

Ενότητα 3 ΟΠΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 6- Φύση και διάδοση του φωτός

Το φως έχει διττή (διπλή) φύση: άλλοτε συμπεριφέρεται ως κύμα και άλλοτε ως ύλη. Για να το αποδείξουμε αυτό, ας σκεφτούμε για αρχή ότι το φως είναι ένα κύμα (και μόνο αυτό). Ως κύμα, το φως μεταφέρει ενέργεια. Σε αντίθεση όμως με τα μηχανικά κύματα που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αυτό διαδίδεται και στο κενό (αυτό το ξέρουμε γιατί αλλιώς η Γη δε θα φωτιζόταν από τον ήλιο!) άρα η ενέργεια δε μπορεί να μεταφέρεται μέσω των μορίων του μέσου, αφού αυτό δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει! Ως μόνη λογική απάντηση συμπεραίνουμε ότι για τη μεταφορά ενέργειας ευθύνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός, και συγκεκριμένα τα λεγόμενα **φωτόνια**. Πάντως, όλα τα φαινόμενα που επιδιώκουμε να εξηγήσουμε μπορούν να ερμηνευτούν μέσω της κυματικής φύσης του φωτός- γι αυτό και θα εστιάσουμε στο εξής σε αυτή.

Όπως κάθε κύμα, το φως έχει μια ταχύτητα διάδοσης που εξαρτάται από το μέσο διάδοσης. Σε αντίθεση, βέβαια, με τα μηχανικά κύματα, το φως διαδίδεται στο κενό. Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό συμβολίζεται με c και είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να υπάρξει στο σύμπαν! Η τιμή της είναι περίπου $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Όπως όλα τα κύματα, έτσι και για το φως είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποια **πηγή**. Ένα σώμα ή συσκευή που εκπέμπει φως, λοιπόν, ονομάζεται **φωτεινή πηγή**. Οι φωτεινές πηγές ονομάζονται και **αυτόφωτα** αντικείμενα (παραδείγματα αυτόφωτων είναι ο ήλιος, οι λάμπες, οι φωτιές...) για να τονιστεί ότι εκπέμπουν τα ίδια φως και δεν φωτίζονται από άλλες πηγές. Τα υπόλοιπα αντικείμενα στον κόσμο ονομάζονται **ετερόφωτα**. Όταν το φως που προέρχεται από ένα αντικείμενο φτάνει στα μάτια μας, διεγείρει τα οπτικά μας κύτταρα. Ο εγκέφαλός μας επεξεργάζεται κατάλληλα το σήμα και βλέπουμε.

Όπως κάθε κύμα, το φως μεταφέρει **ενέργεια**. Είχαμε δει ότι τα μηχανικά κύματα μεταφέρουν μηχανική (κινητική & δυναμική) ενέργεια. Η ενέργεια που μεταφέρει το φως ονομάζεται **φωτεινή ενέργεια**. Η ενέργεια αυτή μπορεί να προκαλέσει θέρμανση, κίνηση, χημικές αντιδράσεις, ακόμα και ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι φωτεινές πηγές μετατρέπουν μία μορφή ενέργειας (συνήθως θερμική) σε φωτεινή. Οι πηγές που φωτίζουν χάρη στην υψηλή θερμοκρασία τους ονομάζονται **θερμές** φωτεινές πηγές. Οι **ψυχρές** φωτεινές πηγές φωτίζουν ακόμα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (ένα παράδειγμα είναι η τηλεόραση!).

Για να εξηγήσουμε πώς διαδίδεται το φως, απαιτείται ένας ορισμός: ονομάζουμε **ομογενές** υλικό μέσο ένα υλικό που έχει σε όλη του την έκταση τις ίδιες ιδιότητες (πυκνότητα, θερμοκρασία...). Πολύ απλές παρατηρήσεις μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το φως διαδίδεται **ευθύγραμμα** σε κάθε **ομογενές υλικό**. Μάλιστα, αφού το κενό έχει προφανώς παντού τις ίδιες ιδιότητες (μπορούμε δηλαδή

να το πούμε, καταχρηστικά, ομογενές “μέσο”), το φως διαδίδεται και εκεί ευθύγραμμα.

