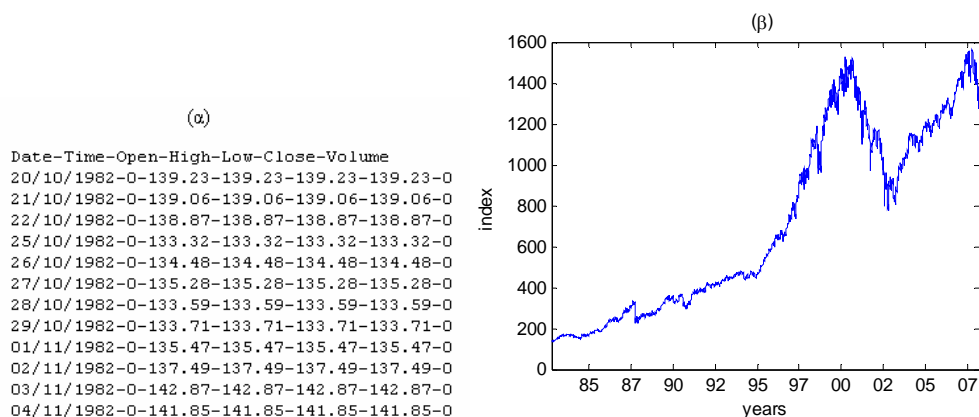


# 1 Εισαγωγή

Ο όρος **οικονομική φυσική** χρησιμοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια (από τη δεκαετία του '90) για να προσδιορίσει ένα νέο πεδίο έρευνας και δράσης, όπου θεωρίες και μέθοδοι της φυσικής, κυρίως της στατιστικής φυσικής και των δυναμικών συστημάτων, εφαρμόζονται και αναπτύσσονται σε χρηματοοικονομικά προβλήματα. Η ανάλυση χρηματοοικονομικών δεδομένων με τεχνικές που έχουν δοκιμαστεί σε προβλήματα της φυσικής έχει βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση και περιγραφή της χρηματιστηριακής αγοράς και των επιμέρους στοιχείων της σε παγκόσμιο αλλά και εθνικό επίπεδο.

Η συλλογή των **χρηματοοικονομικών δεδομένων** ξεκινά κυρίως από τη δεκαετία του '70 με την εισαγωγή των συναλλαγματικών αξιών στη χρηματιστηριακή αγορά. Από τότε έχει γνωρίσει συνεχή αύξηση με συναλλαγές σε χρήματα, περιουσιακά στοιχεία (assets) και αγαθά στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της παγκόσμιας χρηματιστηριακής αγοράς. Η εισαγωγή της ηλεκτρονικής συναλλαγής στη δεκαετία του '80 ανέβασε κατακόρυφα το πλήθος των συναλλαγών και κατ' επέκταση των χρηματιστηριακών δεδομένων. Σήμερα διαθέτουμε ηλεκτρονικά τεράστια μεγέθη χρηματιστηριακών δεδομένων συλλεγμένα σε ποικίλους χρόνους δειγματοληψίας, που σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι μέχρι και δευτερόλεπτο (high frequency data).

Στο Σχήμα 1α δίνεται η εικόνα μέρους καταγραφής του ημερήσιου δείκτη S&P500 (Standard and Poor's 500). Ο δείκτης S&P500 είναι ο συγκεντρωτικός δείκτης για τις μετοχές 500 επιλεγμένων σημαντικότερων επιχειρήσεων των ΗΠΑ και θεωρείται από τους σημαντικότερους δείκτες της αγοράς μετοχών των ΗΠΑ. Σε κάθε γραμμή του πίνακα στο Σχήμα 1α δίνεται η ημερομηνία και η τιμή ανοίγματος, υψηλότερη, χαμηλότερη και κλεισίματος (δε δίνονται τιμές για το μέγεθος των συναλλαγών). Στο Σχήμα 1β δίνεται η γραφική παράσταση της τιμής κλεισίματος του δείκτη S&P500 για την περίοδο 20/10/1982 – 13/3/2008. Η τιμή ενός χρηματιστηριακού δείκτη που δίνεται με κάποιο χρόνο δειγματοληψίας αποτελεί μια **χρονοσειρά**, όπως αυτή στο Σχήμα 1β με χρόνο δειγματοληψίας μια ημέρα.



