

NOMOS TOY SNELL

Ο νόμος του Σνέλ ακολουθεί την αρχή του ελαχίστου χρόνου (αρχή Φερμά) η οποία ακολουθεί την θεώρηση του φωτός ως κύματα.

Στην οπτική και στην φυσική ο **νόμος του Σνέλ (Snell)** (γνωστός και ως ο νόμος του Descartes ή ο νόμος του Snell-Descartes ή ως ο νόμος της διάθλασης) είναι μια μαθηματική σχέση που περιγράφει την σχέση της γωνίας πρόσπτωσης με την γωνία διάθλασης του φωτός σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων (π.χ. από αέρα-κενό σε νερό ή γυαλί). Στην επιστήμη της οπτικής ο νόμος αυτός χρησιμοποιείται για να βρούμε την τροχιά του φωτός που προσπίπτει ή διαθλάται σε μια επιφάνεια. Στην πειραματική οπτική και στην γεωμετρία ο νόμος αυτός χρησιμοποιείται για την εύρεση του δείκτη διάθλασης ενός υλικού.

Ο νόμος έχει πάρει το όνομα του Ολλανδού μαθηματικού *Willebrond Snellius*. Ο νόμος αναφέρει ότι ο λόγος n_1 / n_2 των δεικτών διάθλασης (ο δείκτης αυτός εξαρτάται από το μέσο) είναι ίσος με το λόγο των ταχυτήτων στα δύο μέσα αλλά αντιστρόφως ανάλογος των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης θ_1 και διάθλασης θ_2 .

$$\sin\theta_1 / \sin\theta_2 = v_1 / v_2 = n_1 / n_2$$

v = ταχύτητα, οι μονάδες μέτρησης στο SI είναι m/s.

n = δείκτης διάθλασης υλικού.

Γενικά **Διάθλαση** ονομάζεται το φυσικό φαινόμενο της εκτροπής της ευθύγραμμης τροχιάς διάδοσης που υφίστανται φωτεινά ή άλλα κύματα όταν διέρχονται από ένα διαπερατό από αυτά μέσον σε έτερο. Ιδιαίτερα, στην οπτική, **Διάθλαση φωτός** χαρακτηρίζεται κάθε οπτικό φαινόμενο της εκτροπής της διεύθυνσης των φωτεινών ακτινών κατά τη μετάβασή τους από ένα διαπερατό μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης σε άλλο μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης .

Η διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων ονομάζεται δίοπτρο. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα διάδοσης του φωτεινού κύματος και που εξαρτάται από το διαπερατό μέσο στο οποίο διαδίδεται το κύμα εξετάζει η Κυματική οπτική.

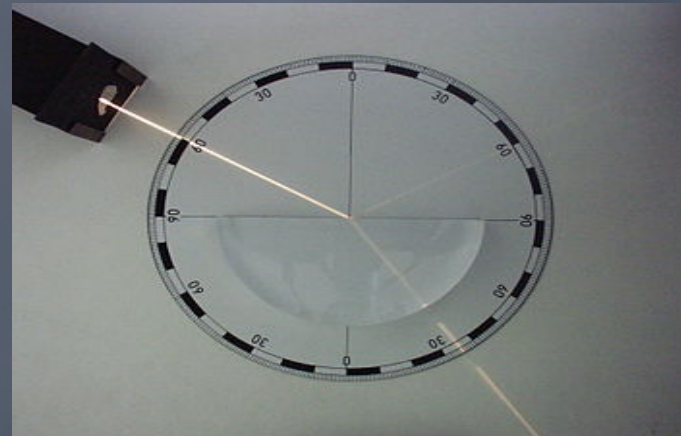
Αντίθετα τη μελέτη των γωνιών η Γεωμετρική οπτική. Η σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης με τη γωνία διάθλασης, ως προς την κάθετο, στη διαχωριστική επιφάνεια είναι γνωστή ως "Νόμος του Σνελ".

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

Για μικρές γωνίες είναι δυνατό να γίνει η προσέγγιση . Από αυτή την προσέγγιση προκύπτουν και τα γεωμετρικά σφάλματα φακών. Εκ των παραπάνω συνάγεται ότι στο "κενό" η πορεία των φωτεινών ακτινών παραμένει αμετάβλητη, όταν δεν εκτρέπεται από βαρυτικά πεδία, όπως επίσης αμετάβλητη παραμένει κατά την διάδοσή τους μέσα σε ισόπυκνο διαπερατό μέσο π.χ. νερό, γυαλί κ.λπ.

