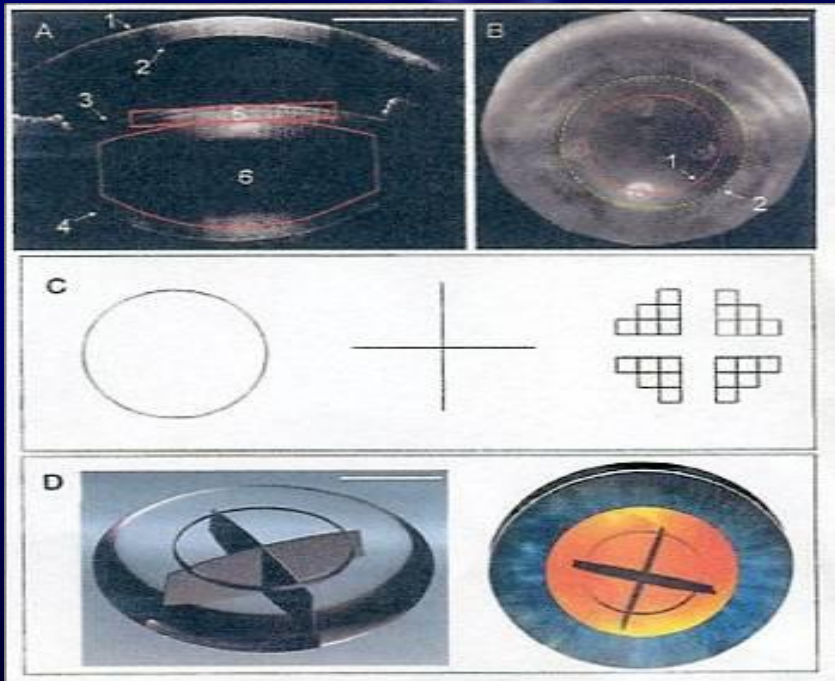
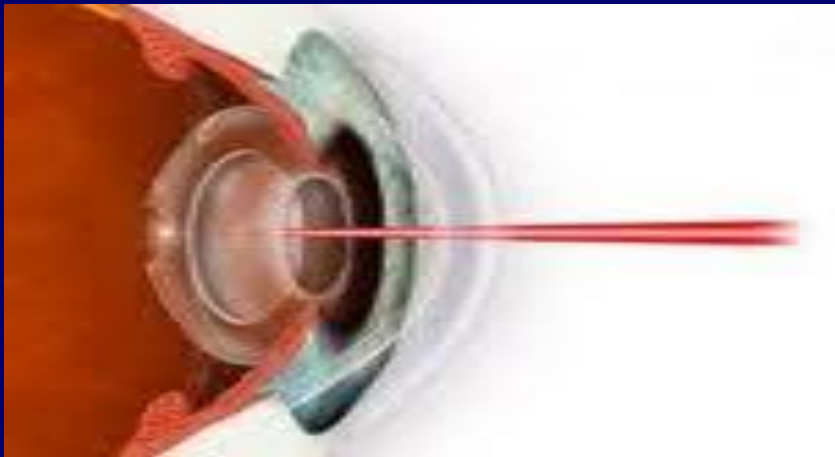
# Photodisruption



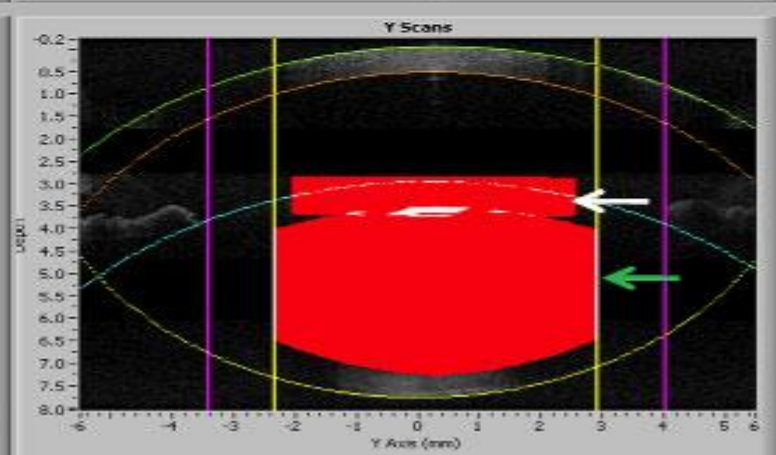
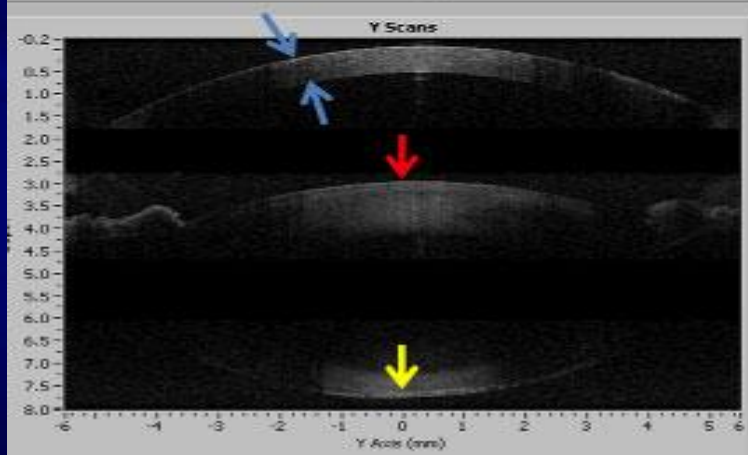
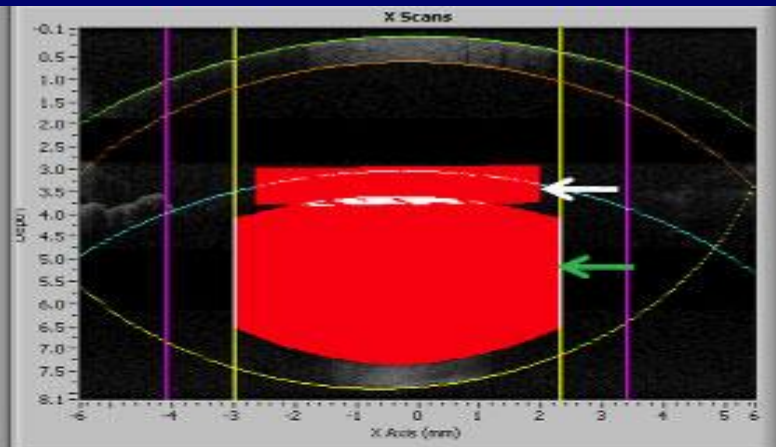
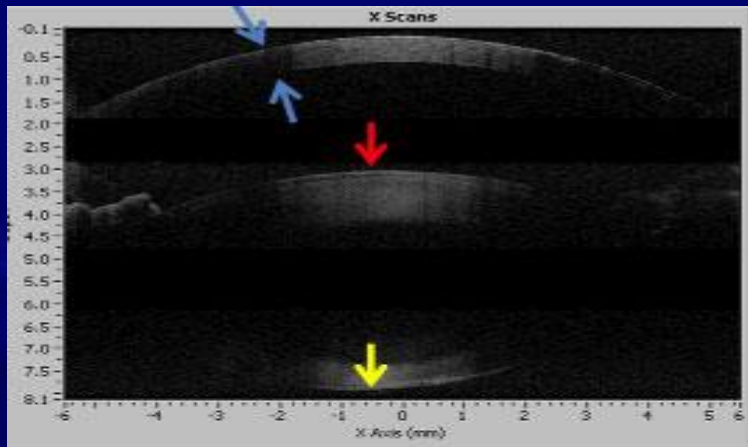
**Laser pulses can be stacked on each other  
to create an angled cleavage plane**

