

ΜΑΘΗΣΙΑΚΌΣ ΣΤΑΘΜΌΣ ΙΙ: ΤΙ ΕΊΝΑΙ ΤΟ ΦΩΣ;

26

1	Αποτελείται το φως από ακτίνες σωματιδίων;	26
1.a	Η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα για το φως	26
1.b	Το πείραμα του Φουκώ συνέκρινε την ταχύτητα του φωτός στον αέρα με αυτήν του φωτός στο νερό	29
2	Αποτελείται το φως από κύματα;	30
2.a	Οι υποθέσεις του Christiaan Huygens	30
2.b	Πώς είναι δυνατό οι φωτεινές ακτίνες να τέμνονται;	30
2.c	Τι είδους μετατόπιση παρατηρείται κατά τη συνάντηση διαφορετικών κυμάτων;	31
2.d	Μέτωπο κύματος, μήκος κύματος, περίοδος κύματος	32
2.e	Ταχύτητα κύματος	33
3	Πώς εξήγησε ο Huygens τις ιδιότητες του φωτός	34
3.a	Η αρχή του Huygens	34
3.b	Εξηγώντας την ανάκλαση και τη διάθλαση με την κυματική θεωρία	35
3.c	Εξηγώντας την περίθλαση με την κυματική θεωρία	35
4	Το πείραμα της διπλής σχισμής για το φως	38
4.a	Γιατί προκύπτουν ελάχιστα και μέγιστα στο πείραμα της διπλής σχισμής;	39
4.b	Διαφορετική απόσταση, διαφορετική φάση	39
5	Κροσσοί συμβολής	40
6	Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης ΙΙ	42

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0)

Υπό τους ακόλουθους όρους:

- Αναφορά στον δημιουργό — Πρέπει να κάνετε [κατάλληλη μνεία](#), να παρέχετε σύνδεσμο στην άδεια και [να δηλώνετε τυχόν τροποποιήσεις](#). Αυτό μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, χωρίς όμως να υπονοείται ότι ο αδειοδότης εγκρίνει εσάς ή τη χρήση σας.
- Μη-εμπορική — Δεν επιτρέπεται η χρήση του υλικού για [εμπορικούς σκοπούς](#).

Μπορείτε να:

- Μοιραστείτε - να αντιγράψετε και να αναδιανείμετε το υλικό με οποιοδήποτε μέσο ή μορφή
- Προσαρμόσετε - να αναμείξετε, να τροποποιήσετε και να δημιουργήσετε πάνω στο υλικό
Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Αναφορά στο έργο πρέπει να γίνεται ως εξής:

Frans R., Tamassia L., Andreotti E. (2015) Quantum SpinOff Learning Stations. Art of Teaching, UCLL, Diepenbeek, Βέλγιο

Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia, Erica Andreotti

Επαφή: renaat.frans@khlm.be

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν



Μαθησιακός σταθμός II: Τι είναι το φως;

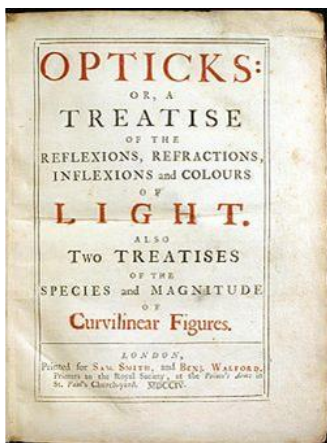
1 Αποτελείται το φως από ακτίνες σωματιδίων;

Το φως βρίσκεται παντού. Ίσως λοιπόν πιστεύετε ότι είναι εύκολο για τους επιστήμονες να ανακαλύψουν τι είναι το φως και πώς λειτουργεί στην πραγματικότητα. Αλλά, όπως αποδεικνύεται: το φως δεν αποκαλύπτει τόσο εύκολα τα μυστικά του. Οι φυσικοί εδώ και πολλά χρόνια πασχίζουν να απαντήσουν στο ερώτημα: Είναι το φως μια ακτίνα σωματιδίων ή πρόκειται για κυματικό φαινόμενο;

Η λαχτάρα να κατανοηθεί η πραγματική φύση του φωτός, είναι που δίνει κίνητρο στους φυσικούς έως τις μέρες μας: από την αρχαιότητα έως τη σύγχρονη κβαντοφυσική. Αφήστε μας να σας πάρουμε μαζί μας σε ένα ταξίδι για να ανακαλύψουμε την πραγματική φύση του φωτός.

1.a Η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα για το φως

Γύρω στα 1700 ο σημαντικός επιστήμονας Νεύτωνα, ο οποίος θεμελίωσε τους νόμους της μηχανικής πάνω σε 3 αρχές και διατύπωσε τον καθολικό νόμο της βαρύτητας, υπέθεσε ότι το φως αποτελείται από μικρά σωματίδια. Αυτά τα σωματίδια φωτός, όπως και κάθε άλλο σωματίδιο, υπέθεσε ότι λογικά θα έχουν επίσης μάζα.

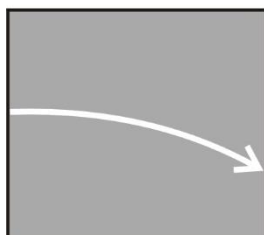


Σχήμα 1

Στο έργο του "Opticks", ο Νεύτωνα εξηγεί τις ιδιότητες του φωτός με μια σωματιδιακή θεωρία (1704). Ωστόσο, σε μια μετέπειτα έκδοση έκανε λόγο για έναν αιθέρα που διαχέεται παντού και ο οποίος ευθύνεται για ορισμένες κυματικές ιδιότητες. Τα σωματίδια αλληλεπιδρούν με τον αιθέρα.

(Πηγή: Διασκευασμένο από το Υλικό που είναι Κοινό Κτήμα της Wikipedia)

Gravitational field



Δεδομένου ότι τα σωματίδια φωτός έχουν μάζα στη σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα για το φως, συνήγαγε ότι μια δέσμη φωτός παράλληλη προς την επιφάνεια της Γης, θα έγερνε προς τα κάτω υπό την επίδραση του βαρυτικού πεδίου της Γης. Συνεπώς, η τροχιά του φωτός θα είναι παραβολή και όχι ευθεία γραμμή. Τα φως λογικά θα ακολουθεί μια παραβολή σαν σφαίρα κανονιού που εκτοξεύεται οριζοντίως.

Ο λόγος για τον οποίο δεν αντιλαμβανόμαστε το αποτέλεσμα αυτό είναι - σύμφωνα με τον Νεύτωνα - η ταχύτητα του φωτός, που είναι πολύ μεγάλη. Η ταχύτητα του φωτός ήταν πράγματι άγνωστη στην εποχή του

Νεύτωνα, αλλά ο Γαλιλαίος είχε ήδη δείξει με βεβαιότητα ότι είναι εξαιρετικά γρήγορη, ενδεχομένως απείρως γρήγορη.