Τα διάφορα υλικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ευκολία διάδοσης του φωτός μέσω αυτών:

- **Διαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα στα οποία το φως διαδίδεται, και άρα μπορούμε να δούμε. Π.χ. γυαλί.
- **Αδιαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα στα οποία το φως δε διαδίδεται, και άρα δε μπορούμε να δούμε. Π.χ. Ξύλο.
- **Ημιδιαφανή** ονομάζονται τα υλικά μέσα από τα οποία μπορούμε να δούμε, αλλά όχι καθαρά (το φως δηλαδή διαδίδεται, αλλά εν μέρει). Π.χ. Αλατόνερο.

Η **σκιά** που όλοι γνωρίζουμε από την εμπειρία μας σχηματίζεται όταν μία φωτεινή πηγή φωτίσει ένα **αδιαφανές σώμα**. Συγκεκριμένα, η σκιά σχηματίζεται **στις περιοχές εκείνες** που θα φωτίζονταν, εάν στην **ευθύγραμμη** πορεία του φωτός **δεν παρεμβαλόταν** το αδιαφανές σώμα.

Για να εξετάσουμε λίγο ακόμα τις σκιές, θα δώσουμε έναν ακόμα ορισμό: μία φωτεινή πηγή λέγεται **σημειακή** αν τα φωτεινά αποτελέσματά της είναι πρακτικά σαν να προέρχεται όλο το φως από ένα και μόνο σημείο. Καλό παράδειγμα σημειακής φωτεινής πηγής είναι το **κερί**, όταν το κοιτάζει κανείς από μακριά. Όταν βλέπουμε τις σκιές που δημιουργεί μία φωτεινή πηγή τόσο κοντά της, ώστε να **μην** είναι πλέον δυνατό να θεωρηθεί σημειακή, τότε εκτός από τη συνήθη σκιά βλέπουμε και μία **παρασκιά**. Συνήθως μπορούμε να δούμε παρασκιές ακόμα και με το φως του δωματίου μας.

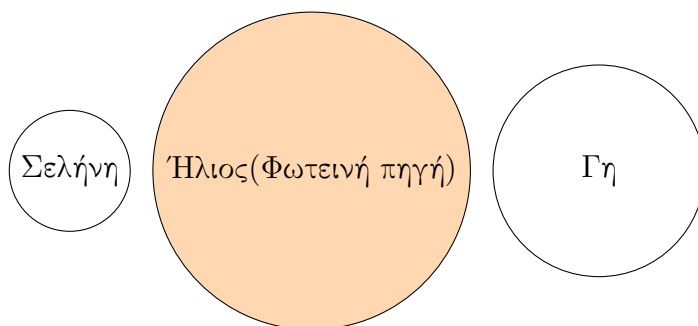
Οι φάσεις της Σελήνης επίσης εξηγούνται με βάση τις σκιές: καθώς η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη, ο ήλιος φωτίζει διαρκώς τη μισή επιφάνειά της (κατά σύμπτωση, οι ταχύτητες περιφοράς είναι τέτοιες που φωτίζεται διαρκώς το ίδιο μισό). Οι φάσεις της Σελήνης εξαρτώνται από τη θέση της σε σχέση με τη Γη, ενώ μία πλήρης περίοδος του φαινομένου αυτού είναι όσο και η περίοδος της περιφοράς της Σελήνης γύρω από τη Γη, περίπου 29,5 μέρες.

Η **απόσταση** που διανύει το φως ταξιδεύοντας στο κενό για ένα έτος ονομάζεται **έτος φωτός**.