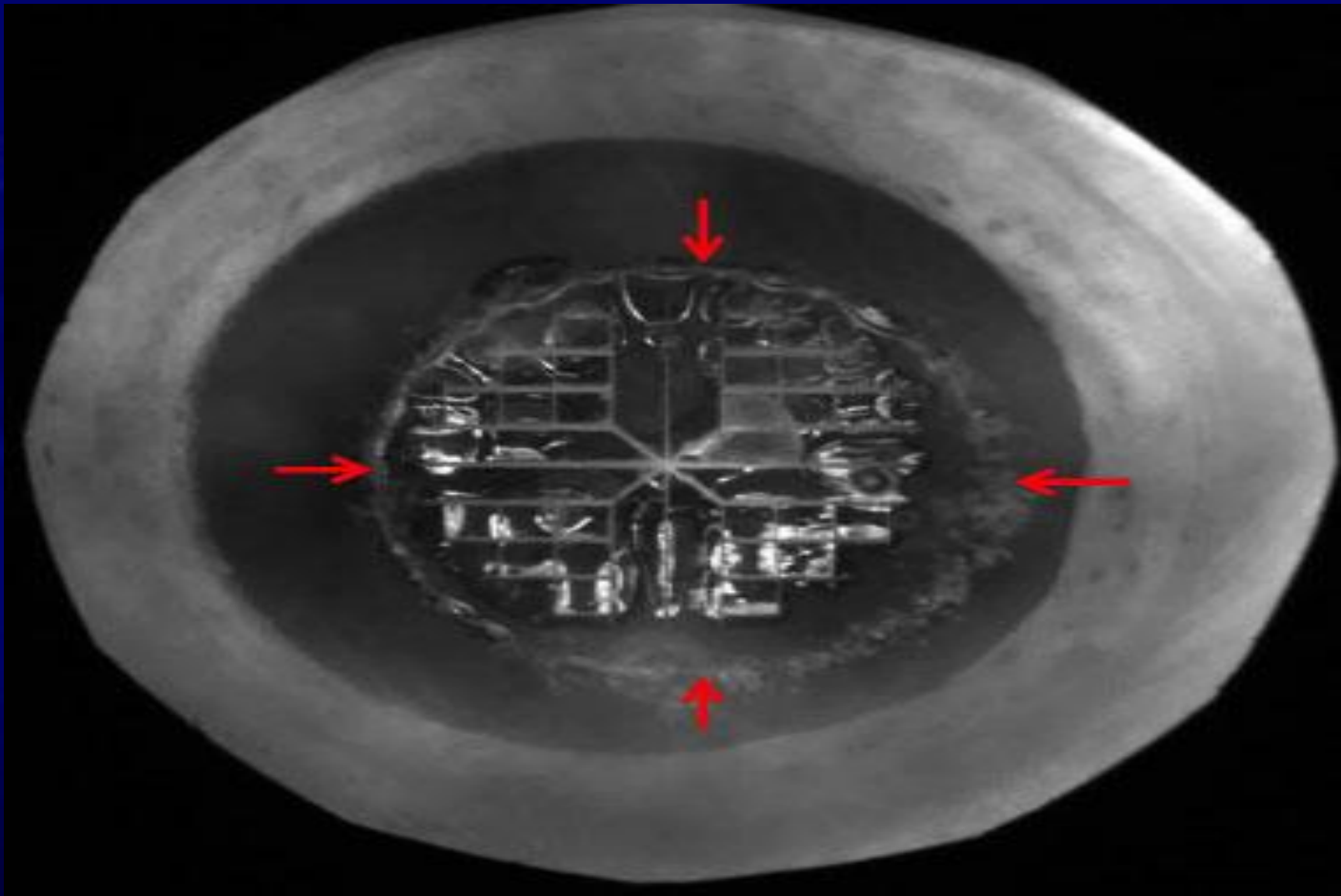
*Femtosecond Laser στη  
χειρουργική του καταρράκτη*