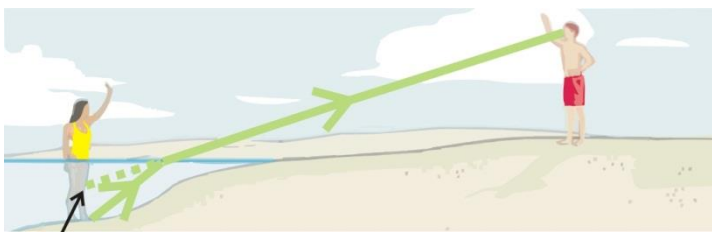
Ωστόσο, ο Νεύτωνας ήταν σε θέση να εξηγήσει τις γεωμετρικές ιδιότητες του φωτός πολύ καλά με τη σωματιδιακή θεωρία του. Επίσης, στα χρόνια της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, περιγράφατε το φως ως «ακτίνες» και ερμηνεύατε πολλές ιδιότητες του φωτός με τη γεωμετρική οπτική, ακριβώς όπως και ο Νεύτωνας. Οι ακτίνες - σε έναν βαθμό - μπορεί να γίνονται πράγματι αντιληπτές ως δέσμη σωματιδίων.

i) Να ονομάσετε τουλάχιστον 3 ιδιότητες του φωτός (από τη γεωμετρική οπτική), που εξηγούνται αν θεωρήσουμε, όπως και ο Νεύτωνας, το φως ως μια ακτίνα σωματιδίων.

Όνομα ιδιότητας	Να σχεδιάσετε μια σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου	Μπορείτε να εξηγήσετε αυτήν την ιδιότητα του φωτός με βάση τη σωματιδιακή θεωρία;
Το φως έχει σταθερή ταχύτητα		
...		
...		

Δεν υπάρχουν, όμως, ιδιότητες του φωτός που δεν είναι δυνατό να ερμηνευθούν με βάση τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός;

Για παράδειγμα, το φαινόμενο που ονομάζεται διάθλαση ή κάμψη του φωτός. Το συγκεκριμένο φαινόμενο προκύπτει όταν ακτίνες φωτός μεταβαίνουν από ένα μέσο σε άλλο.



Σχήμα 2
Οι ακτίνες του φωτός "κάμπτονται" καθώς αλλάζουν μέσο.

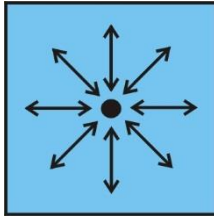
Foot appears to be here

ii) Μπορείτε να εξηγήσετε τη διάθλαση υποθέτοντας ότι το φως είναι μια ακτίνα σωματιδίων;

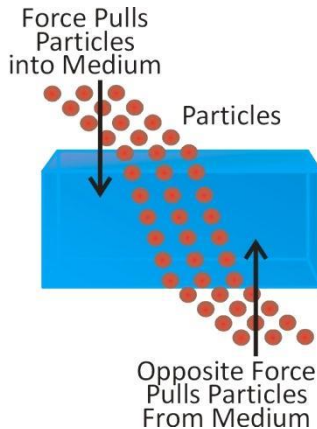
(Ναι / Όχι)

.....

Ωστόσο, ο Νεύτωνας εξήγησε και τη διάθλαση με τη σωματιδιακή του θεωρία ! Ας δούμε πώς το έκανε.



Ο Νεύτωνας υπέθεσε ότι όταν τα σωματίδια του φωτός καταλήγουν σε ένα μέσο, όπως τον αέρα ή το νερό, έλκονται προς τα σωματίδια του εν λόγω μέσου λόγω μιας ελκτικής δύναμης (βαρύτητας) μεταξύ των σωματιδίων. Μέσα σε ένα μέσο (π.χ. νερό ή αέρα), τα σωματίδια του φωτός περιβάλλονται ισόποσα από σωματίδια του μέσου. Ως αποτέλεσμα, η ελκτική δύναμη έλκει ένα ίσο ποσό σε όλες τις πλευρές καθιστώντας την καθαρή δύναμη μηδέν. Έτσι, δεν υφίσταται καμία επίδραση επί των σωματιδίων του φωτός και το φως συνεχίζει να ταξιδεύει σε **ευθεία** γραμμή, όσο τα σωματίδια παραμένουν στο ίδιο μέσο.



Σχήμα 3

Δεν υπάρχει χωρική συμμετρία στο σημείο που το ένα μέσο συναντάει το άλλο: δηλαδή, στην κορυφή υπάρχουν σωματίδια αέρα και στο κάτω μέρος σωματίδια νερού. Το πυκνότερο μέσο, το νερό σε αυτή την περίπτωση, θα προκαλέσει μια καθαρή επιτάχυνση προς το νερό - σύμφωνα με τον Νεύτωνα. Τα σωματίδια του φωτός επιταχύνονται προς το νερό που προκαλεί μια μετατόπιση στην "ακτίνα" του φωτός.

(Πηγή: *olympusmicro*)

Υπάρχει, όμως, μια διαφορά στο όριο μεταξύ των μέσων. Π.χ. καθώς διέρχεται από τον αέρα στο νερό, όπως γνωρίζετε, το φως σπάει και πλησιάζει στην κάθετο (= γραμμή κάθετη προς την επιφάνεια). Αυτό συμβαίνει - σύμφωνα με τον Νεύτωνα - επειδή υπάρχει περισσότερη ύλη στο νερό από ό,τι στον αέρα και έτσι τα σωματίδια του φωτός έλκονται περισσότερο προς το πυκνότερο μέσο. Ως αποτέλεσμα, η ακτίνα λοξοδρομεί, δημιουργεί μια απότομη κάμψη και **διαθλάται**.

Η ερμηνεία του Νεύτωνα φαίνεται ότι επαληθεύεται. Ποιος ξέρει. Αλλά, από αυτή τη συλλογιστική απορρέει μια συνέπεια για την ταχύτητα του φωτός σε ένα πυκνό μέσο σε σύγκριση με την ταχύτητα του φωτός σε ένα αραιό μέσο.

iii) **Τι προκύπτει από τη συλλογιστική του Νεύτωνα σχετικά με την ταχύτητα του φωτός στο νερό σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός στον αέρα;**

Επιλέξτε:

$$v_{\text{water}} \quad \begin{matrix} < \\ > \\ ? \end{matrix} \quad v_{\text{air}}$$

Εξηγήστε:

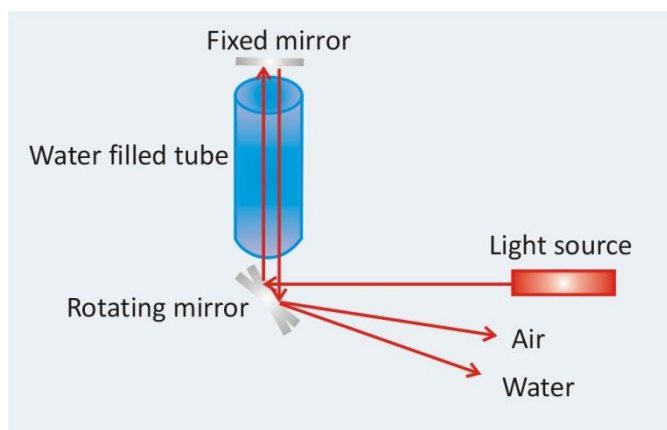
.....

