LIBRARY AND INFORMATION CENTER
MAHIDOL UNIVERSITY

28 AUG 2001

DYNAMICS OF SPIRAL WAVES UNDER FEEDBACK CONTROL IN THE LIGHT-SENSITIVE BELOUSOV-ZHABOTINSKY REACTION

ON-UMA KHEOWAN

อภิแม้นหนังสือ
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
(CHEMICAL PHYSICS)
FACULTY OF GRADUATE STUDIES
MAHIDOL UNIVERSITY
2001

ISBN 974-04-0357-3

COPYRIGHT OF MAHIDOL UNIVERSITY

TH
059d
2001
C.2

Copyright by Mahidol University

3836484 SCCP/D: MAJOR : CHEMICAL PHYSICS ; Ph.D. (CHEMICAL PHYSICS)
KEY WORDS : SPIRAL WAVE DYNAMICS / BZ REACTION / FEEDBACK CONTROL / RESONANCE ATTRACTOR / LIGHT-SENSITIVE RU-CATALYST / INSTABILITY / EXCITABLE MEDIA

ON-UMA KHEOWAN : DYNAMICS OF SPIRAL WAVES UNDER FEEDBACK CONTROL IN THE LIGHT-SENSITIVE BELOUSOV-ZHABOTINSKY REACTION. THESIS ADVISORS : ORAPIN RANGSIMAN, Dr.rer.nat., STEFAN C. MÜLLER, Dr.rer.nat.habil., VLADIMIR S. ZYKOV, Ph.D. 131 p. ISBN 974-04-0357-3.

Dynamical properties of rigidly rotating spiral waves under feedback control are studied experimentally in the light-sensitive Belousov-Zhabotinsky reaction. After characterizing the influence of illumination on various spiral parameters, the behavior of the spiral waves under both local and global feedback control is investigated. In local feedback, short light pulses are applied at the same time as, or at a fixed time interval after, the passage of a wave front through a preselected measuring point. It is shown that this type of feedback results in a drift of the spiral wave core along a discrete set of stable circular orbits (the resonance attractors) centered at the measuring point, in good quantitative agreement with recently developed theory. Variations of parameters in the feedback loop initiate transitions between orbits of different size. Thus, a spiral wave drift can be induced along a snail-shaped trajectory with permanently growing distance from the measuring point.

When the time delay in the feedback loop exceeds the rotation period of the spiral, the stability of the resonance attractor gets lost and pronounced deviations of the core trajectories from circular orbits are observed. In a theory that reduces the spiral wave dynamics to a higher order iterative map, these deviations are explained to be a result of instabilities appearing due to the Neimark bifurcation of the map.

Finally, global aspects are incorporated into the feedback signal by choosing spatially extended control domains, where the intensity of the illumination is taken to be proportional to the average wave activity observed within a circular domain of the reaction layer. Stabilization and destabilization of spiral waves, as well as the existence of new types of attractors are demonstrated. A simple mathematical description is proposed in order to explain the existence of these globally induced attractors and the dependence of their size on the time delay in the feedback loop.

Copyright by Mahidol University

3836484 SCCP/D: สาขาวิชา : ฟิสิกส์เชิงเคมี ; ปร.ด. (ฟิสิกส์เชิงเคมี)

อรอุมา เขียวหวาน : พลศาสตร์ของขดคลื่นภายใต้การควบคุมแบบป้อนกลับในปฏิกิริยาเบลูซอฟจาโบทินสกีที่ไวแสง (DYNAMICS OF SPIRAL WAVES UNDER FEEDBACK CONTROL IN THE LIGHT-SENSITIVE BELOUSOV-ZHABOTINSKY REACTION). คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : อรพินท์ รังสิมันต์, Dr.rer.nat., STEFAN C. MÜLLER, Dr.rer.nat.habil., VLADIMIR S. ZYKOV, Ph.D. 131 หน้า. ISBN 974-04-0357-3.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางพลศาสตร์ของขดคลื่น (spiral waves) ภายใต้การควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) ในปฏิกิริยาเบลูซอฟจาโบทินสกี (Belousov-Zhabotinsky reaction) ที่ไวแสง โดยเริ่มด้วยการตรวจสอบอิทธิพลของแสงที่มีต่อตัวแปรของขดคลื่น หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์การควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) ทั้งแบบเฉพาะที่ (local) และแบบครอบคลุม (global) การควบคุมขดคลื่นแบบเฉพาะที่ (local feedback) ทำได้โดยการฉายแสงเป็นช่วงสั้นๆ (light pulse) ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุดที่เรียกว่าจุดวัด (measuring point) ที่กำหนดไว้ หรือรอด้วยความหน่วงเวลา (time delay) คงที่ค่าหนึ่ง การควบคุมแบบป้อนกลับนี้ทำให้มีการเลื่อน (drift) ของแกนของขดคลื่น (spiral wave core) เป็นวงโคจร (orbit) ที่เรียกว่าเรโซแนนซ์แอตแทรกเตอร์ (resonance attractor) ซึ่งมีรัศมีที่ต่างกันเป็นชุดๆ การเปลี่ยนค่าตัวแปรของการควบคุมแบบป้อนกลับส่งผลให้เกิดการข้าม (transition) ระหว่างวงโคจร ดังนั้นจึงนำไปสู่การควบคุมการเลื่อน (drift) ของแกนของขดคลื่น (spiral wave core) แบบก้นหอย (snail-shaped) ซึ่งมีระยะระหว่างจุดวัด (measuring point) และแกนของขดคลื่น (spiral wave core) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆเป็นลำดับ

เมื่อการหน่วงเวลา (time delay) ในวงจรการควบคุมแบบป้อนกลับมีค่ามากกว่าคาบของการหมุน ทำให้เสถียรภาพ (stability) ของเรโซแนนซ์แอตแทรกเตอร์ (resonance attractor) สูญเสียไป โดยเกิดการบิดเบี้ยว (deviation) ไปของวงโคจรรูปวงกลมเดิม ทฤษฎีซึ่งอธิบายพลศาสตร์ของขดคลื่นโดยการส่งแบบวนซ้ำอันดับสูงขึ้นไป (higher order iterative map) ชี้ให้เห็นว่า การสูญเสียเสถียรภาพของเรโซแนนซ์แอตแทรกเตอร์ (resonance attractor) เป็นผลเนื่องมาจากไนมาร์กไบเฟอร์เคชัน (Neimark bifurcation) ของการส่งแบบ (map)

การศึกษาการควบคุมป้อนกลับแบบครอบคลุม (global feedback) ซึ่งสัญญาณของการควบคุมนั้นคำนวณมาจากพื้นที่รูปวงกลมของปฏิกิริยาแสดงให้เห็นถึงการมีเสถียรภาพและการไร้เสถียรภาพของขดคลื่นรวมทั้งการมีแอตแทรกเตอร์ (attractor) ชนิดใหม่เกิดขึ้น ผลการทดลองที่สังเกตได้สามารถอธิบายได้ด้วยคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

Copyright by Mahidol University