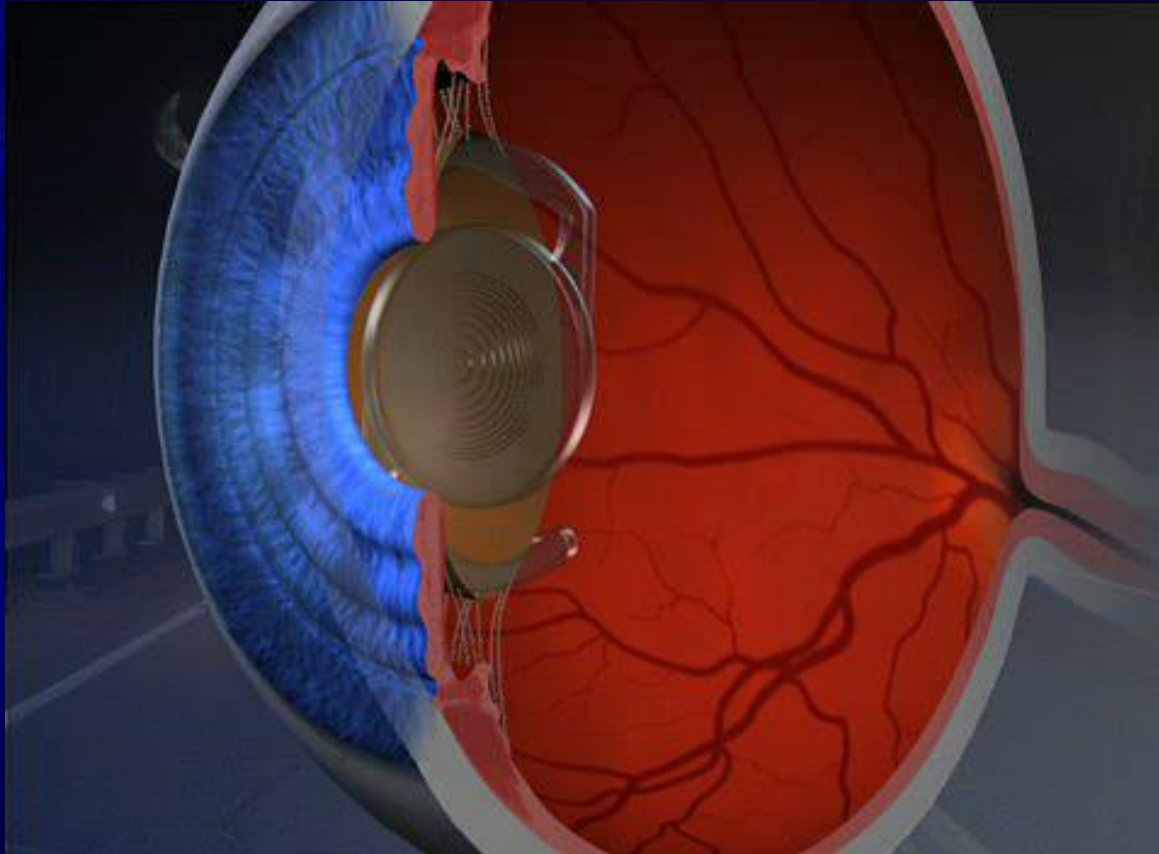






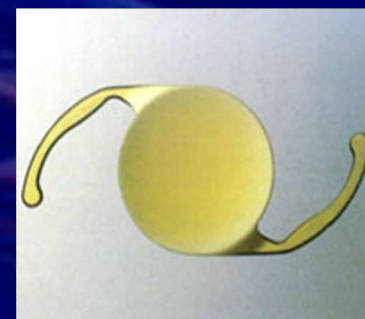
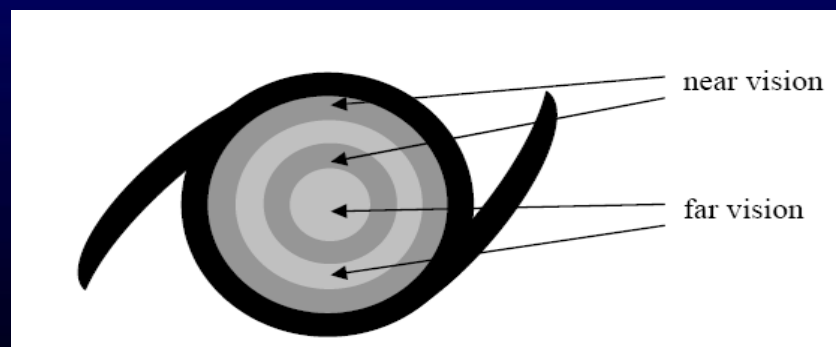
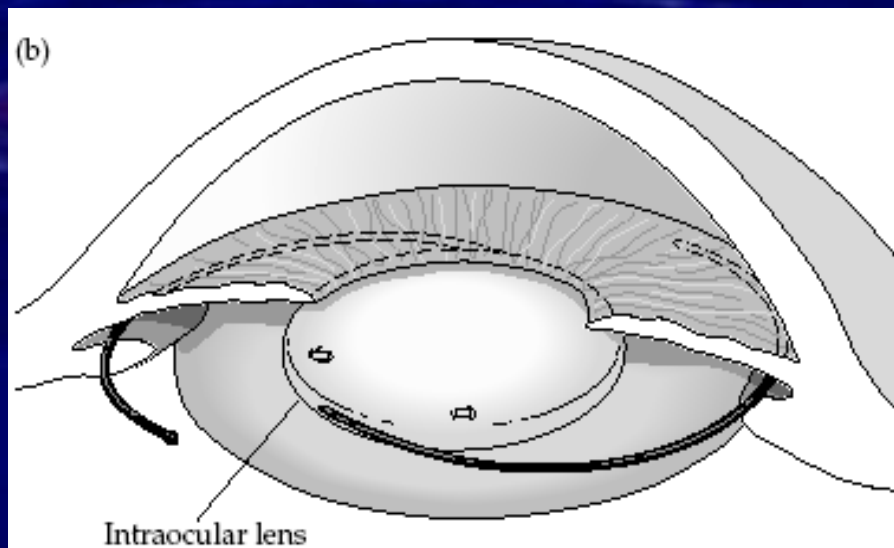
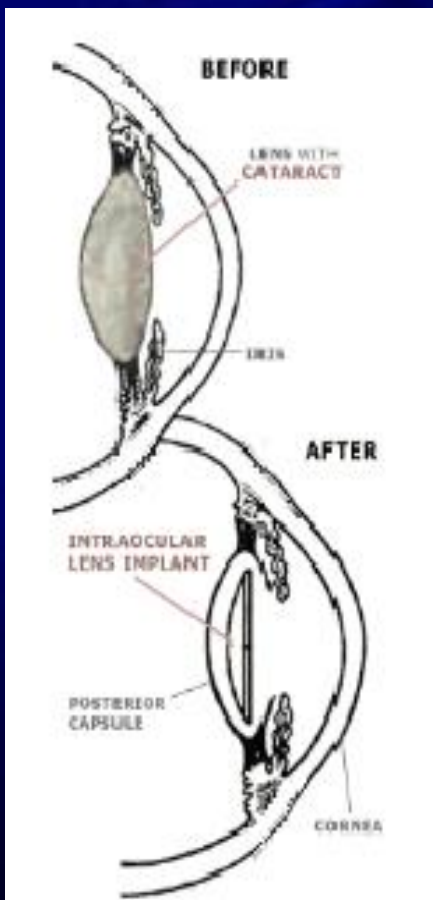
# ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΟΙ ΕΝΔΟΦΑΚΟΙ

Το τέλος της πρεσβυωπίας;



# ■ Νέες τάσεις στη διόρθωση προβλημάτων της όρασης: Ενδοφακοί (Intraocular lens, IOL)

👁️ Οι ενδοφακοί είναι βιοσυνθετικοί φακοί που εισάγονται μέσα στον οφθαλμό, τοποθετούνται είτε μπροστά