

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ

Παναγιώτης Χατζηδημητρίου και Γιώργος Καρακαίσης

Ένα μεγάλο τμήμα της ηλεκτρονικής αυτής παρουσίασης του μαθήματος βασίζεται στο βιβλίο Β. Κ. Παπαζάχος, Γ. Φ. Καρακαίσης και Π. Μ. Χατζηδημητρίου, «Εισαγωγή στη Σεισμολογία», Εκδόσεις Ζήτη, 517 σελ., Θεσσαλονίκη, 2005.

1. Αντικείμενο της Σεισμολογίας

Σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά την παροδική διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων σ' ορισμένο μέρος της στερεάς Γης, από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης.

Την παροδική διατάραξη αποτελεί η σχετική ολίσθηση των δύο πλευρών του **σεισμογόνου ρήγματος** και τις εδαφικές δονήσεις αποτελούν τα **σεισμικά κύματα** που παράγονται στο ρήγμα, διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης και φθάνουν στην επιφάνειά της όπου γίνονται αισθητά, προκαλούν βλάβες και καταγράφονται από τους σεισμογράφους.

Τα σεισμικά κύματα αποτελούν μια κατηγορία των **ελαστικών κυμάτων** και διαφέρουν από τις άλλες κατηγορίες ελαστικών κυμάτων μόνο ως προς τα αίτια γένεσής τους. Περίοδοι των σεισμικών κυμάτων: από κλάσματα του δευτερολέπτου μέχρι και 54 λεπτά.

Εδαφικές δονήσεις (**εδαφικός θόρυβος**) των οποίων τα αίτια (φυσικά ή τεχνητά) δεν βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης προκαλούνται από:

- πτώση μετεωριτών
- μετεωρολογικά αίτια
- σε θαλάσσια κύματα
- παλίρροιες
- μηχανές εργοστασίων
- τα μέσα συγκοινωνίας
- εκρήξεις σε λατομεία

Ο εδαφικός θόρυβος βραχείας περιόδου χρησιμοποιείται στην Τεχνική Σεισμολογία για τη μελέτη της απόκρισης του εδάφους στις εδαφικές ταλαντώσεις (μικροζωνικές μελέτες, κλπ.) και οι μεγάλης περιόδου τέτοιες δονήσεις (παλίρροιες, κλπ.) για τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων της Γης.

2. Γενικοί Τρόποι Έρευνας στη Σεισμολογία

Η Σεισμολογία αποτελεί κλάδο της **Γεωφυσικής**. Η έρευνα γίνεται με

- παρατηρήσεις στη φύση
- πειραματικές εργασίες στο εργαστήριο
- θεωρητικές μελέτες

A) Παρατηρήσεις στη φύση

Παρατηρούνται απευθείας και εκτιμούνται, κυρίως ποιοτικά, τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών, δηλαδή, τα αποτελέσματα αυτών στο έδαφος, στο νερό, στα κτίρια, στους ανθρώπους, κλπ. Η μελέτη αυτή λέγεται **μακροσεισμική μελέτη των σεισμών**.

Παρατήρηση και λήψη μετρήσεων πάνω στα **σεισμογράμματα**, δηλαδή, στις καταγραφές των σεισμικών κινήσεων από όργανα που λέγονται **σεισμογράφοι**. Η τέτοια ποσοτική μελέτη των σεισμών λέγεται **μικροσεισμική μελέτη** αυτών. Σήμερα μπορούμε με τους σεισμογράφους να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις των εδαφικών μεταθέσεων της τάξης του $1\mu\text{m}$ ($=10^{-6}\text{ m}$).

B) Πειραματικές εργασίες στο εργαστήριο

Η εργαστηριακή μελέτη των σεισμικών φαινομένων άρχισε τη δεκαετία του 1960 και αποτελεί σημαντικό συμπλήρωμα των άλλων μεθόδων που εφαρμόζονται για την ερμηνεία των φαινομένων αυτών και τη μελέτη του εσωτερικού της Γης.

