

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 35

ΣΥΜΒΟΛΗ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΑΙ ΣΥΜΦΩΝΕΣ ΠΗΓΕΣ

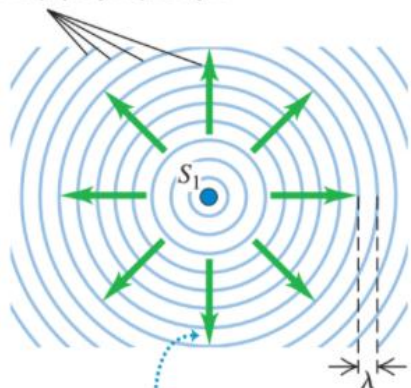
Ο όρος **συμβολή** αναφέρεται σε κάθε περίπτωση στην οποία δύο ή περισσότερα κύματα αλληλεπικαλύπτονται στον χώρο. Όταν συμβαίνει αυτό, το συνολικό κύμα σε κάθε σημείο και ανά πάσα στιγμή καθορίζεται από την **αρχή της επαλληλίας**, την οποία έχουμε εισαγάγει στο πλαίσιο των κυμάτων σε μία χορδή.

Όταν δύο ή περισσότερα κύματα αλληλεπικαλύπτονται, η προκύπτουσα μετατόπιση, σε οποιοδήποτε σημείο και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, μπορεί να βρεθεί αν προστεθούν οι στιγμιαίες μετατοπίσεις που θα παράγονταν στο σημείο αυτό από τα ξεχωριστά κύματα αν το καθένα από αυτά υφίστατο από μόνο του.

Χρησιμοποιούμε τον όρο «μετατόπιση» με τη γενική έννοια. Αν πρόκειται για κύματα στην επιφάνεια ενός υγρού, εννοούμε την πραγματική μετατόπιση της επιφάνειας πάνω ή κάτω από το κανονικό επίπεδό της. Για ηχητικά κύματα, ο όρος αναφέρεται στην υπερπίεση ή στην υποπίεση. Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, εννοούμε συνήθως μια ορισμένη συνιστώσα του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου.

35.1 Ένα «στιγμιότυπο» ημιτονοειδών κυμάτων συχνότητας f και μήκους κύματος λ που απομακρύνονται από την πηγή S_1 προς όλες τις διευθύνσεις.

Μέτωπα κύματος: κορυφές του κύματος (συχνότητα f) που διαχωρίζονται από ένα μήκος κύματος λ



Τα μέτωπα κύματος απομακρύνονται από την πηγή S_1 με την κυματική ταχύτητα $v = f\lambda$.

Τα φαινόμενα συμβολής γίνονται πιο εύκολα αντιληπτά όταν συνδυάζουμε ημιτονοειδή κύματα με μία μόνο συχνότητα f και μήκος κύματος λ .

Στην Οπτική τα ημιτονοειδή κύματα είναι χαρακτηριστικά του **μονοχρωματικού φωτός** (φως ενός μόνο χρώματος). Ενώ είναι σχετικά εύκολο να κάνουμε υδάτινα ή ηχητικά κύματα μίας μόνο συχνότητας, οι κοινές πηγές φωτός δεν εκπέμπουν μονοχρωματικό (μίας μόνο συχνότητας) φως.

Τα φωτεινά κύματα μπορούν (και το κάνουν) να διαδίδονται σε δύο ή σε τρεις διαστάσεις, όπως μπορεί κάθε είδος κύματος που διαδίδεται σε ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο μέσο.

Ενισχυτική και Καταστρεπτική Συμβολή

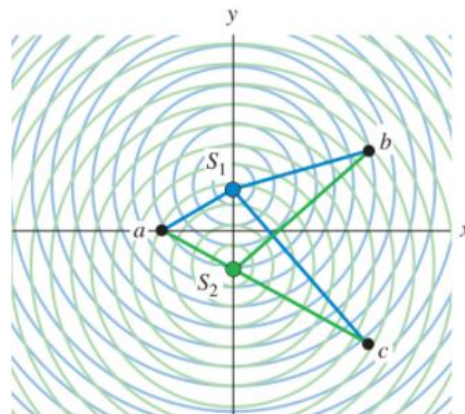
Δύο μονοχρωματικές πηγές της ίδιας συχνότητας και με οποιαδήποτε σταθερή σχέση φάσεων (όχι απαραίτητα σε φάση) λέγονται ότι είναι **σύμφωνες**. Χρησιμοποιούμε επίσης τον όρο **σύμφωνα κύματα** (ή για φωτεινά κύματα, σύμφωνο φως) όταν αναφερόμαστε σε κύματα που εκπέμπονται από δύο τέτοιες πηγές.

Εάν τα κύματα που εκπέμπονται από τις δύο σύμφωνες πηγές είναι **εγκάρσια**, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τότε θα υποθέσουμε επίσης ότι οι κυματικές διαταραχές που παράγονται και από τις δύο πηγές έχουν την ίδια **πόλωση** (δηλαδή βρίσκονται κατά μήκος της ίδιας γραμμής).

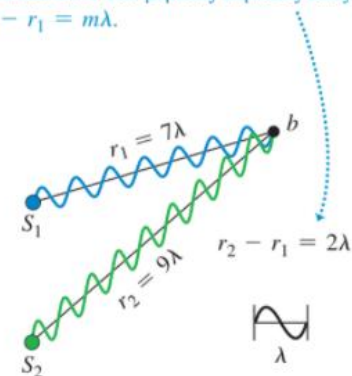
Τότε χρειαζόμαστε μόνο μια απλή βαθμωτή συνάρτηση για να περιγράψουμε το κάθε κύμα· αυτό κάνει την ανάλυση πολύ ευκολότερη.

35.2 (a) Ένα «στιγμιότυπο» ημιτονοειδών κυμάτων που εξαπλώνονται από δύο σύμφωνες πηγές S_1 και S_2 . Ενισχυτική συμβολή συμβαίνει στο σημείο a (που ισαπέχει από τις δύο πηγές) και (b) στο σημείο b . (c) Καταστρεπτική (αναιρετική) συμβολή συμβαίνει στο σημείο c .

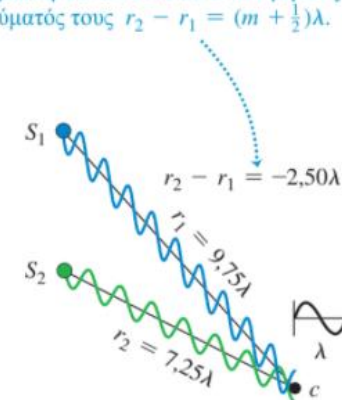
(a) Δύο σύμφωνες πηγές κυμάτων που απέχουν απόσταση μεταξύ τους 4λ



(b) Συνθήκες για ενισχυτική συμβολή:
Τα κύματα συμβάλλουν ενισχυτικά όταν η διαφορά των δρόμων τους είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματός τους:
 $r_2 - r_1 = m\lambda$.



