



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:
«Είδη, Μορφές και εφαρμογές Κυμάτων»

Μπερμπερίδης Νικόλαος-Γεώργιος

Καστοριά, Δεκέμβριος 2020

AM:1854

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα βιβλιογραφική μελέτη γίνεται αναδρομή στη ανακάλυψη της δυαδικής φύσης του φωτός ως σωματίδιο και κύμα. Το φυσικό αυτό φαινόμενο, βρίσκεται στη βάση της μαθηματικής θεωρίας των κυμάτων, πάνω στην οποία γίνεται αναφορά. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τα διάφορα είδη κυμάτων με βάση το σχήμα του κύματος, το σχήμα του κυματομετώπου και τη διεύθυνση του κύματος. Άλλη μία κατηγορία είναι με βάση το είδος του μέσου μετάδοσης του κύματος, καθώς και το σχήμα του. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα κύματικά φαινόμενα όπως της πόλωσης, περίθλασης και γεωμετρικής οπτικής. Τέλος, γίνεται αναφορά στις εφαρμογές των κυμάτων σε διάφορους επιστημονικούς και βιομηχανικούς κλάδους.

Key-words:

Φως, κύμα, είδη κυμάτων, μηχανικά κύματα, ηλεκτρικά κύματα, συχνότητα, κυματάριθμος, στάσιμα κύματα, αρμονικά κύματα, πόλωση, περίθλαση, συμβολή, γεωμετρική οπτική, εφαρμογές κυμάτων, laser, ακτίνες X, ακουστικά κύματα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
3	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
	8
4	ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	9
4.1	Κατά το σχήμα του κύματος.....	9
4.2	Κατά το σχήμα του κυματομετώπου	11
4.3	Κατά την κατεύθυνση της διαταραχής.....	13
4.4	Κατά τη γεωμετρία του μέσου διάδοσης.....	14
4.5	Κατά το μέσο διάδοσης	15
5	Κυματικά Φαινόμενα.....	18
5.1	Γεωμετρική Οπτική	19
5.1.1	Σκέδαση.....	21
5.2	Πόλωση.....	21
5.3	Συμβολή.....	22
5.4	Περίθλαση	23
6	Εφαρμογές	25
6.1	Υπέρηχοι.....	26
6.2	Laser	27
6.3	Ακτίνες Χ.....	28
7	Ακουστικά Κύματα.....	32
7.1	Ορισμός.....	32
7.2	Εφαρμογές	34
8	Αναφορές.....	36

1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η έννοια του κύματος δεν υπήρχε πάντα. Η εξήγηση του τι είναι φως δεν υπήρχε πάντα. Όλα ξεκίνησαν από φαινομενικά απλές απορίες όπως το τι είναι φως και τι σκοτάδι, ή πως λειτουργεί η όραση. Μέχρι και τον 5^ο αιώνα π.Χ. οι έννοιες φως και σκοτάδι είχαν μυθικές εξηγήσεις. Με την εξέλιξη της γεωμετρίας και την ανάδειξη των επιστημών περισσότεροι στοχαστές γύρισαν την προσοχή τους σε αυτές τις απορίες.

Αρχικά, από Έλληνες και Αλεξανδρινούς ειπωθήκαν για πρώτη φορά οι έννοιες φωτεινή ακτίνα και ότι το φως αποτελείται από αόρατα σωματίδια. Ακολούθησαν διάφορες θεωρίες στην Ελλάδα για την όραση, αν τα αντικείμενα εκπέμπουν φως ή τα μάτια του παρατηρητή. Καθώς αυτές οι έννοιες άρχισαν να εδραιώνονται ακολούθησε το σύγγραμμά του Λουκρίτιου «Περί της φύσεως των πραγμάτων». Σε αυτό το σύγγραμμα το οποίο εκδόθηκε 1^ο αιώνα π.Χ. αναφέρεται ότι το φως και η θερμότητα αποτελούνται από μικροσκοπικά σωματίδια και ότι το φως ταξιδεύει με άπειρη ταχύτητα.¹

Τον 17^ο αιώνα μ.Χ. ο πατέρας της κλασσικής φυσικής, Ισαάκ Νεύτων, έκδωσε ένα βιβλίο επωνομαζόμενο «Optics» όπου υποστήριζε τη σωματιδιακή φύση του φωτός. Περίπου την ίδια εποχή ο Κρίστιαν Χόυχενς έκδωσε το βιβλίο «Πραγματεία για το Φως» μία από τις πρώτες ολοκληρωμένες κυματικές θεωρίες. Προκειμένου να εξηγήσει μερικά γνωστά φαινόμενα του φωτός όπως διάθλαση και ανάκλαση,

¹ <http://users.uoa.gr/~ceftax/lectures/H%20ennoia%20tou%20kymatos.pdf>

διατύπωσε τη θεωρία ότι το φως έχει κυματική φύση. Η άποψη αυτή, την οποία και αποδοκίμασε ο Νεύτωνας, αρχικά δεν έγινε αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα.

Το 18^ο αιώνα μ.Χ. ήταν η εποχή στην οποία η πρώτη μαθηματική περιγραφή των κυμάτων ξεκίνησε. Ο Ζαν λε Ροντ ντ' Αλαμπέρ ήταν ο πρώτος που διατύπωσε μαθηματικά τον τρόπο περιγραφής των κυμάτων με την εξίσωση σε μια διάσταση²:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (1)$$

Στις επόμενες δεκαετίες η μαθηματική περιγραφή εξελίχθηκε και στις τρεις διαστάσεις. Καθώς εξελίχθηκε η κυματική θεωρία, έδωσε και πολλές απαντήσεις για καθημερινά φαινόμενα όπως η όραση και τα φωτεινά φαινόμενα. Συγκεκριμένα, τον 19^ο αιώνα μ.Χ. με τη παρατήρηση του φαινομένου της συμβολής οι επιστήμονες γύρισαν στην κυματική θεωρία του φωτός του Χούχενς. Βέβαια, το πείραμα του Young ήταν το πρώτο που έδειξε την κυματική φύση του φωτός. Ακολούθησαν και άλλα πειράματα όπως του Fresnel το οποίο και εδραίωσε ότι το φως παρουσιάζει το φαινόμενο της συμβολής και επομένως έχει και κυματικό χαρακτήρα.

Από εκείνη την εποχή η κυματική θεωρία, ο δυισμός του φωτός ως κύμα και σωματίδιο, χρησιμοποιήθηκε για να εξηγήσει πολλά φαινόμενα και να ενταχθεί σε πολλούς τομείς της φυσικής. Η επανάσταση που επέφερε η κυματική θεωρία και το αποτύπωμα που άφησε στην ανθρωπότητα

² Σπυριδέλη, Ι.Ε., 1991

αναφέρεται παρακάτω στις εφαρμογές της στην επιστήμη και βιομηχανία.

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κύμα είναι μια διαταραχή από την ισορροπία, η οποία ταξιδεύει μέσα στον χώρο και στο χρόνο. Η διαταραχή αυτή μεταφέρει ενέργεια από ένα σημείο σε ένα άλλο χωρίς να μεταφέρει μάζα και επαναλαμβάνεται. Τα κύματα είναι περιοδικά φαινόμενα, δηλαδή επαναλαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κάθε κύμα μπορεί να περιγραφεί με μαθηματικό τρόπο από την κυματική του εξίσωση.

Η διάδοση της ενέργειας σε ένα μέσο όπου διαδίδεται ένα κύμα γίνεται ως παλμική κίνηση μεταξύ των στοιχειωδών σωματιδίων του μέσου. Ωστόσο, ορισμένα είδη κυμάτων, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά, μπορούν να διαδίδονται και στο κενό, χωρίς να χρειάζονται κάποιο μέσο διάδοσης. Επομένως, τα κύματα διαδίδονται σε όλες τις καταστάσεις της ύλης, ακόμα και στο κενό.

Η γενική εξίσωση που περιγράφει την κίνηση ενός κύματος, ονομάζεται κυματική εξίσωση και περιγράφεται από την σχέση (για μία διάσταση)³:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (1)$$

Οι λύσεις αυτής της εξίσωσης αποτελούν οδεύοντα κύματα της μορφής:

$$\psi(x, t) = f(x \mp ut)$$

³ Υποσημείωση 2

Οι λύσεις με $x - ut$, οδεύουν προς τα θετικά του άξονα x , ενώ οι λύσεις $x + ut$ οδεύουν προς τα αρνητικά του άξονα ($-x$).⁴

Οι λύσεις έχουν την μορφή γραμμικής αρμονικής ταλάντωσης, είναι ημιτονοειδής εξισώσεις και γράφονται⁵ :

$$\psi = y = A \sin(kx \mp \omega t) \quad (2)$$

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης (2) $y - x$ για σταθερό χρόνο, ονομάζεται στιγμιότυπο και είναι στην ουσία μία φωτογραφία όπου ο χρόνος έχει παγώσει και παρατηρείται η σχέση $y - x$. Παρακάτω παρουσιάζεται η μορφή του στιγμιότυπου για τυχαία χρονική στιγμή του κύματος με πλάτος $A=2\text{m}$.

