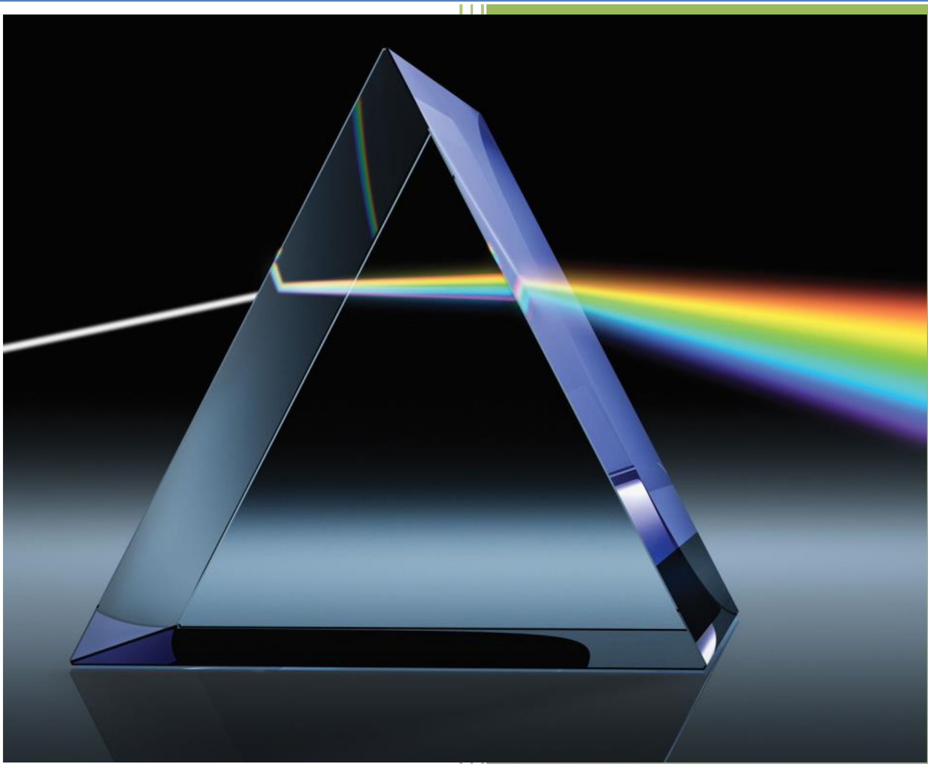
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΠΕΙΡΑΜΑ

Εργαστηριακή διδασκαλία της Φυσικής

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ
Βασισμένη στο θεμελιώδη νόμο της κυματικής $c=\lambda \cdot f$



Ε.Κ.Φ.Ε Κέρκυρας

2017

Πρόταση από τον
Μουρούζη Παναγιώτη
Φυσικό Ραδιοηλεκτρολόγο
Υπεύθυνο Ε.Κ.Φ.Ε Κέρκυρας
☎ 26610-47655
ekfe1@otenet.gr

''Μέτρηση της ταχύτητας του φωτός με απλά μέσα''

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αναφέρεται σε μία καινοτόμα εργαστηριακή δραστηριότητα μέσω της οποίας μπορούμε να μετρήσουμε έμμεσα την ταχύτητα του φωτός. Η δραστηριότητα απευθύνεται σε μαθητές θετικής κατεύθυνσης της Β' ή Γ' Λυκείου ή σε μαθητές οποιασδήποτε τάξης του Λυκείου στα πλαίσια ενός project με σχετικό θέμα. Τα πλεονεκτήματα της δραστηριότητας είναι τα εξής:

1. Πολύ χαμηλό κόστος της διάταξης με αποτέλεσμα να μπορούν εύκολα να την προμηθευτούν ή να την αναπαράγουν τα σχολεία.
2. Μικρός χρόνος λήψης των πειραματικών δεδομένων
3. Μικρός χρόνος επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων
4. Πείραμα με σπουδαία ιστορική σημασία. Δυνατότητα αναφοράς στον τρόπο μέτρησης της ταχύτητας του φωτός από τους Ole Roemer, Fizeau, Foucault και Michelson Morley
5. Πείραμα με καταλυτική επίδραση στην εξέλιξη της σύγχρονης φυσικής αφού έπαιξε πρωταρχικό ρόλο στη διαμάχη της κυματικής και σωματιδιακής θεωρίας του φωτός, αλλά και στη διατύπωση της ειδικής θεωρίας σχετικότητας από τον Einstein και της κβαντομηχανικής.
6. Εφαρμογή των σχέσεων $c=\lambda f$ $r_1-r_2=k\lambda$ $E=hf$ $U=e.V$ που διδάσκονται οι μαθητές στη Β' και Γ' Λυκείου στη γενική παιδεία και στην κατεύθυνση σε μία συγκεκριμένη δραστηριότητα, στη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός.

Θεωρούμε ότι η ένταξη της συγκεκριμένης δραστηριότητας στα σχολεία μας θα προκαλέσει το ενδιαφέρον των μαθητών για το μάθημα της φυσικής, δίνοντας τη δυνατότητα τόσο στην αναφορά της ιστορικής εξέλιξης των θεωριών του φωτός, όσο στη σύνδεση ασύνδετων μέχρι τώρα κεφαλαίων όπως η αρχή της επαλληλίας, οι συνθήκες του Borh, η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια κλπ με στόχο τη μέτρηση μίας από τις σπουδαιότερες ίσως σταθερές της φυσικής.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ ΟΜΑΔΑΣ

1.

2.

3.

4.

ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ

1. Πολύμετρο
2. Laser point
3. Διαφάνεια με παράλληλες γραμμές σε απόσταση 0,2mm ή φράγμα περίθλασης
4. Χάρακας και μετροταινία, ή μετρητής αποστάσεων laser
5. Μπαταρία 4,5V
6. Ποντεσιόμετρο 1ΚΩ καλύτερα πολύστροφο
7. Καλώδια με κορκοδειλάκια

Η ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΩΡΙΑ

Η ενασχόλησή μας με το θέμα ξεκίνησε από την περιγραφή του πειράματος Fizeau στο βιβλίο γενικής παιδείας της Γ Λυκείου. Προσπαθώντας να αναπαράγουμε το πείραμα, διαπιστώσαμε ότι ήταν πολύ δύσκολο, αφού όπως αναφέρει και το βιβλίο έπρεπε να οδηγήσουμε μια δέσμη φωτός 8Km μακριά να ανακλαστεί σε έναν καθρέπτη και να επιστρέψει περνώντας μέσα από τα δόντια ενός περιστρεφόμενου τροχού. Πείραμα που προφανώς η πραγματοποίησή του πολύ διαφέρει από την περιγραφή του μέσα από το σχολικό εγχειρίδιο.
Η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε εμείς είναι η εξής. Θα προσπαθήσουμε να μετρήσουμε τη συχνότητα και το μήκος κύματος της δέσμης λέιζερ και μετά από τη θεμελιώδη σχέση

$c = \lambda \cdot f$

θα προσδιορίσουμε την ταχύτητα του φωτός.
Η μέτρηση του μήκους κύματος βασίζεται στο φαινόμενο της συμβολής. Δημιουργήσαμε αρχικά με τη βοήθεια του Word (οι οδηγίες κατασκευής στο τέλος) φράγμα αποτελούμενο από παράλληλες κενά. Περάσαμε τη δέσμη από το φράγμα και σε μία οθόνη που απείχε απόσταση L από το φράγμα δημιουργήθηκαν διάφορες κουκίδες. Η κεντρική κουκίδα από την πρώτη απείχε απόσταση x. Από αυτές τις μετρήσεις χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\lambda = \frac{a \cdot x}{\mathrm{L}} \qquad (1)$$

Όπου α η απόσταση ανάμεσα στα διάκενα του φράγματος περίθλασης
x η απόσταση ανάμεσα στην κεντρική κουκίδα περίθλασης και στην πρώτη
L η απόσταση ανάμεσα στο φράγμα περίθλασης και στον τοίχο που προβάλλονται οι κουκκίδες
Μπορούμε να προσδιορίσουμε το μήκος κύματος της δέσμης laser.

Για την εύρεση της συχνότητας βασιστήκαμε στη 4η συνθήκη του Bohr.

Το laser τροφοδοτείται με κάποια τάση. Η τάση αυτή δίνει την κατάλληλη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο ώστε να ανέβει σε κάποια ενεργειακή στάθμη. Με τάση κάποιας τιμής, τα ηλεκτρόνια θα διεγερθούν σε μεγαλύτερες στάθμες, στη συνέχεια θα πέσουν στη στάθμη που αντιστοιχεί στο ορατό φως του laser, και θα συγκεντρωθούν εκεί προκαλώντας μια αναστροφή πληθυσμών. Στη συνέχεια όλα μαζί θα κάνουν το απαιτούμενο άλμα, οπότε η ένταση της δέσμης θα είναι πολύ πιο ισχυρή. Αν όμως ελαττώσουμε σιγά-σιγά την τάση τροφοδοσίας του laser, θα φθάσουμε σε κάποια τιμή τάσης Vmin, για την οποία δεν θα εκπέμπεται σχεδόν καθόλου φως. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια δεν έχουν την απαιτούμενη πλέον ενέργεια για να φθάσουν την στάθμη που αντιστοιχεί στο ορατό φως του laser, και έτσι δεν μπορεί να δημιουργηθεί η απαιτούμενη αντιστροφή πληθυσμού. Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας για την ελάχιστη τάση για την οποία φωτοβολεί το laser θα έχουμε:

$$e \cdot V = h \cdot f \rightarrow f = \frac{e \cdot V_{\min}}{h} \qquad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) μπορούμε μέσω της θεμελιώδους κυματικής σχέσης να προσδιορίσουμε την ταχύτητα του φωτός

$$c = \lambda \cdot f \qquad (3)$$

<u>Βήμα 1ο</u>

Τοποθετούμε στη θέση του το φράγμα περίθλασης, ανοίγουμε το laser με τη βοήθεια μετροταινίας ή ηλεκτρονικού μετρητή laser, μετράμε την απόσταση φράγματος – τοίχου

L=………

Με τη βοήθεια ενός χάρακα μετράμε την απόσταση ανάμεσα στις δύο κουκίδες δεξιά και αριστερά της κεντρικής κουκίδας περίθλασης.

2x=………

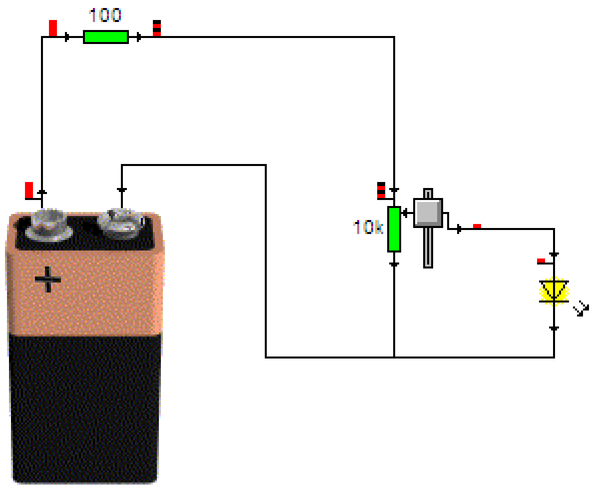
Από τη σχέση (1) υπολογίζουμε το μήκος κύματος της δέσμης laser