(c) Συνθήκες για καταστρεπτική συμβολή:
Τα κύματα συμβάλλουν καταστρεπτικά όταν η διαφορά των δρόμων τους είναι ημιακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματός τους $r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda$.



Ενισχυτική και Καταστρεπτική Συμβολή

Γενικά, όταν κύματα από δύο ή περισσότερες πηγές φθάνουν σε ένα σημείο σε *φάση*, τότε αλληλενισχύονται: Το πλάτος του προκύπτοντος κύματος είναι το *άθροισμα των πλατών* των επιμέρους κυμάτων. Αυτό ονομάζεται **ενισχυτική (εποικοδομητική) συμβολή** (Σχ. 35.2b). Έστω ότι η απόσταση της S_1 από κάποιο σημείο P είναι r_1 και ότι η απόσταση της S_2 από το P είναι r_2 . Για να συμβεί ενισχυτική συμβολή στο P , η διαφορά δρόμου $r_2 - r_1$ για τις δύο πηγές θα πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος λ :

$$r_2 - r_1 = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \text{ (Ενισχυτική συμβολή, (35.1) πηγές σε φάση)}$$

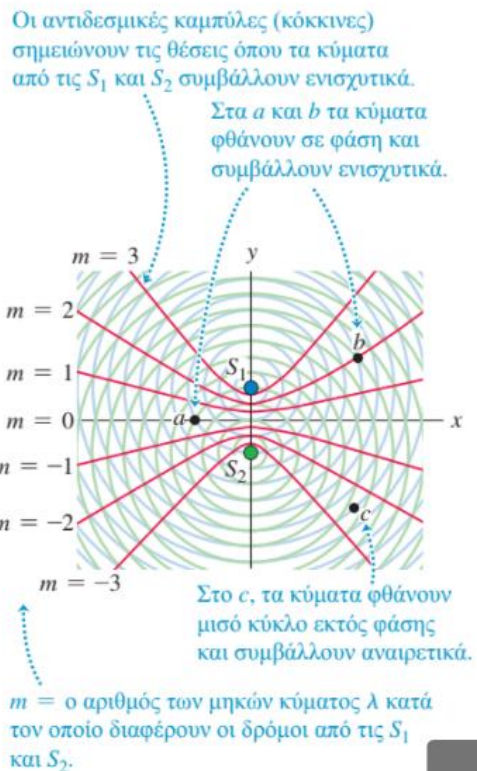
Κάτι διαφορετικό συμβαίνει στο σημείο c στο Σχ. 35.2a. Στο σημείο αυτό η διαφορά δρόμου είναι $r_2 - r_1 = -2,50\lambda$, το οποίο είναι *ημιακέραιος* αριθμός μηκών κύματος. Κύματα από τις δύο πηγές φθάνουν στο σημείο c ακριβώς μισό κύκλο εκτός φάσης. Μία κορυφή του ενός κύματος φθάνει την ίδια χρονική στιγμή με μια αντεστραμμένη κορυφή (μία κοιλάδα) από το άλλο κύμα (Σχ. 35.2c). Το προκύπτον πλάτος είναι η *διαφορά* μεταξύ των δύο επιμέρους πλατών. Εάν τα επιμέρους πλάτη είναι ίσα, τότε το ολικό πλάτος είναι μηδέν!

Αυτή η αναίρεση ή η μερική αναίρεση των επιμέρους κυμάτων ονομάζεται **καταστρεπτική (αναιρετική) συμβολή**.

$$r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \text{ (καταστρεπτική συμβολή, πηγές (35.2) σε φάση)}$$

Αντιδεσμικές καμπύλες

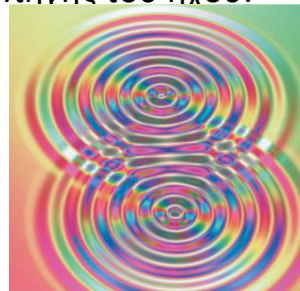
35.3 Το ίδιο με το Σχ. 35.2a, αλλά εδώ υπερτίθενται κόκκινες αντιδεσμικές καμπύλες (καμπύλες μέγιστου πλάτους). Όλα τα σημεία σε κάθε καμπύλη ικανοποιούν την Εξ. (35.1) με την τιμή του m που αναφέρεται. Οι δεσμικές καμπύλες (δεν φαίνονται εδώ) βρίσκονται μεταξύ κάθε παρακείμενου ζεύγους αντιδεσμικών καμπυλών.



ΠΡΟΣΟΧΗ Οι εικόνες συμβολής δεν είναι στάσιμα κύματα Στα στάσιμα κύματα, τα οποία περιγράφηκαν στα Εδ. 15.7, 16.4 και 32.5, η συμβολή είναι μεταξύ δύο κυμάτων που διαδίδονται σε αντίθετες διευθύνσεις· δεν υπάρχει καθόλου συνολική ροή ενέργειας προς τη μία ή την άλλη διεύθυνση (η ενέργεια στο κύμα παραμένει «στάσιμη»). Στις περιπτώσεις των Σχ. 35.2a και 35.3, υπάρχει παρομοίως ένα στάσιμο διαμόρφωμα αντιδεσμικών και δεσμικών καμπυλών, όμως υπάρχει μια ροή ενέργειας από τις δύο πηγές προς τα έξω. Αυτό που κάνει η συμβολή είναι να «διαμορφώνει» τη ροή ενέργειας ώστε να είναι μέγιστη κατά μήκος των αντιδεσμικών καμπυλών και ελάχιστη κατά μήκος των δεσμικών καμπυλών. |

ΒΙΟ Εφαρμογή Διαφορά Φάσης, Διαφορά Δρόμων και Εντοπισμός στην

Ανθρώπινη Ακοή Το ακουστικό σας σύστημα χρησιμοποιεί τις διαφορές φάσης μεταξύ των ήχων που λαμβάνονται από το αριστερό και από το δεξί σας αφτί για τον εντοπισμό – καθορίζοντας την κατεύθυνση από την οποία προέρχονται οι ήχοι. Για ηχητικά κύματα με συχνότητες μικρότερες από περίπου 800 Hz (οι οποίες είναι σημαντικές στην ομιλία και τη μουσική), η απόσταση μεταξύ των αφτιών σας είναι μικρότερη από το μισό μήκος κύματος και η διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων που ανιχνεύονται από κάθε αφτί είναι λιγότερο από μισό κύκλο. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο εγκέφαλός σας μπορεί να ανιχνεύσει αυτήν τη διαφορά φάσης, να προσδιορίσει την αντίστοιχη διαφορά δρόμου και να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να εντοπίσει την κατεύθυνση της πηλής του ήχου.