**Σχήμα 1 (α) Παράδειγμα καταγραφής ημερησίων τιμών του δείκτη S&P500 από αρχείο δεδομένων. (β) Η χρονοσειρά του ημερήσιου δείκτη S&P500 (τιμή κλεισίματος) την περίοδο 20/10/1982 – 13/3/2008.**

## 1.1 Θέματα μελέτης της Οικονομικής Φυσικής

Για την κατανόηση του συστήματος της χρηματιστηριακής αγοράς από δεδομένα, όπως αυτά στο Σχήμα 1, έχουν γίνει διαφορετικές προσεγγίσεις που συνοψίζονται κυρίως στα παρακάτω:

1. Περιγραφή της κατανομής των δεδομένων, χαρακτηρισμός και εκτίμηση της διαδικασίας που τα παράγει.
2. Εκτίμηση συσχετίσεων σε χρονοσειρές των δεικτών καθώς και μεταξύ των δεικτών.
3. Προσαρμογή μοντέλων κάτω από διαφορετικές υποθέσεις για την κατανόηση του συστήματος καθώς και την πρόβλεψη των χρηματιστηριακών δεικτών.

Σε αυτές τις προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί έννοιες, θεωρίες και μέθοδοι της φυσικής, όπως κατανομές νόμου δύναμης, κλιμάκωση συσχέτισης, τυχαίες διαδικασίες και χάος. Τα παραπάνω θέματα αποτελούν τα βασικά σημεία της μελέτης των υπολογιστικών μεθόδων της οικονομικής φυσικής και περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω.

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 1 τα χρηματοοικονομικά δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και μάλιστα το εύρος των διακυμάνσεων μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο. Η **κατανομή** των δεδομένων δε φαίνεται να προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή αλλά παρουσιάζει «παχιές ουρές» που μπορούν να ερμηνευτούν καλύτερα από κατανομές που ακολουθούν *νόμο κλιμάκωσης* στη μια ουρά ή και στις δύο ουρές τους (power-law distributions). Τέτοιες κατανομές έχουν μελετηθεί στη θεωρία πιθανοτήτων ήδη από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, και έχουν παρουσιαστεί σε προβλήματα της φυσικής, όπως στη μετάβαση φάσεων (phase transition).

Σε χρονοσειρές χρηματιστηριακών δεικτών έχει παρατηρηθεί οι μεταβολές τιμών να μην έχουν **συσχετίσεις** και οι τιμές να ακολουθούν το μοντέλο του τυχαίου περιπάτου. Τα τετράγωνα όμως των μεταβολών των τιμών φαίνεται να έχουν συσχετίσεις και η *μεταβλητότητα* (volatility), που υπολογίζεται από την τυπική απόκλιση σε κάποιο μικρό χρονικό παράθυρο, μπορεί να εκδηλώσει *συσχετίσεις μακράς διάρκειας* (long range correlations). Τέτοιες συσχετίσεις μπορούν να μελετηθούν με βάση τη συνάρτηση *αυτοσυσχέτισης* (autocorrelation), του *φάσματος ισχύος* (power spectrum) αλλά και άλλα μέτρα που εξετάζουν τις διακυμάνσεις σε χρονικά τμήματα.