$\lambda_{πειρ}$ = ……………

Αν ο κατασκευαστής μας πληροφορεί ότι η δέσμη laser έχει μήκος κύματος λ=630nm βρείτε το % σφάλμα της μέτρησής σας. Αναφέρατε μερικές αιτίες στις οποίες οφείλεται το σφάλμα μέτρησης

<u>Βήμα 2ο</u>

Αν δεν έχετε έτοιμη τη διάταξη, βγάλτε τις μπαταρίες του laser. Συνδέστε τα άκρα μπαταρίας 4,5V τα άκρα ποντεσιόμετρου1ΚΩ. Τροφοδοτείστε το laser με κορκοδειλάκια παίρνοντας τάση από το ένα άκρο του ποντεσιόμετρου και τον δρομέα. Έτσι δημιουργείτε έναν διαιρέτη τάσης που με τη μετακίνηση του δρομέα του ποντεσιόμετρου μπορείτε να αλλάζετε την τάση τροφοδοσίας του laser. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε και μπαταρία των 9V αρκεί να βάλετε σε σειρά με την μπαταρία αντίσταση προστασίας των 100Ω. Συνδέστε ένα βολτόμετρο στα άκρα της τροφοδοσίας του laser ώστε να μπορείτε ανά πάσα στιγμή να μετράτε την τάση τροφοδοσίας του.



<u>Βήμα 3ο</u>

Με τη βοήθεια του ποντεσιόμετρου ελαττώστε σιγά-σιγά την τάση τροφοδοσίας του laser μέχρις ότου διαπιστώσετε ότι δεν εκπέμπεται η δέσμη. Μετρήστε αυτή την τάση

Vmin=………………

Με τη βοήθεια της σχέσης (2) βρείτε τη συχνότητα της δέσμης

f = …………………………

με τη βοήθεια της σχέσης (3) προσδιορίστε την ταχύτητα του φωτός

<u>Βήμα 4ο</u>

Αν είναι γνωστό ότι c=300.000Km/s βρείτε το % σφάλμα της μέτρησής σας.
Αναφέρατε μερικά αίτια του σφάλματος

<u>Ενδεικτικές μετρήσεις:</u>

a=0,2mm, 2x=4.3cm L= 6,57m V=1,80V

Δεδομένα :	$e\|=1,6*10^{-19}$ C ,	$h=6.626*10^{-34}$Js
Οπότε	λ = 654nm	f = $0,435\ 10^{15}$ Hz
Και	c= $2,85\ 10^{8}$ m/s	σφάλμα 5%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Το ιστορικό της μέτρησης της ταχύτητας του φωτός

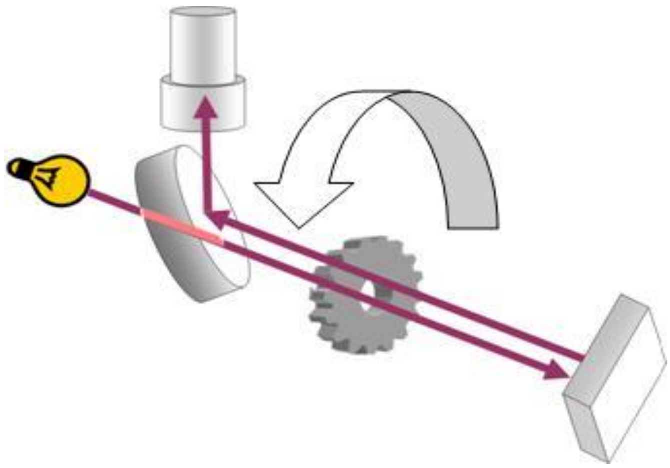
Ο πρώτος που επιχείρησε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός, ήταν ο παππούς της φυσικής (πατέρας θεωρείται ο Νεύτωνας) ο Γαλιλαίος, ο άνθρωπος που θεμελίωσε την πειραματική φυσική. Η βασική ιδέα ήταν η εξής. Κάποιο βράδυ, σε έναν λόφο τοποθέτησε ένα φανάρι με κάλυμμα. Στον απέναντι λόφο βρισκόταν κάποιος βοηθός του που είχε και αυτός ένα φανάρι με κάλυμμα. Ο βοηθός είχε την εντολή, όταν δει φως από το φανάρι του Γαλιλαίου, αμέσως να αφαιρέσει το κάλυμμα από το δικό του. Έτσι με τη βοήθεια μιας διάταξης που μετράει το χρόνο (μια τέτοια διάταξη θα μπορούσε να είναι μία φιάλη με νερό που στο κάτω μέρος έχει μία τρύπα . Ανοίγοντας την τρύπα φεύγει το νερό. Όσο περισσότερο νερό έχει φύγει τόσο περισσότερος χρόνος έχει περάσει. Άρα μετρώντας το νερό που μένει στη φιάλη μπορούμε να εκτιμήσουμε το χρόνο που πέρασε). Ο Γαλιλαίος ξεκινούσε τη μέτρηση του χρόνου και ταυτόχρονα έβγαζε το κάλυμμα από το φανάρι του. Σταματούσε τη μέτρηση (έκλεινε την οπή της φιάλης) όταν έβλεπε φως από τον απέναντι λόφο. Έτσι μετρώντας το χρόνο και την απόσταση ανάμεσα στους δύο λόφους, μπορούσε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός. Η μεθοδολογία απέτυχε παταγωδώς, αφού η ταχύτητα του φωτός είναι ως γνωστό 300.000Km/s με αποτέλεσμα αν υποθέσουμε ότι οι δύο λόφοι απέχουν 5Km, το φως για να πάει και να έρθει απαιτείται χρόνος 1/30000s απειροελάχιστος χρόνος που ούτε το χρονόμετρο αλλά ούτε και τα αντανακλαστικά των πειραματιστών ήταν ικανά να μετρήσουν.

