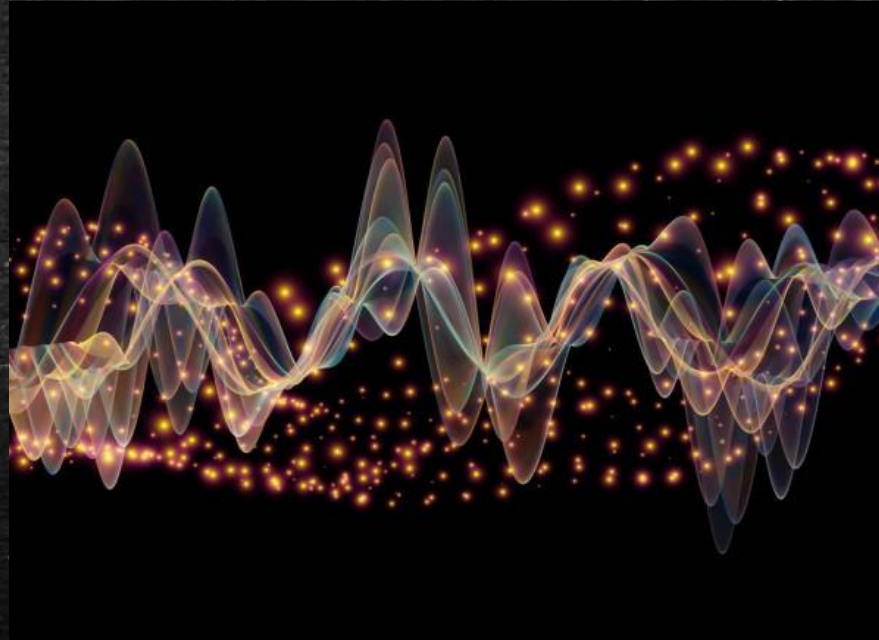


ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ & ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΠΑΝΤΕΛΙΔΑΚΗΣ

ΝΤΕΙΒΙΝΤ ΚΕΛΙ

Κος. Γ. ΤΣΙΓΑΡΙΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΕΜΠ

1ο ΕΞΑΜΗΝΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ & ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Περίληψη

Στη συγκεκριμένη εργασία αναλύονται τα μηχανικά και σεισμικά κύματα. Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στην Κυματική Φυσική με τον ορισμό, τα βασικά φυσικά μεγέθη κυμάτων και τα βασικά είδη των κυματικών διαταραχών. Παρουσιάζονται, επίσης, οι έννοιες της κυματικής συνάρτησης και της γενικής εξίσωσης μονοδιάστατων κυμάτων, της ταχύτητας, της ενέργειας και της ισχύος τους. Έπειτα, εισάγονται οι έννοιες των κανονικών τρόπων ταλάντωσης και των χαρακτηριστικών συχνοτήτων (ιδιοσυχνότητες). Ακολουθεί η ανάλυση βασικών κυματικών φαινομένων που αφορούν στην επαλληλία και τη συμβολή κυμάτων, στο συντονισμό και στο φαινόμενο Doppler. Όσον αφορά την ενότητα των σεισμικών κυμάτων θα υλοποιηθεί ανάλυση της έννοιας και των ειδών που χαρακτηρίζουν τα κύματα αυτά. Θα επικεντρωθούμε στην διάκριση των στρωμάτων της Γης, των κυμάτων χώρου που τα διέπουν, καθώς και των παραγόντων που επιδρούν στη μεταβολή της ταχύτητας των κυμάτων αναλογικά με το βάθος. Έπειτα, θα γίνει κατηγοριοποίηση των κυμάτων

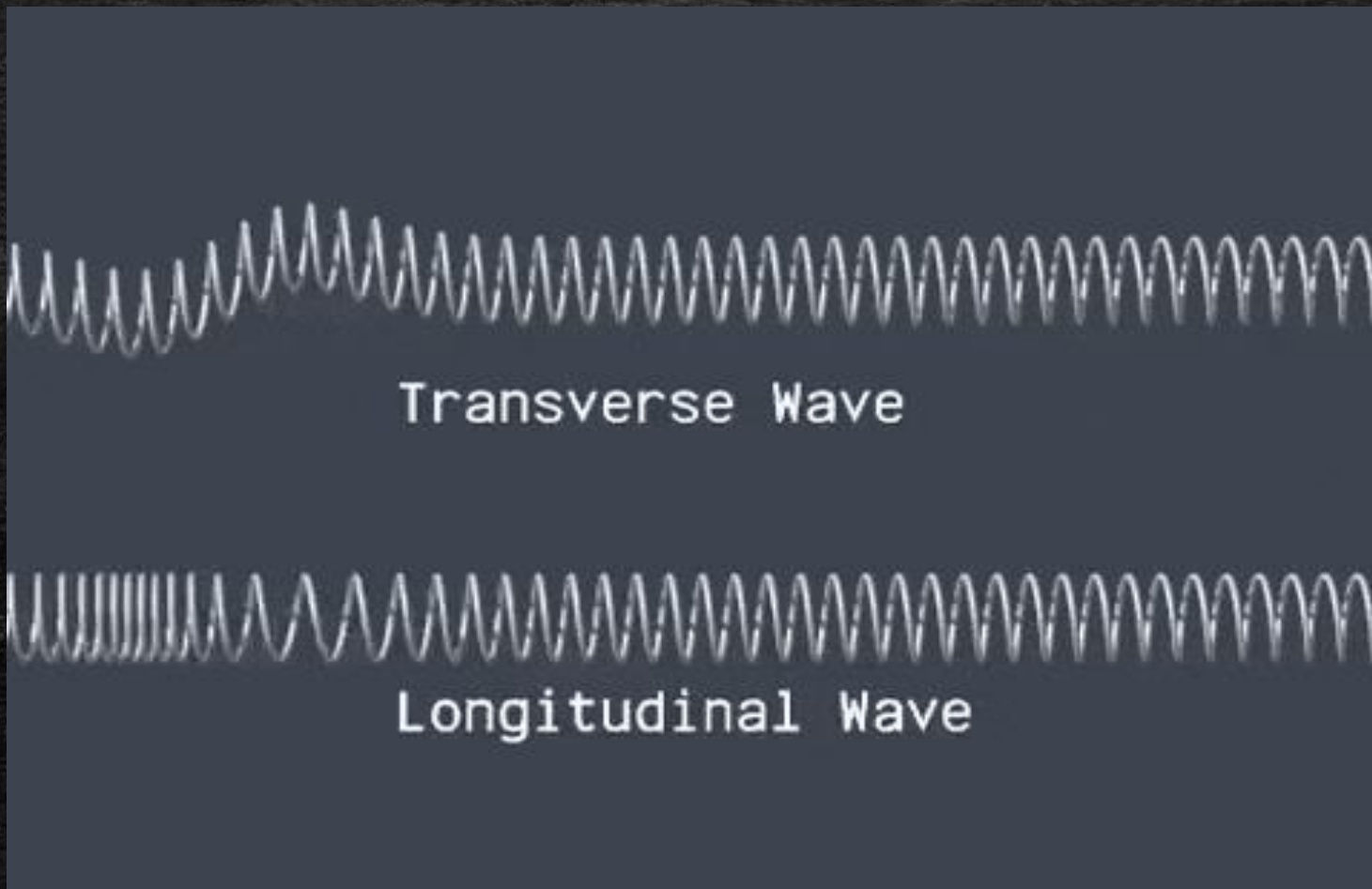
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Ορισμός και είδη μηχανικών κυμάτων

Κύμα είναι μια διαταραχή από την ισορροπία, η οποία ταξιδεύει μέσα στον χώρο. Τρία είναι τα βασικά είδη κυμάτων, τα μηχανικά κύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα κύματα πιθανότητας της Κβαντικής Φυσικής. Ειδικότερα, τα μηχανικά κύματα ταξιδεύουν διαμέσου ενός υλικού (π.χ. αέρας, νερό, στερεά κτλ.). Τα μηχανικά κύματα διακρίνονται, ανάλογα με τη σχέση της κίνησης των σωματιδίων του μέσου με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, σε δύο ομάδες, τα εγκάρσια και τα διαμήκη κύματα.

- ✓ Στα εγκάρσια κύματα, η μετατόπιση των υλικών σωματιδίων, που μεταφέρουν το κύμα, είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του ίδιου του κύματος.
- ✓ Στα διαμήκη κύματα η μετατόπιση (ταλάντωση) των υλικών σωματιδίων, που μεταφέρουν το κύμα, γίνεται κατά μήκος (παράλληλα) της διεύθυνσης διάδοσης του κύματος.

МΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Η έννοια της ταχύτητας

Στη κυματική ορίζονται τρεις διαφορετικές ταχύτητες, η σωματιδιακή ταχύτητα, η κυματική ή φασική ταχύτητα και η ομαδική ταχύτητα.

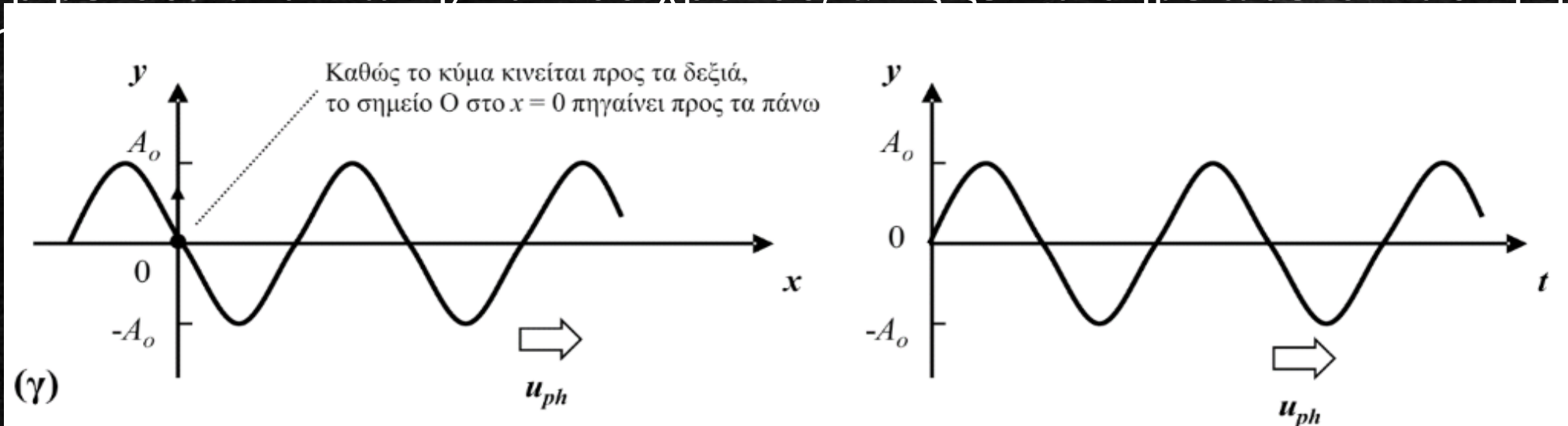
- ✓ Η σωματιδιακή ταχύτητα, u , είναι η απλή αρμονική ταχύτητα των ταλαντευόμενων σωματιδίων γύρω από την θέση ισορροπίας.
- ✓ Η κυματική ή φασική ταχύτητα, u_{ph} , είναι η ταχύτητα όπου επίπεδα με την ίδια φάση διαδίδονται στο μέσον (διάδοση διαταραχών), δηλαδή η ταχύτητα διάδοσης της κυματικής διαταραχής.
- ✓ Η ομαδική ταχύτητα, u_g , είναι η ταχύτητα με την οποία οδεύουν υπερθέσεις κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος και διαφορετικές φασικές ταχύτητες.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Η κυματοσυνάρτηση

$$y = A_0 \sin(\omega t - Kx + \varphi)$$

Η παραπάνω εξίσωση λέγεται κυματική συνάρτηση ή κυματοσυνάρτηση αρμονικού κύματος, και περιγράφει την μετατόπιση y ενός υλικού σημείου σε ένα κύμα από το σημείο ισορροπίας του, ως συνάρτηση του x (που προσδιορίζει τη θέση ενός συγκεκριμένου ταλαντωτή) και του χρόνου, t . Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η εξίσωση ισχύει