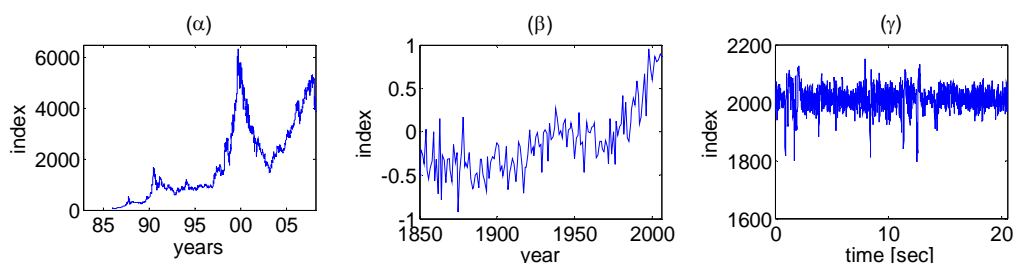
Τα συμπεράσματα για την κατανομή και συσχέτιση χρονοσειρών χρηματοοικονομικών δεικτών μας οδηγούν σε υποθέσεις για το **υποκείμενο σύστημα (ή διαδικασία)** που παράγει τη χρονοσειρά ή τις χρονοσειρές. Μια πρώτη προσέγγιση είναι το σύστημα του *τυχαίου περιπάτου* (random walk) με μηδενική μνήμη (δηλαδή συσχετίσεις) στη χρονική εξέλιξη του. Θεωρώντας την ύπαρξη μνήμης σε περιορισμένα χρονικά βήματα έχουμε τις *Μαρκοβιανές διαδικασίες* (Markov processes), ενώ αν επεκτείνουμε τη μνήμη σε μακρά διάρκεια μεταβαίνουμε σε *διαδικασίες μακράς διάρκειας συσχετίσεων ή διαδικασίες τύπου Lévy* (long range correlation or Lévy processes). Επικεντρώνοντας στη μεταβλητότητα (ροπή δεύτερης τάξης) καταφεύγουμε σε συστήματα με σταθερή ή μεταβαλλόμενη μεταβλητότητα, που αναφέρονται ως ομοσκεδαστικά ή ετεροσκεδαστικά αντίστοιχα, όπως τα *αυτοπαλινδρομούμενα* (autoregressive, AR) και τα *αυτοπαλινδρομούμενα με δεσμευμένη ετεροσκεδαστικότητα* (autoregressive with conditional heteroskedasticity, ARCH). Στις παραπάνω προσεγγίσεις με στοχαστικές διαδικασίες διαφορετικού τύπου αντιπαραβάλλεται η προσέγγιση με μη-γραμμικά δυναμικά αιτιοκρατικά

συστήματα χαμηλών βαθμών ελευθερίας που κάτω από συνθήκες μπορούν να εκδηλώσουν στοχαστική συμπεριφορά (δηλαδή να έχουν χαοτική συμπεριφορά). Σύμφωνα με τη θεωρία του χάους (chaos theory) η παρατηρούμενη μεταβλητή τέτοιων συστημάτων μπορεί να προβλεφθεί τουλάχιστον για κάποια χρονικά βήματα για αυτό και αυτή η προσέγγιση γνώρισε μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει με βάση μια χρονοσειρά κάποιου δείκτη, αλλά μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη πολλών δεικτών που παρατηρούνται ταυτόχρονα. Τέτοιες μελέτες έχουν δώσει ενδιαφέροντα αποτελέσματα για τις **συσχετίσεις μεταξύ δεικτών**. Γενικά η πολυμεταβλητή ανάλυση χρηματοοικονομικών δεικτών περιλαμβάνει τις παραπάνω προσεγγίσεις για το υποκείμενο σύστημα αλλά αποτελεί πιο σύνθετο πρόβλημα, όπου γίνεται επέκταση των μεθόδων ανάλυσης χρονοσειρών με μεθόδους παλινδρόμησης, αλλά και άλλων μοντέρνων τεχνικών.