Στην περίπτωση που φωτεινές ακτίνες διερχόμενες από ένα μέσον πέσουν κάθετα στην επιφάνεια του άλλου, τότε η γωνία πρόσπτωσης είναι μηδενική με αποτέλεσμα και η γωνία διάθλασης να είναι και αυτή μηδενική π.χ. ακτίνες φωτός από τον αέρα προσπίπτουσες κάθετα σε νερό συνεχίζουν στην ίδια διεύθυνση. Και αυτό το γνωρίζουν πολύ καλά οι γλάροι όταν εφορμούν κάθετα στη λεία τους.

Διάθλαση φωτός ($\theta_1 = 60^\circ$).



Ορισμοί :

- Γωνία πρόσπτωσης χαρακτηρίζεται η σχηματιζόμενη γωνία από την διεύθυνση της ακτίνας με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσής της.
- Γωνία διάθλασης χαρακτηρίζεται η σχηματιζόμενη γωνία από την διαθλώμενη ακτίνα με την ίδια κάθετο του σημείου εισόδου στο διαπερατό μέσο. Όταν ακτίνες φωτός κινούνται από αραιότερο μέσον σε πυκνότερο η γωνία διάθλασης είναι πάντα μικρότερη της προσπίπτουσας. Το αντίθετο συμβαίνει από πυκνότερο σε αραιότερο μέσο.
- Επίπεδο διάθλασης χαρακτηρίζεται το επίπεδο που ορίζεται από τη προσπίπτουσα και ανακλώμενη ακτίνα.
- Κανονική διάθλαση ονομάζεται η εκτροπή μιας ακτίνας όταν περνάει από ένα μέσο σε άλλο που χωρίζονται μεταξύ τους από μια λεία επιφάνεια.

- Δείκτης διάθλασης (index of refraction) χαρακτηρίζεται το μέτρο της εκτροπής (ή κάμψης) που υφίσταται μια ακτίνα διερχόμενη από ένα διαπερατό μέσον σε άλλο. Ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας διάδοσης του φωτός "κενό" προς την ταχύτητα διάδοσης στο υπό εξέταση διαπερατό μέσο .

Ισχύει δηλαδή : $n = c / v$

Από τον παραπάνω ορισμό φαίνεται πως ο δείκτης διάθλασης του κενού ισούται με τη μονάδα. Έτσι, στην περίπτωση όπου έχουμε μετάδοση ακτινοβολίας από το κενό σε ένα οπτικό μέσο με δείκτη διάθλασης , ο τελευταίος μπορεί να οριστεί συναρτήσει των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης και αντίστοιχα: $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$

Κάθε διαπερατό σώμα (μέσον) έχει ιδιαίτερο δείκτη διάθλασης, που εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Στην ιδιότητα αυτή στηρίζονται πολλοί έλεγχοι τροφίμων π.χ. του βουτύρου, καθώς το αγνό βούτυρο έχει άλλο δείκτη από εκείνο του νοθευμένου, όπως συμβαίνει και με διάφορα λάδια κ.α. υγρά.

- Διπλή διάθλαση ονομάζεται το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο μια φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει σε ένα διαθλαστικό σώμα διασπάται σε δύο διαθλώμενες ακτίνες.

Η μία εκ των δύο αυτών ακτινών ονομάζεται *τακτική* και η άλλη *έκτακτη*.

Τέτοια διαθλαστικά διαπερατά σώματα, ονομαζόμενα και "διπλοθλαστικά", είναι όλοι οι κρύσταλλοι εκτός εκείνων που κρυσταλλούνται κατά το κυβικό κρυσταλλικό σύστημα.

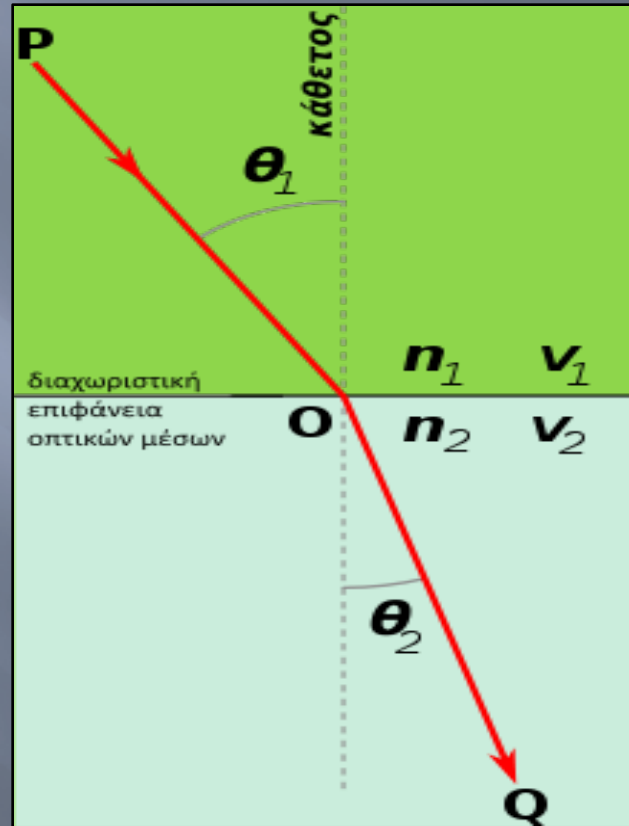
Το φαινόμενο αυτό πρωτοπαρατηρήθηκε στο λεγόμενο "ιρλανδικό κρύσταλλο" που πρόκειται για ένα καθαρό (χημικά) ανθρακικό ασβέστιο σε κρυσταλλική μορφή.