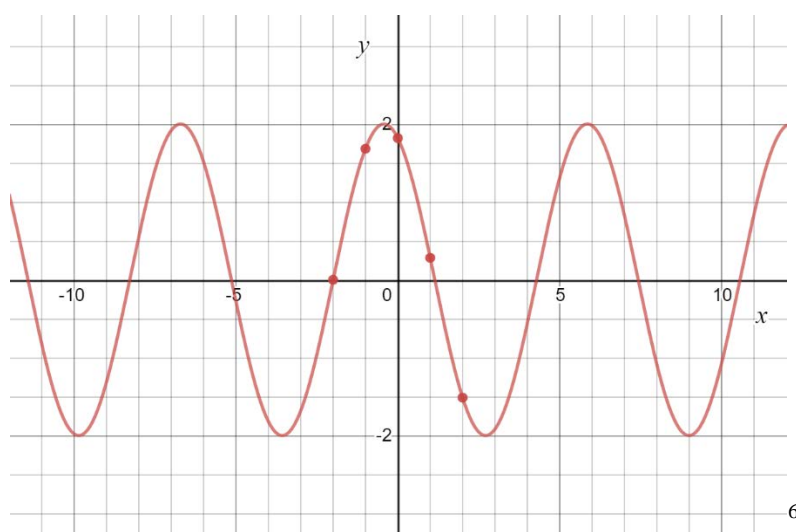


Figure 1: Στιγμιότυπο $y-x$

Η εξίσωση (1) είναι γραμμική, αυτό σημαίνει ότι αν έχει δύο λύσεις ψ_1, ψ_2 τότε έχει και άλλες λύσεις οι οποίες είναι γραμμικός συνδυασμός των δυο πρώτων:

⁴ Υποσημείωση 2

⁵ Ευτάξιος, Κ, <http://users.uoa.gr/~ceftax/lectures/H%20ennoia%20tou%20kymatos.pdf>

⁶ (www)

$$\psi = \alpha\psi_1 + \beta\psi_2$$

Καθώς κύματα διαδίδονται στο χώρο υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες διαδίδονται χωρίς να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και άλλες στις οποίες αλληλοεπιδρούν και κατά αυτόν τον τρόπο προκαλούνται φαινόμενα όπως η συμβολή, ο διασκεδασμός κτλ.

Η κυματική εξίσωση για τις τρεις διαστάσεις είναι:

$$\nabla^2\psi = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$$

Με αυτήν την εξίσωση ορίζονται τα κύματα στο χώρο όπως τα επίπεδα κύματα.

Στη φύση, κυματικές κυμάνσεις εμφανίζονται παντού. Μερικά παραδείγματα είναι οι κυματισμοί στην επιφάνεια μίας λίμνης, οι σεισμικές δονήσεις, τα ηχητικά κύματα, τα κύματα ενός ελατηρίου, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.⁷

Η διαταραχή αφορά ένα συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος, ανάλογα με το είδος του κύματος. Υπάρχουν πολλά ακόμη είδη κυμάτων, όλα όμως έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: μεταφέρουν ενέργεια.

Όλα αυτά κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες κυμάτων:⁸

- τα μηχανικά κύματα, που διαδίδονται διαμέσου ενός υλικού,
- τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία δεν χρειάζονται μέσο και διαδίδονται στο κενό, και

⁷ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE>

⁸ (Παπαδογιάννης, 2015)

- τα κύματα πιθανότητας στη κβαντομηχανική, όπου σε μικροσκοπικό επίπεδο τα σωματίδια εμφανίζουν και κυματικές ιδιότητες.

Τα κύματα ανεξάρτητα σε ποια κατηγορία εμπίπτουν έχουν κοινές ιδιότητες όπως το μήκος κύματος, τη συχνότητα, τη ταχύτητα διάδοσης, την αρχή επαλληλίας, την ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση και μία κοινή μαθηματική περιγραφή. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη περιγράφονται αναλυτικότερα από τις παρακάτω σχέσεις.

Χαρακτηριστικά μεγέθη κυμάτων⁹:

Η περίοδος κύματος T είναι ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών διαταραχών και ορίζεται από την σχέση:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

όπου ω η κυκλική συχνότητα. Η μονάδα μέτρησης της περιόδου είναι second [sec].

Η συχνότητα f είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιόδου:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι Hertz [Hz].

Ο κυματάρριθμος k είναι μια σταθερά για κάθε κύμα, ονομάζεται και ως χωρική συχνότητα και δίνεται από τις ισοδύναμες σχέσεις¹⁰:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{u_p} = \frac{\omega}{u_p}$$

⁹ Υποσημείωση 7

¹⁰<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%B8%CE%BC%CF%8C%CF%82>

Όπου f η συχνότητα, u_p η ταχύτητα φάσης η οποία αναλύεται παρακάτω και ω η γωνιακή συχνότητα. Οι μονάδες μέτρησης του είναι $[m^{-1}]$.

Το θεώρημα της επαλληλίας ισχύει για όλα τα είδη κυμάτων και σύμφωνα με αυτήν όταν διέρχονται δύο ή παραπάνω κύματα με κατάλληλη συχνότητα από ένα σημείο στο χώρο, τότε προκύπτει ένα συνιστάμενο κύμα με πλάτος ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των αλληλοεπιδρώντων κυμάτων.

Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος η οποία εξαρτάται από το μέσο διάδοσης και δίνεται από τη σχέση:

$$u = \lambda f$$

Όπου λ είναι το μήκος κύματος το οποίο εξηγείται παρακάτω και f η συχνότητα.

Γενικότερα στη κυματική υπάρχουν τρεις διαφορετικές ταχύτητες η ταχύτητα διάδοσης, η ταχύτητα φάσης και η ταχύτητα ομάδας και αναλύονται παρακάτω.

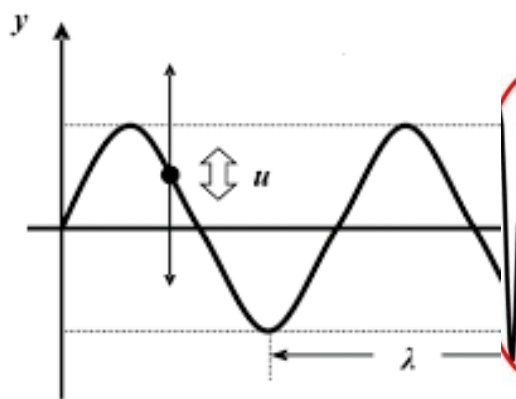
Επιπλέον μεγέθη είναι :

- Μήκος κύματος λ είναι η απόσταση που διανύεται σε χρόνο μιας περιόδου και η μονάδα μέτρησης είναι μονάδες μήκους όπως μέτρα ή υποδιαιρέσεις αυτών.
- Φάση φ , η οποία δίνεται συναρτήσεως της απόστασης x και του χρόνου t και έχει μονάδες μέτρησης τα rad.

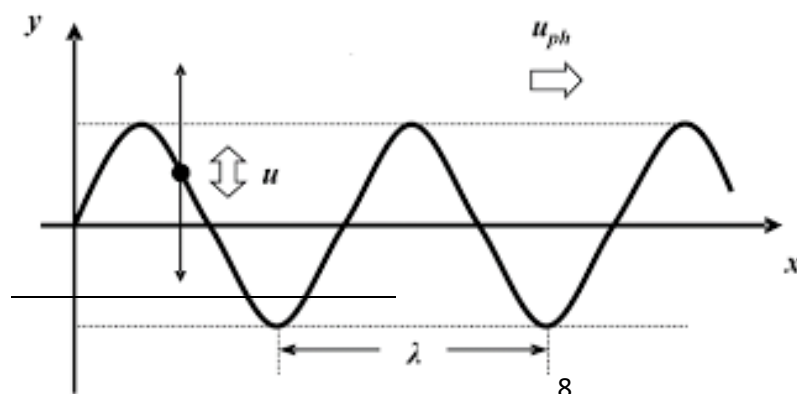
- Ταχύτητα φάσης u_p η οποία αναφέρθηκε στη σχέση του κυματάριθμου είναι η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται η διαταραχή.
- Ταχύτητα ομάδας u_g είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το ένα σημείο του κυματοδέματος του κύματος. Το κυματοδέμα είναι το αποτέλεσμα της υπέρθεσης διάφορων κυμάτων με διαφορετικά πλάτη και φάσεις. Το κυματοδέμα ονομάζεται αλλιώς και διακρότημα.

Οι ταχύτητες φαίνονται ξεκάθαρα στο παρακάτω σχήμα. Η κόκκινη γραμμή συμβολίζει την υπέρθεση. Η ταχύτητα ομάδας φαίνεται στη πρώτη γραφική παράσταση και δείχνει τη φορά ταχύτητας ενός σημείου του κυματοδέματος.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η φορά για τη ταχύτητα διάδοσης και της φασικής ταχύτητας.¹¹



και αναπαράσταση ταχύτητας ομάδας.



Εικόνα 2: Γραφική παράσταση αρμονικού κύματος και αναπαράσταση ταχυτήτων.

3 ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν πολλών ειδών κύματα, τα οποία έχουν διαχωριστεί σύμφωνα με το σχήμα του κύματος, το σχήμα του κυματομετώπου, την κατεύθυνση της διαταραχής, τη γεωμετρία του μέσου διάδοσης αλλά και με το μέσο διάδοσης. Πιο συγκεκριμένα για κάθε κατηγορία ακολουθεί αναλυτική περιγραφή.

3.1 ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ¹²

Η κυματομορφή που έχει κάθε κύμα εξαρτάται από το ταλαντευόμενο μέγεθος που προκαλεί την διαταραχή και επομένως λειτουργεί ως πηγή του. Κατά αυτόν τον τρόπο, σχηματίζονται τα εξής κύματα:

- Αρμονικά κύματα, τα οποία προκύπτουν όταν μια πηγή εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, συγκεκριμένης συχνότητας. Η κίνηση αυτή είναι ευθύγραμμη και η εξίσωση της απομάκρυνσης από την θέση ισορροπίας είναι ημιτονοειδής συνάρτησης του χρόνου. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πλήθος κυμάτων με διαφορετικές συχνότητες, θεωρείται ένα σύνθετο κύμα το οποίο είναι η επαλληλία μεμονωμένων αρμονικών.
- Στάσιμα κύματα, τα οποία προκύπτουν από την συμβολή δύο κυμάτων τα οποία έχουν αντίθετη κατεύθυνση και ίδια συχνότητα. Ένα τυχαίο παράδειγμα προκύπτει από τις εξισώσεις:

$$y = 2 \sin(5t - 5x)$$
$$y = 2 \sin(5x - 5t)$$

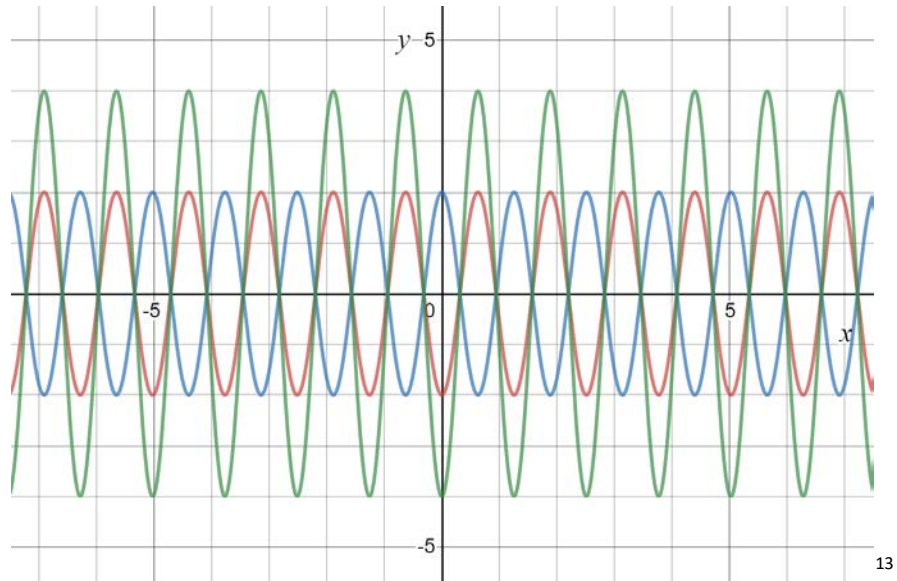
Τα οποία συμβάλλουν σύμφωνα με το γενικό τύπο:

$$y = 2A \sin(\omega t) \cos(kx)$$

Και στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εξίσωση του στάσιμου κύματος είναι :

$$y = 4 \sin(5t) \cos(5x)$$

¹² <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BC%CE%B1>

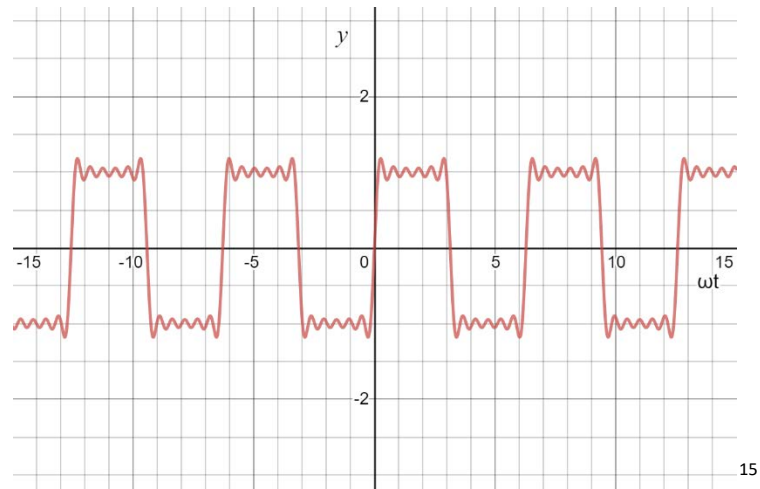


Διάγραμμα 1: Διάγραμμα $y-x$ δύο συγκρουόμενων κυμάτων (μπλε-κόκκινο) και το παραγόμενο στάσιμο (πράσινο).

- Τετραγωνικά, τριγωνικά κύματα. Ο τετραγωνικός παλμός παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα $y-\omega t$ τυχαίας εξίσωσης. Αυτό το είδος κύματος προκύπτει ως το άθροισμα ημιτονικών εξισώσεων με συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της αρχικής συχνότητας του. Εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στην ηλεκτρονική.¹⁴

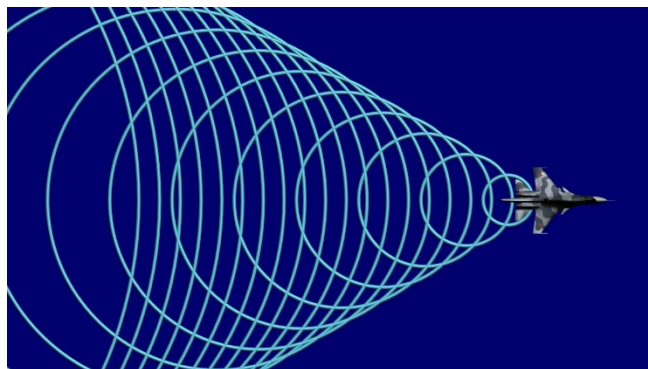
¹³ Υποσημείωση 6

¹⁴https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1



Διάγραμμα 2: Γράφημα τετραγωνικού παλμού

- Ωστικά ή εκρηκτικά κύματα είναι τα κύματα στον αέρα τα οποία προκύπτουν μετά από μία έκρηξη η οποία δημιουργεί πίεση στον αέρα μέσω των εκλυόμενων αερίων.¹⁶



Εικόνα 2: Ωστικό κύμα το οποίο παράγεται από υπερηχητικό αεροσκάφος.

3.2 ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΜΕΤΩΠΟΥ¹⁷

Το μέτωπα κύματος ή αλλιώς ισοφασικές επιφάνειες είναι ο γεωμετρικός τόπος όλων των σημείων του κύματος που έχουν ίδια φάση. Ανάλογα με το σχήμα που παίρνει τα κύματα διαχωρίζονται ως εξής:

¹⁵ Υποσημείωση 6

¹⁶ https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1

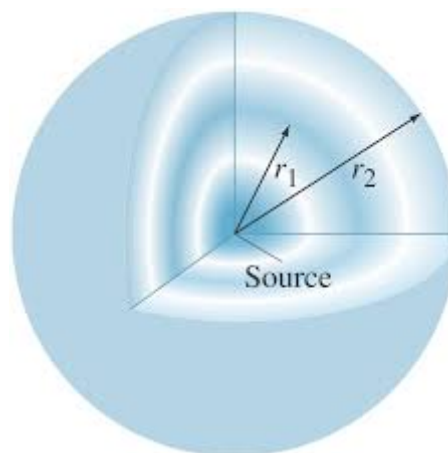
¹⁷ Υποσημείωση 11

- Σφαιρικά κύματα. Αυτής της μορφής τα κύματα προκύπτουν όταν οι ισοφασικές επιφάνειες είναι ομόκεντρα σφαιρικές. Εκφράζονται μαθηματικά από την σχέση:

$$\psi(r, t) = \frac{A}{r} \sin(kr \mp \omega t), \text{ ή}$$

$$\psi(\vec{r}, t) = \frac{A}{r} e^{i(kr \mp \omega t)}$$

κατά τον τύπο του Euler. Τα κύματα σχηματίζονται όταν βρίσκονται κοντά σε σημειακή πηγή.¹⁸



Εικόνα 3: Αναπαράσταση σφαιρικών κυμάτων σε τρεις διαστάσεις.

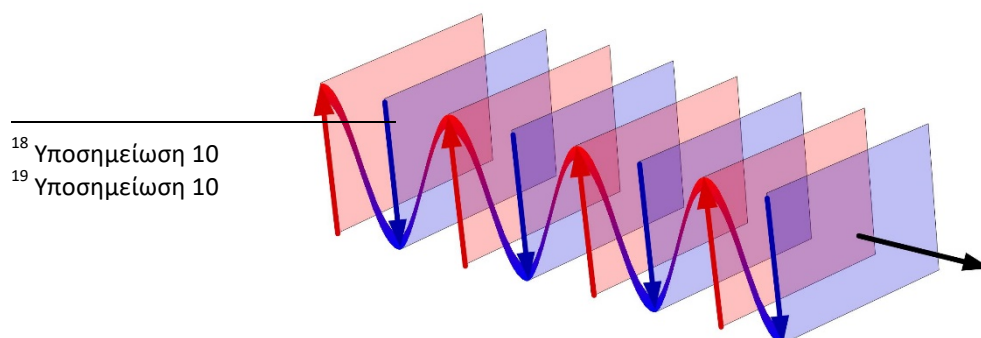
- Επίπεδα κύματα. Τα κύματα αυτά, έχουν επίπεδες ισοφασικές επιφάνειες και εκφράζονται μέσω της εξίσωσης:

$$\psi(\vec{r}, t) = A \sin(\vec{k}\vec{r} \mp \omega t)$$

Ή διαφορετικά σύμφωνα με τον τύπο του Euler:

$$\psi(\vec{r}, t) = A e^{i(\vec{k}\vec{r} \mp \omega t)}$$

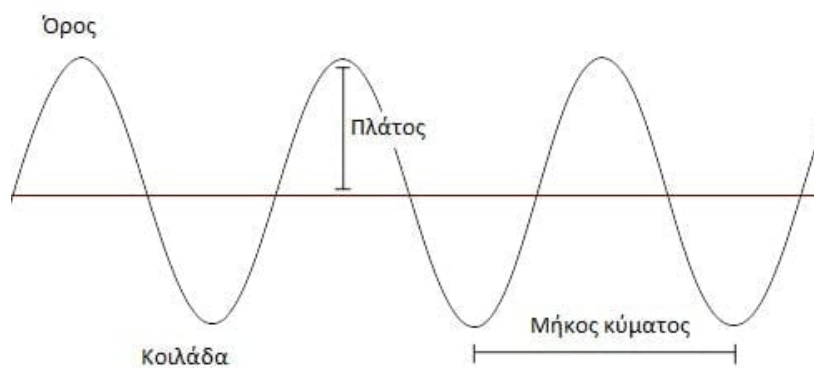
Η ισοφασική επιφάνεια έχει φάση τέτοια ώστε το ημίτονο να δίνει μονάδα. Τα κύματα αυτά προκύπτουν όταν είναι απομακρυσμένα από την σημειακή πηγή.¹⁹



3.3 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ²⁰

Ένας ακόμη τρόπος με το οποίο διαχωρίζονται τα κύματα είναι ανάλογα με το διεύθυνση ταλάντωσης του διαταρασσόμενου μεγέθους σε σχέση την διεύθυνση διάδοσης. Συγκεκριμένα:²¹

- Εγκάρσια κύματα. Σε αυτά τα κύματα, το διαταρασσόμενο μέγεθος ταλαντώνεται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Χαρακτηριστικό τους είναι τα όροι και οι κοιλάδες.
 - ο Όροι ονομάζονται τα σημεία του κύματος με μέγιστο πλάτος.
 - ο Κοιλάδες είναι τα σημεία του κύματος τα οποία έχουν το ελάχιστο πλάτος της διαταραχής.