35.4 Οι έννοιες της ενισχυτικής και της καταστρεπτικής συμβολής εφαρμόζονται σε αυτά τα υδάτινα κύματα, καθώς επίσης και στα φωτεινά ή στα ηχητικά κύματα.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΔΥΟ ΠΗΓΕΣ

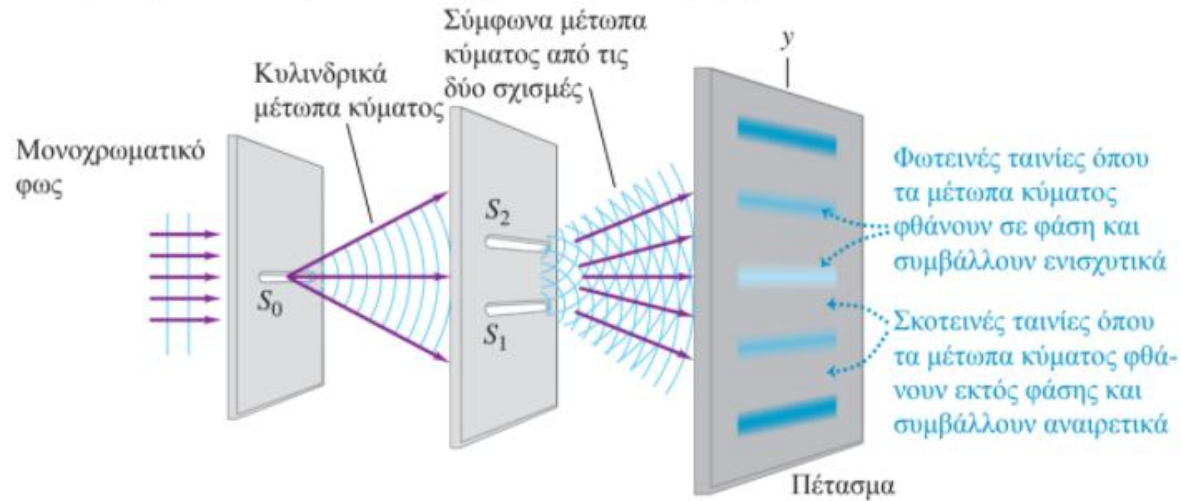
Το Σχ. 35.5α δείχνει ένα από τα πρώτα ποσοτικά πειράματα για την ανάδειξη της συμβολής του φωτός από δύο πηγές, το οποίο πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1800 από τον Άγγλο επιστήμονα Thomas Young (Τόμας Γιανγκ).

(α) Το πείραμα του Young, με το οποίο επιδεικνύεται η συμβολή του φωτός που διέρχεται μέσω δύο σχισμών. Μία εικόνα φωτεινών και σκοτεινών περιοχών εμφανίζεται στο πέτασμα (δείτε Σχ. 35.6).

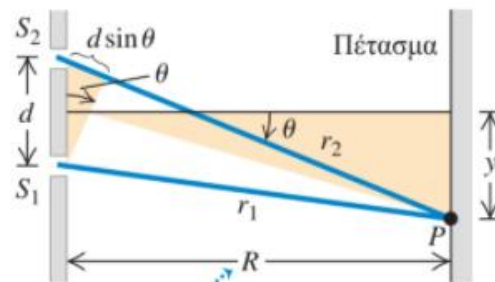
(β) Γεωμετρική ανάλυση του πειράματος του Young. Για την περίπτωση που φαίνεται, $r_2 > r_1$ και αμφότερα τα y και θ είναι θετικά. Εάν το σημείο P είναι στην άλλη πλευρά –ως προς το κέντρο του πετάσματος–, τότε $r_2 < r_1$ και αμφότερα τα y και θ είναι αρνητικά.

(γ) Προσεγγιστική γεωμετρική επίλυση, όταν η απόσταση R ως το πέτασμα είναι πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση d μεταξύ των σχισμών.

(α) Συμβολή φωτεινών κυμάτων που διέρχονται από δύο σχισμές

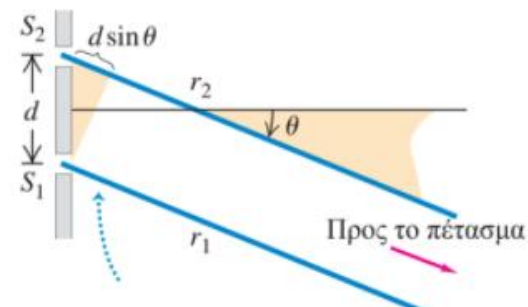


(β) Ακριβής γεωμετρία (όπως φαίνεται από το πλάι)

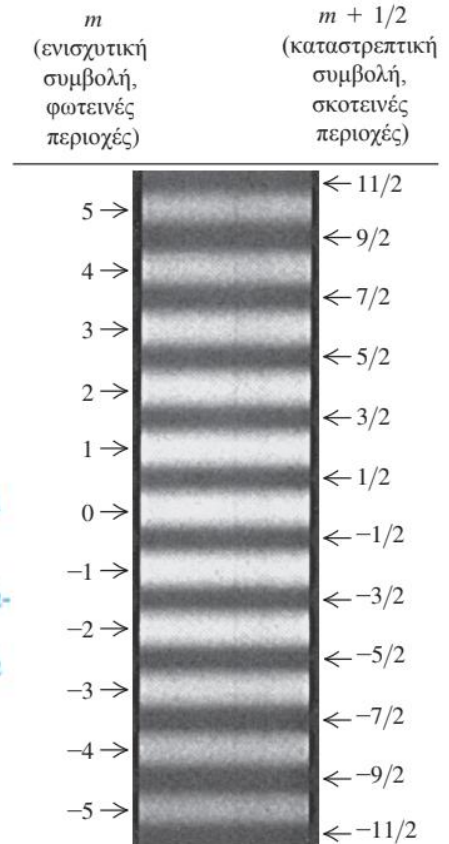


Σε πραγματικές συνθήκες, η απόσταση R ως το πέτασμα είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση d μεταξύ των σχισμών...

(γ) Προσεγγιστική γεωμετρία



... έτσι μπορούμε να διαχειριστούμε τις ακτίνες ως παράλληλες, οπότε η διαφορά δρόμου είναι απλά $r_2 - r_1 = d \sin \theta$.



35.6 Φωτογραφία κροσσών συμβολής που παράγονται σε ένα πέτασμα στο πείραμα των δύο σχισμών του Young.

