

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 30ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1997

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΜΑΤΣΑΝΙΩΤΗ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΤΑ ΑΚΡΑΙΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΑΓΓΕΛΟΥ ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

«More is Different»
Ph. Anderson

Πολλοί θεωρούν την Σεισμολογία ότι είναι επιστήμη αυστηρώς εφαρμοσμένη με καταπληκτικές επιτυχίες στην χαρτογράφηση των ενεργών ρηγματών και στην ταχεία συλλογή, ανάλυση και διανομή των σεισμολογικών δεδομένων έπειτα από ένα βλαβερό σεισμό. Από την άλλη πλευρά, οι παλαιότεροι γνωρίζουν ότι τὰ μέχρι τοῦδε επιτεύγματα στην Σεισμολογία, ως εφαρμοσμένη επιστήμη, δὲν ανταποκρίνονται στις μεγάλες προσδοκίες που είχαν προβληθεῖ 30 χρόνια πριν, όταν ἐφαινετο ὅτι ἡ σεισμική πρόγνωση με μικρὸ χρόνο ἀναμονῆς θὰ ἦταν πολὺ εὐκόλη.

Μετὰ τις βλάβες που προξένησε τὸ 1964 ὁ μεγάλος σεισμός τῆς Ἀλάσκας (Ms 8,4), ὁ Λευκὸς Οἶκος συγκρότησε τὸ 1965 εἰδική ἐπιτροπή με Πρόεδρο τὸν Frank Press, προϊστάμενο τότε τοῦ Γραφείου Ἐπιστήμης καὶ Τεχνολογίας, καὶ ἀργότερα ἐπὶ 12ετία Πρόεδρο τῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν. Ἡ ἐπιτροπή αὐτὴ κατάρτισε καὶ κυκλοφόρησε ἔκθεση με τὸν τίτλο: «Σεισμική Πρόβλεψη. Πρόταση γιὰ 10ετὲς Πρόγραμμα Ἐρεῦνης». Ἡ αἰσιοδοξία που κατοπτρίζετο στὸν τίτλο τῆς ἐκθέσεως αὐξήθηκε στις ἀρχές τοῦ 1970 ἀπὸ τις φαινομενικὲς ἐπιτυχίες μερικῶν σχημάτων ἐμπειρικῆς προβλέψεως καὶ τὴν εὐλογοφάνεια προτύπων φυσικῆς διαδικασίας, ὅπως ἡ διόγκωση τῶν πετρωμάτων ἀπὸ διάχυση ὑπογείων ὑγρῶν, ἐπὶ τῶν ὁποίων βασίζονταν (Γαλανόπουλος, 1992). Κατὰ τὸ 1976 ὁμάς διακεκριμένων σεισμολόγων που συγκλήθηκε ἀπὸ τὴν Ἐπιτροπὴ Σεισμολογίας τοῦ Ἐθνικοῦ Συμβουλίου Ἐρευ-

νών αποφάνθηκε για τὸ θέμα αὐτὸ ὡς ἐξῆς: «Ἡ Ὀμάς ὁμοθύμως πιστεύει ὅτι ἀξιόπιστη πρόβλεψη σεισμοῦ εἶναι σκοπὸς ποῦ μπορεῖ νὰ ἐπιτευχθεῖ. Θὰ προβλέπουμε πιθανῶς ἓνα σεισμὸ τουλάχιστον μεγέθους 5 στὴν Καλιφόρνια ὡς στὰ 5 προσεχῆ χρόνια, μὲ ἐπιστημονικῶς σωστὸ τρόπο, καὶ σὲ ἐπαρκῶς μικρὴ ἔκταση καὶ μικρὸ χρόνο ἀβεβαιότητας, ὥστε νὰ ἐπιτρέψει τὴν ἀποδοχὴ καὶ ἀποτελεσματικὴ ἀνταπόκριση τοῦ κοινοῦ». Μετὰ τὸ 1975 εἶχαν προταθεῖ ὡς μέσο σεισμικῆς προβλέψεως τυχαῖες διαταράξεις τῆς στάθμης τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν διακυμάνσεων ποῦ διαρρέουν συνεχῶς τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς. Οἱ διαταράξεις αὐτὲς θεωρήθηκαν ὡς ἠλεκτρικὰ σεισμικὰ σήματα (Γαλανόπουλος 1995, Zhao et al., 1997).

Ἄν καὶ συνέβησαν περισσότεροι ἀπὸ 100 σεισμοὶ στὴν Καλιφόρνια, μὲ μεγέθη μεγαλύτερα ἀπὸ 5, στὰ μεσολαβήσαντα 20 χρόνια, ἡ ὑπόσχεση αὐτὴ παραμένει ἀνεκπλήρωτη. Πραγματικά, οἱ παρατηρήσεις στὴν Καλιφόρνια καὶ σὲ ἄλλες περιοχὲς μὲ καλὴ κάλυψη ἀπὸ κατάλληλα ὄργανα, ὅπως στὴν Ἰαπωνία, ἀποδείχθηκαν ἀποθαρρυντικῆς. Τὰ προηγουμένως προταθέντα σχέδια γιὰ σεισμικὴ πρόβλεψη δὲν ἀποδείχθηκαν ἐπιτυχεῖ, καὶ παρὰ τὴν οὐσιώδη αὐξήση στὴν ἰκανότητα παρακολούθησῶς οἰοῦδηποτε σεισμικοῦ προδρόμου, οὐδένα ἀναμφίβολο πρόδρομο σῆμα ἀναγνωρίσθηκε ὡς διαγνωστικό, ὑπὸ τὴν ἔννοια ποῦ χρειάζεται γιὰ χρήσιμη σεισμικὴ πρόβλεψη μὲ μικρὸ χρόνο ἀναμονῆς. Οἱ ἀναφερθεῖσες περιπτώσεις προδρόμων μποροῦν νὰ ἐξηγηθοῦν ὡς τυχαῖος θόρυβος ἢ τυχαία σύμπτωση (Kagan, 1997). Κατὰ τὸν Y. Y. Kagan (Phisica D., 1994) ὑπάρχει ἔνδειξη ὅτι οἱ σεισμοὶ εἶναι μὴ γραμμικό, χαοτικό, σύμφωνο μὲ τὴν κλίμακα φαινόμενο (scale-invariant). *Εἶναι λοιπὸν ἄστοχο νὰ ὑπερασπίζεις ἀπλὲς λύσεις γιὰ περίπλοκα προβλήματα· τέτοιες λύσεις εἶναι συνήθως λανθασμένες.*