Εικόνα 5: Αναπαράσταση όρων και κοιλάδων εγκάρσιου κύματος.

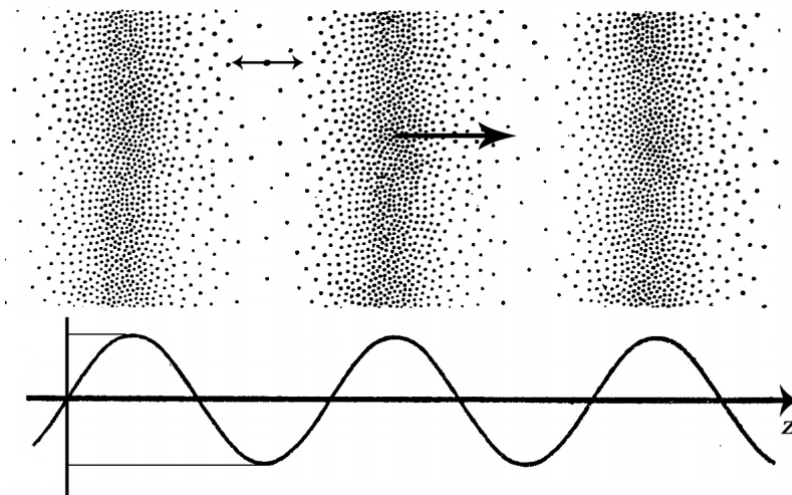
- Διαμήκη κύματα. Το διαταρασσόμενο μέγεθος ταλαντώνεται παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Αυτή η

²⁰ Υποσημείωση 11

²¹ (Παπάγος)

κίνηση είναι το αίτιο για τη δημιουργία πυκνωμάτων και αραιωμάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαμήκους κύματος είναι τα ακουστικά κύματα και η κίνηση ενός μεταλλικού ελατηρίου. Συγκεκριμένα, όταν ένα ελατήριο παραμορφωθεί παράλληλα προς τον άξονα του τότε το ελατήριο ταλαντώνεται κατά την ίδια κατεύθυνση σχηματίζοντας πυκνώματα και αραιώματα.

- ο Πυκνώματα είναι όλα τα σημεία της διαταραχής με μέγιστο πλάτος.
- ο Αραιώματα είναι όλα τα σημεία της διαταραχής με ελάχιστο πλάτος.



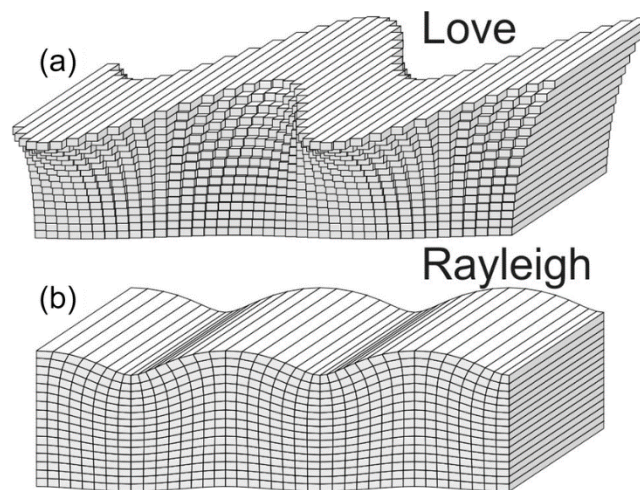
Εικόνα 6: Αναπαράσταση πυκνωμάτων, αραιωμάτων διαμήκους κύματος, ανάλογα με το πλάτος.

3.4 ΚΑΤΑ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ²²

Σύμφωνα με τη γεωμετρία του σχήματος τα κύματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Κύματα χώρου είναι τα κύματα τα οποία διαδίδονται και στις τρεις διαστάσεις, στην επιφάνεια της γης και εσωτερικά της.
- Κύματα επιφάνειας είναι τα κύματα που μπορούν να διαδοθούν μόνο στην επιφάνεια της γης. Σε αυτήν την κατηγορία κυμάτων ανήκουν τα κύματα Rayleigh και Love.

²² Υποσημείωση 11



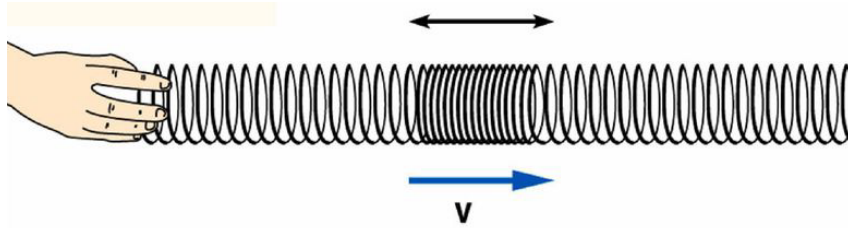
Εικόνα 7: Αναπαράσταση κυμάτων α)Love και β)Rayleigh

3.5 ΚΑΤΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ²³

Τα κύματα διαχωρίζονται επιπλέον σύμφωνα με το μέσο στο οποίο διαδίδονται. Αυτό μπορεί να είναι με μέσο, χωρίς μέσο ή στο κενό. Οι κατηγορίες είναι τέσσερις, τα μηχανικά, τα ηλεκτρομαγνητικά, τα βαρυτικά και τα υλικά κύματα. Συγκεκριμένα:

- Μηχανικά κύματα. Τα κύματα αυτά για να διαδοθούν χρειάζονται ένα ελαστικό μέσο. Η διαταραχή των μηχανικών κυμάτων έγκειται στην ταλάντωση των μορίων του ελαστικού μέσου. Οι μηχανισμοί με τους οποίους διαδίδονται τα μηχανικά κύματα είναι ο εγκάρσιος και ο διαμήκης που προαναφέρθηκαν. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα μεγέθη που διαταράσσονται είναι τα υλικά σωματίδια που μεταφέρουν το κύμα. Ένα κοινό παράδειγμα το οποίο αναλύθηκε παραπάνω, είναι η κίνηση του ελατηρίου.

²³ Υποσημείωση 11



Εικόνα 8: Κίνηση ελατηρίου και σχηματισμός πυκνωμάτων και αραιωμάτων.

- Ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτού του είδους κύματα μπορούν να διαδοθούν μέσα σε υλικό αλλά και στο κενό. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παράγεται από επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια ή από την μετάπτωση ηλεκτρονίων σε υψηλότερη ή χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη μέσα στο άτομο. Το εύρος της είναι μεγάλο και αναλύεται παρακάτω στα διάφορα τμήματα που την απαρτίζουν και τις αντίστοιχες ιδιότητες τους. Ένα χαρακτηριστικό τμήμα του είναι το φως. Η ταχύτητα της ακτινοβολίας στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός και σε μέσο είναι πάντα μικρότερη της. Το μέγεθος το οποίο εκφράζει την διαταραχή είναι η μεταβολή του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια και η διαταραχή του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου έχουν την ίδια φάση, είναι δηλαδή συμφασικές. Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ταλαντώνονται κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Οι εξισώσεις που εκφράζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι οι γνωστές εξισώσεις του Maxwell σε διαφορική μορφή για δυναμικά ή στατικά πεδία:²⁴

$$\nabla \bar{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \bar{B} = 0$$

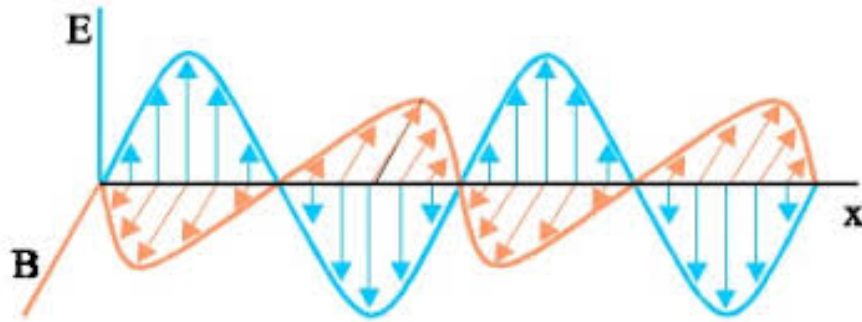
$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \bar{B} = \frac{1}{c^2} \left(\bar{J} + \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right)$$

Όπου \bar{E} η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, \bar{B} η μαγνητική επαγωγή, ρ η πυκνότητα φορτίου, \bar{J} η πυκνότητα ρεύματος, η σταθερά

²⁴ Υποσημείωση 10

ταχύτητα φωτός $c = 3 * 10^8 m/s$ και ϵ_0 η ηλεκτρική διαπερατότητα του κενού.²⁵



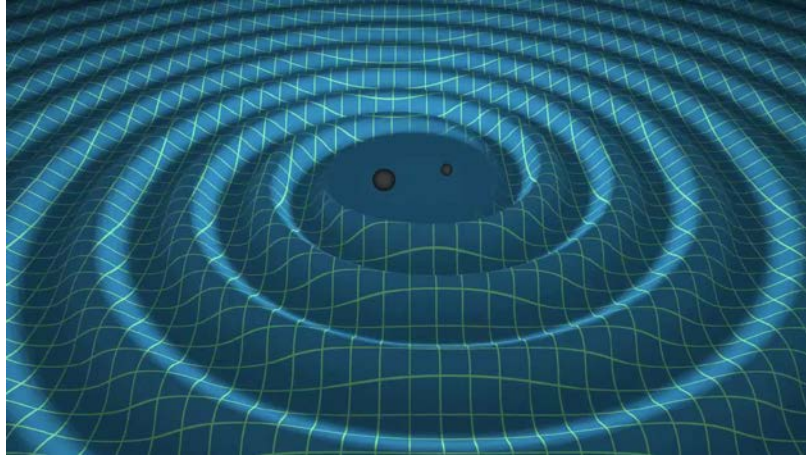
Εικόνα 9: Διάγραμμα ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

- Βαρυτικά κύματα. Αυτή η κατηγορία κυμάτων είναι προσφάτως αποδεδειγμένη, περίπου 100 χρόνια μετά της σύλληψη της ιδέας από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν στη γενική θεωρία της σχετικότητας. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο χωροχρόνο. Η ανακάλυψη οφείλεται στα ερευνητικά κέντρα Virgo και LIGO και στην συνεργασία χιλιάδων επιστημών όπου παρατηρήθηκε η βαρυτική ακτινοβολία που εκπέμφθηκε 1,3 δισεκατομμύρια χρόνια πριν από μία συγχώνευση δύο μαύρων τρυπών . Τα βαρυτικά κύματα παράγονται από εκρήξεις αστέρων (supernova), όταν δύο μεγάλοι αστέρες εισέρχονται ο ένας στη τροχιά του άλλου ή στη συγχώνευση δύο μαύρων τρυπών. Η ανακάλυψη αυτή αποτελεί ορόσημο για τον αιώνα που διανύουμε καθώς με αυτό καθίσταται δυνατή η επιβεβαίωση της Μεγάλης Έκρηξης, η παρατήρηση μαύρων τρυπών και γενικότερα αντικειμένων που δεν εκπέμπουν φως.²⁶²⁷

²⁵https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1

²⁶ (htt19)

²⁷ (2020)



Εικόνα 10: Αναπαράσταση παραγωγής βαρυτικών κυμάτων όταν δύο μαύρες τρύπες συγχωνεύονται.