Ενισχυτική και Καταστρεπτική Συμβολή από Διπλή Σχισμή

Ενισχυτική συμβολή (ενίσχυση) συμβαίνει στα σημεία που η διαφορά δρόμου είναι ένας ακέραιος αριθμός μηκών κύματος, $m\lambda$, όπου $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Παρομοίως, καταστρεπτική συμβολή (αναίρεση) συμβαίνει, σχηματίζοντας σκοτεινές περιοχές στο πέτασμα, στα σημεία για τα οποία η διαφορά δρόμου είναι ημιακέραιος αριθμός μηκών κύματος, $(m + \frac{1}{2})\lambda$:

Ενισχυτική συμβολή, δύο σχισμές:

Απόσταση μεταξύ των σχισμών

Μήκος κύματος

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Γωνία της γραμμής από τις σχισμές ως τον m -οστό φωτεινό κροσσό

Καταστρεπτική συμβολή, δύο σχισμές:

Απόσταση μεταξύ των σχισμών

Μήκος κύματος

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Γωνία της γραμμής από τις σχισμές ως τον m -οστό σκοτεινό κροσσό

Μπορούμε να αποδείξουμε μια έκφραση για τις θέσεις των κέντρων των φωτεινών ταινιών στο πέτασμα.

35.6

Ενισχυτική συμβολή, Πείραμα του Young
(μόνο για μικρές γωνίες):

Θέση της m -οστής φωτεινής ταινίας

Μήκος κύματος

$$y_m = R \frac{m\lambda}{d} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Απόσταση του πετάσματος από τις σχισμές

Απόσταση μεταξύ των σχισμών

Μπορούμε να μετρήσουμε την R και την d , καθώς επίσης και τις θέσεις y_m των φωτεινών κροσσών, συνεπώς αυτό το πείραμα μας παρέχει μια άμεση μέτρηση του μήκους κύματος λ . Το πείραμα του Young ήταν πραγματικά η πρώτη άμεση μέτρηση μηκών κύματος του φωτός.

Τα αποτελέσματα που δίνονται στις Εξ. (35.4) και (35.5) ισχύουν για κάθε τύπο κύματος, με την προϋπόθεση ότι το προκύπτον κύμα από δύο σύμφωνες πηγές ανιχνεύεται σε ένα σημείο που είναι πολύ μακρύτερα από την απόσταση d μεταξύ των πηγών.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΙΚΟΝΕΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ

Κατανομή Πλάτους στη Συμβολή από Διπλή Σχισμή

Για να υπολογίσουμε την ένταση, θα υποθέσουμε, ότι τα κύματα από τις δύο πηγές έχουν ίσα πλάτη E και την ίδια πόλωση.

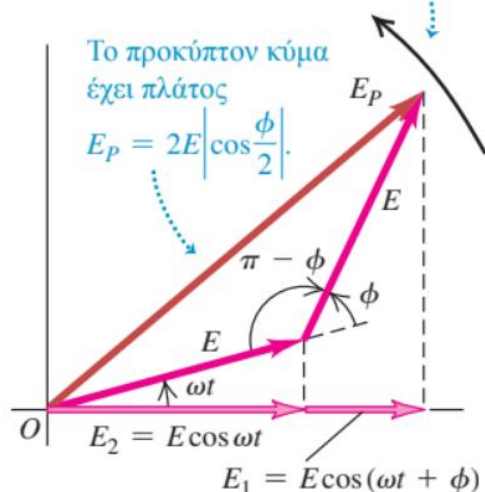
Εάν οι δύο πηγές είναι σε φάση, τότε τα κύματα που φθάνουν στο P διαφέρουν σε φάση κατά μία ποσότητα φ που είναι ανάλογη προς τη διαφορά των δρόμων τους, $(r_2 - r_1)$. Τότε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ακόλουθες εκφράσεις για τα δύο ηλεκτρικά πεδία που υπερτίθενται στο P :

$$E_1(t) = E \cos(\omega t + \phi)$$

$$E_2(t) = E \cos \omega t$$

35.9 Διάγραμμα περιστρεφόμενων διανυσμάτων φάσης (φασόρων) για την υπέρθεση στο σημείο P δύο κυμάτων ίσου πλάτους E με διαφορά φάσης ϕ .

Όλοι οι φασόρες περιστρέφονται αντίθετα προς τους δείκτες του ρολογιού με γωνιακή ταχύτητα ω .



Το πλάτος E_P του προκύπτοντος ημιτονοειδούς κύματος στο P είναι το μέτρο του σκούρου κόκκινου φασόρα στο διάγραμμα (σημειωμένου με E_P): αυτό είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο άλλων φασόρων.

Πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου στη συμβολή από δύο πηγές

$$E_P = 2E \left| \cos \frac{\phi}{2} \right|$$

Πλάτος του κύματος από μία πηγή

Διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων

(35.7)

Όταν τα δύο κύματα είναι σε φάση, $\varphi = 0$ και $E_P = 2E$. Όταν είναι ακριβώς μισό κύκλο εκτός φάσης, $\varphi = \pi \text{ rad} = 180^\circ$, $\cos \varphi/2 = \cos(\pi/2) = 0$ και $E_P = 0$.

Κατανομή Έντασης στη Συμβολή από Διπλή Σχισμή

$$I = S_{\text{av}} = \frac{E_P^2}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_P^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_P^2$$

Ένταση στη συμβολή από δύο πηγές

Μέγιστη ένταση

Διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων

$$I = I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

(35.10)

Η ένταση εξαρτάται από τη διαφορά φάσης ϕ και μεταβάλλεται μεταξύ I_0 και μηδέν. Αν υπολογίσουμε τη μέση τιμή της Εξ. (35.10) για όλες τις δυνατές διαφορές φάσης, το αποτέλεσμα είναι: $I_0/2 = \epsilon_0 c E^2$

Γνωρίζουμε ότι η ϕ είναι ανάλογη προς τη διαφορά των μηκών των δρόμων από τις δύο πηγές ως το σημείο P .

Διαφορά Φάσης και Διαφορά Δρόμου

Διαφορά φάσης στη συμβολή από δύο πηγές

Μήκος κύματος

Απόσταση από την πηγή 2

Απόσταση από την πηγή 1

Διαφορά δρόμου

Κυματαριθμός = $2\pi/\lambda$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = k(r_2 - r_1)$$

(35.11)