Ὅπως λέει τὸ ἄσμα σεισμολόγου:

Οἱ σεισμοὶ ἔρχονται καὶ παρέρχονται
 Προτιμοῦν τὸν χειμωνιάτικο καιρὸ
 Μὲ περιόδους μεγάλες καὶ μικρὲς
 Διαψεύδοντας ὅλες τὶς προβλέψεις.

Σὲ κοινὴ συνάντηση τῆς Royal Astronomical Society καὶ τῆς Association for Geophysics στὸ Λονδίνο, τὴν 7-8 Νοεμβρίου 1996, διατυπώθηκε ὁμοφώνως ἡ ἀκόλουθη σαφὴς γνώμη: *Οἱ σεισμοὶ εἶναι ἐκ γενετῆς ἀπρόβλεπτοι, λόγω τῆς χαοτικῆς, ἐξόχως μὴ γραμμικῆς φύσεως τῆς διαδικασίας γενέσεώς τους. Ἡ Γῆ φαίνεται νὰ εἶναι σὲ κατάσταση «αὐτδιοργανωμένης κρισιμότητας» — ποῦ αἰωρεῖται πάντοτε στὸ χεῖλος τῆς ἀστασίας.* Ἀκριβῶς πότε καὶ ποῦ θὰ συμβοῦν σεισμοί, καὶ πόσο μεγάλοι θὰ καταλήξουν ἀπὸ τὴν στιγμή ποῦ θὰ ἀρχίσουν, ἐξαρτᾶται ἀπὸ μυριάδα λεπτῶν καὶ ἀτελείωτων λεπτομερειῶν τῆς φυσικῆς καταστάσεως σὲ μεγάλο ὄγκο τῆς

Γῆς, καὶ ὄχι ἀκριβῶς στὴν ἄμεση γειτονία τοῦ ρήγματος. Ἡ ἰδέα ὅτι προηγούνται τῶν μεγάλων σεισμῶν πρόδρομα φαινόμενα, ποὺ μποροῦν νὰ παρατηρηθοῦν καὶ νὰ ἀναγνωρισθοῦν, δὲν ὑποστηρίζεται ἀπὸ τὰ γεγονότα (Geller, 1997).

Ἡ ἀποτυχία στὴν σεισμικὴ πρόβλεψη ὡς θέμα ἐνοποιήσεως καὶ δύναμη προωθήσεως τῆς Σεισμικῆς Ἐπιστήμης προξένησε βαθειὰ κρίση. Μιὰ ἀντίδραση ἦταν νὰ διακηρύξουμε ὅτι τὸ θέμα τῆς προβλεψιμότητας ἔχει οὐσιαστικά λυθεῖ: Δηλαδή, ἐνῶ μερικὲς ἀπόψεις γιὰ τὴν σεισμικὴ δράση μὲ μεγάλο χρόνο ἀναμονῆς μποροῦν νὰ προβλεφθοῦν πιθανολογικά, οἱ σεισμοὶ γενικῶς δὲν μποροῦν νὰ προβλεφθοῦν ἀκριβῶς μὲ τὴν ἔννοια τοῦ ὅρου ποὺ κατανοεῖ καὶ ἐπιθυμεῖ τὸ κοινό, δηλαδή σὲ στενὰ ὅρια θέσεων, χρόνων καὶ μεγεθῶν τῶν διαφόρων μεγάλων σεισμῶν. Ὁ ἰσχυρισμὸς αὐτὸς βασιίζεται στὴν ἰδέα ὅτι τὰ συστήματα τῶν ἐνεργῶν ρηγμάτων εἶναι χαοτικά. Δηλαδή, ἀκόμη καὶ ἂν γνωρίζουμε τὴν κατάσταση τοῦ συστήματος σὲ μιὰ στιγμή μὲ μεγάλη ἀκρίβεια, λόγου χάρι τὸν χρόνο ἐπικεντρώσεως τοῦ σεισμοῦ, αὐτὸ δὲν εἶναι ἐπαρκὲς γιὰ νὰ προβλέψουμε τὴν συμπεριφορὰ του ἀκριβῶς ὀλίγο χρόνο ἀργότερα, παραδείγματος χάρι πόσο μεγάλος ὁ ἐπικεντρούμενος σεισμὸς θὰ καταστεῖ ὀλίγο πρὶν σταματήσει ἢ διάρρηξῃ. Ἐνῶ ἡ σκέψη αὐτή, γιὰ τὴν κατάσταση τοῦ συστήματος, μπορεῖ νὰ ἰσχύει, γιὰ μερικὲς κλάσεις σεισμῶν, ὅπως εἶναι οἱ χαρακτηριστικοὶ μετρίου μεγέθους σεισμοὶ στὴν Καλιφόρνια, θὰ ἦταν πολὺ πρόωρο νὰ γενικοποιήσουμε τὴν συμπεριφορὰ τους γιὰ ὅλους τοὺς μεγάλους σεισμούς. Μιὰ περισσότερο συνετὴ δήλωσις εἶναι ὅτι ἀκόμη δὲν γνωρίζουμε πῶς νὰ ἀπαντήσουμε στὸ ἐρώτημα: «Ποῖοι τύποι σεισμῶν, ἐὰν ὑπάρχουν τέτοιοι, μποροῦν νὰ προβλεφθοῦν μὲ μικρὸ χρόνο ἀναμονῆς»*.