- Υλικά κύματα. Στην κβαντομηχανική, τα υλικά κύματα έχουν να κάνουν με τη διάδοση του φωτός, και θεμελιώδη σωματίδια όπως το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο κτλ. Αυτό συμβαίνει λόγω του κυματοσωματιδιακού δισισμού της ύλης. Πρωταρχικά αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε στο φως και στην συνέχεια με τη συνεισφορά του Louis De Broglie και σε σωματίδια όπως το ηλεκτρόνιο.

4 ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η μελέτη της κυματικής έχει επιτρέψει στον άνθρωπο να ερμηνεύσει τόσο απλά και καθημερινά φαινόμενα όσο και ανακαλύψει και να σχεδιάσει τεχνητά και περίπλοκα φαινόμενα. Η κυματική θεωρία εξελίχθηκε με την κατηγοριοποίηση ορισμένων «φωτεινών» φαινομένων. Αυτά, συνοπτικά, είναι το φαινόμενο της συμβολής, της περίθλασης, της γεωμετρικής οπτικής και της πόλωσης. Παρακάτω γίνεται η περιγραφή τους.

- Συμβολή
- Περίθλαση
- Γεωμετρική Οπτική
- Πόλωση

4.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

Σε αυτό το κομμάτι παρουσιάζονται βασικές έννοιες και μαθηματικές σχέσεις που είναι απαραίτητες για την κατανόηση των κυματικών φαινομένων. Μια θεμελιώδης σχέση είναι η εξίσωση του δείκτη διάθλασης. Ο δείκτης διάθλασης περιγράφει την σχέση που έχει η ταχύτητα του φωτός όταν διαδίδεται σε μέσο και όταν διαδίδεται στο κενό. Όταν φως διαδίδεται σε μέσο η ταχύτητα διάδοσης του είναι μικρότερη από ότι είναι στο κενό, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διαθλάται. Ο δείκτης διάθλασης δίνεται από την σχέση²⁸:

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

Όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό, u η ταχύτητα του φωτός στο συγκεκριμένο μέσο. Το φως ακολουθεί την συντομότερη δυνατή διαδρομή. Είναι καθαρό μέγεθος, δηλαδή δεν έχει μονάδες μέτρησης. Εξαρτάται από το μήκος κύματος και κατ' επέκταση από την συχνότητα της προσπίπτουσας δέσμης.

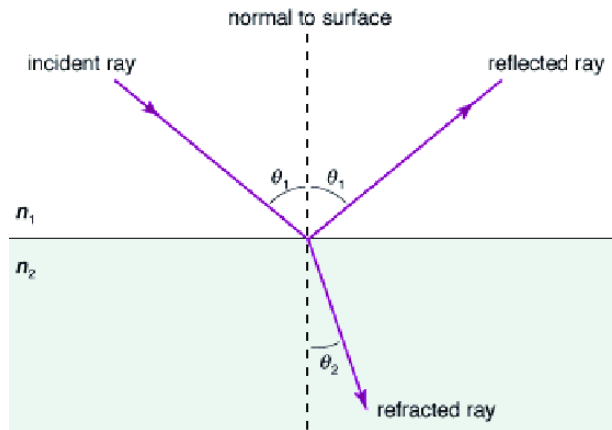
Ένας θεμελιώδης νόμος, είναι ο νόμος του Snell και εκφράζει την σχέση μεταξύ της γωνίας που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτινοβολία με την κάθετο θ_1 και της γωνίας της διαδιδόμενης στο μέσο δέσμης με την κάθετο θ_2 :²⁹

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

Όπου n_1 ο δείκτης διάθλασης του μέσου της προσπίπτουσας και n_2 ο δείκτης διάθλασης του μέσο στο οποίο διαδίδεται. Η γωνία της προσπίπτουσας είναι ίση με την γωνία της ανακλώμενης. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η πορεία μιας προσπίπτουσας δέσμης από ένα υλικό σε άλλο.

²⁸ (htt20)

²⁹ (htt21)



Εικόνα 11: Αναπαράσταση πρόσπτωσης ακτινοβολίας από ένα μέσο σε άλλο.

Με βάση το δείκτη διάθλασης και το νόμο του Snell έχουν εξηγηθεί πολλά φυσικά φαινόμενα. Παραδείγματα είναι το φαινομενικό και το πραγματικό βάθος όταν κοιτάμε ένα αντικείμενο μέσα στο νερό. Το φαινόμενο της διπλής διάθλασης λόγω θερμοκρασιακής αναστροφής το οποίο είναι γνωστό ως Φάτα Μοργκάνα και έχει ως αποτέλεσμα να βλέπουμε πλοία να αιωρούνται στη θάλασσα ή νερό στην έρημο.



Εικόνα 12: Φαινόμενο Φάτα Μοργκάνα.

Συνήθως στην τροπόσφαιρα η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του εδάφους. Μερικές φορές συμβαίνει θερμοκρασιακή αναστροφή το οποίο σημαίνει ότι ένα ψυχρό στρώμα αέρα παγιδεύεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και λειτουργεί ως διαθλαστικός φακός δημιουργώντας ένα είδωλο.³⁰

³⁰ (2020)

4.1.1 Σκέδαση

Όπως φαίνεται στη εικόνα 11 όταν φως προσπίπτει σε κάποιο υλικό ένα μέρος του ανακλάται και ένα άλλο σκεδάζεται. Βέβαια όλα αυτά είναι μακροσκοπικές εκδηλώσεις της σκέδασης που συμβαίνει σε υπομικροκοσμικό επίπεδο. Το φως αποτελείται από κβάντα φωτός τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια σε μικροσκοπικό επίπεδο όταν προσπίπτουν σε ένα υλικό απορροφούνται ή σκεδάζονται προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του δείκτη διάθλασης, των ταλαντώσεων του μέσου, το πάχος του υλικού και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Αν το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος των ταλαντευόμενων μορίων του υλικού τότε υπάρχει απορρόφηση. Στην αντίθετη περίπτωση έχουμε σκέδαση. Σύμφωνα με τον Lord Rayleigh η σκέδαση του φωτός παρομοιάζεται με μοριακούς ταλαντωτές. Η σκέδαση σωματιδίων κάτω από μία συγκεκριμένη τιμή μήκους κύματος ονομάζεται σκέδαση Rayleigh.³¹

Μία χρήσιμη σχέση είναι αυτή που ενώνει την δυική φύση του φωτός ως κύμα και ως σωματίδιο:

$$E = h\nu$$

Όπου E η ενέργεια του φωτονίου, h η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του φωτονίου.

Η απορρόφηση είναι πολύ σημαντική εφαρμογή στην βιοιατρική ως διαγνωστική μέθοδος.

Η σκέδαση μπορεί να είναι ελαστική ή ανελαστική. Στην ελαστική σκέδαση το φωτόνιο δεν χάνει ενέργεια E ενώ στην ανελαστική χάνει λόγω της κρούσης με κάποιο μόριο του υλικού στο οποίο προσπίπτει.

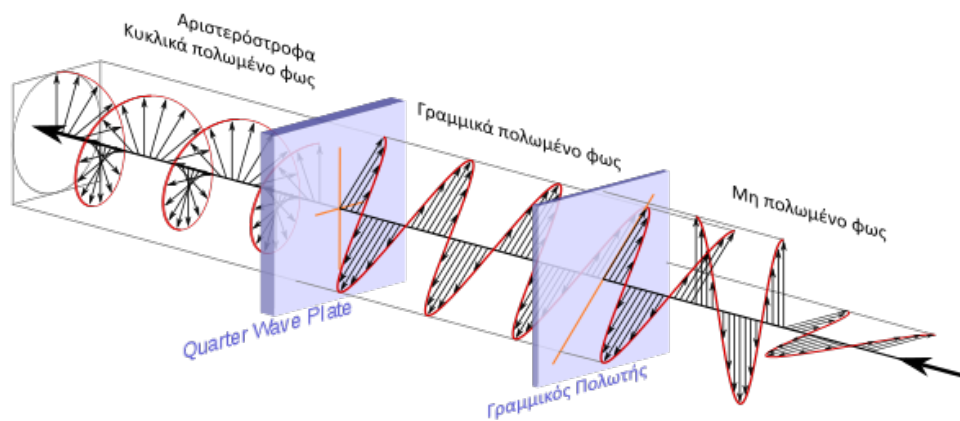
4.2 ΠΟΛΩΣΗ

Η πόλωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος έχει να κάνει με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και το πως μεταβάλλεται κατά την διάδοση του κύματος. Κατά αυτόν τον τρόπο υπάρχουν διάφοροι τρόποι πόλωσης³²:

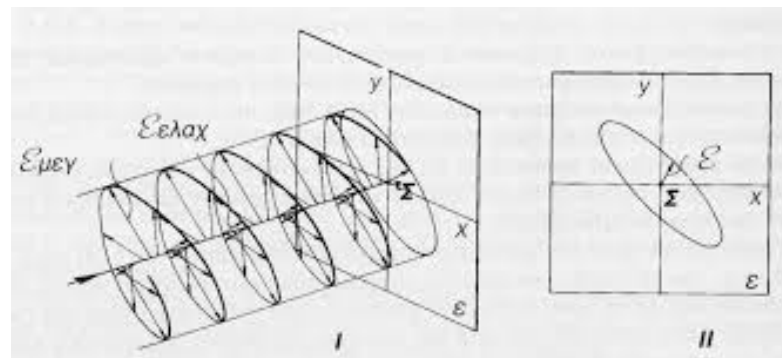
- Γραμμικά πολωμένο φως
- Ελλειπτικά πολωμένο φως
- Κυκλικά πολωμένο φως

³¹ (Hecht, 2018)

³² (htt22)



Εικόνα 13: Αρχικά φαίνεται η διάδοση κυκλικά πολωμένου φωτός και το πως περιστρέφεται το E στον άξονα διάδοσης. Έπειτα παρουσιάζεται το γραμμικά πολωμένο φως όπου το διάνυσμα E ταλαντώνεται συνεχώς στο ίδιο επίπεδο.