Ασκήσεις

1. Με βάση όσα είπαμε για τις σκιές, δοκιμάστε να εξηγήσετε τα φαινόμενα των **εκλείψεων**. Σκεφτείτε πώς θα έπρεπε να “διαταχθούν” τα ουράνια σώματα της εικόνας για να βλέπει κάποιος στη Γη:

- α) Έκλειψη ηλίου
- β) Έκλειψη σελήνης



1. α) Τι θα βλέπαμε αν βρισκόμασταν σε ένα δωμάτιο χωρίς καθόλου παράθυρα ή άλλες φωτεινές πηγές;
β) Αν στερεώσουμε μία πολύ μικρή λάμπα που φωτοβολεί έντονα λίγα μέτρα μακριά και βάλουμε ένα αντικείμενο ανάμεσα σε αυτή και τον τοίχο, τι θα παρατηρήσουμε να σχηματίζεται στον τοίχο; Πώς θα αλλάξει αν πλησιάσουμε πολύ τη λάμπα;
2. Προτείνετε ένα πείραμα με το οποίο μπορούμε να εξετάσουμε αν ένα υλικό είναι διαφανές, ημιδιαφανές ή αδιαφανές.
3. Είναι σωστή η έκφραση “συνέβη πριν από ένα έτος φωτός”;

Κεφάλαιο 7- Ανάκλαση του φωτός

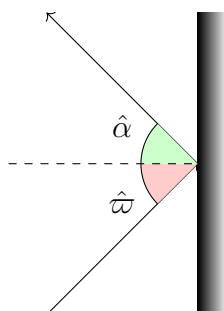
Λέμε ότι το φως **ανακλάται** όταν συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος και αλλάξει **διεύθυνση διάδοσης**, παραμένοντας στο ίδιο **διαφανές υλικό**.

Όταν μία λεπτή δέσμη φωτός ανακλαστεί από μία επιφάνεια, όπως ένας καθρέφτης, ακολουθεί μετά την ανάκλαση μία εντελώς καθορισμένη διεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **κατοπτρική ανάκλαση**. Πειραματικά μπορούμε να ελέγξουμε ότι η κατοπτρική ανάκλαση επιτυγχάνεται όταν η επιφάνεια είναι **λεία**. Παραδείγματα λείας επιφάνειας αποτελούν πολλά μέταλλα, όπως ο άργυρος (ασήμι) και ο χαλκός.

Οι νόμοι που εξηγούν τι συμβαίνει σε μία ανακλώμενη ακτίνα φωτός ονομάζονται **νόμοι της κατοπτρικής ανάκλασης** και είναι οι ακόλουθοι:

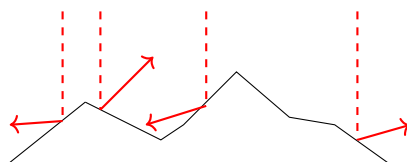
1. Η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη ευθεία επάνω στον καθρέφτη (στο σημείο πρόσπτωσης) βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
2. Η γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\omega}$) είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης ($\hat{\alpha}$).

Ειδικά ο δεύτερος νόμος αξίζει να μελετηθεί και σχηματικά, επειδή εύκολα θα σκεφτόταν κανείς ότι οι γωνίες αυτές μετρώνται μεταξύ της ακτίνας και της επιφάνειας. Κάτι τέτοιο είναι λάθος, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα: οι γωνίες $\hat{\omega}$ και $\hat{\alpha}$ είναι οι γωνίες ανάμεσα στη φωτεινή ακτίνα και την **κάθετο** στην επιφάνεια.



Είπαμε ότι, όταν μία δέσμη φωτός ανακλαστεί σε μία λεία επιφάνεια, έχουμε *κατοπτρική ανάκλαση*. Τι συμβαίνει άραγε σε μία **τραχιά** επιφάνεια;

Θα βοηθήσει να εξετάσουμε το παρακάτω σχήμα. Η τραχιά επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί πως αποτελείται από πάρα πολλές μικρές, λείες επιφάνειες. Το φως θα ανακλαστεί σε κάθε μία από αυτές σύμφωνα με τους νόμους της κατοπτρικής ανάκλασης. Επειδή όμως οι επιφάνειες έχουν τυχαίους προσανατολισμούς (αυτό, άλλωστε, κάνει “τραχιά” την επιφάνεια) το φως θα ανακλαστεί σε επίσης τυχαίες διευθύνσεις.

