

## Κεφάλαιο 11ο Τεχνητές Δονήσεις

- Παραγόμενες Εργαστηριακά Δονήσεις
- Εδαφικός Θόρυβος
- Πυρηνικές Εκρήξεις και Σημασία Αυτών για τη Σεισμολογία
- Χημικές Εκρήξεις

## Τεχνητές Δονήσεις

Αντικείμενο του μαθήματος αυτού είναι η εισαγωγή στη μελέτη των τεχνητών δονήσεων που ενδιαφέρουν τη Σεισμολογία και που διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

Τις **παραγόμενες στο εργαστήριο** οι οποίες έχουν ως σκοπό:

- την πειραματική μελέτη των ελαστικών και άλλων ιδιοτήτων της ύλης (πλαστικότητα, ερπυσμός, κλπ), υπό συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ανάλογες, κατά το δυνατό, με τις συνθήκες που βρίσκεται η ύλη μέσα στη Γη,
- τη μελέτη του μηχανισμού γένεσης αυτών και του τρόπου διάδοσης των ελαστικών κυμάτων.

Η γένεση και διάδοση των τελευταίων αυτών δονήσεων γίνεται μέσα σε μοντέλα της Γης ή τμημάτων αυτής και η μελέτη τους αποτελεί σημαντικό συμπλήρωμα των άλλων σεισμολογικών ερευνών (θεωρητικών, κλπ.) για τη μελέτη διαφόρων φυσικών φαινομένων.

Τις **παραγόμενες στη φύση** σκόπιμα ή όχι.

Αυτές οι τεχνητές δονήσεις μπορεί να οφείλονται είτε σε μέσα συγκοινωνίας, μηχανές εργοστασίων, κλπ. που δημιουργούν τον εδαφικό θόρυβο ο οποίος γράφεται από τους σειсмоγράφους είτε σε πυρηνικές και χημικές εκρήξεις.

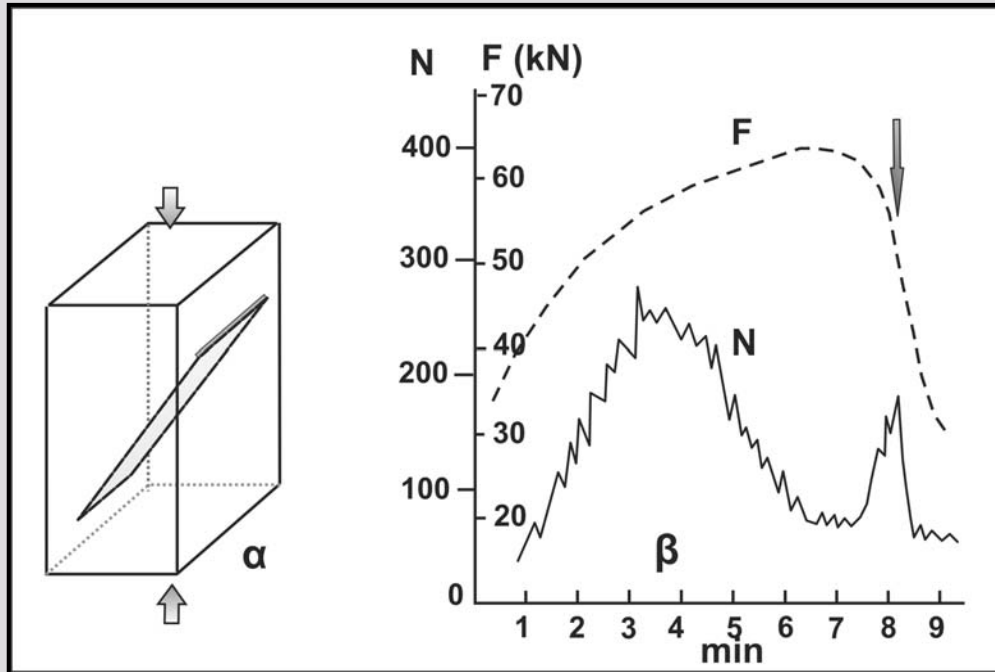
## Δονήσεις που Παράγονται στο Εργαστήριο

● Η πραγματοποίηση πειραμάτων στο εργαστήριο υπό συνθήκες ακριβώς όμοιες μ' αυτές που επικρατούν στο εσωτερικό της Γης είναι σχεδόν αδύνατη. Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι η μεγαλύτερη πίεση που πέτυχαν στο εργαστήριο ήταν μέχρι πρόσφατα ίση με την πίεση που επικρατεί σε βάθος μόνο 300 km μέσα στη Γη. Τελευταία, όμως, πέτυχαν πιέσεις μεγαλύτερες ακόμη και απ' αυτήν που επικρατεί στο κέντρο της Γης. Αυτό έγινε δυνατό με την πραγματοποίηση τεχνητών δονήσεων στιγμιαίας διάρκειας (shock waves).

● Τα εργαστηριακά πειράματα αυτά συνέβαλαν σημαντικά στην κατανόηση του τρόπου εξάρτησης της κατανομής των μεγεθών των σεισμών των σεισμικών ακολουθιών (μετασεισμών, προσεισμών, κλπ.) από την κατανομή των τάσεων και το βαθμό ομοιογένειας των πετρωμάτων. Όπως δείχθηκε, τα μεγέθη των μικροδονήσεων που παράγονται εργαστηριακά ακολουθούν τη σχέση  $\log N = a - bM$  με τιμές της παραμέτρου  $b$  παρόμοιες μ' αυτές που βρέθηκαν για τους σεισμούς. Τέτοιες εργαστηριακές έρευνες έδωσαν σημαντικές πληροφορίες και για την κατανομή των τάσεων κοντά στις μικρορωγμές που σχηματίζονται κατά τα πειράματα αυτά. Οι μικρορωγμές αυτές αποτελούν μικρογραφία των σεισμικών ρηγμάτων.

