

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Πρωτονοταρίου Ελένη

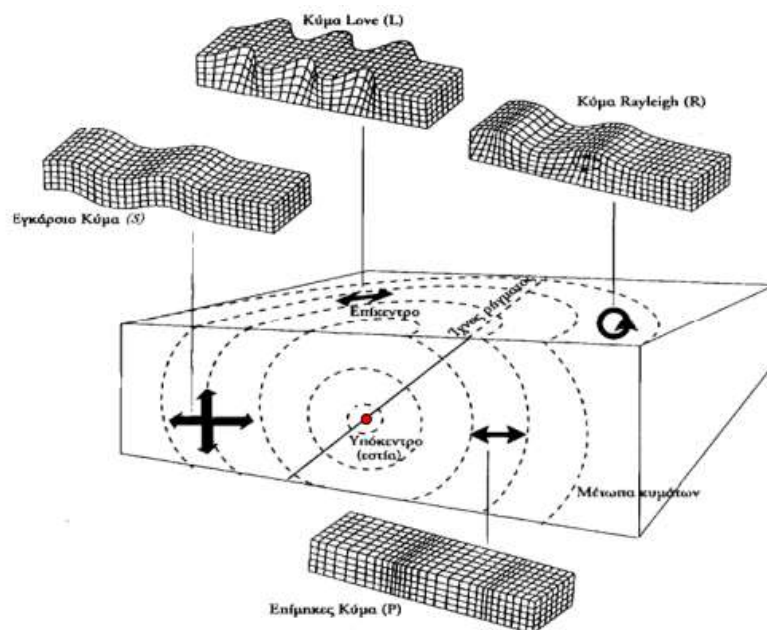
Πρότυπο ΓΕΛ Ευαγγελικής Σχολής Σμύρνης

lelenipro@gmail.com

Οι σεισμοί είναι ένα θέμα που εξακολουθεί να είναι επίκαιρο, αν και έχουν συντελεστεί μεγάλα βήματα προόδου τόσο στον τομέα της μελέτης του όσο και της πρόγνωσης του. Οι σεισμοί συνδέονται άμεσα με την ζωή μας, μιας και βρισκόμαστε σε μια από τις πιο σεισμογενείς χώρες στην Ευρώπη. Δεν θα σταματήσουν να υπάρχουν, ούτε να μας τρομάζουν, όμως μέσα από την μελέτη και την παρατήρησή τους θα μάθουμε και θα καταγράψουμε πληροφορίες για τον παράξενο κόσμο που μας κρύβουν βαθιά στην Γη!

*‘Άλλεπάλληλοι τότε οι σεισμοί καθώς
η σγκώδης στρογγυλότητα της γης
ταπεινωμένη αντιστεκόταν
να ισορροπήσει επάνω στο λεπτότατο
νεοφερμένο της υπάρξεώς μας νήμα.’*

Κική Δημουλά



Σεισμός

Σεισμός (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2005· Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010) είναι η αισθητή δόνηση της επιφάνειας της Γης, η οποία προκαλείται από την απελευθέρωση ενέργειας σε κάποιο βάθος.

Τα χαρακτηριστικά ενός σεισμού είναι τα εξής :

Εστία του σεισμού: Η διάρρηξη των πετρωμάτων, που προκαλεί ένα σεισμό, αρχίζει σε ορισμένο χώρο και διαδίδεται πάνω στο σεισμικό ρήγμα με ορισμένη ταχύτητα μέχρι να σταματήσει. Ο χώρος που αρχίζει η διάρρηξη μπορεί, σε πρώτη προσέγγιση, να θεωρηθεί σημείο. Το σημείο αυτό λέγεται μικροσεισμική εστία του σεισμού ή μικροσεισμικό υπόκεντρο.

Επίκεντρο: Το σημείο όπου τέμνει την επιφάνεια της Γης η κατακόρυφη που περνάει από τη μικροσεισμική εστία λέγεται μικροσεισμικό επίκεντρο.

Εστιακό βάθος λέγεται η απόσταση μεταξύ της εστίας ενός σεισμού και του επικέντρου.

Μακροσεισμικό επίκεντρο. Τα μακροσεισμικά αποτελέσματα ενός σεισμού (βλάβες, κλπ) είναι μέγιστα σε ένα τμήμα της επιφάνειας της Γης. Το κέντρο του τμήματος αυτού λέγεται μακροσεισμικό επίκεντρο. Το μακροσεισμικό επίκεντρο ενός σεισμού δεν συμπίπτει πάντοτε με το μικροσεισμικό επίκεντρο αυτού.

Επικεντρική απόσταση, Δ , του επικέντρου του σεισμού, **E,** από το σταθμό, **Σ,** λέγεται το μήκος του τόξου μέγιστου κύκλου που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της Γης μεταξύ του σταθμού και του επικέντρου ή η αντίστοιχη επικεντρική γωνία θ . Η επικεντρική απόσταση μετριέται σε km ή μίρες (1 μίρα \approx 111.11 km).

Χρόνος διαδρομής ενός κύματος, είναι ο χρόνος στον οποίο το κύμα διατρέχει το τμήμα του δρόμου που διαγράφεται από τη σεισμική ακτίνα μεταξύ της εστίας και ενός σταθμού. Είναι φανερό ότι ο χρόνος άφιξης ενός κύματος σε ένα σταθμό είναι το άθροισμα του χρόνου γένεσης και του χρόνου διαδρομής αυτού.

Οι αιτίες που προκαλούν τους σεισμούς είναι η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, στην οποία οφείλεται η πλειονότητα των σεισμών, η ηφαιστειότητα και οι υπόγειες κατακρημνίσεις πετρωμάτων.

Οι λιθοσφαιρικές πλάκες κινούνται με αποτέλεσμα στα σημεία επαφής των λιθοσφαιρικών πλακών να αναπτύσσονται εξαιρετικά ισχυρές τάσεις (δύναμη ανά επαφή) με αποτέλεσμα όταν οι τάσεις αυτές ξεπερνούν την μηχανική αντοχή των πετρωμάτων αυτά να σπάνε. Τη στιγμή της θραύσεως-ρήξης των πετρωμάτων ελευθερώνεται η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια προκαλώντας το σεισμό. Η ενέργεια που ελευθερώνεται ονομάζεται σεισμική ενέργεια. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες ολισθαίνουν πάνω στο παχύρευστο μανδουακό υλικό (ασθαινόσφαιρα) πραγματοποιώντας μεταξύ τους κινήσεις.

Είδη Σεισμών

Οι σεισμοί κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 1)τους Εγκατακρημνησιγενείς,
- 2)τους ηφαιστειογενείς και
- 3)τους τεκτονικούς.

1)Εγκατακρημνησιγενείς Σεισμοί

Εγκατακρημνησιγενείς είναι οι σεισμοί που πραγματοποιούνται από την πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στη Γη λόγω βαρύτητας. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως οροφές διαφόρων σπηλαίων που πέφτουν και τους προκαλούν. Οι σεισμοί αυτοί έχουν μικρό μέγεθος και διαρκούν τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για την πτώση των πετρωμάτων. Επιπλέον είναι τοπικοί σεισμοί και καλύπτουν το 3% περίπου των σεισμών που πραγματοποιούνται πάνω στη Γη.