.....

Μπορείτε να επαληθεύσετε μια τέτοια πρόβλεψη με ένα πείραμα! Αυτό είναι το εκπληκτικό με τη φυσική! Το 1862 ο Λέων Φουκώ (ο ίδιος Φουκώ που χρησιμοποίησε ένα εκκρεμές για να αποδείξει ότι η Γη περιστρέφεται) έκανε ακριβώς αυτό. Ο Φουκώ έστησε το ακόλουθο

πείραμα για να διαπιστώσει μια για πάντα αν η ταχύτητα του φωτός είναι ταχύτερη σε ένα πυκνότερο μέσο από ό, τι είναι σε ένα αραιό.

1.b Το πείραμα του Φουκώ συνέκρινε την ταχύτητα του φωτός στον αέρα με αυτήν του φωτός στο νερό



Σχήμα 4

Αναπαράσταση του πειράματος του Φουκώ που συγκρίνει την ταχύτητα του φωτός στον αέρα με την ταχύτητά του στο φως. Ο καθρέφτης από κάτω περιστρέφεται δεξιόστροφα.

(Πηγή: Πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια <http://galileo.phys.virginia.edu>).

Ο Φουκώ πραγματοποίησε το πείραμά του στο Αστεροσκοπείο του Παρισίου. Περιέστρεψε ένα κάτοπτρο (με τη βοήθεια μιας ατμομηχανής που υπήρχε εκείνο τον καιρό!). Το κάτοπτρο γύριζε με ταχύτητα 24.000 στροφών το λεπτό!

Έτρεφε μια πηγή φωτός προς τον καθρέφτη για να πέφτει πάνω του το φως. Η δέσμη του φωτός διερχόταν μέσω ενός σωλήνα και αντανακλούσε πάνω σε ένα σταθερό κάτοπτρο πάνω από τον σωλήνα. Αφού αντανακλούσε προς τα κάτω στο περιστρεφόμενο κάτοπτρο πάλι (το οποίο είχε μέχρι τη στιγμή αυτή γυρίσει λίγο περισσότερο), το φως επέστρεφε λίγο πιο χαμηλά από την πηγή από όπου είχε προέλθει (εκεί όπου λέει "αέρας" στο σχήμα).

Ο Φουκώ στη συνέχεια επανέλαβε το πείραμα του, αλλά αυτή τη φορά γέμισε το σωλήνα με νερό. Αν η ταχύτητα του φωτός είναι μεγαλύτερη στο νερό από ότι σε έναν σωλήνα γεμάτο αέρα, το φως θα έπρεπε να επιστρέφει πιο γρήγορα στο περιστρεφόμενο κάτοπτρο (το οποίο θα περιστρεφόταν λιγότερο) και η ανακλώμενη δέσμη φωτός θα έφτανε **πάνω** από το σημείο όπου επέστρεφε η δέσμη φωτός που έφτανε μέσω του αέρα.

Εντούτοις, το πείραμα έδειξε ότι η ανακλώμενη δέσμη που διήλθε μέσω του **νερού εμφανίστηκε** κάτω από το σημείο όπου εμφανίστηκε η ακτίνα που ταξίδεψε μέσω του αέρα. Αυτό προσέφερε την αδιάσειστη απόδειξη ότι η ταχύτητα του φωτός στο νερό είναι (ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ/ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ) από την ταχύτητα του φωτός στον αέρα!

Το πείραμα του Φουκώ δεν αφήνει κανένα περιθώριο στη σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα για το φως ... Δείχνει ξεκάθαρα πώς μια λαμπρή θεωρία, όπως του Νεύτωνα, μπορεί να βρεθεί αντιμέτωπη με προβλήματα, εάν προβλεφθεί κάτι (όπως μια μεγαλύτερη ταχύτητα του φωτός στα στερεά), που δεν μπορεί να επαληθευτεί πειραματικά. Πρόκειται για κάτι συνηθισμένο στη φυσική. Ένας φυσικός του μεγέθους του Νεύτωνα, που υπήρξε επιτυχής με τη μηχανική του, αποδείχθηκε ανεπιτυχής με τη "μηχανική του φωτός" του.

Ήταν προφανές ότι το φως δεν ακολουθεί απλά τη μηχανική των σωματιδίων του Νεύτωνα. Θα μπορούσε να ισχύει ότι το φως ήταν μάλλον κύμα;

2 Αποτελείται το φως από κύματα;

2.a Οι υποθέσεις του Christiaan Huygens

Ο Ολλανδός Christiaan Huygens (1629-1695) υπέθεσε, – αντίθετα από την άποψη του διάσημου συγχρόνου του, Νεύτωνα, - ότι το φως ήταν κύμα. Κατάλαβε το φως θα μπορούσε να προκύψει ως δόνηση που διαδίδεται στο χώρο ως κύμα. Κάπως σαν ένα παλλόμενο αντικείμενο που παράγει κύματα ήχου που εξαπλώνονται: όπως μια ταλάντωση στην επιφάνεια του νερού κάνει τα κύματα να απλώνονται.

Παρεμπιπτόντως, ανέπτυξε τις σκέψεις του στο έργο του «Πραγματεία για το φως» (1690), λίγο πριν διατυπωθεί η θεωρία του Νεύτωνα . Ο Huygens στηρίχθηκε στις ακόλουθες παραδοχές:

1. Η ταχύτητα του φωτός είναι πολύ μεγάλη και έτσι είναι απίθανο το φως να αποτελείται από ένα ρεύμα σωματιδίων. Σωματίδια που θα κινούνται σε τέτοια ταχύτητα θα βίωναν μεγάλη αντίσταση, σύμφωνα ακριβώς με τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα . Αυτή η αντίσταση θα τα ανάγκαζε να σταματήσουν να κινούνται, όπως σταματά μια μπάλα που κυλάει σε ένα τραπέζι λόγω αυτής της αντίστασης.
2. Δύο ακτίνες φωτός λάμπουν η μία μέσω της άλλης, χωρίς να επηρεάζουν η μία την άλλη. Πώς είναι δυνατό να αποτελούνται από σωματίδια; Τα σωματίδια θα συγκρούονταν μεταξύ τους.
3. Το φαινόμενο της διάθλασης μπορεί να εξηγηθεί, αν υποθεθεί ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός μεταβάλλεται ανάλογα με το μέσο διά του οποίου διέρχεται: η ταχύτητα του φωτός μειώνεται σε πυκνά μέσα (αντίθετα με την αύξηση που υπέθετε ο Νεύτωνας)!

