ทฤษฎีและการจำลองภาพของวงแหวนดาวเคราะห์

นาย พิทักษ์พงศ์ ณ ลำพูน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1839-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THEORY AND SIMULATION OF PLANETARY RING

Mr. Pitukpong Na Lampoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-14-1839 -6

481683

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ทฤษฎีและการจำลองภาพของวงแหวนดาวเคราะห์
โดย	นาย พิทักษ์พงศ์ ณ ลำพูน
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รองคณบดีฝ่ายบริหารรักษาราชการแทน
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง)

พิทักษ์พงศ์ ณ ลำพูน: ทฤษฎีและการจำลองภาพของวงแหวนดาวเคราะห์. (THEORY AND SIMULATION OF PLANETARY RING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ , 78 หน้า. ISBN 974-14 -1839 -6.

ข้อมูลของยานวอยเยเจอร์2และยานโพเนีย11สนับสนุนทฤษฎีของทีมงาน เดอโมท, โกลด์ และ เมอร์เลย์ กับ ทฤษฎีของทีมงาน โกลด์ริช และ ทรีเมน ทฤษฎีของทีมงาน เดอโมท, โกลด์ และ เมอร์เลย์ กล่าวว่า ดวงจันทร์ทำหน้าที่เป็นดาวผู้ให้กำเนิดวงแหวน ทฤษฎีของทีมงานโกลด์ริช และ ทรีเมน กล่าวว่า ดวงจันทร์ทำหน้าที่ผู้ควบคุมวงแหวน ทฤษฎีของทั้งสองอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สามโดยใช้ปัญหาวัตถุสามชิ้นกรณีจำกัด

การเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สามเป็นผลของการเคลื่อนที่น้อยยิ่งรอบจุดสมดุลที่เสถียรซึ่งเป็นวงโคจรรูปลูกอ็อด และ วงโคจรรูปเกือกม้าได้ ผลของการจำลองภาพของวงโคจรของระบบดาวเสาร์กับเททีสและระบบดาวเสาร์กับไดโอนิสามารถใช้แยกประเภทของวงแหวนโดยใช้คาบของวงโคจรได้

การเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สามเป็นผลของการเคลื่อนที่น้อยยิ่งรอบจุดสมดุลไม่เสถียร ผลการจำลองภาพของการเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนของระบบดาวเสาร์กับโพมีทรีอัสและระบบดาวเสาร์กับแพนดูล่าสามารถใช้เปรียบเทียบกับผลของข้อมูลจากยานโพเนีย11ได้

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

#4572420323 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: JACOBI/ LAGRANGE/ HILL CURVE/ TADPOLE/ DAMPING MOTION

PITUKPONG NA LAMPOON : THEORY AND SIMULATION OF PLANETARY RING.

THESIS ADVISOR : ASSOC PROF. PIRAPAT SIRISOMBOONLARP. 78 pp.

ISBN 974-14-1839 -6.

Data of the spacecraft Voyager 2 and Ploneer 11 support the theory of Dermott, Gold, Murray et al. and the theory of Goldreich, Tremaine et al. The theory of Dermott, Gold, Murray et al. explain that the moon is the origin of the rings. The theory of Goldreich, Tremaine et al. explain that the moon confines the particles of the ring. Both theories explain the motion of the 3^{rd} body by using the restricted three body problem.

The motion of the 3^{rd} body is the effect of small motion about Stable Equilibrium points which is Tadpole Orbit and Horseshoe Orbit. The result of the orbit about Stable Equilibrium points of the Saturn-Tethys System and the Saturn-Dione System can be used to classify the rings by the periods of the orbit.

The motion of the 3^{rd} body is the effect of small motion about Unstable Equilibrium points. The result of the motion of the particles of the ring about Unstable Equilibrium points of the Saturn-Prometheus System and the Saturn-Pandora System can be compared with the data of the spacecraft Ploneer11.

Department Physics Student's signature Pitukpong Na Lampoon

Field of study Physics Advisor's signature Pirapat Sirisomboonlarp

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการชี้แนะ และ คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์โดยท่านได้ให้ความกรุณาในการจัดหาเนื้อหา และ หนังสือที่เกี่ยวข้องกับงานเพื่อทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์ ท่านได้ช่วยกรุณาอธิบายเพื่อแก้ไขคำสั่งในการใช้งานของโปรแกรมการคำนวณ Mathematica จนสามารถปรากฏรูปร่างวงโคจร และเส้นทางการเคลื่อนที่ของการจำลองภาพได้ตามผลของทฤษฎีนี้มีความชัดเจนเหมือนดังรูปที่ต้องการในหนังสือและวารสาร โดยมี อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง ที่ได้กรุณาตรวจสอบงานจนได้ผลในทางทฤษฎี และ สำเร็จตามความมุ่งหมายของงาน