Γ) Θεωρητική έρευνα

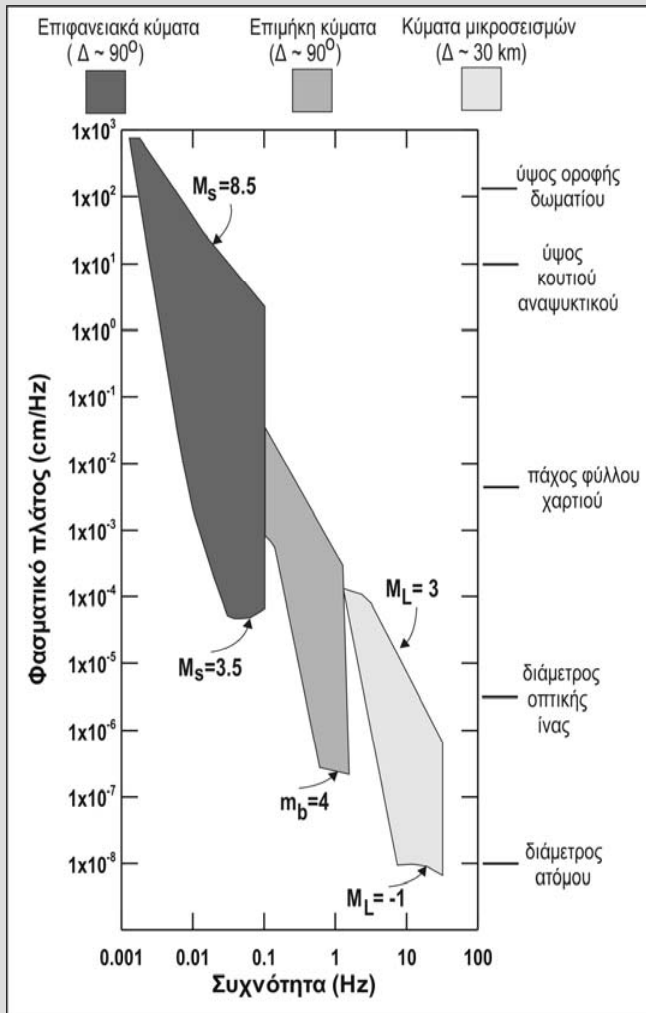
Αφορά τη μελέτη των ελαστικών ιδιοτήτων των σωμάτων και του τρόπου γένεσης και διάδοσης των ελαστικών κυμάτων με κατάλληλη μαθηματική ανάλυση. Η έρευνα αυτή και κυρίως η θεωρία των ελαστικών κυμάτων αναπτύχθηκε ως ανεξάρτητος επιστημονικός κλάδος μέχρι να επινοηθούν οι σεισμογράφοι. Μετά την εισαγωγή της μικροσεισμικής μεθόδου έρευνας έγινε δυνατή η συσχέτιση των θεωρητικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων και η αλληλοσυμπλήρωση των δύο μεθόδων.

3. Η Επιστημονική και Κοινωνική Σημασία της Σεισμολογίας

Η Σεισμολογία έχει τη δυνατότητα να εξετάζει έναν πολύ μεγάλο αριθμό θεμάτων, λόγω των πλούσιων επιστημονικών πληροφοριών που περιέχονται στα σύγχρονα σειсмоγράμματα.

Η σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία επεξεργασίας επιστημονικών δεδομένων (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κλπ.) προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης ενός πολύ ευρέως φάσματος τιμών γεωφυσικών ποσοτήτων. Έτσι, μελετώνται:

- συχνότητες εδαφικών δονήσεων μεταξύ 10^{-5} και 10^5 Hz
- μεταθέσεις εδαφικών δονήσεων μεταξύ $1\ \mu\text{m}$ ($=10^{-6}$ m) και 1 m (εδαφικές ταχύτητες μεταξύ 100μm/sec και 1m/sec, εδαφικές επιταχύνσεις μεταξύ 10^{-3} g και 1 g)
- μεγέθη σεισμών με σεισμικές ροπές μεταξύ 10^5 Nm και 10^{23} Nm
- γεωφυσικές δομές διαστάσεων μεταξύ λίγων μέτρων (στη σεισμική διασκόπηση) και 10^6 m.



Εύρος τιμών των φασματικών πλατών εδαφικών δονήσεων, που ενδιαφέρουν τη Σεισμολογία, σε συνάρτηση με τη συχνότητά τους. Τα πλάτη αυτά συγκρίνονται με τις φυσικές διαστάσεις ορισμένων αντικειμένων (Ammon, 1999, τροποποιημένο).

Είναι προφανή τα επιστημονικά αλλά κυρίως τα τεχνολογικά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν ώστε να είναι δυνατό να καταγραφούν δονήσεις με πλάτη που διαφέρουν μέχρι 11 τάξεις μεγέθους.

3. Η Επιστημονική και Κοινωνική Σημασία της Σεισμολογίας

Η Σεισμολογία έχει συμβάλει στη λύση σημαντικών επιστημονικών προβλημάτων, όπως είναι:

- Η δομή του εσωτερικού της Γης (αλλά και της Σελήνης).
- Οι γεωδυναμικές διαδικασίες.
- Η ανεύρεση δομών οικονομικού ή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος με μεθόδους σεισμικής διασκόπησης.
- Ο καθορισμός της σεισμικής επικινδυνότητας για την αντισεισμική προστασία.