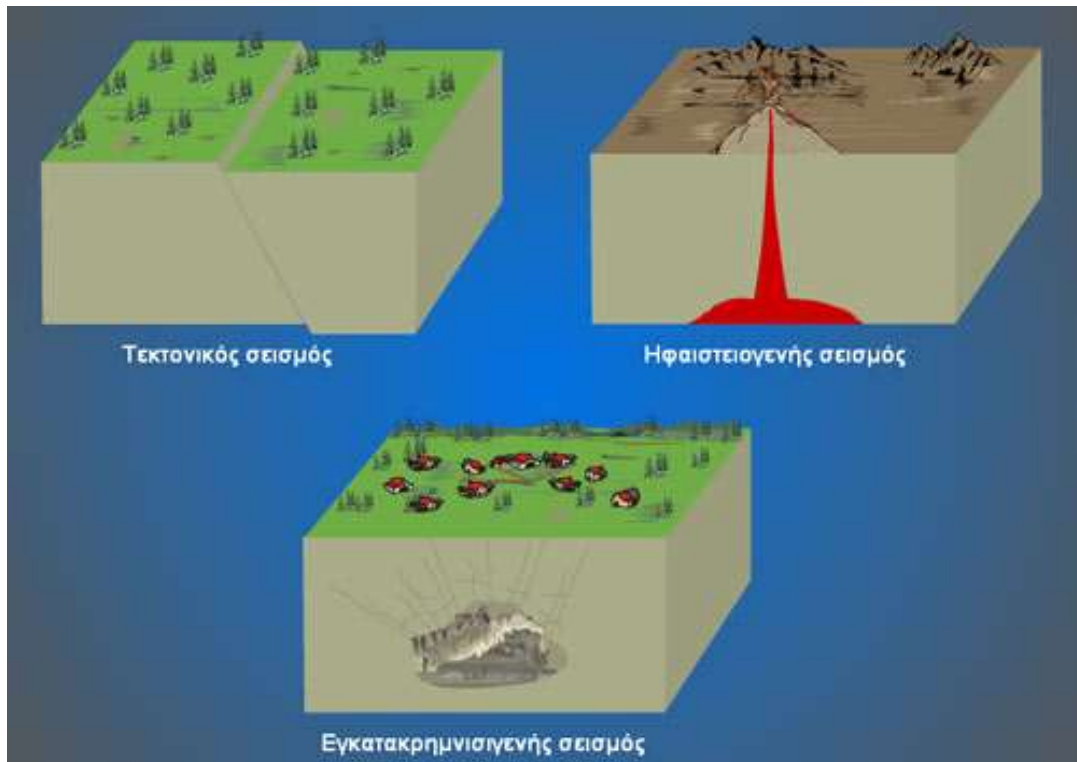
2)Ηφαιστειογενείς Σεισμοί

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή και τις συνοδεύουν. Η αιτία που τους προκαλεί πιστεύεται ότι είναι η απελευθέρωση των αερίων του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τα ηφαίστεια μέσα από τους πόρους ή τις ρωγμές που φτάνουν έως και την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί είναι και αυτοί κυρίως μικροί σεισμοί οι οποίοι έχουν την εστία τους σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστριο αλλά με την πάροδο του χρόνου πλησιάζει συνέχεια προς αυτό με όλο και μικρότερο βάθος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται συχνότεροι. Το μέγεθός τους γενικά εξαρτάται από την αντίσταση που συναντάει το μάγμα κατά την ανύψωσή του προς την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί καλύπτουν το 7% περίπου του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας.

3)Τεκτονικοί σεισμοί

Τέλος έχουμε τους τεκτονικούς σεισμούς που είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία των σεισμικών δονήσεων. Οι σεισμοί αυτοί έχουν συνήθως μεγάλο μέγεθος και η εστία τους μπορεί να βρίσκεται σε βάθος 700 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης. Είναι οι μεγάλοι σεισμοί που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας. Καλύπτουν περίπου το 90% των σεισμικών δονήσεων σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην πατρίδα μας, η οποία έχει πολύ έντονο σεισμικό πρόβλημα, όλοι σχεδόν οι σεισμοί είναι τεκτονικοί εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις όπου οι σεισμοί είναι κατακρημνησιγενείς. Πάνω από την

εστία του σεισμού η κίνηση είναι κατακόρυφη, ενώ καθώς απομακρυνόμαστε, η κατακόρυφη κίνηση μικραίνει και μεγαλώνει η οριζόντια. Έτσι εξηγείται ότι εκείνος ο οποίος βρίσκεται κοντά στην εστία του σεισμού θα παρατηρούσε μια κατακόρυφη κίνηση πάνω-κάτω ή αντίθετα, ενώ εκείνος ο οποίος θα βρίσκονταν σε μεγάλη απόσταση από την εστία θα διαπίστωνε μια κίνηση πέρα-δώθε.



Ρήγματα

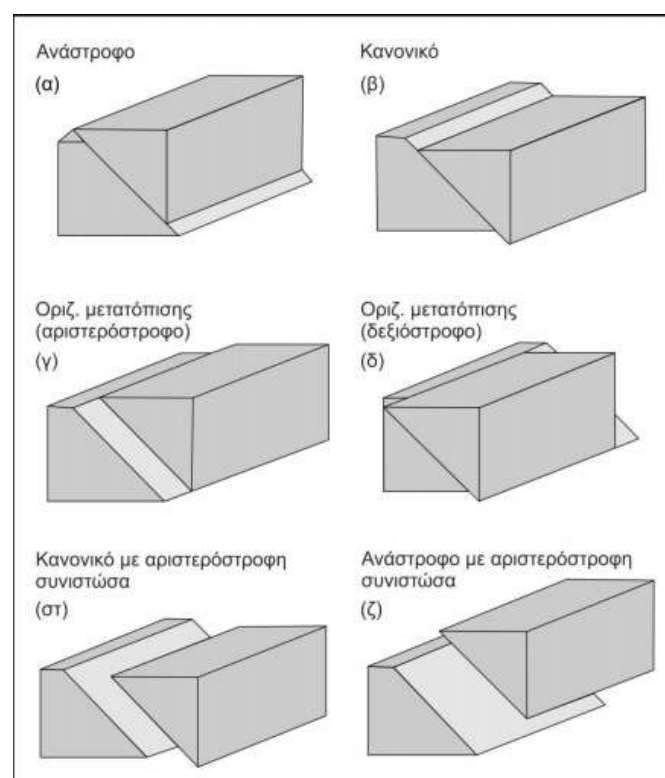
Τα ρήγματα (Bons, 2007) ανάλογα με τον τρόπο που μετακινούνται τα τμήματα του πετρώματος εκατέρωθεν της διάρρηξης, διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

1. Τα ανάστροφα ρήγματα ή ρήγματα σμίκρυνσης ή ρήγματα συμπίεσης (α). Η κατηγορία αυτή ρηγμάτων προκύπτει από την άσκηση συμπιεστικών τάσεων στα πετρώματα. Στο ανάστροφο ρήγμα, το τμήμα του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω, ενώ το τμήμα του πετρώματος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω.

2. Τα κανονικά ρήγματα ή ρήγματα απομάκρυνσης ή ρήγματα έκτασης (β). Η συγκεκριμένη κατηγορία ρηγμάτων δημιουργείται από την άσκηση εφελκυστικών τάσεων στα πετρώματα. Στο κανονικό ρήγμα, το τμήμα του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω, ενώ το τμήμα του πετρώματος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω.

3. Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (δ), που προκύπτουν από την άσκηση κυρίως διατμητικών τάσεων στα πετρώματα. Ονομάζονται έτσι διότι τα τμήματα εκατέρωθεν της διάρρηξης κινούνται οριζόντια, χωρίς να μεταβάλλονται ιδιαίτερα οι διαστάσεις του γεωλογικού σχηματισμού. Διακρίνονται σε δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιων μετατοπίσεων.

4. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να συναντήσουμε στη φύση σύνθετα ρήγματα, δηλαδή ρήγματα που να παρουσιάζουν κανονική και οριζόντια συνιστώσα (στ) ή ανάστροφη και οριζόντια συνιστώσα (ζ). Επίσης είναι δυνατόν ένα ρήγμα, κατά τη γεωλογική του ιστορία, να αλλάξει φορά κίνησης των τεμαχών εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας – δηλαδή, ένα κανονικό ρήγμα να δράσει ως ανάστροφο ή αντί-στροφο. Πολλά κανονικά ρήγματα σε μια περιοχή συχνά δημιουργούν μεγάλης έκτασης τεκτονικές δομές, που ονομάζονται τεκτονικά κέρατα (αναθολώσεις) και τεκτονικές τάφροι (βυθίσματα).



