

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΔΟΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΙΚΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ φ^4 ΕΩΣ ΚΑΙ ΟΡΟΥΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΑΞΗΣ, ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΚΤΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ**Π.Β. Αλατάς¹, Β.Γ. Μαυραντζάς^{1,2,*}, Η.Κ. Öttinger³**¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών & Ινστιτούτο Επιστημών Χημικής Μηχανικής, GR 26504, Πάτρα, Ελλάδα²Particle Technology Laboratory, Department of Mechanical and Process Engineering, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, Switzerland³Polymer Physics, Department of Materials, ETH Zürich, CH-8093 Zürich, Switzerland*vlasis@chemeng.upatras.gr, vlasiom@mat.ethz.ch**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στις κβαντικές θεωρίες πεδίου, τα διαγράμματα Feynman αναπαριστούν εικονικά την αλληλεπίδραση στοιχειωδών σωματιδίων. Στα διαγράμματα αυτά περιλαμβάνονται κλειστοί βρόγχοι που αντιστοιχούν σε ολοκλήρωση πάνω σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς ενέργειας και ορμών των εικονικών σωματιδίων, τα οποία ταξιδεύουν στο χωροχρονικό συνεχές, οδηγώντας συχνά σε απειρισμούς. Για να αντιμετωπιστούν αυτοί οι απειρισμοί, είναι αναγκαία η επανακανονικοποίηση των παραμέτρων της θεωρίας [1-3].

Πίσω από την επανακανονικοποίηση βρίσκεται το πρόβλημα της κατάλληλης εξάλειψης βαθμών ελευθερίας έτσι ώστε να γεφυρωθούν περιγραφές σε διαφορετικές κλίμακες μήκους και χρόνου. Η θερμοδυναμική εκτός ισορροπίας προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση στο πρόβλημα της χρονικής εξέλιξης ενός ανοιχτού κβαντικού συστήματος μέσω της διατύπωσης μιας χρονομεταβαλλόμενης καταστατικής εξίσωσης για τον πίνακα πυκνότητας πιθανοτήτων (density matrix) του συστήματος, η οποία εμπεριέχει αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές συνεισφορές [4, 5]. Ειδικά οι μη αντιστρεπτές διεργασίες εισάγουν μηχανισμούς αποσβεστικής εξομάλυνσης των όρων που είναι υπεύθυνοι για τους απειρισμούς και έτσι συνεισφέρουν τα μέγιστα στη σωστή συμπεριφορά της θεωρίας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται η εφαρμογή μιας τέτοιας προσέγγισης στην περίπτωση της απλούστερης δυνατής κβαντικής θεωρίας πεδίου, της θεωρίας φ^4 , που περιγράφει την ταυτόχρονη αλληλεπίδραση τεσσάρων κβαντικών βαθμωτών σωματιδίων στο χωρόχρονο. Στόχος είναι ο αναλυτικός υπολογισμός του διαδότη (propagator) έως και όρους τρίτης τάξης του διαταρακτικού αναπτύγματος ως προς την παράμετρο αλληλεπίδρασης, και η εξαγωγή των διαγραμμάτων Feynman [6]. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν τόσο αναλυτικά όσο και με την ανάπτυξη ενός ισχυρού συμβολικού κώδικα λόγω της πολυπλοκότητας των πράξεων.

Βρέθηκε ότι η τρίτης τάξης συνεισφορά οδηγεί σε τρεις τύπους διαγραμμάτων Feynman με σαφώς καθορισμένη κατεύθυνση χρόνου. Στο όριο μηδενικής τριβής, τα αποτελέσματα ταυτίζονται με εκείνα της κλασσικής Λαγκρανζιανής προσέγγισης. Η επανακανονικοποίηση της έκφρασης που απορρέει για τον διαδότη επιτυγχάνεται με κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων της αποσβεστικής θεωρίας, καταλήγοντας σε μία νέα έκφραση η οποία, απουσία τριβής, δεν εμφανίζει απειρισμούς. Ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα είναι ότι, από τον συνδυασμό όρων δευτέρας και τρίτης τάξης στον διαδότη, στο όριο των μεγάλων χρόνων, η θεωρία επαληθεύει την τιμή της κρίσιμης σταθεράς σύζευξης συναρτήσει του αριθμού των χωρικών διαστάσεων, γεγονός που επιδεικνύει τη δύναμη της νέας, αποσβεστικής προσέγγισης αλλά και των νέων υπολογιστικών εργαλείων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Θερμοδυναμική εκτός ισορροπίας, Διαγράμματα Feynman, Κβαντικές θεωρίες πεδίου, Συμβολικός υπολογισμός, Διαδότης

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Wilson, K.G., & Kogut, J. (1974). *Physics Reports*. 12(2):75-199.
- [2] Peskin, M.E., & Schroeder, D.V. (1995). *An Introduction to Quantum Field Theory*. Perseus Books, Reading, MA.
- [3] Weinberg, S. (2005). *The Quantum Theory of Fields, Volume 2: Modern Applications*. Cambridge University Press.
- [4] Öttinger, H.C. (2018). *A Philosophical Approach to Quantum Field Theory*. Cambridge University Press.
- [5] Öttinger, H.C. (2009). *Phys. Rev. E*. 79(2):021124.
- [6] Alatas, P.V., Mavrantzas, V.G., & Öttinger, H.C. (2021). *Phys. Rev. D*. 104(7):076007.