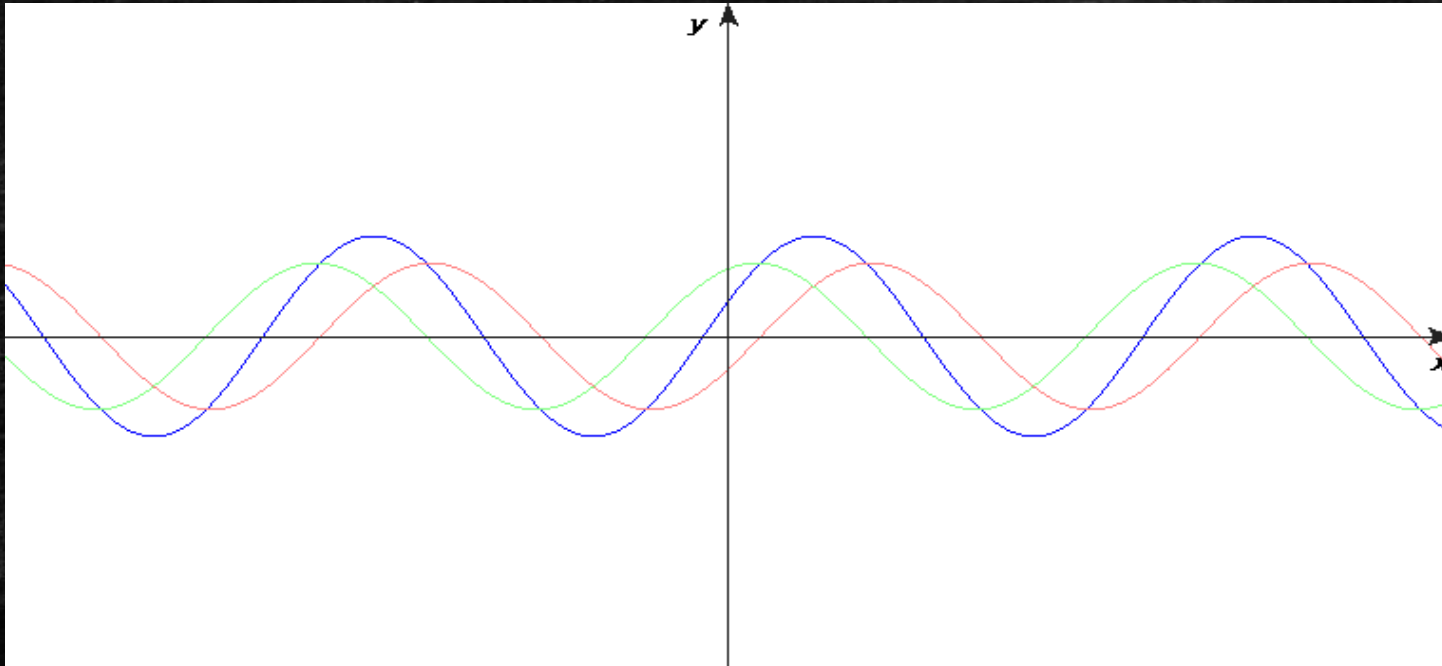


ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Γενική εξίσωση κύματος

$$\partial^2 y / \partial t^2 = u_{ph}^2 (\partial^2 y / \partial x^2)$$

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί τη βασικότερη εξίσωση της Κυματικής και ονομάζεται γενική εξίσωση κύματος.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Ενέργεια κύματος

Μια εξωτερική πηγή καταναλώνει έργο, κάνοντας τα πρώτα σωματίδια να κινηθούν. Τα σωματίδια κινούνται πάνω – κάτω με απλή αρμονική κίνηση. Η ενέργεια των σωματιδίων μετατρέπεται από κινητική σε δυναμική και ανάστροφα. Η συνολική ενέργεια των σωματιδίων παραμένει αμετάβλητη. Το κάθε σωματίδιο δίνει ενέργεια στο γειτονικό του από τα δεξιά με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο προσλαμβάνει ενέργεια από το γειτονικό του από τα αριστερά. Με τον παραπάνω τρόπο αντιλαμβάνεται κανείς πώς η ενέργεια από τη πηγή μπορεί να φτάσει στο δέκτη. Η συνολική ενέργεια του κάθε σωματιδίου είναι:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A_0^2, \text{ (απλή αρμονική κίνηση)}$$

ενώ, η συνολική ενέργεια όλων των ταλαντευόμενων σωματιδίων σε μήκος όσο το μήκος κύματος λ είναι:

$$E_\lambda = \frac{1}{2} m \omega^2 A_0^2 (\rho \lambda), \text{ όπου } \rho \lambda \text{ είναι η μάζα ανά μονάδα μήκους του υλικού.}$$

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Ισχύς κύματος

Έστω ότι παρατηρείται μια ταλαντευόμενη χορδή. Σε μία περίοδο T , η ενέργεια που περιεχόταν σε μήκος του υλικού όσο ένα μήκος κύματος, έχει μετακινηθεί στη χορδή όσο ένα μήκος κύματος. Η ισχύς της μεταφοράς προφανώς ισούται με την ενέργεια που εμπεριέχεται σε ένα μήκος κύματος δια την περίοδο. Έτσι, ισχύει:

$$P_{\lambda} = E_{\lambda} / T = [\omega^2 A_0^2 (\rho_{\lambda})] / 2T \rightarrow P_{\lambda} = \frac{1}{2} \rho u_{ph} \omega^2 A_0^2 \rightarrow P_{\lambda} = 2\pi^2 \rho u_{ph} v^2 A_0^2$$

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Επαλληλία κυμάτων

Η επαλληλία (υπέρθεση) κυμάτων είναι το κυματικό φαινόμενο που μπορεί να απαντήσει στην ερώτηση: τι συμβαίνει, όταν δύο ή περισσότερα κύματα φτάνουν στο ίδιο σημείο του χώρου την ίδια χρονική στιγμή;

Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας (υπέρθεσης), η συνολική μετατόπιση των σωματιδίων μέσα στο υλικό στο συγκεκριμένο σημείο είναι το άθροισμα των μετατοπίσεων που θα προκαλούσε το κάθε κύμα, αν δρούσε μόνο του. Η γενική κυματική εξίσωση:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\left(\frac{1}{u_{ph}^2}\right) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

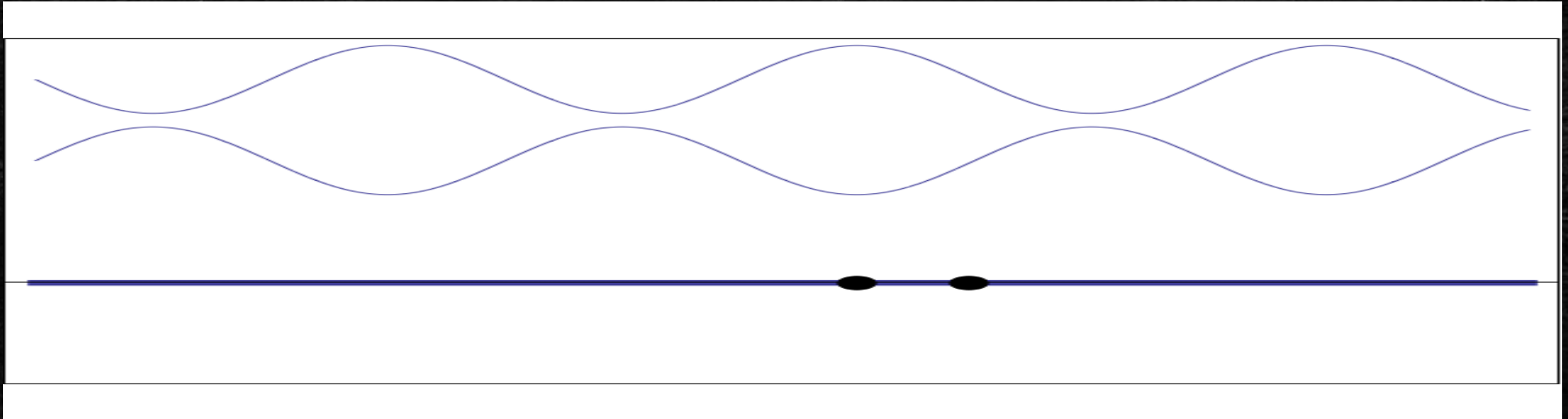


ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Συμβολή κυμάτων και διακρότημα