## 1.2 Χρηματιστηριακή αγορά και πολύπλοκα συστήματα

Οι χρηματιστηριακές αγορές παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά πολύπλοκων συστημάτων. Τα **πολύπλοκα συστήματα** είναι «ανοικτά» συστήματα, όπου πολλά υποσυστήματα (ή στοιχεία) αλληλο-επιδρούν μη-γραμμικά στην παρουσία ανάδρασης (feedback) [1]. Ο όρος «ανοικτά» αντανακλά την παρουσία όχι μόνο εσωτερικών για το σύστημα αναδράσεων αλλά και εξωτερικών, όπως σημαντικά γεγονότα σε εθνικό ή παγκόσμιο επίπεδο. Μπορεί κάποιος να θεωρήσει ως πολύπλοκο σύστημα την παγκόσμια χρηματιστηριακή αγορά, όπου οι χρηματιστηριακές αγορές των κρατών αποτελούν υποσυστήματα, που και αυτά είναι πολύπλοκα με υποσυστήματα ή στοιχεία που συμπεριλαμβάνουν τους διάφορους κλάδους επιχειρήσεων ή την κάθε επιχείρηση. Ένας δείκτης της παγκόσμιας χρηματιστηριακής αγοράς είναι ο δείκτης S&P500 στο Σχήμα 1, και ένας σημαντικός δείκτης της ελληνικής χρηματιστηριακής αγοράς είναι ο δείκτης του Χρηματιστηρίου Αξιών Αθηνών (Athens Stock Exchange index, ASE) που δίνεται για την ίδια περίοδο στο Σχήμα 2α. [Θα μπορούσε να αποτελέσει θέμα διερεύνησης κατά πόσο η κοινή τάση που παρατηρείται στους δύο αυτούς δείκτες είναι τυχαία ή δηλώνει συσχέτιση των δύο δεικτών, ως αλληλο-επίδραση στοιχείων του πολύπλοκου συστήματος της παγκόσμιας χρηματιστηριακής αγοράς].



Σχήμα 2 (α) Η χρονοσειρά του ημερήσιου δείκτη Χρηματιστηρίου Αξιών Αθηνών (τιμή κλεισίματος) την περίοδο 20/10/1982 – 13/3/2008. (β) Η χρονοσειρά των συγκεντρωτικών διακυμάνσεων στη θερμοκρασία αέρα εδάφους με βάση μετρήσεις σε πλέγμα 5° x 5°. (γ) Η χρονοσειρά από καταγραφή ενός καναλιού ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των πολύπλοκων συστημάτων είναι ότι η παρατήρηση ενός μεγέθους του συστήματος, όπως η χρονοσειρά ενός χρηματιστηριακού δείκτη, φαίνεται να είναι τυχαία. Τα πολύπλοκα συστήματα χαρακτηρίζονται από πολλούς βαθμούς ελευθερίας για αυτό και η μελέτη τους γίνεται με μεθόδους στοχαστικών διαδικασιών παρά αιτιοκρατικών δυναμικών συστημάτων. Τέτοια τυχαία

συμπεριφορά συναντάμε σε πλήθος άλλων επιστημονικών κλάδων. Ενδεικτικά δίνονται στο Σχήμα 2, εκτός από τη χρονοσειρά του δείκτη ASE και μια χρονοσειρά των διακυμάνσεων στη θερμοκρασία της γης (αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου) όπως και μια χρονοσειρά της μεταβολής του δυναμικού του εγκεφάλου (από ένα ηλεκτρόδιο ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος). Η τυχαιότητα και οι μεταβαλλόμενες διακυμάνσεις είναι κοινά χαρακτηριστικά στις τρεις χρονοσειρές που οδηγούν στις ίδιες μεθόδους ανάλυσης. Η ανάπτυξη μεθόδων της φυσικής σε άλλα πεδία, όπως της ατμοσφαιρικής φυσικής, μπορούν άμεσα να εφαρμοστούν και σε προβλήματα της χρηματοοικονομίας.