από τον φυσιολογικό κρυσταλλοειδή φακό ή στη θέση αυτού, αντικαθιστώντας τον για να διορθώσουν την αφακία μετά από επέμβαση καταρράκτη. Κατασκευάζονται έτσι ώστε να έχουν την απαιτούμενη για κάθε ασθενή διοπτρική ισχύ είτε για μακρινή όραση, είτε για κοντινή όραση.

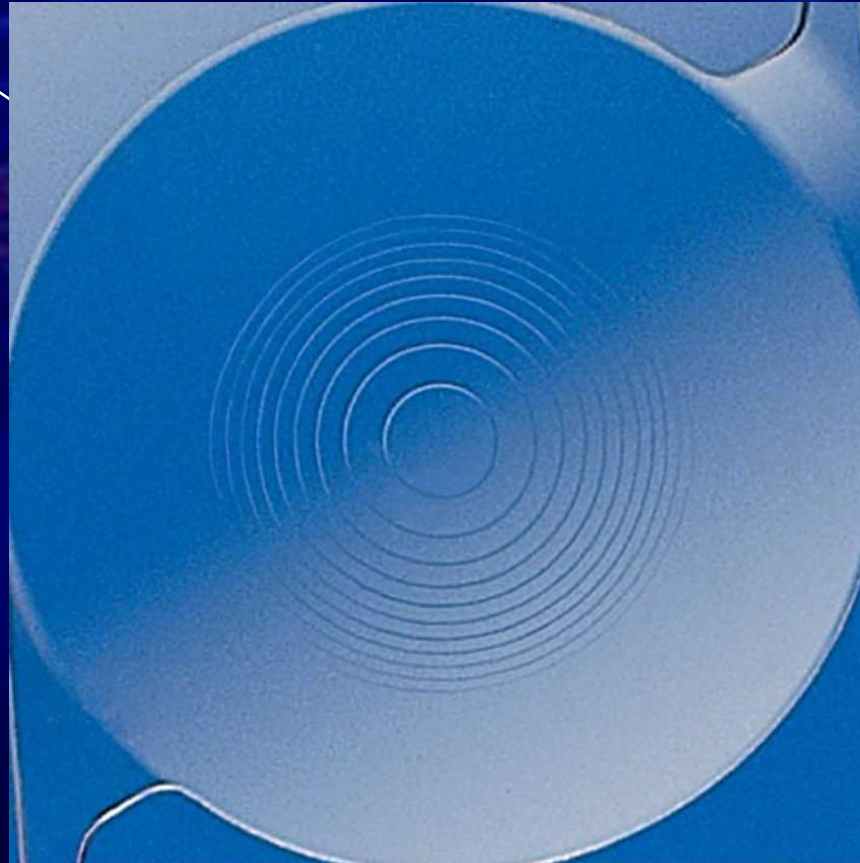


# Είδη «ψευδοπροσαρμοστικών» ενδοφακών

- Περιθλαστικοί (Alcon ReSTOR)
- Διαθλαστικοί πολυεστιακοί (Rezoom)
- Διαθλαστικοί / Περιθλαστικοί (Tecnis, Acri.Lisa)
- Προσαρμοστικοί (Crystalens)

