

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางการทำวิจัยดาราศาสตร์ทางแสงด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก และใช้กล้อง DSLR เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการสังเกตการณ์ และการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบดาวคู่

2.1 กล้องดิจิทัล DSLR (Digital Single Lens Reflex)

กล้องดิจิทัล DSLR เป็นกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวด้วยระบบดิจิทัลที่อาศัยการหักเหของกลไกกระจกภาพในตัวกล้องเพื่อให้เห็นภาพจากเลนส์โดยตรงสามารถเปลี่ยนเลนส์ได้เพื่อสร้างสรรค์ภาพในรูปแบบต่างๆ และกล้องประเภทนี้จะมีขนาดเซ็นเซอร์ภาพที่ใหญ่ จึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและมิติภาพที่ดี (Dr.Fisik Sean Buakanok, 2555)



รูปที่ 2.1 กล้องดิจิทัล DSLR

ที่มา : Canon Eos 6D. วันที่สืบค้น ตุลาคม , 16 2559 เข้าถึงได้จาก

<http://www.ec-mall.com/product/digital-camera/canon/35127.html>

คุณสมบัติในการใช้งานของกล้องดิจิทัล DSLR (Canon Marketing Thailand Co., Ltd., 2557)

- 1) มีช่องมองภาพ Viewfinder คือ แสงที่สะท้อนจากวัตถุผ่านเลนส์เข้ามายังช่องมองภาพ ทำให้มองเห็นใกล้เคียงกับความเป็นจริง
- 2) สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้
- 3) ทำให้ภาพถ่ายมีคุณภาพมีมิติที่ดีกว่า เพราะมีเซ็นเซอร์และชิปเลนส์ที่ใหญ่ทำให้มีพื้นที่ในการรับแสงได้ดี
- 4) ทำให้ภาพมีความละเอียดมาก มีจูลรบกวน (Noise) ที่ต่ำกว่า
- 5) มีระบบการทำงานที่มาก เช่น ชัตเตอร์รูรับแสง ระบบประมวลผลภาพ หรือ ระบบแฟลช สามารถถ่ายภาพสถานการณ์ต่างๆ ได้หลากหลาย
- 6) มีอุปกรณ์เสริมมากมาย เช่น สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ มีฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ เพื่อตัดแสง มีแบตเตอรี่คลิปช่วยให้ถ่ายภาพได้นานขึ้น

2.2 ดาวแปรแสง

ดาวแปรแสง (Variable Star) คือดาวฤกษ์ที่มีความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างมากแตกต่างจากดาวฤกษ์ส่วนใหญ่ในท้องฟ้าที่มีสภาพส่องสว่างเกือบคงที่ ดวงอาทิตย์ของเราเป็นตัวอย่างที่ของดาวฤกษ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความสว่างน้อยมาก (โดยปกติเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.1% ในวัฏจักรสุริยะ 11 ปี) ดาวแปรแสงมีทั้งที่เปลี่ยนแปลงความสว่างจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ตัวอย่างดาวฤกษ์ดวงที่เห็นได้ชัดเจนคือ ดาวบีเทลจุส ในกลุ่มดาวนายพรานเป็นดาวยักษ์ใหญ่แดง (Red Supergiant Star) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1,000 เท่า ของดวงอาทิตย์ อยู่ไกลออกไป 640 ปีแสงจึงเป็นดาวฤกษ์ดวงแรกนอกกระบบสุริยะที่เราสามารถวัดขนาดของมันได้สำเร็จ ในปี 1920 และยังเป็นดาวฤกษ์ดวงแรกที่เราสามารถถ่ายภาพขึ้นบรรยากาศได้อีกด้วย สีของดวงดาวที่เปลี่ยนไป เกิดจากอุณหภูมิลดลงที่ชั้นนอกของดาวในขณะที่ขยายขนาดออกไป ซึ่งบางครั้งจะไม่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิ ขนาดและความสว่างจึงไม่คงที่ ดาวบีเทลจุสมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างจากสว่างที่สุดจางลงแล้วกลับมาสว่างที่สุดอีกครั้งทุกๆ 5.8 ปี ดาวแปรแสงสามารถแบ่งได้ 2 พวก คือ intrinsic และ extrinsic

- 1) ดาวแปรแสงชนิด intrinsic คือดาวฤกษ์ที่มีการแปรแสงเกิดจากความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพภายในของดาวเอง แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยได้แก่

1.1) Pulsating variables คือดาวฤกษ์ที่มีการขยายรัศมีใหญ่ขึ้นอันเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการวิวัฒนาการตามอายุของดาว

1.2) Eruptive variables คือดาวฤกษ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันที่พื้นผิวของดาว เช่น การเกิด flare หรือการพวยพุ่งของมวลดาว

1.3) Cataclysmic หรือ explosive variables คือดาวฤกษ์ที่กำลังเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง cataclysmic เช่น การเกิดโนวาหรือซูเปอร์โนวา

2) ดาวแปรแสงชนิด extrinsic คือดาวฤกษ์ที่มีการแปรแสงเกิดจากคุณสมบัติภายนอกของดาว เช่น การหมุน การเกิดคราสแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

2.1) การเกิดคราสของดาวคู่หรือดาวแฝด ซึ่งจากมุมมองบนโลกจะมองเห็นดาวฤกษ์บังกันและกัน เป็นบางครั้งตามรอบของการโคจร

2.2) ดาวแปรแสงจากการหมุน คือดาวฤกษ์ที่มีการแปรแสงอันเกิดปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของดาว ตัวอย่างเช่น ดาวฤกษ์ที่มีจุดมืดขนาดใหญ่มา ๆ จะส่งผลกระทบต่อความสว่างที่ปรากฏออกมา หรือ ดาวฤกษ์ที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองเร็วมากก็สามารถมองเห็นเป็นรูปทรงอย่างไข่ได้

2.3 ระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่ (Binary Systems) เป็นระบบดาวที่ประกอบด้วย สมาชิกที่เป็นดาวฤกษ์ 2 ดวงอยู่ภายใต้สนามความโน้มถ่วงซึ่งกันและกันดังนั้นดาวฤกษ์ทั้งสองดวงในระบบดาวคู่จึงโคจรรอบกัน ในบรรดาดาวฤกษ์ทั้งหมดพบว่าประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่าเป็นระบบดาวคู่โดยทั่วไปแล้วสมาชิกทั้งสองดวงของระบบดาวคู่จะถือกำเนิดในกลุ่มก๊าซเดียวกันดังนั้นสมาชิกแต่ละดวงจึงมีอายุและองค์ประกอบเริ่มต้นเหมือนกันสมาชิกแต่ละดวงของระบบดาวคู่จะมีวิวัฒนาการที่เป็นอิสระต่อกันขึ้นอยู่กับมวลและองค์ประกอบของดาว การจำแนกระบบดาวคู่ ระบบดาวคู่ที่ปรากฏโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ

1) ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binary Systems) เป็นระบบดาวคู่ที่มองดูผ่านกล้องโทรทรรศน์หรือบางกรณีด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นดาวสองดวงอย่างชัดเจน

2) ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Close Binary Systems) เป็นระบบดาวคู่ที่มองดูด้วยตาเปล่าหรือผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เพียงใดก็ตาม จะเห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียวเท่านั้น เนื่องจากดาวทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนกล้องโทรทรรศน์ไม่สามารถแยกภาพได้

