



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

# Ηλεκτρονική Μικροσκοπία

Β. Μπίνας, Γ. Κυριακίδης  
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

*Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 Ελλάδα*  
*(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 4.0 Greece)*



CC BY-NC-ND 4.0 GR

*[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]*

*[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]*

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

**ΔΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΙΝΑΣ**

*Post Doc Researcher, Chemist  
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Email: [binasbill@iesl.forth.gr](mailto:binasbill@iesl.forth.gr)  
Thl. 1269*

Crete Center for Quantum Complexity and  
Nanotechnology  
Department of Physics, University of Crete

Transparent Conductive Materials (Head prof. G. Kiriakidis)  
Institute of Electronic Structure & Laser – IESL  
Foundation for Research and Technology - FORTH



*Ηλεκτροστατικοί και Μαγνητικοί Φακοί  
Βασική Δομή Μαγνητικών Φακών  
Υστέρηση  
Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί  
Εκτροπές φακών*

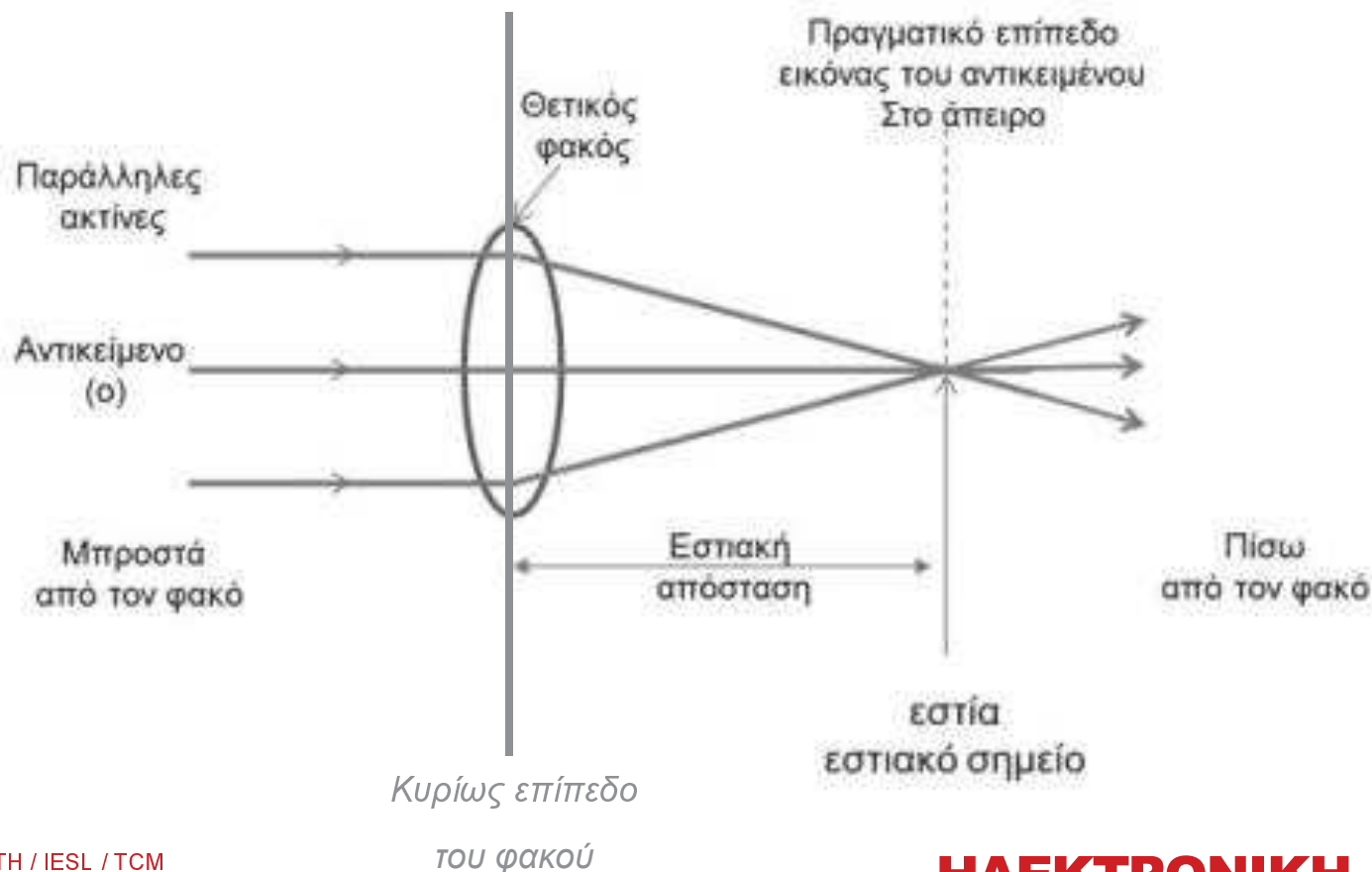


# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Γυάλινοι και Ηλεκτρονικοί Φακοί

Οι **φακοί** χρησιμοποιούνται για να εκτρέψουν μία οπτική ή ηλεκτρονική δέσμη κατά προκαθορισμένο τρόπο.

*Επιτυγχάνεται με ελάττωση της ταχύτητας της δέσμης που τους διαπερνά*



«ΘΕΤΙΚΟΙ» –  
Συγκλίνοντες –  
Αμφίκυρτοι –  
Συμπύκνωσης

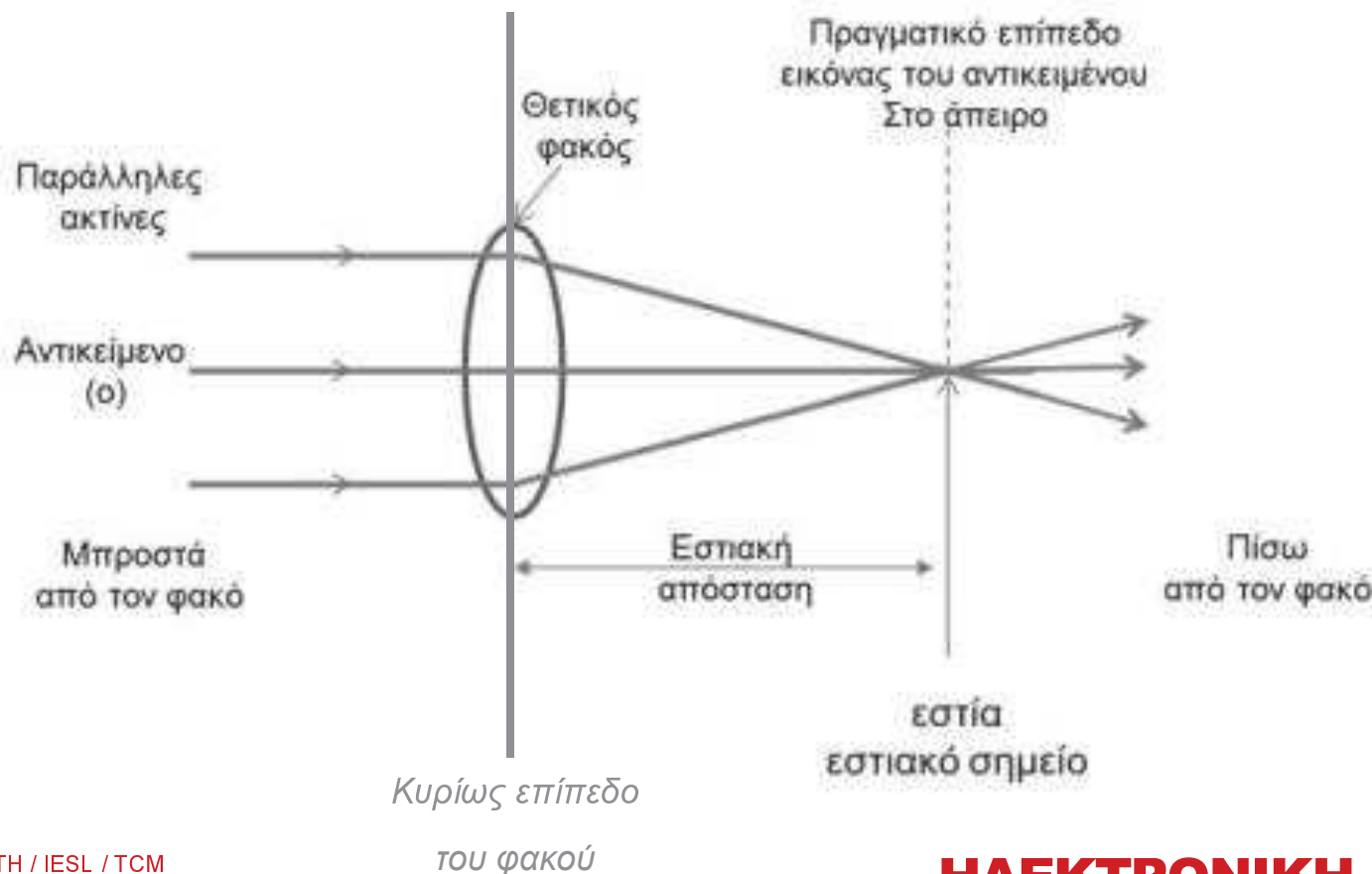


# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Γυάλινοι και Ηλεκτρονικοί Φακοί

Οι **φακοί** χρησιμοποιούνται για να εκτρέψουν μία οπτική ή ηλεκτρονική δέσμη κατά προκαθορισμένο τρόπο.

