



# ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

## ΦΥΣΙΚΗ

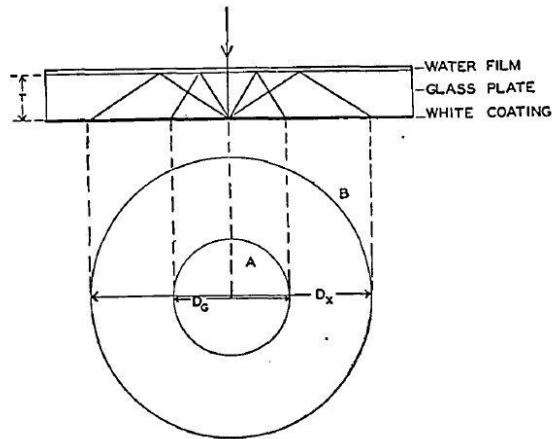


FIG. 1.

27 Ιανουαρίου 2018

ΛΥΚΕΙΟ: .....

- ΟΜΑΔΑ ΜΑΘΗΤΩΝ: 1. ....  
2. ....  
3. ....

ΜΟΝΑΔΕΣ:

## Μέτρηση του δείκτη διάθλασης γυαλιού

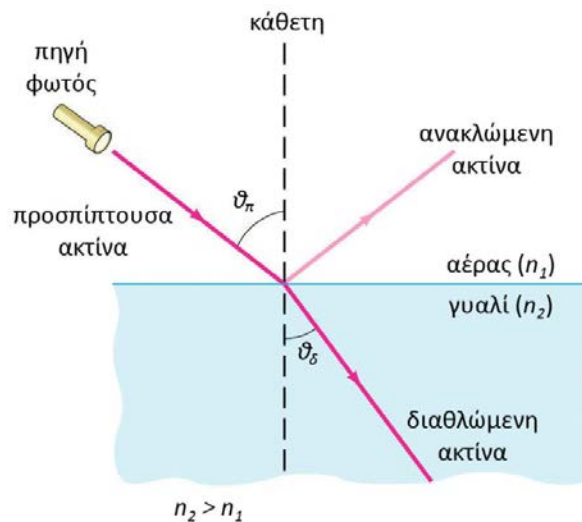
### Στοιχεία Θεωρίας

Η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη έχει ως αποτέλεσμα -εκτός των άλλων- τη μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσής του. Μέτρο της μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης ( $c$ ) του φωτός σε κάποιο μέσο σε σχέση με την ταχύτητα διάδοσής του στο κενό ( $c_0$ ) αποτελεί ο δείκτης διάθλασης του υλικού, που ορίζεται ως:

$$n = \frac{c_0}{c}$$

Μεταξύ δύο οπτικών μέσων αυτό με το **μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης** χαρακτηρίζεται ως **οπτικά πυκνότερο**, ενώ το μέσο με το **μικρότερο δείκτη διάθλασης** χαρακτηρίζεται ως **οπτικά αραιότερο**.

Όταν το φως διέρχεται από ένα οπτικό μέσο σε κάποιο άλλο, λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα διάδοσης, εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία του.



Το φαινόμενο που ονομάζεται **διάθλαση**, μαθηματικά περιγράφεται από το **νόμο του Snell**, ο οποίος έχει τη μορφή:

$$n_1 \cdot \eta\mu\theta_\pi = n_2 \cdot \eta\mu\theta_\delta$$

όπου  $\theta_\pi$  και  $\theta_\delta$  οι γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης αντίστοιχα, και  $n_1$ ,  $n_2$  οι αντίστοιχοι δείκτες διάθλασης.