Λιθοσφαιρικές πλάκες

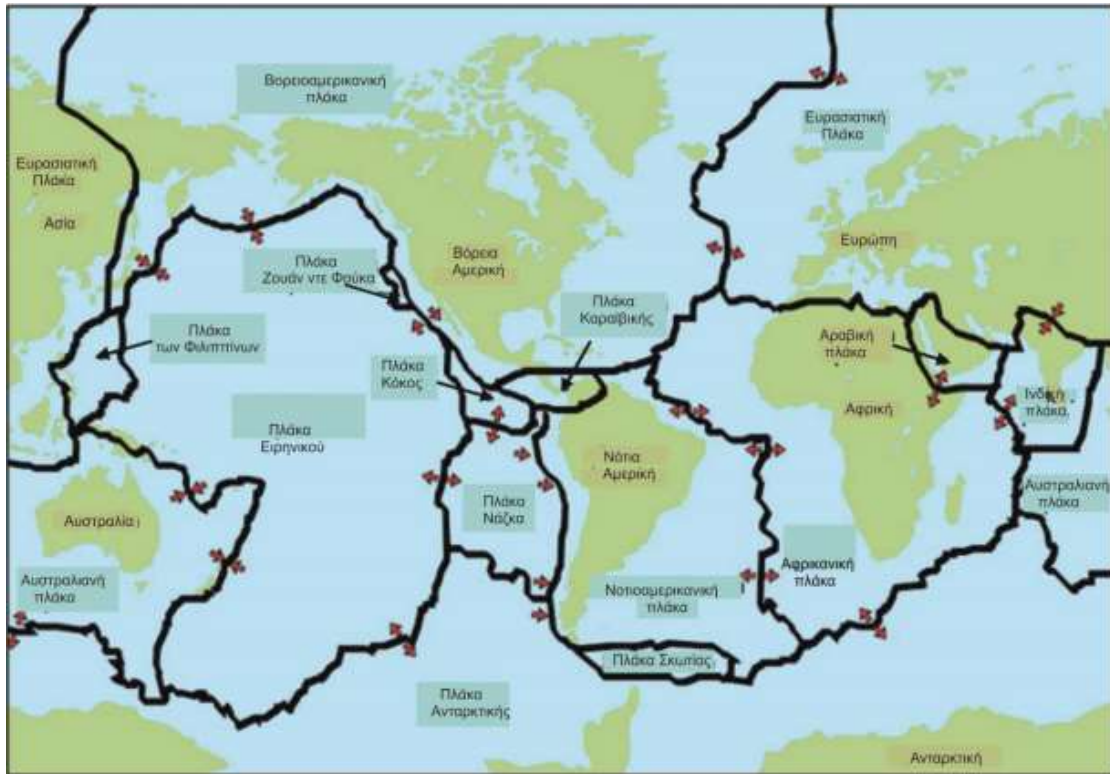
Οι τρεις βασικές κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών είναι οι εξής:

1. Η απόκλιση συμβαίνει στις μεσοωκεάνιες ράχες, όπου δημιουργείται φλοιός με την άνοδο του μάγματος, την ψύξη και την απομάκρυνση της πλάκας. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία υποθαλάσσιων ηφαιστείων στη μέση των ωκεανών. Το μάγμα περιέχει σιδηρομαγνητικά υλικά τα οποία δημιουργούν μαγνητικά δίπολα, με αποτέλεσμα τον προσανατολισμό τους παράλληλα προς το μαγνητικό πεδίο της Γης που επικρατεί την εποχή ψύξης του υλικού. Επειδή το μαγνητικό πεδίο της Γης παρουσιάζει αναστροφές πολικότητας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται λωρίδες εκατέρωθεν της ράχης με αντίθετη μαγνητική πολικότητα. Στις μεσοωκεάνιες ράχες επικρατούν γενικά τάσεις εφελκυσμού.

2. Η σύγκλιση έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση φλοιού στις ωκεάνιες τάφρους ή την ορογένεση. Οι τάσεις που επικρατούν στο όριο της σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι γενικά συμπιεστικές. Στην εσωτερική πλευρά της σύγκλισης αντιστρέφεται το καθεστώς με την επικράτηση εφελκυστικών τάσεων.

Επιπρόσθετα, τέτοιες περιοχές παρουσιάζουν έντονη σεισμικότητα. Κατά την κίνησή τους οι λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν και συγκρούονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η πυκνότερη να βυθίζεται. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται ζώνες υποβύθισης. Το υλικό της βυθιζόμενης πλάκας τήκεται, με συνέπεια τη δημιουργία ανοδικών ρευμάτων μαγματικού υλικού. Έτσι προκύπτει σειρά ηφαιστείων που ονομάζεται ηφαιστειακό τόξο. Στην περιοχή της καταβύθισης της λιθοσφαιρικής πλάκας δημιουργείται κύρτωμα που ονομάζεται ράχη. Η μορφολογία του πυθμένα μετά τη ράχη μεταβάλλεται σε βαθιά θάλασσα (ωκεάνια τάφρος). Ακριβώς μετά την τάφρο αλλάζει πάλι η μορφολογία του πυθμένα, με την παρουσία του πρίσματος επαύξησης, το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα ιζηματογενών και ωκεάνιων πετρωμάτων που αποκόπηκαν από την καταδυόμενη πλάκα. Ακολουθεί η περιθωριακή λεκάνη ή θάλασσα, η οποία γενικά παρουσιάζει μικρά βάθη και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλου πάχους ιζημάτων. Έπεται το ηφαιστειακό τόξο (αλυσίδα ηφαιστείων), του οποίου το εσωτερικό κοίλο τμήμα χαρακτηρίζεται από την παρουσία μικρών ωκεάνιων λεκανών.

3. Η οριζόντια ολίσθηση ή εφαπτομενική κίνηση κατά μήκος ρηγμάτων, με μήκος από δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόμετρα, που ονομάζονται ρήγματα μετασχηματισμού. Ουσιαστικά αυτό που συμβαίνει είναι ότι δύο λιθοσφαιρικές πλάκες ολισθαίνουν με αντίθετη φορά κατά μήκος του ρήγματος μετασχηματισμού. Τα ρήγματα μετασχηματισμού αποτελούν ενεργές τεκτονικές δομές στα όρια τεκτονικών λιθοσφαιρικών πλακών, που εμφανίζουν γενικά επιφανειακή σεισμικότητα και διακρίνονται σε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα.



Κύματα

Το κύμα είναι μια διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια μέσω ενός μέσου (π.χ. πωλείται, υγρό, αέριο). Για παράδειγμα, οι δονήσεις που διαταράσσουν τον αέρα δημιουργούν ηχητικά κύματα. Ένας σεισμός δημιουργεί κυματικές διαταραχές που διαδίδονται στα στρώματα της Γης. Τα ελαστικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο μέσα ή πάνω στην επιφάνεια της Γης και διαδίδονται μέσα σε αυτή λέγονται σεισμικά κύματα.

Είδη κυμάτων:

Κύματα χώρου: 1) Διαμήκη (P)

2) Εγκάρσια (S)

Επιφανειακά κύματα: 3) Κύματα Rayleigh

4) Κύματα Love

5) Κύματα Stonley

Άλλα είδη κυμάτων: 6) Διαυλικά κύματα

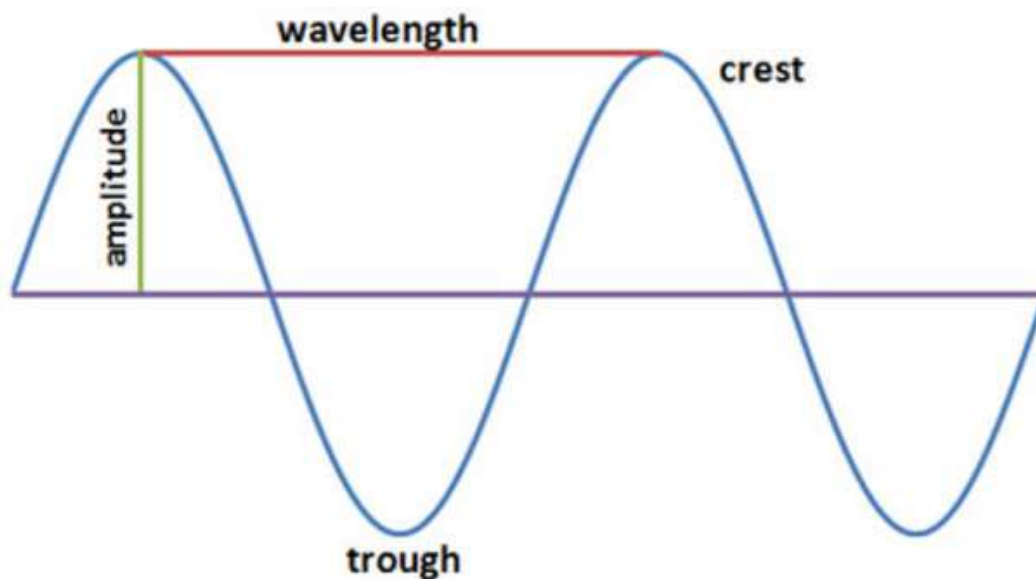
7) Κύματα ουράς

8) Στάσιμα κύματα (ελεύθερη ταλάντωση Γης)