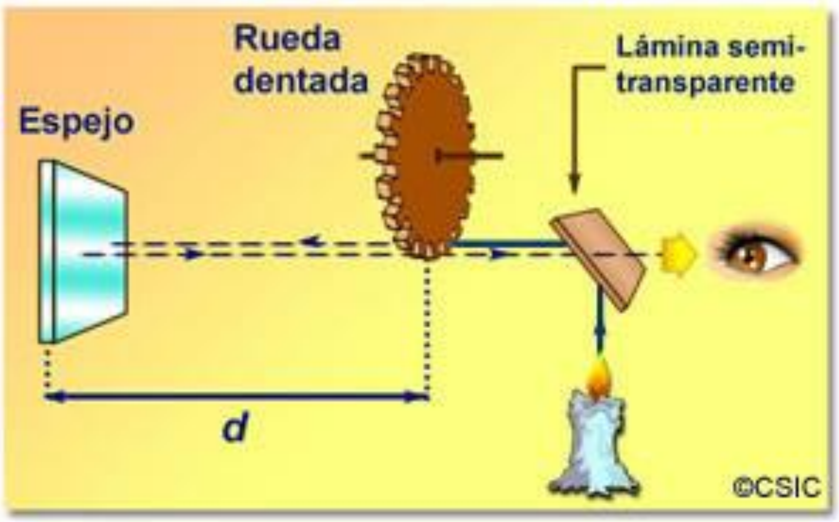
Η δεύτερη σοβαρή προσπάθεια έγινε από τον αστρονόμο Ρόμερ ο οποίος παρατήρησε ότι η περίοδος του δορυφόρου Ιούς γύρω από τον Δία δεν ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους. Τη διαφορά την απέδωσε ορθώς στην πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός και στην κίνηση της Γης. Όταν η Γη πλησιάζει τον Δία, η περίοδος που μετράμε είναι μικρή, ενώ μετά από 6 μήνες που η Γη απομακρύνεται από τον Δία η περίοδος γίνεται μεγαλύτερη. Το φαινόμενο αυτό θα μελετηθεί πιο αναλυτικά αργότερα από τον Ντόπλερ και θα πάρει και το όνομά του, φαινόμενο Ντόπλερ, κακώς ίσως. Πολλές αναφορές, ακόμη και πανεπιστημιακές, δίνουν μία διαφορετική ερμηνεία στο φαινόμενο. Αναφέρουν ότι η διαφορά στη μέτρηση της περιόδου της Ιούς οφείλεται στο γεγονός ότι το φως όταν η Γη είναι κοντά στο Δία χρειάζεται λιγότερο χρόνο να καλύψει την απόσταση, από ότι όταν μετά από 6 μήνες η Γη είναι σε μακρύτερη απόσταση, οπότε χρειάζεται να καλύψει επιπλέον και τη διάμετρο της τροχιάς της Γης. Η ερμηνεία αυτή είναι λανθασμένη. Η μεταβολή της περιόδου της Ιούς δεν οφείλεται στην διαφορετική απόσταση της Γης από το Δία, αλλά στη σχετική ταχύτητα των δύο πλανητών που άλλοτε πλησιάζουν και άλλοτε απομακρύνονται.

Ένα σχετικό άρθρο στη διεύθυνση: http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/6_artra/67_Romer.doc

Η μέτρηση του Ρόμερ δεν ήταν τόσο ακριβής αφού δεν μπορούσε να μετρήσει με μεγάλη ακρίβεια το χρόνο.

Με αρκετά μεγάλη ακρίβεια μετρήθηκε η ταχύτητα του φωτός στον αέρα και σε διάφορα μέσα όπως στο νερό από τον Φιζώ το 1846 με έναν πολύ έξυπνο τρόπο. Ο Φιζώ χρησιμοποίησε έναν οδοντωτό τροχό ο οποίος περιστρεφόταν με γνωστή γωνιακή ταχύτητα ελεγχόμενη με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Το φως περνούσε από το διάκενο ανάμεσα σε δύο δόντια του τροχού, χτύπαγε σε έναν καθρέπτη και επέστεφε στον τροχό. Εν τω μεταξύ ο τροχός είχε στραφεί, αλλά το φως δεν περνούσε αφού έπεφτε πάνω στο αμέσως επόμενο μετά το διάκενο δοντάκι. Αυξάνοντας σιγά – σιγά την περιστροφή του τροχού, το φως σε κάποια στιγμή περνούσε από το επόμενο κενό ανάμεσα στα δύο δοντάκια. Γνωρίζοντας την απόσταση τροχού-καθρέπτη, τον αριθμό από δοντάκια του τροχού, τη διάμετρο του τροχού καθώς και τη μικρότερη γωνιακή ταχύτητα για την οποία έβλεπε να περνάει το φως, μπόρεσε και βρήκε την ταχύτητα του φωτός.





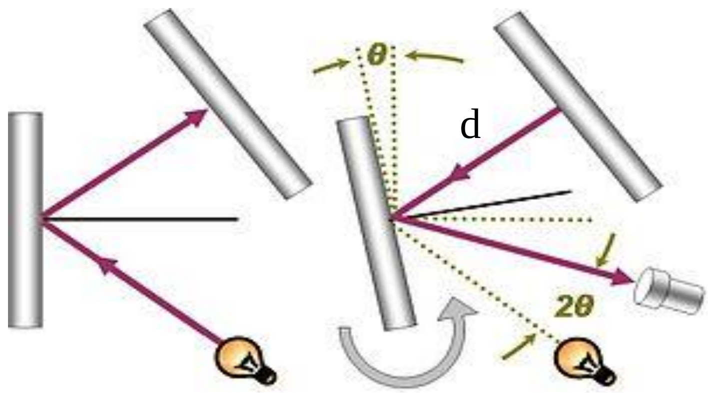
Μια σχηματική πειραματική διάταξη του Φιζώ.