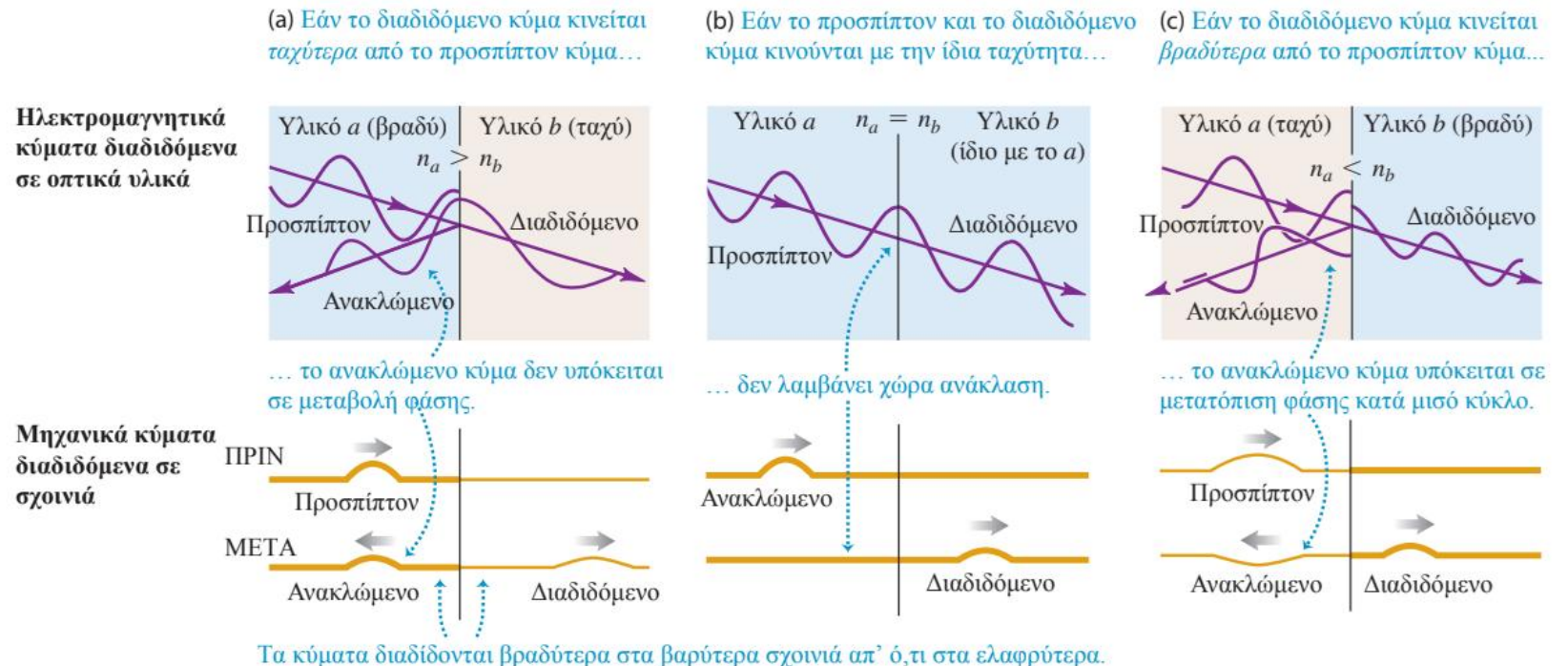
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΕ ΛΕΠΤΑ ΥΜΕΝΙΑ

Υποθέστε ότι ένα φωτεινό κύμα με πλάτος ηλεκτρικού πεδίου E_i διαδίδεται σε ένα οπτικό υλικό με δείκτη διάθλασης n_a . Προσπίπτει, καθέτως, στη διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο οπτικό υλικό με δείκτη διάθλασης n_b . Το πλάτος E_r του κύματος που ανακλάται από τη διεπιφάνεια δίνεται από τη σχέση

$$E_r = \frac{n_a - n_b}{n_a + n_b} E_i \quad (\text{κάθετη πρόσπτωση}) \quad (35.16)$$

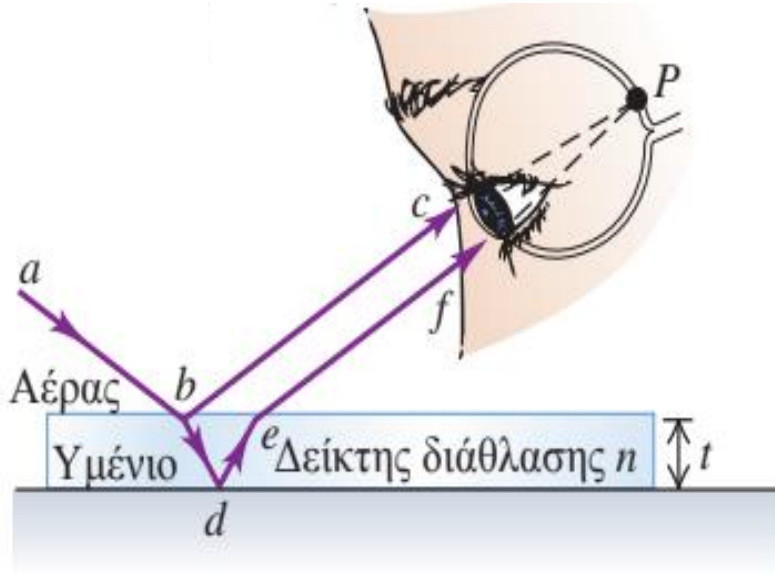
Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι τα πλάτη του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος έχουν το ίδιο πρόσημο όταν το n_a είναι μεγαλύτερο από το n_b και αντίθετα πρόσημο όταν το n_b είναι μεγαλύτερο του n_a . Καθώς τα πλάτη θα πρέπει να είναι είτε θετικά είτε μηδέν, μια αρνητική τιμή σημαίνει ότι το κύμα στην πραγματικότητα υπόκειται σε μια μετατόπιση φάσης μισού κύκλου (180°). Στο Σχ. 35.13 παρουσιάζονται τρεις περιπτώσεις:

35.13 Πάνω σχήματα: Ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προσπίπτουν καθέτως σε μια διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ οπτικών υλικών (η πρόσπτωση φαίνεται να γίνεται υπό μικρή γωνία για να βελτιωθεί η ευκρίνεια του σχήματος). Κάτω σχήματα: Παλμοί μηχανικών κυμάτων σε σχοινιά.



ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΕ ΛΕΠΤΑ ΥΜΕΝΙΑ

35.11α Φως που φωτίζει την πάνω επιφάνεια ενός λεπτού υμενίου πάχους t ανακλάται μερικώς από αυτή (δρόμος abc). Φως που διέρχεται από την πάνω ανακλάται μερικώς στην κάτω επιφάνεια (δρόμος $abdef$). Τα δύο ανακλώμενα κύματα συναντώνται στο P επάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Ανάλογα με τη σχέση των φάσεών τους, μπορεί να συμβάλουν ενισχυτικά ή αναιρετικά. Διαφορετικά χρώματα έχουν διαφορετικά μήκη κύματος, έτσι η συμβολή μπορεί να είναι ενισχυτική για μερικά χρώματα και αναιρετική για άλλα.