* There are examples of spatial and temporal characteristics of seismicity in Anatolia and Ionian Islands, assumed to be at the western end of the North Anatolian Transform System.

Date		Location		Magn., Ms
		N ^o	E ^o	
1912, Jan.	24	38.0	20 1/2	7 3/4
1912, Aug.	9	40 3/4	27 1/4	7 3/4
1953, March	18	40.0	27.4	7 1/4
1953, Aug.	9	38.4	20.7	6 1/2
1953, Aug.	11	38.0	20.7	6 3/4
1953, Aug.	12	38.3	20.8	7 1/4
1983, Jan.	17	38.1	20.2	7.0
1983, March	23	38.3	20.2	6 1/2
1983, July	5	40.3	27.2	6 1/4
1983, Aug.	6	40.0	24.7	7.0

Μετά από όσα ελέχθησαν, δύσκολα μπορούμε να υιοθετήσουμε μιὰ αισιόδοξη στάση για ἐπιστημονική δυνατότητα συγκεκριμένης αιτιοκρατικά προβλέψεως (deterministic prediction), τουλάχιστον με μικρό χρόνο ἀναμονής (Jordan, 1997).

Ποῖα εἶναι λοιπὸν τὰ θέματα ποὺ θὰ μπορούσαν νὰ προωθήσουν τὴν ἐπιστήμη τῶν σεισμῶν; Ὑπάρχει φυσικὰ κατάλογος ἐνδιαφερόντων προβλημάτων, ποὺ ἔχουν σχέση με τὴν μείωση τῶν βλαβῶν καὶ τὴν βελτίωση τῶν τεχνολογιῶν, γιὰ τὴν πρόβλεψη τῶν ἰσχυρῶν κινήσεων τοῦ ἐδάφους σὲ περίπτωσι μεγάλων σεισμῶν, καὶ τὴν χρησιμοποίησι συγχρόνων γεωλογικῶν καὶ γεωδαιτικῶν μεθόδων στὴν κατασκευὴ χαρτῶν λεπτομεροῦς διανομῆς τῶν ἀναμενομένων σεισμικῶν βλαβῶν. Τὰ προβλήματα αὐτὰ ἔχουν μεγάλο ἐπιστημονικὸ ἐνδιαφέρον καὶ ἡ σημασία τους γιὰ ὀλόκληρη τὴν κοινωνία εἶναι πέραν πάσης ἀμφισβητήσεως.

Ἄλλὰ ὁ κατάλογος τῶν θεμάτων τῆς ἐφαρμοσμένης ἐπιστήμης εἶναι πολὺ πενιχρὸς γιὰ νὰ συντηρηθεῖ ὡς σύνολο ἡ σεισμικὴ ἔρευνα. Ἡ αὐστηρῶς ἐφαρμοσμένη ἐπιστήμη παρέχει, κατὰ κύριο λόγο, συμβουλευτικὴ ἐξυπηρέτησι στὸν κλάδο τῶν πολιτικῶν μηχανικῶν. Γιὰ νὰ παραμείνει εὐρωστη ἡ σεισμικὴ ἐπιστήμη πρέπει νὰ ἀντλήσει ἀπὸ τὰ οὐσιώδη θέματα τῆς βασικῆς ἐπιστήμης.

Ὁ ἀκριβὴς ὀρισμὸς τῆς βασικῆς ἐπιστήμης εἶναι δύσκολο νὰ κατανοηθεῖ, ἀλλὰ τρεῖς λειτουργίες της εἶναι σαφεῖς (Jordan, 1997). Ἡ πρώτη λειτουργία της εἶναι νὰ παράσχει τὴν βασικὴ γνώσι ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ βελτιωθοῦν οἱ μεθοδολογίες τῆς ἐφαρμοσμένης ἐπιστήμης, ὅπως στὴν περίπτωσι αὐτὴ οἱ πρακτικὲς ἀπόψεις τῆς μειώσεως τῶν σεισμικῶν βλαβῶν, ποὺ χρειάζονται πολλὰ εἶδη ἐρεῦνης μεγάλου ἐνδιαφέροντος. Ἀναφέρομεν ὡς παράδειγμα τὸ δύσκολο πρόβλημα τῆς διασπορᾶς τῶν σεισμικῶν κυμάτων σὲ ἑτερογενῆ καὶ ἀνισότροπα μέσα, ὅπως εἶναι ὁ γήινος φλοιὸς καὶ ὁ ἀνώτερος μανδύας. Ἡ ἔρευνα τοῦ προβλήματος αὐτοῦ μπορεῖ ἐνδεχομένως νὰ βελτιώσει τοὺς ἀλγορίθμους γιὰ τὴν ἀπεικόνισι τῶν διαδικασιῶν διαρρήξεως ἢ τῶν προτύπων ποὺ προβλέπουν τὶς ἰσχυρὲς κινήσεις τοῦ ἐδάφους.