Ας εξετάσουμε πρώτα τη δεύτερη ιδιότητα του φωτός, μια προφανή ιδιότητα που όμως συχνά παραβλέπεται!

2.b Πώς είναι δυνατό οι φωτεινές ακτίνες να τέμνονται;

Όλα τα παιδιά μπορούν να δουν πώς δέσμες που τέμνονται συνεχίζουν την πορεία τους σαν να μην διασταυρώθηκαν ποτέ. Είναι κάτι που μπορείτε να δείτε κάθε μέρα και είναι ακριβώς αυτό το φαινόμενο που έκανε τον Huygens να αμφισβητήσει βαθιά την υπόθεση του Νεύτωνα ότι το φως αποτελείται από ένα ρεύμα σωματιδίων. Ο Huygens αναρωτήθηκε:

Πώς είναι δυνατόν 2 ακτίνες φωτός να διασταυρώνονται χωρίς τα σωματίδια τους να πέφτουν το ένα πάνω στο άλλο;



**Αν δύο δέσμες φωτός διασταυρώνονται και συνεχίζουν στην ίδια γραμμή
όπως και πριν
χωρίς η μία να εμποδίζει την άλλη,
πώς είναι δυνατό να αποτελούνται από σωματίδια;**

Ο Huygens συνειδητοποίησε ότι τα κύματα και όχι τα σωματίδια, έχουν την ιδιότητα να μπορούν να περάσουν ανεμπόδιστα το ένα μέσα από το άλλο. Ταξιδεύουν ακολουθώντας την τροχιά τους, σαν να μην συνέβη τίποτα.

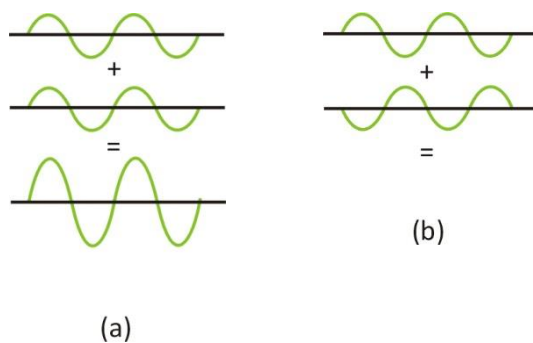
Δείτε τα κινούμενα σχέδια στην ιστοσελίδα του Ινστιτούτου Ήχου και Δόνησης (Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον, Ηνωμένο Βασίλειο). Μπορείτε να δείτε τι συμβαίνει όταν συναντώνται δύο κύματα.
<http://web.bryanston.co.uk/physics/Applets/Wave%20animations/Sound%20waves/Superposition%20of%20Waves.htm>

2.c Τι είδους μετατόπιση παρατηρείται κατά τη συνάντηση διαφορετικών κυμάτων;

Σύμφωνοι, περνούν το ένα μέσα από το άλλο. Τι συμβαίνει όμως στη μετατόπισή τους στο σημείο που τέμνονται; Παρακολουθήστε ξανά τα κινούμενα σχέδια αν χρειάζεται.

.....

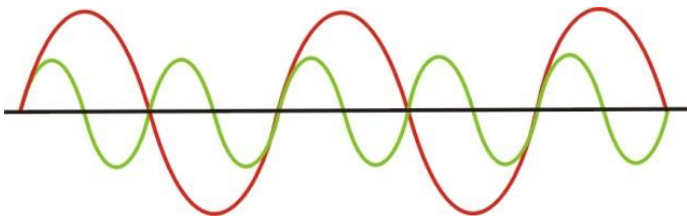
Δύο κύματα διέρχονται το ένα μέσα από το άλλο. Στο σημείο τομής τους, η επακόλουθη μετατόπιση είναι το άθροισμα των μετατοπίσεων των δύο κυμάτων ξεχωριστά. Το φαινόμενο είναι συνηθισμένο για τα κύματα και ονομάζεται *υπέρθωση* ή *συμβολή*. Η υπέρθεση μπορεί να προκαλέσει την ενίσχυση των δύο κυμάτων, αλλά και την αλληλοακύρωση τους. Δείτε πώς οι υπερτίθενται οι μετατοπίσεις.



Όταν η κορυφή ενός κύματος συναντάει το κοίλο ενός άλλου στο ίδιο σημείο, τα κύματα βρίσκονται σε **ΑΝΤΙΘΕΤΗ** φάση εκείνη τη στιγμή. Τα κύματα θα καταρρίψουν το ένα το άλλο. Μπορείτε να σχεδιάσετε το κύμα που προκύπτει στο σχήμα (β);

Αυτό που βλέπετε στο σχήμα (α) ονομάζεται **εποικοδομητική συμβολή** ή υπέρθεση. Στο σχήμα (β) βλέπετε **μια καταστρεπτική συμβολή** ή υπέρθεση.

Άσκηση: Σχεδιάστε την απορρέουσα μετατόπιση των 2 παρακάτω κυμάτων που διατρέχουν το ένα το άλλο. Τι πρέπει να κάνετε, προκειμένου να σχεδιάσετε την προκύπτουσα μετατόπιση σε κάθε σημείο;



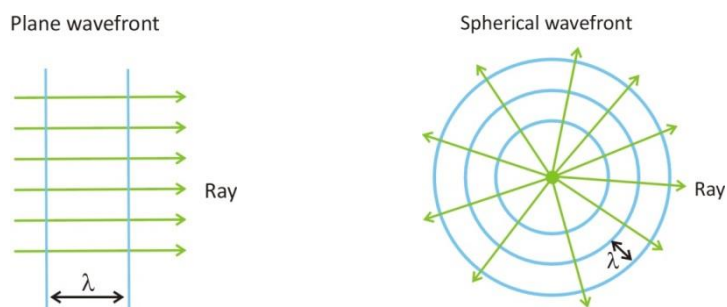
2.d Μέτωπο κύματος, μήκος κύματος, περίοδος κύματος

Όταν ρίχνετε μια πέτρα σε στάσιμο νερό, εμφανίζονται κύκλοι που μεγαλώνουν σε μέγεθος. Αυτοί οι κύκλοι σχηματίζονται από σωματίδια, τα οποία αρχίζουν να ταλαντώνονται. Όλα τα σωματίδια στο ίδιο *μέτωπο κύματος*, κινούνται προς τα επάνω και προς τα κάτω ταυτόχρονα.