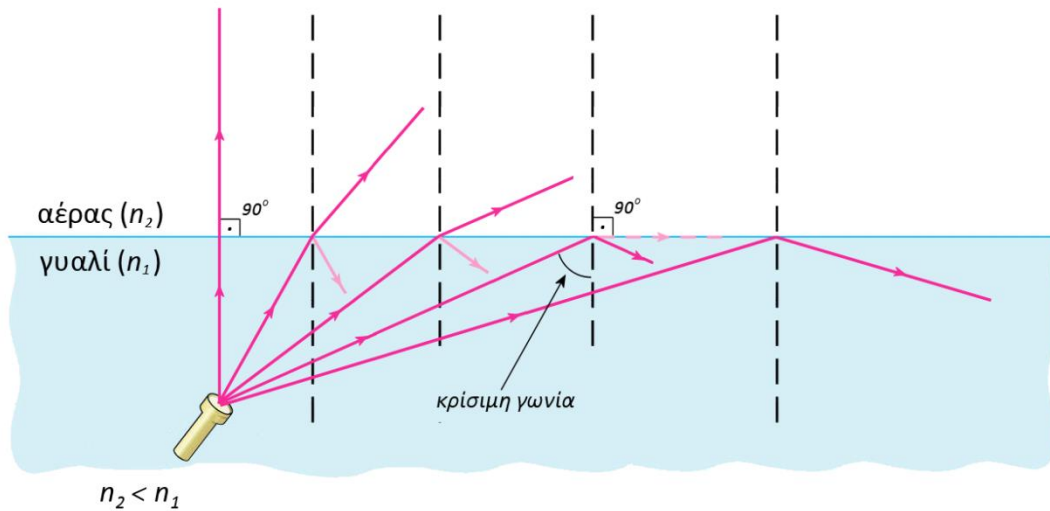
Είναι φανερό πως αν το φως πέφτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων ( $\theta_\pi = 0$ ), τότε θα είναι και  $\theta_\delta = 0$ , δηλ. στην περίπτωση αυτή το φως δεν εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία του.

Επιπλέον, με βάση το νόμο του Snell εύκολα διαπιστώνει κανείς πως το φως απομακρύνεται από την κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης όταν μεταβαίνει από οπτικά πυκνότερο σε οπτικά αραιότερο μέσο, δηλ.:

$$\theta_\delta > \theta_\pi \text{ όταν } n_1 > n_2$$

Στην περίπτωση αυτή, καθώς η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται αντίστοιχα αυξάνεται και η γωνία διάθλασης (δες και την επόμενη εικόνα). Όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνει ίση με μια τιμή γνωστή ως **κρίσιμη γωνία** τότε η γωνία διάθλασης θα έπρεπε να γίνει ίση με  $90^\circ$ . Στην περίπτωση αυτή, αλλά και σε

όλες τις περιπτώσεις που η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία, το φως καθόλου δεν εξέρχεται στο οπτικά αραιότερο μέσο, αλλά εξ' ολοκλήρου ανακλάται και επιστρέφει στο αρχικό και οπτικά πυκνότερο μέσο διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ολική εσωτερική ανάκλαση**.

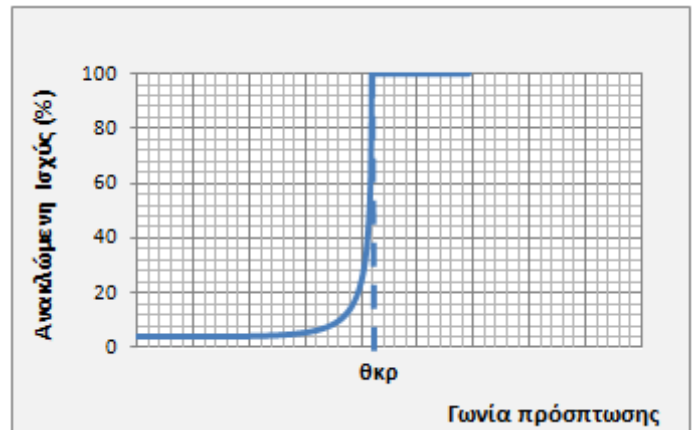


Στην περίπτωση που το οπτικά αραιότερο μέσο είναι ο αέρας με δείκτη διάθλασης περίπου ίσο με 1, αποδεικνύεται με βάση το νόμο του Snell πως για την κρίσιμη γωνία ( $\theta_{κρ.}$ ) ισχύει:

$$n \mu \theta_{κρ.} = \frac{1}{n}$$

όπου  $n$  είναι ο δείκτης διάθλασης του οπτικά πυκνότερου μέσου.