# Ανατομία του περιθλαστικού ενδοφακού Restor

Τα βήματα από την περιφέρεια προς το κέντρο μειώνονται σε ύψος 1.3 – 0.2  $\mu\text{m}$

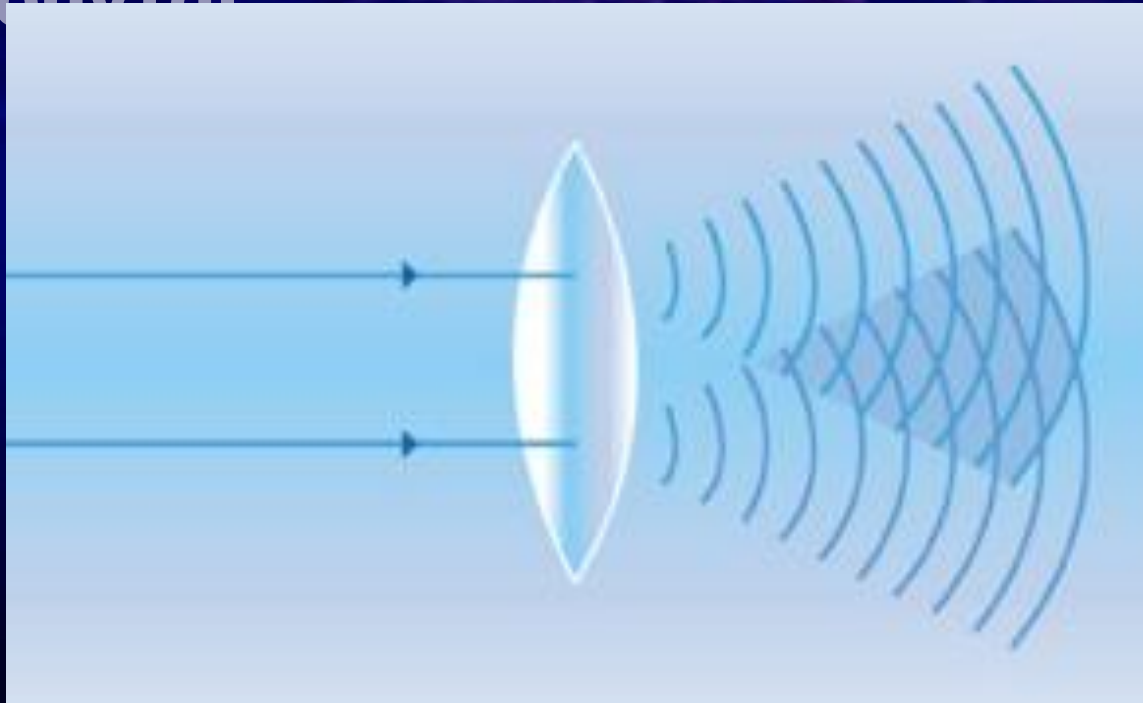


Κεντρική περιοχή 3.6mm

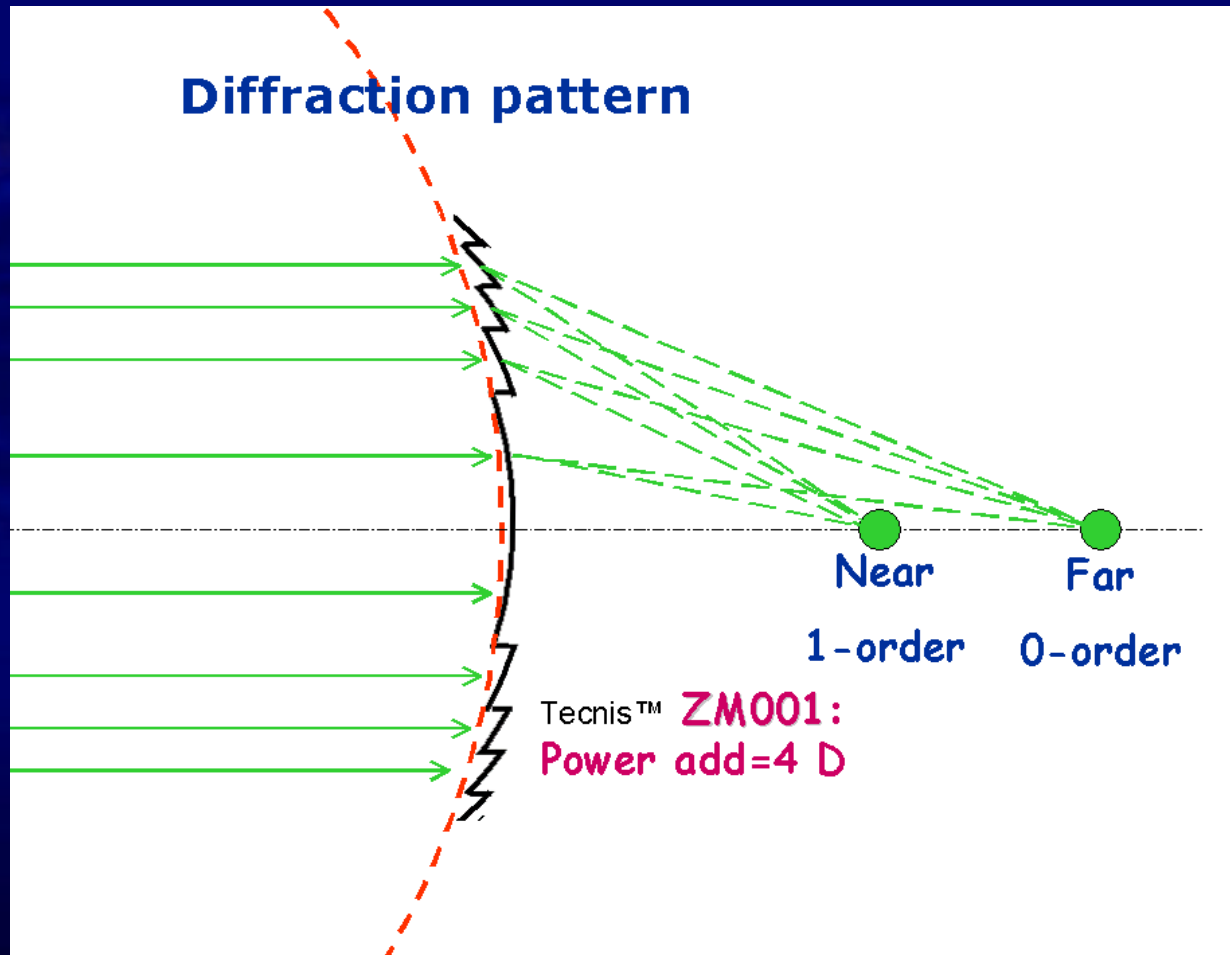
● +4.0D στο επίπεδο του φακού που αντιστοιχεί σε +3.2D στο επίπεδο των γυαλιών