*Επιτυγχάνεται με ελάττωση της ταχύτητας της δέσμης που τους διαπερνά*

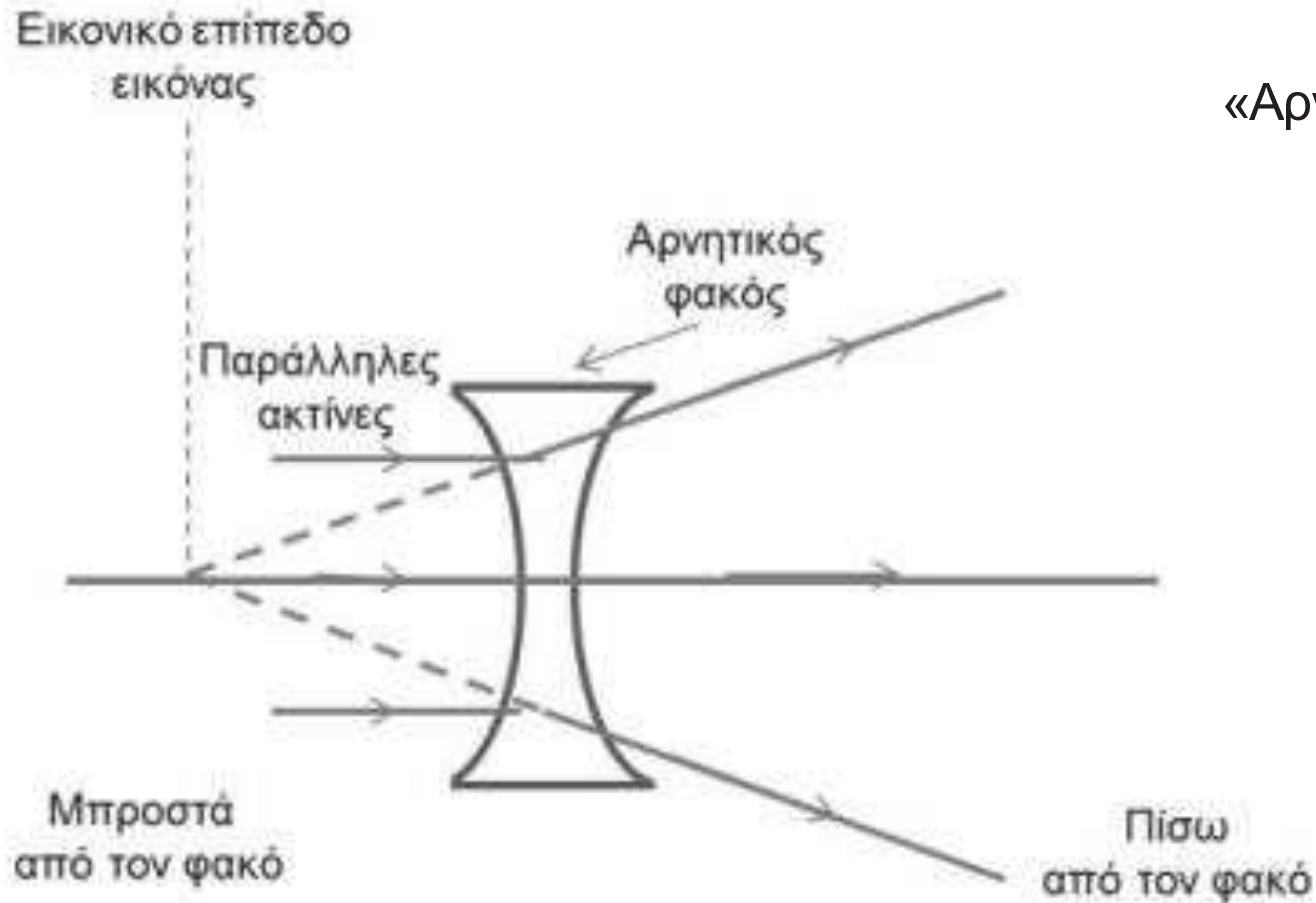


«ΘΕΤΙΚΟΙ» –  
Συγκλίνοντες –  
Αμφίκυρτοι –  
Συμπύκνωσης



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Γυάλινοι και Ηλεκτρονικοί Φακοί



«Αρνητικοί» – Αποκλίνοντες

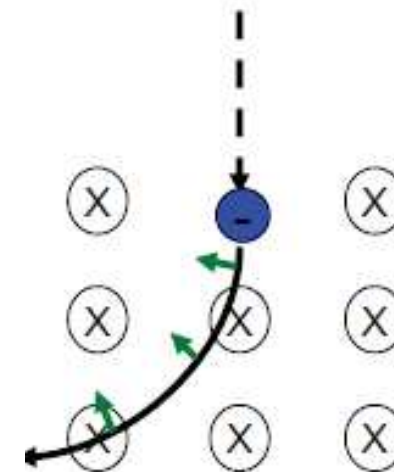




# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Γυάλινοι και Ηλεκτρονικοί Φακοί

- «Θετικοί» – Συγκλίνοντες (**O.M.**, **H.M.**)
- «Αρνητικοί» – Αποκλίνοντες (**OM**)
- Οι μαγνητικοί φακοί δεν αλλάζουν την ταχύτητα της δέσμης ηλεκτρονίων σε αντίθεση με τους οπτικούς.



Lorentz force

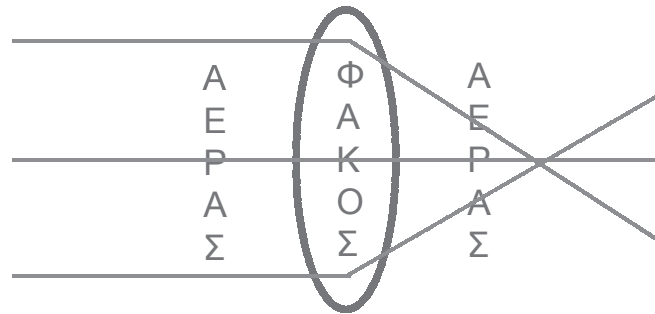
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \otimes \mathbf{B}$$



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Γυάλινοι και Ηλεκτρονικοί Φακοί

- Στους **οπτικούς φακούς** η αλλαγή της πορείας της οπτικής δέσμης γίνεται στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο μέσων (αέρα/φακού, φακού/αέρα), ενώ στους **μαγνητικούς φακούς** η δύναμη αυτή επιδρά καθόλη την διάρκεια που το ηλεκτρόνιο βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