Εικόνα 14: Αναπαράσταση ελλειπτικά πολωμένου φωτός το οποίο διαδίδεται κατά τον z άξονα. Στο xy επίπεδο φαίνεται ότι η περιστροφή του πλάτους του E είναι μία έλλειψη.

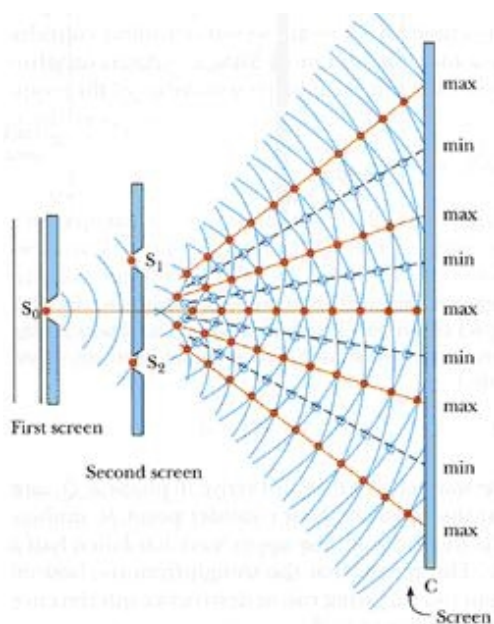
Πολωμένο φως μπορεί να παραχθεί από ειδικούς φακούς, οι οποίοι ονομάζονται πολωτές, από ανάκλαση και διάθλαση, σκέδαση, διπλή διάθλαση κτλ. Οι πολωτές βρίσκονται παντού στη ζωή μας και ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι τα γυαλιά ηλίου τα οποία έχουν γραμμικά πολωμένους φακούς.

4.3 ΣΥΜΒΟΛΗ

Η συμβολή είναι μια έννοια παρόμοια της επαλληλίας. Συγκεκριμένα είναι η διάδοση δυο συμφασικών κυμάτων στο ίδιο μέσο. Τα κύματα μπορούν να συμβάλλουν ενισχυτικά ή αποσβεστικά. Στη πρώτη περίπτωση η διαφορά φάσης των δύο κυμάτων είναι ακέραιο

πολλαπλάσιο του 2π . Στην περίπτωση απόσβεσης η διαφορά φάσης των δυο κυμάτων είναι περιττό πολλαπλάσιο του π .

Η συμβολή παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από το γνωστό πείραμα των δύο σχισμών του Young. Η συμβολή είναι κυματικό φαινόμενο και το πείραμα απέδειξε ότι το φως συμβάλλει. Έτσι αυτό το πείραμα απέδειξε για πρώτη φορά την κυματική φύση του φωτός.



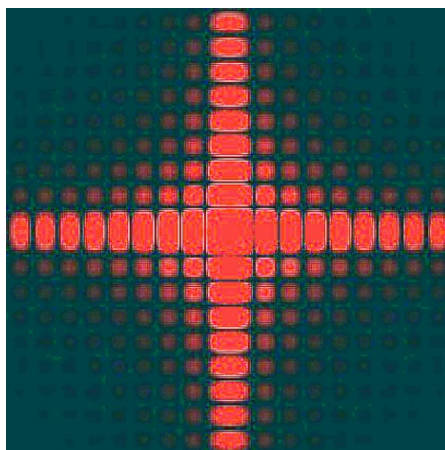
Εικόνα 15: Αναπαράσταση πειραματικής διάταξης του πειράματος Young.

Τα σημεία στα οποία η συμβολή είναι ενισχυτική ή αποσβεστική ονομάζονται κροσσοί. Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς.

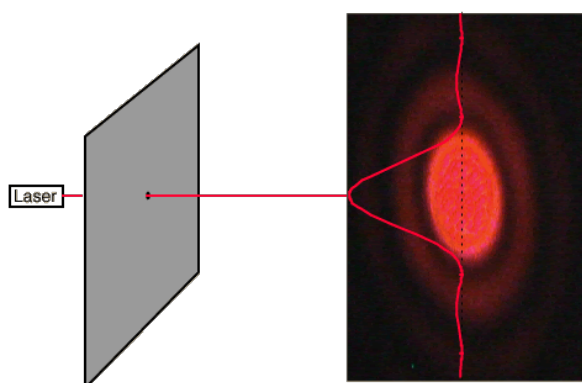
4.4 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Το φαινόμενο της περίθλασης συμβαίνει όταν το φως εκτρέπεται από την πορεία του, σύμφωνα με τους νόμους που ορίζει η γεωμετρική οπτική, οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω. Το φαινόμενο της συμβολής και της περίθλασης έχουν μία βασική διαφορά. Η συμβολή είναι αποτέλεσμα της υπέρθεσης λίγων συμφασικών κυμάτων ενώ η περίθλαση αποτέλεσμα πολλών.

Στην περίθλαση, όταν φως διαδίδεται μέσα από οπή ή κάποιο λεπτό αντικείμενο, με διαστάσεις παραπλήσιες του μήκους κύματος, το αποτέλεσμα σε μία οθόνη στην οποία καταλήγει το φως, αυτό που φαίνεται είναι μια σειρά από σκοτεινά και φωτεινά σημεία. Ανάλογα με το διάφραγμα/ άνοιγμα από το οποίο περνάει η ακτινοβολία, παρατηρούνται διαφορετικού σχήματος κροσσοί στην οθόνη παρατήρησης όπου και καταλήγει.



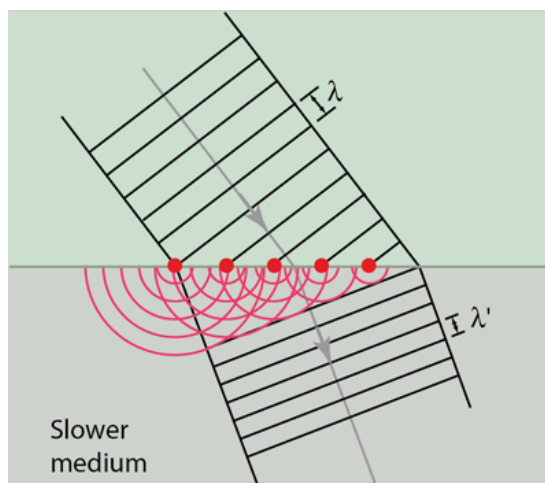
Εικόνα 16: Περίθλαση από ορθογώνιο άνοιγμα.



Εικόνα 17: Περίθλαση από κυκλικό διάφραγμα.

Στην εικόνα 17, παρουσιάζεται η περίθλαση μέσω κυκλικού διαφράγματος. Ο πρώτος φωτεινός κροσσός είναι ο κεντρικός και είναι γνωστός ως δίσκος του Airy. Η διακριτική ικανότητα, στην περίπτωση πολλαπλών πηγών δίνεται σύμφωνα με το κριτήριο του Rayleigh. Το κριτήριο ορίζει ότι όταν ο δίσκος Airy του πρώτου ειδώλου συμπίπτει με το πρώτο ελάχιστο του άλλου ειδώλου, μόλις που διακρίνονται.

Η περίθλαση ερμηνεύεται μέσα από το φαινόμενο της συμβολής και την αρχή του Χόιχενς. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος αποτελεί πηγή ενός νέου σφαιρικού κύματος, ίδιας συχνότητας και η περιβάλλουσα τους αποτελεί το νέο μέτωπο κύματος.



Εικόνα 18: Αρχή Huygens.

Υπάρχουν η περίθλαση Fresnel και η περίθλαση Fraunhofer. Η πρώτη ονομάζεται και περίθλαση κοντινού πεδίου και σύμφωνα με αυτή ο παρατηρητής και η πηγή βρίσκονται κοντά στο αντικείμενο που περιθλάται. Η ακτινοβολία στην περίθλαση Fresnel, φτάνει στην οθόνη ως σφαιρικό κύμα. Στη περίθλαση Fraunhofer ή περίθλαση μακρινού πεδίου, η πηγή και ο παρατηρητής βρίσκονται μακριά από το περιθλόν αντικείμενο. Σε αυτήν την περίπτωση η ακτινοβολία φτάνει στην οθόνη παρατήρησης ως επίπεδο κύμα.³³

5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η μελέτη των κυμάτων έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στη μοντέρνα ζωή και θεωρείται ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στη μοντέρνα ζωή. Μας έχει δώσει ανεκτίμητες πληροφορίες για τα πιο απλά πράγματα όπως το φως το οποίο έχει άμεση σύνδεση με την όραση και επομένως σημαντικό αντίκτυπο στη καθημερινή μας ζωή, μέχρι και τα πιο εξειδικευμένα εργαλεία που σώζουν ζωές. Με λίγα λόγια η μελέτη των

³³ (Αλυσανδράκης, 2015)

κυμάτων έχει προσφέρει μια νέα ποιότητα ζωής στον άνθρωπο τόσο στο τομέα της υγείας όσο και στη άνεση και ψυχαγωγία όπως θα φανούν αναλυτικότερα παρακάτω.

