

Μια μη-γραμμική θερμοδυναμική εξίσωση για την περιγραφή ανοιχτών κβαντικών συστημάτων και η εφαρμογή της στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικά επαγόμενης διαφάνειας

Παναγιώτης Β. Αλατάς,¹ Βλάσης Γ. Μαυραντζάς,^{1,2} Hans Christian Öttinger²

¹Department of Chemical Engineering, University of Patras & FORTH/ICE-HT, Patras GR 26504, Greece

²Department of Materials, Polymer Physics, ETH Zürich, HCI H 543, CH-8093 Zürich, Switzerland

Περίληψη

Οι καταστατικές (master) εξισώσεις προσφέρουν ένα κατάλληλο μέσο μελέτης της χρονικής εξέλιξης των ανοιχτών κβαντικών συστημάτων για ένα εύρος πεδίων όπως η κβαντική οπτική και η κβαντική πληροφορία. Βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή κυρίως στη μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων ενός μέσου, οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα λόγω κβαντικής συμβολής στα πλάτη πιθανότητας των οπτικών μεταβάσεων. Η ηλεκτρομαγνητικά επαγόμενη διαφάνεια^{1,2} (electromagnetically induced transparency (EIT)) είναι ένα φαινόμενο κβαντικής συμβολής όπου ένα οπτικό μέσο μετατρέπεται σε ένα αδιαφανές και το οποίο τυπικά είναι εφικτό μόνο σε άτομα με ειδικές ενεργειακές δομές.

Σ' ένα σύστημα τριών καταστάσεων, για να εμφανιστεί το φαινόμενο EIT απαιτούνται δύο διπολικά επιτρεπτές μεταβάσεις και μία απαγορευμένη. Το φαινόμενο παρατηρείται όταν ένα ισχυρό laser (το αποκαλούμενο ως control laser) συντονίζεται στη συχνότητα των δύο άνω ενεργειακών σταθμών. Τότε, καθώς ένα ασθενές probe laser ανιχνεύεται με συχνότητα όμοια με αυτήν της άλλης επιτρεπτής μετάβασης, το μέσο παρατηρείται να εμφανίζει: (α) διαφάνεια στο σημείο μέγιστης απορρόφησης απουσία του control πεδίου, και (β) έντονα φαινόμενα διασποράς στον ατομικό συντονισμό.

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται η μελέτη της οπτικής απόκρισης ενός συστήματος τριών καταστάσεων σε Λ-διαμόρφωση υπό συνθήκες ηλεκτρομαγνητικά επαγόμενης διαφάνειας μέσω τριών τύπων καταστατικών εξισώσεων: (α) της von Neumann εξίσωσης, η οποία εμπεριέχει φαινομενολογικούς όρους για την περιγραφή της μη-αντιστρεπτής απώλειας πληθυσμού, (β) μιας εξίσωσης τύπου Lindblad³ με χρονοεξαρτώμενους τελεστές (όπως προκύπτει από ένα μικροσκοπικό μοντέλο), και (γ) μίας μη-γραμμικής θερμοδυναμικής εξίσωσης^{4,5,6} όπως προτάθηκε πρόσφατα στα πλαίσια του φορμαλισμού GENERIC για την θερμοδυναμική περιγραφή κλασικών συστημάτων εκτός ισορροπίας και την γενίκευσή της στην περίπτωση ανοιχτών κβαντικών συστημάτων.

Η επίλυση των τριών αυτών εξισώσεων πραγματοποιήθηκε αριθμητικά, μέσω χρονικής ολοκλήρωσης, αλλά και αναλυτικά, μέσω προσεγγιστικών λύσεων.⁷ Θα παρουσιαστούν και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις τρεις εξισώσεις και με τις δύο μεθόδους επίλυσης, και αφορούν την επιδεκτικότητα χ του συστήματος σε σχέση με το probe πεδίο. Τα αποτελέσματα θα συζητηθούν διεξοδικά σε σχέση με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα γι' αυτό το πολύ σημαντικό φαινόμενο, και θα επισημανθούν τα πλεονεκτήματα χρήσης της μη-γραμμικής θερμοδυναμικής εξίσωσης σε σχέση με τις συνηθισμένες εξισώσεις τύπου von Neumann και Lindblad.⁷

Αναφορές

[1] K.-J. Boller, A. Imamoglu, S.E. Harris, Phys. Rev. Lett. **66**, 2593 (1991).

- [2] M. Fleischhauer, A. Imamoglu, J.P. Marangos, *Rev. Mod. Phys.* **77**, 633 (2005).
- [3] G. Lindblad, *Commun. Math. Phys.* **48**, 119 (1976).
- [4] H. C. Öttinger, *Phys. Rev. A* **82**, 052119 (2010).
- [5] H. C. Öttinger, *Phys. Rev. A* **86**, 032101 (2012).
- [6] J. Flakowski, M. Schweizer, H.C. Öttinger, *Phys. Rev. A* **86**, 032102 (2012).
- [7] P.V. Alatas, V.G. Mavrantzas, D. Taj, J. Flakowski, M. Osvanov, H.C. Öttinger, manuscript in preparation for submission to *Phys. Rev. A* (2015).