Η **αντισεισμική προστασία** αποτέλεσε το σημαντικότερο λόγο μελέτης των σεισμών από τις αρχές του εικοστού αιώνα τουλάχιστον.

Με βάση τη **χωρική στατιστική κατανομή της σεισμικότητας**, την αζιμουθιακή κατανομή της ακτινοβολίας των σεισμικών κυμάτων, τις σχέσεις απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων κατά τη διάδοσή τους από τη σεισμική εστία στη θέση ενός υπό κατασκευή τεχνικού έργου και τις ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης του έργου καθορίζονται πιθανολογικά οι αναμενόμενες τιμές της ισχυρής σεισμικής κίνησης (π.χ. σεισμική επιτάχυνση), δηλαδή η σεισμική επικινδυνότητα της θέσης. Με τη μέθοδο αυτή εκπονείται για κάθε χώρα χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, ο οποίος αποτελεί μέρος του αντισεισμικού κανονισμού και χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και κατασκευή των τεχνικών έργων με αντοχή αντίστοιχη με τη ζώνη στην οποία βρίσκεται η θέση της κατασκευής.

3. Η Επιστημονική και Κοινωνική Σημασία της Σεισμολογίας

Εκτός από τη μέθοδο αυτή, που βασίζεται στη στατιστική εκτίμηση (πρόγνωση) της χωρικής κατανομής της σεισμικότητας και στην υπόθεση ότι η σεισμικότητα σε κάθε ζώνη δε μεταβάλλεται με το χρόνο, έγιναν προσπάθειες, ιδιαίτερα κατά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, για την **πρόγνωση (του χώρου, του χρόνου και του μεγέθους) συγκεκριμένου ισχυρού σεισμού**. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η βραχυπρόθεσμη πρόγνωση των σεισμών (ακρίβεια στο χρόνο μέχρι λίγες εβδομάδες) είναι ανέφικτη με το σημερινό επίπεδο της σχετικής σεισμολογικής γνώσης. Έρευνες, όμως, της τελευταίας δεκαετίας, ιδιαίτερα πάνω στη μέθοδο της **επιταχυνόμενης και επιβραδυνόμενης σεισμικής παραμόρφωσης**, έδειξαν ότι είναι μάλλον εφικτή η μεσοπρόθεσμη πρόγνωση των σεισμών (ακρίβεια στο χρόνο της τάξης των λίγων ετών) και συνεπώς ο καθορισμός μεταβαλλόμενης με το χρόνο σεισμικής επικινδυνότητας και η εκπόνηση αντίστοιχων χαρτών (π.χ. ανά 5 έτη).

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

Η Σεισμολογία έχει μακρά ιστορία, όσο και η φιλοσοφία, αφού οι μακροσεισμικές παρατηρήσεις και οι πρώτες ιδέες για τα αίτια γένεσης των σεισμών άρχισαν τον 6ο π.Χ. αιώνα από τους έλληνες φυσιοκράτες φιλοσόφους, οι οποίοι διατύπωσαν και τις πρώτες φιλοσοφικές ιδέες. Η Σεισμολογία ως σύγχρονη φυσική επιστήμη έχει ηλικία μόλις 100 ετών, αφού η βασική θεωρία των ελαστικών (σεισμικών) κυμάτων αναπτύχθηκε κατά τον 19ο αιώνα και η εφεύρεση των σειсмоγράφων, με τους οποίους πραγματοποιούνται ακριβείς μετρήσεις που επιδέχονται μαθηματική (θεωρητική) ανάλυση, έγινε στο τέλος του 19ου αιώνα.

Μπορούμε να χωρίσουμε την ιστορία της Σεισμολογίας:

α) στην κλασσική περίοδο (550 π.Χ. - 1550),

β) στην περίοδο ανάπτυξης της βασικής θεωρίας της ελαστικότητας, της διάδοσης των ελαστικών κυμάτων και της εφεύρεσης των σειсмоγράφων (1550-1900),

γ) στη νέα περίοδο (1900-σήμερα).

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

α) Κλασσική περίοδος (550 π.Χ.-1550 μ.Χ.)

Η Σεισμολογία γεννήθηκε στις ελληνικές πόλεις της αρχαίας Ιωνίας (Μικρά Ασία) και Κάτω Ιταλίας μαζί με τη Φιλοσοφία και τη Δημοκρατία από τους φυσιοκράτες φιλόσοφους.

Θαλής ο Μιλήσιος (624-546 π.Χ.): Το νερό είναι υπεύθυνο για τους σεισμούς.