Στην πραγματικότητα υπάρχει μια άπειρη ποσότητα μετώπων κύματος. Ωστόσο, σχεδιάζουμε μόνο τα μέτωπα κύματος για τα σωματίδια που βρίσκονται σε θετικό μέγιστο.

Τα μέτωπα των κυμάτων μπορεί να έχουν διαφορετικές μορφές:

- Γραμμές ή επίπεδες επιφάνειες: ονομάζονται **επίπεδα** κύματα, όπως το κύμα του ήχου σε μια σήραγγα;
- κύκλοι: πρόκειται για τα **κυκλικά** κύματα, όπως τα κύματα στην επιφάνεια του νερού;
- σφαίρες: πρόκειται για τα **σφαιρικά** κύματα, όπως τα κύματα στο διάστημα.



Οι **ακτίνες** δείχνουν την κατεύθυνση στην οποία κινείται το μέτωπο του κύματος. Οι ακτίνες είναι κάθετες προς τα μέτωπα κύματος.

Το μοτίβο κυμάτων που επαναλαμβάνεται μετά από μία ορισμένη απόσταση ονομάζεται **μήκος κύματος λ**. Το χαρακτηριστικό σχήμα ενός κύματος εκτείνεται πέρα από αυτή την απόσταση. Στο παρακάτω σχήμα να καταδείξετε το μήκος κύματος σε 4 διαφορετικά σημεία:



Ο *χρόνος* που χρειάζεται το κύμα για να διαδώσει ένα πλήρες μήκος κύματος, ονομάζεται **περίοδος** T του κύματος. Για παράδειγμα, ένα κύμα μπορεί να χρειαστεί $\frac{1}{2}$ δευτερόλεπτο για να ταξιδέψει ένα μήκος κύματος. Αυτό το κύμα θα περάσει ... φορές ανά δευτερόλεπτο και έτσι θα έχει μια **συχνότητα** 2 Hz.

Ένα κύμα που ταξιδεύει ένα μήκος κύματος σε ένα δέκατο του δευτερολέπτου, θα περάσει ... φορές ανά δευτερόλεπτο. Το κύμα αυτό έχει συχνότητα Hz. (Hz σημαίνει «ανά δευτερόλεπτο»)

Η συχνότητα και η περίοδος είναι συνεπώς αντιστρόφως ανάλογες:

$$f = \frac{1}{T}$$

Άσκηση: Αν ένα κύμα έχει συχνότητα 1000 Hz, πόση είναι η περίοδός του;

2.e Ταχύτητα κύματος



Ο Φουκώ απέδειξε ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο νερό είναι (υψηλότερη / χαμηλότερη) από ό,τι στον αέρα. Ο Huygens χρησιμοποίησε αυτήν την αρχή για να εξηγήσει το φαινόμενο της διάθλασης.

Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας κύματος, του μήκους κύματος και της περιόδου έχει ως εξής:

Η ταχύτητα ενός κύματος v είναι ασφαλώς
$$v = \frac{\text{διανυθείσα απόσταση}}{\text{χρόνος}}$$

Αν συμπληρώσουμε την απόσταση που διανύθηκε, ένα μήκος κύματος, συνάγουμε μια βασική σχέση για τα κύματα:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Η ταχύτητα ενός κύματος είναι το μήκος κύματος του επί της συχνότητάς του. Η πραγματική ταχύτητα ενός κύματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου, όπως την πυκνότητα, και την ένταση.

Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα (στους 20 ° C) είναι ίση με 343 m/s, ενώ στο νερό είναι περίπου 1500 m/s. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι (περίπου) 300,000 km/s ή $3,0 \cdot 10^8$ m/s. Η ταχύτητα του φωτός σε στερεά υλικά (όπως το γυαλί) είναι μικρότερη από την τιμή αυτή.

Ερώτηση: Ένας ραδιοφωνικός σταθμός εκπέμπει ραδιοκύματα με συχνότητα 88,1 MHz. Ποιο είναι το μήκος κύματος αυτών των ραδιοκυμάτων; (Απάντηση: 3,4 m)

.....

3 Πώς εξήγησε ο Huygens τις ιδιότητες του φωτός

3.a Η αρχή του Huygens

Ας επιστρέψουμε στις σκέψεις του Huygens. Σκέφτηκε ότι αν κάποιος θέλει να δημιουργήσει επίπεδα κύματα, για παράδειγμα στο νερό, μπορεί να κρατήσει ένα επίπεδο φύλλο χαρτιού ή έλασμα στο νερό και να κάνει κάθετες κινήσεις προς τα πάνω και προς τα κάτω.

Τώρα, ο Huygens αναρωτήθηκε αν θα μπορούσε κανείς να προκαλέσει ένα τέτοιο κύμα παίρνοντας απλώς λίγες κυματικές πηγές πάνω σε αυτή τη γραμμή. Αντί για φύλλο, θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει για παράδειγμα μαρκαδόρους που θα κουνήσει προς τα πάνω και προς τα κάτω κατά μήκος μιας γραμμής. Αυτές οι πηγές κύματος, σημειακές πηγές για την ακρίβεια, θα δημιουργούσαν ένα νέο μέτωπο κύματος; Δοκιμάστε το, φροντίζοντας οι μαρκαδόροι να πάλλονται χωρίς διαφορά φάσης (να τους κουνάτε πάνω-κάτω ταυτόχρονα).

Ο Huygens έκανε τον εξής συλλογισμό: όλες αυτές οι σημειακές πηγές εκπέμπουν κυκλικά κύματα. Τα κύματα διαδίδονται και θα φτάσουν στο ίδιο σημείο μετά από μια ορισμένη απόσταση: το ένα θα διέλθει μέσα από το άλλο (όπως κάνουν τα κύματα!) και οι μετατοπίσεις τους θα υπερτεθούν. Μισό μήκος κύματος πίσω από το σημείο που δημιουργήθηκε το μέτωπο κύματος (από τους παλλόμενους μαρκαδόρους), οι μετατοπίσεις τους αθροίζονται και δημιουργούν ένα νέο μέτωπο κύματος!

Plane wavefront



Spherical wavefront



Ο Huygens συνήγαγε ότι αυτή ήταν μια καινούργια αρχή για τα κύματα:

Κάθε μέτωπο κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά σημειακών πηγών που πάλλονται ομοφασικά. Από εκεί ξεκινούν κυκλικά κύματα και αυτό ακριβώς είναι που δημιουργεί ένα νέο μέτωπο κύματος που θα σχηματιστεί σε απόσταση μισού μήκους κύματος.

Αυτό ονομάζεται **αρχή του Huygens**.