➤ **Γενικά χαρακτηριστικά κυμάτων S & P:**

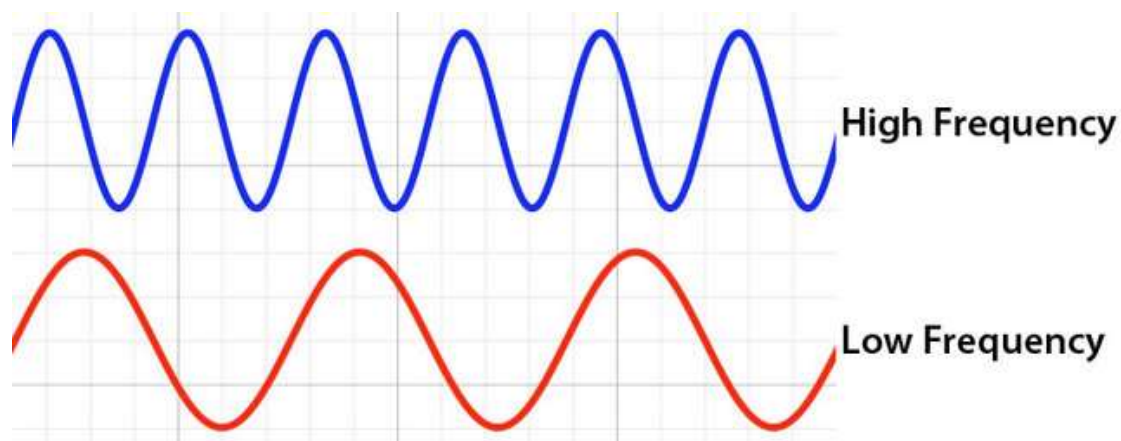
Πλάτος (A)(amplitude): Το πλάτος προσδιορίζεται με τη μέτρηση από τη θέση ανάπαυσης του κύματος στο μέγιστο ύψος. Η κορυφή(crest) ενός κύματος είναι το σημείο μέγιστης διαταραχής πάνω από τη θέση ηρεμίας και η κοιλότητα(trough) ενός κύματος είναι το σημείο μέγιστης διαταραχής κάτω από τη θέση ανάπαυσης. Το πλάτος που μετράται στην κορυφή είναι το ίδιο με αυτό που μετράται στο κατώτατο σημείο. Το πλάτος μετράται σε μέτρα (m) ή στα πολλαπλάσια του.

Μήκος κύματος (λ)(wavelength): Η απόσταση μεταξύ ενός σημείου σε ένα κύμα και του ίδιου σημείου στο επόμενο κύμα (από την κορυφή έως την κορυφή ή από το κατώφλι στο κατώτατο σημείο). Το μήκος κύματος μετράται σε μέτρα (m) ή στα πολλαπλάσια του. Διαδίδονται μόνο στην επιφάνεια της Γης.



Συχνότητα (ν): Μέτρο για το πόσο γρήγορα ή αργά επαναλαμβάνεται το πρότυπο κύματος. Μπορείτε να μετρήσετε τη συχνότητα παρακολουθώντας ένα μόνο σημείο

και υπολογίζοντας τον αριθμό των κορυφών κύματος που περνάνε κάθε δευτερόλεπτο. Η συχνότητα μετράται σε Hz (Hz) ή στα πολλαπλάσια του.

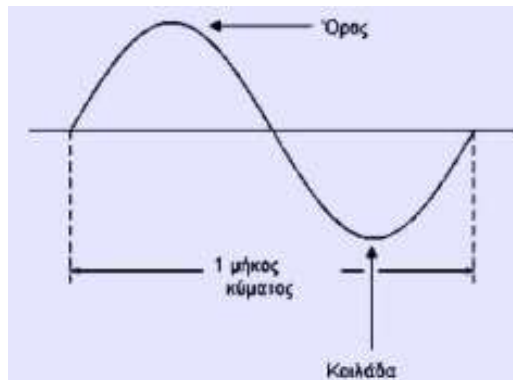


1) Διαμήκη (P) κύματα ονομάζονται τα κύματα των οποίων η διεύθυνση διάδοσής είναι παράλληλη στη διεύθυνση της ταλάντωσης των σωματιδίων που αποτελούν το μέσο διάδοσης. Με την κίνηση που πραγματοποιούν τα σωματίδια του μέσου στα διαμήκη κύματα παρατηρούνται πυκνώματα και αραιώματα. Διαμήκη κύματα διαδίδονται και στα στερεά και στα υγρά και στα αέρια σώματα. Τα διαμήκη κύματα καθώς και τα εγκάρσια κύματα αποτελούν τα δύο βασικά είδη κυμάτων.



2) Εγκάρσια (S) κύματα ονομάζονται τα κύματα των οποίων η διεύθυνση διάδοσής είναι κάθετη στη διεύθυνση της ταλάντωσης των σωματιδίων που αποτελούν το μέσο

διάδοσης. Στα εγκάρσια κύματα εμφανίζονται μέγιστα και ελάχιστα που ονομάζονται «όρη» και «κοιλιάδες» αντίστοιχα. Εγκάρσια κύματα διαδίδονται μόνο στα στερεά σώματα και κατά προσέγγιση στην επιφάνεια υγρών. Τα εγκάρσια κύματα καθώς και τα διαμήκη κύματα αποτελούν τα δύο βασικά είδη κυμάτων.

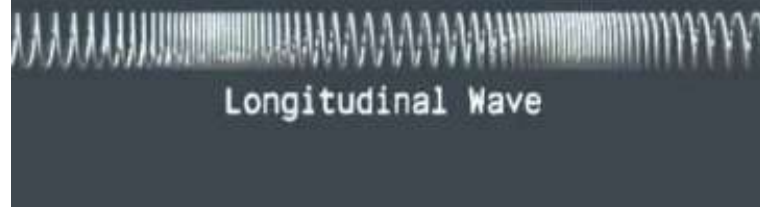


Σύγκριση κυμάτων χώρου (S & P)

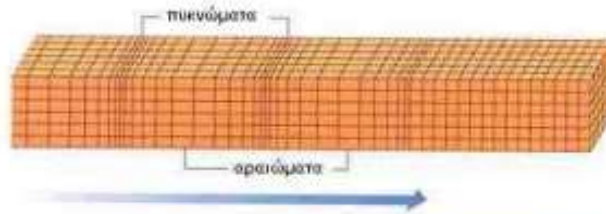
Σκύμα:



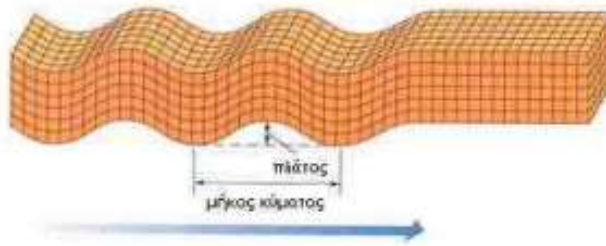
Ρκύμα:



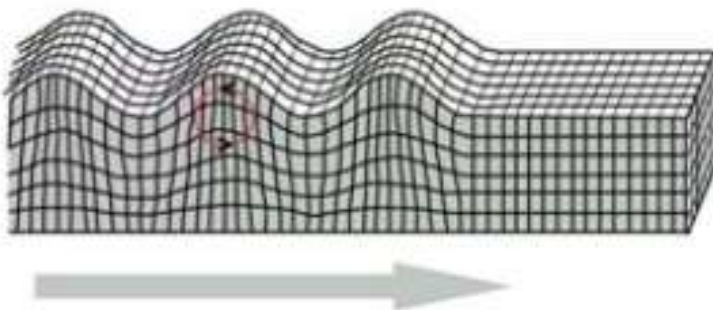
Ρκύμα:



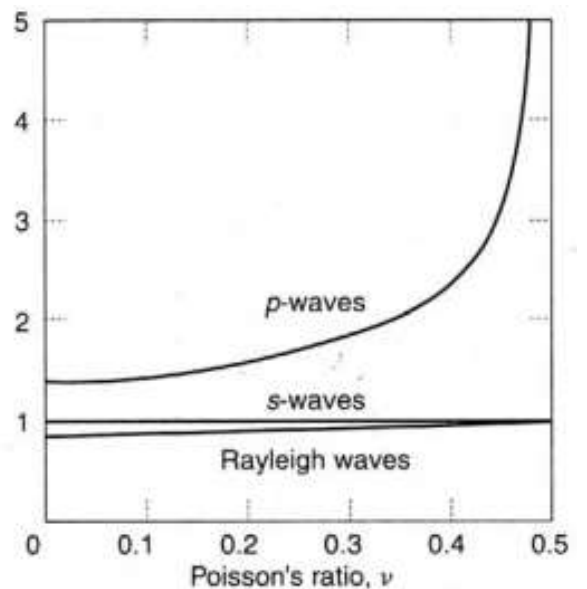
Σκύμα:



3) Κύματα Rayleigh

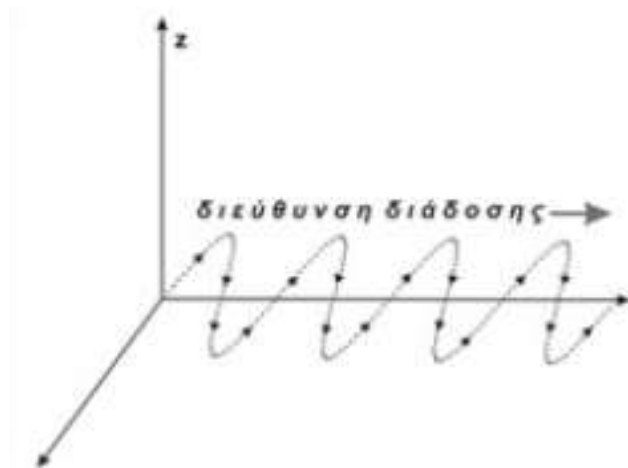
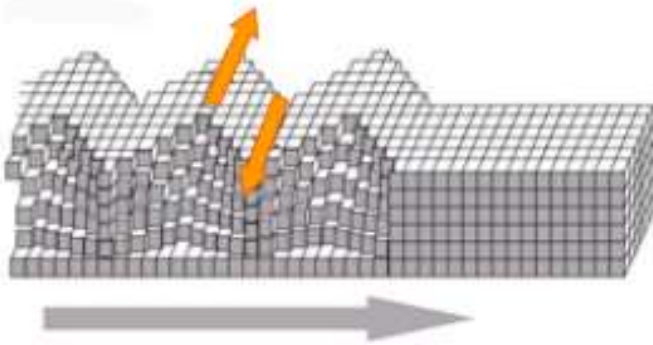


Η κίνηση των υλικών σημείων κατά τη διάδοση των κυμάτων Rayleigh προέρχεται από τη συμβολή των P και SV κυμάτων και καταγράφονται σε κατακόρυφα και οριζόντια σεισμόμετρα πάντα τελευταία.



4) Τα Κύματα Love είναι επιφανειακά κύματα, κατά την διάδοση των οποίων τα υλικά σημεία

πραγματοποιούν οριζόντιες ταλαντώσεις, κάθετες στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Τα κύματα αυτά είναι γραμμικώς πολωμένα εγκάρσια κύματα που έχουν μόνο τη συνιστώσα SH. Για την γένεση των κυμάτων Love, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός ορισμένου πάχους που βρίσκεται πάνω σε ημιχώρο. Αυτά αποτελούν διατάραξη που διαδίδεται μέσα στο στρώμα και είναι αποτέλεσμα εποικοδομητικής συμβολής κυμάτων SH, τα οποία παθαίνουν διαδοχικές ανακλάσεις στις δύο οριζόντιες επιφάνειες στρώματος.



5)Κύματα Stonley: ακολουθούν επιφάνειες ασυνέχειας μέσα στη Γη και δεν διακρίνονται εύκολα στις σεισμικές αναγραφές.

Διάδοση των σεισμικών κυμάτων χώρου (S & P)

στο εσωτερικό της Γης

Τα παραγόμενα στην εστία ενός σεισμού επιμήκη και εγκάρσια κύματα διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης και φθάνουν στην επιφάνεια αυτής, όπου μπορούν να γραφούν από τα σεισμικά όργανα.

Το γεγονός ότι η Γη έχει πεπερασμένες διαστάσεις και δεν είναι ομογενής έχει ως συνέπεια τη διάθλαση, ανάκλαση, περίθλαση, σκέδαση, απόσβεση, κλπ. των διαδιδόμενων στο εσωτερικό της σεισμικών κυμάτων. Για το λόγο αυτό, πολλές κατηγορίες σεισμικών κυμάτων φθάνουν στην επιφάνεια της Γης και γράφονται από τους σειсмоγράφους.

Οι κατηγορίες αυτές, που συνήθως λέγονται φάσεις των σεισμικών κυμάτων, διαφέρουν ως προς τη φαινόμενη ταχύτητα διάδοσης, το πλάτος, την περίοδο και γενικά ως προς τη μορφή τους. Η μελέτη των ιδιοτήτων αυτών οδηγεί στην εξακρίβωση των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό της Γης και συμβάλλουν στη γένεση των φάσεων αυτών.

Η φαινόμενη ταχύτητα, V , διάδοσης ενός κύματος σε ορισμένο σημείο της επιφάνειας της Γης είναι ίση με το αντίστροφο της κλίσης της καμπύλης χρόνων διαδρομής, $d \Delta / d T$, για απόσταση ίση με την επικεντρική απόσταση, Δ , του σεισμού από το σημείο.

Η φαινόμενη ταχύτητα είναι ίση με την πραγματική ταχύτητα στο κατώτερο σημείο της ακτίνας, δηλαδή, στο κατώτερο σημείο του δρόμου τον οποίο διατρέχει το κύμα από την εστία μέχρι το σημείο παρατήρησης.

Διάδοση των κυμάτων χώρου (S & P) στο φλοιό

Κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό της Γης ισχύουν οι αρχές του Fermat και του Huygens καθώς και ο νόμος του Snell όπως φαίνεται στο σχήμα.

Αρχή του Fermat

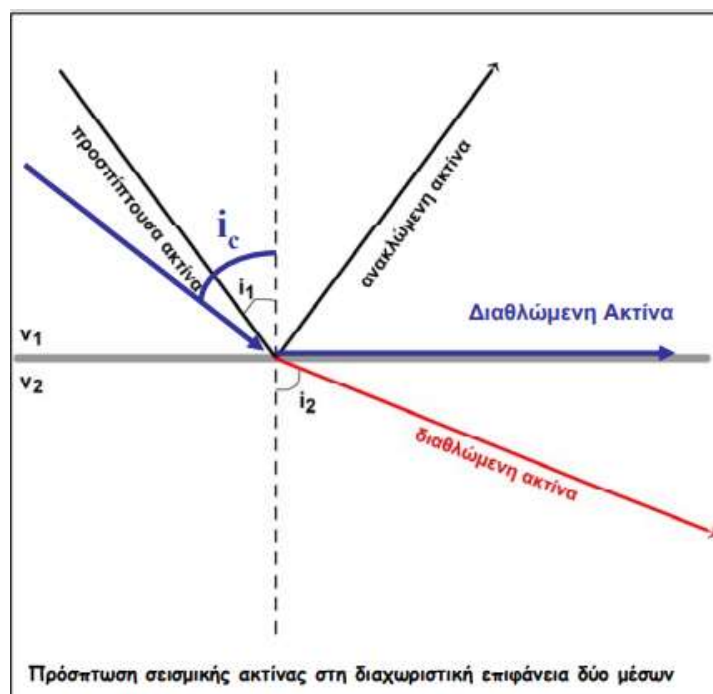
Όταν ένα κύμα διαδίδεται σε υλικό μέσο, ακολουθεί τη διαδρομή του ελάχιστου χρόνου.

