



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Τμήμα Φυσικής
Τομέας Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης
Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου 15784

ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ
ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗΣ ΎΛΗΣ

Πέμπτη 5 Νοεμβρίου 2020 -14:30-16:30

«Φαινόμενα Συγχρονισμού σε Δίκτυα Συζευγμένων Ταλαντωτών σε Μοντέλα Νευρώνων»

Νεφέλη-Δήμητρα Τσίγκρη

Υποψήφια Διδάκτορας

Τομέας Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης

Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς δικτύων ταλαντωτών κυρίως με εφαρμογή στις επιστήμες της ζωής, όπως π.χ. η νευροεπιστήμη. Σε αυτή τη βάση μελετώνται φαινόμενα συγχρονισμού και η πιθανή εμφάνιση δομών (patterns), που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση συζευγμένων στοιχείων με διαφορετικές γεωμετρικές συνδεσιμότητας. Οι ταλαντωτές περιγράφονται από το μοντέλο Ολοκλήρωσης-Πυροδότησης με Απώλειες (Leaky Integrate-and-Fire), που είναι ένα απλό μοντέλο που αποδίδει την εξέλιξη του δυναμικού της μεμβράνης ενός βιολογικού νευρώνα. Στο πλαίσιο αυτό εξετάστηκε η δυναμική συμπεριφορά δικτύων νευρώνων σε τακτική συνδεσμολογία, όπου δηλαδή υπάρχει καλά καθορισμένη συνδεσιμότητα μεταξύ των νευρώνων (π.χ. μη-τοπική, κατοπτρική, συνδυασμός διαγώνιας και μη-τοπικής συνδεσμολογίας), καθώς επίσης και δικτύων με μη-τακτική συνδεσμολογία, δηλαδή συνδεσμολογία στην οποία υπάρχουν και τυχαίες συνδέσεις (π.χ. συνδεσμολογία μικρού κόσμου).

Στην περίπτωση των τακτικών συνδεσμολογιών, μελετήθηκε αρχικά η επίδραση του μεγέθους του συστήματος N στην δυναμική του συμπεριφορά για διαφορετικά μεγέθη δικτύων με κοινές παραμέτρους (π.χ. ισχύς σύζευξης $\sigma < 0$, δυναμικό κατωφλίου u_{th} κ.α.) και διαπιστώθηκε ότι για διαφορετικά μεγέθη δικτύων και σταθερό ποσοστό συνδέσεων d παρατηρείται εμφάνιση χιμαιρικής κατάστασης με την ίδια πολλαπλότητά. Για την περίπτωση συστημάτων διαφορετικού μεγέθους N και με παραπλήσιο συνολικό αριθμό συνδέσεων R_{total} διαπιστώθηκε ότι η πολλαπλότητα αυξάνεται αυξανόμενου του N ,

αποτέλεσμα συμβατό με ευρήματα από προηγούμενες μελέτες στις οποίες έχει βρεθεί ότι σε ένα σύστημα που εμφανίζει χιμαιρική κατάσταση η πολλαπλότητα αυτής μειώνεται καθώς αυξάνει το εύρος σύζευξης R . Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι αυξανόμενη της $|\sigma|$ εμφανίζεται μια περιοχή στην οποία εμφανίζεται συχνότερα η ασυγχρόνιστη κατάσταση. Εκατέρωθεν της περιοχής αυτής παρατηρήθηκε αναστροφή συγχρονισμού, δηλαδή οι συγχρονισμένοι ταλαντωτές λαμβάνουν συστηματικά την μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή μέσης ταχύτητας φάσης (ω_{\max} ή ω_{\min}) στην αντίστοιχη περιοχή.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν ως προς την δυναμική τους συμπεριφορά και άλλα δίκτυα με τακτική συνδεσμολογία. Για την περίπτωση της μη-τοπικής συνδεσμολογίας με $\sigma > 0$ διαπιστώθηκε ότι το σύστημα δεν υποστηρίζει τη δημιουργία χιμαιρικών καταστάσεων, οι οποίες δίνουν τη θέση τους σε οδεύουσες δομές δραστήριων νευρώνων που διαχωρίζονται από 'παθητικούς' νευρώνες που παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα κοντά στο δυναμικό κατωφλίου. Οι οδεύουσες δομές νευρώνων στην περίπτωση της εισαγωγής χρόνου εφησυχασμού ρ_r εντοπίζονται στο χώρο. Η εμφάνιση 'παθητικών' νευρώνων παρατηρείται επίσης και στην περίπτωση της κατοπτρικής συνδεσμολογίας με $\sigma > 0$, όπου διαπιστώθηκε ο περιορισμός της δραστηριότητας σε τμήμα του δικτύου, με την περιοχή δραστηριότητας να εμφανίζει επιμέρους δομή που αναδεικνύεται στη μέση ταχύτητα φάσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη δυναμική συμπεριφορά παρουσιάστηκε και στην περίπτωση του συνδυασμού διαγώνιας και μη-τοπικής συνδεσμολογίας με $\sigma < 0$, όπου καταγράφηκε η ύπαρξη της χιμαιρικής κατάστασης με δύο επίπεδα συγχρονισμού, εκτός των συνήθων και των μονήρων χιμαιρικών καταστάσεων.

Στο δεύτερο μέρος της διατριβής, μελετήθηκε και η συμπεριφορά δικτύων με μη-τακτική συνδεσμολογία. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της συνδεσμολογίας μικρού κόσμου, εισάγοντας στο δίκτυο τυχαίες συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων με μια πιθανότητα p , παρατηρήθηκαν τα φαινόμενα της ενισχυτικής συμβολής του θορύβου και των μετέωρων μονήρων καταστάσεων για μικρές τιμές της παραμέτρου p , ενώ μεγάλος αριθμός τυχαίων συνδέσεων είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή των χιμαιρικών καταστάσεων.