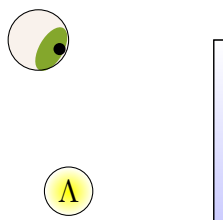


Πρακτικά το οπτικό αποτέλεσμα που έχουμε είναι αυτό του παρακάτω σχήματος:

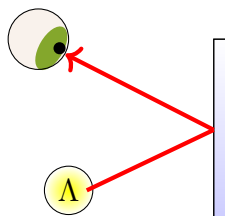


Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διάχυση**.

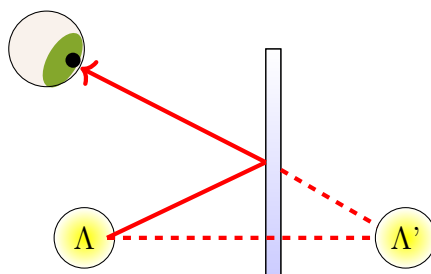
Όταν τοποθετήσουμε ένα αντικείμενο μπροστά από έναν καθρέφτη, βλέπουμε την εικόνα του να σχηματίζεται σε αυτόν. Αυτή η εικόνα ονομάζεται **είδωλο**. Είναι σημαντικό να ξέρουμε να βρίσκουμε τη θέση και το μέγεθος των ειδώλων, και αυτό θα μάθουμε να κάνουμε ξεκινώντας από το επόμενο σχήμα:



Η πηγή φωτός είναι μία λάμπα, Λ (θα μπορούσε να είναι και ετερόφωτο αντικείμενο, που φωτίζεται από άλλη πηγή). Προφανώς ακτινοβολεί προς κάθε κατεύθυνση, όμως εμάς μας ενδιαφέρει η ακτίνα που φθάνει στα μάτια μας μέσω του καθρέφτη.



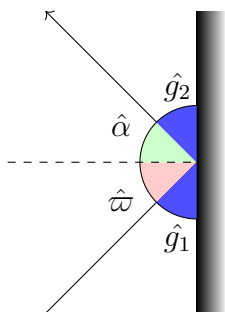
Ο εγκέφαλός μας, καθώς επεξεργάζεται ένα φωτεινό σήμα, δε γνωρίζει από που προήλθε αυτό- μόνο υπό ποια γωνία φτάνει στα μάτια μας. Καθώς είμαστε συνηθισμένοι στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, “υποθέτει” ότι αυτό προήλθε από κάποια πηγή που βρίσκεται στην προέκταση της ευθείας της εισερχόμενης ακτίνας.



Έτσι βλέπουμε το **είδωλο** (Λ') στην “άλλη πλευρά” του καθρέφτη- εκεί που, φυσικά δεν υπάρχει στην πραγματικότητα τίποτα. Για το λόγο αυτό, τα είδωλα αυτά λέγονται **φανταστικά**. Οι επίπεδοι καθρέφτες δημιουργούν μόνο φανταστικά είδωλα.

Ασκήσεις

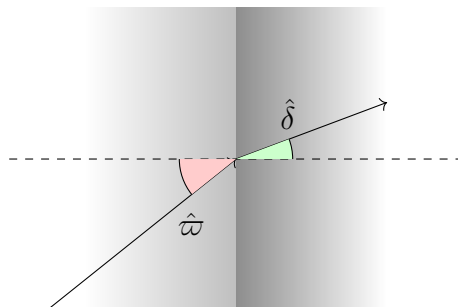
- α) Δείξτε, με βάση τις γνώσεις σας για την ανάκλαση του φωτός, ότι οι γωνίες $\hat{g}_1$ και $\hat{g}_2$ του σχήματος είναι ίσες.
β) Αν $\hat{g}_1 = 45^\circ$, να βρεθεί η γωνία ανάκλασης $\hat{\alpha}$.