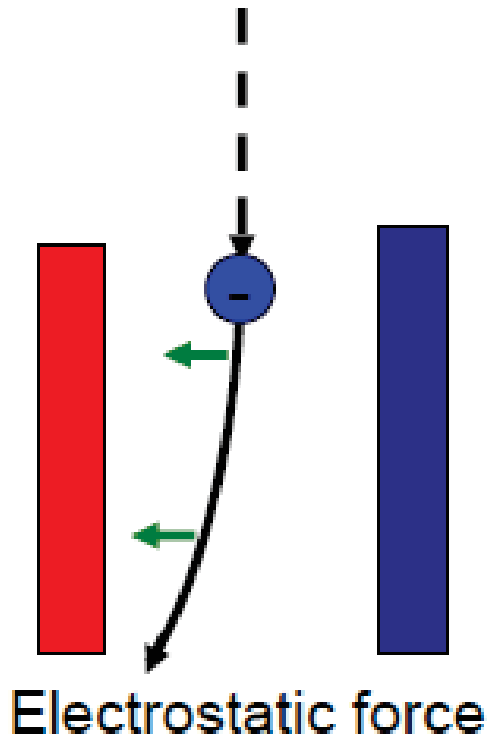


- Η εκτροπή είναι συνεχής με σπειροειδή διαδρομή και όχι απότομη

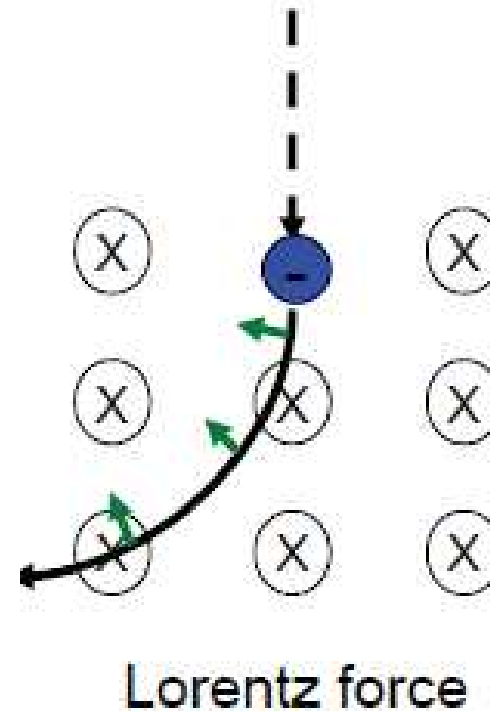


# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

*Ηλεκτρόνια σε Ηλεκτρικό και Μαγνητικό πεδίο*



$$F=qE$$

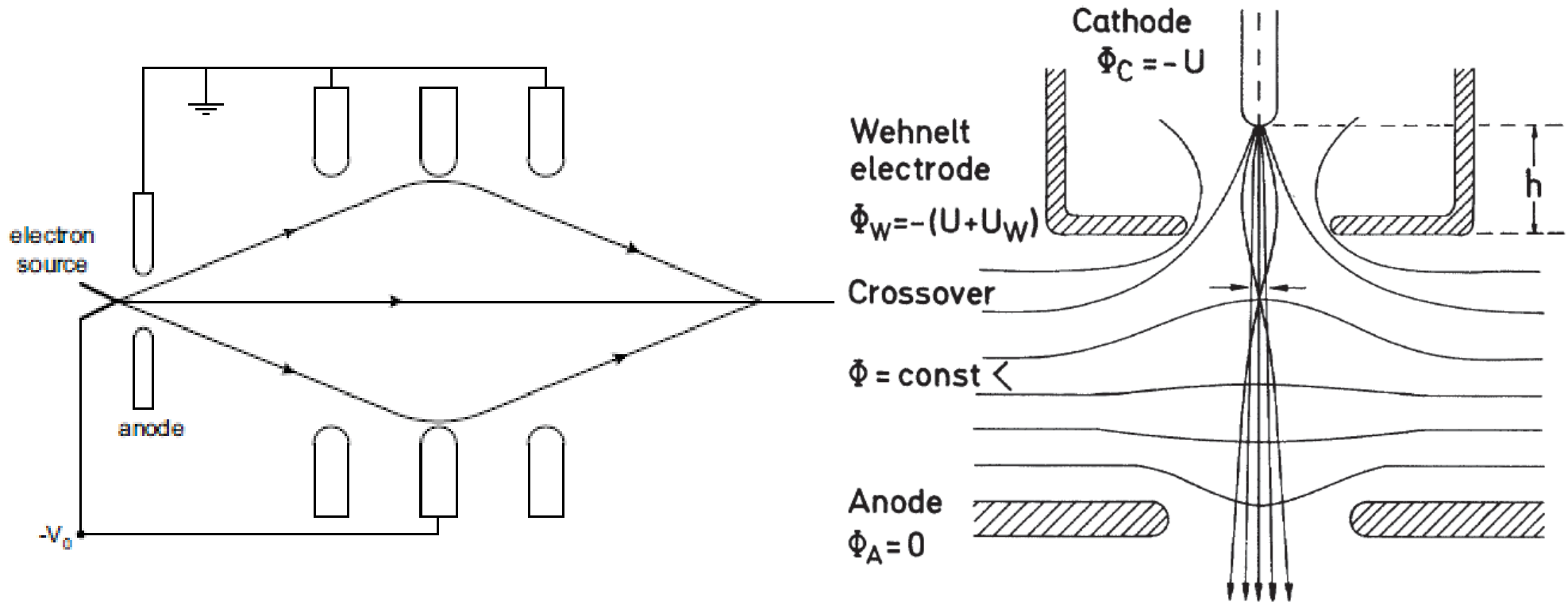


$$F=qv \otimes B$$



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Ηλεκτροστατικοί Φακοί

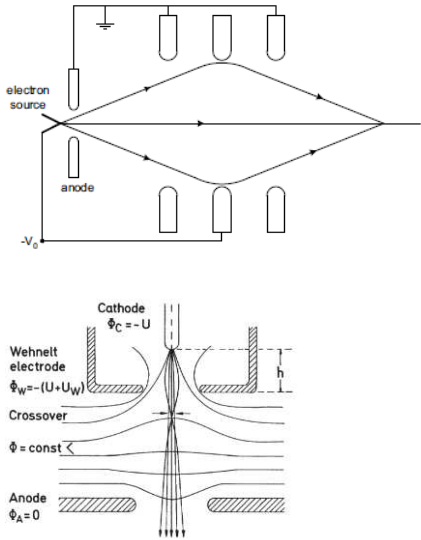


- Πηγή ηλεκτρονίων εκπέμπει ηλεκτρόνια
- Επιταχύνονται μέσω δυναμικού  $V_0$  σε μία άνοδο
- Ακολουθεί εστίαση σε ηλεκτροστατικό φακό (ηλεκτρόδια φαίνονται σε διατομή), με έναν κοινό άξονα (οπτικό)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Ηλεκτροστατικοί Φακοί



1. Χρησιμοποιούν **μεγάλης έντασης ηλεκτροστατικά πεδία** τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε **ανεπιθύμητες εκκενώσεις** μέσα στην κολώνα ειδικά αν το κενό δεν είναι πολύ καλό.
2. **Μεγαλύτερης εστιακής απόστασης** φακοί και είναι δύσκολη η διόρθωση της σφαιρικής τους εκτροπής.
3. Δεν περιστρέφουν την εικόνα του αντικειμένου

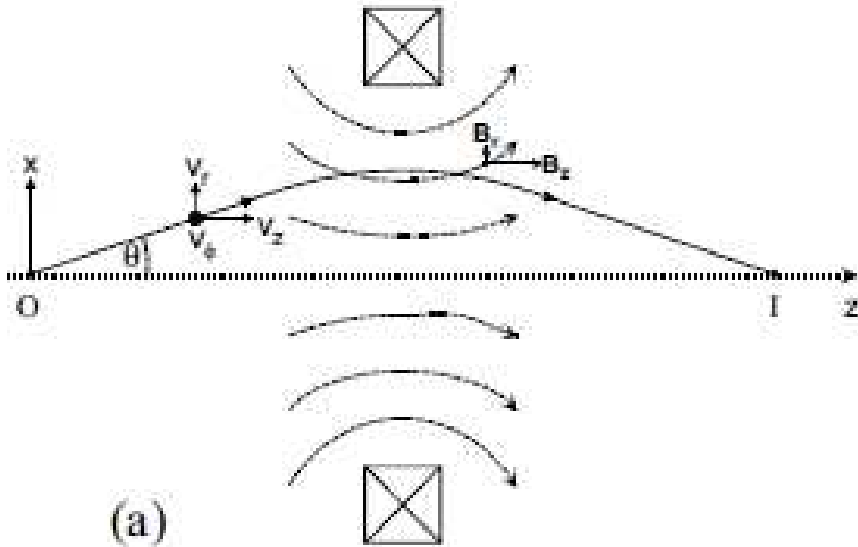
Χρήση ηλεκτροστατικών φακών για την πρώτη εστίαση, **ΟΛΟΙ** οι άλλοι φακοί είναι Μαγνητικοί λόγο:

- Σφαιρικής εκτροπής και διορθώσεις
- Υψηλών ηλεκτροστατικών πεδίων εκκένωσης



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Βασική Δομή Μαγνητικών Φακών



**Μαγνητικό πεδίο** παράγεται από ένα μικρό πηνίο (το οποίο διακρίνεται σε διατομή) επηρεάζοντας την τροχιά ενός ηλεκτρονίου από ένα αξονικό σημείο  $O$  στην θέση  $I$ .

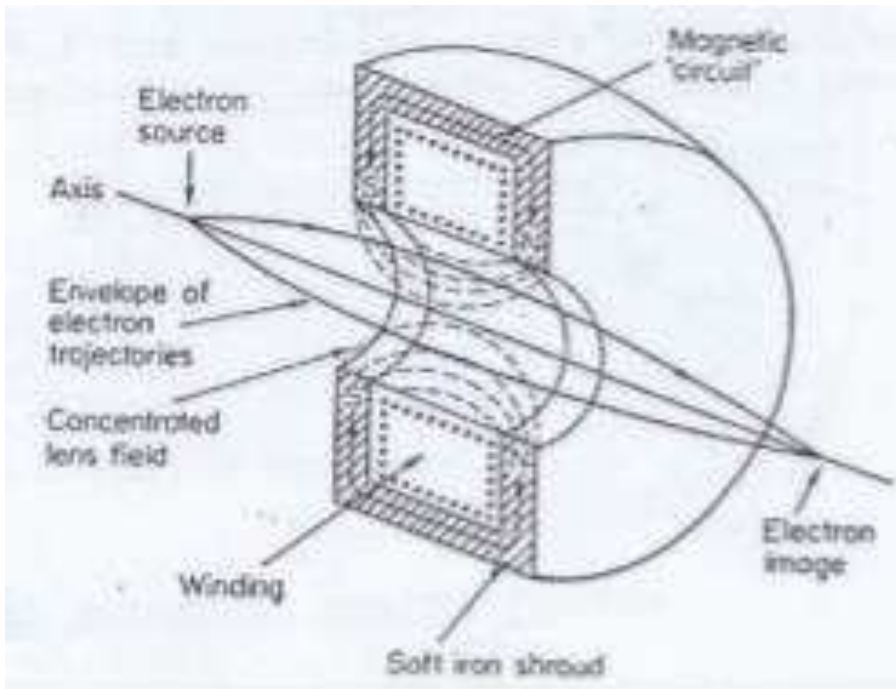
***σπαταλάτε μεγάλη ποσότητα μαγνητικού πεδίου***

(οι δυνάμεις δεν είναι συγκεντρωμένες και αρκετά πυκνές εκεί που χρειάζονται στον άξονα του πηνίου)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Βασική Δομή Μαγνητικών Φακών



*Χρήση ενός πυρήνα από μαλακό σίδηρο, οδηγεί σε βελτίωση στην ένταση και την ευθυγράμμιση των δυναμικών γραμμών του πεδίου κατά μήκος του άξονα του πεδίου*

**Αύξηση του ρεύματος** που διαρρέει τις σπειρώσεις ενός πηνίου (εγκλωβισμένου σε μαλακό σίδηρο), οδηγεί σε μείωση της εστιακής απόστασης του μαγνητικού φακού.

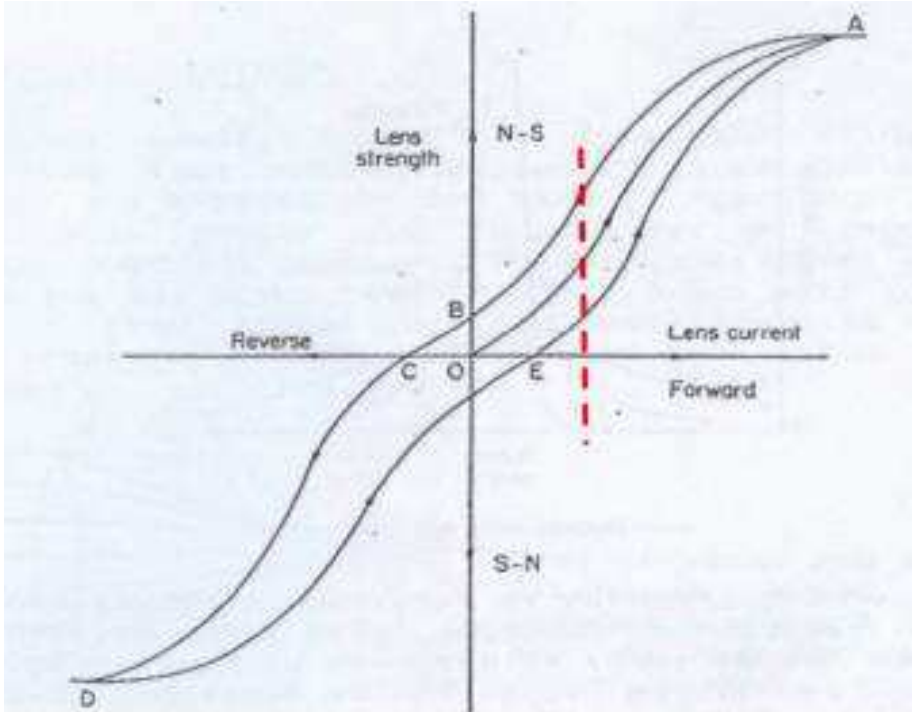
(εξάρτηση των δύο αυτών μεγεθών δεν είναι γραμμική)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Μαγνητική Υστέρηση

Εξάρτηση του ρεύματος του πηνίου σε σχέση με την ισχύ του φακού



- Σημείο *O*: φακός είναι τελείως **απομαγνητισμένος**
- Διαδρομή *OA*: αύξηση του ρεύματος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύς του φακού
- Σημείο *A*: περαιτέρω αύξηση του ρεύματος έχει σαν αποτέλεσμα να μην αυξάνεται περισσότερο η ισχύς του φακού (**κατάσταση κορεσμού**)