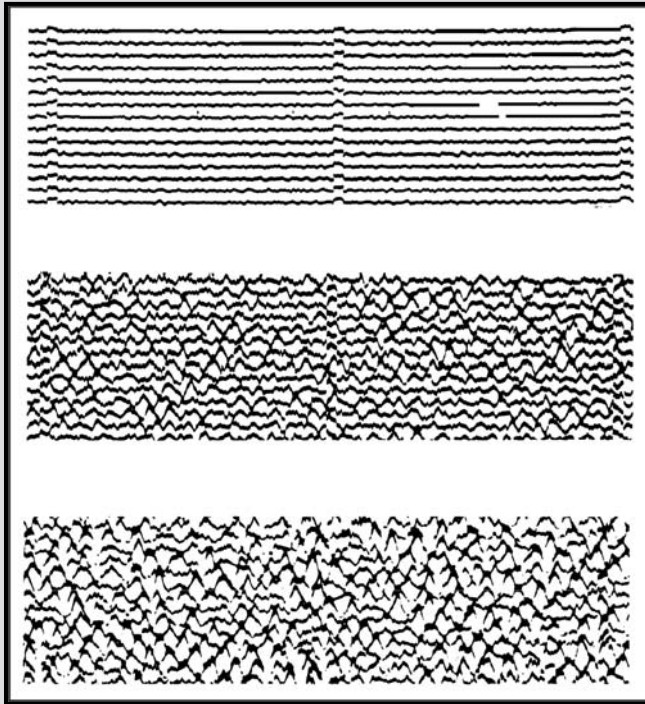
● Οι εργαστηριακές έρευνες πάνω στις μεταβολές του όγκου των πετρωμάτων υπό την επίδραση τάσεων φαίνεται ότι αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία της θεωρίας (διασταλτικότητα) που προσπαθεί να δώσει φυσική ερμηνεία σε ορισμένες μεταβολές οι οποίες παρατηρούνται στον εστιακό χώρο πριν από τη γένεση ορισμένων σεισμών.

## Δονήσεις που Παράγονται στο Εργαστήριο (συνέχεια)



Ένα παράδειγμα πειράματος απεικονίζεται στο σχήμα (α) όπου φαίνεται ένα εργαστηριακό δοκίμιο από σκυρόδεμα, μέσα στο οποίο έχει τοποθετηθεί πλάκα από γυαλί που σχηματίζει γωνία  $35^\circ$  με την κατακόρυφο και παριστάνει το επίπεδο του ρήγματος. Το δοκίμιο υποβάλλεται σε μονοαξονική φόρτιση, η οποία προκαλεί παραμόρφωση με σταθερό ρυθμό ( $6 \cdot 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$ ). Στο δεξιό μέρος του σχήματος (β) φαίνεται η γραφική παράσταση της μεταβολής του αριθμού, N, των μικροδονήσεων (ακουστικών σημάτων με συχνότητες μεγαλύτερες από 100 kc/sec) και της φόρτισης, F (σε kN), που ασκείται, σε συνάρτηση με το χρόνο. Το βέλος αντιστοιχεί στο χρόνο κατά τον οποίο η διάρρηξη έφτασε στις άκρες του δοκιμίου. Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες μικροδονήσεις γίνονται στο αρχικό στάδιο αύξησης της φόρτισης ενώ στη συνέχεια ο αριθμός τους ελαττώνεται. Λίγο πριν από τη διάρρηξη (βέλος) ο αριθμός των μικροδονήσεων αυξάνεται (Sobolev, 1986).

## Δονήσεις που παράγονται στη Φύση



Εδαφικός θόρυβος διαφόρων περιόδων (USGS).

### Μικροσεισμικά ή Εδαφικός Θόρυβος

Στις ταινίες των σεισμικών οργάνων παρατηρείται, εκτός από τις αναγραφές των σεισμών, και μια μάλλον συνεχής κίνηση η οποία οφείλεται σε ελαστικά κύματα, που λέγονται **μικροσεισμικά** ή **εδαφικός σάλος** ή **εδαφικός θόρυβος**, τα οποία οφείλονται σε **τεχνητά αίτια** (μέσα συγκοινωνίας, βιομηχανικά μέσα, κλπ.) ή **φυσικά αίτια** (μετεωρολογικές μεταβολές, κλπ.) και έχουν περιόδους από 0.5 sec ως 30 sec περίπου.

Η ύπαρξη των μικροσεισμικών κάνει δύσκολη την ακριβή μέτρηση του χρόνου εισόδου και των μικρών πλατών των σεισμών και αποτελεί το βασικό λόγο για τον οποίο οι μεγεθύνσεις των σειсмоγράφων διατηρούνται σε ορισμένο επίπεδο.

Τα μικροσεισμικά οφείλονται σε αίτια που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το σταθμό αναγραφής ή σε αίτια που βρίσκονται σε σημαντική απόσταση από το σταθμό αναγραφής.

Όταν τα αίτια είναι **τοπικά**, τα μικροσεισμικά οφείλονται σε τεχνητά αίτια ή σε μετεωρολογικά αίτια. Τα συνηθέστερα από τα μετεωρολογικά αίτια είναι η τριβή του ανέμου πάνω στο έδαφος, στα δένδρα, στις οικοδομές, κλπ. και η πτώση βροχής, χιονιού, χαλαζιού. Ο θόρυβος αυτός έχει περιόδους μικρότερες του 1 sec.

## Μικροσεισμικά ή Εδαφικός Θόρυβος

Τα μικροσεισμικά που διατρέχουν σημαντικές αποστάσεις μέχρι να φθάσουν στους σταθμούς αναγραφής είναι επιφανειακά κύματα, κυρίως κύματα Rayleigh, και οφείλονται στη μεταβλητή φόρτωση του πυθμένα της θάλασσας και των ακτών κατά τη διάδοση των θαλασσίων κυμάτων. Γι' αυτό αυτά λέγονται **ωκεάνια μικροσεισμικά** ή **μικροσεισμικές θύελλες** και διακρίνονται σε **δύο κατηγορίες** βάσει της επικρατούσας περιόδου τους.

Στην **πρώτη κατηγορία** ανήκουν εκείνα από τα μικροσεισμικά που η περίοδός τους είναι ίση με την περίοδο των θαλασσίων κυμάτων που τα προκάλεσαν (10-22 sec) και γεννιούνται κατά την πρόσκρουση θαλασσίων κυμάτων στις ακτές.

Στη **δεύτερη κατηγορία** ανήκουν τα ωκεάνια μικροσεισμικά που η περίοδός τους είναι ίση με το μισό της περιόδου των ωκεάνιων κυμάτων που τα προκάλεσαν (5-11 sec) και οφείλονται σε στάσιμα κύματα, τα οποία παράγονται κατά τη συμβολή αντίθετα διαδιδόμενων ωκεάνιων κυμάτων σε περιοχές κυκλώνων ή κατά τη συμβολή των προσπιπτόντων και ανακλωμένων στις ακτές ωκεανίων κυμάτων.