Αυξάνοντας σιγά – σιγά τη γωνιακή ταχύτητα του δίσκου για κάποια τιμή (έστω ω) θα δούμε για πρώτη φορά φως. Αυτό συμβαίνει γιατί στο χρόνο που έκανε το φως να διανύσει την απόσταση 2d στον ίδιο χρόνο ο τροχός στράφηκε κατά ένα δοντάκι. Αν ο τροχός έχει N δοντάκια, το ένα δοντάκι αντιστοιχεί σε στροφή N/2π. Οπότε από την ισότητα των χρόνων $t_1=t_2$ θα έχουμε:
$2d/c=\varphi/\omega \rightarrow 2d/c=N/2\pi\omega \rightarrow c=4\pi d\omega/N$

Ο Φουκώ μετά από έναν χρόνο χρησιμοποιώντας μία βελτιωμένη διάταξη η οποία αντί για περιστρεφόμενο τροχό χρησιμοποίησε περιστρεφόμενο καθρέπτη και αντί να περιστρέφεται με μεταβλητή συχνότητα περιστρεφόταν με σταθερή συχνότητα, μέτρησε την ταχύτητα του φωτός με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αλλάζοντας σιγά – σιγά τη γωνία παρατήρησης, βρήκε την πρώτη γωνία (2θ στο σχήμα) για την οποία έβλεπε να έρχεται φως. Γνωρίζοντας και τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του καθρέφτη καθώς και την απόσταση d μεταξύ των δύο καθρεφτών, προσδιόρισε την ταχύτητα του φωτός.

Πράγματι όσο χρόνο κάνει το φως να διανύσει την απόσταση 2d τόσο χρόνο κάνει και για να στραφεί ο καθρέφτης κατά γωνία θ άρα:

$$t_1 = t_2 \rightarrow \frac{\theta}{\omega} = \frac{2d}{c} \rightarrow c = \frac{2d\omega}{\theta}$$



Μια σχηματική πειραματική διάταξη του Φουκώ.

Ένας πίνακας μέτρησης ταχύτητας του φωτός.

ΗΜΕ	Επιστήμονας	Μέθοδος	Τιμή (km/s)
1849	Fizeau	Περιστρεφόμενος οδοντωτός τροχός	313 ± 5
1850	Foucault	Περιστρεφόμενος καθρέπτης	298 ± 2
1875	Cornu	Περιστρεφόμενος καθρέπτης	300,0 ± 0,2
1880	Michelson	Περιστρεφόμενος καθρέπτης	299,9 ± 0,15
1883	Newcomb	Περιστρεφόμενος καθρέπτης	299,86 ± 0,03
1928	Mittelstaedt	Με φωτογραφικό κλείστρο που βασίζεται στο φαινόμενο Kerr	299,78 ± 0,01
1932	Pease and Pearson	Περιστρεφόμενος καθρέπτης	299,774 ± 0,002
1940	Huttel	Με φωτογραφικό κλείστρο που βασίζεται στο φαινόμενο Kerr	299,768 ± 0,001
1951	Bergstrand	Με φωτογραφικό κλείστρο που βασίζεται στο φαινόμενο Kerr	299,7931 ± 0,0003

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Η θεωρητική σημασία της μέτρησης

Η ιστορία του φωτός είναι ίσως η συναρπαστικότερη ιστορία της φυσικής, αφού δημιούργησε τις μεγαλύτερες εκπλήξεις με την εμπλοκή των μεγαλύτερων φυσικών όλων των εποχών. Την ιστορία θα την αρχίσουμε αρκετά πρόσφατα από τη διαμάχη μεταξύ του Άγγλου Νεύτωνα 1643-1727 και του Ολλανδού Χόυχενς 1629-1695. Ο πρώτος θεωρούσε ότι το φως αποτελείται από μικρά ελαστηρικά σφαιρίδια (σωματιδιακή θεωρία του φωτός) ενώ ο δεύτερος ότι πρόκειται για τη διάδοση διαταραχών σε κάποιο ελαστικό μέσο (κυματική θεωρία του φωτός). Το πρώτο περίεργο της ιστορίας του φωτός είναι ότι και οι δύο θεωρίες κατέληγαν στον ίδιο τύπο για τη διάθλαση του φωτός, στον γνωστό ως τύπο του Σνέλ.

$$\frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\beta} = \sigma\tau\alpha\theta$$

Όπου α η γωνία πρόσπτωσης και β η γωνία διάθλασης.

η διαφορά ήταν ότι η σταθερά αυτή αν ήταν σωστή η θεωρία του Χόυχενς ήταν ίση με u1/u2 όπου u1 η ταχύτητα του φωτός στο πρώτο μέσο και u2 η ταχύτητα του φωτός στο δεύτερο μέσο. Αντιθέτως αν ήταν σωστή η θεωρία του Νεύτωνα, η σταθερά αποδεικνύονταν ότι θα έπρεπε να ήταν ακριβώς η αντίστροφη, δηλαδή u2/u1. Με άλλα λόγια, αν είχε δίκιο ο Χόυχενς, θα έπρεπε το φως να τρέχει πιο γρήγορα στον αέρα από ότι στο νερό, αφού όταν πηγαίνει από τον αέρα στο νερό, η ακτίνα του φωτός πλησιάζει την κάθετο, οπότε α>β άρα ημα>ημβ οπότε u1>u2. Το ακριβώς ανάποδο θα έπρεπε να συμβαίνει αν ήταν σωστή η θεωρία του Νεύτωνα. Δηλαδή τότε το φως θα έπρεπε να τρέχει πιο γρήγορα στο νερό από ότι στο αέρα. Άρα δεν χρειαζόταν παρά να μετρήσουμε την ταχύτητα του φωτός στα δύο μέσα για να συμπεράνουμε ποιος από τους δύο μεγάλους φυσικούς είχε δίκιο. Αυτό το πείραμα έγινε αρκετά αργότερα σχεδόν ταυτόχρονα από τους Γάλλους Φιζώ 1819-1896 και Φουκώ 1819-1868.