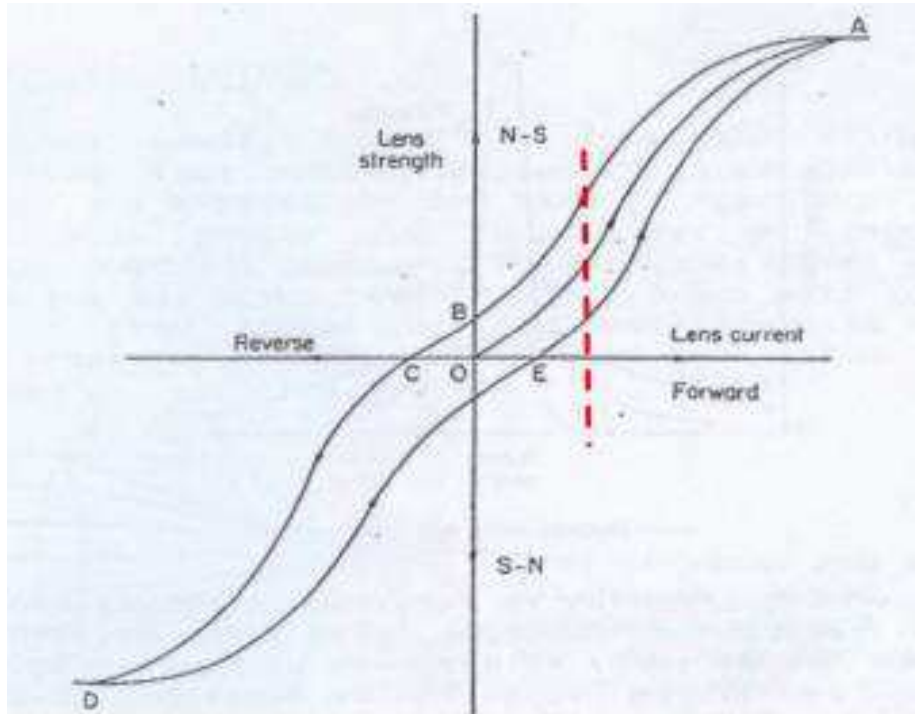




# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Μαγνητική Υστέρηση

Εξάρτηση του ρεύματος του πηνίου σε σχέση με την ισχύ του φακού



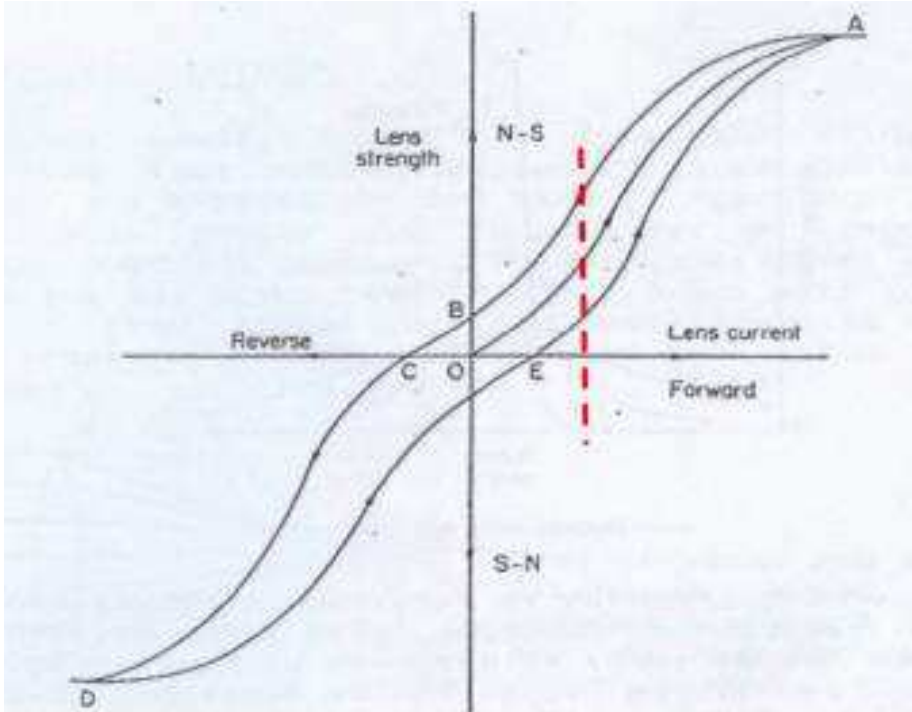
- Διαδρομή *AB*: ελάττωση του ρεύματος οδηγεί σε μηδενισμό του ρεύματος (Σημείο *B*) στο οποίο υπάρχει μία παραμένουσα μαγνήτιση
- Σημείο *C*: μηδενίζεται η παραμένουσα μαγνήτιση με αρνητικό αντίστροφο ρεύμα
- Για δεδομένο ρεύμα, η ισχύς του φακού μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ των δύο καμπυλών υστέρησης (σφάλμα στην μεγέθυνση της τάξης του 10%)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Μαγνητική Υστέρηση

Εξάρτηση του ρεύματος του πηνίου σε σχέση με την ισχύ του φακού



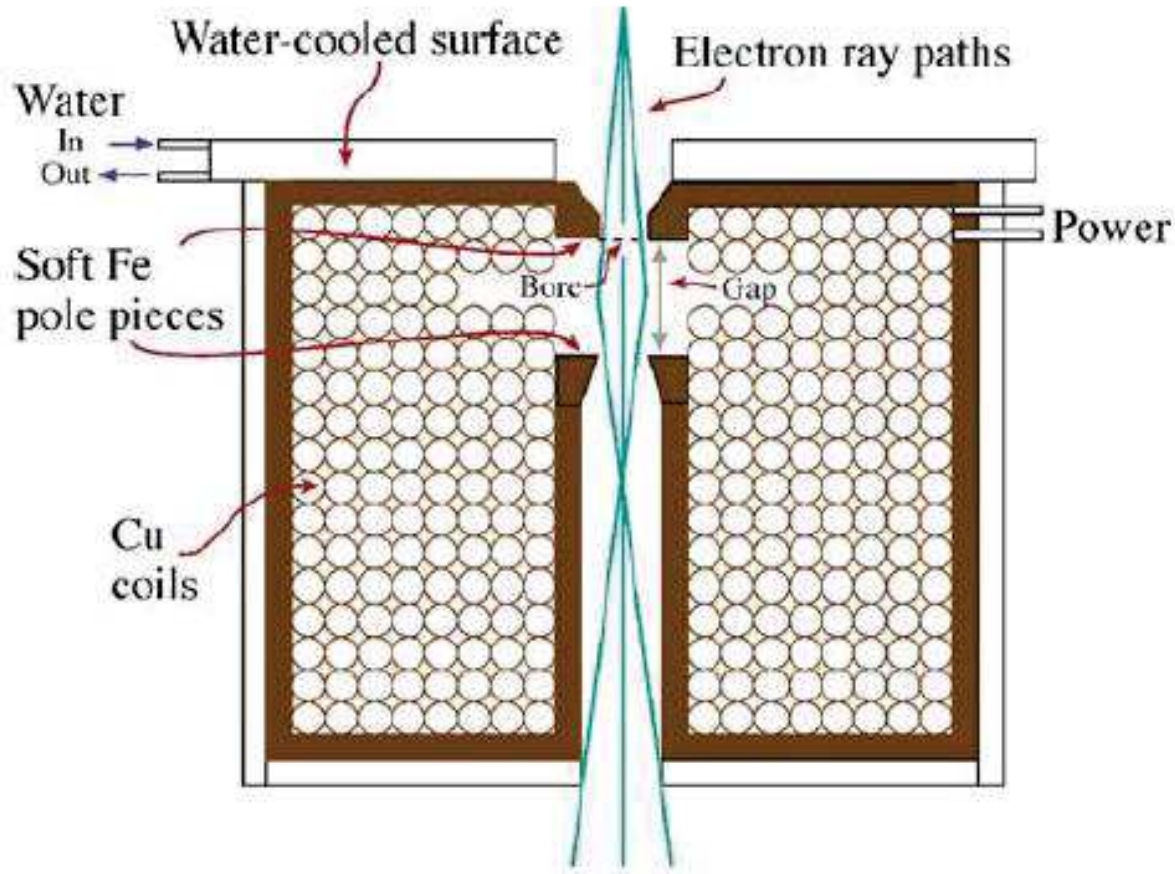
### Τρόπος εξάλειψης της υστέρησης

- είναι να φτάσουμε τον φακό στην τιμή κορεσμού
- και να ακολουθήσουμε την καμπύλη επιστροφής μέχρι την τιμή που μας ενδιαφέρει χωρίς παλινδρομήσεις



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

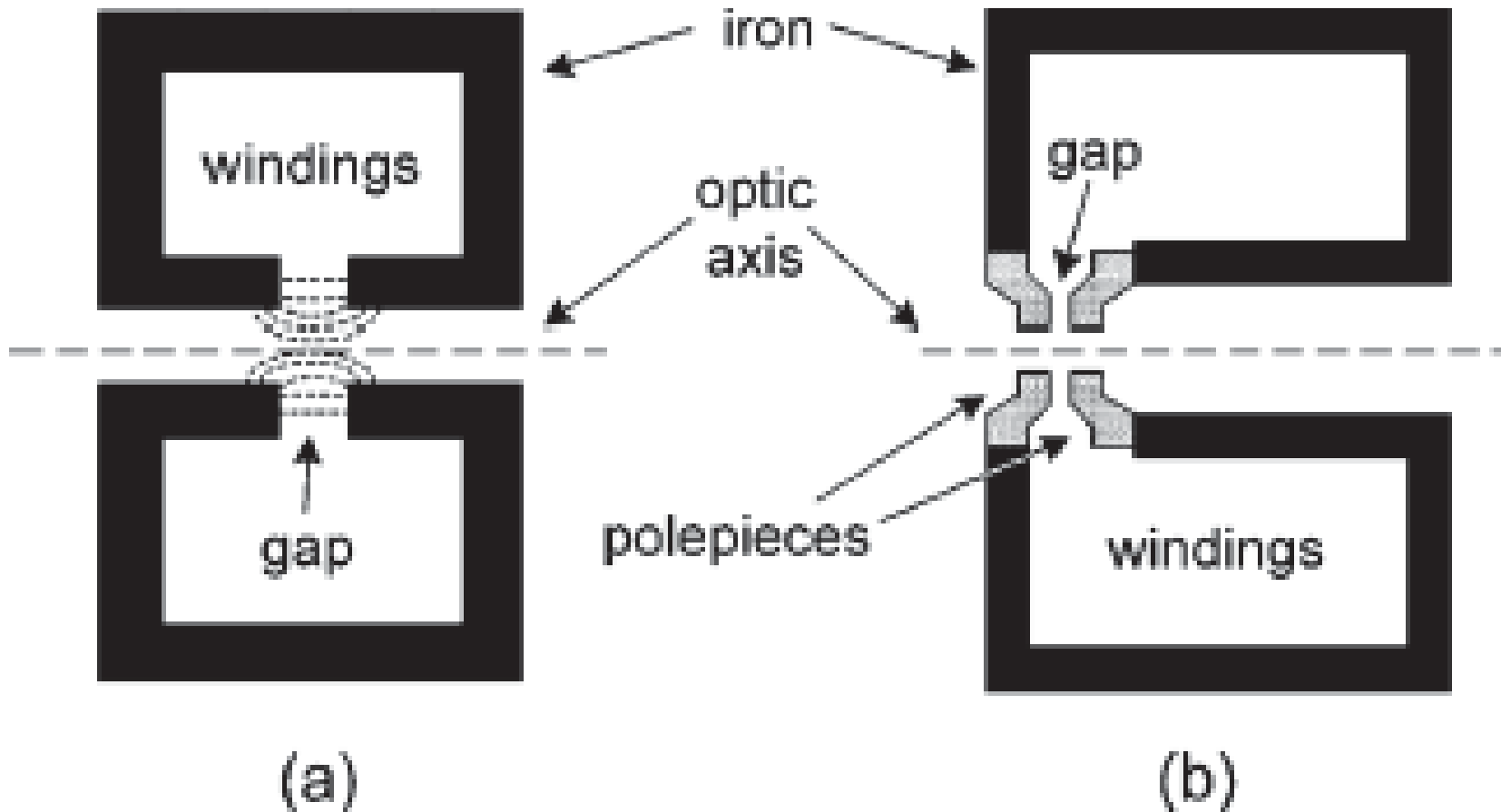
## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί



Χρήση μαλακού σιδήρου για να συγκεντρωθεί το μαγνητικό πεδίο σε μικρό όγκο

Μεγαλύτερη συγκέντρωση του μαγνητικού πεδίου



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί



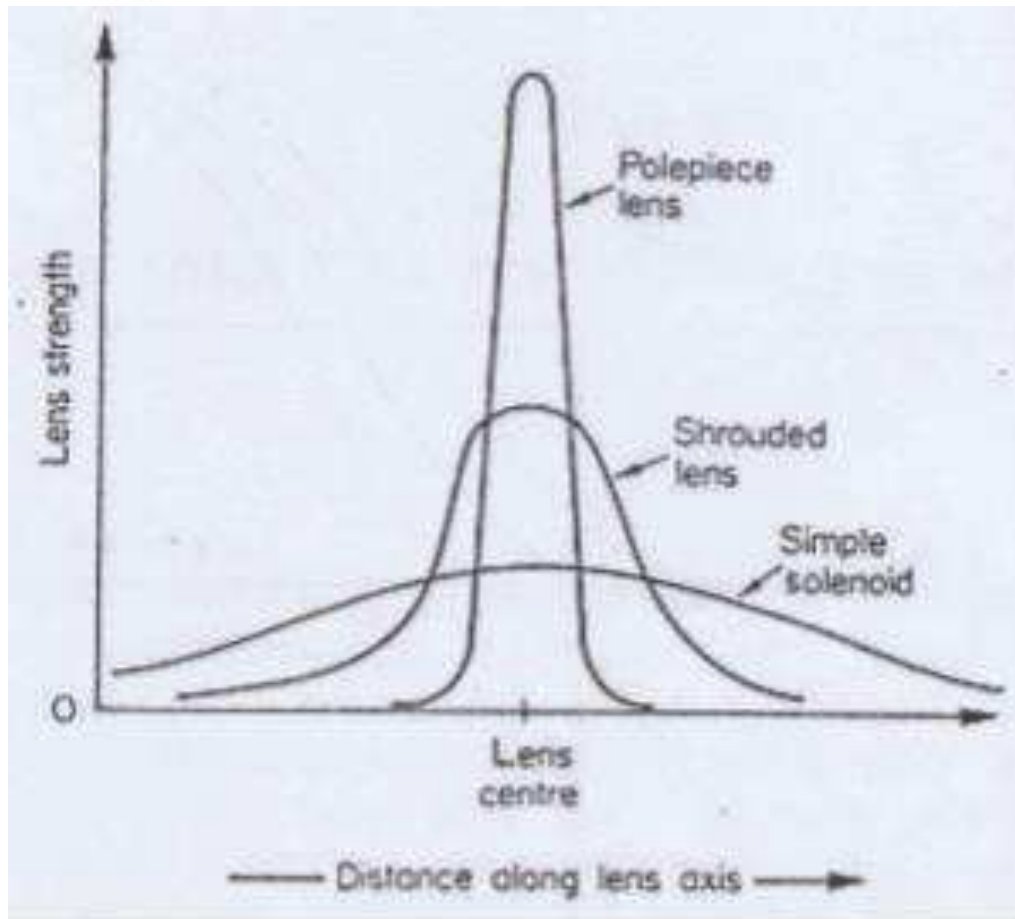
- κυλινδρικό σχήμα κρύβει τις σπείρες του χάλκινου σύρματος
- Τα δύο κομμάτια κώνου τοποθετούνται μέσα στην κεντρική οπή του φακού.
- Οι τρεις ηλεκτρικές συνδέσεις παρέχουν ρεύμα στο πηνίο μαγνητίζοντας τους πόλους,
- και το νερό ψύξης κυκλοφορεί μέσα και έξω στην άνω πλάκα του φακού διαλύοντας την θερμότητα που παράγεται στα πηνία.





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί

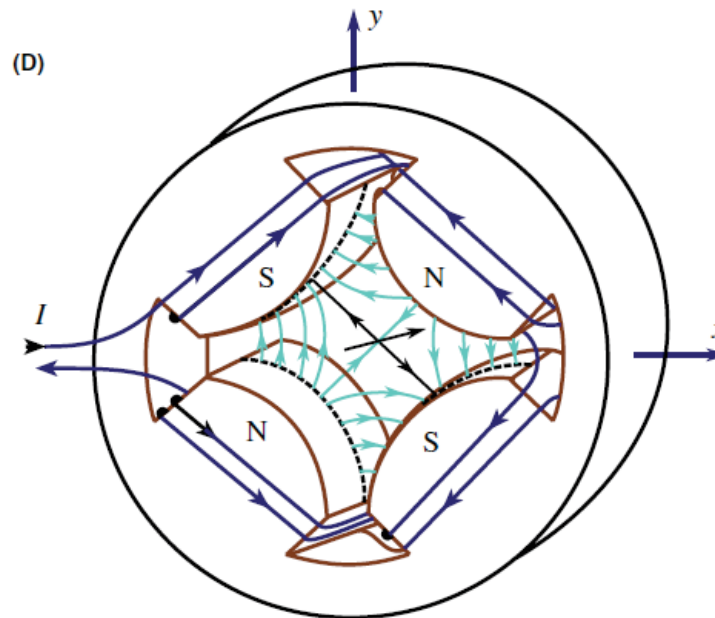
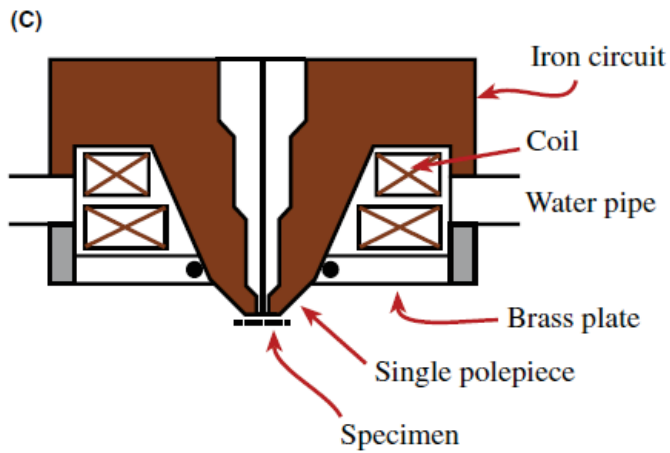
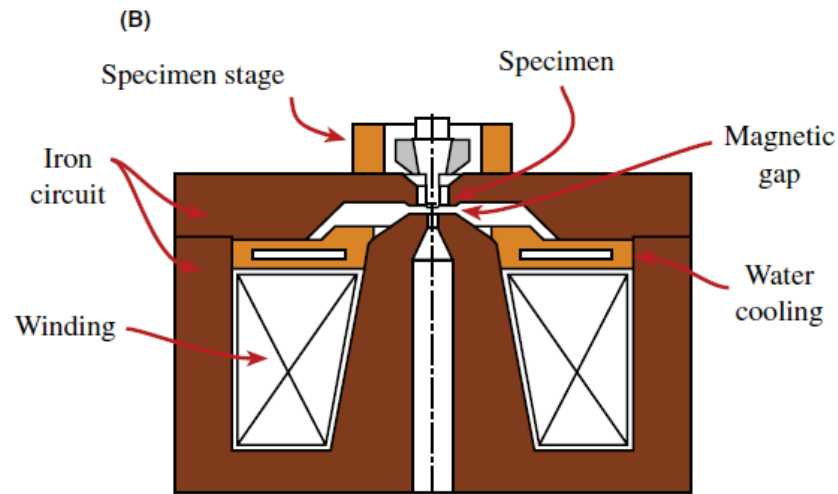
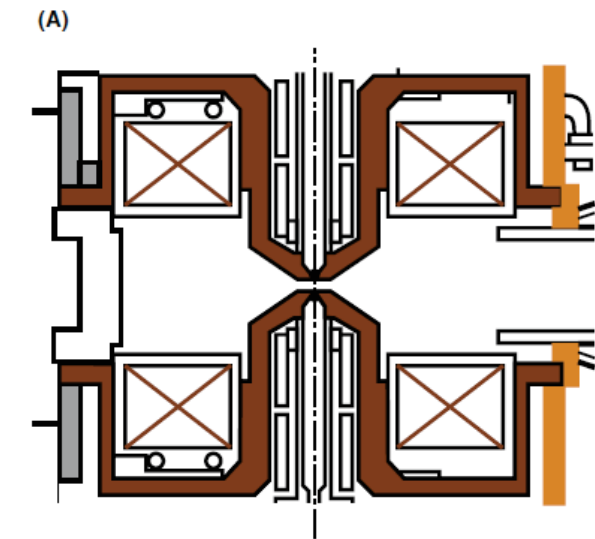