Πυθαγόρας (585-500 π.Χ.): Η ροή θερμότητας από το εσωτερικό της Γης δημιουργεί τα γεωλογικά φαινόμενα και τους σεισμούς

Αρχέλαος (480-410 π.Χ.): Ο αέρας εισέρχεται μέσα στη Γη σε κοιλότητες και συμπιέζεται από νέον αέρα μέχρις ότου αναγκαστεί να κινηθεί προς τα επάνω σπάζοντας τα πετρώματα και προκαλώντας σεισμούς.

Αριστοτέλης (384-323 π.Χ.): Στα «Μετεωρολογικά» διατύπωσε μια γενικευμένη επιστημονική υπόθεση για τα αίτια γένεσης των σεισμών, βασιζόμενος σε προηγούμενες σχετικές αντιλήψεις (άποψη Αρχέλαου, κλπ.), στη δική του υπόθεση περί «αναθυμιάσεων» και «ανέμου» και σε μακροσεισμικές παρατηρήσεις που έγιναν απ' αυτόν ή από προηγούμενους. Οι απόψεις μεταγενεστέρων Ελλήνων, Λατίνων και Βυζαντινών συγγραφέων ήταν παρόμοιες με αυτές του Αριστοτέλη και ο **Σενέκας (4 π.Χ.-65 μ.Χ.)** συνόψισε σε βιβλίο του τις προηγούμενες αντιλήψεις για τα αίτια γένεσης των σεισμών. Η θεωρία του Αριστοτέλη δέσποσε στη Δύση και κατά τη διάρκεια όλου του Μεσαίωνα.

Παράλληλα με τη διατύπωση ιδεών για τα αίτια γένεσης των σεισμών πραγματοποιήθηκαν και αξιόλογες μακροσεισμικές παρατηρήσεις για τους μεγάλους καταστρεπτικούς σεισμούς που έγιναν κατά την περίοδο αυτή. Ως παραδείγματα αναφέρουμε το σεισμό της **Ελίκης το 373 π.Χ.**, που υπήρξε ένα σπουδαίο γεγονός για την εξέλιξη της ελληνικής επιστημονικής σκέψης, γιατί ο Αριστοτέλης έκανε επιστημονική ανάλυση του σεισμού αυτού. Άλλο ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί ο πολύ μεγάλος σεισμός (**M~8**) που έγινε το **365 μ.Χ. νοτιοδυτικά της Κρήτης**, του οποίου το τεράστιο θαλάσσιο κύμα προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε όλη την ανατολική Μεσόγειο. Κατά την περίοδο αυτή επινοήθηκε και κατασκευάστηκε το πρώτο **σεισμοσκόπιο το 132 μ.Χ. από τον Κινέζο φιλόσοφο Zhang Heng**

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας



Το πρώτο σεισμοσκόπιο που κατασκευάστηκε το 132 μ.Χ. από τον Κινέζο φιλόσοφο Zhang Heng (78-132 μ.Χ.). Το σεισμοσκόπιο περιείχε εκκρεμές (κατακόρυφος κύλινδρος) το οποίο, αποκρινόμενο στην εδαφική δόνηση, ωθούσε μέσω μοχλών σφαιρίδια να πέσουν σε υποδοχείς (ανοικτά στόματα βατράχων) που βρίσκονται στη βάση του.

β) Περίοδος εμφάνισης της νέας επιστήμης (1550-1900).

Κατά την περίοδο αυτή επικρατεί γενικά νέο πνεύμα για την επιστημονική έρευνα και οι επιστήμονες ενδιαφέρονται τώρα ιδιαίτερα για την **πειραματική (παρατηρησιακή) έρευνα**. Έγιναν, κατά το διάστημα αυτό, αξιόλογες μακροσεισμικές παρατηρήσεις για καταστρεπτικούς σεισμούς οι οποίες αποτέλεσαν τη βάση για τη ραγδαία ανάπτυξη της θεωρίας της ελαστικότητας κατά το δέκατο ένατο αιώνα.

Σεισμός της Λισσαβώνας της 1ης Νοεμβρίου 1755

Προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές και μεγάλο θαλάσσιο κύμα και οδήγησε το 1760 τον J. Mitchell ώστε να θεωρήσει τη σεισμική κίνηση ως αποτέλεσμα της **διάδοσης ελαστικών κυμάτων στο εσωτερικό της Γης**, για πρώτη φορά στην ιστορία της Σεισμολογίας. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε παραπέρα από τους T. Young, R. Mallet και J. Milne.

Σεισμός της Νάπολης το 1857

Ο **Mallet** κατέληξε στο σημαντικό συμπέρασμα ότι κάθε σεισμός γεννιέται σε ορισμένη **σεισμική εστία**, που σήμερα ονομάζουμε υπόκεντρο, και στη συνέχεια διαδίδεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Γαλιλαίος (1638), Hook (1660): Πειραματικά προβλήματα ελαστικότητας.