Το φως και ο ήχος είναι κύματα. Η όραση και η ακοή είναι από τις κύριες αισθήσεις του ανθρώπου. Η χρόνια μελέτη πάνω στα κύματα μας έχει δώσει την δυνατότητα να κατανοήσουμε περισσότερα για την ανθρώπινη φύση και ως επακόλουθο να πειραματιστούμε και να κατασκευάσουμε θεραπευτικές μεθόδους τόσο απεικονιστικές όσο και διαγνωστικές. Πιο συγκεκριμένα, οι υπέρηχοι, τα laser και οι ακτίνες X είναι ευρέως διαδομένοι μέθοδοι σε πολλούς τομείς της ιατρικής.

5.1 ΥΠΕΡΗΧΟΙ³⁴

Ορισμός:

Οι υπέρηχοι (ultrasound) βρίσκονται στο μέρος του φάσματος με συχνότητες μεγαλύτερες των 20.000Hz και επομένως ο ήχος τους είναι πολύ ψηλός για να ακουστεί από το ανθρώπινο αυτί. Υπόκεινται στην κατηγορία των μηχανικών κυμάτων.

Εφαρμογή:

Χρησιμοποιείται ως μέσο απεικόνισης για τα εσωτερικά σημεία του ανθρώπινου σώματος καθώς και για αντικείμενα. Γνωστό παράδειγμα αποτελεί στη γυναικολογία, η απεικόνιση του εμβρύου κατά την εγκυμοσύνη μιας γυναίκας. Σήμερα είναι μία πλέον εδραιωμένη διαγνωστική μέθοδος για όγκους.

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται ακόμα και στην βιομηχανία ως μη καταστροφική μέθοδος ελέγχου υλικών, σε συγκολλήσεις, απαέρωση, καθαρισμό, αποσύνθεση και ομογενοποίηση μαλακών ή σκληρών σωματιδίων σε υλικά.

³⁴ (H.)

Πως λειτουργεί:

Η δημιουργία υπερήχων στηρίζεται στο φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού. Το φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού είναι η μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ελκτική και αντίστροφα.

Η απεικόνιση γίνεται μέσα από την πληροφορία που ανακτάται από την διερχόμενο ή ανακλώμενο ηχητικό κύμα.

5.2 LASER³⁵

Ορισμός:

Το LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ή στα ελληνικά Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας είναι μια τεχνολογία η οποία ξεκίνησε να μελετάται στις αρχές της δεκαετίας του '60 . Μία συσκευή LASER είναι μία πηγή φωτός και παράγει συμφασικό, μονοχρωματικό φως. Το φως αυτό διαδίδεται σε στενές δέσμες προς μία κατεύθυνση. Το χαρακτηριστικό του LASER είναι η μετατροπή διάφορων ειδών ενέργειας σε ηλεκτρομαγνητική με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του φάσματος. Η διαφορά την οποιαδήποτε ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την LASER ακτινοβολία είναι ότι η τελευταία έχει σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος.

Εφαρμογή:

Ένα πολύ μεγάλο εύρημα στον επιστημονικό κόσμο που έχει καταφέρει να έχει εφαρμογές σε πολλαπλούς τομείς και πολλές φορές άσχετους μεταξύ τους είναι το laser το οποίο με τη εφεύρεση του έχει φέρει επανάσταση στην ιατρική, την βιομηχανία, την ηλεκτρονική και άλλους τομείς.

³⁵ (Σ.Κόττου, 2009)

Συγκεκριμένα στους τομείς:

- Ιατρική
 - Ιατρική χειρουργική, ως νυστέρι μεγάλης ακρίβειας
 - Στην οδοντιατρική, έναντι τροχού
 - Στη δερματολογία, για επεμβάσεις αισθητικής
 - Στην οφθαλμολογία, για τη θεραπεία μυωπίας, γλαυκώματος κτλ,
 - Θεραπεία καρκίνου μέσω φωτοδυναμικής θεραπείας
 - Για την επούλωση πληγών,
 - Ανακούφιση πόνου
 - Αποτρίχωση
 - Μεταμόσχευση τριχών
- Φασματοσκοπία και αναλυτική χημεία
- Αλληλεπίδραση με το γενετικό υλικό
- Αλληλεπίδραση με το βιολογικό ιστό
- Ευθυγραμμίσεις σε τοπολογικές μελέτες
- Συγκόλληση μεταλλικών επιφανειών
- Καθαρισμοί μνημείων
- Εκτυπωτές LASER
- Παραγωγή ενέργειας μέσω σύντηξης
- Τηλεφωνία μέσω οπτικής ίνας και LASER
- Χάραξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- Στη μετρολογία οι διαστάσεις μετρούνται με τη χρήση LASER για ακρίβεια.
- Συσκευές CD , DVD λειτουργούν μέσω δέσμης LASER
- Αναγνώριση barcodes

Πως λειτουργεί:

Μία συσκευή LASER διεγείρει τα ιόντα του κρυστάλλου. Τα άτομα απορροφούν ενέργεια από το φως της πηγής με αποτέλεσμα να βρίσκονται σε μια κατάσταση υψηλότερης ενέργειας και κατά συνέπεια να αποδιεγείρονται αυθόρμητα. Τα φωτόνια που παράγονται κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και με τη κατάλληλη διάταξη σκεδάζονται. Τελικά δημιουργείται ένας μονοχρωματικός παλμός.³⁶³⁷

5.3 ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

³⁶ (htt23)

³⁷ (Αραβαντίνο, 2010)

Ορισμός:

Οι Ακτίνες Χ ή ακτίνες Rontgen βρίσκονται μεταξύ 30PHz-30EHZ στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, μεταξύ της υπεριώδους ακτινοβολίας και των ακτινών γάμμα. Η ακτινοβολία τους είναι αόρατη. Διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις μαλακές ακτίνες Χ και τις σκληρές ακτίνες Χ.

Εφαρμογή:

Οι ακτίνες Χ έχουν εύρος εφαρμογών με την πιο γνωστή στην ιατρική και συγκεκριμένα την απεικονιστική μέθοδο της ακτινογραφίας.

- Φυσική μέσω κρυσταλλογραφίας .
- Ακτινογραφία-Ακτινοσκόπηση.
- Αυτοματοποιημένη Αξονική Τομογραφία-Υπολογιστική Τομογραφία.
- Μαστογραφία.
- Βιομηχανικός τομέας, για τη διερεύνηση μεταλλικών αντικειμένων.
- Στην αστρονομία, καθώς ουράνια αντικείμενα εκπέμπουν ακτίνες Χ.

Πως λειτουργεί:

Παράγονται όταν ηλεκτρόνια με μεγάλη ταχύτητα τα οποία επιταχύνονται μέσα σε ειδική συσκευή. Τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν σε στοιβάδες με υψηλότερη ενέργεια, τα οποία παράγουν τα φωτόνια των ακτινών Χ.³⁸

³⁸ (Τσιριπίδου, 2017)

Μια ακόμη κατηγορία εφαρμογών της κυματικής συμπεριφοράς της ύλης είναι η Φυσική Στερεάς κατάστασης. Αυτό συμβαίνει καθώς περιγράφονται οι ιδιότητες των υποατομικών σωματιδίων της ύλης μέσα από τις κυματικές εξισώσεις. Πιο συγκεκριμένα είναι γνωστό ότι τα κύματα διαδίδονται και στα στερεά επομένως η κατανόηση τους είναι απαραίτητη τόσο για το σχεδιασμό νέων υλικών όσο και για την κατανόηση της συμπεριφοράς των υπαρχόντων υλικών.

Οι εφαρμογές αυτές έχουν να κάνουν με την αξιοποίηση αυτής της γνώσης στο μικρόκοσμο, στην ουσία στη νανοτεχνολογία και τεχνολογία υλικών.

Η φυσική στερεάς κατάστασης με τη σειρά της έχει άμεση εφαρμογή στη βιομηχανία ηλεκτρονικών. Συγκεκριμένα:

- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές.
- Κινητά.
- Τηλεόραση.
- DVD players.
- Ψηφιακές κάμερες.
- Τηλεχειριστήρια.
- Θερμικοί αισθητήρες.

Τα κύματα έχουν σημαντικό ρόλο στη διάδοση της πληροφορίας και στην ασύρματη επανάσταση. Η πληροφορία διαδίδεται στο μέσο ή στο κενό με τη μορφή κύματος από ή προς στις συσκευές που αναφέρονται παρακάτω.

- Τηλεόραση.
- Ραδιόφωνο.
- GPS.
- Κινητό.
- Sonar.

Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις ασύρματες επικοινωνίες. Ανάλογα με το εύρος της συχνότητας έχουν και τις αντίστοιχες εφαρμογές.

- Ραδιοσυχνότητες³⁹
 - ο 3-30Hz τηλεπικοινωνίες υποβρυχίων.
 - ο 30-300Hz ηλεκτρικά δίκτυα κατανομής.
 - ο 300-3000Hz τηλεπικοινωνίες σε ορυχεία.
 - ο 3-30kHz υπέρηχοι.
 - ο 30-300KHz ραδιοφωνικές μεταδόσεις.
 - ο 30-300MHz τηλεοπτικές μεταδόσεις, αεροναυτιλία.

Τα μικροκύματα τα οποία εμπεριέχονται στο φάσμα των ραδιοκυμάτων χρησιμοποιούνται για τη διάδοση πληροφορίας.

- Μικροκύματα⁴⁰
 - ο Εκπομπή τηλεοπτικού σήματος.
 - ο Εφαρμογή του Wi-Fi.
 - ο Εφαρμογή στη κινητή τηλεφωνία.
 - ο Ανταλλαγή αρχείων μέσω Bluetooth.
 - ο Δορυφορικές επικοινωνίες.
 - ο Ραντάρ.
 - ο Φούρνοι μικροκυμάτων.
 - ο αυτόματες κλειδαριές αυτοκινήτων.
 - ο πόρτες γκαράζ.
 - ο οπτικά συστήματα.
 - ο ανιχνευτές/συστήματα ασφαλείας.
 - ο ραδιοτηλεσκόπια.
 - ο τηλεπισκόπηση.