# Περιθλαστικός φακός

- Η οπτική επιφάνεια έχει ομόκεντρα «βήματα»
- Τα «βήματα» λειτουργούν ως δευτερογενείς πηγές φωτός, δημιουργώντας εστιακά σημεία εκεί που τα δευτερογενή μέτωπα κύματος συναντούνται



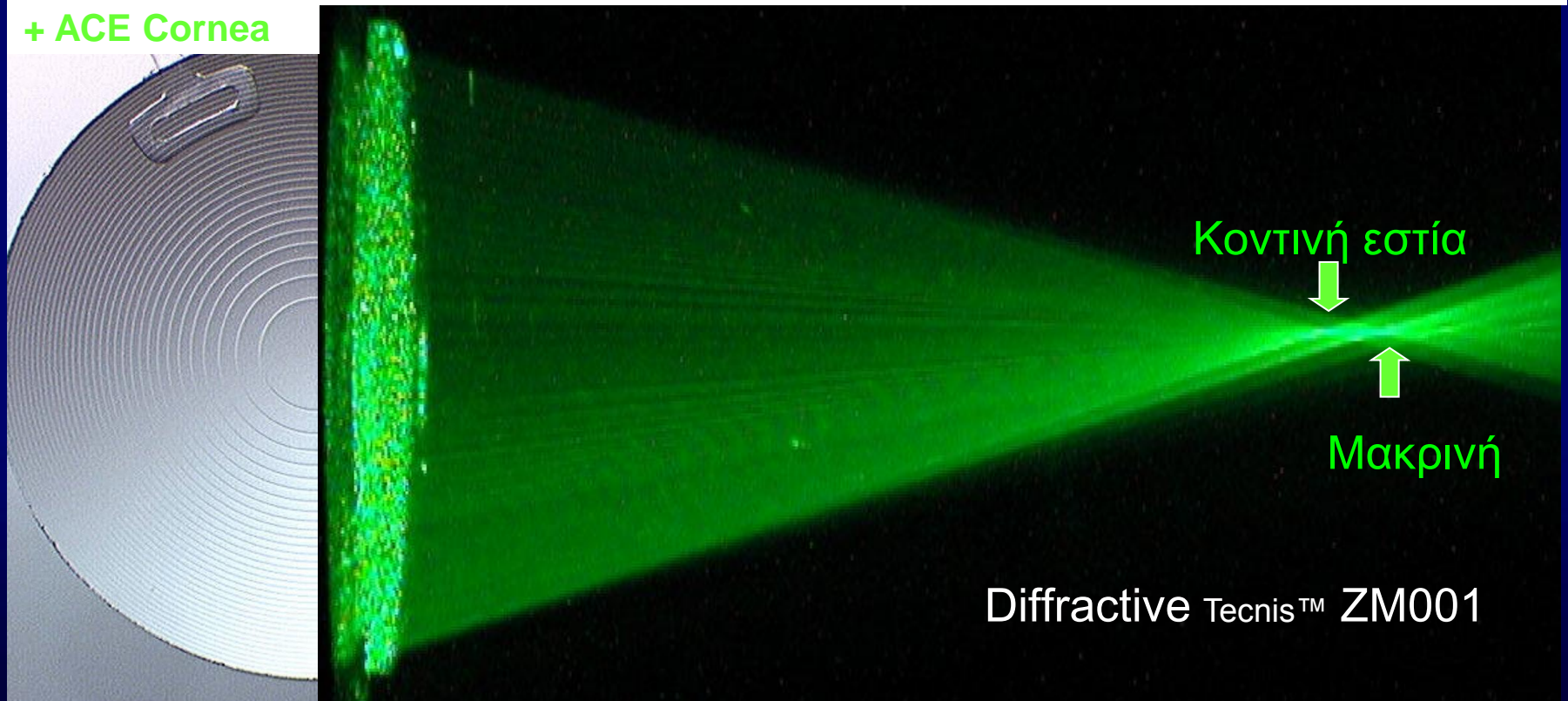
# Περιθλαστικός φακός



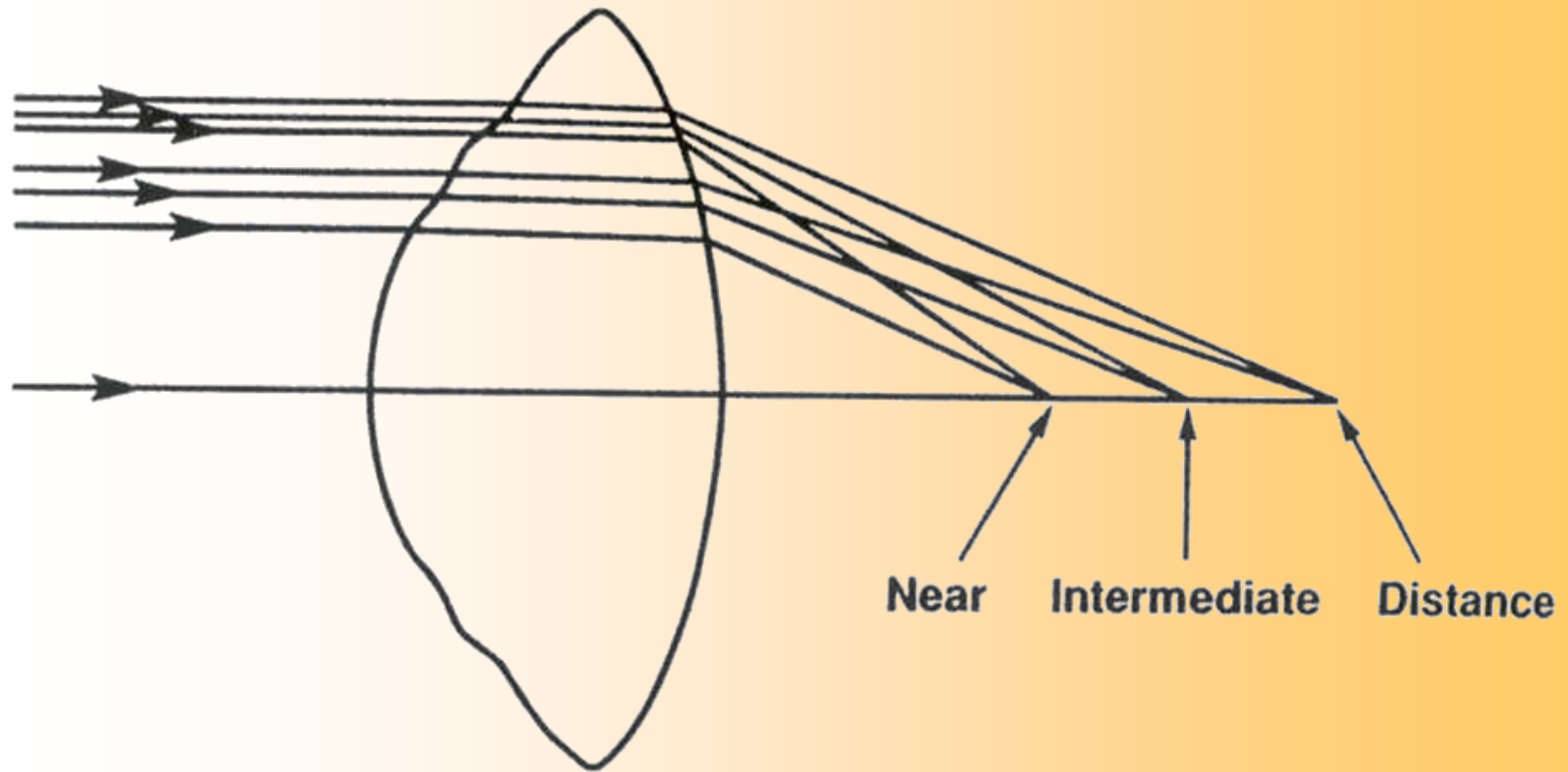


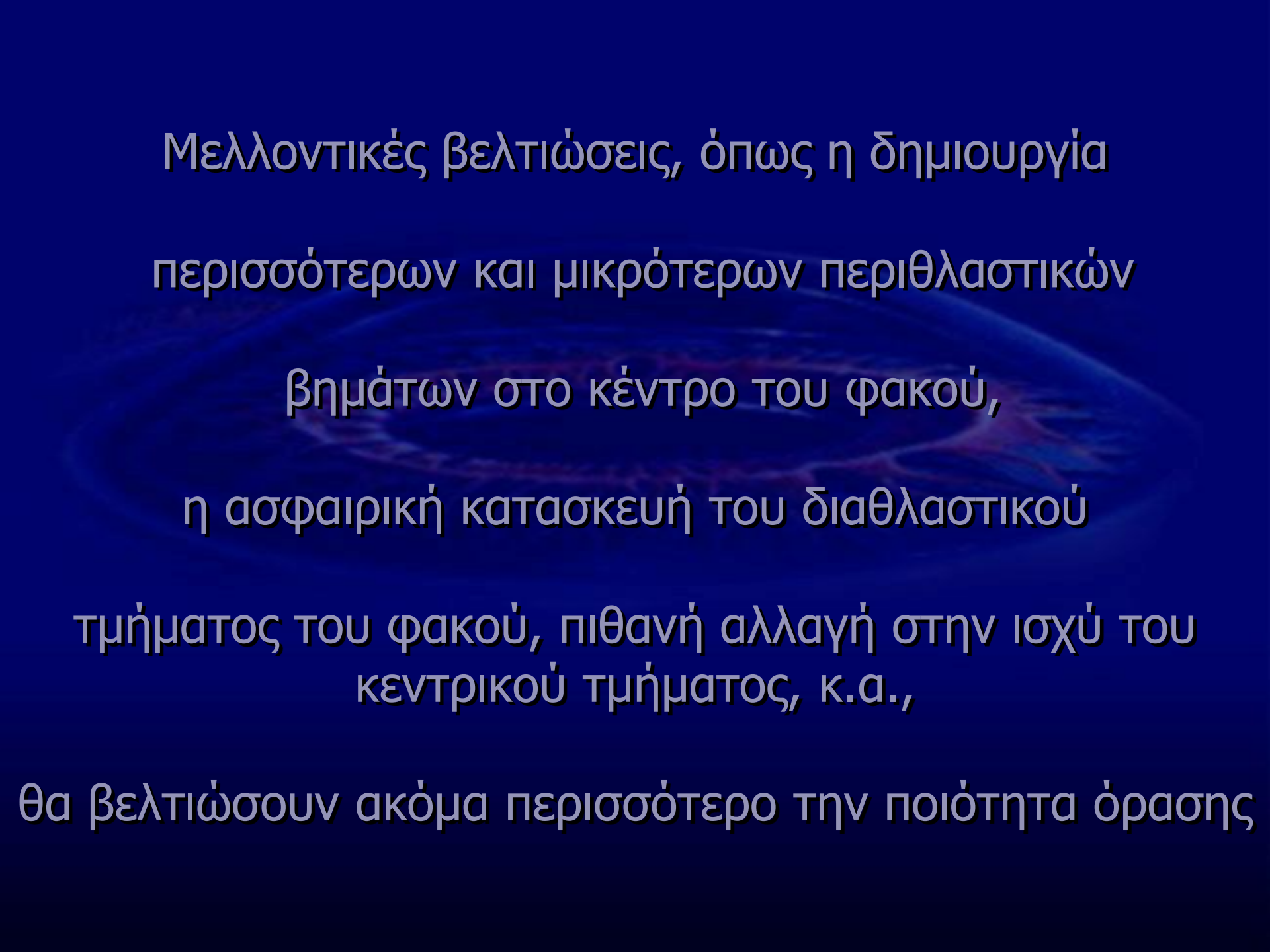