Navier (1821), Cauchy (1822): Εξισώσεις της θεωρίας της ελαστικότητας.

Poisson (1830), Stokes (1849): Χρησιμοποίησαν τις εξισώσεις της κίνησης και τους καταστατικούς νόμους της ελαστικότητας για να δείξουν ότι υπάρχουν δύο και μόνο δύο θεμελιώδεις τύποι ελαστικών κυμάτων που διαδίδονται στο εσωτερικό ομογενούς στερεού, τα **επιμήκη κύματα (P κύματα)** και τα **εγκάρσια κύματα (S κύματα)**.

Λόρδος Rayleigh (1887): Έδειξε θεωρητικά την ύπαρξη των ομώνυμων επιφανειακών κυμάτων.

Love (1911): Έδειξε, επίσης θεωρητικά, την ύπαρξη του δεύτερου θεμελιώδους είδους επιφανειακών κυμάτων που φέρουν το όνομά του.

4. Σύνοψη Ιστορία της Σεισμολογίας

Εφεύρεση του σειсмоγράφου

Η ανάπτυξη της **θεωρίας της ελαστικότητας** κατά το 19ο αιώνα αποτέλεσε τη μια από τις δύο θεμελιώδεις βάσεις για τη δημιουργία της σύγχρονης επιστήμης της Σεισμολογίας, ενώ την άλλη αποτέλεσε η εφεύρεση του **σεισμογράφου**.

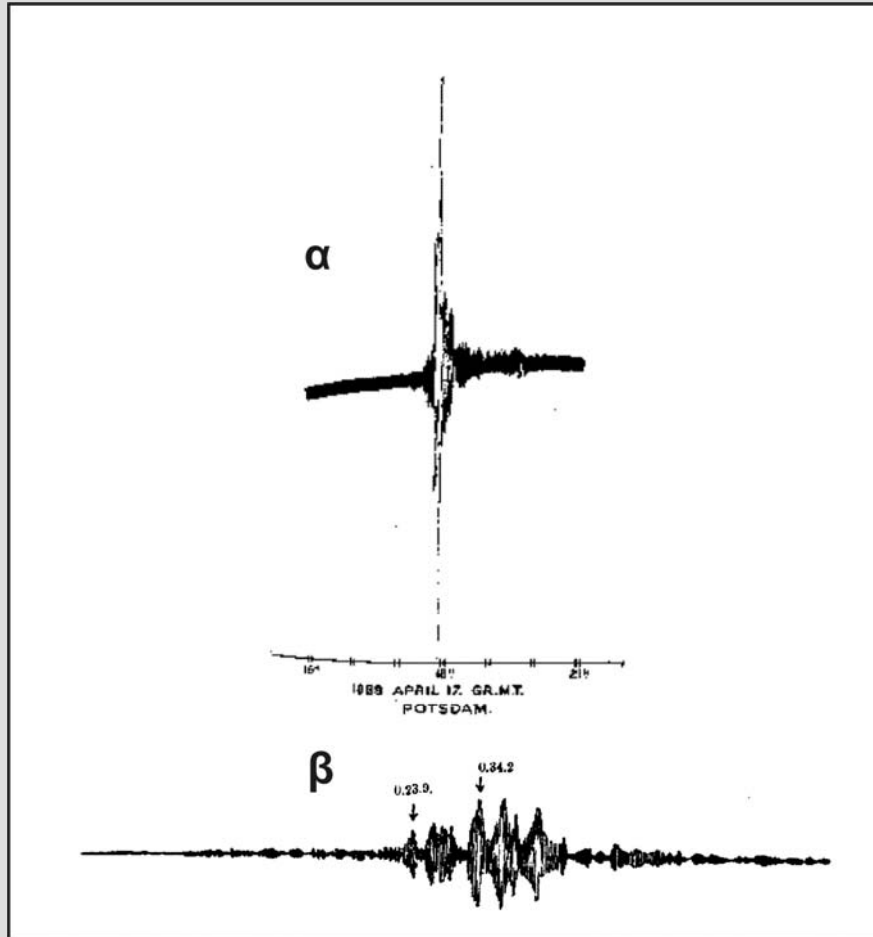
Οι πρώτοι σεισμογράφοι κατασκευάστηκαν στην Ιαπωνία από τους Άγγλους **Cray, Milne και Ewing** περί το **1880** (μηχανικοί σεισμογράφοι και κατέγραφαν πάνω σε αιθαλωμένο γυαλί).