3.b Εξηγώντας την ανάκλαση και τη διάθλαση με την κυματική θεωρία

Χρησιμοποιώντας την αρχή του Huygens, μπορείτε να εξηγήσετε γιατί

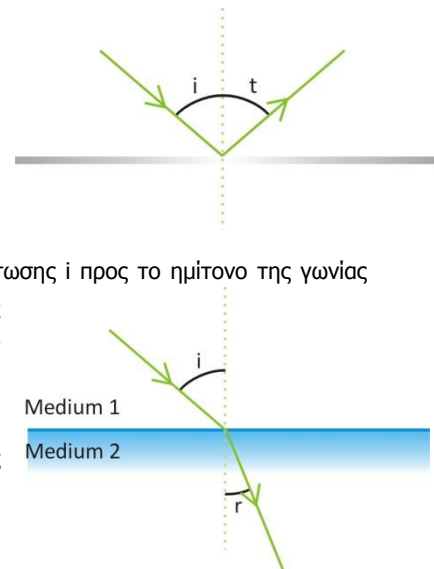
- κατά την ανάκλαση, η γωνία πρόσπτωσης είναι η ίδια με τη γωνία ανάκλασης.
- κατά τη διάθλαση, για μια δεδομένη μετάβαση από ένα μέσο σε ένα άλλο, υπάρχει ένα σταθερό ηηλικό, γνωστό ως δείκτης διάθλασης, του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης i προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης r . Ο Huygens έδειξε ότι οι γωνίες διάθλασης προκύπτουν ακριβώς λόγω των διαφορετικών ταχυτήτων διάδοσης του φωτός σε διαφορετικά μέσα. Πράγματι, έδειξε ότι ο δείκτης διάθλασης n ισούται ακριβώς με τον λόγο της ταχύτητας των κυμάτων στο πρώτο μέσο προς την ταχύτητά τους στο δεύτερο μέσο.

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1 \rightarrow 2} = cte$$

Ρίξτε μια ματιά σε αυτήν τη μικροεφαρμογή για να παρακολουθήσετε τη συλλογιστική του Huygens (applet από τον [Walter Fendt](http://www.walter-fendt.de/html5/phen/refractionhuygens_en.htm)):

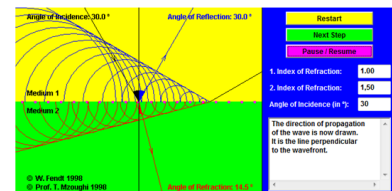
www.walter-fendt.de/html5/phen/refractionhuygens_en.htm

Η αλλαγή της ταχύτητας του κύματος όταν εισέρχεται σε ένα νέο μέσο είναι που ευθύνεται για τη διάθλαση του συγκεκριμένου κύματος.



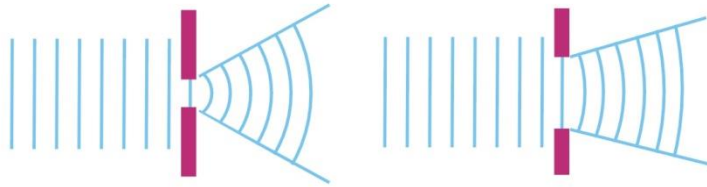
Reflection and Refraction of Waves (Explanation by Huygens' Principle)

the reflection and the refraction of waves by the principle of Huygens. Explanations for each the "Next Step" button. You can stop and continue the simulation by using the "Pause / Resume" button. The medium with the smaller index of refraction



3.c Εξηγώντας την περίθλαση με την κυματική θεωρία

Τα κύματα μπορούν να ανακλώνται, να σπάνε, αλλά και να κάμπτονται γύρω από ένα εμπόδιο ή σε ένα άνοιγμα. Αυτό ονομάζεται **περίθλαση**. Μπορούμε να το κατανοήσουμε καλά με τα κύματα ήχου: μπορείτε να ακούσετε κάποιον που μιλάει στο διπλανό δωμάτιο αν είναι ανοιχτή η πόρτα.



Μπορούμε να το κατανοήσουμε καλά με τα κύματα ήχου: μπορείτε να ακούσετε κάποιον που μιλάει στο διπλανό δωμάτιο αν είναι ανοιχτή η πόρτα. Επιπλέον τα θαλάσσια κύματα μπορούν να καμφθούν γύρω από ένα μικρό άνοιγμα.

Η κάμψη των θαλασσίων κυμάτων στην παραλία της Βοϊδοκοιλιάς στην Πελοπόννησο.



Η περίθλαση μπορεί επίσης να ερμηνευθεί με την αρχή του Huygens: κάθε σημείο στο άνοιγμα ή στην άκρη ενός εμποδίου συμπεριφέρεται ως σημειακή πηγή που εκπέμπει μέτωπα κυμάτων προς κάθε κατεύθυνση.

Η ποσότητα της περίθλασης εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ του μεγέθους του ανοίγματος ή του εμποδίου και του μήκους κύματος.

Άσκηση: Μπορούν τα κύματα να καμφθούν γύρω από ένα εμπόδιο (εκτός από ένα άνοιγμα); Μπορείτε να το εξηγήσετε αυτό με μια ζωγραφιά;

Άσκηση:

Πόσο μακρά είναι τα ηχητικά κύματα; Υπολογίστε το μήκος κύματος ενός ήχου με συχνότητα 440 Hz.

.....(Απάντηση: 0,773 m).

Τα ανοίγματα και τα εμπόδια μιας τάξης μεγέθους συγκρίσιμης με εκείνη ενός ηχητικού κύματος θα παράγουν αξιοσημείωτη περίθλαση για τα εν λόγω κύματα.

Άσκηση: Πόσο μεγάλο είναι το μήκος κύματος του ορατού φωτός; Το ορατό φως έχει υψηλή συχνότητα συγκριτικά με τα ηχητικά κύματα. Υπολογίστε το μήκος κύματος του κόκκινου φωτός με συχνότητα 500 THz (Tera = 10^{12} , θα χρειαστείτε επιπλέον την ταχύτητα του φωτός, αν δεν το γνωρίζετε, δείτε το από την βιβλιογραφία)

.....(Απάντηση 600 nm).

Μπορεί το φως να καμφθεί γύρω από ένα παράθυρο; Γιατί ή γιατί όχι;

.....

Θα δείτε περίθλαση του φωτός γύρω από μικρά αντικείμενα ή ανοίγματα; Γιατί;

.....

Περίθλαση και καθημερινή ζωή:

- Γιατί τα ηχοπετάσματα κατά μήκος ενός αυτοκινητοδρόμου δεν παράγουν απόλυτη σιγή πίσω τους;

.....