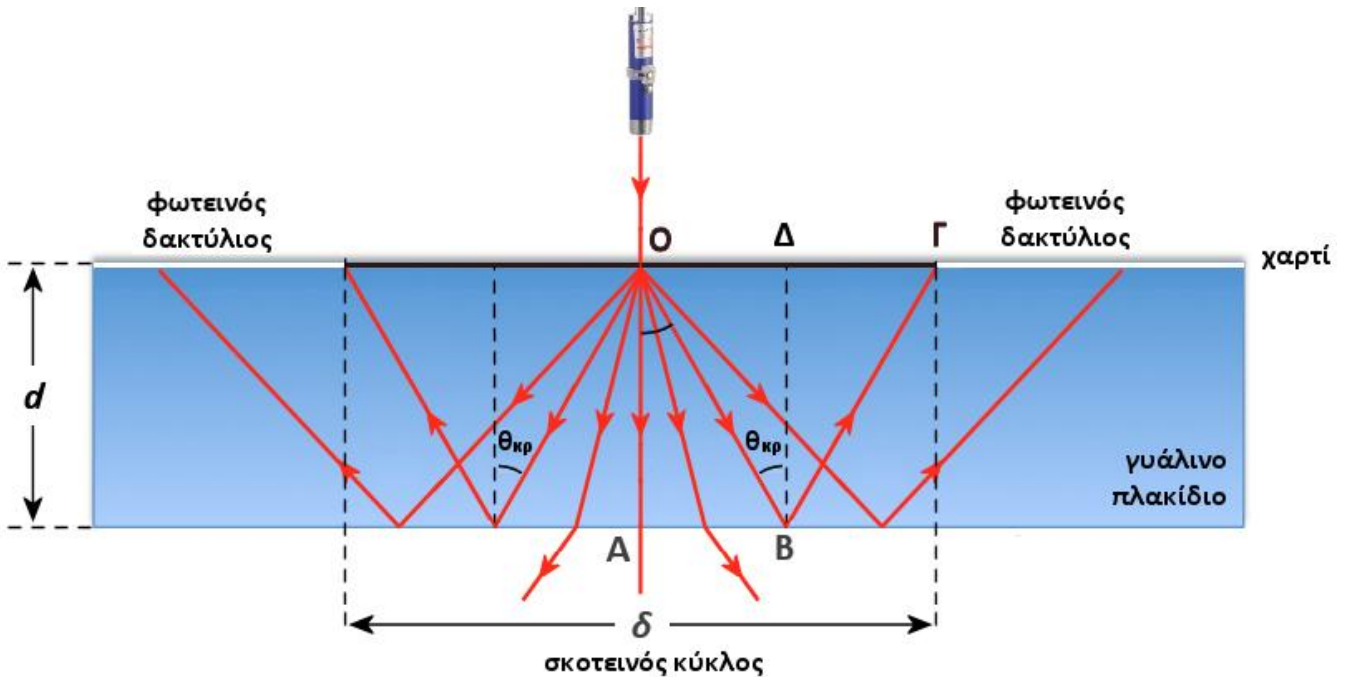
Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό πως όλες οι ακτίνες που προσπίπτουν με γωνία μικρότερη από την κρίσιμη γωνία εν μέρει διαθλώνται και εν μέρει ανακλώνται. Το ποσοστό της προσπίπτουσας ισχύος που ανακλάται εξαρτάται από τους δείκτες διάθλασης των δύο μέσων διάδοσης και τη γωνία πρόσπτωσης, και υπολογίζεται θεωρητικά μέσω των εξισώσεων **Fresnel**. Στην περίπτωση της διαχωριστικής επιφάνειας γυαλιού – αέρα, για γωνίες πρόσπτωσης μέχρι λίγο μικρότερες από την κρίσιμη, το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ισχύος διαθλάται και εξέρχεται στον αέρα, ενώ πολύ μικρό ποσοστό (της τάξης του 4%) ανακλάται, όπως φαίνεται και στο διπλανό διάγραμμα.



**Το διαθλασίμετρο Pfund**

«Το όργανο που πρόκειται να περιγραφεί βασίζεται σε τόσο στοιχειώδεις αρχές και είναι τόσο απλό στην κατασκευή του, που η καινοτομία του μπορεί να αμφισβητηθεί». Με τα λόγια αυτά ο **August Herman Pfund** ξεκινάει την περιγραφή του διαθλασίμετρου που εφηύρε το 1930.