## Μικροσεισμικά ή Εδαφικός Θόρυβος (συνέχεια)

Οι **βασικοί λόγοι** για τους οποίους οι σεισμολόγοι ασχολήθηκαν με τα μικροσεισμικά είναι:

- Έπρεπε να γίνουν γνωστές οι βασικές ιδιότητες αυτών, για να επινοηθούν μέθοδοι αύξησης του λόγου του πλάτους αναγραφής των σεισμών προς το πλάτος αναγραφής των μικροσεισμικών ώστε οι μετρήσεις των χρόνων άφιξης των σεισμικών κυμάτων και των πλατών να είναι ακριβείς.

- Υπήρξαν ενδείξεις ότι ορισμένες ιδιότητες των μικροσεισμικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση του καιρού. Δείχθηκε, π.χ. ότι τα ωκεάνια μικροσεισμικά φθάνουν στους σταθμούς πολύ νωρίτερα από τον κυκλώνα που τα δημιουργεί, επειδή η ταχύτητα διάδοσης αυτών είναι 200 φορές μεγαλύτερη της ταχύτητας του κυκλώνα και συνεπώς μπορούν να σημάνουν την άφιξη αυτού. Τέτοιες προσπάθειες καταβλήθηκαν κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου.

- Η διάδοση των μικροσεισμικών, καθώς και όλων των ελαστικών κυμάτων, εξαρτάται από τη δομή των ανωτάτων στρωμάτων της Γης. Καταβλήθηκε, έτσι, προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων για τη δομή με τη μελέτη της επίδρασης αυτής στο πλάτος και στην περίοδο των μικροσεισμικών.

Επειδή, όμως, αναπτύχθηκαν πιο αποτελεσματικές μέθοδοι πρόγνωσης του καιρού (με τεχνητούς δορυφόρους, κλπ.) και μελέτης της δομής των ανωτάτων στρωμάτων της Γης (με τεχνητές εκρήξεις, κλπ), η μελέτη των μικροσεισμικών σήμερα γίνεται σχεδόν αποκλειστικά για τον πρώτο από τους τρεις λόγους που αναφέρονται.

## Πυρηνικές Εκρήξεις

Στις 16 Ιουλίου 1945 οι Η.Π.Α. προχώρησαν στην πρώτη πυρηνική δοκιμή ισχύος 21kt (Trinity). Η πρώτη δοκιμή πυρηνικής έκρηξης στη Σοβιετική Ένωση (Joe - 1) έγινε στις 29 Αυγούστου 1949. Από τότε σημαντικός αριθμός πυρηνικών εκρήξεων πραγματοποιήθηκε.

	Η.Π.Α.	Σοβ. Ένωση	Μεγάλη Βρετανία	Γαλλία	Κίνα	Ινδία	Πακιστάν
	1945 -1992	1949 -1990	1952 -1991	1960 -1991	1963 -1995	1974 -1998	1998
<b>Αριθμός εκρήξεων</b>	1020	715	45	192	41	4	2
<b>Ισχυρότερη έκρηξη</b>	15 Mt	57 Mt			3Mt	30kt	10kt



Πυρηνική έκρηξη (Baker) στην απόλη Bikini του Ειρηνικού ωκεανού στις 23 Ιουλίου 1946 ισχύος 23 kt.



Πυρηνική έκρηξη (Yeso) στο νησί Christmas του Ειρηνικού ωκεανού στις 10 Ιουνίου 1962 ισχύος 3 Mt.

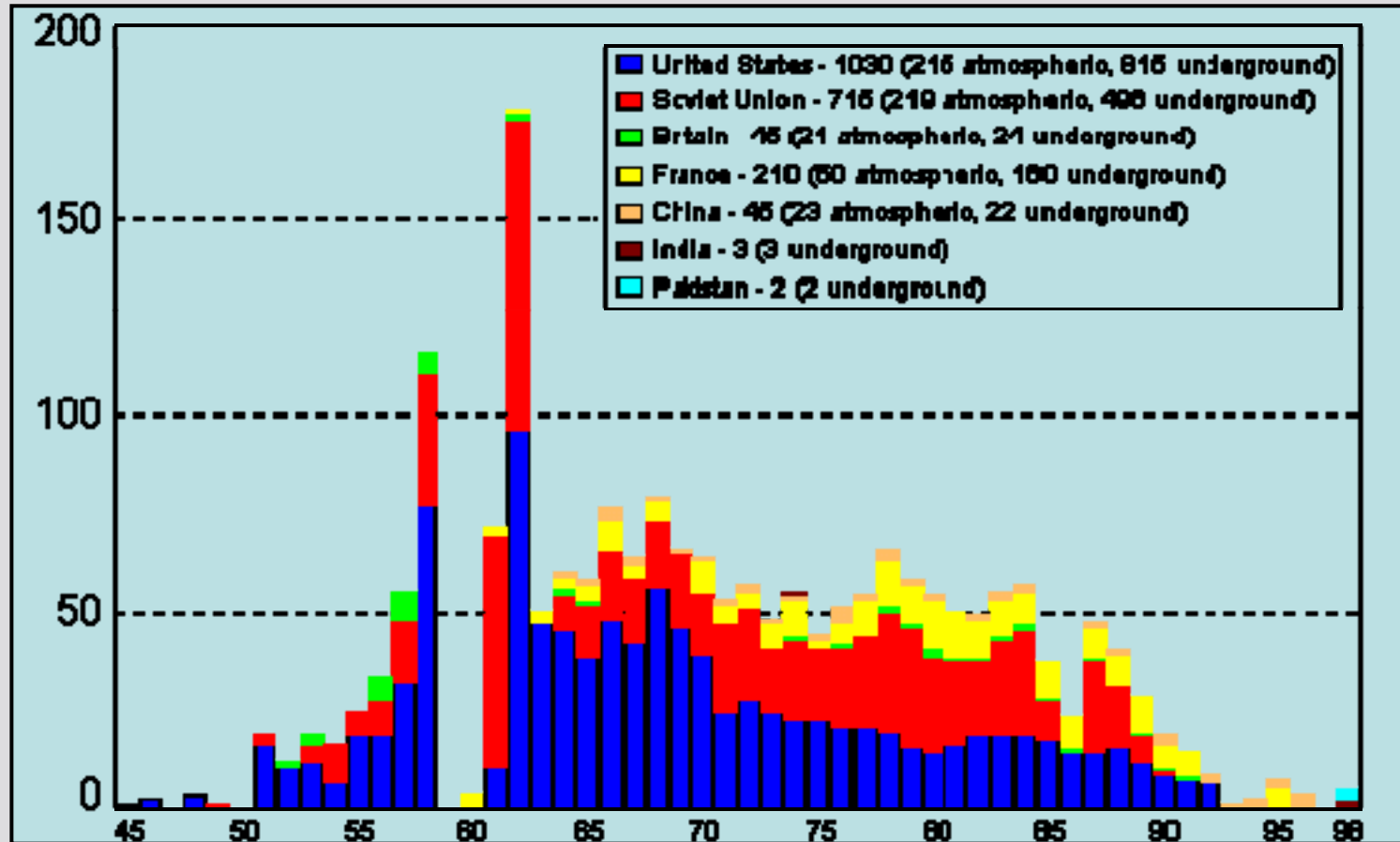
Yeso



Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους οι σεισμολόγοι ασχολούνται με τις πυρηνικές εκρήξεις είναι:

- **Ο έλεγχος της τήρησης των συμφωνιών** μεταξύ των κρατών να μη γίνονται τέτοιες δοκιμές. Τέτοια συμφωνία για την απαγόρευση των πυρηνικών δοκιμών, με εξαίρεση τις υπόγειες δοκιμές, υπάρχει μεταξύ των Η.Π.Α. και της Ρωσίας από το 1963. Υπάρχει, επίσης, συμφωνία απαγόρευσης και των μεγάλων (>150 kt) υπογείων πυρηνικών εκρήξεων. Στις 10 Σεπτεμβρίου 1996 ψηφίσθηκε στη Γ.Σ. του Ο.Η.Ε. συμφωνία απαγόρευσης πυρηνικών δοκιμών (Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty, CTBT), σύμφωνα με την οποία απαγορεύονται όλες οι πυρηνικές εκρήξεις σε οποιοδήποτε περιβάλλον (θαλάσσιο, ατμοσφαιρικό, κλπ.). Ως το 2005, 176 χώρες από τις 193 που είναι μέλη του Ο.Η.Ε., έχουν υπογράψει τη συμφωνία αυτή.
- Η μελέτη της **δομής του εσωτερικού της Γης** με μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ότι με τους σεισμούς καθώς και του μηχανισμού γένεσης των σεισμών. Αυτό είναι δυνατό γιατί μπορούμε να υπολογίσουμε με μεγάλη ακρίβεια τους χρόνους διαδρομής των ελαστικών κυμάτων που παράγονται κατά τις εκρήξεις, αφού οι θέσεις και οι χρόνοι γένεσης των εκρήξεων είναι γνωστοί ενώ για τους σεισμούς οι παράμετροι αυτές υπολογίζονται κατά προσέγγιση με βάση τις σεισμικές αναγραφές.
- Οι πυρηνικές εκρήξεις, όταν το χωρικό μέγεθος αυτών,  $m_b$ , είναι μεγαλύτερο του 5.5, αποτελούν αίτια έκλυσης φυσικών **μεταδονήσεων**, που έχουν παρόμοιες ιδιότητες με εκείνες των μετασεισμών. Οι εστίες, όμως, των μεταδονήσεων βρίσκονται μέσα σε μια ακτίνα 20 km ή το πολύ 40 km από την εστία της πυρηνικής έκρηξης ενώ οι εστίες των μετασεισμών μπορούν να βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερο φυσικό χώρο. Υπάρχουν ορισμένες ενδείξεις ότι οι πυρηνικές εκρήξεις μπορούν, πιθανώς, να επισπεύσουν τη γένεση μεγάλων σεισμών, των οποίων οι εστίες βρίσκονται κοντά στις εστίες τους.

## Πυρηνικές Εκρήξεις (συνέχεια)

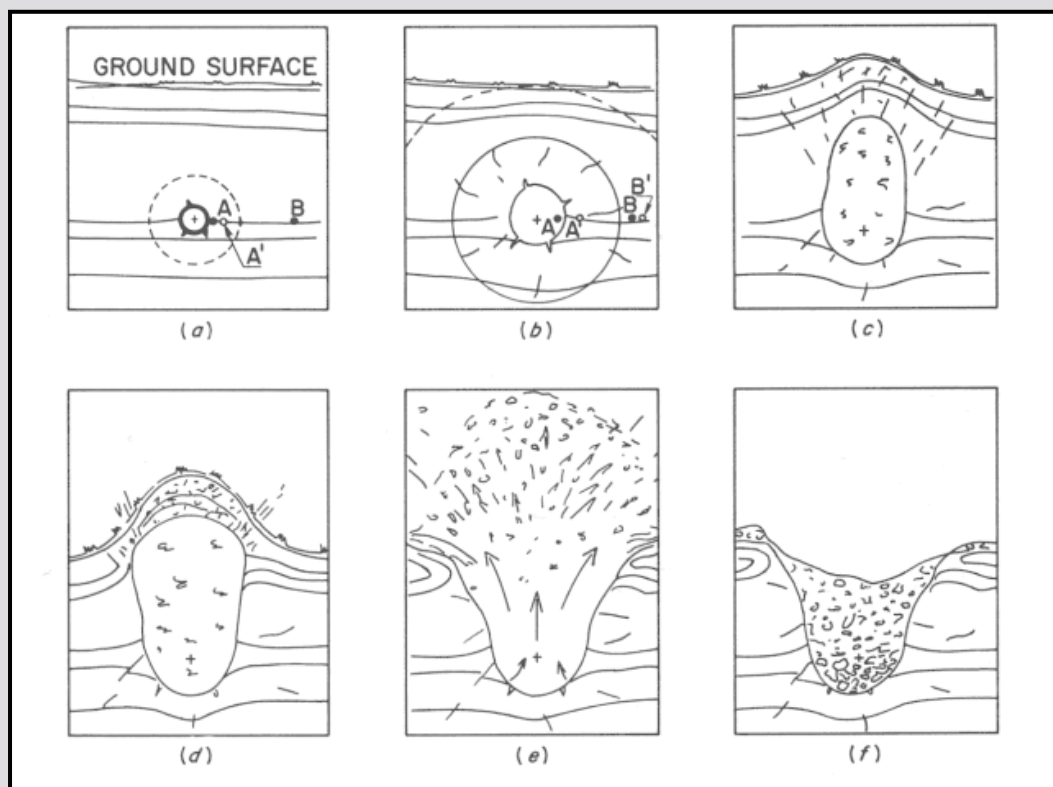


Αριθμός πυρηνικών δοκιμών από 7 χώρες στο χρονικό διάστημα 1945-1998.

## Πυρηνικές Εκρήξεις (συνέχεια)

Η μορφή της ενέργειας των πυρηνικών εκρήξεων και ο τρόπος απελευθέρωσης αυτής είναι διαφορετική από τη μορφή και τον τρόπο απελευθέρωσης της ενέργειας των σεισμών.