- Τα ηχητικά κύματα μπορούν να έχουν μεγάλο μήκος και να είναι ίδιας τάξης μεγέθους με το ίδιο το πέτασμα. Κατά συνέπεια κάμπτονται περισσότερο γύρω από το εμπόδιο. Ως εφαρμογή, υπολογίστε το μήκος κύματος ενός ήχου 1000Hz. Συγκρίνετέ το με έναν ήχο 100Hz. Τι πιστεύετε: Το ηχοπέτασμα θα σιγάσει καλύτερα τους χαμηλούς τόνους ή τους υψηλούς;

.....

(Απάντηση: $\lambda=3,4$ m για 100 Hz και $\lambda= 0,343$ m για 1000 Hz.)

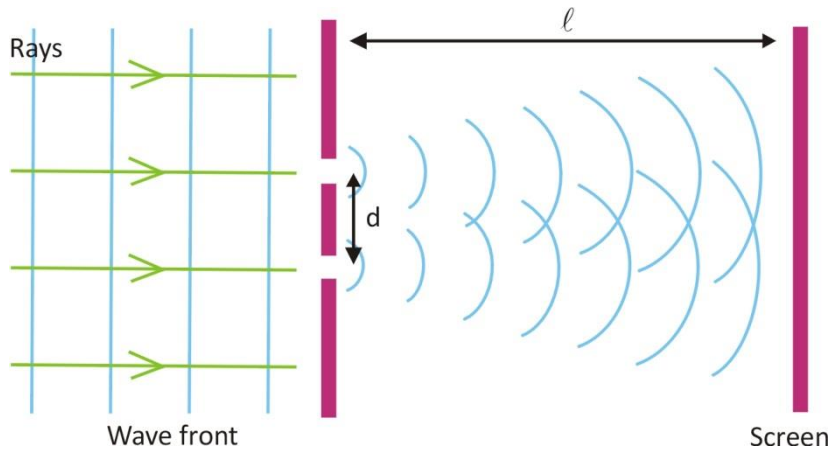
4 Το πείραμα της διπλής σχισμής για το φως

Ας επιστρέψουμε στο πείραμα της διπλής οπής για το φως και ας εξηγήσουμε γιατί εμφανίζονται κυματικοί κροσσοί συμβολής για κύματα. Δεν ήταν παρά το 1803 που ο Thomas Young (1773-1829) έδειξε ότι στο πείραμα της διπλής σχισμής τα κύματα υπόκεινται σε συμβολή, μια τυπική ιδιότητα των κυμάτων! Παρότι θεωρήθηκε ότι το πείραμα αυτό εν τέλει κατέδειξε ότι το φως αποτελούνταν από κύματα, το ερώτημα της πραγματικής φύσης αυτού του κύματος παρέμεινε αναπάντητο μέχρις ότου έκανε την εμφάνισή της η κβαντική φυσική. Τι ήταν αυτό που πράγματι παλλόταν στην περίπτωση των κυμάτων φωτός; Στον επόμενο μαθησιακό σταθμό, θα συζητήσουμε από τι αποτελούνται στα αλήθεια τα κύματα φωτός.

Πρώτα όμως, ας εξετάσουμε το περίφημο πείραμα της διπλής σχισμής για το φως, θεωρώντας ότι αυτό συμπεριφέρεται ως κύμα.

4.a Γιατί προκύπτουν ελάχιστα και μέγιστα στο πείραμα της διπλής σχισμής;

Μια πηγή φωτός παράγει φως με τη μορφή των μετώπων επιπέδου κύματος. Φθάνουν σε ένα εμπόδιο με δύο σχισμές. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, παράγεται ένα μέτωπο κύματος που κάμπτεται και μπορεί να φτάσει σε σημεία πίσω από τις σχισμές.



Όλα τα στοιχεία στο στήσιμο του πειράματος σημειώνονται ευκρινώς στο παραπάνω σχήμα. Για το λόγο αυτό οι αναλογίες μεταξύ των διαφόρων διαστάσεων και αποστάσεων δεν μοιάζουν με το πείραμα των δύο σχισμών στην πραγματικότητα. Οι σχισμές είναι πολύ λεπτότερες σε σύγκριση με την απόστασή τους d . Οι σχισμές μπορεί να θεωρηθούν ως έχουσες σχήμα σημείου. Και το πέτασμα είναι πολύ πιο μακριά από τις σχισμές.

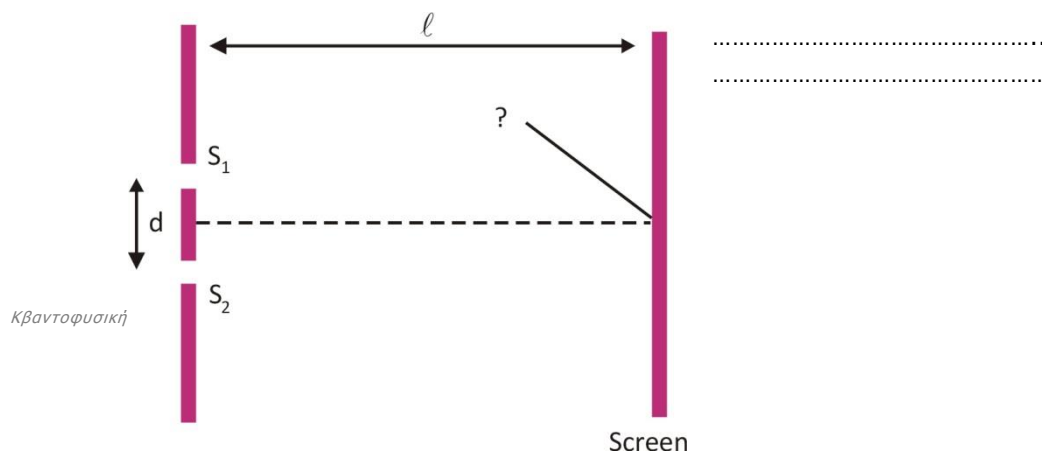
Πώς είναι δυνατό να εμφανίζεται στο πέτασμα ένα μοτίβο φωτεινών και σκοτεινών περιοχών;

Πίσω από τις σχισμές, υπάρχουν δύο κύματα με στρογγυλά μέτωπα κύματος που επικαλύπτονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Θα υπερτεθούν ή θα συμβάλουν. Επειδή τα δύο αυτά κύματα ήταν ένα πριν την σχισμή, ουσιαστικά βρίσκονται στην ίδια φάση στη θέση της σχισμής: ανεβοκατεβαίνουν ταυτόχρονα. Πίσω, όμως, από τις σχισμές, τα κύματα αυτά δεν έχουν ταξιδέψει κατ' ανάγκη την ίδια απόσταση, και ίσως για αυτό δεν είναι πλέον ομοφασικά.

4.b Διαφορετική απόσταση, διαφορετική φάση

Τι θα δούμε στη μέση, πίσω από τις 2 σχισμές; Ένα φωτεινό σημείο ή όχι; Γιατί;

(Υπόδειξη: Σκεφτείτε την διαφορά στην απόσταση που ταξιδεύει το φως.)