Μια παραλλαγή της αρχικής διάταξης του Pfund είναι η διάταξη που θα χρησιμοποιήσετε στο σημερινό πείραμα. Αποτελείται από ένα γυάλινο πλακίδιο πάχους  $d$ , στην πάνω επιφάνειά του οποίου έχει προσκολληθεί ένα βρεγμένο κομμάτι χαρτιού. Στην πλευρά αυτή προσπίπτει κάθετα η λεπτή δέσμη ενός κόκκινου laser. Λόγω των ανωμαλιών του βρεγμένου χαρτιού το φως διαχέεται, εισέρχεται στο πλακίδιο διαδιδόμενο προς όλες τις κατευθύνσεις και προσπίπτει στην απέναντι (κάτω) επιφάνεια του πλακιδίου όπου συμβαίνει ανάκλαση και διάθλαση.



Οι ακτίνες που προσπίπτουν στην κάτω επιφάνεια του γυαλιού με γωνίες μικρότερες της κρίσιμης, κατά κύριο λόγο διαθλώνται και εξέρχονται από το γυαλί. Για γωνίες πρόσπτωσης ίσες με ή μεγαλύτερες από την κρίσιμη συμβαίνει ολική εσωτερική ανάκλαση και επιστροφή της ακτινοβολίας στην πάνω όψη της γυάλινης πλάκας όπου φωτίζει έντονα το σημείο του βρεγμένου χαρτί στο οποίο προσπίπτει. Το συνολικό φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό πάνω στο χαρτί ενός σκοτεινού κύκλου που περιβάλλεται από ένα φωτεινό κόκκινο δακτύλιο.

Στο ανωτέρω σχήμα η απόσταση ΟΓ ισούται με την ακτίνα του παρατηρούμενου σκοτεινού κύκλου, ενώ η φωτεινή ακτίνα ΒΓ είναι η ανακλώμενη της ακτίνας ΟΒ η οποία προσπίπτει στην κάτω επιφάνεια του γυάλινου πλακιδίου με γωνία ίση με την κρίσιμη. Συνεπώς με βάση το νόμο της ανάκλασης η γωνία ανάκλασης ( $\hat{\Delta}\hat{B}\hat{\Gamma}$ ) είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης ( $\hat{O}\hat{B}\hat{\Delta}$ ), ενώ το σημείο Γ στο οποίο η ακτίνα ΒΓ συναντάει το χαρτί είναι το πρώτο έντονα φωτεινό σημείο του κόκκινου δακτυλίου.

Η διάμετρος  $\delta$  του σκοτεινού κύκλου καθορίζεται από την τιμή της κρίσιμης γωνίας για τη διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού-αέρα. Αποδεικνύεται ότι:

$$\delta = \left( \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) d \quad (1)$$

όπου  $n$  είναι ο δείκτης διάθλασης του γυάλινου πλακιδίου. Από την εξίσωση (1) συμπεραίνουμε πως η γραφική παράσταση  $\delta = f(d)$  είναι ευθεία γραμμή με κλίση:

$$\lambda = \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad (2)$$

Θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (2) για να προσδιορίσουμε το δείκτη διάθλασης του γυαλιού.

### Πειραματική διάταξη

Σας δίνονται:

- Laser κόκκινου φωτός που φέρει ενσωματωμένο διακόπτη On-Off
- Σετ πέντε (5) γυάλινων πλακιδίων διαφορετικού πάχους
- Μεταλλική βάση στήριξης και ορθοστάτης

- Μεταλλικός σύνδεσμος
- Μεταλλική λαβίδα
- Διαστημόμετρο με βερνιέρο
- Μερικά κομμάτια μιλιμετρέ χαρτιού
- Πλαστικό (φελυζόλ) ποτήρι βαμμένο μαύρο στο εσωτερικό του
- Πλαστικό μπουκάλι με σταγονομετρικό στόμιο που περιέχει ποσότητα νερού
- Φύλλο μαύρου χαρτονιού

Με τη βοήθεια της μεταλλικής λαβίδας και του γωνιακού συνδέσμου το κόκκινο laser έχει στερεωθεί στον ορθοστάτη της βάσης στήριξης, ώστε η δέσμη του laser να κατευθύνεται κατακόρυφα και προς τα κάτω.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Το laser πρέπει να ανάψει μόνο κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Σε καμιά περίπτωση δε στρέφουμε το αναμμένο laser προς τους συμμετέχοντες στο διαγωνισμό.