Κατά τις πυρηνικές εκρήξεις πραγματοποιείται σχεδόν **συμμετρική** ακτινοβολία πυρηνικής ενέργειας από σχετικά μικρό χώρο και σε μικρό χρόνο και μετατροπή αυτής σε σεισμική και σε άλλες μορφές ενέργειας (θερμότητα, κυματική ενέργεια στην ατμόσφαιρα, ραδιοακτινοβολία) ενώ κατά τη γένεση των σεισμών έχουμε μετατροπή δυναμικής ενέργειας σε σεισμική ενέργεια και ακτινοβολία αυτής κατά ασύμμετρο τρόπο από αρκετά μεγαλύτερο χώρο και σε μεγαλύτερο χρόνο.



Διάφορες φάσεις της πυρηνικής δοκιμής Sedan (100 kt) που έγινε σε βάθος 194 m σε αλλουβιακό σχηματισμό. Στην πρώτη φάση (a) σχηματίζεται κοιλότητα με ακτίνα 55 m περίπου (Sublette, 2001).

## Πυρηνικές Εκρήξεις (συνέχεια)

Ως μονάδα μέτρησης της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τις πυρηνικές εκρήξεις λαμβάνεται η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την έκρηξη μάζας τρινιτροτολουόλης 1 kt (= 1 kiloton=10<sup>3</sup> tons) ή 1 Mt (=1 megaton=10<sup>6</sup> tons). Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την έκρηξη 1 kt **τρινιτροτολουόλης (TNT)** είναι ίση με 4·10<sup>19</sup> ergs. Η ενέργεια των πυρηνικών εκρήξεων που έγιναν μέχρι σήμερα ποικίλει από λίγα kt μέχρι αρκετά Mt.

Από την ενέργεια που απελευθερώνεται από τις πυρηνικές εκρήξεις μόνο ένα μικρό ποσοστό μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια που διαδίδεται μέσα στη Γη, δηλαδή, σε σεισμική ενέργεια. Ο λόγος της σεισμικής ενέργειας προς την ολική ενέργεια, **λ**, λέγεται **παράγοντας σεισμικής σύζευξης** και εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι το βάθος (ή το ύψος) που γίνεται η έκρηξη, οι ιδιότητες του μέσου που γίνεται, κλπ και έχει τιμές 10<sup>-5</sup>, 3·10<sup>-5</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup>, 5·10<sup>-3</sup>, 2·10<sup>-2</sup> και 4·10<sup>-2</sup> για εκρήξεις που έγιναν σε ύψος 10 km, σε ύψος 1 km, στην επιφάνεια της Γης, σε βάθος 300 m μέσα στο έδαφος και σε βάθη 30 m, 100 m και 500 m μέσα στο νερό, αντίστοιχα.

Για την εύρεση της σεισμικής ενέργειας των πυρηνικών εκρήξεων με τις σεισμικές αναγραφές χρησιμοποιείται η **κλίμακα μεγεθών των πυρηνικών εκρήξεων**. Τα μεγέθη αυτά παριστάνονται με το  $m_x$  και συνδέονται με το χωρικό μέγεθος,  $m$  (που υπολογίζεται όπως στην περίπτωση των σεισμών), με τη σχέση:  **$m_x = m - 0.4$**

Αν η ενέργεια πυρηνικής έκρηξης είναι ίση με την ενέργεια μάζας **Y τρινιτροτολουόλης** σε kt, ισχύει η σχέση:  **$m_x = 5.4 + 0.4 \log \lambda Y$**

## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών

Για την ανίχνευση των υπόγειων εκρήξεων εφαρμόζονται, σχεδόν αποκλειστικά, σεισμικές μέθοδοι. Οι εκρήξεις αυτές προκαλούν και ορισμένες ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές αλλά οι μεταβολές αυτές μπορούν να ανιχνευθούν σε μικρές μόνο αποστάσεις από τις εστίες τους.

**Οι σεισμικές μέθοδοι ανίχνευσης των πυρηνικών εκρήξεων ταυτίζονται βασικά με τις μεθόδους διάκρισης των εκρήξεων αυτών από τους σεισμούς με βάση τις αναγραφές των σειсмоγράφων.**

Μια μέθοδος διάκρισης πυρηνικών εκρήξεων από σεισμούς είναι ο **καθορισμός της θέσης και του χρόνου γένεσης.**

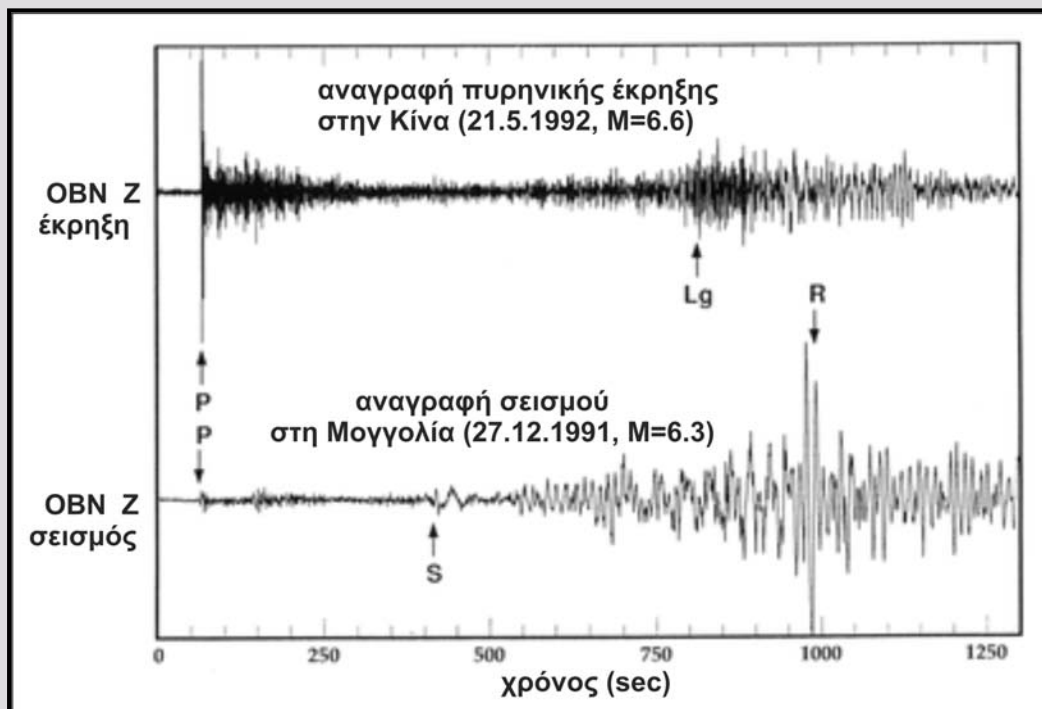
Αν η δόνηση έγινε σε περιοχή όπου δεν συμβαίνουν σεισμοί του μεγέθους της δόνησης, υπάρχει πιθανότητα η δόνηση να οφείλεται σε πυρηνική έκρηξη. Η πιθανότητα αυτή γίνεται μεγαλύτερη αν το υπολογιζόμενο εστιακό βάθος της δόνησης είναι μικρό, ακόμη δε μεγαλύτερη αν η δόνηση έγινε σε ακέραια ώρα ή λεπτό, γιατί οι πυρηνικές δοκιμές γίνονται συνήθως σε ακέραιες ώρες ή ακέραια λεπτά