**με τους λεπτούς φακούς ελαττώνεται η ασάφεια του ειδώλου**



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί

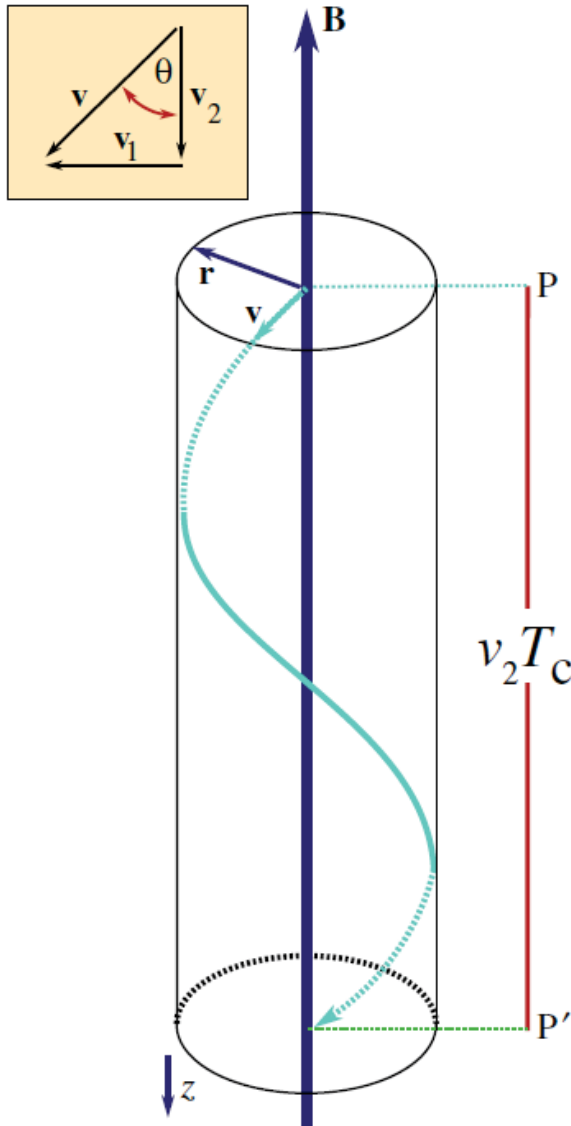




# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Λεπτοί Μαγνητικοί Φακοί

Διαδρομή ακτίνας ηλεκτρονίων υπο την επίδραση μαγνητικού πεδίου



$$F = q(v \times B) = -e(v \times B)$$

where, B – magnetic field, F – applied force (Lorentz)

$$F = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta = m \cdot v^2 / r$$

where, m – mass of electron, r – radial distance:

$$r = (m \cdot v \cdot \sin \theta) / (e \cdot B)$$

$v_1 = v \cdot \sin \theta$ ,  $\perp$  to the magnetic component),  $F = -e(v_1 \times B)$

$v_2 = v \cdot \cos \theta$ ,  $\parallel$  to the magnetic component),  $z = v_2 \cdot t$

$$r = (m \cdot v \cdot \sin \theta) / (e \cdot B)$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot m / (e \cdot B)$$

$PP' = (2 \cdot \pi \cdot m \cdot v \cdot \cos \theta) / (e \cdot B)$ ,  
when  $\theta \sim 0$ , then  $\cos \theta \sim 1$

Rate of change of r (radial distance):

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{\eta^2 B^2 r}{2V^{1/2}} = 0$$

Rate of angular rotation:

$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{\eta B}{2V^{1/2}}$$





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Εκτροπές Φακών

Κανένας φακός για φώς ή για ηλεκτρόνια δεν μπορεί να σχηματίσει **απόλυτα σημειακό είδωλο** μιας σημειακής πηγής.

### Γιατί???

οι φακοί μπορούν να συλλέξουν μόνο τμήμα των κυμάτων που εκπέμπονται από το αντικείμενο ή την πηγή και έτσι είναι αδύνατο όσο λεπτοί και αν είναι να μην κόβουν ορισμένες πληροφορίες που εκπέμπονται από το αντικείμενο.



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Εκτροπές Φακών

Οι φακοί πάσχουν από μία σειρά από ατέλειες οι οποίες γενικά λέγονται **ΕΚΤΡΟΠΕΣ**. αυτές πρέπει να εντοπισθούν και να αναλυθούν μεμονωμένα ώστε να μπορεί να ελαττωθούν αν όχι να εξαληφθούν.

Δύο κύριες ατέλειες φακών που λέγονται **σφαιρική εκτροπή** και **χρωματική εκτροπή**.

Η **σφαιρική εκτροπή** οφείλεται στην αδυναμία του φακού να συλλέξει όλες τις ακτίνες που εισέρχονται σε αυτόν και να τις εστιάσει σε ένα κοινό σημείο. (χωρική αδυναμία)

Η **Χρωματική εκτροπή** οφείλεται στο ότι, ούτε οι οπτικές ούτε οι δέσμες ηλεκτρονίων αποτελούνται από ακτινοβολία ενός μόνο μήκους κύματος. (μονοχρωματική αδυναμία)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Εκτροπές Φακών

**Σφαιρική εκτροπή**  
Χωρική αδυναμία

**Χρωματική εκτροπή**  
Μονοχρωματική αδυναμία

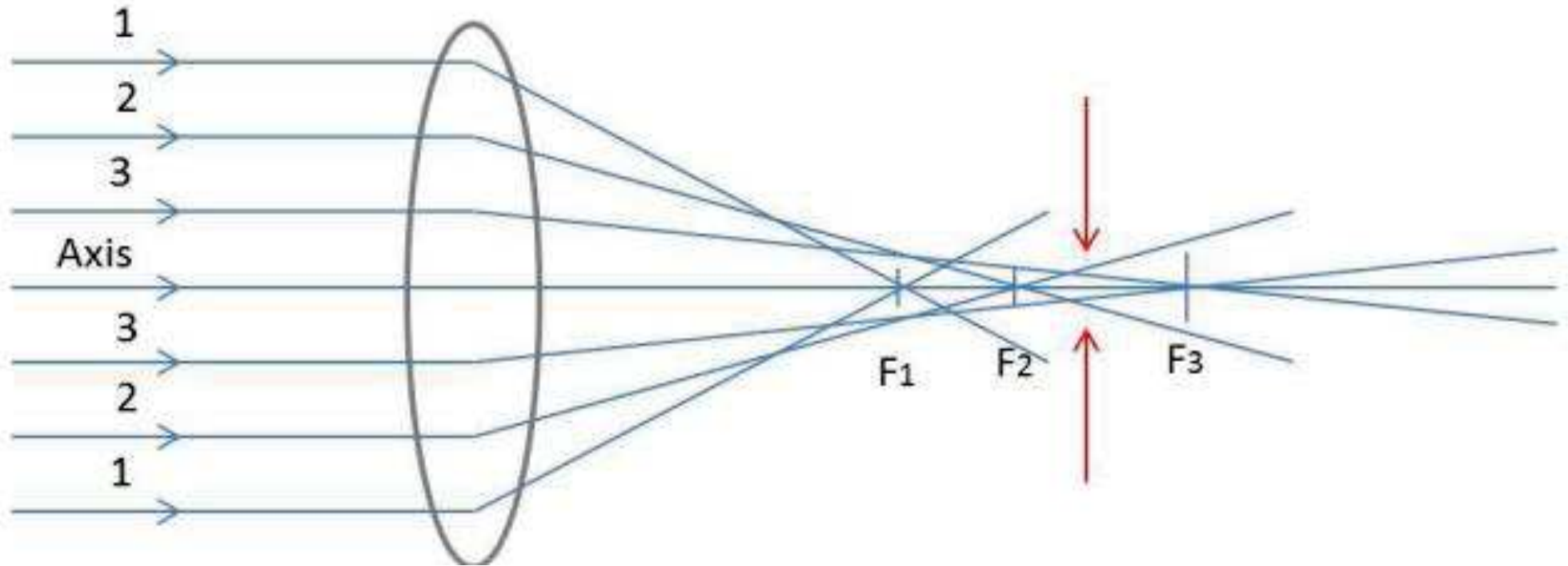
Το πρόβλημα με τις εκτροπές αυτές είναι δουλειά των κατασκευαστών των φακών,

- για μεν τους **γυάλινους οπτικούς φακούς**, ο κατασκευαστής μπορεί να παίξει με υλικά διαφορετικού δείκτη διάθλασης και όπου χρειάζεται να χρησιμοποιήσει ίσως και αποκλίνοντες φακούς,
- για τους **μαγνητικούς φακούς** όμως κανείς έχει μόνο μία παράμετρο να αλλάξει το μαγνητικό πεδίο, και φυσικά δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει αποκλίνοντες μαγνητικούς φακούς. Μπορεί όμως να μειώσει την εκτροπή με χρήση μικρότερου διαφράγματος (περιορισμός διακριτικής ικανότητας)



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Σφαιρική Εκτροπή



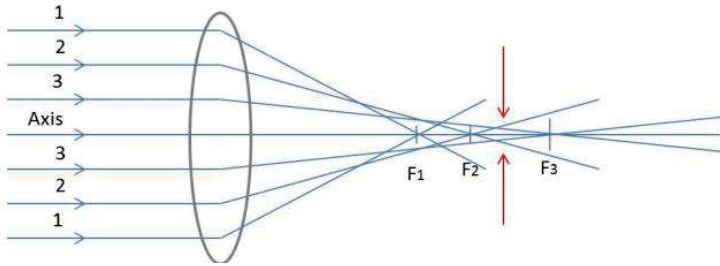
**πολύ καλής ακρίβειας κυρτή επιφάνεια** (που είναι η διαχωριστική επιφάνεια του υλικού που διαθλά τις ακτίνες και του μέσου, π.χ. αέρα/μέσου του οποίου διαδίδονται αυτές) για να μπορέσει να σχηματίσει ένα τέλειο είδωλο.

το σφάλμα που προέρχεται από την σφαιρικότητα του φακού λέγεται **σφαιρική εκτροπή**



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Σφαιρική Εκτροπή



- **Σφαιρική επιφάνεια φακού**, εστιάζει σε μικρότερη εστιακή απόσταση τις ακτίνες που περνούν από τα άκρα του φακού σε σχέση μ' αυτές που περνούν κοντά από τον άξονα.
- **Υπάρχουν διαφορετικές εστιακές αποστάσεις** και το είδωλο είναι συγκεχυμένο.
- Υπάρχει μία θέση πάνω στον άξονα όπου το είδωλο φαίνεται να έχει την μικρότερη ασάφεια και η θέση αυτή λέγεται **κύκλος ελάχιστης σύγχυσης** και η θέση αυτή αποτελεί την **συμβατική εστιακή απόσταση**.