Αρχή του Huygens

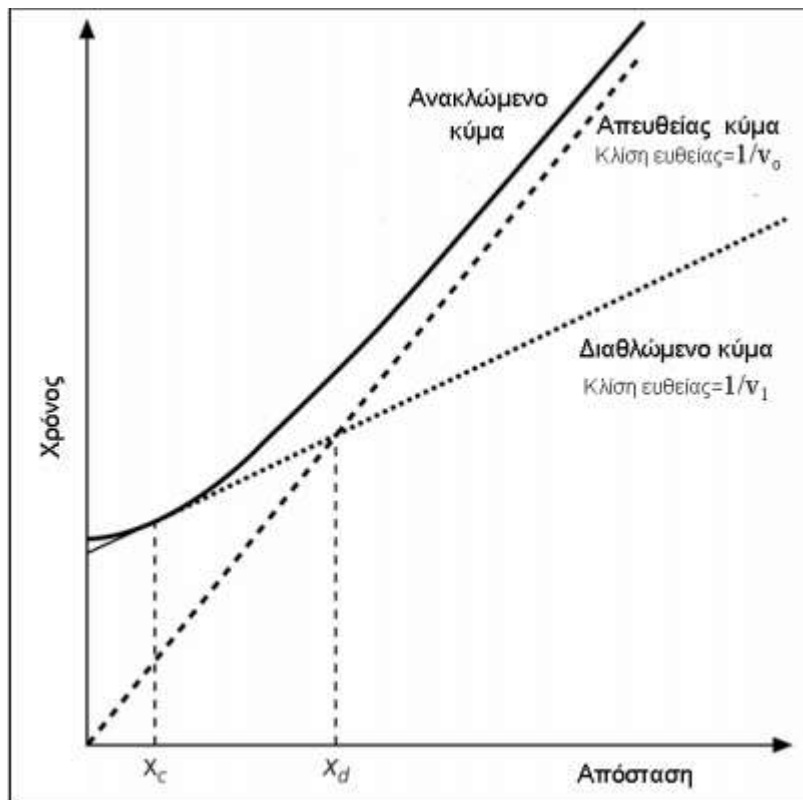
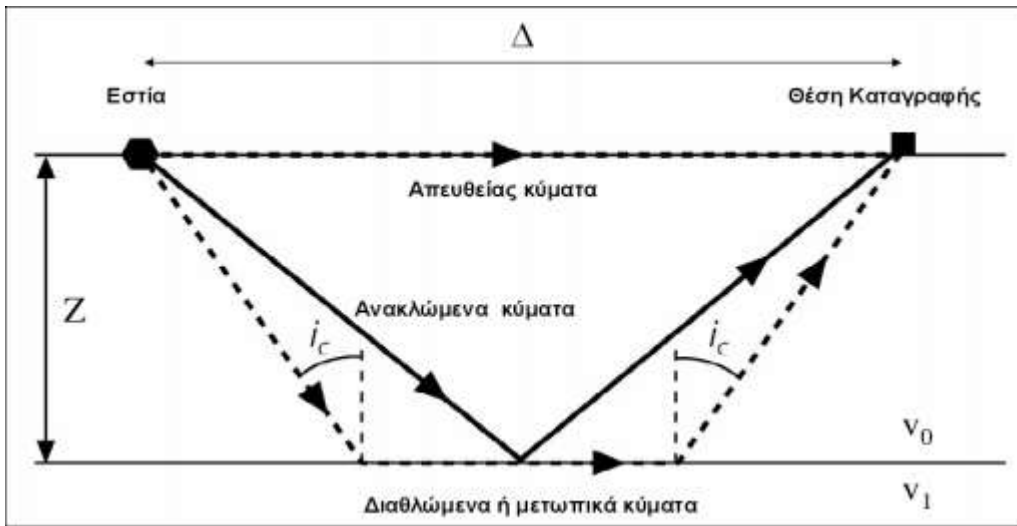
Κάθε υλικό σημείο που ταλαντώνεται κατά τη διέλευση κύματος, γίνεται με τη σειρά του πηγή δευτερογενούς ακτινοβολίας Νόμος του Snell .

Νόμος του Snell

$$\eta\mu i_1/\eta\mu i_2=v_1/v_2$$



Όταν όμως η προσπίπτουσα ακτίνα αποκτά τιμή $i_1=i_c$, τέτοια που η i_2 να γίνει ίση με 90° , δηλαδή θα ισχύει $\eta\mu i_c=v_1/v_2$, 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 ορική γωνία.



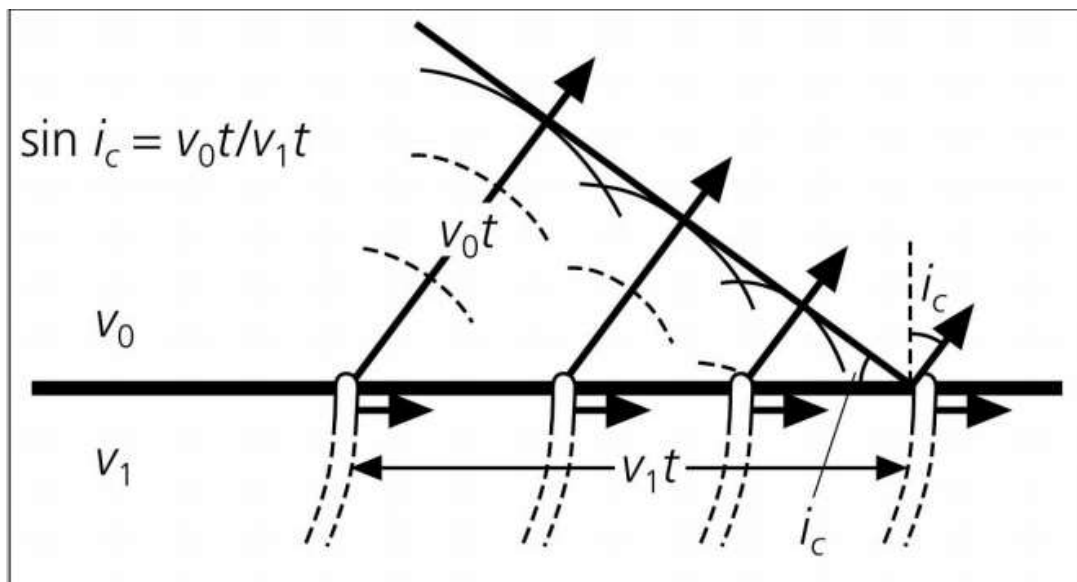
Διάδοση κυμάτων σε ένα στρώμα με ταχύτητα v_0 το οποίο βρίσκεται πάνω από ημιχώρο με ταχύτητα $v_1 > v_0$.