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Author	OrigID
1992/03/26	16:29:58.00	37.0500	-116.0700	8.0	uk <a href="#">BJI</a>	652635
1992/03/26	16:29:58.70	37.3000	-116.4700	0.0	uk <a href="#">MOS</a>	652636
1992/03/26	16:29:59.52	37.2327	-116.3133	0.0f	kn <a href="#">ISC</a>	652637
1992/03/26	16:30:00.00	37.2000	-116.1000	0.0	uk <a href="#">NAO</a>	652638
1992/03/26	16:30:00	37.2720	-116.3600	0.0	<a href="#">IASPEI</a>	4564988
(Hypocentre not reviewed by the ISC)						
1992/03/26	16:30:01.00	37.2000	-116.2000		uk <a href="#">HFS</a>	652639
1992/03/26	16:30:00.00	37.2720	-116.3600	0.0	kn <a href="#">NEIC</a>	652640
(Underground nuclear explosion JUNCTION. 37 16' 20.82'N 116 21' 35.19'W, surface elevation 2040m, depth of burial 622m, shot time)(163000.000, Nevada Test Site (Dept. of Energy). Felt at Las Vegas.)						
Magnitude	Err	Nsta	Author			OrigID
mb	5.5		BJI			652635
mb	5.8		MOS			652636
MS	4.2	1	ISC			652637
mb	5.5	78	ISC			652637
mb	5.1		NAO			652638
mb	5.6		HFS			652639
MSZ	4.2	1	NEIC			652640
mb	5.5	81	NEIC			652640

**Οι βασικές εστιακές παράμετροι πυρηνικής έκρηξης που έγινε στη Nevada των Η.Π.Α. στις 26 Μαρτίου 1992, όπως αυτές υπολογίσθηκαν από διάφορα σεισμολογικά κέντρα (International Seismological Center).**

## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών (συνέχεια)

Μιά άλλη μέθοδος διάκρισης πυρηνικών εκρήξεων από σεισμούς είναι ο **του μηχανισμού γένεσης γένεσης**. Η φορά της πρώτης απόκλισης των P κυμάτων για τις δονήσεις που οφείλονται σε πυρηνικές δοκιμές είναι **παντού συμπίεση**, όπως φαίνεται στο σχήμα, ενώ στους σεισμούς εμφανίζεται στις δύο κατακορυφή γωνίες ως συμπίεση και στις άλλες δύο ως αρραίωση.



Αναγραφή πυρηνικής έκρηξης, που έγινε στις 22 Μαΐου 1992 στο πεδίο πυρηνικών δοκιμών Lop Nor της Κίνας, από κατακόρυφο σεισμόμετρο στο σεισμολογικό σταθμό Obninsk της Ρωσίας (πάνω) και αναγραφή στον ίδιο σταθμό σεισμού που έγινε στην ίδια, περίπου, επικεντρική απόσταση στη Μογγολία (κάτω) (Incorporated Research Institutions for Seismology).

## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών (συνέχεια)

Άλλη μέθοδος διάκρισης στηρίζεται στη **μέτρηση των πλατών και περιόδων των σεισμικών κυμάτων**.

Αναμένεται, θεωρητικά, να μην εμφανίζονται στις αναγραφές των εκρήξεων κύματα Love, κύματα SH και η εγκάρσια συνιστώσα των κυμάτων Rayleigh. Στην πραγματικότητα, όμως, μόνο στις ατμοσφαιρικές εκρήξεις τα πλάτη των κυμάτων αυτών είναι πολύ μικρά.

Επειδή οι υπόγειες, οι υποβρύχιες και οι ατμοσφαιρικές εκρήξεις που γεννιούνται κοντά στην επιφάνεια της Γης γίνονται σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και σε μικρό χώρο, τα μεγάλης περιόδου κύματα αυτών έχουν μικρά πλάτη σε σχέση με τα μικρής περιόδου κύματα.

Έτσι, τα επιμήκη κύματα των εκρήξεων αυτών (P, Pn, κλπ.) έχουν σημαντικά πλάτη και γράφονται καλά από τα μικρής περιόδου όργανα ενώ τα επιφανειακά κύματα αυτών έχουν γενικά μικρά πλάτη