*Η σφαιρική εκτροπή μπορεί να ελαττωθεί, με τον περιορισμό του ανοίγματος της προσπίπτουσας δέσμης, δηλ. με την χρήση περιοριστικών διαφραγμάτων.*



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Σφαιρική Εκτροπή

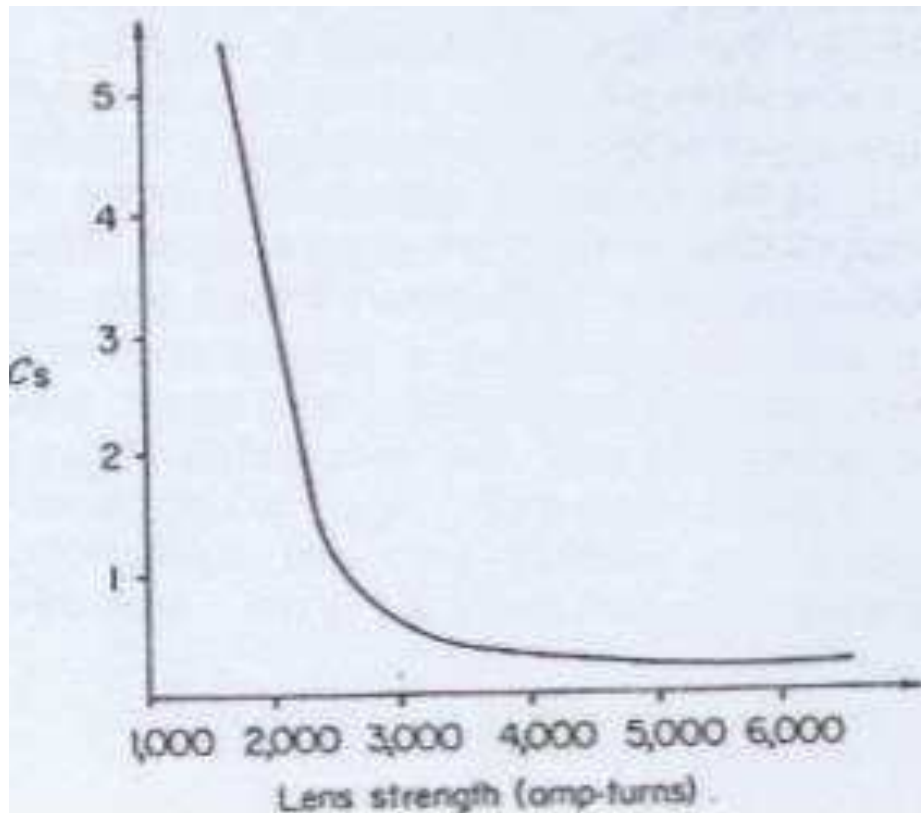
$$\Delta I. = k \times C_s \times f \times \alpha^3$$

όπου  $k$  = είναι μια σταθερά

$C_s$  = είναι ο συντελεστής σφαιρικής εκτροπής και εξαρτάται από το σχήμα του φακού

$f$  = είναι η εστιακή απόσταση, και

$\alpha$  = είναι το γωνιακό άνοιγμα του περιοριστικού διαφράγματος σε rads

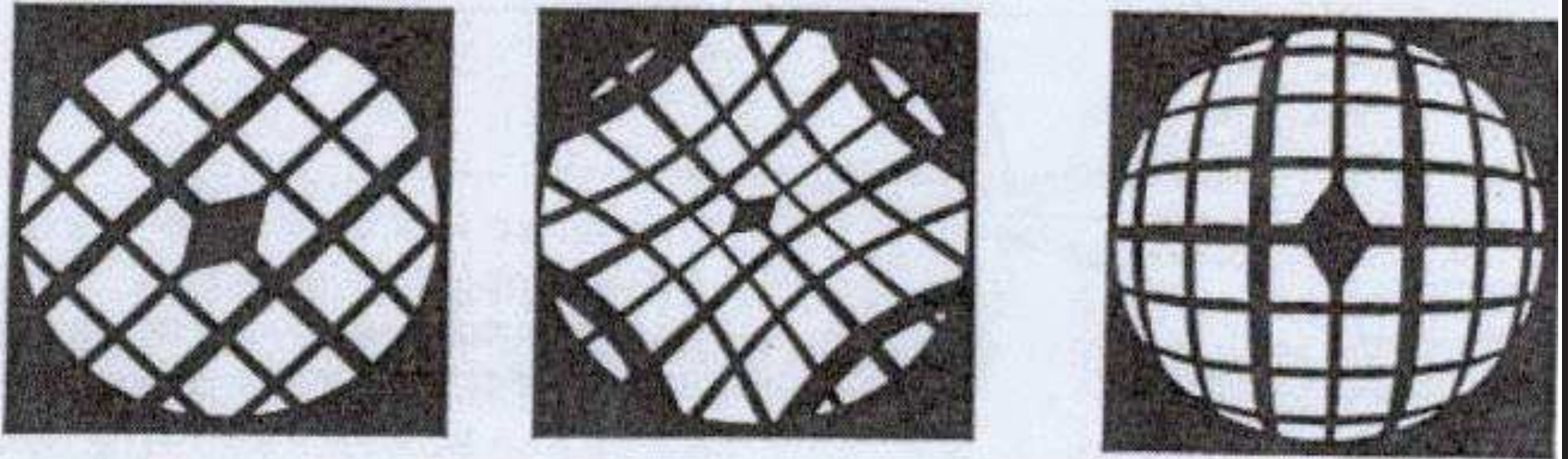






# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

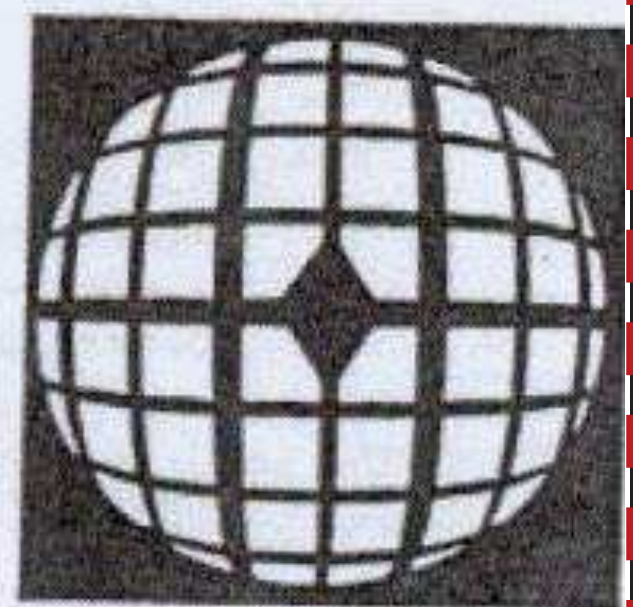
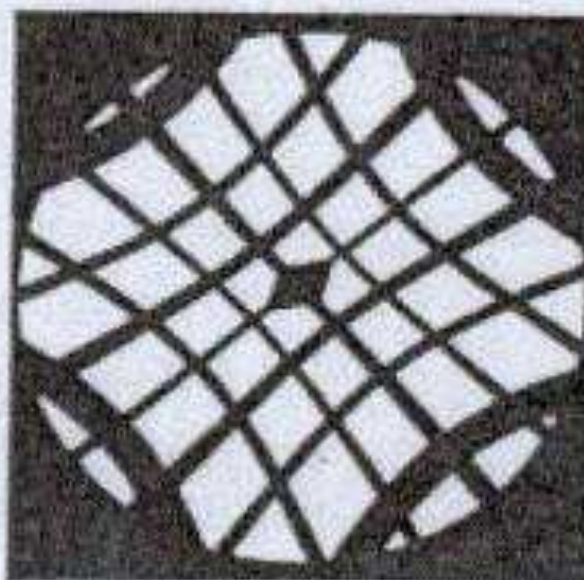
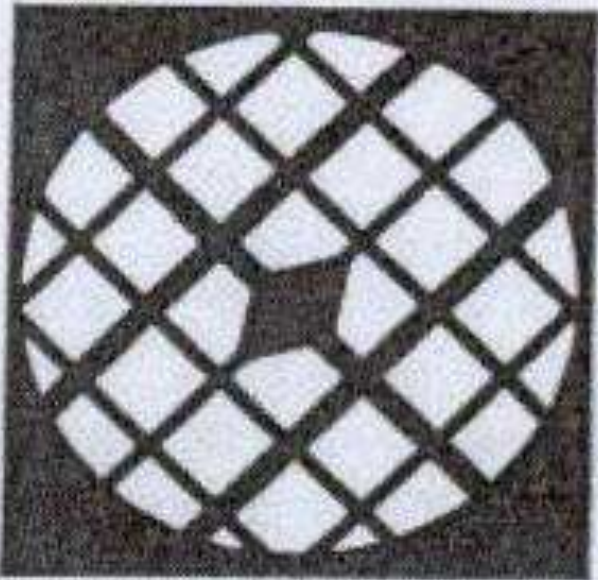
Αλλοίωση ειδώλου