ขอขอบคุณ คุณ กุหลาบ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดีตลอดหลักสูตรปริญญาโท และเจ้าหน้าที่ของห้องคอมพิวเตอร์ทั้งในอดีต และ ปัจจุบัน ที่ได้ให้ความกรุณาทั้งการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์, โปรแกรม และ การถ่ายเอกสารจนสามารถมีวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ และ น้องในภาควิชาฟิสิกส์ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างดี, คุณพ่อที่ให้เงินค่าใช้จ่ายตลอดหลักสูตร, คุณน้าของผมกรุณาให้ใช้คอมพิวเตอร์, คุณยายของผมที่กรุณาทำอาหารบำรุงสมองในช่วงที่ทำวิทยานิพนธ์นี้ และ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาทั้งที่เคยสอนสมัยศึกษาในระดับปริญญาตรี กับ ปริญญาโทซึ่งทุกท่านได้ให้ความกรุณาทั้งในแง่วิชาความรู้เพราะทำให้ผมมีการศึกษาเล่าเรียนที่ดีตลอดที่ได้ศึกษาอยู่ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญภาพ..... ญ

สารบัญตาราง..... ฏ

บทที่

1 **บทนำ**..... 1

2 **ทฤษฎี และ แนวคิดที่เกี่ยวข้อง**..... 3

2.1 ข้อตกลงของปัญหาวัตถุสามชิ้นกรณีจำกัด และ การพิจารณาภายใต้กรอบหมุน.... 3

2.1.1 ขอบเขตของโรช..... 3

2.1.2 การลดผลของแรงการโป่งตัว..... 7

2.2 ทฤษฎีของทีมงานเดอโมท, โกลด์ และ เมอเลย์..... 8

2.2.1 สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สาม..... 10

2.2.2 สมการจาโคบิ..... 12

2.2.3 การเคลื่อนที่น้อยยิ่งรอบจุดลากรานจ์ที่สี่ และ จุดลากรานจ์ที่ห้า..... 14

2.2.3.1 ตำแหน่ง และ ศักย์ซูโดของจุดลากรานจ์ทั้งห้า..... 14

2.2.3.2 สมการการเคลื่อนที่น้อยยิ่งรอบจุดลากรานจ์ทั้งห้า..... 16

2.3 ทฤษฎีของทีมงานโกลดริช และ ทรีเมน..... 21

2.3.1 สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนภายใต้อิทธิพลของดวงจันทร์... 23

2.3.2 สมการฮิลล์..... 28

2.3.3 จุดสมดุลในบริเวณอนุภาควงแหวน..... 29

2.3.4 สมการการเคลื่อนที่น้อยยิ่งของอนุภาควงแหวน..... 30

บทที่ หน้า

2.4 การหาเงื่อนไขของตำแหน่งสมดุล..... 31

3 **การหาผลเฉลยของการเคลื่อนที่**..... 33

3.1 การหาผลเฉลยกรณีของการเคลื่อนที่ใกล้กับจุดลากรานจ์ที่สี่ และ ห้า..... 33

3.1.1 การหาสัมประสิทธิ์และ เฟสเริ่มต้นของวงโคจรในพิกัดของวงโคจร..... 34

3.1.2 การหาการเคลื่อนที่น้อยยิ่งใกล้จุดลากรานจ์ที่สี่ และ ห้า..... 35

3.2 การหาผลเฉลยของกรณีของการเคลื่อนที่ใกล้กับจุดสมดุลไม่เสถียร..... 35

4 **ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**..... 37

4.1 เกณฑ์การตัดสิน..... 37

5 **ผลการวิจัย และ สรุปผล**..... 40

5.1 ผลการวิจัย..... 40

5.1.1 การทดสอบทฤษฎีทีมงานของเดอโมท, โกลด์ และ เมอร์เลย์..... 40

5.1.1.1 ระบบดาวเสาร์กับเททีส..... 41

5.1.1.1.1 การเคลื่อนที่รอบจุดลากรานจ์ที่สี่..... 42

5.1.1.1.2 การเคลื่อนที่รอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 44

5.1.1.2 ระบบดาวเสาร์กับไดโอนิ..... 46

5.1.1.2.1 การเคลื่อนที่รอบจุดลากรานจ์ที่สี่..... 47

5.1.1.2.2 การเคลื่อนที่รอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 49

5.1.2 การทดสอบทฤษฎีทีมงานของโกลด์ริช และ ทรีเมน..... 51

5.1.2.1 สมการฮิลส์แสดงศักย์ของดวงจันทร์คู่นี้ที่มีต่ออนุภาควงแหวน.. 51

5.1.2.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนเนื่องจากดวงจันทร์ทั้งสอง..... 53