อย่างไรก็ตามในการศึกษาระบบดาวคู่ นักดาราศาสตร์ยังพยายามจำแนกชนิดของระบบดาวคู่ย่อยลงไปอีก เพื่อให้มีความชัดเจนมากขึ้น โดยการจำแนกนั้น นักดาราศาสตร์ได้กำหนดไว้หลายรูปแบบ กล่าวคือ จำแนกตามลักษณะที่ค้นพบหรือลักษณะที่ศึกษา จำแนกตามสถานะ

กายภาพปัจจุบันของระบบดาวคู่ และ จำแนกตามช่วงของการวิวัฒนาการ การจำแนกตามลักษณะที่ค้นพบหรือลักษณะที่ศึกษา มีดังนี้

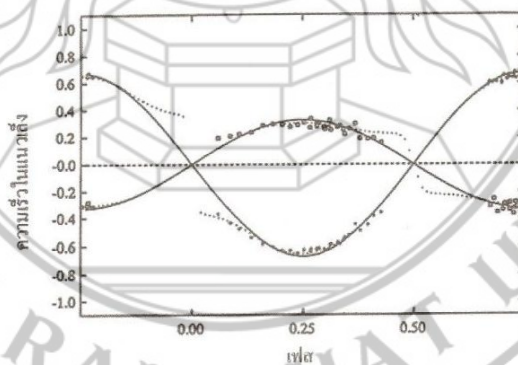
1) ระบบดาวคู่ที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะร่วมกัน (Common Proper Motion Pairs) ซึ่งเป็นสมาชิกสองดวง ที่มองเห็นแยกกันและมีการเคลื่อนที่ในแนวขวางไปพร้อม ๆ กัน มีคาบวงโคจรยาวนานมากจนไม่อาจสังเกตการเคลื่อนที่บนวงโคจรรอบกันได้

2) ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binaries) ซึ่งเป็นสมาชิกสองดวงที่มองเห็นแยกกันได้และสามารถสังเกตเห็นการโคจรของสมาชิกทั้งสองดวงรอบกันได้

3) ระบบดาวคู่แบบการวัดดาราศาสตร์ (Astrometric Binaries) ซึ่งสมาชิกดวงหนึ่งมีความสว่างมากกว่าสมาชิกอีกดวงหนึ่ง ทำให้สังเกตเห็นสมาชิกดวงที่สว่างได้เพียงดวงเดียวเท่านั้น จากการสังเกตการณ์สมาชิกดังกล่าวจะมีการเคลื่อนที่ส่ายเป็นคาบ (Oscillatory Motion) รอบสมาชิกอีกดวงหนึ่งซึ่งมองไม่เห็น

4) ระบบดาวคู่สเปกตรัม (Spectrum Binaries) จะไม่สามารถสังเกตเห็นสมาชิกทั้งสองดวงแยกกันได้ (เห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียว) แต่เมื่อถ่ายภาพสเปกตรัมพบว่า มีชุดสเปกตรัม 2 ชุดซ้อนกันอยู่ และเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งยังเป็นชั้นสเปกตรัมที่แตกต่างกันด้วย และมีการเลื่อนของดอปเปลอร์ในทิศตรงกันข้าม

5) ระบบดาวคู่สเปกโทรสโคปี (Spectroscopic Binaries) ไม่สามารถสังเกตเห็นสมาชิกทั้งสองดวงแยกกันได้เช่นกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบของความเร็วในแนวเล็งของสมาชิกแต่ละดวงซึ่งสามารถนำมาสร้าง กราฟความเร็วในแนวเล็ง (Radial Velocity Curve) ได้การสังเกตการณ์ระบบดาวคู่สเปกโทรสโคปี จำเป็นต้องใช้เครื่องสเปกโตรกราฟความละเอียดสูงต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่

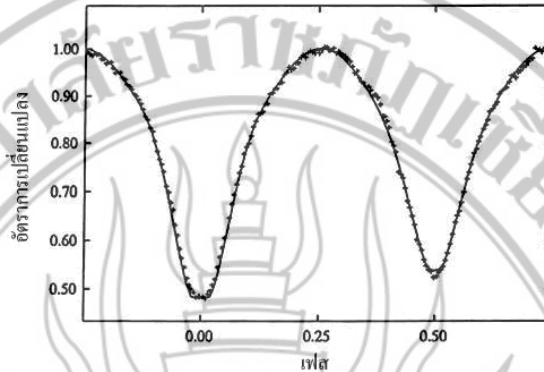


รูปที่ 2.2 ความเร็วในแนวเล็งของระบบดาวคู่

ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

6) ระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binaries) จะสังเกตเห็นเป็นดาวดวงเดียวเท่านั้นเนื่องจากสมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมาก ระนาบวงโคจรของระบบดาวคู่เกือบอยู่ในแนวสายตาทำให้

สามารถสังเกตเห็นการแปรแสงอันเป็นผลมาจากดาวทั้งสองดวงเคลื่อนที่บังกันสามารถนำมาสร้างกราฟแสง (Light Curve) ได้ดังรูปที่ 2.3 (บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550)

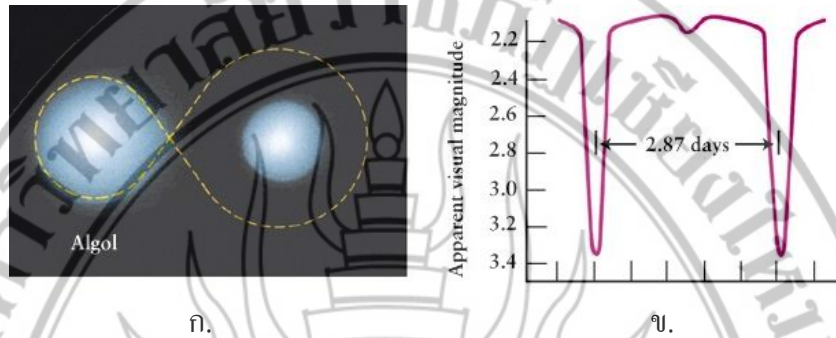


รูปที่ 2.3 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา
ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

สำหรับการจำแนกระบบดาวคู่ตามสถานะทางกายภาพปัจจุบันนั้น มักจะพิจารณาในเทอมของมวลของสมาชิกแต่ละดวงเนื่องจากมวลของดาวฤกษ์จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ รวมทั้งสถานะของดาวฤกษ์ในช่วงวิวัฒนาการใดๆอีกด้วย มวลของสมาชิกของระบบดาวคู่ที่นี้อาจมีช่วงตั้งแต่ 0.085 ถึงมากกว่า 100 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ และการวิวัฒนาการของสมาชิกอาจมีสถานะตั้งแต่เป็นดาวก่อนเข้าสู่แถบลำดับหลักรวมถึงสถานะตอนเป็นซากของดาวด้วย การจำแนกระบบดาวคู่ในลักษณะเช่นนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อ ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด

ส่วนการจำแนกระบบดาวคู่ตามช่วงของการวิวัฒนาการ จะจำแนกตามการสังเกตการณ์ว่าขณะนั้นระบบดาวนั้นอยู่ในขั้นตอนไหนของการวิวัฒนาการ แล้วจะกำหนดระยะดาวนั้นเป็นต้นแบบ (Prototype) และระบบดาวคู่อื่นที่มีคุณสมบัติเหมือนหรือคล้ายกับระบบดาวต้นแบบก็จำแนกประเภทตามระบบดาวต้นแบบนั้น เช่น ระบบดาวคู่แบบ บีตา ไลรี (Beta Lyrae) เป็นระบบดาวคู่ที่สมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมากมีการถ่ายเทมวลของสมาชิกที่มากกว่าไปสู่สมาชิกอีกดวงหนึ่งอย่างรวดเร็ว ส่วนระบบดาวคู่แบบอัลกอล (Algol) เป็นระบบดาวคู่ที่สมาชิกดวงหนึ่งเป็นดาวยักษ์แดงกำลังถ่ายเทมวลอย่างช้า ๆ ไปสู่สมาชิกอีกดวงหนึ่งซึ่งมีมวลมากกว่า เป็นต้น ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด ระบบดาวคู่เป็นระบบดาวที่ประกอบด้วยสมาชิกตั้งแต่ 2 ดวงขึ้นไป โคจรรอบกันภายใต้แรงโน้มถ่วงร่วมกัน (Mutual Gravitational Attraction) แรงโน้มถ่วงดังกล่าวเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบวงโคจรของระบบดาวคู่และคุณสมบัติทางกายภาพ ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1) ประเภทอัลกอล (Algol) หรือเรียกว่าชั้น EA เป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดที่มีจำนวนมากที่สุด ประกอบด้วยดาว 2 ดวง ที่อยู่ห่างกันพอสมควรเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semidetached Binaries)

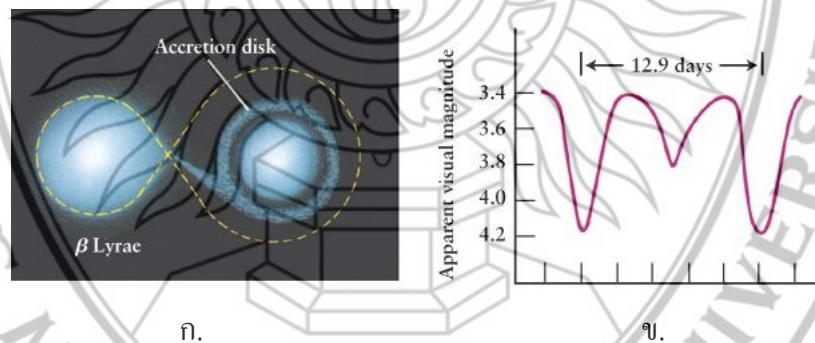


รูปที่ 2.4 ก. ระบบดาวคู่ประเภทอัลกอล ข. กราฟแสงของระบบดาวคู่ประเภทอัลกอล

ที่มา : **Binary Star**. วันที่สืบค้น ตุลาคม , 17 2559. เข้าถึงได้จาก

<http://www.profljohn.com/courses/ast1004/binaries/binaries.html>

2) ประเภทบีตาไลรี (Beta Lyrae) หรือเรียกว่าชั้น EB ประกอบด้วยสมาชิก 2 ดวงที่เป็นดาวยักษ์ (Giants) หรือดาวยักษ์ใหญ่ (Supergiants) ที่มีความหนาแน่นต่ำและมีขนาดไม่เท่ากัน สมาชิกอยู่ไม่ห่างกันมาก ก่อให้เกิดแรงโน้มถ่วงระหว่างกันสูง ทำให้ดาวมีรูปร่างรี (Oval Shape)

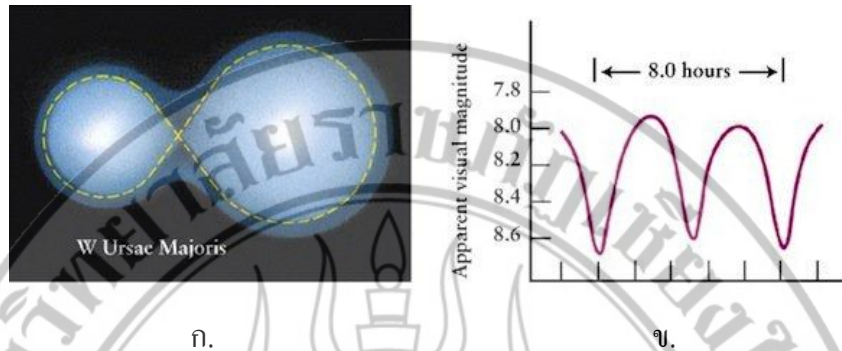


รูปที่ 2.5 ก. ระบบดาวคู่ประเภทบีตา ไลรี ข. กราฟแสงของระบบดาวคู่ประเภทบีตา ไลรี

ที่มา : **Binary Star**. วันที่สืบค้น ตุลาคม , 17 2559. เข้าถึงได้จาก

<http://www.profljohn.com/courses/ast1004/binaries/binaries.html>

3) ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ (W Ursa Majoris , W Uma) หรือเรียกว่าชั้น EW ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆกับประเภท บีตา ไลรี แต่สมาชิกทั้ง 2 ดวง จะเป็นดาวแคระ (Dwarfs) มีขนาดและความสว่างพอๆกัน สมาชิกทั้ง 2 ดวง อยู่ใกล้กันมากจนบางครั้งเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน (Contact Binaries) รูปร่างของสมาชิกแต่ละดวงจึงบิดเบี้ยวมาก



ก.

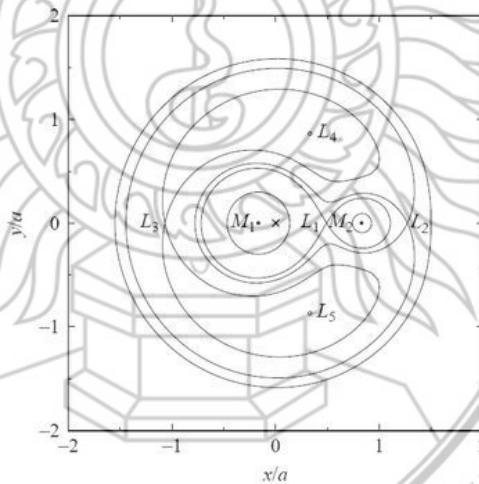
ข.

รูปที่ 2.6 ก. ระบบดาวคู่ประเภท ดับเบิลยูเออร์ซามาเจอร์ริส ข. กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา
ประเภทดับเบิลยูเออร์ซามาเจอร์ริส

ที่มา : Binary Star. วันที่สืบค้น ตุลาคม , 17 2559. เข้าถึงได้จาก

<http://www.projohn.com/courses/ast1004/binaries/binaries.html>

ในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดใด ๆ อาจสร้างผิวสมมติบริเวณระบบดาวคู่ดังกล่าวซึ่งทุกจุดบน
ผิวสมมตินี้จะมีค่าศักย์เท่ากันหมดเรียกผิวสมมติในลักษณะเช่นนี้ว่า ผิวสมศักย์



รูปที่ 2.7 แนวเส้นสมศักย์ สำหรับระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดแสดงให้เห็น จุดลากรางจ์ จำนวน 5 จุด

ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

และจากรูปที่ 2.8 แสดงแนวเส้นสมศักย์ของผิวสมศักย์ในระนาบ 2 มิติ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณที่ใกล้
ดาวแต่ละดวงมากๆ ผิวสมศักย์จะมีลักษณะเป็นผิวทรงกลมรอบมวล M_1 และ M_2 ณ จุดที่ไกลออกมา
ผลของความโน้มถ่วงของดาวแต่ละดวงมีลักษณะเป็นหยดน้ำ (Teardrop Shapes) ถ้ายิ่งห่างออกมา
เรื่อยๆ ผิวสมศักย์รูปหยดน้ำตาจะแตะกันที่จุดลากรางจ์ด้านใน ทำให้เกิดแนวเส้นสมศักย์ที่มี
รูปเลขแปด (Figure Eight) เรียกพื้นผิวลักษณะนี้ว่า ผิวห่อหุ้มของโรช (Roche Lobes) และเมื่อเรา

พิจารณาดำแหน่งที่ห่างออกไปอีกผิวสัมผัสจะมีลักษณะเป็น รูปดัมเบล (Dumbbell Shapes) หากพิจารณาที่ยังห่างออกมาอีก

จุด L_1 , L_2 และ L_3 เป็นจุดที่มีชื่อเรียกว่า จุดลากรางจ์ (Lagrangian Points) ซึ่งสัณยเนื่องจากความโน้มถ่วง จะสมดุลพอดีกับสัณยเนื่องจากแรงศูนย์กลาง และจะเห็นได้ว่าจุด L_1 , L_2 และ L_3 เป็นจุดสมดุลที่ไม่เสถียร ถ้ามีแรงเพียงเล็กน้อยมากระทำต่อมวลทดสอบ (m) ซึ่งอยู่ ณ จุดเหล่านี้ มวล m อาจเคลื่อนที่เข้าหามวล ได้ทันที

สมาชิกแต่ละดวงของระบบดาวคู่ M_1 และ M_2 จะมีวิวัฒนาการที่เป็นอิสระต่อกันขึ้นอยู่กับมวลและองค์ประกอบของดาว ซึ่งจำแนกระบบดาวคู่ออกเป็น 3 ชนิด ดังรูปที่ 2.9 คือ

1) ระบบดาวคู่แบบแยกกัน (Detached Binary) เป็นระบบดาวคู่ที่สมาชิกทั้งสองดวงยังไม่เต็มผิวห่อหุ้มของโรซ ดังนั้น ดาวทั้งสองดวงยังคงแยกกันโดยเด็ดขาดและมีปฏิกิริยาต่อกันได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างกันเท่านั้น

2) ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-detached Binary) เป็นระบบดาวคู่ที่มีสมาชิกดวงใดดวงหนึ่งยังขยายตัวไม่เต็มผิวห่อหุ้มของโรซ ในขณะที่สมาชิกอีกดวงหนึ่งยังขยายตัวไม่เต็ม ซึ่งระบบดาวคู่ประเภทนี้ สมาชิกตัวที่ขยายตัวเต็มผิวจะถ่ายเทมวลสู่สมาชิกอีกดวงหนึ่งได้

3) ระบบดาวคู่แบบแตะกัน (Contact Binary) ระบบดาวคู่ประเภทนี้สมาชิกทั้งสองดวงจะขยายตัวเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ และถ้าขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สมาชิกทั้งสองดวงจะหลอมรวมกันอยู่ภายในผิวห่อหุ้มร่วม (Common Envelope)



รูปที่ 2.8 การจำแนกชนิดของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด 3 ชนิด คือ ระบบดาวคู่แบบแยกกัน

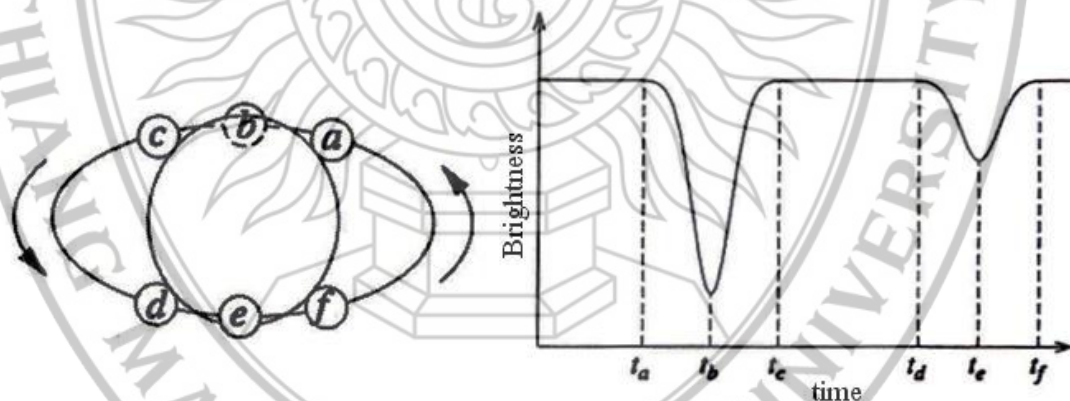
ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน และระบบดาวคู่แบบแตะกัน

ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

2.4 การวิเคราะห์กราฟแสงของดาวคู่อุปราคา

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลที่ได้จากการบันทึกการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงจากระบบดาวคู่ที่เวลาต่าง ๆ กัน กราฟแสงที่ได้คือกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ (Observational Light Curve) โดยปัจจุบันนักดาราศาสตร์ได้กำหนดให้แกนอนเป็นเฟส (Phase) และให้แกนตั้งเป็นค่าความสว่าง (Brightness) หรือค่าแมกนิจูด (Magnitude) ที่ได้จากการสังเกตการณ์ผ่านความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

สำหรับดาวคู่อุปราคาจัดเป็นดาวแปรแสงที่มีกลไกการแปรแสงเกิดจากการโคจรบังกันระหว่างดาวตามแนวสังเกตจากโลกทำให้ความสว่างปรากฏเปลี่ยนไปตามเวลาในลักษณะเป็นคาบ ซึ่งในเวลา 1 คาบกราฟแสงจะแสดงค่าความสว่างต่ำสุด 2 ครั้งที่มีความลึกของกราฟแสงไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.10 โดยตำแหน่งที่ค่าความสว่างปรากฏต่ำสุดจะเกิดอุปราคาปฐมภูมิขึ้นเมื่อดาวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบังอยู่ด้านหน้าดาวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเรียกว่าเวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิว่า ค่าเวลาที่แสงต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary Minimum, Min I) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความสว่างปรากฏต่ำรองลงมาจะเกิดอุปราคาทุติยภูมิเกิดขึ้นเมื่อดาวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบังอยู่ด้านหน้าดาวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเรียกเวลาที่เกิดอุปราคาทุติยภูมิว่า เวลาที่แสงต่ำสุดทุติยภูมิ (Secondary Minimum, Min II) และความสว่างปรากฏจะค่อนข้างคงที่เมื่อไม่เกิดอุปราคา (อาทิตย สถิรตนากุล, 2545)



รูปที่ 2.9 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา เมื่อมุมเอียงมีค่าน้อยกว่า 90 องศา

ความสว่างของดาวที่มีความลึกไม่เท่ากัน

ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

ดังนั้นช่วงเฟสของวงโคจรมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 การคำนวณเฟสของวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาต้องเทียบวันจูเลียนศูนย์สุริยะ ณ เวลาที่แสงของระบบดาวคู่อุปราคาน้อยที่สุดที่เคยมีผู้