Ἡ δεῦτερη λειτουργία τῆς βασικῆς ἐπιστήμης εἶναι νὰ βελτιώσει τὴν θεμελιώδη κατανόησι κατὰ τέτοιο τρόπο, ὥστε νὰ συμβάλλει στὴν ἀνάπτυξι καὶ ἄλλων περιοχῶν τῆς ἐφαρμοσμένης καὶ βασικῆς ἐπιστήμης. Παραδείγματος χάρι, ἡ ἐργαστη-

On every case all these shocks occurred within the interval of about 4 1/2 and 6 1/2 months. Now and then, the question arises: there is a coincidence, longer-term trends and cycles or rather earthquake sympathy, i.e. probabilistic triggering or quasideterministic forecasting? However, the above examples can not accommodate any long-term earthquake prediction. The distinction is similar to that between weather prediction and climate forecasting (Lerner-Lam, 1997).

ριακή μελέτη τῆς μηχανικῆς τῶν σεισμικῶν διαρρήξεων καὶ τῆς τριβῆς τῶν παρειῶν τῶν ρηγματίων ἤγαγε σὲ δυναμικὰ πρότυπα καὶ οὐσιαστικὲς σχέσεις ποὺ ἐφαρμόζονται σὲ ὑλικά κατασκευῶν μηχανικῆς. Σήμερα, ἡ θεωρητικὴ ἔρευνα τῆς ἐπεισοδιακῆς παραμορφώσεως ἀσχολεῖται μὲ τὸ θεμελιῶδες πρόβλημα ἐντοπισμοῦ τῶν παραμορφώσεων στὶς λιθόσφαιρες τῆς Γῆς καὶ ἄλλων γηγίνων πλανητῶν. Καὶ θὰ πρέπει νὰ μὴ λησμονοῦμε τὸν οὐσιώδη ρόλο ποὺ ἔπαιξε ἡ σεισμικὴ ἐπιστῆμη στὴν ἀνάπτυξη τῆς Τεκτονικῆς τῶν Πλακῶν, ἡ ὁποία θεωρεῖται ὡς ἓνα ἀπὸ τὰ μεγαλύτερα ἐπιτεύγματα τῆς ἐπιστήμης τοῦ εἰκοστοῦ αἰῶνα. Οἱ σεισμικὲς μελέτες θὰ συνεχισθοῦν στὸν ρόλο αὐτὸ ὡς βασικὴ συνιστῶσα τῶν Γεωπιστημῶν.

Ἔχει ἀναγνωρισθεῖ ὅτι τὸ φάσμα τῆς βασικῆς ἐπιστήμης ἐκτείνεται μεταξύ δύο ἄκρων: Ἡ μία πλευρὰ εἶναι ὁ σκοπὸς τῆς ἀναλύσεως (reductionism), ἡ μεγάλη αὐτὴ πορεία ποὺ ἄρχισε πρὶν ἀπὸ 400 χρόνια καὶ κατέληξε στὴν ἀνακάλυψη τῶν θεμελιωδῶν νόμων τοῦ σύμπαντος. Ὁ ἀναλυτὴς ἐπιζητεῖ νὰ διασπᾶσει τὴν περιπλοκότητα τοῦ κόσμου καὶ νὰ ἀναγάγει αὐτὴν σὲ ἀπλὲς διατυπώσεις τῶν θεμελιωδῶν δυνάμεων, καὶ τελικῶς τῶν ἐγγενῶν ἢ ἄλλων ἐμφύτων συμμετριῶν. Ἡ μεγάλη αὐτὴ πορεία συνεχίζεται, ἂν καὶ σὲ πολλοὺς φαίνεται νὰ χάνεται στὶς ἀχανεῖς σιγιὲς τοῦ ἀθεάτου, ὅπως εἶναι, λόγου χάρη, ἡ μετατροπὴ «δυνάμει σωματιδίων» σὲ μαζικὰ τοιαῦτα.

Στὸ ἄλλο ἄκρο τοῦ ἐπιστημονικοῦ φάσματος κεῖται ὁ σκοπὸς κατανόησεως τῶν λίαν περιπλόκων συστημάτων τοῦ φυσικοῦ κόσμου, ποὺ μποροῦν νὰ καταταχθοῦν σὲ ομάδες, ἀνάλογα πρὸς τὴν ἐγγύτητα καὶ τὴν κλίμακά τους. Τὰ συστήματα αὐτὰ ἐκτείνονται μεταξύ τῶν βιοσυστημάτων τῶν διαφόρων ὀργανισμῶν, καὶ τῶν οἰκοσυστημάτων τῶν ομάδων τῶν ὀργανισμῶν, μέχρι τῶν γεωσυστημάτων τῆς Γῆς καὶ τῶν ἄλλων πλανητῶν, καὶ πρὸς τὰ ἔξω στὰ ἀστροσυστήματα τῶν ἄστρον καὶ τῶν γαλαξιῶν καὶ πέραν αὐτῶν.

