

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ระบบดาวคู่(Binary Systems)

ระบบดาวคู่ เป็นระบบที่ประกอบด้วยสมาชิกสองดวง อยู่ภายใต้สนามความโน้มถ่วงซึ่งกันและกัน สมาชิกของระบบดาวคู่แต่ละดวงต่างก็โคจรรอบจุดศูนย์กลางของมวลร่วมกันในบรรดาดาวฤกษ์ทั้งหมดพบว่าประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่าเป็นระบบดาวคู่

การจำแนกระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่ที่ปรากฏโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ

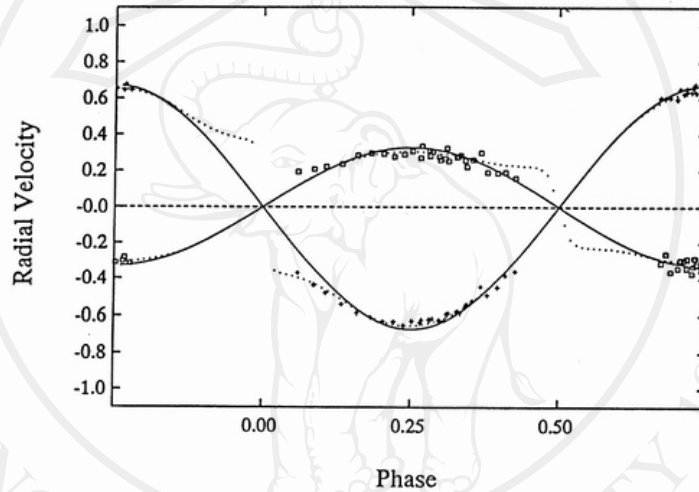
1. ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน(Visual Binary Systems) เป็นระบบดาวคู่ที่มองดูผ่านกล้องโทรทรรศน์หรือบางกรณีด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นดาวสองดวงอย่างชัดเจน
2. ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด(Close Binary Systems) เป็นระบบดาวคู่ที่มองดูด้วยตาเปล่าหรือผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เพียงใดก็ตาม จะเห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียวเท่านั้น เนื่องจากดาวทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนกล้องโทรทรรศน์ไม่สามารถแยกภาพได้

การจำแนกตามลักษณะที่ค้นพบหรือลักษณะที่ศึกษา มีดังนี้

1. ระบบดาวคู่ที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะร่วมกัน(Common Proper Motion Pairs) ซึ่งเป็นสมาชิกสองดวง ที่มองเห็นแยกกันและมีการเคลื่อนที่ในแนวขวางไปพร้อมๆ กัน มีคาบวงโคจรยาวนานมากจนไม่อาจสังเกตการเคลื่อนที่บนวงโคจรรอบกันได้
2. ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน(Visual Binaries) ซึ่งเป็นสมาชิกสองดวงที่มองเห็นแยกกันได้และสามารถสังเกตเห็นการ โคจรของสมาชิกทั้งสองดวงรอบกันได้
3. ระบบดาวคู่แบบการวัดดาราศาสตร์(Astrometric Binaries) ซึ่งสมาชิกดวงหนึ่งมีความสว่างมากกว่าสมาชิกอีกดวงหนึ่ง ทำให้สังเกตเห็นสมาชิกดวงที่สว่างได้เพียงดวงเดียวเท่านั้น จาก การสังเกตการณ์สมาชิกดังกล่าวจะมีการเคลื่อนที่ส่ายเป็นคาบ(Oscillatory Motion) รอบสมาชิกอีกดวงหนึ่งซึ่งมองไม่เห็น
4. ระบบดาวคู่สเปกตรัม(Spectrum Binaries) จะไม่สามารถสังเกตเห็นสมาชิกทั้งสองดวงแยกกัน ได้ (เห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียว) แต่เมื่อถ่ายสเปกตรัมพบว่า มีชุดสเปกตรัม 2 ชุดซ้อนกันอยู่ และเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งยังเป็นชั้นสเปกตรัมที่แตกต่างกันด้วย และมีการเคลื่อนที่ของดอปเปลอร์