สังเกตการณ์หาไว้แล้วในอดีต เรียกค่าเวลาดังกล่าวว่ายุค (Epoch) ของการสังเกตการณ์กับวันจูเลียนศูนย์สุริยะ ณ เวลาที่แสงน้อยที่สุดในการสังเกตการณ์ครั้งล่าสุดรวมทั้งคาบของวงโคจร (รณกฤต รัตนมาลา, 2552)

ในการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่อุปราคาในระบบหนึ่งอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน กราฟแสงที่ได้จะถูกนำมาหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum) ที่มีหลายๆค่าซึ่งค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดเหล่านี้จะมีลักษณะที่เป็นคาบ ที่มีค่าเท่ากับคาบการโคจรของระบบดาวคู่ดังกล่าว

$$\text{Min I} = \text{HJD}_0 + P_0 E \quad (2.1)$$

เมื่อ Min I คือ เวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิ ในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ
 HJD_0 คือ เวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิที่ใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ
 P_0 คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ ณ เวลาที่ใช้อ้างอิง
 E คือ Epoch หรือจำนวนคาบที่ผ่านไปเมื่อพิจารณาจาก HJD_0 โดยที่ Epoch นี้ค่า HJD_0 มีค่าเท่ากับศูนย์

สำหรับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่จะใช้แผนภาพ O - C ในการอธิบาย โดย

$$O = \text{HJD}_0 + P(E)E \quad (2.2)$$

$$C = \text{HJD}_0 + P_0 E \quad (2.3)$$

เมื่อ O คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ที่ได้จากการสังเกตการณ์
 C คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ที่ได้จากการคำนวณ
 $P(E)$ คือ คาบที่วัดได้จากการสังเกตการณ์

เมื่อนำสมการที่ (2.2) ลบด้วยสมการที่ (2.3) จะได้

$$O - C = P(E)E - P_0 E \quad (2.4)$$

ถ้าแผนภาพ O - C มีการกระจายแบบพาราโบลาจะได้

$$O - C = aE^2 + bE + C = P(E)E - P_0 E \quad (2.5)$$

Differentiate สมการ (2.5) เทียบกับ E จะได้

$$\frac{dP}{dE} E + P(E)E - P_0 E = 2aE + b \quad (2.6)$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์ทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\frac{dP}{dE} = 2a \quad (2.7)$$

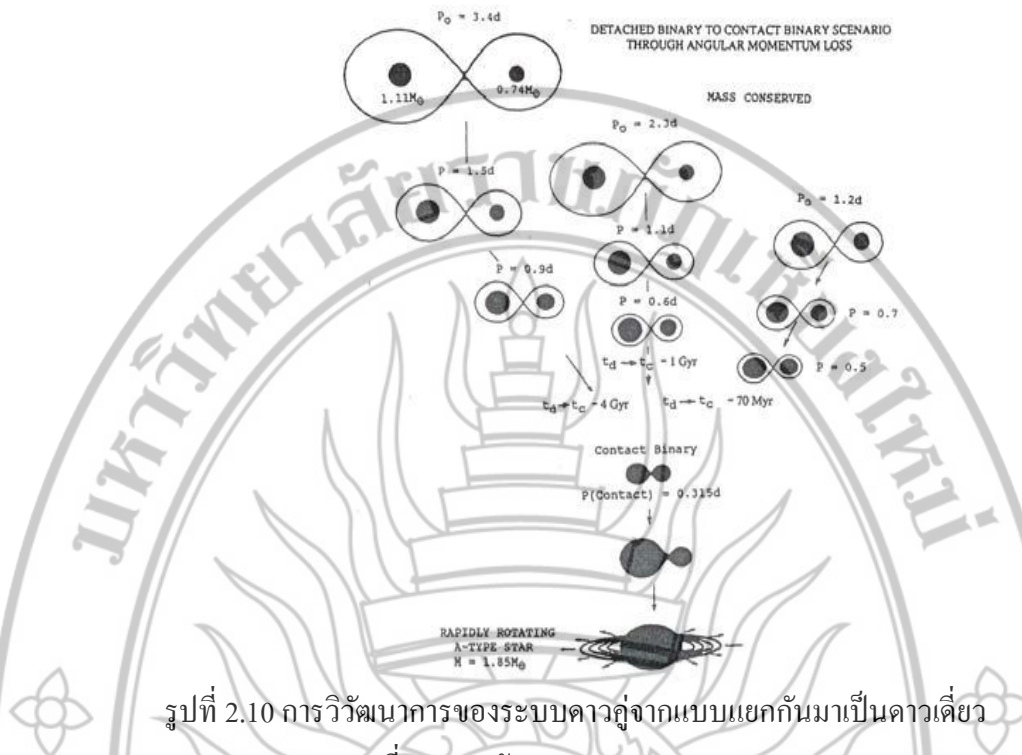
โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ $\frac{dP}{dE}$ นี้มีหน่วยเป็น days/cycle

2.5 วิวัฒนาการของระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวทั้ง 2 ดวงอยู่ใกล้กันจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลเดียวกันแบบระบบดาวคู่แยกกัน ซึ่งต่อมาก็มีการวิวัฒนาการมาเรื่อยๆ จนสมาชิกที่มีมวลมากกว่าวิวัฒนาการเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ (Roche Lobe) แล้วเกิดการถ่ายเทมวลไปสู่ดาวที่มีมวลน้อยกว่าจนกระทั่งดาวทั้ง 2 รวมเป็นดาวฤกษ์ดวงเดียวที่มีการหมุนรอบตัวเองสูงมาก โดยการวิวัฒนาการจะเกิดการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์คแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กของดาวทั้งสองจนมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลงตลอด แสดงว่าคาบของวงโคจรในระบบดาวคู่มีการลดลงเช่นกัน (ตามกฎข้อที่สามของเคปเลอร์) ดังนั้นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของวงโคจรในระบบดาวคู่ที่ลดลงหมายถึงระยะห่างของระบบดาวคู่ใกล้กันมากขึ้น

ระบบดาวคู่ประเภทอัลทอล จะมีแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของวงโคจรที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการหน่วงของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Braking) ของลมดาวฤกษ์และการถ่ายเทมวลระหว่างสมาชิกทั้งสอง

Huang (1966) เสนอว่าการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมโดยการหน่วงของสนามแม่เหล็กน่าจะเป็นกลไกที่มีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้ระยะทางระหว่างสมาชิกทั้งสองดวง และคาบของวงโคจรลดลง ในระบบดาวคู่จะมีแรงไทดัล (Tidal Force) เข้มข้น และทำให้เกิดการคู่ควบระหว่างการหมุนรอบตัวเองและการโคจรรอบกัน (Spin-Orbit Coupling) โดยอัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวจะมีค่าพอๆ กับอัตราการโคจรรอบกัน ดังนั้นเมื่อวงโคจรของระบบดาวคู่ลดลงเรื่อยๆ ดาวสมาชิกก็จะหมุนรอบตัวเองเร็วขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อวงโคจรของดาวลดลงจนคาบการโคจรน้อยกว่า 0.5 วันแล้ว ผลของการแผ่พลังงานของความโน้มถ่วงทั่วไปเชิงสัมพัทธภาพจะมีผลต่อการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่ จะส่งผลให้วงโคจรของระบบดาวคู่ลดลงเรื่อยๆ จนในที่สุดระบบดาวคู่จะหลอมรวมกลายเป็นดาวเดี่ยวที่หมุนรอบตัวเองอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.10 การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่จากแบบแยกกันมาเป็นดาวเดี่ยว