Ἡ ἐπιστημονικὴ προσέγγιση στὴν σπουδὴ τῶν φυσικῶν συστημάτων, ἡ ὁποία εἶναι κατὰ τὸ πλεῖστον σὲ συμφωνία μὲ ὅλα τὰ ἀντικείμενα ἀπασχολήσεως τοῦ ἀναλυτοῦ, εἶναι τὸ συνήθως λεγόμενον πρόγραμμα τοῦ συνθέτου (constructionist program). Τὸ πρόγραμμα αὐτὸ μπορεῖ νὰ συνοψισθεῖ ὡς ἀκολούθως: Ἀπὸ τοὺς θεμελιώδεις νόμους, ποὺ χαρακτηρίζουν τὶς βασικὲς λειτουργίες μεταξύ τῶν στοιχείων τοῦ συστήματος, ζητοῦμε νὰ περιγράψουμε ποσοτικῶς τοὺς οὐσιώδεις τρόπους συμπεριφορᾶς τοῦ συστήματος. Μιὰ ἀπὸ τὶς μεγάλες ἀπογοητεύσεις τῆς μεθόδου μειώσεως τῆς κλίμακας (reductionism) ὑπῆρξε ἡ ἀποτυχία κατανόησεως τῆς προσεγγίσεως αὐτῆς. Τὸ 1972 ὁ Philip Anderson ἔγραψε ἓνα ἄρθρο ποὺ δημοσιεύθηκε στὸ περιοδικὸ Ἐπιστῆμη (Science) ὑπὸ τὸν τίτλο: Τὸ Περισσότερο εἶναι Διαφορετικὸ (More is Different). Στὸ ἄρθρο αὐτὸ ἐπιβεβαιοῦται ὅτι: Ἡ ὑπόθεση τῆς μειώσεως τῆς κλίμακας (reductionist hypothesis) δὲν συνεπάγεται κατ' οὐδένα τρόπο ὑπόθε-

ση αύξήσεως τῆς κλίμακας (constructionist one). 'Η ικανότης ν' αναγάγουμε κάθε τι σὲ ἀπλούς θεμελιώδεις νόμους, δὲν συνεπάγεται τὴν ικανότητα ν' ἀρχίζουμε ἀπὸ τοὺς νόμους αὐτοὺς καὶ νὰ κατασκευάζουμε τὸ σύμπαν. Πραγματικά, ὅσον περισσότερα μᾶς λέγουν οἱ φυσικοὶ τῶν στοιχειωδῶν σωματιδίων γιὰ τὴν φύση τῶν θεμελιωδῶν νόμων, τόσο ὀλιγότερη σχέση φαίνεται νὰ ἔχουν μὲ τὰ πολὺ πραγματικὰ προβλήματα τῆς κοινωνίας. *'Η ὑπόθεση τῆς αύξήσεως τῆς κλίμακας (constructionist hypothesis) ἀστοχεῖ ὅταν βρῖσκεται ἀντιμέτωπη μὲ τὶς δύο δυσκολίες: τῆς κλίμακας καὶ τῆς περιπλοκότητας.*

'Η ἀποτυχία αὐτὴ ἔχει τὴν ρίζα της σ' αὐτὸ πὸ οἱ Φιλόσοφοι τῆς 'Επιστήμης ἀποκαλοῦν ὀντολογικὴ ἀποσύνδεση (Ontological decoupling). Στὴν ἔκδοση τοῦ περιοδικοῦ Σημερινὴ Φυσικὴ (Physics Today) τὸν Νοέμβριο 1993 ὁ 'Ιστορικὸς τῆς 'Επιστήμης Silvan Schweber ἀπεικόνισε τὴν κατάσταση ὡς ἑξῆς:

«'Η προσέγγιση τοῦ ἀναλυτοῦ πὸ ὑπῆρξε τὸ χαρακτηριστικὸ γνώρισμα (hallmark) τῆς θεωρητικῆς φυσικῆς στὸν εἰκοστὸ αἰῶνα ὑποσκελίσθηκε ἀπὸ τὴν ἔρευνα τῶν ἀπροσδοκῆτων ἢ ἀναδυομένων φαινομένων (emergent phenomena). Οἱ νέες αὐτὲς ἀντιλήψεις... ἀποκάλυψαν δομὴ ἱεραρχήσεως τοῦ φυσικοῦ κόσμου. *Κάθε στρώμα ἀπεικονίζεται ἐπιτυχῶς στὸ χρονικὸ διάστημα πὸ παραμένει σὲ μεγάλη ἔκταση ἀποσυζευγμένο ἀπὸ ἄλλα στρώματα.*

Μὲ ἄλλα λόγια κάθε στάθμη τῆς ἐπιστήμης ἔχει τὶς δικές της θεμελιώδεις ἐξισώσεις, ἂν καὶ συνήθως κατὰ προσέγγιση. 'Αλλὰ γνωρίζοντας τὶς ἐξισώσεις αὐτὲς δὲν εἶναι ἀρκετό, γιὰτὶ δὲν εἶναι οἱ ἐξισώσεις ἀλλὰ οἱ λύσεις τους πὸ παρέχουν μαθηματικὲς περιγραφὲς τῶν φυσικῶν φαινομένων. 'Η ἀνάδυση (emergence) ἀναφέρεται στὶς ιδιότητες τῶν λύσεων πὸ δὲν φαίνονται ἀμέσως ἀπὸ αὐτὲς καθ' ἑαυτὲς τὶς ἐξισώσεις. Πρώτιστο παράδειγμα εἶναι τὸ αἰτιοκρατικὸ συγκεκριμένο χάος (deterministic chaos).