Η δια μέσου αυτού ανάγνωση ή παρατήρηση αντικειμένων, π.χ. γράμματα ή αντικείμενα παρουσιάζονται διπλά.

Νόμοι διάθλασης :

Από τα παραπάνω αναφερόμενα καταλήγουμε, σε απλούστερη και συνοπτική απόδοση, στους ακόλουθους νόμους:

1. Το "επίπεδο διάθλασης" είναι κάθετο στη "διαθλαστική επιφάνεια".
2. Το ημίτιο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτιο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό για δύο ορισμένα οπτικά μέσα, όπου και υφίσταται η σχέση: $\sin\alpha / \sin\beta = c$ (σταθερό).
3. "Απόλυτος δείκτης διάθλασης" ορισμένου μέσου για συγκεκριμένη ακτινοβολία και θερμοκρασία είναι το ημίτιο των ταχυτήτων διάδοσης του φωτός ανάμεσα στα δύο σώματα που συμβαίνει η διάθλαση.



Η διάθλαση του φωτός μεταξύ δύο οπτικών υλικών με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, με $n_2 > n_1$. Επειδή η ταχύτητα είναι μικρότερη στο δεύτερο μέσο ($v_2 < v_1$) η γωνία διάθλασης θ_2 είναι μικρότερη από την γωνία πρόσπτωσης θ_1 .

Σύμφωνα με την **αρχή του ελαχίστου χρόνου**, που είναι γνωστή και σαν **αρχή του Φερμά** (*Fermat principle*), το φως κατά τη διαδρομή του μέσα σε ένα μέσο από ένα σημείο A σε ένα σημείο B, ακολουθεί τον **οπτικό δρόμο** που θα του επιτρέψει να μεταβεί από το A στο B στο μικρότερο δυνατό χρόνο.

Εάν το **φως** διατρέξει σε **χρονικό διάστημα** Δt το **μήκος** d μέσα σε ένα **οπτικό μέσο** με **δείκτη διάθλασης** n , ($D=n*d$) τότε το γινόμενο ονομάζεται **οπτικός δρόμος** (*optical path*) και ισούται με το μήκος που θα διένυε το φως μέσα στο κενό στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Το φως κατά την πορεία του μέσα από διάφορα **οπτικά μέσα** επιλέγει εκείνη τη διαδρομή (οπτικό δρόμο) η οποία είναι η πιο σύντομη για αυτό (**Αρχή του ελαχίστου χρόνου**). Το γεγονός αυτό αποτελεί μέρος της γενικότερης αρχής (τάσης) της ελάχιστης δράσης που ισχύει για την φύση.

Η αρχή αυτή διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον μαθηματικό **Πιέρ ντε Φερμά** (*Pierre de Fermat*) την Πρωτοχρονιά του **1662**.

Οπτικά μέσα καλούνται τα υλικά που είναι διαπερατά από το ορατό φώς (μήκη κύματος μεταξύ του υπέρυθρου και του υπεριώδους). Υλικά τέτοιου τύπου είναι το γυαλί, το πλεξιγκλάς, ο αέρας, κλπ. Τα υλικά αυτά διακρίνονται σε διαφανή, ημιδιαφανή και σε ισότροπα και μη.