✓ Συμβολή κυμάτων

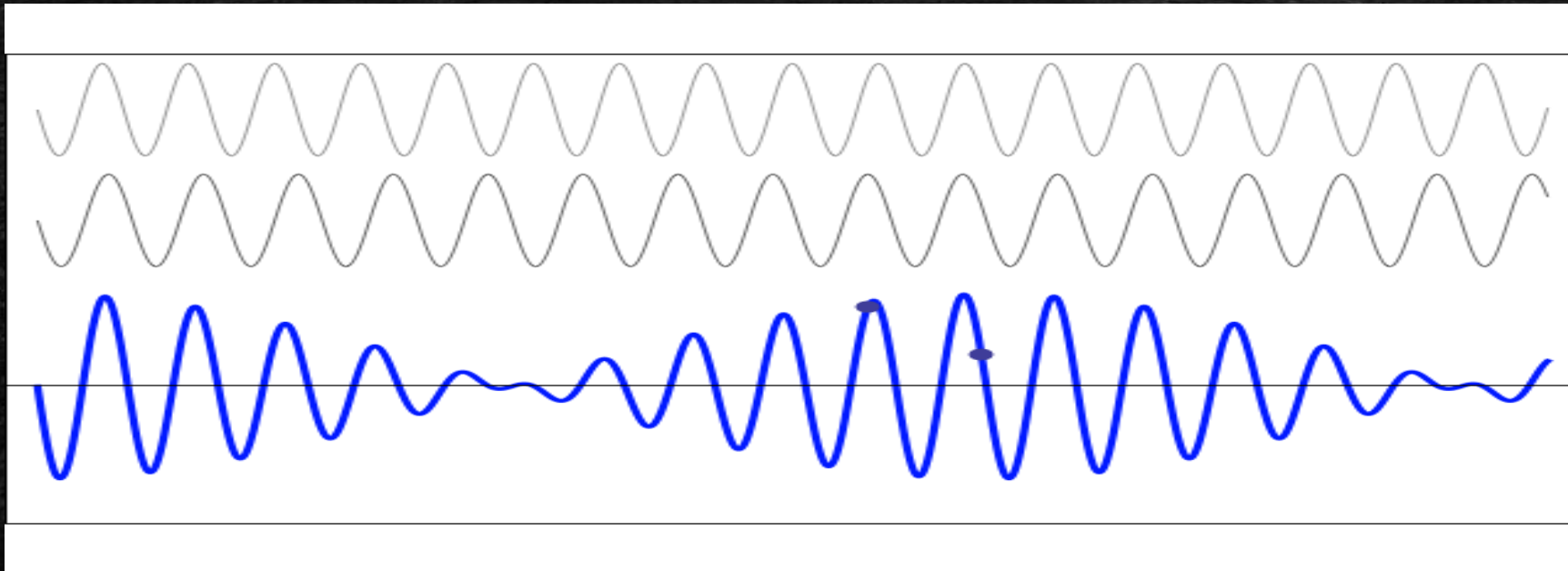
Ο όρος συμβολή χρησιμοποιείται, για να εκφράσει το αποτέλεσμα της υπέρθεσης των κυμάτων, και διακρίνεται σε ενισχυτική συμβολή και σε καταστρεπτική συμβολή.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

✓ Διακρότημα

Τα διακροτήματα είναι μια περιοδική αυξομείωση της έντασης, που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου, και οφείλονται στην επαλληλία κυμάτων που έχουν παραπλήσιες συχνότητες.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Διάθλαση κυμάτων

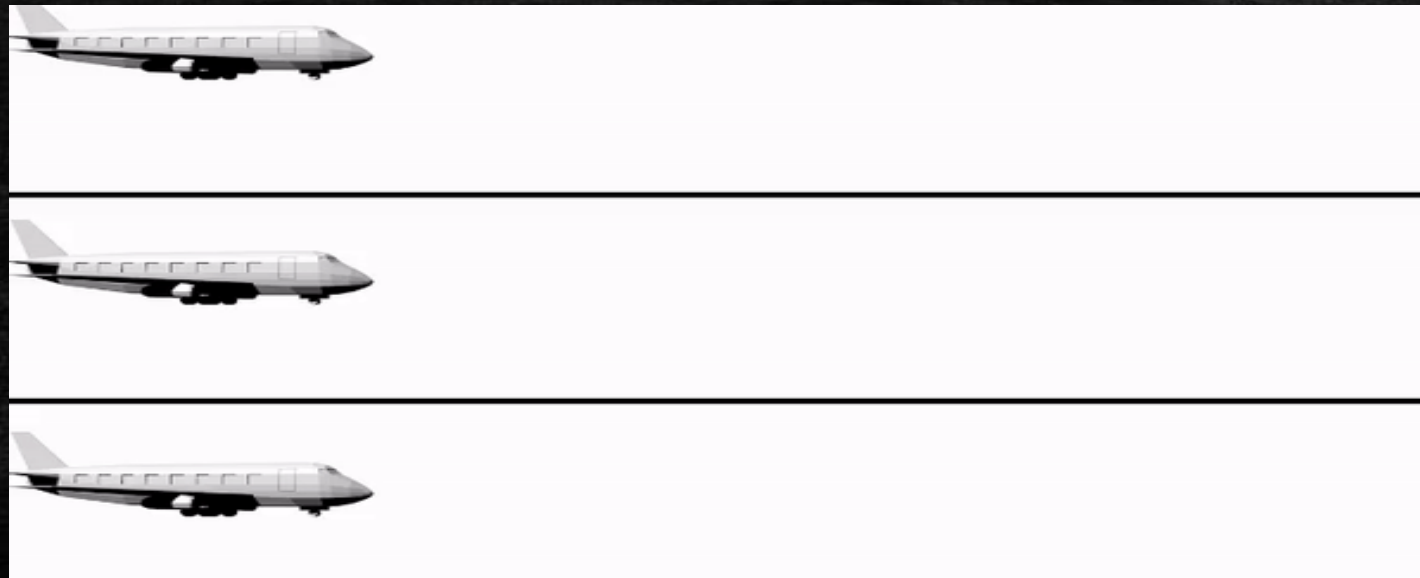
Όταν ένα μηχανικό κύμα διαδοθεί από ένα υλικό σε ένα άλλο υλικό (με διαφορετική φασική ταχύτητα), τότε, εάν προσπίπτει στη διεπιφάνεια των δύο υλικών υπό γωνία, η πορεία του κύματος στο δεύτερο υλικό εκτρέπεται. Η εκτροπή αυτή ονομάζεται διάθλαση του κύματος και οφείλεται στο γεγονός ότι, όταν το μέτωπο του κύματος βρεθεί ακριβώς στο σύνορο των δύο περιοχών, ένα μέρος κινείται ακόμα στο ένα υλικό και ένα μέρος στο άλλο.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗ

➤ Φαινόμενο Doppler

Οποτεδήποτε υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ της πηγής των κυμάτων και του δέκτη, η συχνότητα των κυμάτων που ανιχνεύει ο δέκτης είναι διαφορετική από αυτή που θα ανίχνευε ο ίδιος δέκτης, αν δεν υπήρχε σχετική κίνηση. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο Doppler (Ντόπλερ), προς τιμήν του **Αυστριακού φυσικού C.J. Doppler**.



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Ορισμός και είδη σεισμικών κυμάτων

Τα ελαστικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο μέσα ή πάνω στην επιφάνεια της Γης και διαδίδονται μέσα σ' αυτή λέγονται σεισμικά κύματα. Τα σεισμικά κύματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα κύματα χώρου και τα επιφανειακά κύματα.

✓ Κύματα χώρου, λέγονται τα κύματα τα οποία διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στη γη. Τα κύματα χώρου διακρίνονται σε δύο είδη, τα επιμήκη κύματα (P) και τα εγκάρσια κύματα (S).

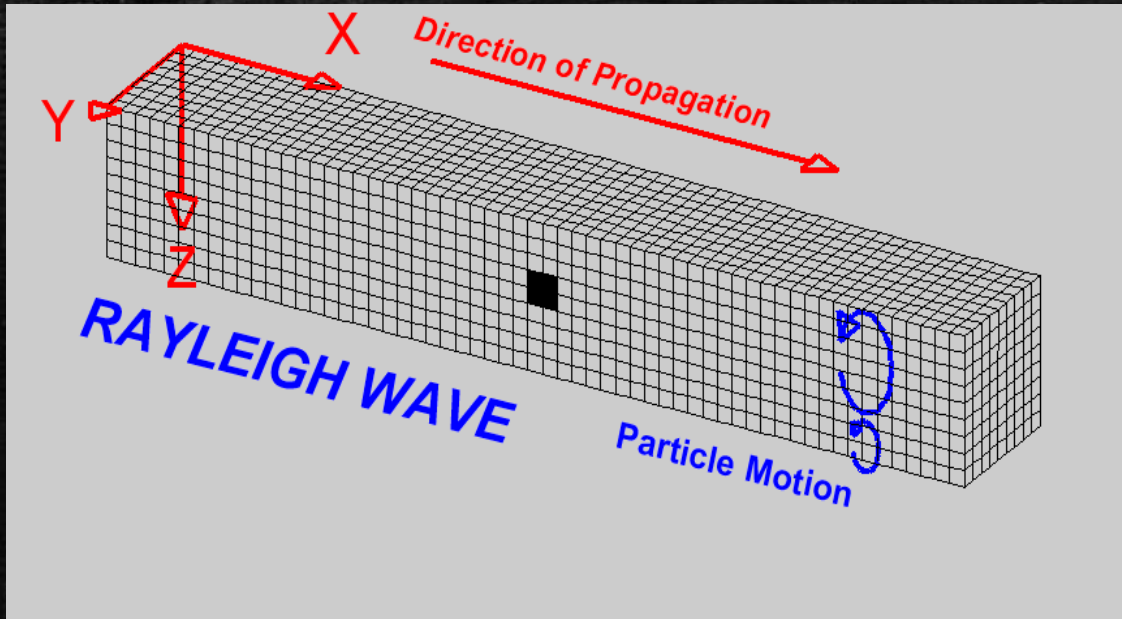
❖ Επιμήκη ή Πρωτεύοντα κύματα (P-Primary) λέγονται εκείνα όπου η ταλάντωση γίνεται παράλληλα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

❖ Εγκάρσια ή Δευτερεύοντα κύματα (S-Secondary) είναι τα κύματα στα οποία η ταλάντωση γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

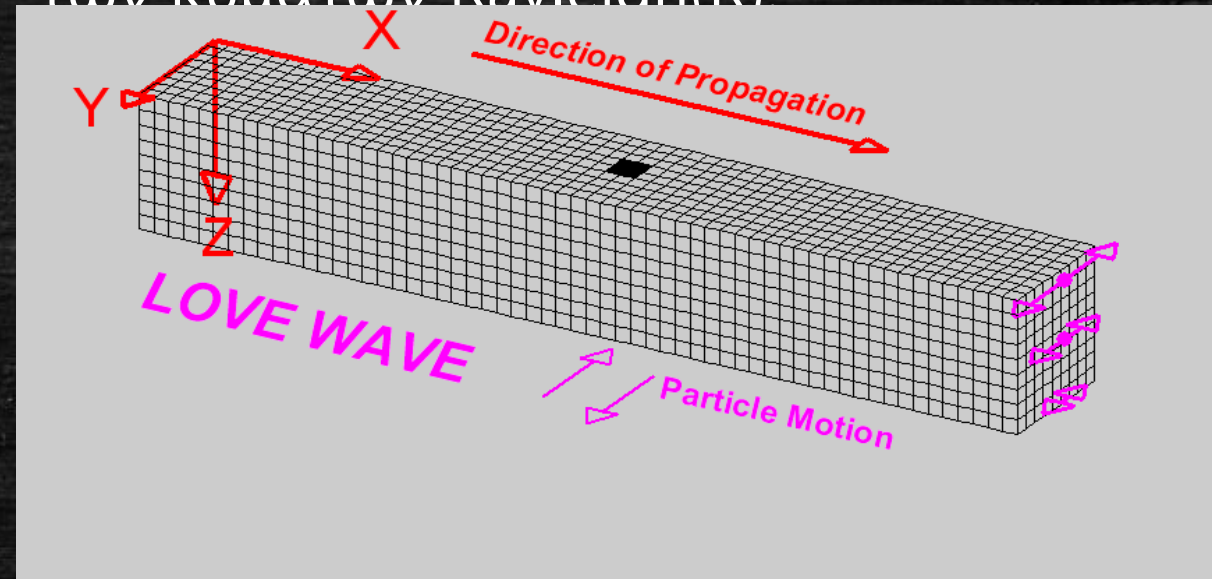
✓ Επιφανειακά κύματα λέγονται τα κύματα που ακολουθούν συγκεκριμένες διαδρομές μέσα στα επιφανειακά στρώματα της γης.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