Έτσι μετά από 200 περίπου χρόνια δικαιώθηκε ο Χόυχενς αφού για αρκετά χρόνια κανείς δεν τολμούσε να αμφισβητήσει την αυθεντία του Νεύτωνα. Με τη διατύπωση των νόμων του ηλεκτρομαγνητισμού από τον Μάξγουελ το 1850, ήταν σχεδόν βέβαιο για 50 τουλάχιστον χρόνια μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ότι η σωστή θεωρία ήταν η κυματική και όχι η σωματιδιακή. Στις αρχές όμως του 20^{ου} αιώνα ο Νεύτωνας πήρε την εκδίκησή του. Ανακαλύφτηκαν 3 φαινόμενα, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος (Πλάνκ), το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Αιστάιν) και το φαινόμενο Κόμτον, τα οποία παραδόξως εξηγούντο με την παλιά ξεχασμένη σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα και όχι με την καθιερωμένη κυματική. Αυτό έφερε μία τεράστια αναστάτωση στη φυσική, αφού για να εξηγήσουμε τα φαινόμενα του φωτός άλλοτε έπρεπε να επικαλεστούμε τη σωματιδιακή θεωρία και άλλοτε την κυματική. Τελικά τι είναι το φως; Σώμα ή κύμα; Αυτή η ερώτηση λύθηκε με τον καλύτερο αλλά και τον πιο δραματικό τρόπο. Η λύση ήταν η διατύπωση μιας νέας θεωρίας για τη φυσική, της κβαντομηχανικής θεωρίας, στα πλαίσια της οποίας ένα τέτοιο ερώτημα δεν έχει νόημα.

Το φως και η μέτρηση της ταχύτητας του, ήταν και η αιτία της ανάπτυξης της δεύτερης μεγάλης θεωρίας της σύγχρονης φυσικής της θεωρίας της σχετικότητας. Για τη κβαντομηχανική κανένας δεν μπορεί να ισχυριστεί ότι ήταν ο δημιουργός της αλλά αρκετοί συνέβαλαν στην τελική διατύπωσή της. Οι Πλάνκ, Σνέντιγκερ, Χάιζεμπεργκ, Μπορ, Μπόρν, Φέρμι, Ντιράκ, Αιστάιν ήταν οι σπουδαιότεροι θεμελιωτές της. Η θεωρία σχετικότητας όμως αναμφισβήτητα είναι έργο ενός ανθρώπου. Και αυτός δεν είναι άλλος από τον Αιστάιν. Το πείραμα που δεν μπορούσε να ερμηνεύσει η κλασσική φυσική ήταν αυτό του Μάικελσον- Μόρλεϋ. Οι δύο αυτοί επιστήμονες μπόρεσαν και μέτρησαν την ταχύτητα του φωτός με πολύ μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας μια βελτιωμένη έκδοση της μεθοδολογίας του Φουκώ σε συνδυασμό με το φαινόμενο της συμβολής. Οι επιστήμονες αυτοί μέτρησαν την ταχύτητα του φωτός στο ίδιο εργαστήριο με διαφορά έξι μηνών. Περίμεναν να βρουν διαφορετικό αποτέλεσμα αφού μετά από 6 μήνες η ταχύτητας της Γης αντιστρέφεται. Παρόλα αυτά δεν βρέθηκε καμία απολύτως διαφορά. Με άλλα λόγια η ταχύτητα του φωτός βρέθηκε σταθερή και ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς από την οποία την μετράμε. Αυτό που δεν μπόρεσε να ερμηνεύσει η κλασσική μηχανική ο Αιστάιν ως άλλος Αλέξανδρος που αντί να λύσει τον γόρδιο δεσμό τον έκοψε, έτσι και αυτός, αντί να ερμηνεύσει αυτό το παράδοξο, το ανήγαγε σε αξίωμα. Με αυτό το αξίωμα, ότι δηλαδή η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς και με ένα δεύτερο αξίωμα σχεδόν προφανές, ότι όλοι οι φυσικοί νόμοι πρέπει να είναι οι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, δημιούργησε μία νέα φυσική, την ειδική θεωρία σχετικότητας. Η φυσική αυτή άλλαξε ολοσχερώς την έννοια του χώρου και του χρόνου. Επεκτείνοντας το δεύτερο αξίωμα ότι οι φυσικοί νόμοι θα πρέπει να είναι ίδιοι όχι μόνο στα αδρανειακά συστήματα αλλά και στα μη αδρανειακά συστήματα, δημιούργησε τη γενική θεωρία σχετικότητας τη δεύτερη μεγάλη κολώνα που μαζί με την κβαντομηχανική στηρίζουν το οικοδόμημα της σύγχρονης φυσικής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