ที่มา : บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550

จากรูปที่ 2.11 แสดงการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ซึ่งเดิมเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน เมื่อผ่านกระบวนการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมจากผลของการหน่วงสนามแม่เหล็ก แล้วเปลี่ยนสภาพไปเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันแล้วหลอมรวมกันจนกลายเป็นดาวเดี่ยวที่หมุนรอบตัวเองเร็วมาก การถ่ายเทมวลในระบบดาวคู่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร ซึ่งในกรณีที่คาบวงโคจรลดลง แสดงว่าสมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมากขึ้น จนในที่สุดอาจวิวัฒนาการเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน ผลที่ตามมาคือ การหมุนรอบตัวเองของสมาชิกแต่ละดวง จะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจร กล่าวคือ ก่อให้เกิดการหน่วงของสนามแม่เหล็กอันเป็นผลจากทอร์กแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำดาวฤกษ์ทั้งสองดวง ในที่สุดจะทำให้โมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่สูญเสียอย่างต่อเนื่องวงโคจรของระบบดาวคู่จึงลดลง (บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ เป็นหลักฐานที่นำไปสู่ทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองมุมมอง คือ

1. มุมมองจากทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)

ทฤษฎีนี้พิจารณาว่า วิวัฒนาการของระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวสองดวงอยู่ใกล้กันมาก จนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน ต่อมาระบบดาวคู่นี้ได้วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ ตั้งแต่การที่สมาชิกดวงที่หนึ่งกลายเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวของชั้นบรรยากาศจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ กลายเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน เกิดการถ่ายเทมวลสาร

ระหว่างกันจนกระทั่งดาวทั้งสองมีอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากัน กลายเป็นระบบดาวคู่แบบตะกั่ว และในที่สุดก็จะค่อยๆ รวมกันเป็นดาวเดี่ยวที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองสูง โดยตลอดวิวัฒนาการจะมีการเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์คแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ซึ่งดาวทั้งสองจะมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลง นั่นหมายถึงค่าการโคจรของระบบดาวจะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นระบบดาวคู่ที่มีแผนภาพ O—C เป็นรูปพาราโบลาคว่ำ จึงเป็นหลักฐานที่รองรับทฤษฎีนี้

2. มุมมองจากทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO)

ทฤษฎีนี้เสนอขึ้นโดย Lucy ในปี ค.ศ. 1976, Flannery ในปี ค.ศ. 1976 และ Robertson และ Eggleton ในปี ค.ศ. 1979 โดยการพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เพิ่งจะตะกั่ว (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้เปรียบเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก จะพบว่า มวลของดาวทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดาวฤกษ์ในแถบกระบวนหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในสมดุลทางอุณหภูมิแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งจะต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองดวงจึงจะอยู่ภายในผิวสมศักดิ์เดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มรวม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวดวงที่หนึ่ง ทำให้ค่าอัตราส่วนมวลมีค่าลดลง ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ จะพบว่า ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประเภทของระบบดาวคู่จากระบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งตะกั่ว และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อย ๆ (ปกิจ สังศิริ , 2552)

ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ จะพบว่า ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประเภทของระบบดาวคู่จากระบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งตะกั่ว และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อย ๆ

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลที่ได้จากการบันทึกการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงจากระบบดาวคู่ที่เวลาต่าง ๆ กัน กราฟแสงที่ได้คือกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ (Observational Light Curve) โดยปัจจุบันนักดาราศาสตร์ได้กำหนดให้แกนนอนเป็นเฟส (Phase) และให้แกนตั้งเป็นค่าความสว่าง (Brightness) หรือค่าแมกนิจูด (Magnitude) ที่ได้จากการสังเกตการณ์ผ่านความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

2.6 สมาชิกดวงที่สาม (Third Body)

ในระบบดาวคู่บางระบบอาจไม่ได้ประกอบไปด้วยสมาชิกเพียงสองดวงเท่านั้นแต่อาจมีดาวฤกษ์หรือดาวเคราะห์ดวงอื่นร่วมอยู่ในระบบด้วยเรียกว่าเป็นดาวพหุ (Multiple Stars) โดยพบว่าประมาณ 1 ใน 5 ของระบบดาวคู่จะเป็นระบบดาวพหุ ซึ่งสมาชิกที่เพิ่มเข้ามานี้โดยมากจะอยู่ห่างจากระบบดาวคู่พอสมควรตั้งนั้นถึงแม้สมาชิกดวงที่เพิ่มเข้ามานี้จะได้อิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของระบบดาวคู่แล้ว โคจรมักจะเสถียรและไม่ได้รับผลกระทบจากวิวัฒนาการของระบบดาวคู่มากนัก

ในการพิจารณาคาบการโคจรของระบบดาวคู่เป็นเวลานาน จะพบการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ในลักษณะเป็นคาบ ซึ่งมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม นอกจากนี้การมีอยู่ของสมาชิกดวงที่สามยังทำให้สมบัติทางกายภาพบางประการของระบบดาวคู่มีค่าเปลี่ยนไป เช่น มวลรวมจะประกอบด้วยมวลของสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ปริมาณแสงที่สังเกตการณ์ได้จะประกอบไปด้วยแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ซึ่งปริมาณแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่สามนั้นถือว่ามีค่าคงที่

ดังนั้น ถ้าแผนภาพ O - C มีลักษณะเป็นคาบหรือมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ในแผนภาพ จะสามารถหาสมการของฟังก์ชันคาบ (Periodic Function) มาอธิบายได้โดยที่คาบของฟังก์ชันนี้จะมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หามวลของสมาชิกดวงที่สามได้ต่อไป (ศิรามาศ โกมลจินดา, 2546)

การเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ โดยการถ่ายเทมวลทั้ง 2 กรณี คือ กรณีอนุรักษ์การถ่ายเทมวล และกรณีที่ไม่อนุรักษ์การถ่ายเทมวล

กรณีไม่อนุรักษ์การถ่ายเทมวลนั้น ดาวสมาชิกทั้งสองดวงมีการขยายตัวล้นผิวห่อหุ้มของโรซ ทำให้ดาวทั้งสองดวงอยู่ในสภาพที่แตะกันมากขึ้นเรื่อยๆ (Over-contact Phase) ดังนั้นนอกจากการถ่ายเทมวลระหว่างดาวทั้งสองดวงผ่านจุดลากรางจ์ L1 แล้วก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีการสูญเสียมวล (Mass Loss) ออกนอกระบบผ่านจุดลากรางจ์ L2 โดยกลไกของลมดาวฤกษ์อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Stellar Winds) มวลที่สูญเสียออกนอกระบบอาจก่อให้เกิดสมาชิกดวงที่ 3 (Third Body) ในระบบดาวคู่ ผลของสมาชิกดวงที่ 3 มีดังนี้

- 1) คาบการโคจร (Period) ของสมาชิกดวงที่ 3 ทำให้ทราบว่าสมาชิกดวงที่ 3 โคจรห่างจากระบบดาวคู่น้อยเท่าใด และมีผลต่อวงโคจรหลักของระบบดาวคู่อย่างไร
- 2) มวล (Mass) ของสมาชิกดวงที่ 3 ทำให้ทราบว่าสมาชิกดวงที่ 3 มีสภาพเป็นอย่างไร เช่น ดาวเคราะห์ หรือซากของดาวฤกษ์