Εάν κανένα ή και τα δύο ανακλώμενα κύματα από τις δύο επιφάνειες έχουν μετατόπιση φάσης μισού κύκλου, τότε οι συνθήκες για ενισχυτική και καταστρεπτική συμβολή είναι:

Ενισχυτική ανάκλαση (Από λεπτό υμένιο, μετατόπιση φάσης μισού κύκλου)	$2t = (m + \frac{1}{2})\lambda$	$(m = 0, 1, 2, \dots)$	(35.18a)
Καταστρεπτική ανάκλαση	$2t = m\lambda$	$(m = 0, 1, 2, \dots)$	(35.18b)

Πάχος του υμενίου (between the two equations)
Μήκος κύματος (between the two equations)

Εάν ένα από τα δύο κύματα υπόκειται κατά την ανάκλαση σε μετατόπιση φάσης μισού κύκλου, τότε οι συνθήκες για ενισχυτική και καταστρεπτική συμβολή αντιστρέφονται:

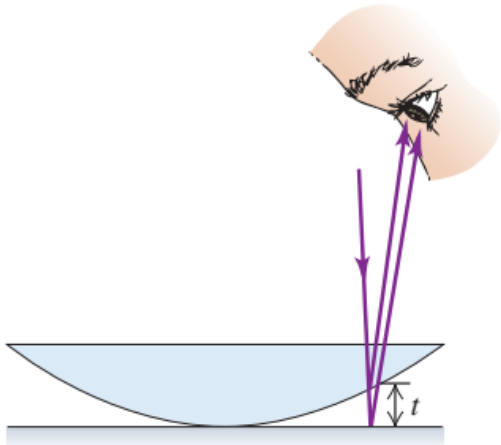
Ενισχυτική ανάκλαση (Από λεπτό υμένιο, χωρίς σχετική μετατόπιση φάσης)	$2t = m\lambda$	$(m = 0, 1, 2, \dots)$	(35.17a)
Καταστρεπτική ανάκλαση	$2t = (m + \frac{1}{2})\lambda$	$(m = 0, 1, 2, \dots)$	(35.17b)

Πάχος του υμενίου (between the two equations)
Μήκος κύματος (between the two equations)

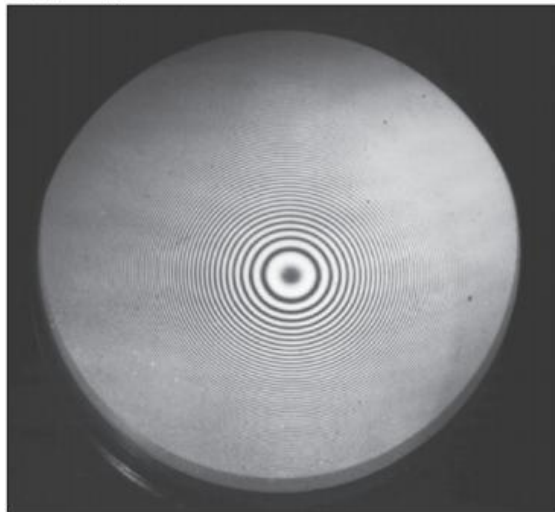
Δακτύλιοι του Νεύτωνα.

35.16 (a) Στρώμα αέρα μεταξύ της κυρτής επιφάνειας ενός επιπεδόκυρτου φακού και μιας επίπεδης επιφάνειας. Το πάχος του υμενίου t αυξάνεται από το μηδέν καθώς κινούμαστε από το κέντρο προς τα έξω, δίνοντας **(b)** μια σειρά εναλλασσόμενων σκοτεινών και φωτεινών κροσσών για μονοχρωματικό φως. Όταν παρατηρείτε τη διάταξη με μονοχρωματικό φως, βλέπετε κυκλικούς κροσσούς συμβολής (Σχ. 35.16b). Αυτοί μελετήθηκαν από τον Νεύτωνα και ονομάζονται **δακτύλιοι του Νεύτωνα**.

(a) Ένας επιπεδόκυρτος φακός σε επαφή με ένα γυάλινο πλακίδιο



(b) Δακτύλιοι του Νεύτωνα: κυκλικοί κροσσοί συμβολής

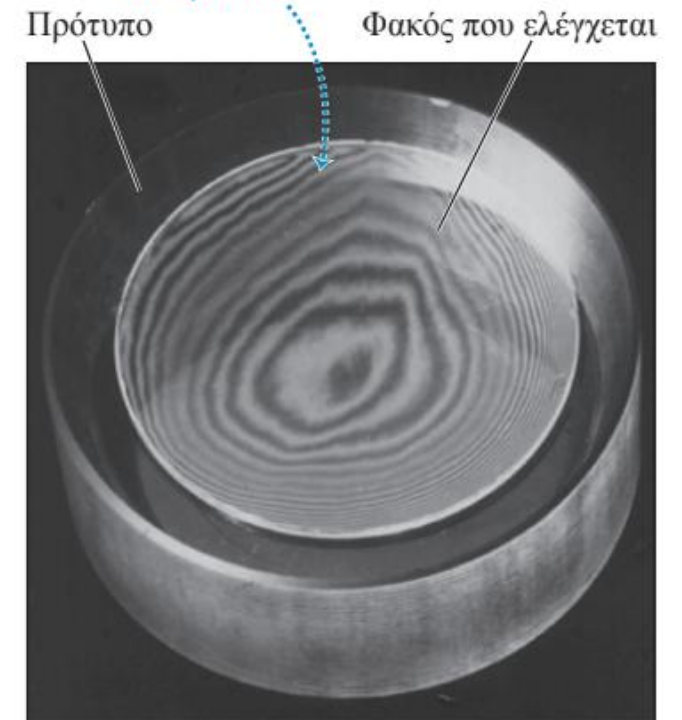


Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους κροσσούς συμβολής για να συγκρίνουμε τις επιφάνειες δύο οπτικών στοιχείων, τοποθετώντας τα σε επαφή και παρατηρώντας τους κροσσούς. Το Σχ. 35.17 είναι μια φωτογραφία που ελήφθη κατά τη λείανση του αντικειμενικού φακού ενός τηλεσκοπίου.

Ο κατώτερος, μεγαλύτερης διαμέτρου, παχύτερος δίσκος είναι το πρότυπο με την ορθή μορφή και ο μικρότερος, άνω δίσκος είναι ο υπό έλεγχο φακός.

35.17 Η επιφάνεια ενός αντικειμενικού φακού τηλεσκοπίου υπό λεπτομερή έλεγχο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του.

Οι κροσσοί χαρτογραφούν την έλλειψη προσαρμογής μεταξύ του φακού και του προτύπου.

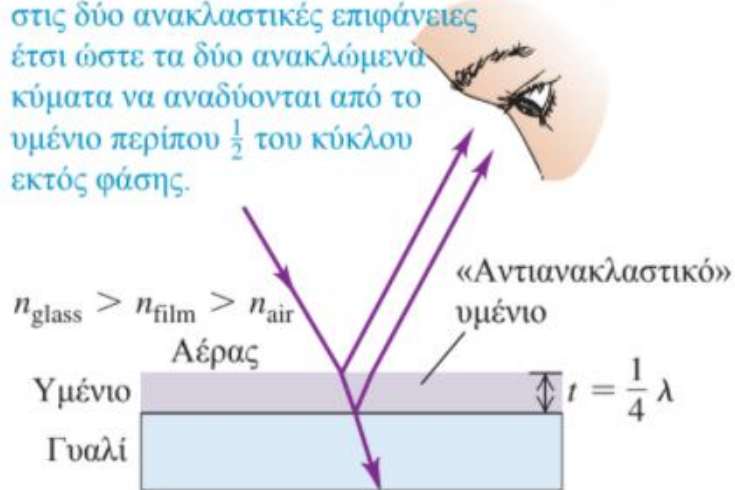


Αντιανακλαστικές και Ανακλαστικές Επιστρώσεις

35.18 Μία μη ανακλαστική (αντιανακλαστική) επίστρωση έχει έναν δείκτη διάθλασης ενδιάμεσο μεταξύ εκείνων του αέρα και του γυαλιού.