- ❖ Οι τροχιές των κυμάτων Rayleigh (R) είναι ελλειπτικές, κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους και παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



- ❖ Τα κύματα Love (L) εμφανίζουν οριζόντια πόλωση και κινούνται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσής τους. Η ταχύτητά τους είναι μικρότερη των κυμάτων χώρου, αλλά μεγαλύτερη των κυμάτων Rayleigh(R)



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

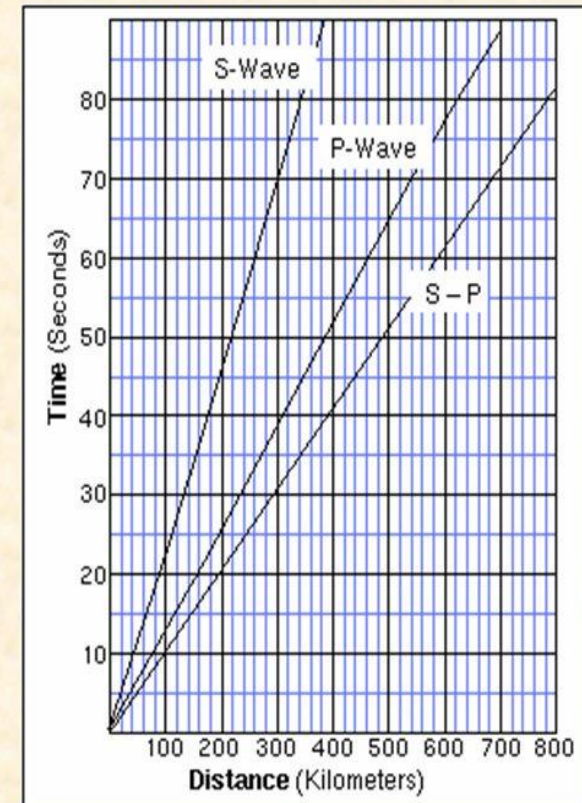
➤ Καμπύλες χρόνων διαδρομής των κυμάτων χρόνου

Τα κύματα χώρου, που γεννιούνται στην εστία ενός σεισμού διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης και φθάνουν στην επιφάνειά της, σε σημεία όπου υπάρχουν σεισμολογικοί σταθμοί. Αν η εστία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού είναι γνωστά διευκολυνόμαστε στον υπολογισμό των επικεντρικών αποστάσεων (μήκος του τόξου μέγιστου κύκλου που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της Γης, μεταξύ του σταθμού και του επικέντρου) και των αντίστοιχων χρόνων διαδρομής.

Αν αυτό επαναληφθεί για πληθώρα σεισμών, τότε είναι εφικτή από μέρους μας η κατασκευή πινάκων που να προσδιορίζουν τους χρόνους διαδρομής t , συναρτήσει των επικεντρικών αποστάσεων (Δ), οι λεγόμενοι πίνακες χρόνων διαδρομής.

Ως καμπύλες χρόνων διαδρομής ορίζονται οι γραφικές παραστάσεις των σχέσεων διαδρομής και

ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΧΡΟΝΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

- Μεταβολή της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων με το βάθος μέσα στη Γη
- ✓ Κανονική μεταβολή της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων με το βάθος μέσα στην Γη

Οι ταχύτητες των κυμάτων χώρου μεταβάλλονται κατά κύριο λόγο με το βάθος μέσα στην Γη και πολύ λιγότερο οριζόντια. Όταν η μεταβολή της ταχύτητας u με το βάθος h είναι συνεχής και η βαθμίδα αυτής της μεταβολής (du/dh) είναι μικρή, λέμε ότι έχουμε κανονική μεταβολή της ταχύτητας με το βάθος. Στο μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού της Γης η μεταβολή της ταχύτητας μπορεί να θεωρηθεί κανονική.

Κάθε σεισμική ακτίνα χαρακτηρίζεται από την παράμετρο p η οποία δίνεται από την σχέση $p = (r \sin i) / v$ όπου r είναι η απόσταση από το κέντρο της Γης, i η γωνία πρόσπτωσης και v η ταχύτητα. Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι σταθερή για όλο το μήκος της διαδρομής της ακτίνας και ουσιαστικά διατυπώνεται ο νόμος του Snell για σφαιρική Γη.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

✓ Μη κανονική μεταβολή της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων με το βάθος μέσα στην Γη

Σε περίπτωση στρώματος μεγάλης ταχύτητας στο εσωτερικό της Γης, οι σεισμικές ακτίνες που περνάνε από την περιοχή αυτή καμπυλώνονται ισχυρά με συνέπεια να φθάνουν αυτές σε αποστάσεις μικρότερες από εκείνες στις οποίες φθάνουν άλλες ακτίνες, που αναχωρούν από την εστία με μεγαλύτερες γωνίες ως προς την κατακόρυφο, αλλά βρίσκονται ολόκληρες πάνω από την περιοχή που προκαλεί την ανωμαλία. Ο χρόνος διαδρομής, T , δεν είναι μονοσήμαντη συνάρτηση της επικεντρικής απόστασης, Δ , δηλαδή υπάρχουν κύματα του ίδιου τύπου (π.χ. Ρ κύματα) που αναχωρούν συγχρόνως από την εστία και φθάνουν σε διαφορετικούς χρόνους σε ορισμένο σταθμό, επειδή ακολούθησαν διαφορετικούς δρόμους.

Υπάρχουν περιοχές του εσωτερικού της Γης όπου η ταχύτητα δεν μεταβάλλεται κανονικά με το βάθος. Υπάρχουν μάλιστα ορισμένα βάθη όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται απότομα. Στα βάθη της υπάρχουν ασυνέχειες των ταχυτήτων. Δύο από τις ασυνέχειες αυτές είναι οι σπειριδαιόστερες και για αυτό ονομάζονται ασυνέχειες

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Αρχή του Fermat: Όταν ένα κύμα διαδίδεται σε υλικό μέσο, ακολουθεί τη διαδρομή του ελάχιστου χρόνου.

Αρχή του Huygens: Κάθε υλικό σημείο που ταλαντώνεται κατά την διέλευση κύματος γίνεται με την σειρά του πηγή δευτερογενούς ακτινοβολίας.

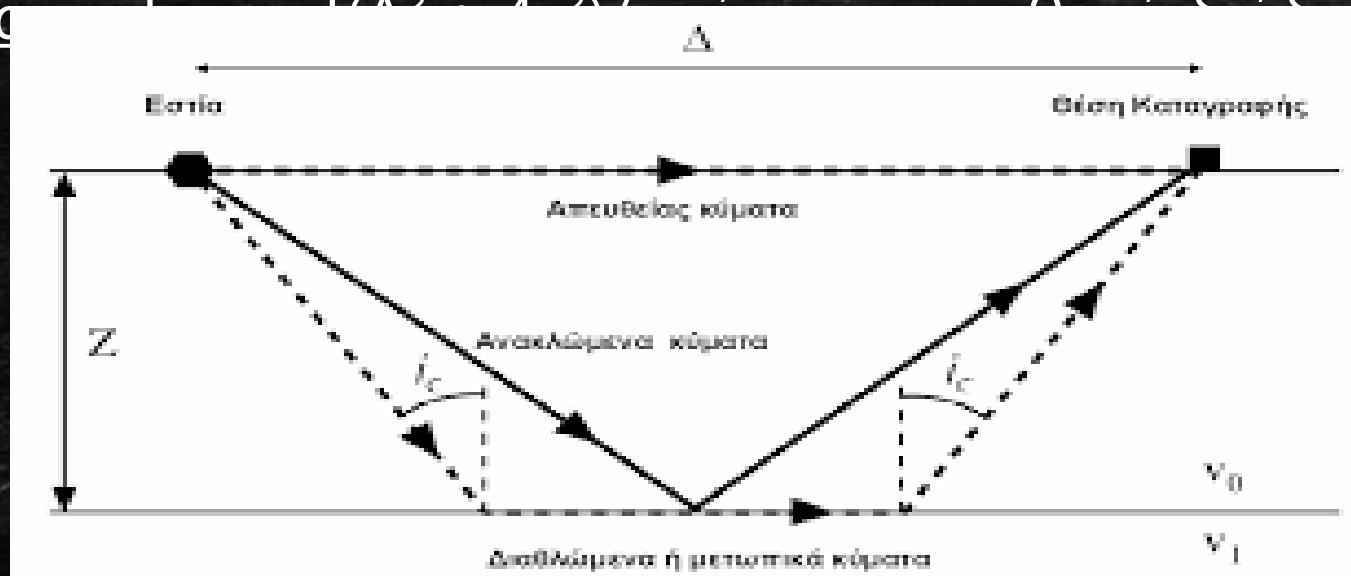
Νόμος του Snell: $n_1 \sin \theta_1 / n_2 \sin \theta_2 = v_1 / v_2$.

Όταν όμως η προσπίπτουσα ακτίνα αποκτά τιμή $i_1 = i_c$, τέτοια που η i_2 να γίνει ίση με 90° , δηλαδή θα ισχύει $n_1 \sin i_c = n_2$, τότε η διαθλώμενη ακτίνα ακολουθεί τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων και τα κύματα αυτά ονομάζονται μετωπικά κύματα (head waves). Η γωνία i_c καλείται οριακή γωνία.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Οι εξισώσεις των χρόνων διαδρομής σε συνάρτηση με την απόσταση Δ είναι:

- Απευθείας κύματα: $T_1 = \Delta / v_0$
- Διαθλωμένα κύματα: $T_2 = \Delta / v_1 + [2z \cdot \text{sqrt}(v_1^2 - v_0^2)] / v_0 \cdot v_1$
- Ανακλώμενα κύματα: $T_3 = (\Delta^2 + 4z^2)^{1/2} / v_1 + 2z / v_0$ (όχι σε εικόνα)



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Κύματα διάθλασης

Τα κύματα **Pg** (επιμήκη κύματα φάσης σε γρανιτικά στρώματα) παρατηρούνται στους τοπικούς και γειτονικούς ηπειρωτικούς σεισμούς που έχουν τις εστίες τους μέσα στο γρανιτικό ή μέσα στο ιζηματογενές στρώμα. Αν η εστία βρίσκεται στο γρανιτικό στρώμα, τότε το Pg διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα σε αυτό, μετά διαθλάται σε οριακή επιφάνεια που βρίσκεται μεταξύ του γρανιτικού και του ιζηματογενούς στρώματος και τελικά φθάνει στο σταθμό. Αν η εστία βρίσκεται στο ιζηματογενές στρώμα τότε το κύμα Pg αναχωρεί από την εστία αυτού του στρώματος, προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του στρώματος αυτού και του γρανιτικού και διαθλάται.