Τὰ γεωσυστήματα ἐκτείνονται ἀπὸ τὰ συστήματα τοῦ κλίματος τῆς ὑδρογείου, τὰ ρεύματα μεταφορᾶς τοῦ μανδύα καὶ τὴν γεωηλεκτροδυναμικὴ μηχανὴ (geodynamo), στὰ περισσότερα ἔντοπισμένα συστήματα, ὅπως εἶναι τὰ ὑπόγεια κοιτάσματα πετρελαίου, οἱ τυφῶνες καὶ τὰ συστήματα ἐνεργῶν ρηγμάτων. Τὰ συστήματα αὐτὰ παρέχουν μερικὰ ἀπὸ τὰ καλύτερα παραδείγματα ἀναδυομένων φαινομένων. 'Η πρώτη συστηματικὴ διαπραγματεύση τοῦ χάους σὲ σύστημα διασπορᾶς (dissipative) ἐγένετο τὸ 1963, σὲ μελέτη τοῦ Ed. Lorenz μὲ τίτλο: Αἰτιοκρατικὸ συγκεκριμένη μὴ περιοδικὴ ροὴ (Deterministic non-periodic flow).

Στὴν μελέτη αὐτὴ ἐρευνῶνται ἀπλὰ πρότυπα ἀτμοσφαιρικῶν ρευμάτων μεταφορᾶς. Συστήματα ἐννοιῶν, ὅπως καθολικότης καὶ αὐτοδιοργανωμένη κρισιμότης (Universality and self-organized criticality), πὸ χρησιμοποιοῦθηκαν, κατὰ ἐξο-

χότατο τρόπο από Φυσικούς και Γεωφυσικούς σε σεισμικά φαινόμενα, κατέληξαν σε εὐρεία παράταξη ἠχηρῶν λέξεων, πού προανάγγειλαν τὴν σύνθεση νέας ἐπιστήμης τῶν Περιπλόκων Συστημάτων.

Τώρα, ὅταν ἓνας φυσικός ὀμιλεῖ γιὰ περίπλοκο σύστημα ἀναφέρεται συνήθως σὲ ἓνα πολὺ ἀπλὸ σύστημα πού παρουσιάζει περίπλοκη συμπεριφορά. Τὰ γεωσυστήματα εἶναι πραγματικὰ περίπλοκα, γιὰτὶ κεῖνται πολὺ πέρα ἀπ' αὐτὸ πού θὰ μπορούσαμε νὰ ἀποκαλέσουμε τὸ ὄροσημο τοῦ συνθέτου (constructionist frontier). Τὰ γεωσυστήματα παρουσιάζουν ἐπομένως εἰδικὰ, ἄλυτα προβλήματα παρατηρήσεως, ἀναλύσεως καὶ ἐξαγωγῆς συμπερασμάτων. Ἡ Σεισμικὴ Ἐπιστήμη θὰ ἔπρεπε νὰ εἶναι ἱκανὴ νὰ ὀδηγεῖ σὲ διανοητικὲς ἀναπτύξεις μέχρι τὸ τέλος τοῦ ἐπιστημονικοῦ φάσματος. Ἄς κοιτάξουμε τὸν συναγωνισμό πού παρουσιάζεται σὲ ἄλλες ἐπιστήμες.

Ἡ Βιολογία ἔχει ἀσφαλῶς νόμιμη ἀξίωση στὴν παρουσία περιπλόκων συστημάτων, ἀλλὰ τὸ πλεῖστον τῆς Βιολογίας ἀπασχολεῖται, κυρίως τώρα, μὲ τὸ πρόγραμμα ἀναλύσεως-συνθέσεως, πού βλέπει τοὺς ὀργανισμοὺς ὡς παραγωγικὴ διαδικασία τοῦ γενετικοῦ κώδικα. Πραγματικὰ, ἡ σύγχρονη Μοριακὴ Βιολογία εἶναι ἡ ἐπιστήμη, ὅπου τὸ πρόγραμμα τοῦ συνθέτου ὑπῆρξε τὸ περισσότερο ἐπιτυχές, γιὰτὶ τὸ κυριαρχοῦν μόριο, τὸ DNA, παρέχει οὐσιαστικὰ συγκεκριμένο αἰτιοκρατικὸ μηχανισμό (deterministic template) γιὰ τὶς περισσότερες θεμελιώδεις διαδικασίες. Οἱ μὴ συνθέτες, λόγῳ χάρις οἱ οἰκολόγοι καὶ οἱ βιολόγοι πού ἀσχολοῦνται μὲ τὴν ἐξέλιξη, ἔχουν περιθωριοποιηθεῖ, ἐὰν κρίνουμε τὶς προσπάθειές τους κυρίως κατὰ πόσο πολὺ ἐφαρμόζουν τὶς σύγχρονες γενετικὲς μεθοδολογίες.

Ἄς πάρουμε τώρα τὴν ἐπιστήμη τῆς Ἀστρονομίας. Τὰ ἀστρικὰ συστήματα εἶναι ἐκδήλως περίπλοκα, ἀλλὰ τὰ προβλήματα πού οἱ Ἀστροφυσικοὶ θεωροῦν ὡς τὰ πλέον σημαντικὰ εἶναι αὐτὰ τῆς Κοσμολογίας, δηλαδή αὐτὰ πού εἶναι περισσότερο ἄμεσα συνδεδεμένα μὲ τὴν θεμελιώδη Φυσική. Πάντως, πολλοὶ Ἀστροφυσικοὶ ἐξακολουθοῦν νὰ ἐργάζονται στὸ παλαιὸ πρόγραμμα τῶν ἀναλυτῶν.