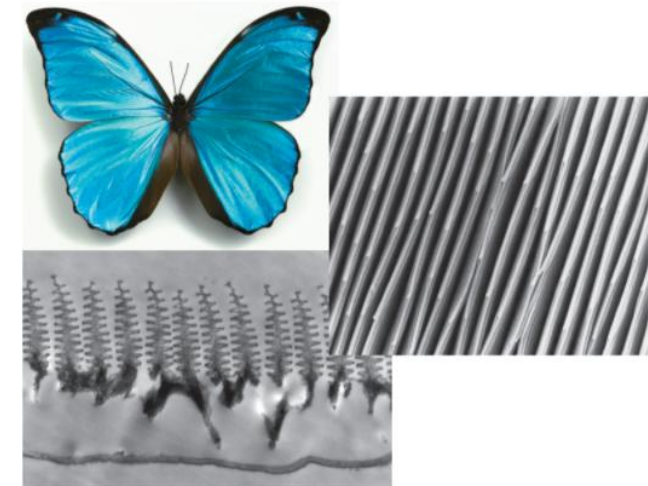
Καταστρεπτική συμβολή λαμβάνει χώρα όταν

- το πάχος του υμενίου είναι περίπου $\frac{1}{4} \lambda$, και
- το φως υπόκειται σε μεταβολή φάσης και στις δύο ανακλαστικές επιφάνειες έτσι ώστε τα δύο ανακλώμενα κύματα να αναδύονται από το υμένιο περίπου $\frac{1}{2}$ του κύκλου εκτός φάσης.



Οι μη ανακλαστικές (αντιανακλαστικές) επιστρώσεις στις επιφάνειες των φακών κάνουν χρήση της συμβολής από λεπτά υμένια. Ένα λεπτό στρώμα ή υμένιο ενός σκληρού διαπερατού υλικού, με δείκτη διάθλασης μικρότερο από τον δείκτη διάθλασης του γυαλιού, εναποτίθεται στην επιφάνεια του φακού, όπως φαίνεται στο Σχ. 35.18. Εάν το πάχος του στρώματος είναι το ένα τέταρτο του μήκους κύματος στο εσωτερικό του (υποθέτοντας κάθετη πρόσπτωση), η ολική διαφορά δρόμου είναι μισό μήκος κύματος. Φως που ανακλάται από την πρώτη επιφάνεια είναι λοιπόν κατά μισό κύκλο εκτός φάσης σε σχέση με το φως που ανακλάται από τη δεύτερη και υπάρχει καταστρεπτική συμβολή. Η συνολική ανάκλαση από μία επιφάνεια φακού ή πρίσματος μπορεί να μειωθεί με αυτόν τον τρόπο από 4-5 % σε λιγότερο από 1 %

Αν ένα υλικό πάχους ενός τετάρτου του μήκους κύματος και δείκτη διάθλασης μεγαλύτερου από εκείνου του γυαλιού εναποτεθεί σε γυαλί, τότε η ανακλαστικότητα αυξάνεται και το εναποτιθέμενο υλικό ονομάζεται **ανακλαστική επίστρωση**. Για παράδειγμα, μια επίστρωση με δείκτη διάθλασης 2,5 προκαλεί την ανάκλαση του 38 % της προσπίπτουσας ενέργειας, ποσοστό που πρέπει να συγκριθεί με το 4 % περίπου αν δεν υπάρχει καθόλου επίστρωση. Με τη χρήση πολλαπλών επιστρώσεων, είναι δυνατόν να επιτύχουμε σχεδόν 100% διέλευση ή ανάκλαση για συγκεκριμένα μήκη κύματος.



BIO Εφαρμογή Συμβολή στα Φτερά της Πεταλούδας Πολλά από τα πιο λαμπερά χρώματα στον ζωικό κόσμο δημιουργούνται από συμβολή και όχι από χρωστικές ουσίες. Αυτές οι φωτογραφίες δείχνουν την πεταλούδα *Morpho rhetenor* και τις μικροσκοπικές κλίμακες που καλύπτουν τις πάνω επιφάνειες των φτερών της. Οι κλίμακες φέρουν μια πληθώρα μικροσκοπικών κορυφογραμμών (μεσαία φωτογραφία)· αυτές φέρουν σχηματισμούς σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (φωτογραφία κάτω) που λειτουργούν ως ανακλαστήρες. Αυτοί είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε οι ανακλάσεις να συμβάλλουν ενισχυτικά για το γαλάζιο φως. Η πολυστρωματική δομή ανακλά το 70 % του γαλάζιου φωτός που προσπίπτει σε αυτήν, δίνοντας στα φτερά μια κατοπτρική λάμψη. (Οι κάτω πλευρές των φτερών δεν έχουν αυτές τις δομές και έχουν χρώμα θαμπό καφέ.)

ΤΟ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΟ MICHELSON

Τα **συμβολόμετρα Michelson** χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις ακριβείας μηκών κύματος και πολύ μικρών αποστάσεων.

Το συμβολόμετρο Michelson λαμβάνει μονοχρωματικό φως από μια μεμονωμένη πηγή και το διαιρεί σε δύο κύματα που ακολουθούν διαφορετικούς δρόμους. Στο πείραμα του Young, αυτό γίνεται στέλνοντας μέρος του φωτός μέσω της μίας σχισμής και μέρος μέσω της άλλης· στο συμβολόμετρο Michelson χρησιμοποιείται ένα στοιχείο που ονομάζεται διαχωριστής δέσμης. Η συμβολή συμβαίνει και στα δύο πειράματα όταν τα δύο φωτεινά κύματα ανασυντίθενται.

Ο σκοπός του αντισταθμιστή D είναι να εξασφαλίσει ότι οι ακτίνες 1 και 2 διέρχονται μέσω ίσων παχών γυαλιού· το πλακίδιο D αποκόπτεται από το ίδιο κομμάτι γυαλιού, όπως και το πλακίδιο C , έτσι τα πάχη τους είναι ακριβώς ίδια με ακρίβεια κλάσματος του μήκους κύματος.

