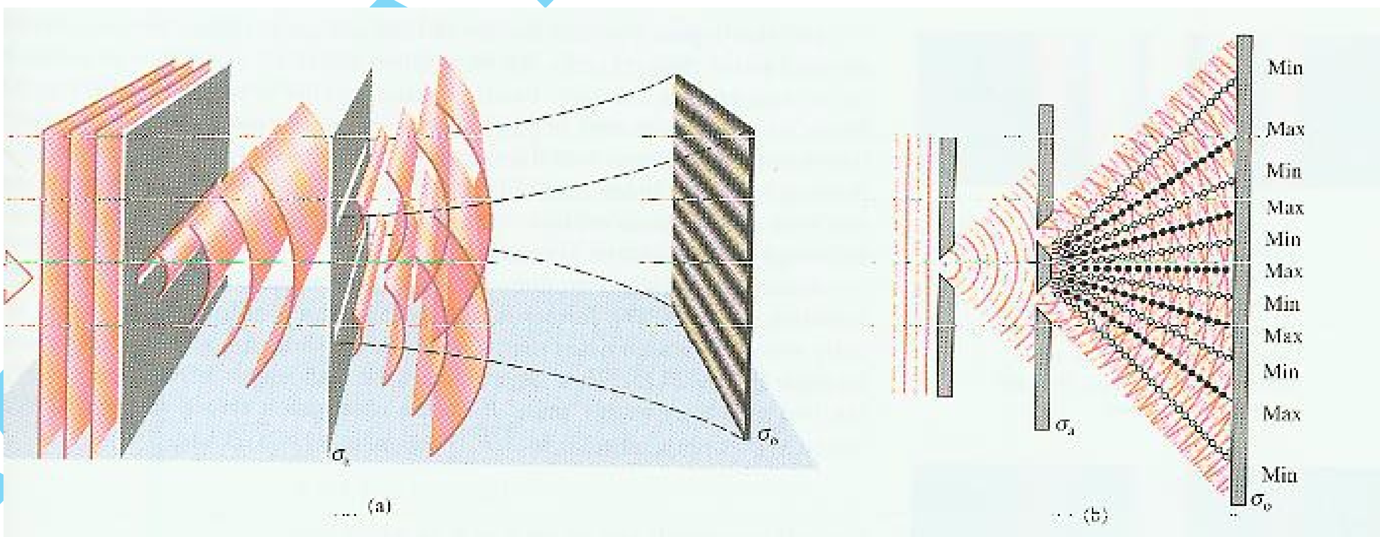
ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

ΣΟΛΩΜΟΥ 29 - ΑΘΗΝΑ ☎ 6932 946778
www.pmoiras.weebly.com

Α. Συμβολή από δυο σύμφωνες πηγές (Πείραμα Young)

Συμβολή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο δυο σύμφωνα κύματα, δηλαδή δυο κύματα της ίδιας συχνότητας και χρονικά σταθερής διαφοράς φάσης, που διαδίδονται κατά την ίδια περίπου διεύθυνση μπορεί να ενωθούν ώστε η ενέργειά τους να μη μοιράζεται ομοιόμορφα στο χώρο, αλλά να παρουσιάζει μέγιστο σε ορισμένα σημεία και ελάχιστο σε άλλα.
Το φαινόμενο της συμβολής βασίζεται στην αρχή της επαλληλίας και έτσι δυο σύμφωνα κύματα του ίδιου μήκους κύματος καθώς συμβάλλουν μπορεί να ενισχύει το ένα το άλλο και να παράγεται ένα κύμα μεγαλύτερου πλάτους **(ενισχυτική συμβολή)** ή να αλληλοαναιρούνται **(αναιρετική συμβολή)**.
Η συμβολή δεν παρατηρείται μόνο στο φως, αλλά είναι χαρακτηριστικό όλων των κυμάτων. Έτσι τα δυο σύμφωνα κύματα μπορεί να δημιουργούνται από δυο αναδευτήρες σε δοχείο με υγρό (μηχανικά κύματα), δυο ηχεία που τροφοδοτούνται από τον ίδιο ενισχυτή (ηχητικά κύματα), δύο κεραίες που τροφοδοτούνται από τον ίδιο πομπό (ραδιοφωνικά κύματα) ή δυο σχισμές σε αδιαφανές πέτασμα που φωτίζονται από την ίδια μονοχρωματική πηγή φωτός (φωτεινά κύματα).
Το πρώτο πείραμα συμβολής φωτός έγινε από τον Thomas Young το 1800, όπου ως δυο σύμφωνες πηγές χρησιμοποίησε τις δυο λεπτές σχισμές ενός πετάσματος στις οποίες προσπίπτει μονοχρωματικό φως.