Η πρώτη αναγραφή μακρινού σεισμού έγινε τυχαία το **1889 στο Potsdam** από οριζόντιο αυτογραφικό εκκρεμές τύπου Rebeur-Paschwitz. Αυτή οφειλόταν σε σεισμό της Ιαπωνίας, που έγινε σε απόσταση 9000 Km περίπου από το σημείο αναγραφής.

Τα κύματα Rayleigh αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά στα σεισμογράμματα το 1890 από τον **Oldham** στην Αγγλία και τον **Wiechert** στη Γερμανία.

Το **1898 ο E. Wiechert** εισήγαγε τον **πρώτο σεισμογράφο με ιξώδη απόσβεση**, ο οποίος έχει τη δυνατότητα αναγραφής του συνόλου της εδαφικής κίνησης που οφείλεται σε ορισμένο σεισμό.

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας



- (α) Ένα από τα πρώτα σειсмоγράμματα. Προέρχεται από σεισμό που έγινε στην Ιαπωνία στις 17 Απριλίου 1889 και καταγράφηκε από σειсмоγράφο τύπου Rebeur-Paschwitz εγκατεστημένο στο Potsdam της Γερμανίας (Von Rebeur-Paschwitz, E., 1889. The earthquake of Tokio, April 18, 1889, Nature, Lond. 40, 294-295).
- (β) Καταγραφή κοντινού σεισμού από οριζόντιο σειсмоγράφο τύπου Milne εγκατεστημένο στην Ιαπωνία. Η χρησιμότητά της καταγραφής είναι περιορισμένη λόγω έλλειψης συστήματος απόσβεσης (Milne, J. 1901. Seismological investigations. -Sixth report of the committee... Rep. Brit. Ass. Advmt. Sci. 1901, 40-54).

γ) Νέα περίοδος της Σεισμολογίας (1900-σήμερα).

Στις αρχές του 20ου αιώνα δημιουργήθηκαν αρκετοί σεισμολογικοί σταθμοί οι αναγραφές των οποίων χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των επικέντρων των ισχυρών σεισμών.

Ο πρώτος **ηλεκτρομαγνητικός** σειсмоγράφος, που κατασκευάστηκε το **1906** από τον **B. Galitzin** χρησιμοποιήθηκε σε σεισμολογικό δίκτυο στη Ρωσία.

Το **1925** κατασκευάστηκε ο οπτικής αναγραφής σειсмоγράφος **Wood-Anderson**, που χρησιμοποιήθηκε αργότερα (1935) για τον υπολογισμό του τοπικού μεγέθους από τον Ch. Richter.

Το **1935** κατασκευάστηκε ηλεκτρομαγνητικός σειсмоγράφος από τον **Benioff** ο οποίος φέρει το όνομά του και έχει τη δυνατότητα καταγραφής βραχείας ή μακράς περιόδου (ανάλογα με την περίοδο του γαλβανομέτρου με το οποίο συνδέεται) ακόμη και ασθενών εδαφικών δονήσεων που οφείλονται σε σεισμούς ή πυρηνικές εκρήξεις.

Η λεπτομερής σεισμική αναγραφή της πυρηνικής έκρηξης στο νησί **Bikini το 1946** και η πραγματοποίηση το 1949 πυρηνικής έκρηξης από τη Σοβιετική Ένωση αποτέλεσαν την αιτία ανάπτυξης από τις ΗΠΑ ενός μεγάλου προγράμματος για την ανίχνευση των πυρηνικών εκρήξεων. Το πρόγραμμα αυτό είχε σημαντικές συνέπειες για τη Σεισμολογία, μεταξύ των οποίων είναι η εγκατάσταση, στις αρχές της δεκαετίας του **1960**, του **Διεθνούς Τυποποιημένου Δικτύου Σειсмоγράφων WWSSN** (Worldwide Standardized Seismograph Network).

Δίκτυα με σειсмоγράφους ψηφιακής καταγραφής και ευρέος φάσματος συχνοτήτων: **Παγκόσμιο Ψηφιακό Σεισμικό Δίκτυο** (Global Digital Seismic Network), του οποίου η εγκατάσταση άρχισε το **1980** από το IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) και την Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS).

4. Σύνοψη Ιστορία της Σεισμολογίας

Η αναγνώριση των ασυνεχειών πρώτης τάξης στο εσωτερικό της Γης με την ερμηνεία των σειсмоγραμμάτων κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα.

R. Oldham (1900, 1906): Αναγνώρισε στα σειсмоγράμματα τα επιμήκη, P, και τα εγκάρσια, S, κύματα και διαπίστωσε την ύπαρξη του **πυρήνα της Γης** από την απουσία απ' ευθείας P και S κυμάτων σε αποστάσεις πηγής-δέκτη μεγαλύτερες των 100°.