# Αρχή λειτουργίας περιθλαστικών ενδοφακίων

+ ACE Cornea



# Αρχή λειτουργίας διαθλαστικών πολυζωνικών ενδοφακών





Μελλοντικές βελτιώσεις, όπως η δημιουργία  
περισσότερων και μικρότερων περιθλαστικών

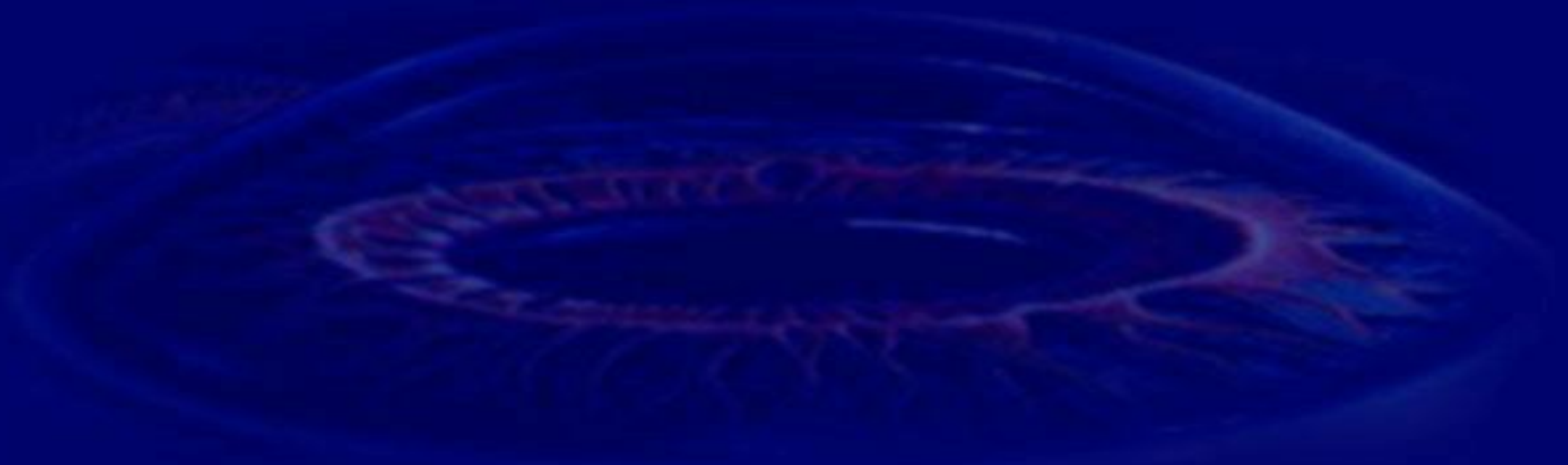
βημάτων στο κέντρο του φακού,

η ασφαιρική κατασκευή του διαθλαστικού

τμήματος του φακού, πιθανή αλλαγή στην ισχύ του  
κεντρικού τμήματος, κ.α.,

θα βελτιώσουν ακόμα περισσότερο την ποιότητα όρασης

Τελευταία, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα «γλυπτικής» των ενδοφακών για τη δημιουργία των κλιμακωτών βαθμίδων με μεγαλύτερη ακρίβεια και μεγαλύτερη πυκνότητα, με χρήση παλμών laser (π.χ. picosecond ή femtosecond διάρκειας παλμών).



ευχαριστώ για την προσοχή σας