$1^{Η}$ ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ

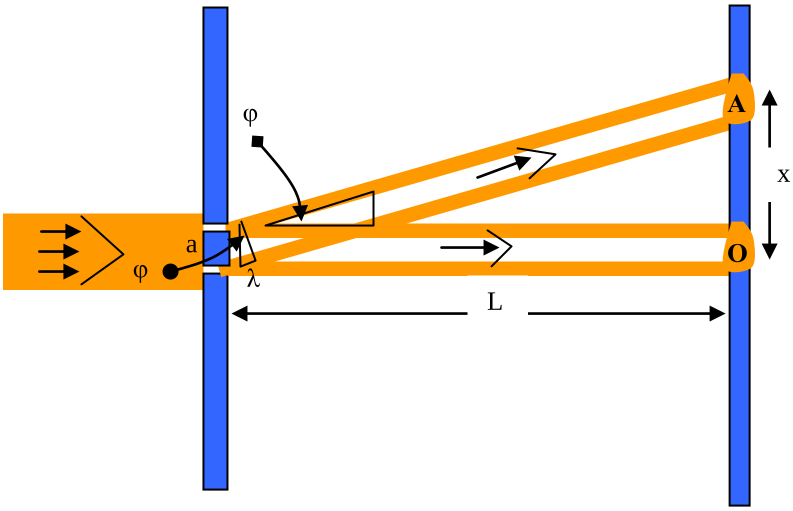
Στο παρακάτω σχήμα μια μονοχρωματική δέσμη φωτός (ακτίνα laser) πέφτει σε ένα φράγμα που έχει δύο οπές που απέχουν απόσταση α. Τότε απέναντι από το φράγμα θα δούμε μια σειρά από φωτεινές κηλίδες. Η κεντρική κηλίδα Ο απέχει από την αμέσως επόμενη απόσταση x. Η απόσταση ανάμεσα στο φράγμα και στο πέτασμα είναι L.

Η διαφορά των δρόμων δύο ακτίνων που πέφτουν στο Α πρέπει να είναι λ (ένα μήκος κύματος) ώστε στο Α να έχουμε την πρώτη ενισχυτική συμβολή. Από την ισότητα των δύο γωνιών (οι γωνίες είναι ίσες γιατί έχουν τις πλευρές τους ανά δύο κάθετες) στα δύο τρίγωνα που έχουμε σημειώσει έχουμε

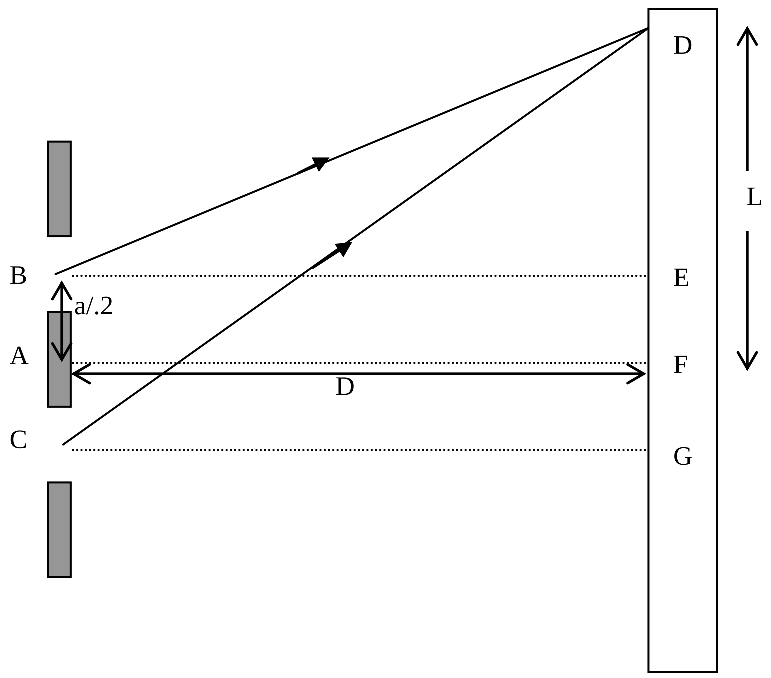
$\varepsilon\phi\phi = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{L}}$ ΚΑΙ $\eta\mu\phi = \frac{\lambda}{a}$

Επειδή η γωνία φ είναι πολύ μικρή μπορούμε με καλή προσέγγιση να θεωρήσουμε ότι εφφ ≈ ημφ

Οπότε $\frac{x}{L} = \frac{\lambda}{\alpha} \rightarrow \lambda = \frac{x \cdot a}{\mathrm{L}}$



$2^Η$ ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΠΙΟ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ



Ο πρώτος κροσσός ενίσχυσης θα δημιουργηθεί εκεί που
CD-BD=λ   συνθήκη ενισχυτικής συμβολής

Άρα $\sqrt{(CG)^2+(GD)^2}-\sqrt{(BE)^2+(ED)^2}=\lambda \rightarrow \sqrt{D^2+(L+\frac{a}{2})^2}-\sqrt{D^2+(L-\frac{a}{2})^2}=\lambda$

Πολλαπλασιάζοντας αριθμητή και παρανομαστή με τη συζυγή παράσταση έχουμε:

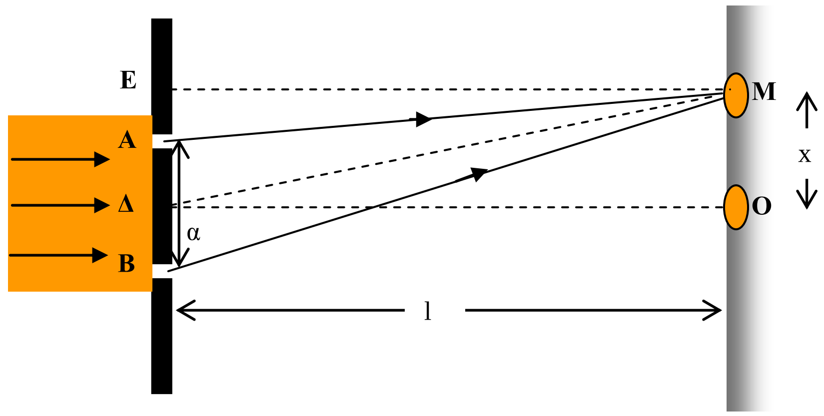
$$\frac{D^2+(L+\frac{a}{2})^2-D^2-(L-\frac{a}{2})^2}{\sqrt{D^2+(L+\frac{a}{2})^2}+\sqrt{D^2+(L-\frac{a}{2})^2}}=\lambda \rightarrow \lambda=\frac{2La}{\sqrt{D^2+(L+\frac{a}{2})^2}+\sqrt{D^2+(L-\frac{a}{2})^2}} \rightarrow$$

$$\lambda \cong \frac{La}{\sqrt{D^2+L^2}} \rightarrow \lambda \cong \frac{aL}{D}$$

Για τον υπολογισμό λάβαμε υπόψη ότι L>>a καθώς και ότι D>>L οπότε θα έχουμε:

$\sqrt{D^2+(L+\frac{a}{2})^2} \cong \mathrm{D}$ καθώς και $\sqrt{D^2+(L-\frac{a}{2})^2} \cong D$

3η ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ (Πρωτότυπη που βασίζεται στο 2ο θεώρημα των διαμέσων).