Gutenberg (1914): Χρησιμοποίησε τους χρόνους διαδρομής των σεισμικών κυμάτων που διεισδύουν καθώς και αυτών που ανακλώνται στον πυρήνα της Γης και υπολόγισε σε **2900 km** το βάθος του **υγρού πυρήνα** (δηλαδή πολύ κοντά στην τιμή των 2889 km που γνωρίζουμε σήμερα).

Mohorovicic (1909): Εντόπισε την ασυνέχεια ταχύτητας μεταξύ του **φλοιού και του μανδύα**, η οποία φέρει το όνομά του.

Inge Lehman (1939): Ανακάλυψε τον **εσωτερικό πυρήνα** της Γης.

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

Zöppritz (1907): Κατασκεύασε τους πρώτους πίνακες χρόνων διαδρομής.

H. Jeffreys (1939): Προσδιόρισε την πρώτη κατακόρυφη τομή δομής ταχύτητας της Γης (από την επιφάνεια μέχρι το κέντρο της) και πρότεινε τους χρησιμοποιούμενους μέχρι σήμερα γνωστούς πίνακες **J-B (Jeffreys-Bullen)** οι οποίοι προβλέπουν τους χρόνους άφιξης των P κυμάτων σ' οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας της Γης με την αξιοσημείωτη ακρίβεια του 0.2%.

K. Wadati (1928): Επιβεβαιώθηκε η γένεση των **σεισμών βάθους** και διαπιστώθηκε ότι οι εστίες βρίσκονται πάνω σε κεκλιμένες ζώνες γνωστές ως **ζώνες Wadati- Benioff**.

Η πρώτη **ελεύθερη ταλάντωση της Γης** παρατηρήθηκε από τον **Benioff** και ήταν αυτή που προκλήθηκε από το μεγάλο σεισμό της **Χιλής το 1960**. Αυτή αποτέλεσε την αρχή για τη μελέτη της δομής της Γης και με τη **θεωρία των κανονικών αρμονικών** (normal modes).

H. Reid (1910): Το μεγαλύτερο, ίσως, επιστημονικό βήμα για τον τρόπο γένεσης των σεισμών είναι η διαπίστωση του H. Reid το 1910, που βασίστηκε σε γεωδαιτικές μετρήσεις οι οποίες έγιναν πριν και μετά το μεγάλο σεισμό του **Αγίου Φραγκίσκου το 1906**, ότι κάθε σεισμός οφείλεται σε απελευθέρωση ενέργειας κατά τη **διάρρηξη σεισμικού ρήγματος**. Η ενέργεια αυτή δημιουργείται κατά τη βραδεία και επί σημαντικό χρονικό διάστημα παραμόρφωση των πετρωμάτων του εστιακού χώρου πριν τη γένεση του σεισμού. Αυτή είναι γνωστή ως **θεωρία της ελαστικής ανάπαλσης** και αποτελεί μέχρι σήμερα τη βασική θεωρία για τον τρόπο γένεσης των σεισμών.

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

- Shida (1917):** Διαπίστωσε ότι οι πρώτες αποκλίσεις των P κυμάτων είναι συμπίεσεις στις δύο κατακορυφή στερεές γωνίες και αραιώσεις στις δύο άλλες κατακορυφή γωνίες που σχηματίζει το επίπεδο του ρήγματος και το κάθετο στη διεύθυνση της κίνησης επίπεδο (βοηθητικό επίπεδο).
- H. Nakano (1923):** Εισήγαγε τη θεωρία της ακτινοβολίας των σεισμικών κυμάτων από σεισμική πηγή που οφείλεται σε διπλό ζεύγος δυνάμεων, η οποία ερμηνεύει την κατανομή αυτή των συμπίεσεων και αραιώσεων και αποδείχθηκε ορθή μετά από σχετικές επιστημονικές συζητήσεις επί τέσσερις δεκαετίες.
- Byerly (1928):** Ανέπτυξε μέθοδο καθορισμού του **μηχανισμού γένεσης** των σεισμών με βάση τις πρώτες αποκλίσεις των P κυμάτων.
- Langston and Helmberger (1975), Nabelek (1984):** Ανέπτυξαν για τον ίδιο σκοπό μέθοδο με βάση τη μοντελοποίηση των κυματομορφών των P και S κυμάτων. Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόστηκαν και εξακολουθούν να εφαρμόζονται αποτελεσματικά για τον καθορισμό του μηχανισμού γένεσης των ισχυρών σεισμών.
- Charles Richter (1935):** Εισήγαγε την κλίμακα του **τοπικού μεγέθους**, M_L .
- Gutenberg (1945):** Εισήγαγε την κλίμακα του **επιφανειακού μεγέθους**, M_S .
- Gutenberg και Richter (1956):** Πρότειναν την τελική μορφή της κλίμακας του **χωρικού μεγέθους**, m_b .
- Hanks και Kanamori (1979):** Πρότειναν την κλίμακα του **μεγέθους ροπής**.