Κατὰ τὸν Thomas H. Jordan (1997), ἡ παροῦσα κατάσταση μᾶς παρέχει ἀσυνήθη εὐκαιρία γιὰ ἐπιστημονικὴ πρωτοπορεία. Πραγματικὰ, ἡ καθαρὴ ἀσυμβατικότητα (intransigence) τῶν προβλημάτων πού ἀντιμετωπίζουμε στὴν σπουδὴ τῶν σεισμῶν δὲν μᾶς παρέχει ἄλλη ἐπιλογή, παρὰ νὰ ἐπεκτείνουμε τὰ ὅρια τῆς ἐπιστήμης. Τὰ συστήματα τῶν ρηγμάτων εἶναι μεταξὺ τῶν περισσότερο ἐνοχλητικῶν γεωσυστημάτων στὴν κατασκευὴ προτύπων, γιὰτὶ ἡ δυναμικὴ τῆς ἀλληλοεπιδράσεως τῶν ρηγμάτων συνεπάγεται οὐσιαστικὰ εὐρύτατη ἔκταση κλιμάκων χώρου καὶ χρόνου. Ἐπὶ πλέον τὰ συστήματα τῶν ρηγμάτων εἶναι κατὰ μεγάλο μέρος ἀδιαφανῆ. Σὲ σύγκριση μὲ αὐτὰ, τὸ σύστημα τοῦ κλίματος, ἂν καὶ ἀπείρως περίπλοκο, εἶναι ἀρκούντως διαφανὲς καὶ προσιτὸ στὴν παρατήρηση. Πῶς νὰ προχωρήσετε στὴν κατανόηση γεω-

συστήματος, για τὸ ὅποιο τὰ δεδομένα εἶναι τόσο ἀτελῆ καὶ ἀνακριβῆ, καὶ ὅπου τὸ περισσότερο τμῆμα του εἶναι κρυμμένο ἀπὸ τὴν θέα. Ἡ ἄγνοια αὐτὴ μᾶς ἀναγκάζει νὰ ἀναπτύξουμε νέες τεχνολογίες γιὰ τὴν ψηλάφηση ἀπομακρυσμένων στόχων, νέες μεθόδους ἀντιστροφῆς καὶ δεδομένα ἐξομοιώσεως, καὶ νέες ἰδέες στὴν θεωρία ἐξαγωγῆς συμπερασμάτων. "Ὅλα αὐτὰ μᾶς ὠθοῦν πρὸς τὰ Ἐπιστημονικὰ ὅρια.

Κρίσιμο στὴν προσπάθεια αὐτὴ εἶναι τὸ θέμα τῆς προβλεψιμότητας, γιατί ἡ συνεχῆς πρόβλεψη τῆς συμπεριφορᾶς γεωσυστήματος εἶναι τὸ πιὸ σωστὸ μέτρο, κατὰ πόσο καλὰ ἡ συμπεριφορὰ του εἶναι κατανοητὴ. Μὲ αὐτὸ δὲν ἐννοεῖται ἀκριβῶς ἡ πρόβλεψη σεισμοῦ, ἀλλὰ γενικότερα ἡ ἱκανότητα νὰ ἐξομοιώνουμε ἐκ τῶν προτέρων ὀλόκληρη τὴν σειρά τῶν συμπεριφορῶν τῶν συστημάτων ἐνεργῶν ρηγμάτων, καὶ νὰ γνωρίζουμε ποιές ἐκδηλώσεις τῶν συμπεριφορῶν αὐτῶν εἶναι κατὰ τὸ πλεῖστον αἰτιοκρατικὰ συγκεκριμένες (deterministic). Οἱ μέθοδοι ἐρεύνης τῆς προβλεψιμότητας γεωσυστημάτων εἶναι πρωτόγονες, καὶ ὑπάρχει πολὺ μεγάλος χῶρος γιὰ καρποφόρους ἀνακαλύψεις, ποὺ θὰ μπορούσαν νὰ ἔχουν εὐρεῖα ἐφαρμογὴ σὲ ἄλλα φυσικὰ συστήματα. Ὀφείλουμε νὰ προωθήσουμε τὴν κατεύθυνση αὐτὴ ἐρεύνης ὅσον τὸ δυνατό ταχύτερα.