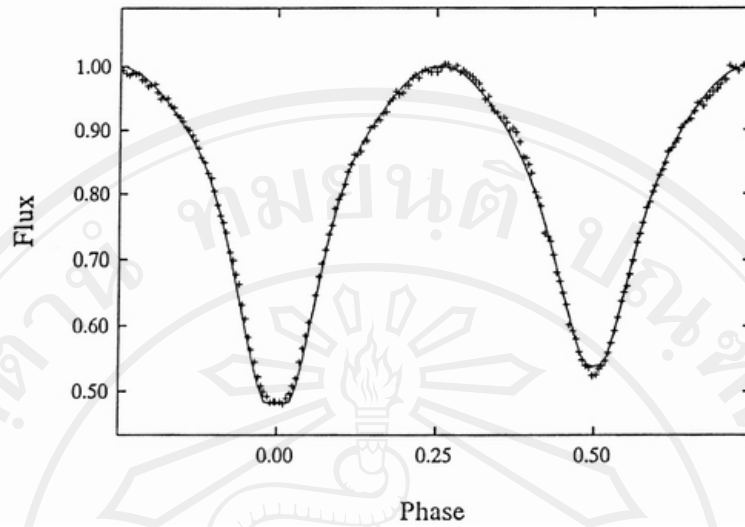
ในทิศตรงกันข้าม แต่สมาชิกทั้งสองดวงในระบบดาวคู่นี้อาจมีวงโคจรรอบกันที่ยาวมาก จึงไม่อาจสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบของความเร็วในแนวเล็ง(Radial Velocity) ของสมาชิกแต่ละดวงได้

5. ระบบดาวคู่สเปกโทรสโคปี(Spectroscopic Binaries) ไม่สามารถสังเกตเห็นสมาชิกทั้งสองดวงแยกกันได้เช่นกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบของความเร็วในแนวเล็งของสมาชิกแต่ละดวงซึ่งสามารถนำมาสร้าง “กราฟความเร็วในแนวเล็ง(Radial Velocity Curve)” ได้ การสังเกตการณ์ระบบดาวคู่สเปกโทรสโคปีจำเป็นต้องใช้เครื่องสเปกโตรกราฟความละเอียดสูงต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่



รูป 2.1 กราฟความเร็วในแนวเล็งของระบบดาวคู่

6. ระบบดาวคู่อุปราคา(Eclipsing Binaries) จะสังเกตเห็นเป็นดาวดวงเดียวเท่านั้น เนื่องจากสมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมาก ระนาบวงโคจรของระบบดาวคู่เกือบอยู่ในแนวสายตา ทำให้สามารถสังเกตเห็นการแปรแสงอันเป็นผลมาจากดาวทั้งสองดวงเคลื่อนที่บังกันสามารถนำมาสร้าง “กราฟแสง(Light Curve)” ได้ (บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550)



รูป 2.2 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา

2.2 ผลของแรงโน้มถ่วงต่อระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดและผิวห่อหุ้มของโรช

การใช้อุปกรณ์บันทึกสัญญาณทั้งโฟโตมิเตอร์และสเปกโตรกราฟ จะทำให้นักดาราศาสตร์สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบวงโคจรของระบบดาวคู่และได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพตลอดจนการเปลี่ยนแปลงพลศาสตร์ของระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ได้เป็น 3 ประเภท คือ

(ก) ประเภทอัลกอล(Algol) หรือเรียกว่าชั้น EA เป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดที่มีจำนวนมากที่สุด โดยที่ดาวดวงหนึ่งจะอยู่ในแถบลำดับหลัก(Main - Sequence) จะมีสเปกตรัมชนิด A หรือ B และอีกดวงหนึ่งจะมีขนาดที่เต็มผิวห่อหุ้มโรช(Roche Lobe) จะมีสเปกตรัมชนิด G หรือ K ซึ่งจัดเป็นดาวประเภทดาวยักษ์เล็ก(Subgiant) ในอดีตทฤษฎีการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่นั้น เชื่อว่าดาวที่มีมวลมากกว่าจะเป็นปัจจัยหลักในการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่จากเกิดจนถึงตาย ซึ่งดาวที่มีความหนาแน่นมากกว่านี้จะหลอมไฮโดรเจนได้เร็วกว่า เพราะว่าดาวที่มีความหนาแน่นมากกว่านั้นจะมีความร้อนมากกว่ารวมถึงสเกลเวลาจะสั้นด้วย ส่วนดาวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่านั้นจะมีการหลอมของไฮโดรเจนช้ากว่า แต่เมื่อได้สังเกตพบปรากฏการณ์ที่ดาวสมาชิกที่มีมวลมากกว่ากลับมีวิวัฒนาการช้ากว่าคู่ของมันที่มีมวลน้อยกว่า(Algol Paradox) ซึ่งขัดแย้งกับวิวัฒนาการของดาวเดี่ยว นักดาราศาสตร์ไม่สามารถหาคำตอบเกี่ยวกับปรากฏการณ์นี้ได้ จนกระทั่ง Kuiper(1941) ได้อาศัยแบบจำลองของโรช(Roche's Model) อธิบายความเป็นไปได้เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพ

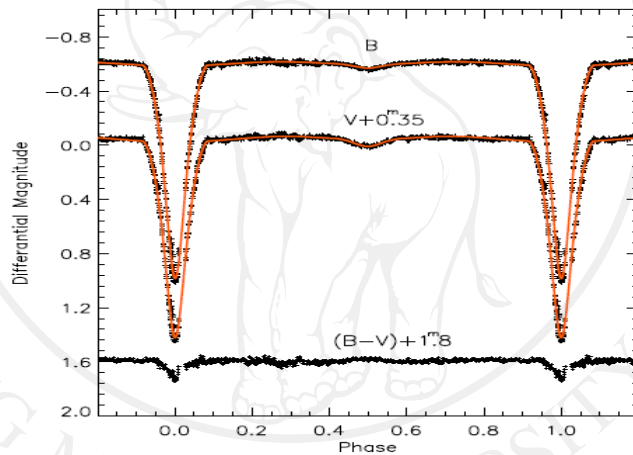
ของระบบดาวคู่ และยังกำหนดจุดลากรางจ์(Lagrangian Point) ขึ้นมาอธิบายสมดุลของระบบ ทำให้การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่เป็นไปอย่างง่ายขึ้น ต่อมา Crawford(1955) และ Morton(1960) ได้อธิบาย Algol paradox โดยแนวความคิดของการถ่ายเทมวลสารของดาวมากกว่าที่มีวิวัฒนาการออกจากแถบลำดับหลักเป็นดาวยักษ์แดงไปสู่คู่ของมันที่มีมวลน้อยกว่าผ่านจุดลากรางจ์ด้านใน (Inner Lagrangian Point) การถ่ายเทมวลสารภายในระบบดาวคู่มีวิวัฒนาการต่างไปจากดาวเดี่ยว หลังจากนั้น Mirek Plavec(1983) ได้ให้นิยามของคำว่า “ผู้สูญเสีย(Loser)” และ “ผู้ได้รับ(Gainer)” ในการนำมาอธิบายกลไกการถ่ายเทมวล สำหรับสมาชิกของระบบดาวคู่ที่สูญเสียมวลจะใช้คำว่า “ดาวที่เสียมวล”(The Mass - Losing Components) และสำหรับสมาชิกที่ได้รับมวลจะใช้คำว่า “ดาวที่ได้รับมวล”(The Mass - Gaining Components) โดยเขาได้อธิบายว่า ดาวยักษ์เล็กซึ่งเป็นผู้สูญเสียมวลมีขนาดเต็มผิวห่อหุ้มโรซ ทำให้มีมวลก๊าซไหลออกจากดาวผ่านจุดลากรางจ์ด้านใน(L_1) อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นมวลสารไหลจากจุดลากรางจ์ด้านใน ไปยังดาวที่เป็นผู้รับซึ่งเป็นดาวในแถบลำดับหลัก(Main - Sequence Star) อย่างช้าๆ ซึ่งแบบจำลองวิวัฒนาการของระบบดาวคู่โดยพิจารณาถึงผลจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างดาวสมาชิกและเงื่อนไขขอบเขตทางฟิสิกส์ได้ถูกนำเสนอโดย Paczynski(1966-1967) และ Kippenhahn et al.(1967) โดยคำนึงถึงหลักการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุมเป็นสำคัญ ทำให้แบบจำลองวิวัฒนาการของดาวคู่ดังกล่าวนี้ ไม่สามารถรวมเป็นดาวดวงเดียวกันได้ แต่การวิวัฒนาการจะสิ้นสุดที่ดาวสมาชิกดวงใดดวงหนึ่งกลายเป็นซากดาวและไม่เป็นคู่อีกต่อไปดังรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคาประเภทอัลกอล

(ข) ประเภทบีตา ไลรี(Beta Lyrae) หรือเรียกว่าชั้น EB ประกอบด้วยสมาชิก 2 ดวงที่เป็นดาวยักษ์(Giants) หรือดาวยักษ์ใหญ่(Supergiants) มีความหนาแน่นต่ำและมีขนาดไม่เท่ากัน สมาชิกอยู่ไม่ห่างกันมาก ก่อให้เกิดแรงโน้มถ่วงระหว่างกันสูง ทำให้ดาวมีรูปร่างรี(Oval Shape) เมื่อพิจารณาลักษณะกราฟแสงจะมีความโค้งสม่ำเสมอและอุปราคาทุติยภูมิเห็นได้ชัดขึ้นกว่าประเภทอัลกอลดังรูปที่ 2.4

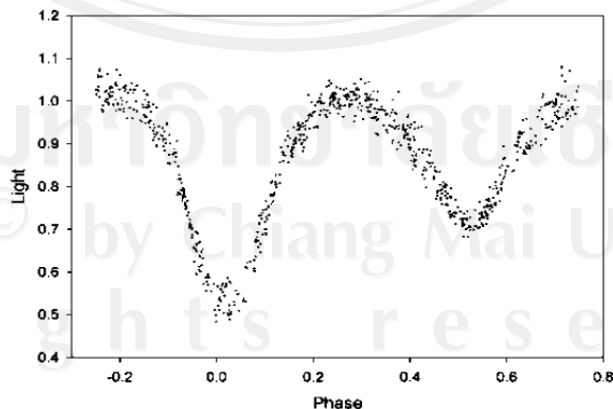
(ค) ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์(W Ursa Majoris) หรือเรียกว่าชั้น EW เป็นระบบดาวที่มีคาบการแปรแสง สมาชิกทั้งสองดวงเป็นดาวแคระ(Dwarfs) มีขนาดและอุณหภูมิพื้นผิวใกล้เคียงกันมาก โดยสมาชิกทั้งสองมีมวลเต็มผิวห่อหุ้มของโรซหรือเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน(Contact Binaries) จึงทำให้รูปร่างของดาวทั้งสองบิดเบี้ยวมาก เมื่อพิจารณกราฟแสงจะโค้งสม่ำเสมอ ความลึกของอุปราคาปฐมภูมิ(Primary Eclipse) และอุปราคาทุติยภูมิ(Secondary Eclipse) มีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 2.5 แต่จากการสังเกตการณ์จะพบความไม่สมมาตรของกราฟแสงในระบบดาวคู่ประเภทนี้มาก ทั้งนี้เนื่องจากดาวทั้งสองดวงมีบรรยากาศร่วมกันและระบบไม่อยู่ในสมดุลความร้อนจึงส่งผลให้ระบบต้องปรับสภาพเข้าสู่สมดุล จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างดาวสมาชิกทำให้

อุณหภูมิที่ผิวของดาวทั้งสองไม่เท่ากัน โดยทั่วไปดาวสมาชิกทั้งสองจะมีชนิดสเปกตรัมอยู่ในระหว่าง F ถึง K โดยสมาชิกทั้งสองจะมีชนิดสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกัน

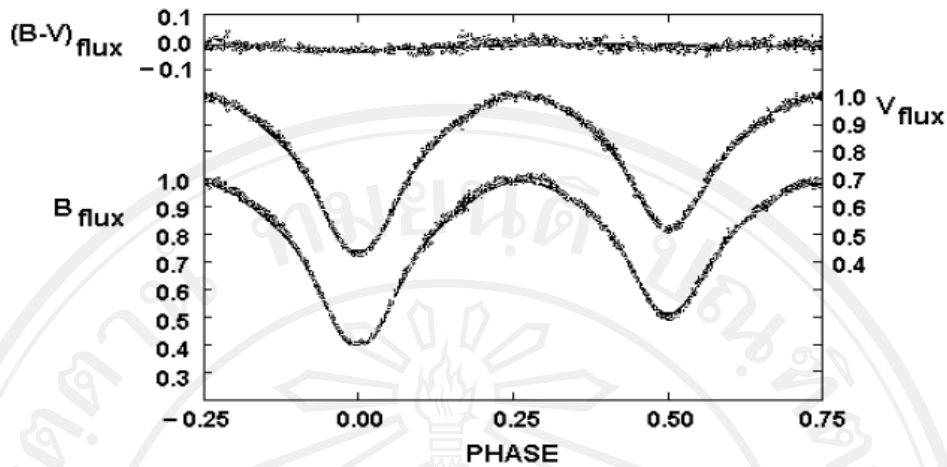
ระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W UMa นี้ สามารถจำแนกออกได้เป็นสองชนิด คือ ชนิด A (A-Subtype) และชนิด W (W-Subtype) โดยชนิด A นั้นสมาชิกดวงที่สว่างกว่าซึ่งถูกบังในช่วงเกิดอุปราคาปฐมภูมิจะมีมวลมากและขนาดใหญ่กว่าสมาชิกอีกดวง ทำให้กราฟแสงช่วงอุปราคาทุติยภูมิมีความแบนกว่าในช่วงเกิดอุปราคาปฐมภูมิ ส่วนชนิด W สมาชิกดวงที่สว่างกว่าจะมีมวลน้อยและขนาดเล็กกว่าสมาชิกอีกดวง ทำให้กราฟแสงอุปราคาปฐมภูมิมีความแบนมากกว่าในช่วงอุปราคาทุติยภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบดาวคู่แบบแตกต่างกันบางระบบอาจเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมา ระหว่างชนิด A ชนิด W ได้อีกด้วย