Τα **Pb** κύματα προσπίπτουν στην ασυνέχεια *Conard* (επίπεδο διαχωρισμού γρανιτικού και βασαλτικού στρώματος) υπό την οριακή γωνία και διαδίδονται κατά μήκος της τομής της επιφάνειας αυτής και του κατακόρυφου επιπέδου.

Αντίθετα, τα **Pn** κύματα (κύματα μεγαλύτερης ταχύτητας, ίδιας φύσεως με τα Pb, Pg) προσπίπτουν στην ασυνέχεια *Mohorovicic* (οριακό στρώμα

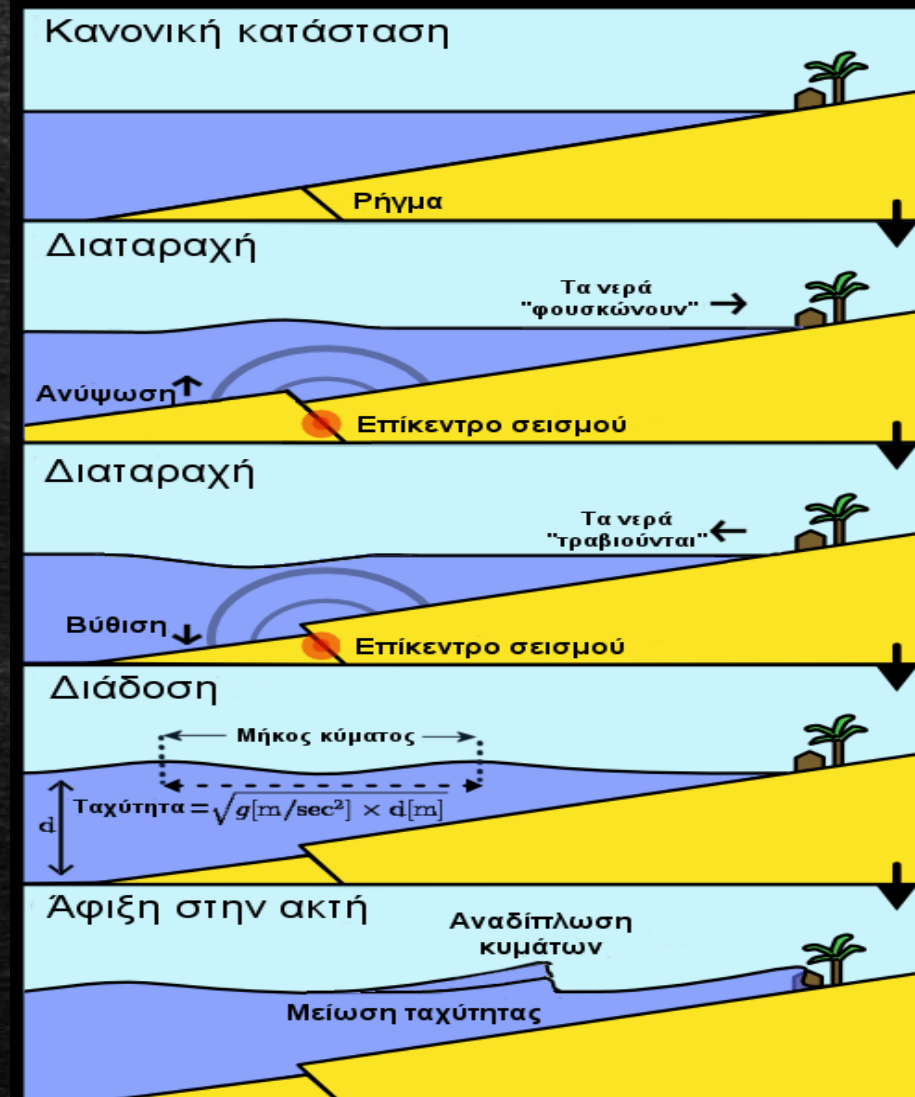
ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Διαυλικά κύματα

Σε ορισμένες περιοχές της Γης υπάρχει στρώμα μικρής ταχύτητας, περίπου από το βάθος 10 km μέχρι το βάθος 20 km μέσα στο φλοιό, το οποίο ονομάζεται λιθοσφαιρικός δίαυλος.

Έτσι, σε μικρές αποστάσεις ($\Delta < 60 \text{ km}$) πρώτα φθάνουν στο σταθμό τα απ'ευθείας επιμήκη κύματα τα οποία παριστάνονται με το ***p***. Μετά υπάρχει σκιερή ζώνη, δηλαδή περιοχή όπου δεν διαδίδονται κύματα και οι καμπύλες χρόνων διαδρομής διακόπτονται για τις αντίστοιχες επικεντρικές αποστάσεις.

Εκτός από τα ηπειρωτικά διαυλικά κύματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπάρχουν και ωκεάνια διαυλικά κύματα, ευρύτερα διαδεδομένα με την



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

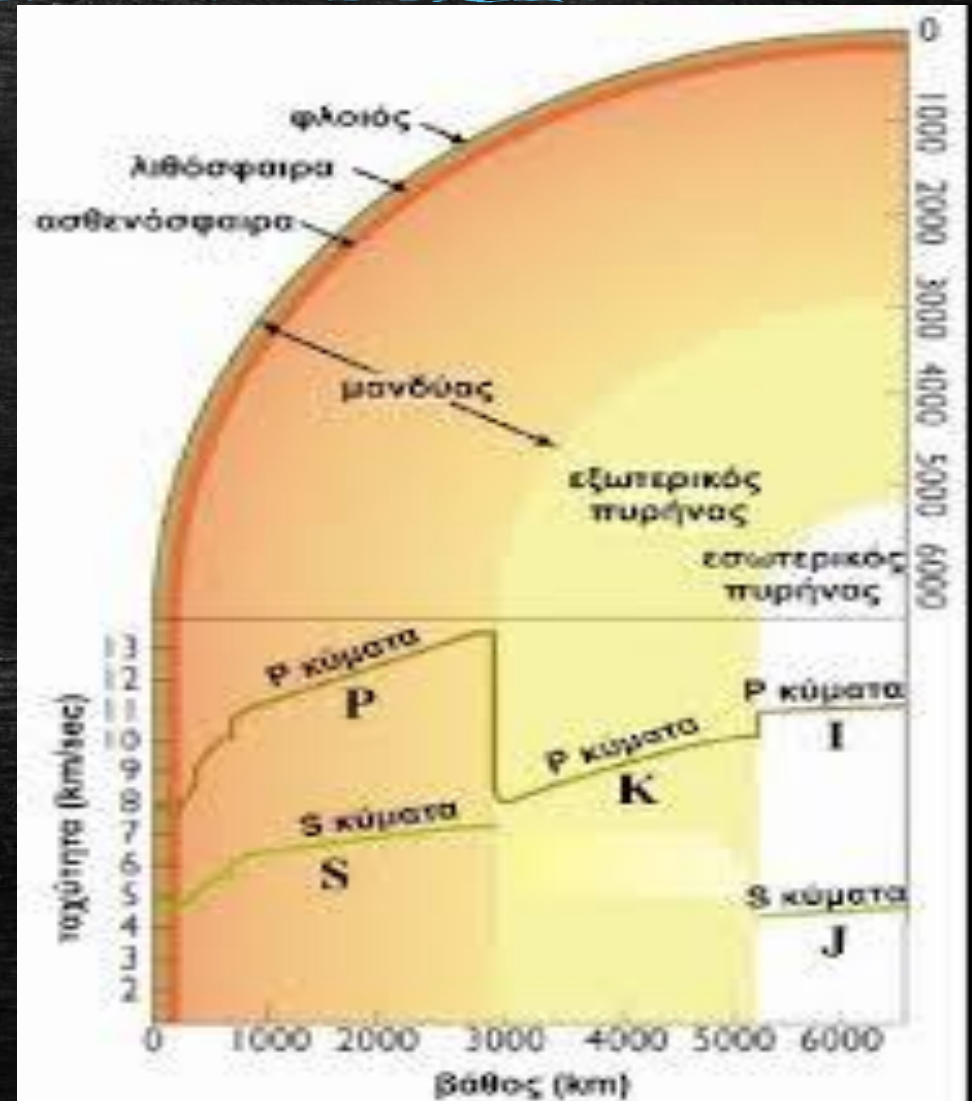
➤ Κύματα ανάκλασης

Τα κύματα ανάκλασης είναι κύματα τα οποία αναχωρούν από την εστία του σεισμού που βρίσκεται μέσα στο φλοιό και προσπίπτουν στην ασυνέχεια Mohorovicic, όπου παθαίνουν ανάκλαση και μετά επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης, όπου αναγράφονται από σεισμολογικούς σταθμούς σε σχετικά μικρές επικεντρικές αποστάσεις. Αν τόσο αυτό που προσπίπτει όσο και το ανακλώμενο κύμα στην επιφάνεια Mohorovicic είναι επιμήκη ή εγκάρσια, το αναγραφόμενο κύμα παριστάνεται με το συμβολισμό **PmP** ή **SmS** αντίστοιχα.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Τυπικά, κύματα P που αναχωρούν από μία εστία σεισμού η οποία βρίσκεται μέσα στον φλοιό γίνονται αντιληπτά μέχρι την απόσταση $\Delta = 103^\circ (1^\circ \sim 111.11 \text{ km})$. Παρατηρούνται όμως και κύματα P τα οποία διαδίδονται πέρα από την απόσταση αυτή, τα οποία καλούνται κύματα περίθλασης (συμβολίζονται ως P' ή P_{diff}).

Τα κύματα διαδίδονται μέσα στον φλοιό σύμφωνα με την διπλανή απεικόνιση.