Αὐτὸ ἀποτελεῖ τὴν τρίτη λειτουργία τῆς βασικῆς ἐπιστήμης, ποὺ εἶναι ἡ διαφώτιση τῆς ἀνθρωπότητας γιὰ τὴν θέση της στὸν κόσμο. Δὲν εἶναι τυχαῖο γεγονός ὅτι ἡ Ἀστρονομία καὶ ἡ ἐξελικτικὴ Βιολογία εἶναι οἱ πιὸ λαοφιλεῖς ἐπιστῆμες. Οἱ ἐπιστῆμες αὐτὲς ἐκτιμῶνται ἀπὸ τὸ γενικὸ κοινό, γιατί παρέχουν φυσικὸ καὶ χρονικὸ περιεχόμενο γιὰ τὸν πολιτισμὸ μας. Ἡ δουλειά μας ὡς σεισμολόγοι εἶναι ἀσφαλῶς δυσχερέστερη, ἀπὸ τὴν ἄποψη αὐτῆ, ἀπὸ τὴ δουλειά τοῦ ἀστρονόμου ἢ τοῦ εἰδικοῦ γιὰ τοὺς δεινοσαύρους, ἀφοῦ οἱ μεγάλοι σεισμοὶ εἶναι, συνήθως, μιὰ ἀναπάντεχη μορφή πολὺ κακῶν νέων. Παρ' ὅλα αὐτά, εἶναι εὐθύνη μας νὰ παρέχουμε ἓνα λογικὸ περιεχόμενο γιὰ νὰ ζοῦμε στὴν ἀνήσυχη Γῆ, ποὺ κυβερνᾶται ἀπὸ φυσικὲς δυνάμεις, τίς ὅποιες δὲν μπορούμε νὰ κατανοήσουμε πλήρως, καὶ εἶναι ἀσφαλῶς πέραν ἀπὸ τὸν ἔλεγχό μας. Ἡ Γῆ εἶναι πάρα πολὺ ζωντανή, ἀπὸ γεωλογικῆς ἀπόψεως, καὶ οἱ ἐσωτερικὲς καὶ οἱ ἐξωτερικὲς της δυνάμεις δὲν μπορούν ποτὲ νὰ χαλιναγωγηθοῦν. Ἐναλλασσόμενοι κύκλοι ψύχους καὶ θερμότητας, ὅπως ἐπίσης μεγαλύτερων καὶ μικροτέρων συγκεντρώσεων διαφόρων ἀερίων, ἀνάγκασαν μερικὰ εἶδη σὲ ἀφανισμό, καὶ βοήθησαν ἄλλα νὰ ἐξελιχθοῦν. Πραγματικά, χιλιάδες μεταβολές στὴ στάθμη τῆς θαλάσσης καὶ ἀφανισμοὶ ζωικῶν μορφῶν συνέβηκαν στὴ διάρκεια ἑκατοντάδων ἑκατομμυρίων ἐτῶν πρὶν ἀπὸ τὴν ἐμφάνιση τοῦ ἀνθρώπου στὴ Γῆ. Ἡ Γῆ θὰ μεταβάλλεται συνεχῶς, ἀπὸ ἐμᾶς καὶ χωρὶς ἐμᾶς. Σημαντικὸς ρόλος γιὰ τὸν σεισμολόγο εἶναι νὰ βοηθήσει τὴν ἀνθρωπότητα νὰ προσαρμοσθεῖ στὴν πραγματικότητα αὐτῆ.

Ἐπάρχει συστηματικὴ μεταβολὴ στὴν διαδικασία γενέσεως τῶν μεγάλων σει-

σμῶν, συγκριτικῶς πρὸς αὐτὴ τῶν μικρῶν σεισμῶν. Χρειάζονται περισσότερο λεπτομερεῖς σχέσεις κλίμακας, γιὰ κάθε τύπο σεισμοῦ καὶ κάθε τεκτονικὴ περιοχὴ (Tanioka and Ruff, 1997). Κατὰ τὸν Scholz (1997), οἱ μικροὶ καὶ μεγάλοι σεισμοὶ δὲν ὑπακούουν στοὺς ἴδιους νόμους κλίμακας· ἐνδημοῦν σὲ διαφορετικούς πληθυσμούς πού χαρακτηρίζονται ἀπὸ ἐνεργειακοὺς νόμους μὲ ἄλλους ἐκθέτες. Ὅταν μελετοῦμε σεισμούς ἐνὸς ρήγματος ἢ τμήματος ρήγματος, ὁ μεγάλος σεισμὸς πού συμβαίνει στὴν διάρκεια ἐνὸς σεισμικοῦ κύκλου εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὸν πληθυσμὸ τῶν μικρῶν σεισμῶν. Οὕτω, παρὰ τίς μεγάλες προσπάθειες πολλῶν ἐρευνητῶν, ἔχουμε νὰ διανύσουμε ἀκόμη πολὺ μακρὸ δρόμο γιὰ νὰ φθάσουμε στὴν στάθμη πού θὰ μᾶς ἐπιτρέψει, ἐνδεχομένως, νὰ ὀμιλοῦμε γιὰ σεισμικὴ πρόβλεψη.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γαλανοπούλου Γ. Α., Ἐπίμετρο: Σεισμικοὶ Στοχασμοί, Τυχαῖα Σεισμικὰ Συμβάντα. *Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, Τόμ. 60, σ. 608-618, 1992.
- Γαλανοπούλου Γ. Α., Κρίση στοὺς Ἰσχύοντες Ἀντισεισμικοὺς Κανονισμοὺς καὶ στὴν Ἐφαρμοζομένη Ἀντισεισμικὴ Πολιτικὴ. *Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, Τόμ. 70, σ. 584-598, 1995.
- Geller J. Robert, OPINION. Predictable Publicity. *Seism. Res. Letters*. Vol. 68, No 4, pp. 477-480, 1997.
- Jordan H. T., OPINION. Is the study of Earthquakes a Basic Science? *Seism. Res. Letters*. Vol. 68, No. 2, pp. 259-264, 1997.
- Lerner-Lam L. A., OPINION: Predictable Debate. *Seism. Res. Letters*, Vol. 68, No 3, pp. 381-382, 1997.
- Scholz H. Ch., Size Distributions for Large and Small Earthquakes. *Bull Seism. Soc. Am.* Vol. 87, No 4, pp. 1074-1077, 1997.
- Tanioka Y. and Ruff J. L., Source Time Functions. *Seism. Res. Letters*, Vol. 68, No 3, pp. 386-397, 1997.
- Zhao Yu-Lin, Zhao Bi-Ru and Fu-Ye Qiam, Electrical Streaming Potential Precursors to Catastrophic Earthquakes in China. *Ann. di Geofisica*. Vol. XL, No. 2, pp. 241-250, 1997.