Η ένταση του συνιστάμενου κύματος σε ένα σημείο του πετάσματος αποδεικνύεται, σύμφωνα με τη σχέση (22.10) του Alonso-Finn, ότι είναι:

$$\boxed{I = I_o \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta\right)} \quad \textbf{(1)}$$

όπου $I_o=4I_1$ είναι η μέγιστη ένταση που εμφανίζεται στο πέτασμα και I_1 η ένταση ακτινοβολίας της κάθε σύμφωνης πηγής.

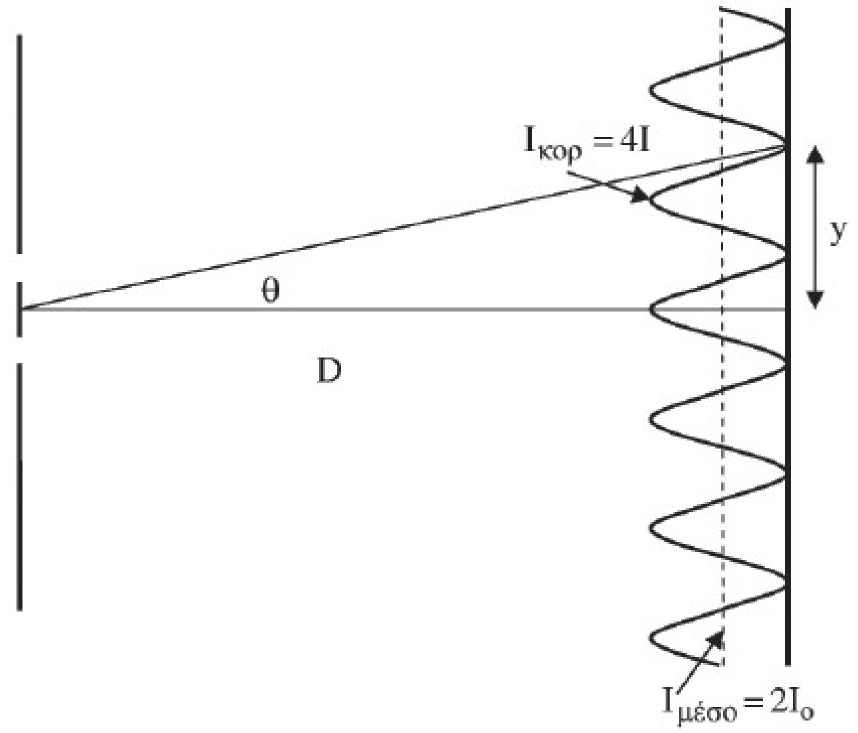
Αλλά: $$\tan\theta = \frac{y}{D} \Rightarrow y = D\tan\theta \quad \textbf{(2)}$$

κι επειδή: $D >> d$ η γωνία θ είναι πολύ μικρή και ισχύει η προσέγγιση

$\tan\theta \cong \sin\theta$ οπότε **(2)** δίνει: $y = D\sin\theta \Rightarrow \sin\theta = \frac{y}{D}$

Άρα η **(1)** γίνεται:

$$\boxed{I = I_o \cos^2\left(\frac{\pi d y}{\lambda D}\right)} \quad \textbf{(3)}$$



• Ενισχυτική συμβολή (φωτεινοί κροσσοί συμβολής) έχουμε όταν:

$$I = max \xrightarrow{(1)} \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta\right) = \pm 1 \rightarrow \frac{\cancel{\pi} d}{\lambda}\sin\theta = m\cancel{\pi} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boxed{d\sin\theta = m\lambda}$$

$m = 0, 1, 2, \ldots$
(Συνθήκη ενισχυτικής συμβολής)

ή λόγω της (3):

$$I = max \xrightarrow{(3)} \cos\left(\frac{\pi d y}{\lambda D}\right) = \pm 1 \rightarrow \frac{\cancel{\pi} d y}{\lambda D} = m\cancel{\pi} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boxed{y = m\frac{\lambda D}{d}}$$

(θέσεις εμφάνισης φωτεινών κροσσών συμβολής στο πέτασμα).