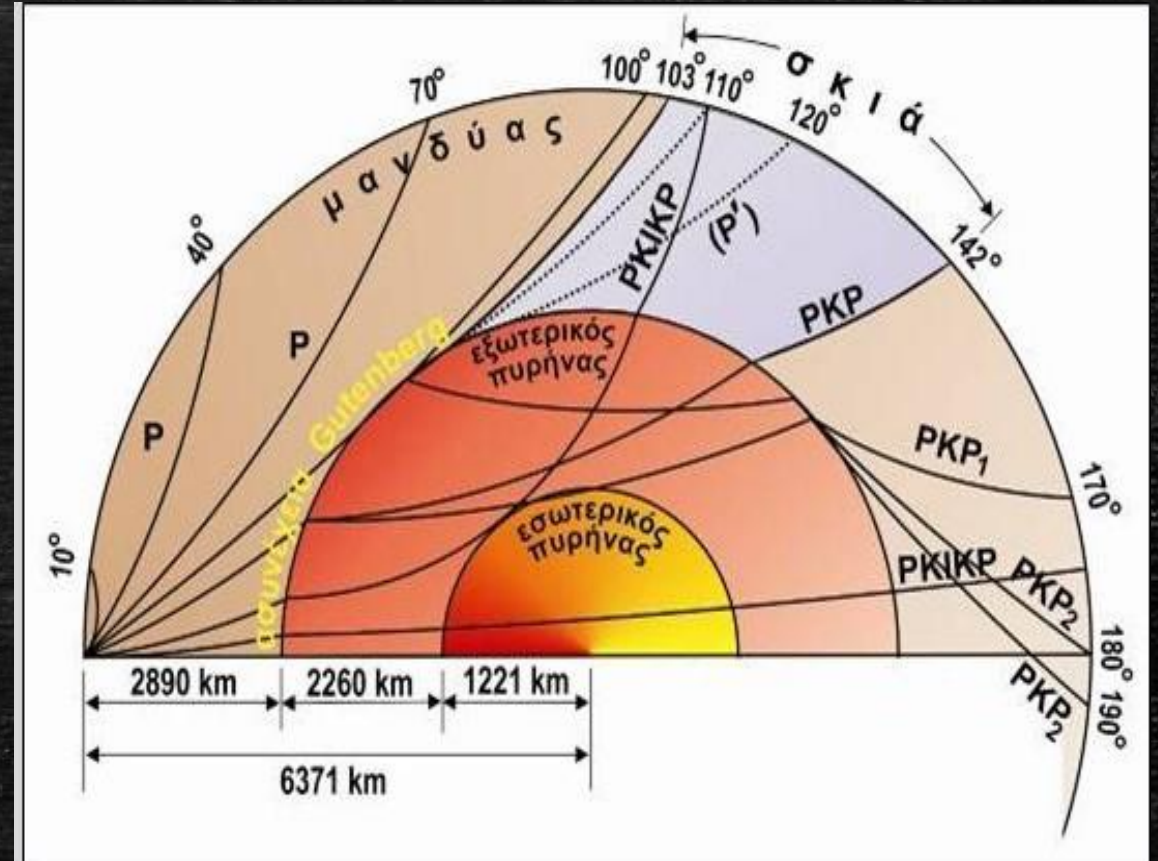


ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Διάδοση των κυμάτων χώρου στον πυρήνα

Ο πυρήνας της Γης αρχίζει από την επιφάνεια Gutenberg (**2890 km**) και φθάνει μέχρι το κέντρο της Γης (**6371 km**). Αυτός διακρίνεται στον εξωτερικό πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται σε υγρή κατάσταση και στον εσωτερικό πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται σε στερεά κατάσταση.

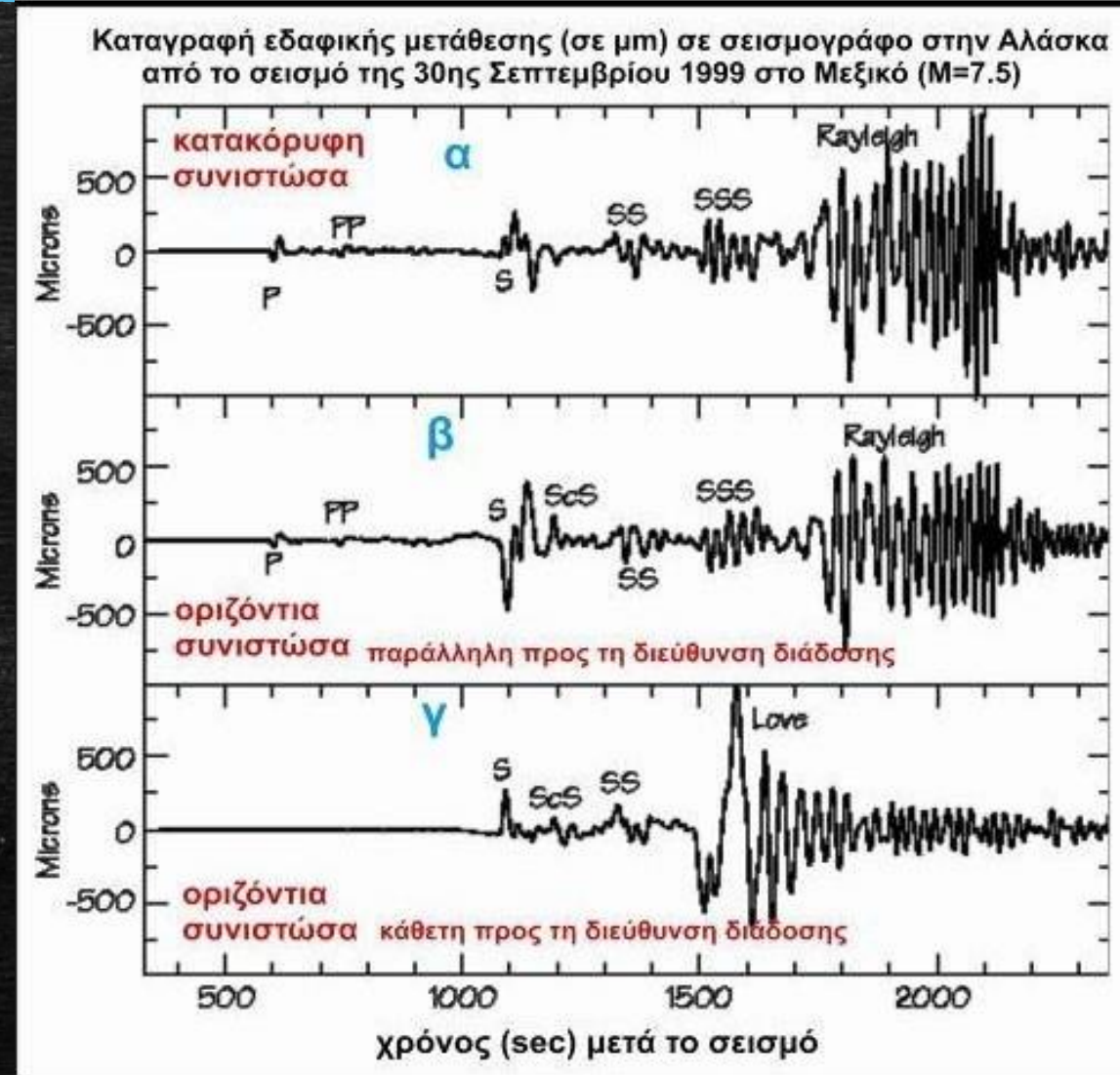
Στον υγρό εξωτερικό πυρήνα (**2890-5150 km**) δεν διαδίδονται εγκάρσια κύματα ενώ η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων αυξάνεται ομαλά με το βάθος. Αντίθετα, στον στερεό εσωτερικό πυρήνα (**5150-6371 km**)



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Επιφανειακά κύματα και διάδοση αυτών στην Γη

Από τα επιφανειακά κύματα μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την Σεισμολογία παρουσιάζουν τα κύματα Rayleigh και Love. Τα δύο είδη των κυμάτων αυτών παθαίνουν σκέδαση, δηλαδή η ταχύτητα διάδοσης τους εξαρτάται από την περίοδο. Η σκέδαση τους είναι συνήθως κανονική, υποδηλώνοντας ότι η ταχύτητα αυξάνεται με την αύξηση της περιόδου. Η διάδοση των επιφανειακών κυμάτων μικρής περιόδου επηρεάζεται κυρίως από τις ιδιότητες του φλοιού, ενώ η διάδοση κυμάτων μεγάλης περιόδου επηρεάζεται από τις ιδιότητες του πάνω μανδύα.



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Κατά την διάδοση των κυμάτων Love, τα υλικά σημεία πραγματοποιούν ταλαντώσεις σε ευθείες παράλληλες προς το οριζόντιο επίπεδο και κάθετες προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα κύματα αυτά είναι κύματα οριζοντίως πολωμένα και για το λόγο αυτό καταγράφονται μόνο από τα οριζόντια σεισμόμετρα. Οι περίοδοι των κυμάτων Love κυμαίνονται μεταξύ **8** και **140 sec** συνήθως. Τα μεγάλης περιόδου κύματα έχουν σχετικώς μεγάλη μέση ταχύτητα (**4.5 km/sec**), επειδή κατά τη διάδοση τους επηρεάζονται από τη δομή του πάνω μανδύα και των βαθύτερων στρωμάτων του