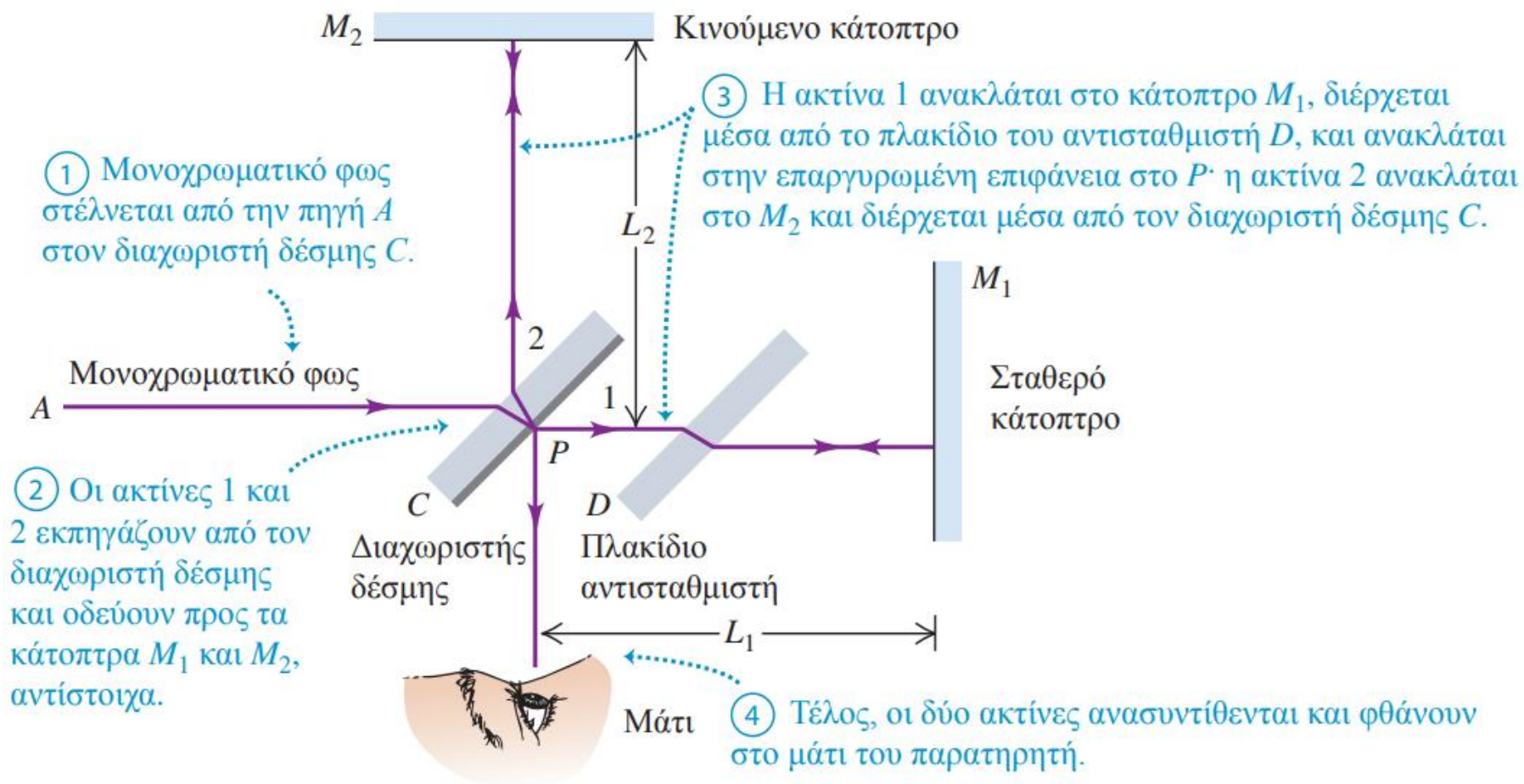
Όλη η διάταξη του Σχ. 35.19 (επόμενη διαφάνεια) τοποθετείται σε ένα πολύ στέρεο υπόβαθρο και η θέση του κατόπτρου M_2 μπορεί να ρυθμίζεται με έναν λεπτό μικρομετρικό κοχλία μεγάλης ακρίβειας.

Πριν από την εδραίωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του φωτός, οι περισσότεροι φυσικοί πίστευαν ότι η διάδοση των φωτεινών κυμάτων λάμβανε χώρα σε ένα μέσο που ονομαζόταν αιθέρας, ο οποίος πιστευόταν ότι διαπερνούσε όλο τον χώρο. Το 1887 οι Αμερικανοί επιστήμονες Albert Michelson (Άλμπερτ Μάικελσον) και Edward Morley (Έντουαρντ Μόρλεϊ) χρησιμοποίησαν το συμβολόμετρο Michelson σε μια προσπάθεια να ανιχνεύσουν την κίνηση της Γης διαμέσου του αιθέρα. Υποθέστε ότι το συμβολόμετρο στο Σχ. 35.19 κινείται από τα αριστερά προς τα δεξιά ως προς τον αιθέρα.

Παρά την περιστροφική της κίνηση γύρω από τον Ήλιο, η Γη εμφανιζόταν να βρίσκεται σε ηρεμία ως προς τον αιθέρα. Ο υποτιθέμενος αιθέρας τελικά δεν παίζει κανέναν ρόλο και η ιδέα του εγκαταλείφθηκε.

ΤΟ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΟ MICHELSON

35.19 Σχεδιάγραμμα του συμβολόμετρου Michelson. Ο παρατηρητής βλέπει μία εικόνα συμβολής που προκύπτει από τη διαφορά δρόμων των ακτίνων 1 και 2.



ΒΙΟ Εφαρμογή Απεικόνιση Κυττάρων
με Ένα Συμβολόμετρο Michelson Αυτή η ψευδοέγχρωμη εικόνα ενός ανθρώπινου καρκινικού κυττάρου του παχέος εντέρου κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας ένα μικροσκόπιο που συνδυάστηκε με ένα συμβολόμετρο Michelson. Το κύτταρο βρίσκεται στον έναν βραχίονα του συμβολόμετρου και το φως που διέρχεται από το κύτταρο υφίσταται μετατόπιση φάσης που εξαρτάται από το πάχος του κυττάρου και τα οργάνίδια μέσα στο κύτταρο. Το πρότυπο των κροσσών μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μιας τρισδιάστατης απεικόνισης του κυττάρου. Οι επιστήμονες έχουν χρησιμοποιήσει αυτήν την τεχνική για να παρατηρήσουν πώς συμπεριφέρονται διαφορετικοί τύποι κυττάρων όταν μελετώνται από μικροσκοπικούς ανιχνευτές. Τα καρκινικά κύτταρα αποδεικνύονται «πιο μαλακά» από τα φυσιολογικά κύτταρα, μια διάκριση που μπορεί να κάνει τα καρκινικά βλαστοκύτταρα πιο εύκολο να ταυτοποιηθούν.