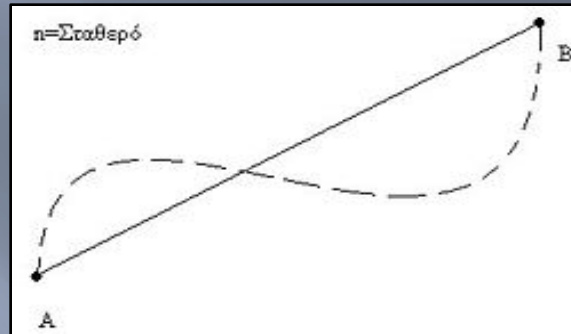
Διαφανή μέσα: χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα σώματα που επιτρέπουν το πέρασμα των φωτεινών ακτίνων μέσα από το υλικό τους χωρίς να προκαλούν έντονη απορρόφηση. Σε αντίθετη περίπτωση τα σώματα ονομάζονται αδιαφανή.

Ημιδιαφανή μέσα: χαρακτηρίζονται τα σώματα εκείνα που επιτρέπουν να περνάει το φως, πλην όμως, προκαλούν ταυτόχρονα σημαντική μείωση της έντασής του.

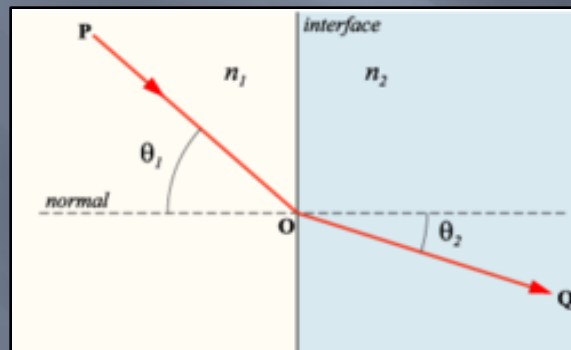
Τα **ισότροπα** υλικά έχουν την ιδιότητα να διατηρούν σε όλο τον όγκο τους τις ίδιες ιδιότητες π.χ σταθερό δείκτη διάθλασης, σταθερή τιμή απορροφητικότητας της ακτινοβολίας κλπ. όπως είναι π.χ. ο αέρας, το νερό, το οινόπνευμα ή ακόμα και το γυαλί (-εφ'όσον είναι ομογενές και απαλλαγμένο από τάσεις) κ.λπ.

Τα **μη ισότροπα** ή **ανισότροπα** υλικά μεταβάλλουν τις τιμές αυτές καθώς μεταφερόμαστε από ένα σημείο τους σε ένα άλλο. Η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι γραμμική ή όχι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μη ισότροπου υλικού είναι ένα είδος οπτικών ινών το οποίο μεταβάλλει το δείκτη διάθλασής του συναρτήσει της ακτίνας διατομής του. Με αυτό τον τρόπο, μια εισερχόμενη ακτίνα φωτός υπό γωνία δεν ανακλάται στα τοιχώματα της οπτικής ίνας αλλά κάμπτεται σε όλη την πορεία της μέχρι εκεί. Κατ' αυτό τον τρόπο ελαττώνονται οι απώλειες της εισερχόμενης ακτίνας φωτός.

Σε ένα ισότροπο μέσο ($n = \text{σταθερό}$) ο οπτικός αυτός δρόμος είναι η ευθεία που ενώνει τα σημεία Α και Β. Όταν όμως το κύμα περάσει από ένα μέσο σε άλλο με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, ο χρονικά συντομότερος δρόμος δεν είναι ευθεία, επειδή η ταχύτητα του κύματος είναι διαφορετική στα δυο μέσα. Ο χρονικά συντομότερος δρόμος τότε είναι μια τεθλασμένη γραμμή, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται το φαινόμενο της διάθλασης.



Οπτικός δρόμος μέσα σε ισότροπο μέσο. Το φως "διαλέγει" όχι την καμπύλη διαδρομή, αλλά την συντομότερη ευθεία.



Το φως, κινούμενο μεταξύ μέσων με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, διαθλάται σε τέτοια γωνία έτσι ώστε ο χρόνος που απαιτείται για να μεταβεί από ένα σημείο P σε ένα σημείο Q να είναι ελάχιστος.

Διάκριση :

Ο όρος διάθλαση αναφέρεται επίσης και σε άλλες περιπτώσεις όπως στις:

- Γήινη διάθλαση που συμβαίνει στην Ατμόσφαιρα της Γης.
- Αστρονομική διάθλαση που παρατηρείται στις αστρονομικές παρατηρήσεις.

Το μεγαλύτερο και λαμπρότερο φυσικό φαινόμενο (σύνθετο) διάθλασης - ανάκλασης είναι το ουράνιο τόξο. Το ουράνιο τόξο είναι ένα πολύχρωμο οπτικό και μετεωρολογικό φαινόμενο, κατά το οποίο εμφανίζεται το φάσμα των χρωμάτων που συνθέτουν το ορατό φως στον ουρανό. Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν πάνω σε σταγονίδια βροχής στην ατμόσφαιρα της Γης και αποτελεί ένα παράδειγμα διάθλασης, μετά από ανάκλαση.