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

Κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1960 άρχισε να αναπτύσσεται η **θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών** που αποτελεί τη βάση της νέας παγκόσμιας τεκτονικής.

Τα πρώτα στοιχεία για τη θεωρία αυτή προέκυψαν από μαγνητικές μετρήσεις που δείχνουν επέκταση του θαλάσσιου πυθμένα.

Η θεμελίωση της θεωρίας αυτής βασίστηκε κατά κύριο λόγο σε σεισμολογικές παρατηρήσεις, αφού τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, καθώς και οι κατευθύνσεις και οι ταχύτητες κίνησής τους, καθορίζονται κυρίως με σεισμολογικές μεθόδους.

1969 – 1972: Εγκαταστάθηκε σειсмоγραφικό δίκτυο στη **Σελήνη** με το πρόγραμμα «Απόλλων» και κατέγραψε επιφανειακούς σεισμούς με βάθη μέχρι 100 Km αλλά και σεισμούς βάθους με βάθη μεταξύ 800 και 1000 Km.

1976: Εγκαταστάθηκε στον **Άρη** ο πρώτος σειсмоγράφος με το πρόγραμμα «Viking 2», αλλά αυτός κατέγραψε μόνο έναν πιθανό σεισμό, λόγω του υψηλού θορύβου που προκαλείται εκεί και από τον άνεμο.

Κατά την τελευταία δεκαπενταετία η σεισμολογική έρευνα επηρεάστηκε έντονα από την αναπτυσσόμενη **θεωρία του χάους**. Δείχθηκε π.χ., ότι η διάρρηξη στα ρήγματα κατά τη γένεση ισχυρών σεισμών ακολουθεί τους νόμους του «αιτιοκρατικού χάους», ότι η περιοχική σεισμικότητα καθώς και επαγόμενη σεισμικότητα ερμηνεύονται με τη θεωρία της «αυτο-οργανωμένης κρισιμότητας» και ότι η γένεση των κύριων σεισμών και η προηγούμενη αυτών επιταχυνόμενη σεισμικότητα ερμηνεύεται με τη θεωρία του «κρίσιμου σημείου» (Parazachos, 2003).

4. Σύντομη Ιστορία της Σεισμολογίας

Η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή σεισμολογικών δεδομένων: από τις αρχές σχεδόν του 20ου αιώνα, αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης της Σεισμολογίας.

1904-1916: Διεθνής Σύνδεσμος της Σεισμολογίας (International Association of Seismology).

1919: Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας και Γεωφυσικής IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics).

1951: Διεθνής Σύνδεσμος Σεισμολογίας και Φυσικής του Εσωτερικού της Γης IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior).

1922: Εκδίδεται το Διεθνές Σεισμολογικό Δελτίο, ISS (International Seismological Summary), του οποίου συνέχεια, από το 1963, αποτελεί το Δελτίο του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου, ISC (International Seismological Centre), στο Newbury της Αγγλίας.

1906: Ιδρύθηκε στο Στρασβούργο το Κεντρικό Διεθνές Γραφείο Σεισμολογίας BCIS (Bureau Central International de Seismologie) το οποίο δημοσίευσε στοιχεία σεισμών από το 1904 μέχρι το 1975. 1976: Ιδρύθηκε από την ESC το Κεντρικό Ευρωπαϊκό Σεισμολογικό Κέντρο EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre), το οποίο από το 1993 στεγάζεται στο Laboratoire de Détection et de Geophysique (LDG) της Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας, CEA (Commissariat à l' Energie Atomique) κοντά στο Παρίσι και δημοσιεύει στοιχεία σεισμών της Μεσογείου.

1968: Σεισμολογικά δεδομένα δημοσιεύει σε μηνιαία δελτία του το Εθνικό Κέντρο Σεισμικών Πληροφοριών, NEIC (National Earthquake Information Center), της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών, USGS (United States Geological Survey).

1977: Παρόμοιες πληροφορίες δημοσιεύονται από το Πανεπιστήμιο Harvard, με βάση τις καταγραφές 3000 μόνιμων σεισμολογικών σταθμών.

1970-σήμερα: Παράγονται και είναι διαθέσιμα σε όλη την επιστημονική κοινότητα ψηφιακά δεδομένα με σειсмоγράφους ευρέος φάσματος συχνοτήτων από διάφορα κέντρα, όπως είναι το IRIS (ΗΠΑ), GEOFON (Γερμανία) και ORFEUS (Ολλανδία).