Κεφάλαιο 8- Διάθλαση του φωτός

Η ταχύτητα του φωτός (που γίνεται, να θυμίσουμε, μέγιστη και ίση με $3 \cdot 10^8 m/s$ στο κενό) διαφέρει από υλικό σε υλικό- είναι, για παράδειγμα, μικρότερη στο νερό από ότι στον αέρα. Τα υλικά στα οποία το φως ταξιδεύει με μικρότερη ταχύτητα τα ονομάζουμε **οπτικά πυκνότερα** σε σχέση με αυτά στα οποία ταξιδεύει με μεγαλύτερη ταχύτητα (τα οποία λέγονται **οπτικά αραιότερα**). Όταν το φως περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, η διεύθυνση διάδοσής του αλλάζει. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διάθλαση**.

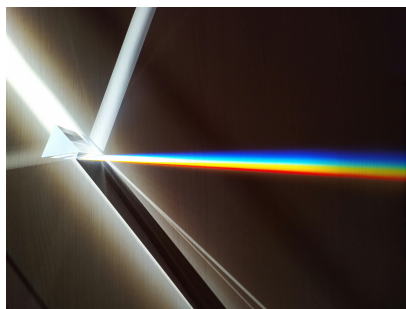
Όπως κάναμε και στη μελέτη της ανάκλασης, θα ονομάσουμε τη γωνία υπό την οποία το φως προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών **γωνία πρόσπτωσης** ($\hat{\omega}$) και τη γωνία υπό την οποία αυτό ταξιδεύει στο νέο μέσο (μετά τη διάθλαση) **γωνία διάθλασης** ($\hat{\delta}$). Οι γωνίες αυτές φαίνονται και στο Σχήμα 1:



Σχήμα 1

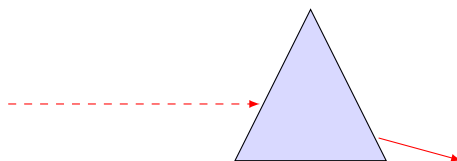
Όταν το φως περνά από ένα οπτικά αραιότερο σε ένα οπτικά πυκνότερο μέσο, η γωνία διάθλασης ($\hat{\delta}$) είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\omega}$). Όταν, αντίθετα, περνά από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσο, η γωνία διάθλασης $\hat{\delta}$ είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης $\hat{\omega}$. Στην ειδική περίπτωση που η γωνία πρόσπτωσης είναι 0, δηλαδή το φως προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών, η γωνία διάθλασης είναι επίσης 0.

Ένα διαφανές αντικείμενο με επίπεδες πλευρές λέγεται πρίσμα. Όταν το λευκό φως προσπέσει σε ένα γυάλινο πρίσμα λέμε ότι **αναλύεται** στο **χρωματικό** φάσμα του. Βλέπουμε δηλαδή όλα τα χρώματα που συνθέτουν το λευκό φως να σχηματίζουν μία “εγχρωμη ταινία”.



Η ακόλουθη πρόταση, αν και εκτός της ύλης, μπορεί σχετικά εύκολα να γίνει κατανοητή και θα μας βοηθήσει σημαντικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Όταν μία φωτεινή ακτίνα που διαδίδεται **παράλληλα** προς τη βάση ενός πρίσματος προσπέσει σε αυτό, θα εξέλθει με κατεύθυνση **προς τη βάση** του πρίσματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



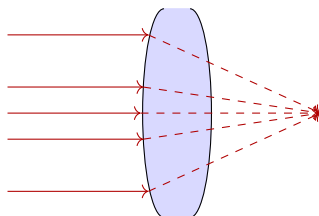
Ασκήσεις

1. Το μέσο στο δεξί μέρος του Σχήματος 1 είναι οπτικά πυκνότερο ή οπτικά αραιότερο από το μέσο στο αριστερό μέρος;

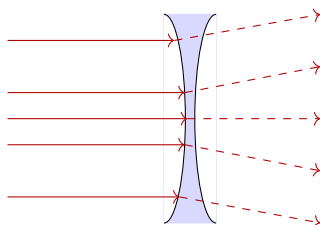
Κεφάλαιο 9- Φακοί και οπτικά όργανα

Όλοι μας έχουμε κάποτε δει ή χρησιμοποιήσει έναν μεγεθυντικό **φακό**. Οι φακοί είναι όργανα που χρησιμοποιούν το φαινόμενο της **διάθλασης** (που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο) για να **κάμψουν** τις φωτεινές δέσμες που διέρχονται από αυτούς. Υπάρχουν δύο κύρια είδη φακών:

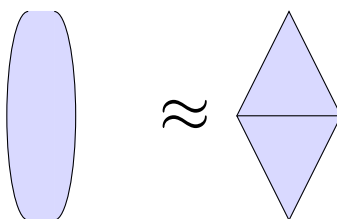
- Οι **κυρτοί** φακοί είναι παχύτεροι στο μέσον και λεπτότεροι στο άκρο. Μετατρέπουν μία δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε συγκλίνουσα, γι' αυτό και ονομάζονται **συγκλίνοντες** φακοί. Τη λειτουργία ενός κυρτού φακού μπορούμε να δούμε στο παρακάτω σχήμα:



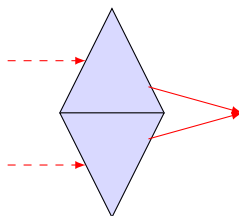
- Οι **κοίλοι** φακοί είναι λεπτότεροι στο μέσον και παχύτεροι στο άκρο. Μετατρέπουν μία δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε αποκλίνουσα, γι' αυτό και ονομάζονται **αποκλίνοντες φακοί**. Τη λειτουργία ενός κοίλου φακού μπορούμε να δούμε στο παρακάτω σχήμα:



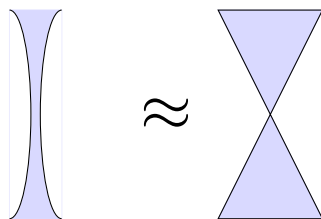
Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις γνώσεις μας από το προηγούμενο κεφάλαιο για να εξηγήσουμε τη λειτουργία των φακών: ας φανταστούμε το συγκλίνοντα φακό ως δύο τριγωνικά πρίσματα τοποθετημένα όπως στην εικόνα:



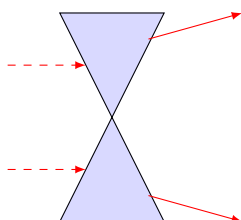
Προφανώς αυτή είναι μόνο μία προσέγγιση, αλλά μπορεί να μας δώσει μία εικόνα ως προς το γιατί οι φωτεινές ακτίνες κάμπτονται με αυτόν τον τρόπο. Για να αποφύγουμε τα υπερβολικά μεγάλα σφάλματα, θα εξετάσουμε δύο δέσμες που δεν είναι ούτε πολύ κοντά στο άκρο ούτε στο μέσο του “φακού”. Καθώς το φως περνά από τον αέρα στο υλικό από το οποίο αποτελείται ο φακός (π.χ. γυαλί) το οποίο είναι φυσικά οπτικά πυκνότερο από τον αέρα, η ακτίνα διαθλάται με τη γωνία διάθλασης δ να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης $\hat{\omega}$. Το ίδιο ισχύει και για τις φωτεινές ακτίνες στο συμμετρικό, ως προς το μέσον, σημείο του φακού. Οι ακτίνες λοιπόν κατευθύνονται προς τις βάσεις των νοητών πρισμάτων, όπως είπαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι αιτιολογείται η σύγκλιση. Ας το δούμε και σχηματικά:



Για τον αποκλίνοντα φακό, ας επιστρατεύσουμε την ίδια λογική προσεγγίζοντάς τον με δύο πρίσματα τοποθετημένα ως εξής:



Και πάλι λόγω της διάθλασης οι ακτίνες φωτός θα παρεκκλίνουν της πορείας τους. Αυτή τη φορά όμως, η διάταξη των (νοητών) πρισμάτων είναι τέτοια που τις οδηγεί σε απόκλιση όπως φαίνεται και από το σχήμα.



Πίνακας δυνάμεων του 10

10^{-12}	πίκο (p)
10^{-9}	νάνο (n)
10^{-6}	μίκρο (μ)
10^{-3}	μίλι (m)
10^3	χίλο (k)
10^6	μέγκα (M)
10^9	γκίγκα (G)
10^{12}	τέρα (T)