### Πειραματική διαδικασία

Θα ξεκινήσετε την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιώντας το γυάλινο πλακίδιο μεγαλύτερου πάχους.

1. Με το διαστημόμετρο μετρήστε (σε **mm**) το πάχος **d** του γυάλινου πλακιδίου και σημειώστε την τιμή που μετρήσατε στο πρώτο κελί της δεύτερης στήλης του Πίνακα (1) και με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.
2. Τοποθετήστε το γυάλινο πλακίδιο πάνω στο ποτήρι. Ρίξτε μερικές σταγόνες νερό στο κέντρο του και απλώστε με το δάχτυλό σας το νερό ώστε να καλύψει όλη την επιφάνεια του γυαλιού σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα. Τοποθετήστε πάνω στη βρεγμένη επιφάνεια του πλακιδίου ένα κομμάτι μιλιμετρέ χαρτιού (με τη γράμμωση προς τα πάνω). Ρίξτε ακόμη μερικές σταγόνες νερού πάνω στο χαρτί και απλώστε τες, ενώ ταυτόχρονα πιέζετε ελαφρά το χαρτί πάνω στο γυαλί. Συνεχίστε μέχρι να διαβραχεί το χαρτί πλήρως και να «προσκολληθεί» στο γυάλινο πλακίδιο χωρίς να εγκλωβιστούν φυσαλίδες αέρα μεταξύ χαρτιού και γυαλιού. Πιθανώς να χρειαστεί να προσθέσετε και επιπλέον ποσότητα νερού κάτω από ή πάνω στο μιλιμετρέ χαρτί.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Η κάτω επιφάνεια του γυάλινου πλακιδίου πρέπει να είναι εντελώς στεγνή. Αν τυχόν βραχεί κατά την προηγούμενη διαδικασία, σκουπίστε καλά με απορροφητικό χαρτί που θα βρείτε στον κοινόχρηστο πάγκο.

3. Τοποθετήστε το πλαστικό ποτήρι με το γυάλινο πλακίδιο κάτω από το laser. Χαμηλώστε το laser ώστε να ακουμπήσει στο κέντρο περίπου του βρεγμένου μιλιμετρέ χαρτιού. Με το διακόπτη on-off που είναι προσαρμοσμένος στο laser, ανάψτε το laser και παρατηρήστε πάνω στο μιλιμετρέ χαρτί το σκοτεινό κύκλο που εμφανίζεται περιβαλλόμενος από ένα φωτεινό δακτύλιο. Μπορείτε να αυξήσετε την ευκρίνεια χρησιμοποιώντας το φύλλο του μαύρου χαρτονιού που σας δίνεται ή την παλάμη σας, ώστε να δημιουργήσετε συνθήκες «συσκότισης» γύρω από τη διάταξη.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Αν αντί για σκοτεινό κύκλο βλέπετε ένα φωτεινό κύκλο ή βλέπετε αρκετές σκοτεινές κηλίδες πάνω στο χαρτί αυτό σημαίνει ότι το μιλιμετρέ χαρτί δεν έχει διαβραχεί επαρκώς και η «προσκόλλησή» του στο γυαλί δεν είναι επιτυχής. Προσπαθήστε ξανά ρίχνοντας μια δυο σταγόνες νερού μεταξύ χαρτιού και γυαλιού ή πάνω στο μιλιμετρέ χαρτί.

4. Με τη βοήθεια του μιλιμετρέ χαρτιού **μετρήστε τη διάμετρο  $\delta$  του σκοτεινού κύκλου και σβήστε το laser**. Σημειώστε την τιμή της διαμέτρου (σε **mm**) που μετρήσατε στο πρώτο κελί της τρίτης στήλης στον Πίνακα (1) με ακρίβεια 0,5mm.