5.2 สรุปผล..... 55

รายการอ้างอิง..... 58

บทที่ หน้า

ภาคผนวก..... 60

ภาคผนวก ก ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้อง..... 61

ภาคผนวก ข การคำนวณ..... 62

ภาคผนวก ค การทดสอบระบบของดาวเสาร์กับเทธีส..... 63

ภาคผนวก ง การทดสอบระบบของดาวเสาร์กับไดโอนี..... 64

ภาคผนวก จ การทดสอบระบบของดาวเสาร์กับโพรมีทรีอัส..... 65

ภาคผนวก จ การทดสอบระบบของดาวเสาร์กับแพนดูล่า..... 65

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 66

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1 แสดงการแตกตัวของดาวบริวาร..... 4
รูปที่ 2 แสดงขนาดและตำแหน่งของดาวบริวาร..... 6
รูปที่ 3 อธิบายถึงตำแหน่งดาวบริวารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเดอโมท, โกลด์ และ เมอเลย์..... 9
รูปที่ 4 แสดงการพิจารณาวัตถุชิ้นที่สามภายใต้กรอบอ้างอิงเฉื่อย และ กรอบอ้างอิงหมุน..... 10
รูปที่ 5 แสดงเส้นโค้งความเร็วศูนย์ของสมการจาโคบิ..... 13
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งจุดลากรานจ์ทั้งห้าจุด..... 15
รูปที่ 7 แสดงการสั่นรอบบริเวณจุดสมดุลที่เสถียร..... 19
รูปที่ 8 แสดงรูปสมมาตรทางโคจรของปัญหาวัตถุสามชิ้นในกรณีจำกัด..... 20
รูปที่ 9 แสดงถึงตำแหน่งของแพนดูล่า และ โพมีทรีอัส..... 22
รูปที่10 ภาพขยายของเหตุการณ์ของอนุภาควงแหวนเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์..... 22
รูปที่11 แสดงเงื่อนไขของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนถูกกระทำโดยแพนดูล่า..... 23
รูปที่12 แสดงเงื่อนไขของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนถูกกระทำโดยโพมีทรีอัส..... 24
รูปที่13 อธิบายสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาควงแหวนเนื่องจากดวงจันทร์ทั้งสอง..... 27
รูปที่14 แสดงการพิจารณาสมดุลของปัญหาวัตถุสามชิ้น..... 31
รูปที่15 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดในแนว x,y และ แนวการเคลื่อนที่ของวงโคจร..... 33
รูปที่ 16 แสดงสมการจาโคบิของระบบดาวเสาร์ กับ เททีส..... 41
รูปที่ 17 แสดงดวงจันทร์ชื่อ เทเทสโต โคจรรอบจุดลากรานจ์ที่ลี่..... 42
รูปที่ 18 แสดงอนุภาควงแหวนโคจรรอบบริเวณจุดลากรานจ์ที่สี่..... 43
รูปที่ 19 แสดงดวงจันทร์ชื่อ คาลิปโซ รอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 44
รูปที่ 20 แสดงอนุภาควงแหวนโคจรรอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 45
รูปที่ 21 แสดงสมการจาโคบิของระบบดาวเสาร์ กับ ไดโอนิ..... 46
รูปที่ 22 แสดง เฮเลน โคจรรอบจุดลากรานจ์ที่สี่..... 47
รูปที่ 23 แสดงวงแหวนดาวเคราะห์โคจรรอบจุดลากรานจ์ที่สี่..... 48
รูปที่ 24 แสดงดวงจันทร์ชื่อว่า โพริไดส์ โคจรรอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 49
รูปที่ 25 แสดงวงแหวนดาวเคราะห์โคจรรอบจุดลากรานจ์ที่ห้า..... 50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 26 แสดงสมการฮิลส์ใกล้กับโพมิทรีอัส..... 51
รูปที่ 27 แสดงสมการฮิลส์ใกล้กับแพนดูล่า..... 52
รูปที่ 28 แสดงการควบคุมอนุภาควงแหวนเนื่องมาจากโพมีทรีอัส..... 53
รูปที่ 29 แสดงการควบคุมอนุภาควงแหวนเนื่องมาจากแพนดูล่า..... 54

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกันของระยะทางขอบเขตโรชกับตำแหน่งของดวงจันทร์..... 5
ตารางที่ 2 แสดงขนาด, ระยะห่างจากดาวเสาร์ และ การหมุนรอบตัวเองของดวงจันทร์..... 7
ตารางที่ 3 แสดงตำแหน่งและศักย์ซูโดของจุดลากรานจ์ของระบบดาวเสาร์กับเททีส..... 16
ตารางที่ 4 แสดงตำแหน่งและศักย์ซูโดของจุดลากรานจ์ของระบบดาวเสาร์กับไดโอนี..... 16
ตารางที่ 5 แสดงจุดสมดุล และ ศักย์ยังผลใกล้กับ โพมีทรีอัส และ แพนดูล่า..... 29
ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลของการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบบริเวณ L4 และ L5..... 38
ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลของอนุภาควงแหวนเคลื่อนที่ผ่านดวงจันทร์..... 39
ตารางที 8 แสดงข้อมูลคาบการเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สามของระบบดาวเสาร์กับเททีส..... 56
ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลคาบการเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นที่สามของระบบดาวเสาร์กับไดโอนิ..... 56
ตารางที่10 แสดงผลของของดวงจันทร์แต่ละดวงกระทำกับอนุภาควงแหวน..... 57