3) มุมเอียงของการโคจร (Inclination) ทำให้ทราบว่าสมาชิกดวงที่ 3 มีวงโคจรทำมุมเท่าใดกับวงโคจรหลักของระบบดาวคู่ ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปว่าสมาชิกดวงที่ 3 น่าจะเกิดจากการสูญเสียมวลของระบบดาวคู่เอง (ในกรณีที่มุมเอียงมีค่าประมาณ 0 องศา กล่าวคืออยู่ในระนาบใกล้เคียงกับระนาบวงโคจรของระบบดาวคู่หลัก) หรือน่าจะเกิดจากกระบวนการจับสมาชิกดวงที่ 3 จากภายนอก (ในกรณีที่มุมเอียงมีค่ามากกว่า 0 องศา กล่าวคืออยู่ในระนาบที่ต่างจากวงโคจรของระบบดาวคู่หลักมาก) (บุญรักษา สุนทรธรรมและคณะ, 2548)

ผลของสมาชิกดวงที่สามที่มีต่อวงโคจรของระบบดาวคู่ระบบดาวคู่ที่มีอยู่ทั้งหมดประมาณ 20% มีสมาชิกดวงที่ 3 (Triple System) หรืออาจมีสมาชิกมากกว่า 3 ดวง (Multiple System) ดังนั้นระบบดาวคู่ทั้งสองดวงหลักก็จะโคจรร่วมกับสมาชิกดวงที่ 3 รอบจุดศูนย์กลางร่วมของระบบ (Barycentre) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วในวงโคจรของระบบดาวคู่และเกิดผลที่เรียกว่า ผลของเวลาที่แสงเดินทาง (Light-Time Effect) ต่อข้อมูลที่สังเกตการณ์ได้ในกราฟแสงและกราฟความเร็วในแนวตั้งของระบบดาวคู่ เนื่องจากคาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่ 3 มักจะมีค่ามากกว่า ดังนั้น จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการโคจรของระบบดาวคู่หลักค่อนข้างน้อย และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวงโคจรหลักในลักษณะการแกว่งที่เป็นคาบ (Periodic Oscillation) ที่มีค่าครึ่งแอมพลิจูด (Semi-amplitude, K_3) โดยอนุโลมว่าระนาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่ 3 ต่างจากระนาบวงโคจรของดาวคู่หลักมาก ค่าครึ่งแอมพลิจูดของการแกว่งที่เป็นคาบก็จะลดลง

ลักษณะการแกว่งเป็นคาบเนื่องจากการโคจรของสมาชิกดวงที่ 3 รอบดาวคู่หลักเช่นนี้ ไม่ได้สังเกตได้จากกราฟความเร็วในแนวตั้ง (Radial Velocity Curve) เท่านั้น แต่อาจสังเกตเห็นได้ในกราฟ O - C ของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าผลของสมาชิกดวงที่ 3 อาจทำให้มุมเอียงของระนาบวงโคจรของระบบดาวคู่หลักเปลี่ยนไปได้ด้วย ทำให้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความลึกของอุปราคาอย่างต่อเนื่อง (บุญรักษา สุนทรธรรมและคณะ, 2548)

2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

อาทิตย์ ฤทธิธนากุล (2545) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบแตะกัน เอเอช ทอรี พบว่า การสังเกตการณ์ด้วยกล้องซีซีดีของระบบดาวคู่เอเอชทอรีซึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันประเภท W UMa ได้ถูกนำเสนอพร้อมกับคำนวณหาค่า time of minimum light โดยแผนภาพ O-C ของการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรได้ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลสังเกตการณ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลลัพธ์ได้แสดงให้เห็นว่าคาบการโคจรของดาวคู่เอเอชทอรีมีการลดลงอย่าง

ต่อเนื่องด้วยอัตรา $dP/dt = -0.01097786$ วินาทีต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณจากกลไกของ ทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านการหน่วงของสนามแม่เหล็ก และนำไปสู่วิวัฒนาการของ ระบบดาวคู่ในมุมมองใหม่ที่มีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

รณกฤต รัตนมาลา (2552) การเปลี่ยนแปลงคาบของการโคจรและการวิวัฒนาการของ ระบบดาวคู่ เอเค คานิส ไมนอริส ณ หอดูดาวสิรินธรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 คำนวณคาบการโคจรได้ 0.5658956 วันจากแผนภาพ O-C สามารถคำนวณอัตราการ เปลี่ยนแปลงคาบของวงโคจรว่ามีคาบลดลงอยู่ระหว่าง 0.000267631 ถึง 0.00388955 วินาทีต่อปีซึ่ง อาจเกิดจากการถ่ายเทมวลในระบบดาวส่งผลให้เกิดการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมและระบบดาวคู่ เอเคคานิส ไมนอริส อาจวิวัฒนาการไปเป็นระบบดาวคู่แบบตะก้นและหลอมรวมเป็นดาวเดี่ยวได้ ตามทฤษฎีการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนิ ได้กราฟแสง สังเคราะห์ที่สอดคล้องกับการสังเกตการณ์เป็นอย่างดีและเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองของ ระบบดาวคู่เอเค คานิส ไมนอริส ด้วยโปรแกรม Binary Maker 3.0 พบว่าระบบดาวคู่ เอเค คานิส ไมนอริส มีลักษณะเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน

เสาวลักษณ์ ปัญญาณี (2558) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบ การแปรแสงของดาว XY Leonis โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ร่วมกับกล้องดิจิตอลDSLR ในวันที่ 10-12 มีนาคม พ.ศ.2558 จากการหาค่าความสว่างของดาว โดย โปรแกรม IRIS แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของดาว XY Leonis พบว่าคาบการโคจรรอบกันประมาณ 0.2841026 วัน และมีช่วงอัตราการโคจรเพิ่มขึ้น 0.00108 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลมาจากการถ่ายเทมวล ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประเภทของดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งตะก้น และ กลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อยๆ ตามทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO) และจากการวิเคราะห์ยังพบว่าค่า O – C มีการเพิ่มขึ้นของคาบการโคจร และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบซ้อนกันอยู่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามที่มีรัศมีวง โคจรอยู่ที่ประมาณ 3.66682 AU และมีคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สามประมาณ 18.78 ปี

วิระภรณ์ ไหมทอง อัญชลี ยะกุนะ และฉัตรชัย เกื้ออินทร์ (2557) การเปลี่ยนแปลงคาบ การแปรแสงของระบบดาวคู่ XY Leonis เอกซ์เรย์ ลีโอนิส โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตรร่วมกับกล้องดิจิตอล DSLR ในวันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ. 2557 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีคาบการโคจรประมาณ 0.2841026 วัน รวมทั้งค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่คำนวณได้ เท่ากับ 2456732.26865 และพบว่า คาบการโคจรของระบบดาวคู่ XY Leonis มีการเพิ่มขึ้นในช่วงอัตรา 4.58555×10^{-4} วินาทีต่อปี

ซึ่งหมายถึงระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเป็นผลมาจากการถ่ายเทมวล ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประเภทของดาวคู่ จากระบบดาวคู่แบบติดกัน ไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตกกัน และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีกสลับกันไปเรื่อยๆ