รูป 2.3 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคาประเภทอัลกอด (E. Soydugan et al, 2002)

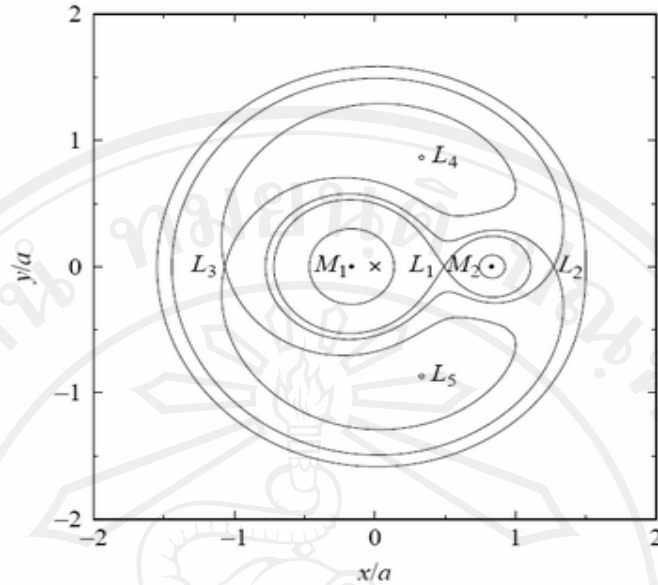


รูป 2.4 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคาประเภทบีตา ไลรี (Dirk Terrell, 2001)



รูป 2.5 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคาประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์(Dirk Terrell, 2001)

เมื่อดาว 2 ดวงอยู่ใกล้ชิดกันมาก จนกระทั่งระยะห่างระหว่างดาวทั้ง 2 ดวง มีขนาดพอๆ กับเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวดวงใหญ่ ในกรณีเช่นนี้แรงโน้มถ่วงจะทำให้ผิวดาวทั้งคู่มีลักษณะบิดเบี้ยว มีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา(Teardrop Shape) และขณะที่ดาวมีการหมุนรอบกัน แรงดึงดูดจะทำให้ดาวสมาชิกที่เป็นคู่ซึ่งกันและกันได้รับแรงไทดัล(Tidal Force) ทำให้ ณ ตำแหน่งใดๆ บนผิวดาวมีการยุบ-ขยายตัวในลักษณะคล้ายน้ำขึ้น-น้ำลงที่เกิดบนผิวโลก ลักษณะเช่นนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุล กล่าวคือ พลังงานของระบบมีค่าน้อยที่สุดและโมเมนตัมเชิงมุมคงที่อันเป็นผลให้ระบบดาวคู่เข้าสู่สภาพการโคจรแบบซิงโครนัส(Synchronous Rotation) โดยที่อัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวจะเท่ากับอัตราการโคจรรอบกันพอดีและวงโคจรจะเป็นวงกลม(Circular Orbit) แรงโน้มถ่วงระหว่างสมาชิกทั้ง 2 ดวงของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด อาจทำให้เกิดการส่งถ่ายมวล(Mass Transfer) จากสมาชิกดวงหนึ่งไปสู่อีกดวงหนึ่งได้



รูป 2.6 แนวเส้นสมศักย์ สำหรับระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดแสดงให้เห็น “จุดลากรานจ์” จำนวน 5 จุด (Carroll and Ostlie, 1996)