• Αναιρετική συμβολή (σκοτεινοί κροσσοί συμβολής) έχουμε όταν:

$$I = min = 0 \rightarrow \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta\right) = 0 \rightarrow \frac{\cancel{\pi} d}{\lambda}\sin\theta = (2m+1)\frac{\cancel{\pi}}{2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boxed{d\sin\theta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}}$$

(Συνθήκη αναιρετικής συμβολής)

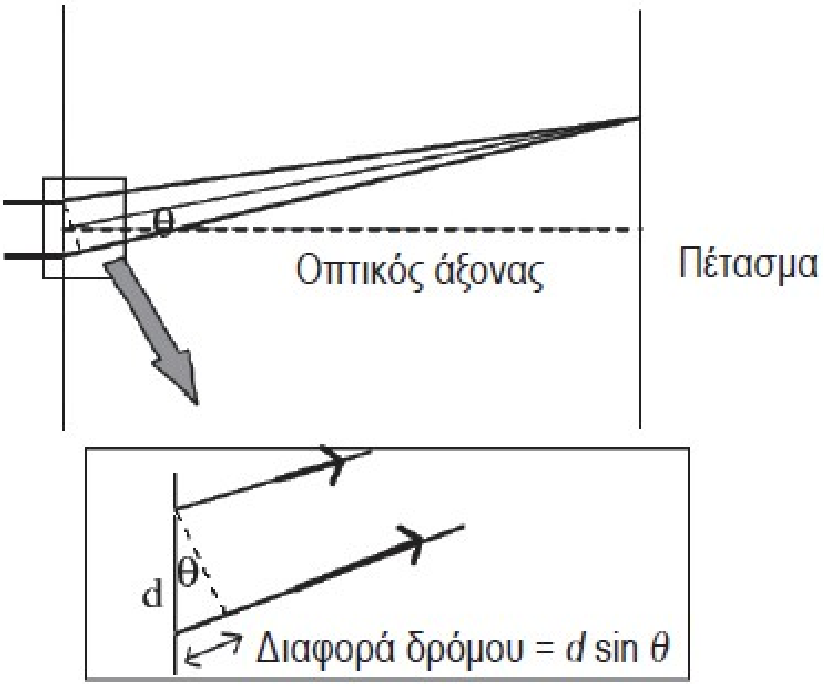
$m = 0, 1, 2, \ldots$

ή λόγω της (5):

$$I = min = 0 \rightarrow \cos\left(\frac{\pi d y}{\lambda D}\right) = 0 \rightarrow \frac{\cancel{\pi} d y}{\lambda D} = (2m+1)\frac{\cancel{\pi}}{2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boxed{y = (2m+1)\frac{\lambda D}{2d}}$$

(θέσεις σκοτεινών κροσσών συμβολής στο πέτασμα).



Εφαρμογή

Σε διάταξη διπλής σχισμής, η διαχωριστική απόσταση των σχισμών ισούται με το 100πλάσιο του μήκους κύματος του φωτός το οποίο διέρχεται από τις σχισμές.

α) Ποια είναι η γωνιακή απόσταση ανάμεσα στο πρώτο και στο δεύτερο μέγιστο;

β) Ποια είναι η γραμμική απόσταση ανάμεσα στο πρώτο και στο δεύτερο μέγιστο αν η οθόνη βρίσκεται σε απόσταση 50 cm από τις σχισμές;

Λύση

α) Η γωνιακή απόσταση σύμφωνα με την **(2)** είναι:

$$\tan\theta = \frac{\Delta y}{D}$$

Αλλά η απόσταση Δy των δυο πρώτων μέγιστων είναι:

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m = (m+1)\frac{D\lambda}{d} - m\frac{D\lambda}{d} = \frac{D\lambda}{d}$$

Άρα είναι:

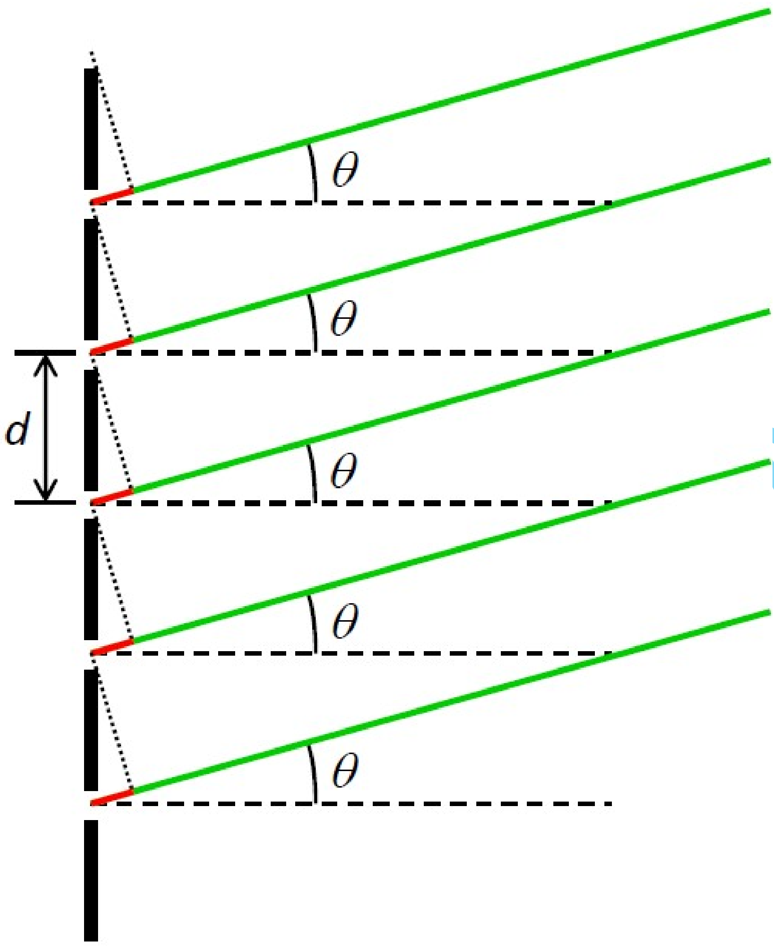
$$\tan\theta = \frac{\Delta y}{D} = \frac{D\lambda}{Dd} = \frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda}{100\lambda} = \frac{1}{100} = 0{,}01 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta = \tan^{-1}0{,}01 \Rightarrow \theta = 0{,}57^\circ$$

β) Η γραμμική απόσταση των δυο πρώτων μέγιστων είναι:

$$\Delta y = D\frac{\lambda}{d} = 50cm\frac{\lambda}{100\lambda} = \frac{50cm}{100} \Rightarrow \Delta y = 0{,}5cm$$

Β. Συμβολή από Ν σύμφωνες πηγές



Η ένταση του συνιστάμενου κύματος σε ένα μακρινό σημείο από τις πηγές, σύμφωνα με τη σχέση (22.14) του Alonso-Finn, είναι:

$$\boxed{I = I_o\left(\frac{\sin\frac{N\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\right)^2 = \mathrm{I}_o\left[\frac{\sin(N\pi d\sin\theta/\lambda)}{\sin(\pi d\sin\theta/\lambda)}\right]^2} \quad \textbf{(1)}$$

όπου $\mathrm{I_o}$ είναι η ένταση ακτινοβολίας της κάθε σύμφωνης πηγής.

• **Ενισχυτική συμβολή:** έχουμε όταν μηδενίζεται ο παρανομαστής της (1) σχέσης:

$$I = max \xrightarrow{(1)} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) = 0 \rightarrow \frac{\delta}{2} = m\pi \rightarrow \boxed{\delta = 2m\pi} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\cancel{2}\cancel{\pi} d\sin\theta}{\lambda} = \cancel{2}m\cancel{\pi} \rightarrow \boxed{d\sin\theta = m\lambda} \quad m = 0, 1, 2, \ldots$$

Επειδή $\lim_{\delta = 2m\pi}\left[\frac{\sin\left(N\frac{\delta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}\right] = N$ προκύπτει ότι $\underline{I_{max} = N^2 I_0}$.