Εφαρμόζουμε το 2Ο θεώρημα των διαμέσων στο τρίγωνο ΑΒΜ και έχουμε:

$$(\mathrm{MB})^2 - (\mathrm{MA})^2 = 2(\mathrm{AB})(\Delta\mathrm{E}) \rightarrow [(\mathrm{MB}) - (\mathrm{MA})] \cdot [(\mathrm{MB}) + (\mathrm{MA})] = 2(\mathrm{AB})(\Delta\mathrm{E})$$

Επειδή ΟΜ<<ΟΔ θα έχουμε

$$\mathrm{MA} + \mathrm{MB} \approx 2(\mathrm{M}\Delta) \approx 2(\mathrm{O}\Delta)$$

Οπότε

$$\lambda \cdot (\Delta\mathrm{O}) \approx (\mathrm{AB}) \cdot (\Delta\mathrm{E}) \rightarrow \lambda = \frac{\alpha \cdot x}{L}$$

Το εκπληκτικό αυτό φαινόμενο της περίθλασης που αναδεικνύει την κυματική φύση του φωτός άργησε να ανακαλυφθεί για δύο λόγους.

1. Για να συμβεί θα πρέπει οι δύο πηγές να είναι σύγχρονες και σύμφωνες. Με άλλα λόγια να λαμβάνουν ταυτόχρονα το μέγιστο και το ελάχιστο και τα μέγιστα και ελάχιστα να είναι και ίσα. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο αν η ίδια πηγή περνώντας από δύο σχισμές διασπαστεί σε δύο πηγές. Δεν μπορεί να συμβεί για δύο ανεξάρτητες πηγές φωτός.
2. Επειδή το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι πολύ μικρό (400 – 700 nm) για να προκύψει μια μετρήσιμη τιμή για το x θα πρέπει το α να είναι πολύ μικρό. Άρα το φαινόμενο εμφανίζεται μόνο όταν η απόσταση των δύο σχισμών είναι πάρα πολύ μικρή.

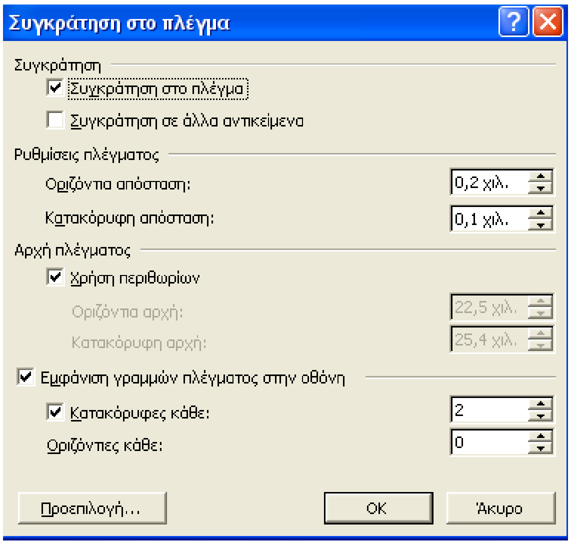
Το φαινόμενο εμφανίζεται εντονότερα όταν αντί για δύο σχισμές έχουμε πολύ περισσότερες στις ίδιες πάντα μεταξύ τους αποστάσεις. Τότε το φράγμα αυτό λέγεται φράγμα περίθλασης. Ένα φράγμα περίθλασης είναι ένα γραμμένο CD αφού λόγω της γραφής του, δημιουργούνται μια σειρά από οπές σε περίπου ίσες αποστάσεις οι οποίες δεν αντανακλούν το φως ενώ τα κενά μεταξύ των οπών αντανακλούν το φως.

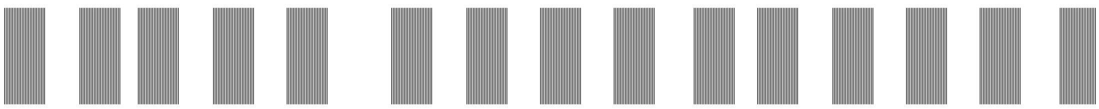
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Τρόπος κατασκευής φράγματος

Μπορούμε πολύ εύκολα να κατασκευάσουμε ένα φράγμα περίθλασης.
Η λεπτότερη γραμμή που μπορούμε να χαράξουμε στο Word είναι ¼ της στιγμής. Επειδή 1638 στιγμές είναι 55,87 cm η μία στιγμή είναι 0,341 mm. Άρα η πιο λεπτή γραμμή που μπορούμε να χαράξουμε είναι 0,08527 mm
Από την άλλη η μικρότερη μετατόπιση στο πλέγμα είναι 0,1mm. Τσεκάρουμε συγκράτηση στο πλέγμα και οριζόντια μετατόπιση 0,2mm και αυτό γιατί αν επιλέξουμε 0,1mm δεν μπορεί να εκτυπωθούν τα κενά από έναν συμβατικό εκτυπωτή.

Αφού χαράξουμε αρκετές γραμμές εκτυπώνουμε το παρακάτω σχήμα σε μια διαφάνεια με έναν καλό εκτυπωτή στη μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση. Έτσι έχουμε φτιάξει ένα φράγμα περίθλασης.





Ένα έτοιμο φράγμα περίθλασης

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