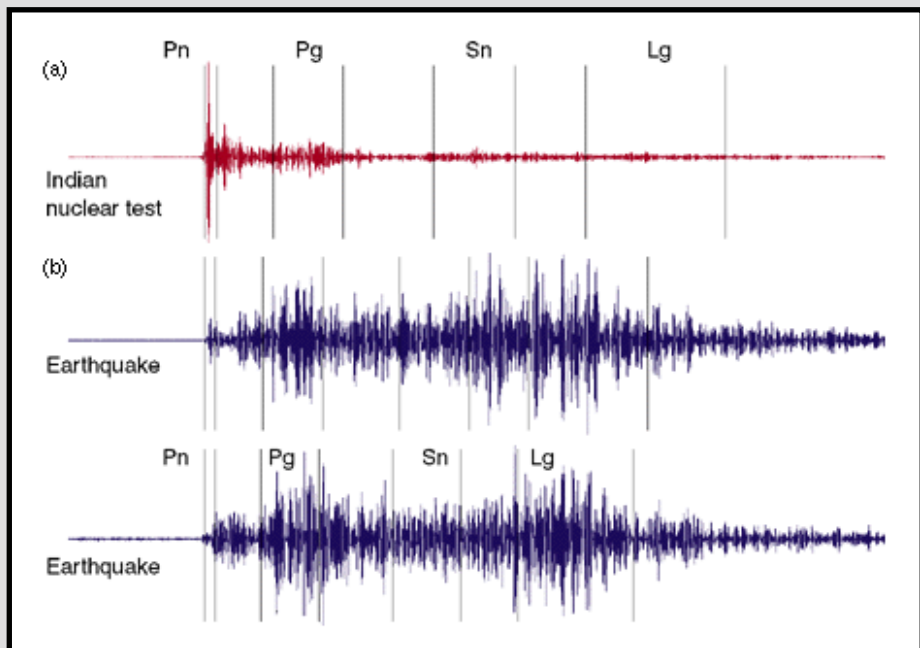
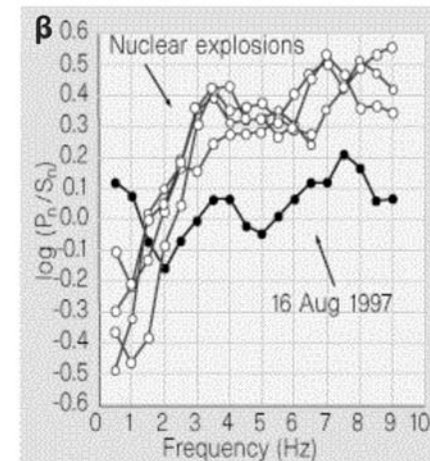
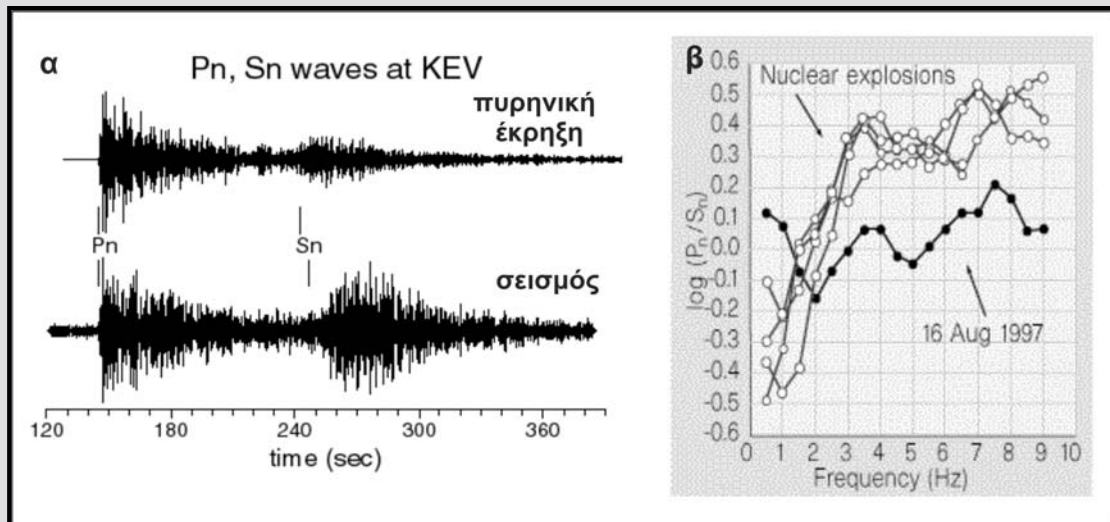


Αναγραφή σεισμού (πάνω) και πυρηνικής έκρηξης (κάτω) στη Νεβάδα των Η.Π.Α. Το πλάτος των Lg κυμάτων (κύματα Love με ταχύτητα ομάδας 3.5 km/sec και με μεγάλα πλάτη μέχρι την απόσταση των 1000 km) είναι σημαντικά μεγαλύτερο στην αναγραφή του σεισμού.

## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών (συνέχεια)

α) Αναγραφή στο σεισμολογικό σταθμό KEV της Φινλανδίας πυρηνικής έκρηξης που έγινε στην περιοχή Novaya Zemlya της Ρωσίας (πάνω) και σεισμού που έγινε στις 16 Αυγούστου 1992 στην ίδια περιοχή (κάτω).

β) Μεταβολή του λόγου των πλατών των Pn κυμάτων προς τα πλάτη των Sn κυμάτων με τη συχνότητα του κύματος (Richards, 1997).



(Πάνω, α). Αναγραφή σε σεισμολογικό σταθμό του Πακιστάν που προέρχεται από πυρηνική δοκιμή που έγινε στις 11 Μαΐου 1998 στην Ινδία, σε απόσταση 740 km.

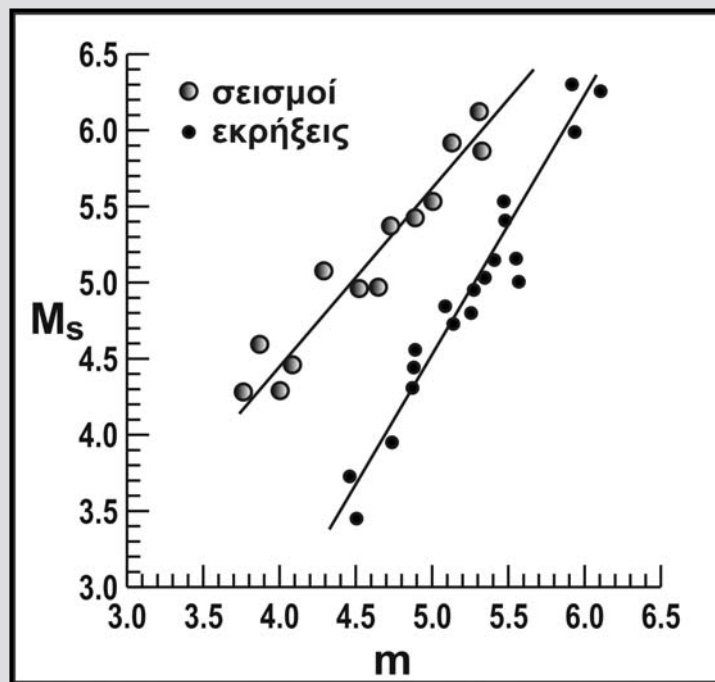
(Κάτω, β). Αναγραφές στον ίδιο σεισμολογικό σταθμό από σεισμούς στην ίδια περιοχή.



## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών (συνέχεια)

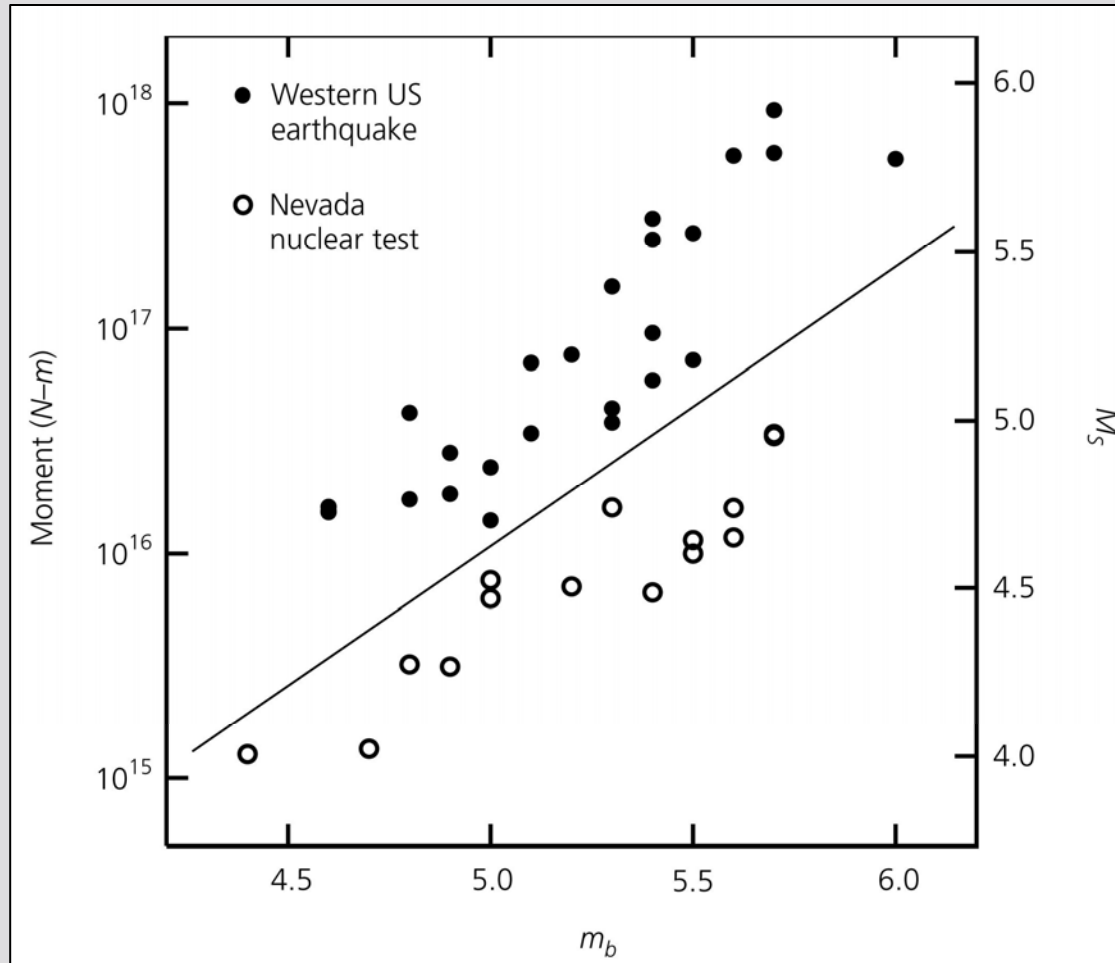
Η διαφορά των πλατών των κυμάτων που οφείλονται σε πυρηνικές εκρήξεις και αυτών που οφείλονται σε σεισμούς έχει ως συνέπεια η σχέση μεταξύ του χωρικού μεγέθους,  $m$ , και του επιφανειακού μεγέθους,  $M_s$ , να είναι διαφορετική στις εκρήξεις και τους σεισμούς, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Ο καθορισμός, συνεπώς, και των δύο μεγεθών μιας ύποπτης δόνησης και η σύγκριση αυτών με το σχήμα δίπλα μπορεί να αποτελέσει σοβαρό κριτήριο για το είδος της δόνησης. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ως η περισσότερο αξιόπιστη μέθοδος διάκρισης των υπόγειων πυρηνικών εκρήξεων από τους επιφανειακούς σεισμούς αλλά με αυτή δε μπορούμε να διακρίνουμε τις εκρήξεις από τους σεισμούς βάθους.



Σχέση μεταξύ του επιφανειακού μεγέθους,  $M_s$ , και του χωρικού μεγέθους,  $m$ , για εκρήξεις και σεισμούς (Davies, 1968).

## Ανίχνευση των Πυρηνικών Δοκιμών (συνέχεια)



Σχέση μεταξύ του επιφανειακού μεγέθους,  $M_s$ , του χωρικού μεγέθους,  $m_b$  και της σεισμικής ροπής, για εκρήξεις και σεισμούς (Stein and Wysession, 2003).

## Δονήσεις που Οφείλονται σε Χημικές Ενώσεις

Οι **χημικές εκρήξεις** πραγματοποιούνται για δύο βασικούς λόγους.

Ο πρώτος λόγος αφορά την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων, όπως είναι η διάνοιξη στοών στα ορυχεία, η μεταβολή της ροής ποταμών, η κατασκευή τεχνητών λιμνών, κλπ.

Ο δεύτερος λόγος είναι η μελέτη της δομής των επιφανειακών στρωμάτων της Γης με βάση τις αναγραφές των δονήσεων που οφείλονται σε τέτοιες εκρήξεις.

Οι αναγραφές των δονήσεων που παράγονται σκόπιμα με μικρές χημικές εκρήξεις χρησιμοποιούνται στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική για τη μελέτη της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού και την αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου και μεταλλευμάτων. Οι αναγραφές των δονήσεων που παράγονται από μεγάλες τεχνητές εκρήξεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της δομής και των βαθύτερων στρωμάτων του φλοιού.

Παρά το γεγονός ότι είναι δύσκολη η διάκριση των χημικών εκρήξεων από τους σεισμούς με βάση τις αναγραφές των σειсмоγράφων, υπάρχουν διαφορές που μπορούν να κάνουν δυνατή τη διάκριση σε ορισμένες περιπτώσεις. Έτσι, τα πλάτη αναγραφής των κυμάτων  $R_g$  (κύματα Rayleigh με ταχύτητα φάσης περίπου 3.0 km/sec που καταγράφονται μέχρι 1000 km) που οφείλονται σε χημικές εκρήξεις είναι μεγαλύτερα των πλατών των κυμάτων που οφείλονται στους σεισμούς και ο λόγος των πλατών των κυμάτων  $P_g$  προς τα αντίστοιχα πλάτη των κυμάτων  $S_g$  είναι επίσης μεγαλύτερος στις αναγραφές των χημικών και των πυρηνικών εκρήξεων απ' ό,τι στις αναγραφές των σεισμών (Bath, 1973). Η διάκριση των χημικών από τις πυρηνικές εκρήξεις παρουσιάζει πολύ σημαντικές δυσκολίες.