Liu Qingyao ,Yang Yulan (2003) ปัจจุบันค่าแสงที่มีความสว่างน้อยที่สุดที่ได้จากการศึกษาค้นคว้างานเขียนคือคาบการเปลี่ยนแปลงวงโคจรของระบบดาวคู่ RW Com และ CC Com จากการวิเคราะห์ผลการศึกษพบว่าคาบการเปลี่ยนแปลงคาบของทั้งสองระบบนั้นมีลักษณะเดียวกับการสั่นในช่วงสั้น ๆ และลดลงเรื่อย ๆ สำหรับคาบของ RW Com แสดงให้เห็นว่าลดลงของเรื่อย ๆ ในอัตรา 0.43×10^7 วันต่อปี เป็นระยะเวลา 13.7 ปี และและมีอัตราการซ้อนทับกันลดลง ในส่วนของระบบดาวคู่ CC Com แสดงให้เห็นว่าคาบมีการลดลงในอัตรา 0.40×10^7 วันต่อปีเป็นระยะเวลา 16.1 ปี และมีอัตราการซ้อนทับกันลดลงเช่นกัน คาบที่ลดลงของทั้งสองระบบดาวคู่นี้อาจจะอธิบายได้ด้วยอัตราการถ่ายโอนมวลโดยของระบบดาวคู่ RW Com มีค่า 0.29×10^7 เมตรต่อปี และ 0.52×10^7 เมตรต่อปี สำหรับ CC Com คาบการสั่นในระยะสั้น ๆ ของทั้งสองระบบอาจจะอธิบายได้ด้วยรูปแบบการทำงานของวงจรแม่เหล็กที่กำหนดโดยแอปเปิลเกต , และค่าพารามิเตอร์สำหรับรูปแบบวงจรการทำงานของแม่เหล็กที่ถูกเสนอมา.

Otto Struve (1950) ระบบดาวคู่ RW Coma Berenices มีคาบการโคจรเพียง 0.237 วัน เป็นระบบดาวคู่อุปราคา ประเภทดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ิส เงามที่บังกันอยู่ในกลุ่ม G2 แมกนิจูดปรากฏที่สว่างมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 11.3 ส่วนที่สว่างน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 12.03 และ 11.86 ผู้ทำการวิจัยสังเกตดาวที่หอดูดาว McDonald ในเดือนมกราคม ปี 1950 พบว่าการกระจายตัวในครั้งนี้คือ 100 A/mm ที่ความยาวคลื่น 3933 ดาวทั้ง 2 ดวงนี้ ไม่ได้แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ในขณะที่ออกห่างจากกัน เพราะมีความเชื่อมกันอยู่ที่น่าสนใจคือส่วนที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นกลางของแนว Ca II , กับการที่มองเห็นช่วงกลางได้อย่างชัดเจน การดูคลื่นผสมผสานของแฉะระหว่างดาวทั้งสอง ส่วนที่ 1 แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ ที่คล้ายคลึงกับสเปกตรัมของระบบดาวคู่อุปราคา ประเภทดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ิสขณะแยกออกจากกัน ที่ระยะ 0.25 และ 0.75 P , นับจากกลางคราสที่ 0 เส้นที่แยกออกจากกันดูเบาบาง และยากที่จะมองเห็น ในบางช่วงของแผ่นภาพสเปกตรัมของผู้ทำการวิจัยโครงสร้างดูซับซ้อน และเป็นไปได้ว่า ดาวทั้งคู่ ปลดปล่อยก๊าซ Ca ออกมาขณะที่ส่องแสง ในกรณีของระบบดาวคู่อุปราคา ประเภทดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ิส การเคลื่อนที่ออกห่างจากกันดูเหมือนจะมีส่วนเกี่ยวข้องน้อยมากในระบบนี้ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า ดาวคู่อุปราคา ประเภทดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ิส ควรได้รับการพิจารณา เกี่ยวกับอาการที่วงแหวนก๊าซปรากฏออกมา คล้ายคลึงกับปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง เพื่อหาข้อสรุปของแนวการดูคลื่นก่อนหน้านี้.

Lucy และคณะ (1678) ได้เสนอแบบจำลองของระบบดาวคู่ผ่านทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO) โดยพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เริ่มแตะกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพัทธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้ เมื่อเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก พบว่ามวลของดาวทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่ามวลของดาวในแถบหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในแถบกระบวนหลักแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองจึงจะอยู่ในผิวสัมผัสเดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มรวม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวอีกดวงหนึ่ง ทำให้อัตราส่วนมวลมีค่าลดลง

Qian Shengbang (2002) แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ชนิด W Uma ที่มีคาบการโคจรในระยะเวลาสั้น ๆ อย่าง CE Leo และ RW Com จากการพิจารณาแนวโน้มทั่วไปของเส้นโค้งบนกราฟ O-C พบว่ามีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ RW Com คาบแสดงให้เห็นถึงการลดลงด้วยอัตรา -6.06×10^{-8} วัน/ปี และมีการสั้นเล็กน้อยของแอมพลิจูดซ้อนทับอยู่ สำหรับ CE Leo คาบมีการเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $+7.20 \times 10^{-7}$ วัน/ปี มวลขององค์ประกอบหลัก ของระบบดาวคู่ชนิด W Uma ทั้งสองเกือบจะเหมือนกัน และสิ่งสำคัญที่ทำให้ระบบทั้งสองแตกต่างกันคือ อัตราส่วนระหว่างมวล (RW Com มีค่า $q = 0.34$ และ CE Leo มีค่า $q = 0.50$) คาบที่ต่างกันอาจมีผลมาจากอัตราส่วนระหว่างมวลของทั้งสองระบบ การันตชนี้ตรงกับข้อสรุปของ Qian (2001) ว่า ดาวฤกษ์ชนิด W ที่มีอัตราส่วนระหว่างมวลสูง ($q > 0.4$) มักจะแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของคาบ ในขณะที่คาบของดาวฤกษ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างมวลต่ำ ($q < 0.4$) จะมีการลดลง. การสั้นของคาบของ RW Com อาจเกิดจากการมีอยู่ของวัตถุที่สาม หรืออาจเป็นเพราะรอบการทำงานของสนามแม่เหล็ก. การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ทั้งสอง สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี Thermal Relaxation oscillation (TRO) และ ทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML) ตามลำดับ.

R.K. Sriwastava (1987) การศึกษารายละเอียดอุปราคา RS ของระบบดาวคู่ RW Com แสดงให้เห็นถึง แผนภาพ O-C ของ RW Com ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากครั้งแรก โดยความแตกต่างที่เห็นจากแผนภาพ O -C มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 5.5×10^{-7} ถึง 6.4×10^{-6} และ ΔP อยู่ในช่วง 1.3×10^{-7} d ถึง 1.5×10^{-6} d โดยความมากน้อยนั้นหาได้ในช่วงระหว่างปี 1967 ถึงปี 1986 ส่วนหนึ่งของ แผนภาพ O -C นี้แสดงให้เห็น รูปแบบไซน์ (Sinusoidal) ; ดังนั้นจึงเป็นที่สงสัยว่า RW Com อาจจะเป็นระบบดาวสามดวง โดยระยะเวลาที่แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของดาวดวงที่สามนี้ยาวนานเกือบ 16 ปี.