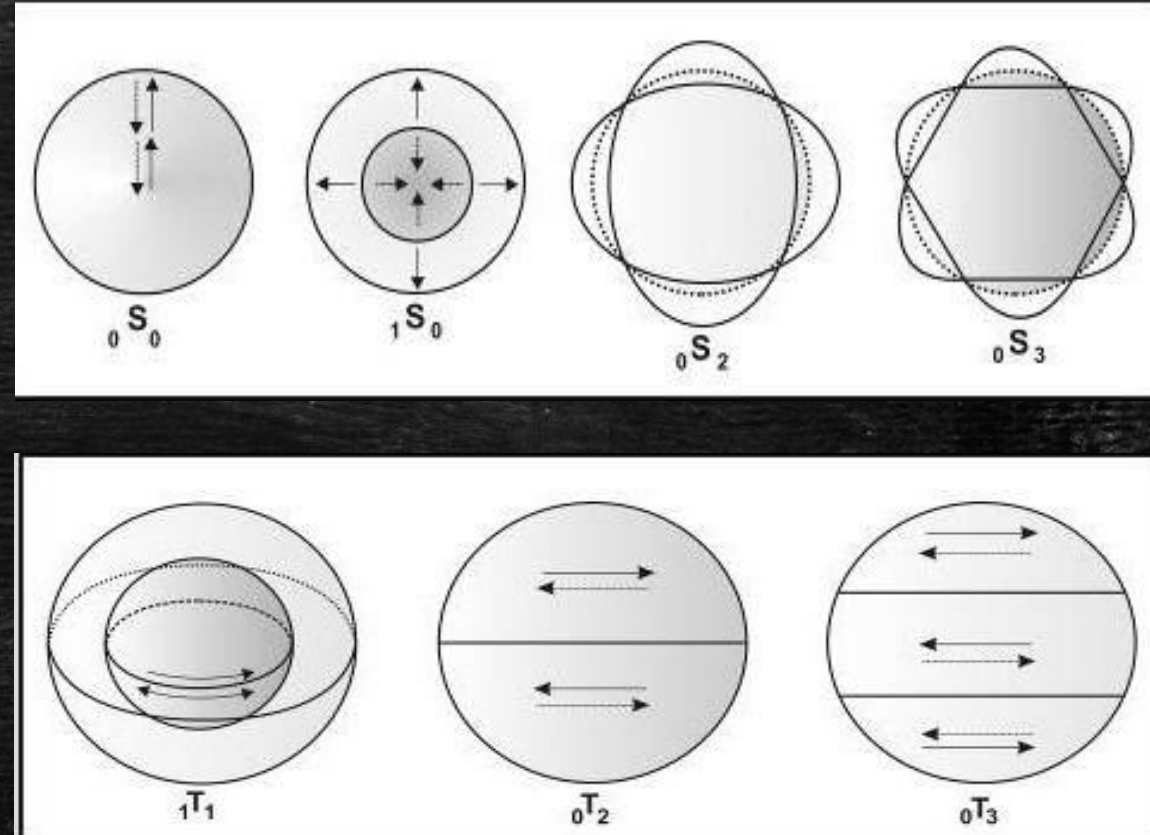
Στην διάδοση των κυμάτων Rayleigh τα υλικά σημεία διαγράφουν ελλείψεις οι οποίες έχουν το μέγιστο άξονα κατακόρυφο και τον ελάχιστο κατά την διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ το πλάτος ταλάντωσης των υλικών σημείων κατά την διάδοση των κυμάτων αυτών ελαττώνεται εκθετικά με το βάθος. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αυτών μέσα σε ομοιογενές μέσο είναι περίπου ίση με τα **9/10** της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων, για αυτό αυτά καταγράφονται από τα κατακόρυφα και τα οριζόντια σεισμόμετρα, αμέσως μετά τα εγκάρσια κύματα.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Ελεύθερη Ταλάντωση της Γης

Οι ελεύθερες ταλαντώσεις αποτελούν στάσιμα κύματα τα οποία θεωρούνται ως συνέπεια συμβολής αντίθετα διαδιδόμενων επιφανειακών κυμάτων και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις σφαιροειδείς και τις στροφικές ταλαντώσεις.

Οι σφαιροειδείς ταλαντώσεις μπορούν να θεωρηθούν ότι παράγονται κατά την συμβολή αντίθετα διαδιδόμενων κυμάτων Rayleigh και παριστάνονται με το σύμβολο ${}_nS_k$. Αντιθέτως οι στροφικές ταλαντώσεις μπορούν να θεωρηθούν ότι παράγονται κατά τη συμβολή αντίθετα



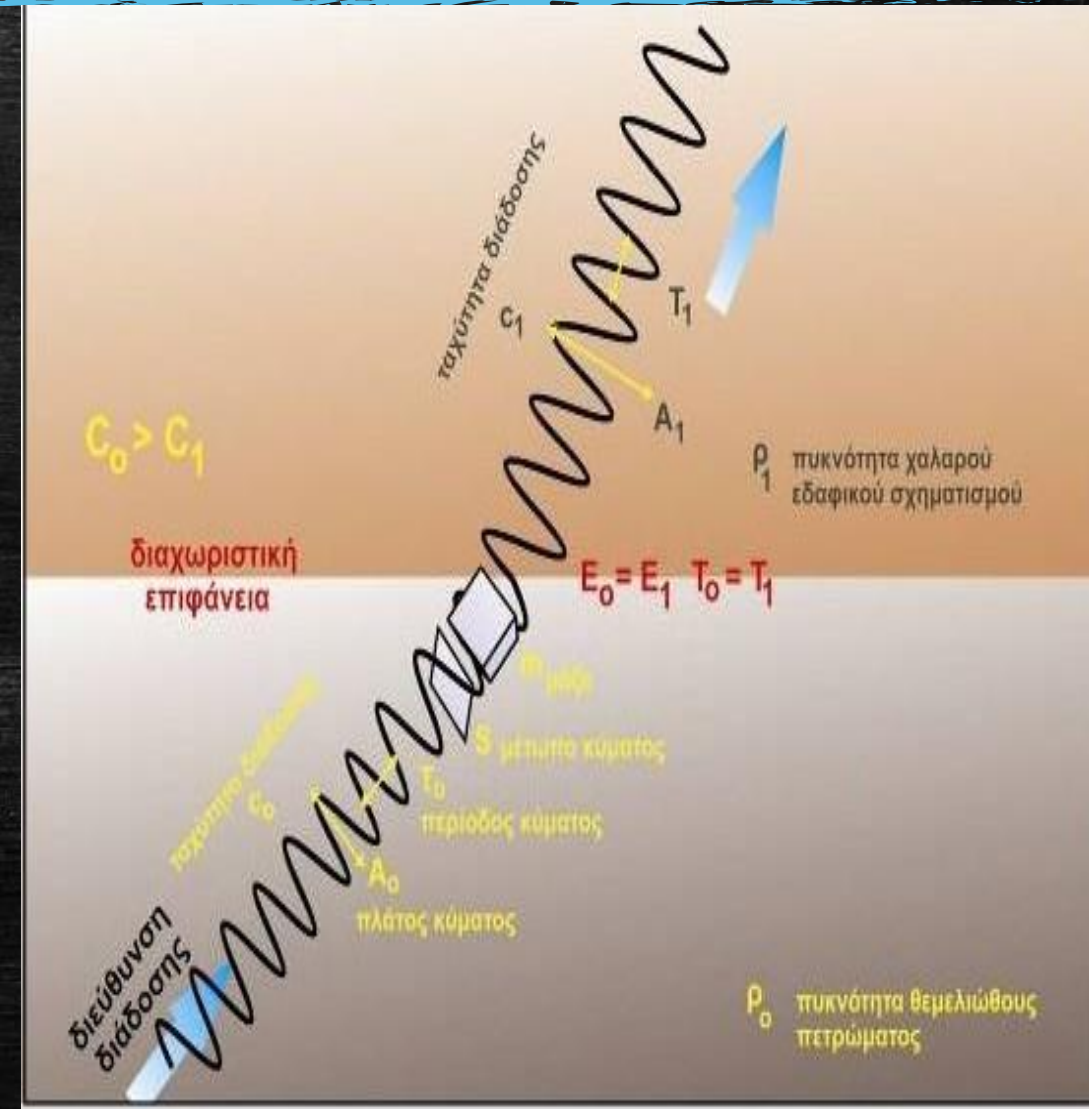
ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Μεταβολή των πλατών των σεισμικών κυμάτων κατά τη διάδοση τους στη Γη

Η μεταβολή των πλατών των σεισμικών κυμάτων κατά τη διάδοση στο εσωτερικό της Γης εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Εδώ παρουσιάζονται τρεις τέτοιες περιπτώσεις με ιδιαίτερο ενδιαφέρον: **A.** Αν το μέσο είναι ελαστικό, **B.** Αν το μέσο είναι ανελαστικό και **Γ.** Αν το μέσο είναι ανελαστικό και ανομοιογενές.

✓ Ελαστικό μέσο

Στη περίπτωση που το μέσο διάδοσης των σεισμικών κυμάτων είναι τελείως ελαστικό, η μεταβολή του πλάτους ενδέχεται να οριστεί

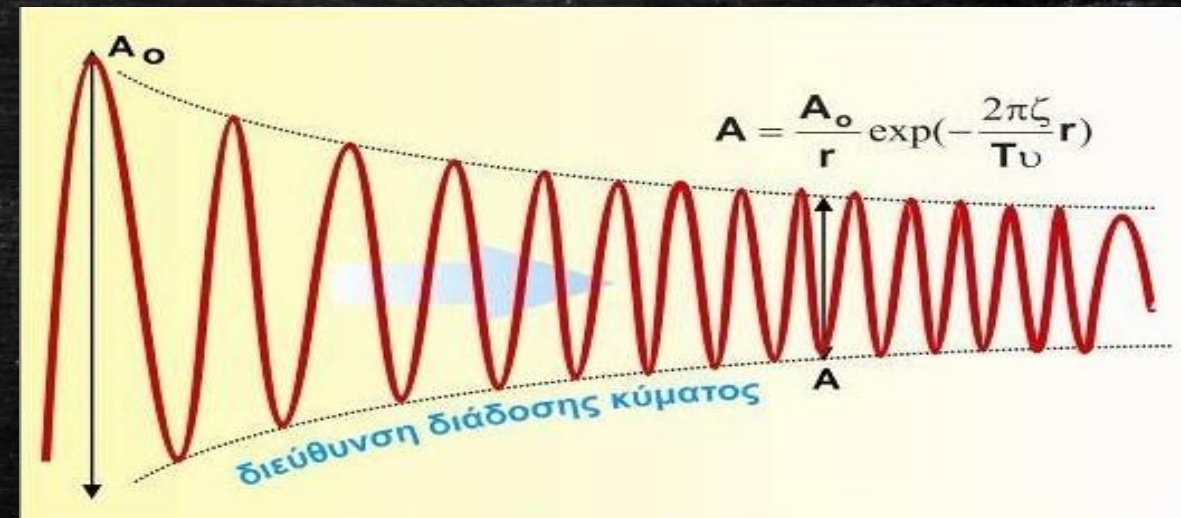


ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

✓ Ανελαστικό μέσο

Σε ανελαστικό μέσο, τα πλάτη των κυμάτων ελαττώνονται ανάλογα με τον παράγοντα τριβής και τη κυκλική συχνότητα του κύματος. Αυτή η μείωση των πλατών των κυμάτων ονομάζεται εγγενής απόσβεση (*intrinsic attenuation*) και οφείλεται σε απώλεια ενέργειας που προκαλείται από ανελαστική φυσική διαδικασία και εσωτερική τριβή στο μέσο διάδοσης του.

Αν A_0 είναι το αρχικό πλάτος του κύματος, το πλάτος του A σε μεγάλη απόσταση r θα ελαττώνεται, αν ληφθεί υπόψιν τόσο η γεωμετρική εξάπλωση όσο και η απόσβεση.