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Αλλοίωση ειδώλου

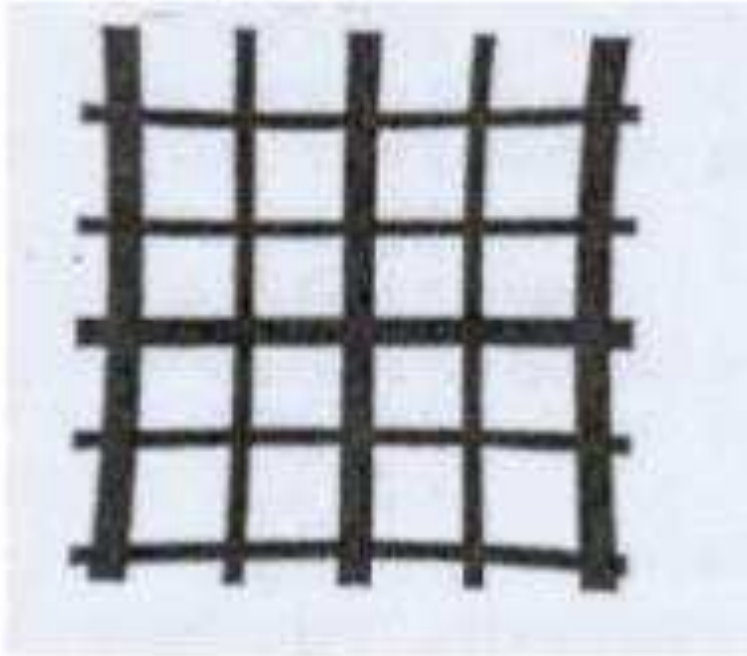






# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Περιστροφή ειδώλου

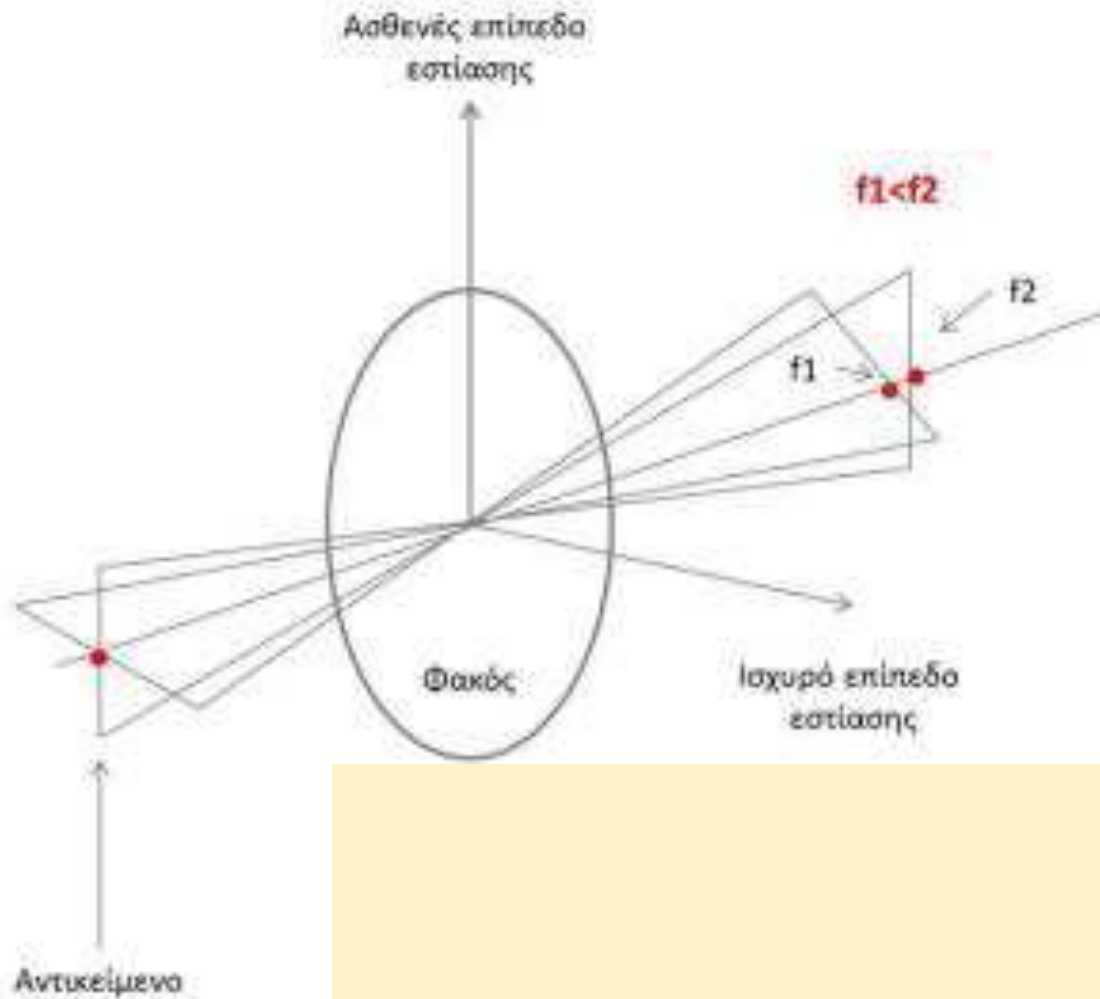


Τα προβλήματα που σχετίζονται με αλλοίωση (έσω, έξω ή περιστροφική) είναι ενοχλητικά και εμφανίζονται σε μικρές μεγεθύνσεις. Εξαλείφονται με κατάλληλο σχεδιασμό προβολικών φακών



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

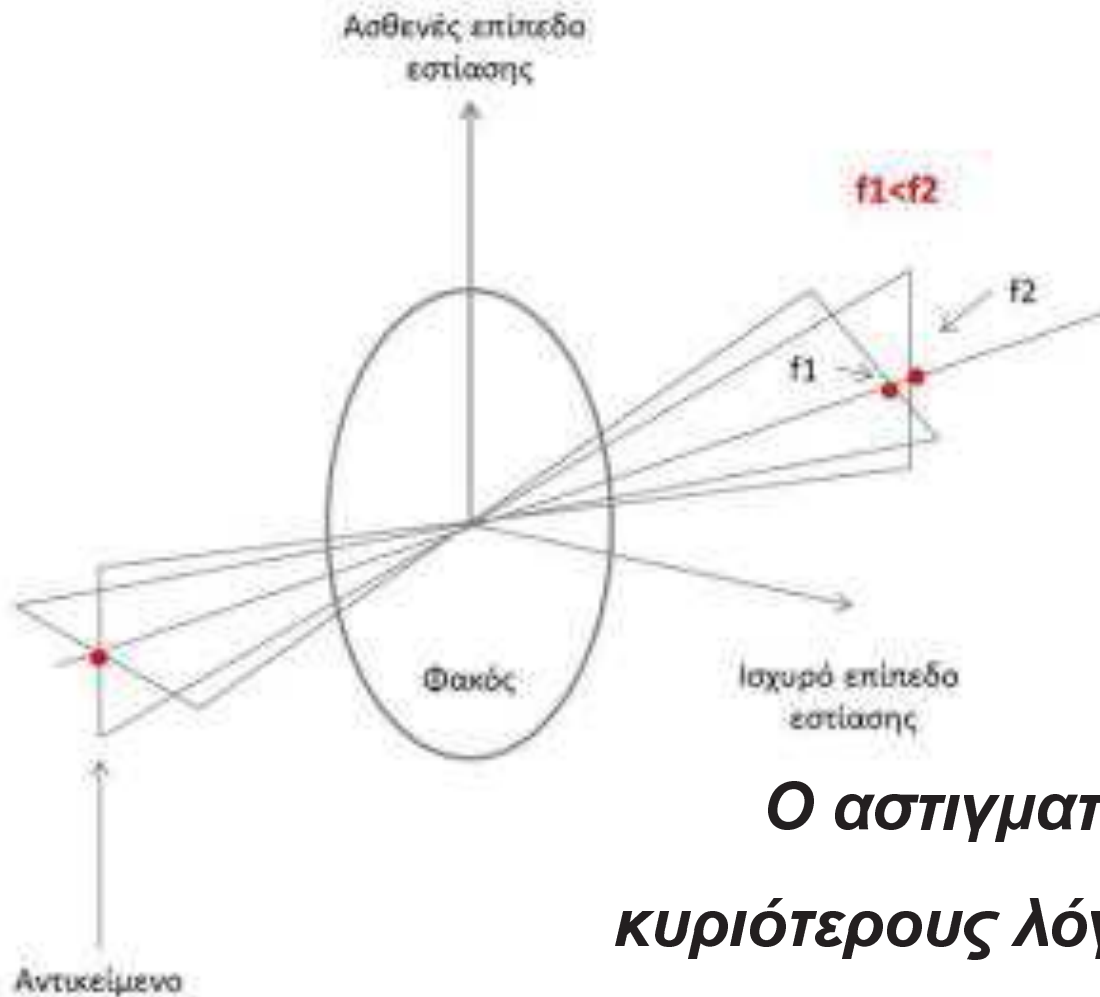
## Αστιγματισμός





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Αστιγματισμός



**Ο αστιγματισμός είναι από τους κυριότερους λόγους του περιορισμού της διακριτικής ικανότητας των μαγνητικών φακών**



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

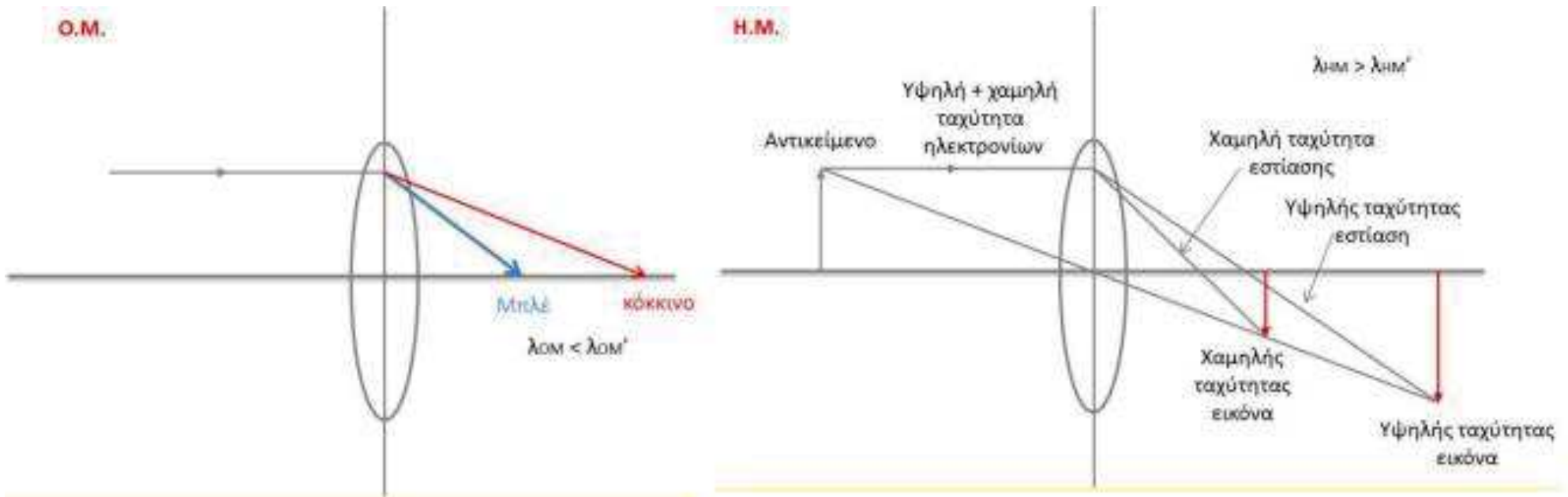
## Χρωματική Εκτροπή





# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Χρωματική Εκτροπή



- Οι μαγνητικοί φακοί επηρεάζονται κατ ανάλογο τρόπο από το φαινόμενο της χρωματικής εκτροπής (μήκος κύματος των ηλεκτρονίων αντιστρόφως ανάλογο της ταχύτητας).

*Σε μικρό μήκος κύματος κάμπτονται λιγότερο από τον φακό σε σύγκριση με αυτά μικρότερης ταχύτητας και επομένως μεγαλύτερου μήκους κύματος τα οποία κάμπτονται περισσότερο*



# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

## Χρωματική Εκτροπή