• **Αναιρετική συμβολή:** έχουμε όταν μηδενίζεται ο αριθμητής της (1) σχέσης:

$$I = min = 0 \xrightarrow{(1)} \sin\left(N\frac{\delta}{2}\right) = 0 \rightarrow N\frac{\delta}{2} = m\pi \rightarrow \boxed{\delta = \frac{2m\pi}{N}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\cancel{2}\cancel{\pi} d\sin\theta}{\lambda} = \frac{\cancel{2}m\cancel{\pi}}{N} \rightarrow \boxed{d\sin\theta = \frac{m\lambda}{N}} \quad m = 1, 2, \ldots$$

(Για m=0 έχουμε μέγιστο.)

Συμβολόγραμμα για N = 4 πηγές.

• Μέγιστα έχουμε πάντα ανεξαρτήτου πηγών για:

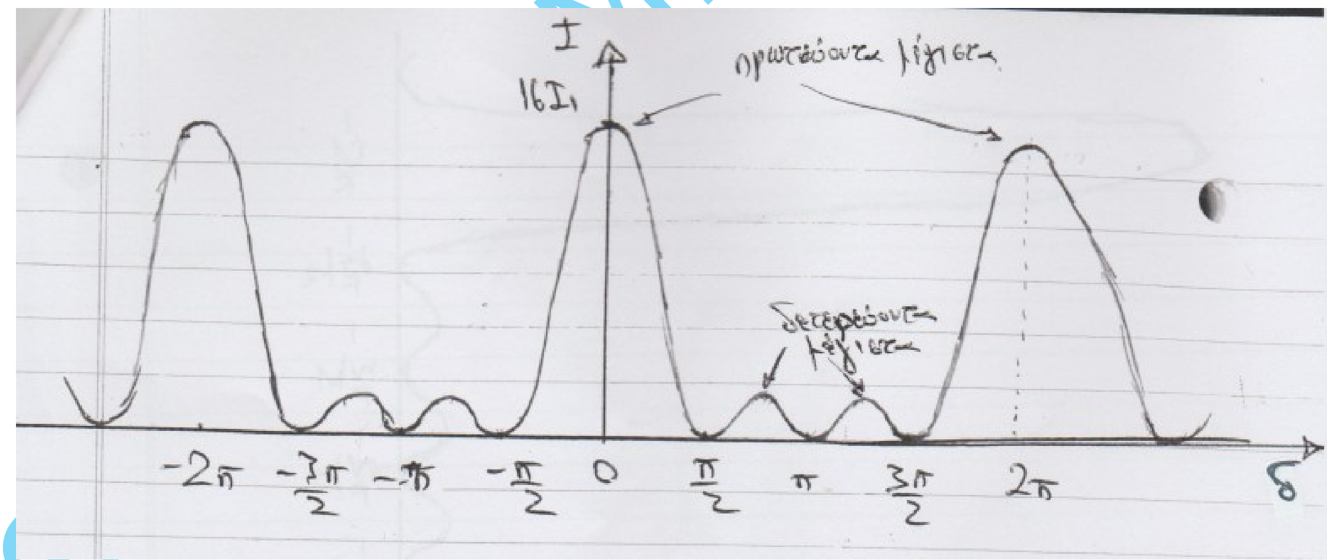
$$\delta = 2m\pi \ (m=0,1,2,\ldots) \rightarrow \boxed{\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \ldots}$$

με $I_{max} = N^2 I_0 = 4^2 I_0 \rightarrow \boxed{I_{max} = 16 I_0}$

• Ελάχιστα έχουμε τώρα για:

$$\delta = \frac{2m\pi}{N} = \frac{2m\pi}{4} \rightarrow \delta = m\frac{\pi}{2} \ (m=1,2,3,\ldots) \rightarrow \delta = \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, \cancel{2\pi}, \ldots$$

Δε λαμβάνεται υπόψη γιατί είναι μέγιστο.



Παρατήρηση:

Ανάμεσα στα κύρια μέγιστα υπάρχουν (N-1) ελάχιστα και (N-2) δευτερεύοντα μέγιστα.