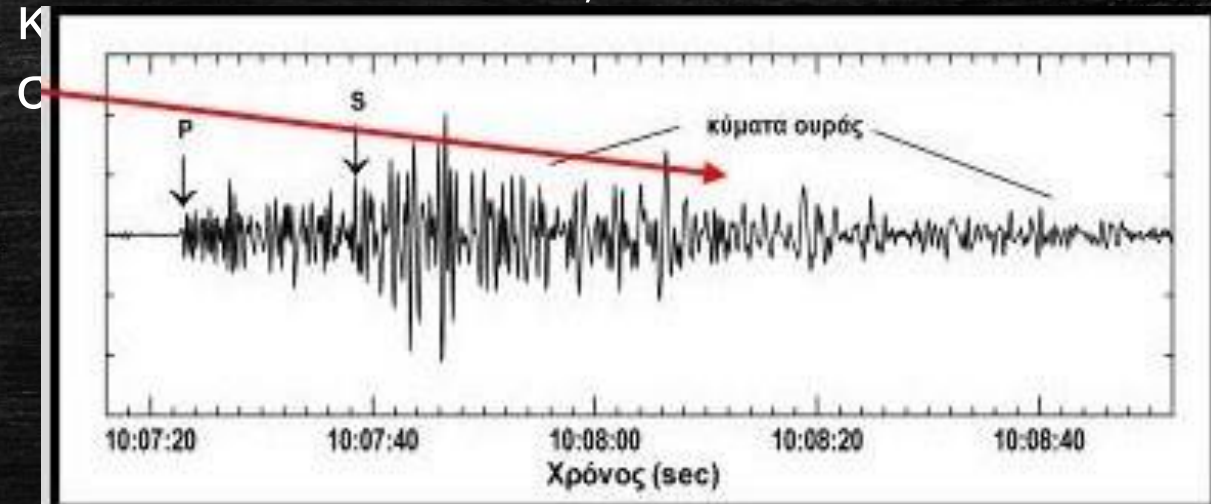
ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

✓ Ανελαστικό και ανομοιογενές μέσο

Η μεταβολή των πλατών των κυμάτων που διαδίδονται σε ανελαστικό και ανομοιογενές μέσο οφείλεται σε ανελαστική απόσβεση και σε διασπορά (scattering), η οποία προκαλείται από μικρής κλίμακας ανομοιογένειες του δρόμου διάδοσης.

Σε τέτοιες μεταβολές πλατών οφείλεται η γένεση των κυμάτων ουράς (coda waves) τα οποία εμφανίζονται στα σειсмоγράμματα τοπικών σεισμών. Τα κύματα ουράς είναι αποτέλεσμα διαφόρων ανακλάσεων, διαθλάσεων, προθλάσεων και μετατροπών του είδους

Η ελάττωση των πλατών των κυμάτων ουράς οφείλεται τόσο στην ανελαστικότητα όσο και στην ετερογένεια του μέσου. Για το λόγο αυτό, ο παράγοντας ποιότητας, Q_c , επηρεάζεται τόσο από τον παράγοντα εγγενούς απόσβεσης Q_i όσο και από τον παράγοντα διασποράς Q_s



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

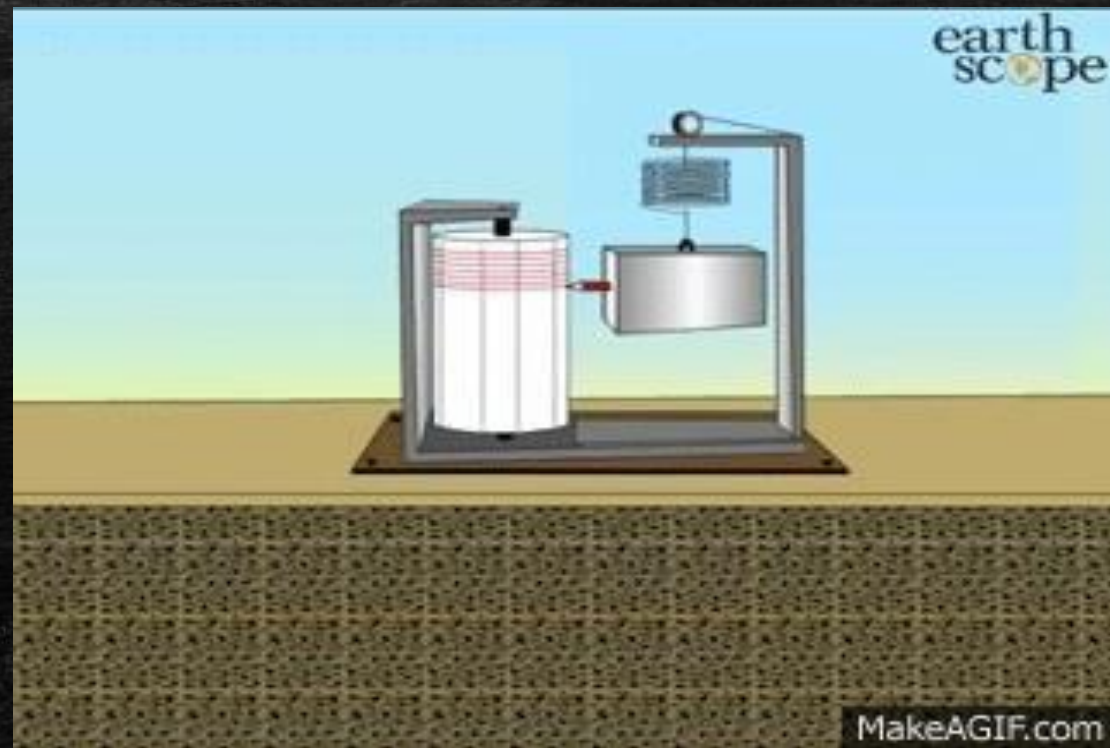
➤ Επιταχυνσιογράφος-Σεισμογράφος

✓ Σεισμογράφος

Οι σεισμογράφοι είναι όργανα με τα οποία γίνεται αυτόματη και, κατά το δυνατόν, πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Η αναγραφή αυτή, που λέγεται σεισμόγραμμα, γίνεται σε μαγνητική ταινία, με γραφίδα πάνω σε αιθαλωμένη (καπνισμένη) ταινία ή σε θερμογραφικό χαρτί, με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία ή ψηφιακά στη μνήμη Η/Υ.

Ένας σεισμογράφος αποτελείται από το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης (ή μεγέθυνσης), το σύστημα αναγραφής, το σύστημα απόσβεσης της ελεύθερης ταλάντωσης του εκκρεμούς και το σύστημα ψηφιοποίησης των σεισμογραμμάτων (οι ψηφιακοί σεισμογράφοι).

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

✓ Επιταχυνσιογράφος

Οι **επιταχυνσιογράφοι** αποτελούν ειδική κατηγορία σεισμομέτρων. Τα σειсмоγράμματα των οργάνων αυτών δίνουν τη σεισμική επιτάχυνση σε συνάρτηση με τον χρόνο. Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά από την Τεχνική Σεισμολογία. Τοποθετούνται συνήθως μέσα στα κτίρια για την μέτρηση της επιτάχυνσης κατά την γένεση των σεισμών. Δεν βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία, όπως συμβαίνει με τα άλλα σεισμόμετρα, αλλά μπαίνουν σε λειτουργία με κατάλληλη διέγερση στην αρχή του σεισμού και γράφουν την προκαλούμενη επιτάχυνση από το σεισμό. Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους επιταχυνσιογράφων ήταν ο αναλογικός επιταχυνσιογράφος, ο οποίος η καταγραφή της δόνησης γίνεται σε φωτογραφικό φιλμ.

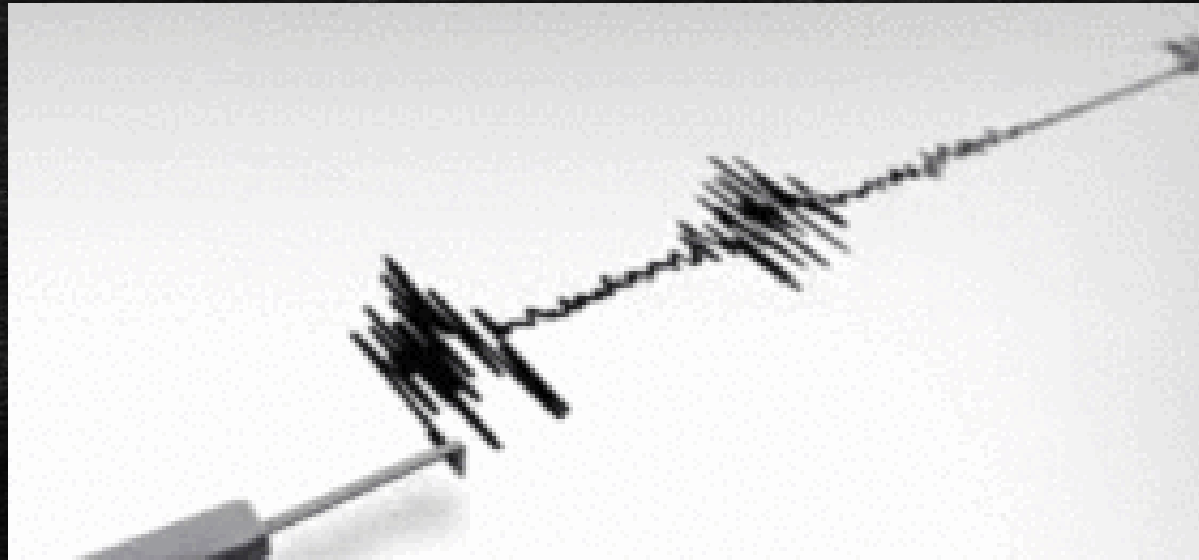


ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

➤ Κλίμακα Ρίχτερ (Richter)

Η Κλίμακα Ρίχτερ είναι διαδεδομένη λογαριθμική κλίμακα μέτρησης της ενέργειας που εκλύεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η κλίμακα Ρίχτερ αναπτύχθηκε το 1935, στην Νότια Καλιφόρνια των ΗΠΑ από τον Αμερικανό φυσικό και σεισμολόγο Τσαρλς Ρίχτερ (Charles Francis Richter) και τον Γερμανό Μπένο Γκούτενμπεργκ.

Κλίμακα Ρίχτερ	
< 0 R Μικροσεισμός	6,0 - 6,9 R Ισχυρός
0 - 0,9 R Μικροσεισμός	7,0 - 7,9 R Καταστροφικός
1,0 - 1,9 R Μικροσεισμός	8,0 - 8,9 R Εξαιρετικά Καταστροφικός
2,0 - 2,9 R Ασήμαντος	9,0 - 9,9 R Ασύλληπτα Καταστροφικός
3,0 - 3,9 R Πολύ Ασθενής	
4,0 - 4,9 R Ασθενής	
5,0 - 5,9 R Μέτριος	≥ 10,0 R Παγκόσμιος



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1)Κυματική Φυσική για Μηχανικούς Ήχου και Ακουστικής, Νεκτάριος Παπαδογιάννης & Ευθύμιος Μπακαρέζος.
- 2)Γεωλογία– Θεμελιώδεις Έννοιες για Μηχανικούς, [Θεοδώρα Ροντογιάννη-Τσιαμπάου](#).
- 3)Εισαγωγή στη Σεισμολογία, Β.Κ.Παπαζάχος & Γ.Φ.Καρακαίσης & Π.Μ.Χατζηδημητρίου