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

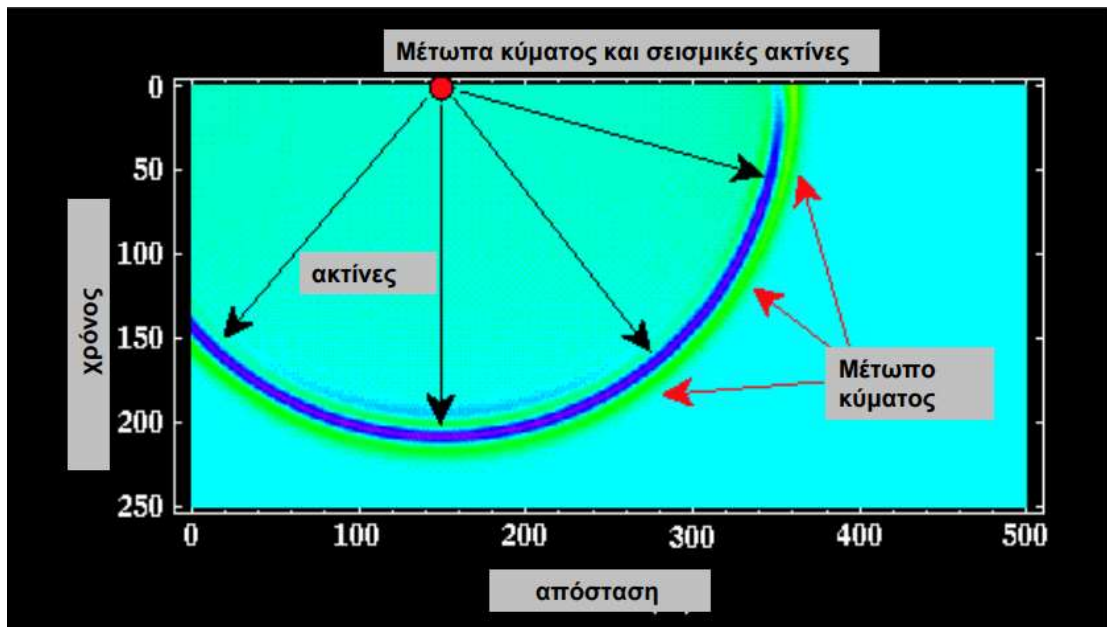
Απευθείας κύματα: $T_1 = \frac{\Delta}{v_0}$

Διαθλώμενα κύματα: $T_2 = \frac{\Delta}{v_1} + 2z \frac{\sqrt{v_1^2 - v_0^2}}{v_0 v_1}$

Ανακλώμενα κύματα: $T_3 = \frac{\sqrt{\Delta^2 + 4z^2}}{v_0}$



Γένεση μετωπικών κυμάτων στο πάνω στρώμα που διαδίδονται με ταχύτητα v_0 , τα οποία οφείλονται στη διάδοση των διαθλώμενων κυμάτων με ταχύτητα v_1 (διάδοση στο κάτω στρώμα) κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας. Επομένως το μετωπικό κύμα διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα από το διαθλώμενο στο οποίο οφείλεται. Το μετωπικό κύμα αντιστοιχεί στη διαδρομή του ελαχίστου χρόνου. Με βάση την αρχή του Huygens μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το διαθλώμενο κύμα το οποίο διαδίδεται οριζόντια κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας με ταχύτητα αυτήν του κάτω στρώματος δημιουργεί σφαιρικά κύματα τα οποία διαδίδονται προς τα πάνω (στο πάνω στρώμα). Η συμβολή των κυμάτων αυτών δημιουργεί τα επίπεδα κύματα τα οποία φεύγουν από τη διαχωριστική επιφάνεια με την κρίσιμη γωνία i_c . (Griffiths and King 1981, Stein and Wysession, 2003)



Ο ηπειρωτικός φλοιός αποτελείται από τρία, σχεδόν οριζόντια, στρώματα.

Πάχος του φλοιού κάτω από τις ηπείρους: ~35 km (ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή μεταξύ 20 και 70 km).

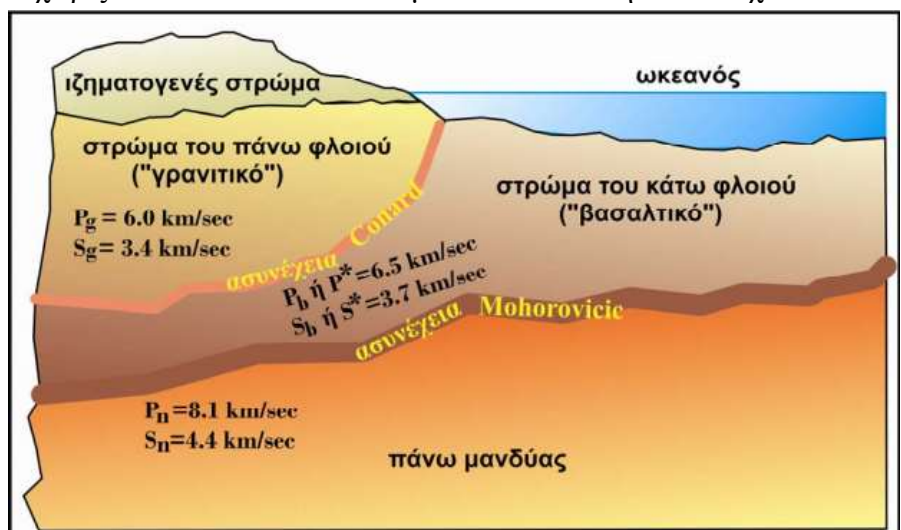
Πάχος του φλοιού κάτω από τους ωκεανούς: ~7 km.

Το ανώτερο απ' αυτά είναι ένα λεπτό στρώμα που αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα, και λέγεται ιζηματογενές στρώμα.

Κάτω απ' αυτό υπάρχει το στρώμα του πάνω φλοιού (που παλαιότερα ονομαζόταν «γρανιτικό στρώμα»).

Κάτω από το στρώμα αυτό υπάρχει το στρώμα του κάτω φλοιού (που παλαιότερα ονομαζόταν «βασαλτικό στρώμα»). Η επιφάνεια που χωρίζει τα δύο αυτά στρώματα λέγεται ασυνέχεια Conard. Ο ωκεάνιος φλοιός έχει μόνο ένα στρώμα (βασαλτικό) πάνω στο οποίο επικάθονται τα ιζήματα.

Το βασαλτικό στρώμα χωρίζεται από τον πάνω μανδύα από την ασυνέχεια Mohorovicic.



Πειραματικό μέρος

Αρχικά χρησιμοποιήσα ένα κιβώτιο και αρκετές έλικες καλωδίων ('slinkies')-ελατήρια που είναι προσαρτημένα σε αυτό με κλιπ μπουλντόγκ για να δείξω πώς ένας σεισμός παράγει P- και S- κύματα.

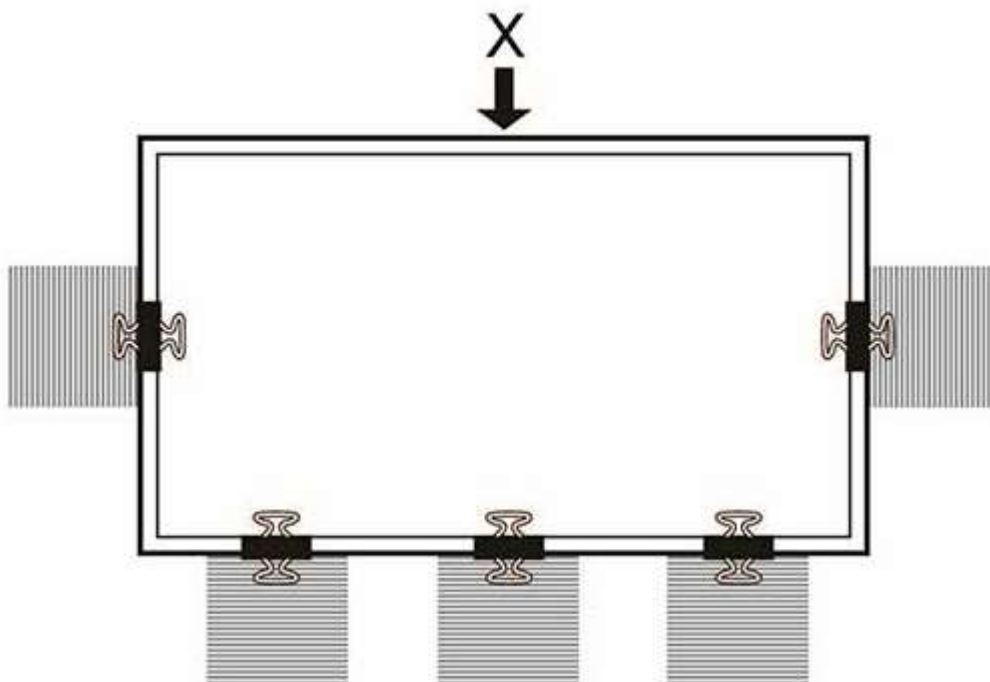
Πέντε σπουδαστές, οι «παρατηρητές», κρατούν το καθένα στο μη συνδεδεμένο άκρο ενός «slinky», έτσι απλώνεται χαλαρά σε όλη την αίθουσα (χωρίς να αγγίζει την πάγκο).