**Υπενθυμίζεται** πως η απόσταση μεταξύ δύο οποιωνδήποτε γραμμών στο μιλιμετρέ χαρτί ισούται με 1mm.

5. Ανασηκώστε τη μεταλλική λαβίδα με το laser, ώστε κατά την αφαίρεση του ποτηριού να μη σκιστεί

το μιλιμετρέ χαρτί, και επαναλάβετε τη διαδικασία (βήματα 1-4) και για τα υπόλοιπα γυάλινα πλακίδια σημειώνοντας τις τιμές που μετράτε στα κελιά των αντίστοιχων γραμμών του Πίνακα (1). Αν το μιλιμετρέ χαρτί κατά τη διαδικασία καταστραφεί, χρησιμοποιήστε ένα από τα άλλα που σας δίνονται.

**Πίνακας 1: Πειραματικά δεδομένα**

α/α	Πάχος πλακιδίου d (mm)	Διάμετρος σκοτεινού κύκλου δ (mm)
1		
2		
3		
4		
5		

### Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων

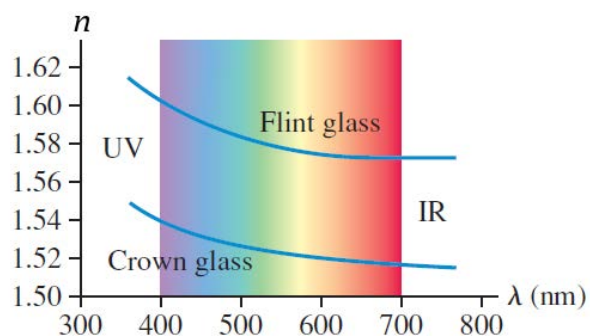
1. Στο φύλλο μιλιμετρέ που σας δόθηκε στο φυλλάδιο των θεμάτων, σχεδιάστε σύστημα ορθογωνίων αξόνων: πάχος πλακιδίου (  $d$  ) στον οριζόντιο άξονα και διάμετρος σκοτεινού κύκλου (  $\delta$  ) στον κατακόρυφο άξονα. Βαθμονομήστε τους άξονες, επιλέγοντας κατάλληλη κλίμακα με βάση τις τιμές του Πίνακα (1).
2. Τοποθετήστε στο σύστημα αξόνων τα πειραματικά σημεία (  $d, \delta$  ), σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα (1), και σχεδιάστε την ευθεία που προσεγγίζει καλύτερα το σύνολο των σημείων.
3. Η γραμμή που χαράξατε αντιστοιχεί στην πειραματική επαλήθευση της εξίσωσης (1). Υπολογίστε την κλίση (  $\lambda$  ) της πειραματικής ευθείας, και μέσω της εξίσωσης (2) υπολογίστε το δείκτη διάθλασης (  $n$  ) του γυαλιού. Να γράψετε το τελικό αποτέλεσμα με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων:

Ποιες είναι οι μονάδες της κλίσης στη γραφική παράσταση;

### Ερωτήσεις

1. Αν γνωρίζετε πως η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ίση με 300.000 km/s, να εκτιμήσετε την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το φως στο γυαλί.
2. Με βάση τις υποδείξεις της δεύτερης παραγράφου της σελίδας 4, να αποδείξετε τη σχέση (1).

3. Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου (εκτός του κενού) δεν είναι ο ίδιος για όλες τις ακτινοβολίες. Η επόμενη γραφική παράσταση δείχνει τη μεταβολή του δείκτη διάθλασης για δύο κοινούς τύπους γυαλιού σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Μελετώντας αυτή τη γραφική παράσταση να εξηγήσετε **ποιοτικά** ποια μεταβολή θα

παρατηρούσαμε στη διάμετρο του σκοτεινού κύκλου στην πειραματική μας διάταξη, αν αντί για laser κόκκινου χρώματος (με μήκος κύματος 650 nm) χρησιμοποιούσαμε πράσινο laser (με μήκος κύματος 532 nm).

4. Με βάση την πειραματική διαδικασία που ακολουθήσατε, ποια από τις δυο μετρήσεις:

A. Πάχος γυάλινου πλακιδίου

B. Διάμετρος σκοτεινού κύκλου

έχει πραγματοποιηθεί με τη μεγαλύτερη ακρίβεια;

Ποια από τις δύο αυτές μετρήσεις και γιατί επηρεάζει περισσότερο (αρνητικά) την ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης του γυαλιού; Μπορείτε να προτείνετε έναν τρόπο ώστε να μειωθεί αυτή η αρνητική επίδραση;

**Καλή επιτυχία !!!**