Η υπέρυθη ακτινοβολία έχει φάσμα του οποίου το μήκος κύματος κυμαίνεται μεταξύ 1 χιλιοστό έως τα 700 νανόμετρα. Οι υπέρυθρες ακτίνες εκπέμπονται από θερμά σώματα. Η αναγνώριση τους γίνεται τεχνητά με κάμερες. Οι εφαρμογές τους είναι:

- Υπέρυθη Ακτινοβολία⁴¹
 - ο Θερμικές κάμερες.
 - ο Μεταφορά δεδομένων κινητών τηλεφώνων πριν την δημιουργία Bluetooth.

³⁹ (htt24)

⁴⁰ (htt26)

⁴¹ (htt25)

- ο Τηλεχειριστήριο.
- ο Κόλλημα και αφαίρεση αέρα σε προστατευτικά τζαμάκια για τηλέφωνα.

Οι ακτίνες γάμμα έχουν την μεγαλύτερη συχνότητα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με το μήκος κύματος να έχει εύρος 10^{-10} έως 10^{-14} μέτρα. Αν και είναι πολύ επικίνδυνες για τον άνθρωπο έχουν σημαντικές εφαρμογές:

- Ακτίνες γάμμα
 - ο Στην ιατρική όπως οι ακτινογραφίες που αναφέρθηκαν παραπάνω.
 - ο Για αποστείρωση.
 - ο Ραδιοχρονολόγηση.
 - ο Εξέλιξη των ειδών.

6 ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

6.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Τα ακουστικά κύματα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι διαμήκη, μηχανικά κύματα. Αυτό σημαίνει ότι ως διαμήκη κύματα το διαταραχόμενο μέγεθος ταλαντώνεται παράλληλα στον άξονα της διεύθυνσης διάδοσης με πυκνώματα και αραιώματα. Ως μηχανικό κύμα χρειάζεται κάποιο μέσο για να διαδοθεί. Τα ακουστικά κύματα διαδίδονται στα στερεά, υγρά και αέρια και υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας. Αυτό σημαίνει ότι δύο ηχητικά κύματα μπορούν να συμβάλλουν ενισχυτικά. Η εξίσωση κίνησης είναι:

$$y = A \sin(\omega t - kx) \quad (1)$$

Τα συγκεκριμένα κύματα μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με την συχνότητα τους. Οι κατηγορίες είναι ακουστά, υποηχητικά και υπερηχητικά:

- Ακουστά. Τα ακουστά ή διαφορετικά ηχητικά κύματα είναι αυτά τα οποία αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί και τα εκλαμβάνει ως ήχο. Το εύρος τους είναι από 20Hz έως και 20kHz.
- Υποηχητικά βρίσκονται σε εύρος συχνοτήτων μικρότερης του εύρους της ακουστικής περιοχής και φτάνουν έως και 0,001Hz. Αυτό το εύρος χρησιμοποιείται στη σεισμολογία καθώς τα κύματα σε αυτές τις συχνότητες μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις μέσα από στερεά. Επιπλέον, σε αυτές τις συχνότητες μπορούν να επικοινωνούν μερικά ζώα.⁴²
- Υπερηχητικά, είναι αντίστοιχα τα κύματα με εύρος συχνοτήτων μεγαλύτερου του ακουστικού.

Τα ηχητικά κύματα καθώς σχηματίζουν πυκνώματα και αραιώματα μεταβάλλεται και η πίεση στον αέρα. Αυτή η μεταβολή εκφράζεται από την σχέση:⁴³

$$\Delta p = u_{ph}^2 \rho k a \cos(\omega t - kx) \quad (2)$$

Όπου u_{ph} , η ταχύτητα φάσης. Η σύγκριση των σχέσεων (1) και (2) δείχνει ότι η διαφορά πίεσης και η μετατόπιση του κύματος έχουν μία διαφορά φάσης $\pi/2$. Αυτό σημαίνει ότι όταν μηδενίζει η μετατόπιση, δηλαδή βρισκόμαστε σε μία θέση ισορροπίας τότε η διαφορά πίεσης βρίσκεται σε κάποιο μέγιστο.

Η ένταση και η ισχύς ενός ακουστικού κύματος εκφράζονται από τις αντίστοιχες σχέσεις:

$$I = \frac{2\pi^2 v^2 A_0^2 u_{ph}}{s}$$

$$p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A_0^2 u_{ph}$$

Όπου s είναι η επιφάνεια και ω η κυκλική συχνότητα. Η ταχύτητα φάσης αλλάζει μορφή ανάλογα με τον τύπο αερίου στο οποίο διαδίδεται το κύμα. Για ιδανικά αέρια:

⁴² (Σαλούστρου, 2011)

⁴³ (Παπαδογιάννης, 2015)

$$u_{ph} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M.B.}}$$

Όπου $M.B.$ συμβολίζουμε το μοριακό βάρος, γ είναι ο διαβατικός δείκτης.

Η ένταση του ήχου μετρείται σε Pascal.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το εύρος συχνοτήτων το οποίο αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί είναι μικρό. Για αυτό το λόγο, έχει δημιουργηθεί μία λογαριθμική κλίμακα σύμφωνα με την οποία μετράται η ένταση του ήχου σε συχνότητες αντιληπτές από τον άνθρωπο. Η μονάδα μέτρησης αυτή είναι decibel (dB). Χρησιμοποιείται τόσο στον ακουστικό κλάδο όσο και τον ηλεκτρονικό.

Η ηχητική ένταση δίνεται από την σχέση:

$$L = 10 \log I / I_0$$

Όπου I είναι η ηχητική ένταση που μετράται σε [$Watt/m^2$] και I_0 το πλατό της έντασης κάτω από το οποίο ο ήχος δεν γίνεται αντιληπτός από τον άνθρωπο.⁴⁴

6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα ακουστικά κύματα έχουν πολλές εφαρμογές σε διάφορους επιστημονικούς και μη κλάδους. Παρακάτω αναφέρονται μερικά παραδείγματα.^{45,46}

⁴⁴ (Παπαδογιάννης, 2015)

⁴⁵ (Σπυρίδης, 1990)

⁴⁶ (ΚΟΥΛΟΥΡΗ & ΚΑΡΑΛΕΥΘΕΡΗ, 2013)

- Ακουστική ωκεανογραφία και υποβρύχια ακουστική.
- Αεροδιαστημική μηχανική.
- Ηλεκτρονική.
- Μηχανολογία.
- Γεωφυσική.
- Μετεωρολογία.
- Δομικές κατασκευές και έλεγχος κραδασμών.
- Σεισμολογία.
- Τηλεπικοινωνίες.
- Μουσική Ακουστική.
- Ακοολογία.
- Βιοϊατρική.
- Οπτοακουστική.
- Ομογενοποίηση
- Μετεστερεοποίηση
- Περιβαλλοντική Ακουστική.
- Δερματολογία.
- Βιολογία.
- Αρχαιολογία.
- Τέχνη.
- Ψυχολογία.

7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[7,9]Ανάκτηση από

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE>

[10,18,19,24]]Ανάκτηση από

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%B8%CE%BC%CF%8C%CF%82>

[12] Ανάκτηση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BC%CE%B1>

[14] Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1

[16]Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1

[25]Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1

[26] Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%81%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1

[28]Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B5%CE%AF%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%B8%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82

[29]Ανάκτηση από

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B8%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%B7>

[32] Ανάκτηση από http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki_B-Lykeiou-GP_html-empl/index3_5.html

[39] Ανάκτηση από

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>

[41]Ανάκτηση από

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CE%AD%CF%81%CF%85%CE%B8%CF%81%CE%B7_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1

[6,13,15] Ανάκτηση από www.desmos.com

[36] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AD%CE%B9%CE%B6%CE%B5%CF%81>

- [40]Ανάκτηση από
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>
- [27] (2020). Ανάκτηση από <https://spaceplace.nasa.gov/gravitational-waves/en/>
- [30](2020, 5 3). Ανάκτηση από <https://hellenicweather.com/fainomeno-fata-morgana-me-aioroumena-ploia/>
- [31] Hecht, E. (2018). *Οπτική Βασικές Αρχές & Εφαρμογές*. Gutenberg.
- [33]Αλυσανδράκης, Κ. Ν. (2015). *Παρατηρησιακή αστροφυσική*. Ανάκτηση από
https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PHYS161/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/09_EO_Lesson_Diffraction_2019.pdf
- [37]Αραβαντίνος, Ι. (2010). Ανάκτηση από
<http://physics.teiath.gr/physics/faculty/pdf/Laser.pdf>
- [1,5] Ευτάξιος, Κ. Ανάκτηση από
<http://users.uoa.gr/~ceftax/lectures/H%20ennoia%20tou%20kymatos.pdf>
- [34]Η., Π. Ι. *Μέθοδοι απεικόνισης υπερήχων*.
- [2,3,4] Ι.Ε., Σ. (1991). *Θέματα Οπτικής*. Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.
- [46]ΚΟΥΛΟΥΡΗ, Θ., & ΚΑΡΑΛΕΥΘΕΡΗ, Μ. (2013). *Αριστοποίηση συνθηκών λειτουργίας διβάθμιου βιομηχανικού ομογενοποιητή πίεσης και ομογενοποιητή υπερήχων*. PhD.
- [11,17,20,22,23] Μ., Κ. (2014). Ανάκτηση από <https://slideplayer.gr/slide/2391124/>
- [21]Παπάγος, Ανάκτηση από
https://www.1gymrapagou.gr/files/lessons/fisiki/C_Gymnasiou/sciencetube_fisiki_c_gymn_5.pdf
- [8,43,44] Παπαδογιάννης, Ν. Μ. (2015). *Κυματική Φυσική*.
- [35]Σ.Κόττου. (2009). Ανάκτηση από
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED263/Laser%20and%20medical%20applications.pdf>
- [42]Σαλούστρου, Ε. (2011). *Υπόηχοι, θόρυβος, επιπτώσεις της έκθεσης στη δημόσια υγεία, επιτρεπόμενα όρια έκθεσης, μετρήσεις*.
- [45]Σπυρίδης, Χ. Χ. (1990). *Μουσική ακουστική*.
- [38]Τσιριπίδου, Γ. Β. (2017). Ανάκτηση από
https://www.slideshare.net/filippos_chatziandreas/ss-76874623