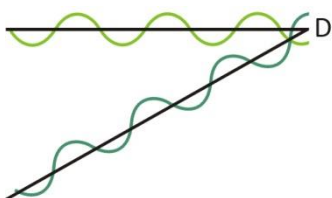


την περιοχή ακριβώς στο μέσο πίσω από τις 2 σχισμές (όπου λέει «C»), και τα δύο κύματα έχουν διανύσει την ίδια απόσταση. Τα κύματα βρίσκονταν στην ίδια φάση στις σχισμές και εξακολουθούν να βρίσκονται στο σημείο C. Τα κύματα ταλαντώνονται ταυτόχρονα και το ένα ενισχύει το άλλο: ένα φωτεινό μέγιστο εμφανίζεται (*εποικοδομητική συμβολή*).

συμβολή).

Α λίγο προς τα αριστερά (ή στα δεξιά) αυτού του σημείου στο μέσον, η απόσταση μέχρι τη μία σχισμή είναι μικρότερη από ό,τι για την άλλη σχισμή. Μήπως αυτό σημαίνει ότι τα κύματα δεν είναι πλέον ομοφασικά (ΝΑΙ/ΟΧΙ).

Η προκύπτουσα απόκλιση θα είναι κάτι στο ενδιάμεσο.



Για μια ορισμένη γωνία το μήκος της διαδρομής του φωτός που προέρχεται από τη μία σχισμή διαφέρει ακριβώς μισό μήκος κύματος από το φως που προέρχεται από την άλλη σχισμή: το ένα κύμα τότε ανεβαίνει ενώ το άλλο κατεβαίνει. Αν το πλάτος των κυμάτων είναι το ίδιο, τότε τα δύο κύματα θα αλληλοαναιρεθούν (βλέπε σημείο "D" στο σχήμα).

Προκύπτει *καταστροφική (αποσβεστική) συμβολή*.

Για μεγαλύτερες γωνίες η διαφορά της διανυθείσας απόστασης θα είναι πάλι ένα μήκος κύματος. Και τα δύο κύματα είναι και πάλι ομοφασικά σε αυτά τα σημεία, ενισχύοντας το ένα το άλλο: θα προκύψουν μέγιστα. Αυξήστε τη γωνία λίγο περισσότερο και θα εμφανιστούν πάλι ελάχιστα και ούτω καθεξής. Έτσι, δημιουργείται ένα μοτίβο με μέγιστα και ελάχιστα.

Εξάσκηση:

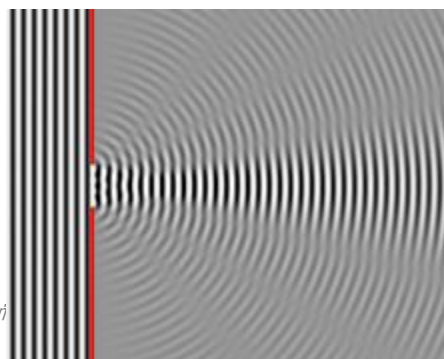
Αν ελαττωθεί το μήκος κύματος του φωτός, θα δούμε περισσότερα ή λιγότερα μέγιστα στην οθόνη; Εξηγήστε γιατί.

.....



Συμβολή διπλής σχισμής με χρήση λέιζερ κόκκινου χρώματος.

5 Κροσσοί συμβολής

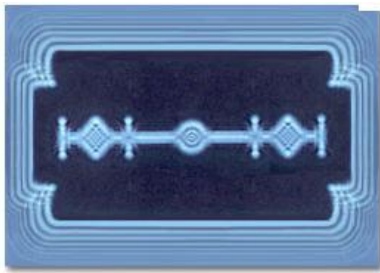


όπως στο πείραμα διπλής σχισμής, έτσι και με μία σχισμή υπάρχει διαφορά μήκους ανάμεσα στις διαδρομές που διανύουν τα κύματα από τις διάφορες πηγές κατά Huygens. Κατά συνέπεια, κύματα από διαφορετικές πηγές συμβάλλουν.

Ανάλογα με την διαφορά φάσης, εμφανίζονται μέγιστα και ελάχιστα κατά την περίθλαση μονής σχισμής.

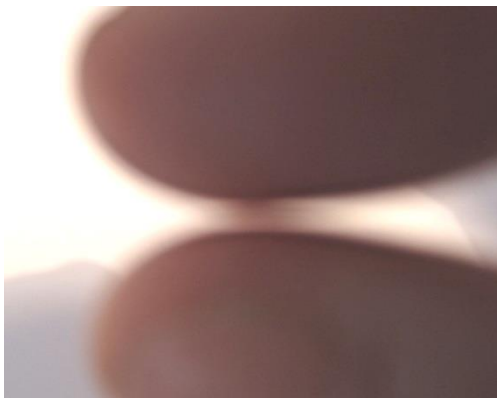
Κροσσοί συμβολής στην καθημερινότητα;

Όταν τα κύματα φωτός συναντούν καθημερινά αντικείμενα, σπάνια θα καμφθούν διότι το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι πολύ μικρό συγκριτικά με το μέγεθος των αντικειμένων. Παρ'όλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες θα δούμε περίθλαση στην καθημερινή ζωή!



Περίθλαση του φωτός στις μικροσκοπικές άκρες μιας λεπίδας.

Πείραμα:



Παρακολουθήστε την εμφάνιση σκοτεινών και φωτεινών κροσσών όταν φέρνετε τον αντίχειρα και τον δείκτη σας πολύ κοντά μεταξύ τους. (Το αποτέλεσμα είναι εμφανέστερο όταν χρησιμοποιήσετε λευκό φόντο).

Πείραμα: Στα πειράματα τα οποία συνοδεύουν αυτούς τους σταθμούς μάθησης, μπορείτε να μετρήσετε το πάχος μιας τρίχας μετρώντας την απόσταση ανάμεσα στα ελάχιστα της συμβολής.

6 Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης II

Ολοκληρώστε συμπληρώνοντας τις έννοιες που λείπουν

Κλασσικές έννοιες:

Ιδιότητες του φωτός τις οποίες εξηγεί η σωματιδιακή θεωρία: το φως έχει μια σταθερή ταχύτητα η οποία εξαρτάται από; Επιφάνειες στις οποίες προσπίπτει φως θερμαίνονται; ανάκλαση.

Ιδιότητες του φωτός που δεν εξηγούνται από την σωματιδιακή θεωρία: του φωτός.

Εποικοδομητική και ακυρωτική των κυμάτων.

Περίθλαση των κυμάτων.

Ιδιότητες των κυμάτων: ταχύτητα, συχνότητα, μήκος κύματος, περίοδος.

Αρχή του Huygens.

Κβαντικές έννοιες:

Καμία