Το κάθε χρώμα (δηλαδή κάθε μήκος κύματος) διαθλάται υπό διαφορετική γωνία μέσα στα σταγονίδια (που δρουν σαν μικρά πρίσματα), παθαίνει διαφορετική εκτροπή κι έτσι το ορατό λευκό φως αναλύεται στα διάφορα χρώματα που το συνθέτουν, δηλαδή στο φάσμα του.

Έτσι εμφανίζεται το φάσμα του ηλιακού φωτός ως ένα πολύχρωμο τόξο, με το κόκκινο χρώμα να κυριαρχεί στην εξωτερική του πλευρά, και το βιολετί στην εσωτερική. Η διαφορετικότητα της γωνίας του κάθε μήκους κύματος (χρώματος) και του σχήματος των σταγονιδίων εξηγεί και το τοξοειδές σχήμα του φαινομένου και όχι κάποιο άλλο.

Για να γίνει αντιληπτό το ουράνιο τόξο από παρατηρητή θα πρέπει να έχει στραμμένα τα νώτα του στον Ήλιο.

Αν και τα ουράνια τόξα εμφανίζουν μια ευρεία γκάμα χρωμάτων, τα πιο ευδιάκριτα είναι το κόκκινο, το κίτρινο, το μπλε, δηλαδή τα βασικά χρώματα και το λουλακί το βιολετί και το πορτοκαλί.

Ας σημειωθεί όμως ότι το ουράνιο τόξο στην πραγματικότητα είναι συνεχές φάσμα και εμφανίζονται και όλες οι ενδιάμεσες αποχρώσεις των παραπάνω χρωμάτων.



Διπλό ουράνιο τόξο.

Ιστορία :

Από τα σωζόμενα αρχαία κείμενα, πρώτος που θεωρείται ότι μελέτησε και διατύπωσε τους νόμους του φαινομένου της διάθλασης φέρεται ο Κλαύδιος Πτολεμαίος περί το 2ο αιώνα μ.Χ. στην Αλεξάνδρεια.^[1] Συγκεκριμένα ο Πτολεμαίος, από τα πειράματά του, εξήγαγε τους ακόλουθους νόμους διάθλασης:

Το επίπεδο που δημιουργείται από την ακτίνα πρόσπτωσης με αυτήν της διάθλασης είναι κάθετο προς την επιφάνεια του διαπερατού μέσου στο οποίο παρατηρείται η διάθλαση.

Η σχέση που υπάρχει μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης και γωνίας διάθλασης είναι αριθμός σταθερός (και είναι αυτός που σήμερα λέγεται δείκτης διάθλασης).

Ο λεγόμενος, σήμερα, *νόμος του Snell* περιγράφεται για πρώτη φορά από τον Ιμπν Σαλ (*Ibn Sahl*) σε ένα χειρόγραφο γραμμένο γύρω στο 984,^[2] ο οποίος τον χρησιμοποιούσε για να προσδιορίσει το σχήμα φακών που να συγκεντρώνουν το φως χωρίς γεωμετρική αποπλάνηση (παραμόρφωση), γνωστοί ως ανακλαστικοί φακοί.

Περιγράφεται ξανά από τον Τόμας Χάριουτ (*Thomas Harriot*) το 1602,^[3] ο οποίος δεν εξέδωσε το έργο του.

Στα 1621, ο Ολλανδός Βίλεμπρορντ Σνέλλιους (*Willebrord Snellius*) συνήγαγε μια μαθηματικά ισοδύναμη μορφή, η οποία παρέμεινε ανέκδοτη ενόσω ζούσε.

Ο Ρενέ Ντεκάρτ συνήγαγε ανεξάρτητα τον νόμο, χρησιμοποιώντας ευρετικά επιχειρήματα σχετικά με τη διατήρηση της ορμής, με όρους ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης, στην πραγματεία του, του 1637, "Λόγος περί της Μεθόδου" (μολονότι επικριτές όπως ο Φερμά κατηγόρησαν τον Ντεκάρτ ότι εργάστηκε αντίστροφα προς μια απάντηση που ήδη γνώριζε, με σοφιστική συλλογιστική), και τον χρησιμοποίησε για να λύσει ένα πλήθος προβλημάτων οπτικής.

Απορρίπτοντας τη λύση του Ντεκάρτ, ο Πιέρ ντε Φερμά κατέληξε στην ίδια λύση βασιζόμενος αποκλειστικά στην αρχή του ελαχίστου χρόνου.