1) Πάτησα το κουτί στο X

Ένα άλλο πρόσωπο - ο «σεισμός» - πρέπει να σταθεί στο X και να δώσει το κιβώτιο μια γρήγορη ώθηση.

Τι είδους κύμα εντοπίζει κάθε ένας από τους παρατηρητές, ένα κύμα S (εγκάρσιο) ή ένα κύμα P (επιμήκες);

- Οι παρατηρητές που βρίσκονται δεξιά και αριστερά από το επίκεντρο του σεισμού θα παρατηρήσουν ότι δημιουργούνται S κύματα ενώ οι άλλοι τρεις παρατηρητές θα διαπιστώσουν ότι στα χέρια τους φτάνουν κύματα P.



2) Πατήστε το κουτί στο Y

Τι συμβαίνει εάν η ώθηση του σεισμού είναι στο Y αντί στο X;

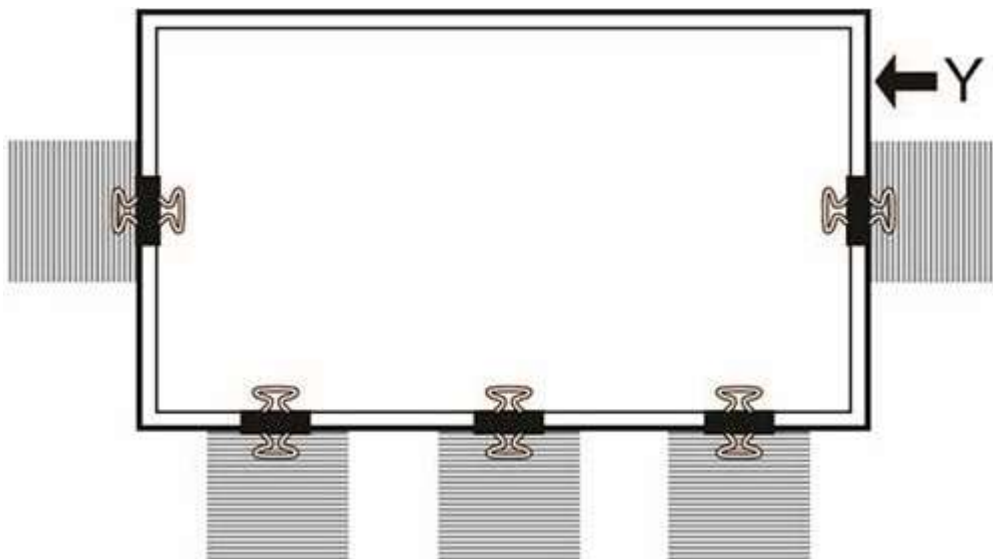
- Ο παρατηρητής που βρίσκεται αριστερά από το επίκεντρο του σεισμού αλλά και ο απέναντί του θα παρατηρήσει να δημιουργούνται κύματα P ενώ οι άλλοι τρεις παρατηρητές θα νιώσουν την ύπαρξη κυμάτων S.

Τώρα επαναλάβετε την απλή ώθηση στο X, με τους τρεις παρατηρητές στην απέναντι πλευρά του αρχείου, όλοι στην ίδια απόσταση.

Τραβήξτε τα 'slinkies' στο ίδιο μήκος και την απόσταση των πηνίων.

Τι παρατηρείτε σχετικά με την ώρα άφιξης του παλμού σε κάθε έναν από αυτούς τους παρατηρητές;

- Η ύπαρξη σεισμικών κυμάτων παρατηρείτε πρώτα στα ελατήρια που βρίσκονται πιο κοντά στο επίκεντρο του σεισμού και έπειτα απλώνονται στο χώρο.



3) Παρατηρητές σε διαφορετικές αποστάσεις

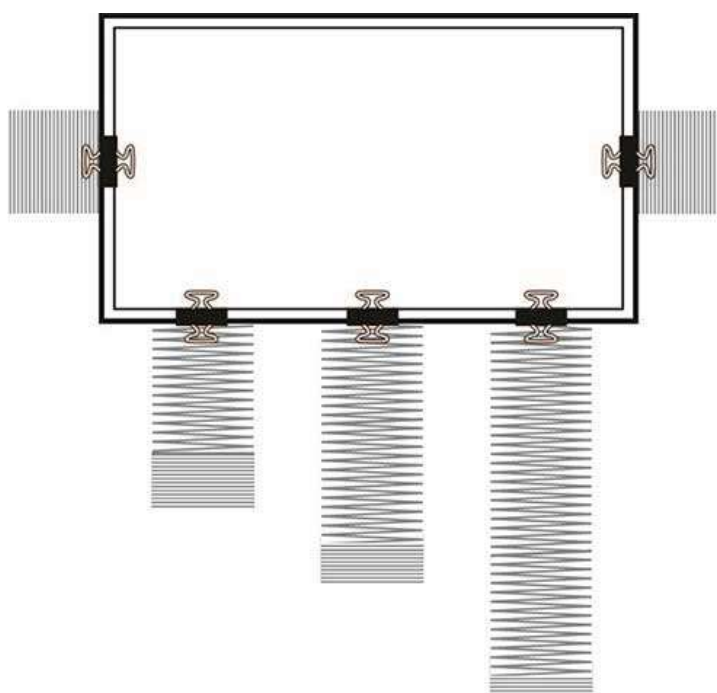
Τώρα οι τρεις «παρατηρητές» στέκονται σε διαφορετικές αποστάσεις, αλλά διατηρώντας τα πηνία με την ίδια απόσταση όπως φαίνεται στα δεξιά.

Θα χρειαστεί να τα τραβήξετε σε πολύ μεγαλύτερα μήκη απ' ό,τι φαίνεται. Ένας παρατηρητής θα μπορούσε να κρατήσει την έλικα σε όλο το μήκος, αλλά οι δύο παρατηρητές που κινούνται πιο κοντά στο κιβώτιο πρέπει να κρατούν σε

«ανταλλακτικά» πηνία έτσι ώστε ο χώρος μεταξύ πηνίων να φαίνεται ο ίδιος και για τους τρεις.

Τι θα συμβεί αν στείλετε τον παλμό τώρα;

- Αν ο σεισμός ασκηθεί από το σημείο Υ τότε τα κύματα, αφού περάσουν τον πρώτο παρατηρητή από τα δεξιά του σεισμού, θα φτάσουν στον δεύτερο παρατηρητή. Όμως επειδή το μήκος του ελατηρίου είναι μεγαλύτερο το κύμα θα διαδοθεί πιο γρήγορα στον τρίτο και στον τέταρτο παρατηρητή στους οποίους τα ελατήριά τους έχουν μικρότερο μήκος.



Βιβλιογραφία:

<http://graasp.eu/ils/5a652355dab0e8f63c26ec80/?lang=en>

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/324/1/ΚΕΦΑΛΑΙΑΟ_%20ΠΡΩΤΟ.pdf

<http://blogs.sch.gr/ebenakis/files/2012/12/%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1.pdf>

http://www.geo.auth.gr/211/pdf/Mathima_5_Seismika%20kymata.pdf

http://physiclessons.blogspot.gr/2013/06/blog-post_9.html#.WpvbV-jFLIU

http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/geot_earthquake_eng_Ch3-WAVES-10.pdf

<http://slideplayer.gr/slide/1991271/>

<http://lyk-akrot.chan.sch.gr/texnomatheia/seismos/char.php>

http://gym-vounarg.ilei.sch.gr/files/pdf/kymata_horou.pdf