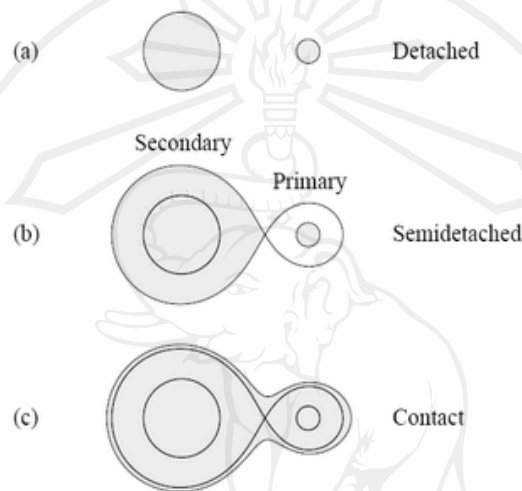
ในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดใดๆ อาจสร้างผิวสมมติบริเวณระบบดาวคู่ดังกล่าว ซึ่งทุกจุดบนผิวสมมติจะมีค่าศักย์เท่ากันหมด เรียกผิวสมมติในลักษณะเช่นนี้ว่า “ผิวสมศักย์ (Equipotential Surface)” และรูปที่ 2.6 แสดงแนวเส้นสมศักย์ของผิวสมศักย์ในระนาบ 2 มิติ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณใกล้ดาวแต่ละดวง ผิวสมศักย์จะมีลักษณะเป็นผิวทรงกลมรอบมวล M_1 และ M_2 ณ จุดที่ไกลออกมาผลของความโน้มถ่วงของดาวแต่ละดวงมีลักษณะเป็น “หยดน้ำตา” ถ้ายิ่งห่างออกมาเรื่อยๆ ผิวสมศักย์รูปหยดน้ำตาจะแตะกันที่จุดลากรานจ์ด้านใน ทำให้เกิดแนวเส้นสมศักย์ที่มี “รูปเลขแปด (Figure-Eight)” เรียกผิวห่อหุ้มนี้ว่า “ผิวห่อหุ้มของโรซ” หรืออาจเป็นผิวสมศักย์ “รูปดัมเบล (Dumbbell Shapes)” หากพิจารณาบริเวณที่ยิ่งห่างออกมาอีก

จากแบบจำลองของโรซสามารถจำแนกระบบดาวคู่อุปราคาออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. ระบบดาวคู่แบบแยกกัน (Detached Binary) เป็นระบบดาวคู่ที่สมาชิกทั้งสองดวงยังไม่เต็มผิวห่อหุ้มของโรซ ดังนั้น ดาวทั้งสองดวงยังแยกกันโดยเด็ดขาด และมีปฏิกริยาต่อกันได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างกันเท่านั้น

2. ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-detached Binary) เป็นระบบดาวคู่ที่มีสมาชิกดวงหนึ่งบรรจุเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ เรียกว่า Contact Component ส่วนสมาชิกอีกดวงยังไม่เต็ม เรียกว่า Detached Component ระบบดาวคู่ชนิดนี้จะมีการถ่ายเทมวลไปยังคู่ของมันได้ และเนื่องจากการวิวัฒนาการของดาวจึงทำให้ดาวเกิดการขยายตัวออกอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงจุด L_1 ซึ่งการ

ขยายตัวนี้จะเป็นไปตามสมดุลทางอุทกพลศาสตร์(Hydrostatic Equilibrium) ณ จุดนี้ก๊าซของ Contact Component จะถูกส่งถ่ายไปยัง Detached Component อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากระบบดาว มีการหมุนรอบซึ่งกันและกัน ดังนั้น จึงเกิดแรง Colioris ที่ทำให้ธารของก๊าซไม่ตกลงสู่ Detached Component โดยตรงแต่บางส่วนจะวกกลับสู่ Contact Component และบางส่วนก็จะวนเข้าสู่ Detached Component



รูป 2.7 การจำแนกชนิดของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด 3 ชนิด คือ ระบบดาวคู่แบบแยกกันระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน และระบบดาวคู่แบบแตะกัน (บุญรักษา สุนทรธรรม,2550)

3. ระบบดาวคู่แบบแตะกัน(Contact Binary) ระบบดาวคู่ประเภทนี้สมาชิกทั้งสองดวง จะบรรจุเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ และอาจลื่นออกมาจากภายนอกทำให้เกิดผิวห่อหุ้มร่วม(Common Envelope) ล้อมรอบดาวทั้งสอง (อานัส เกษา ,2551)

2.3 การสร้างกราฟแสงสักระยะของระบบดาวคู่อุปราคา

ในการวิเคราะห์ห้วงอวกาศประกอบวงโคจรและสมบัติทางกายภาพ ตลอดจนการสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่อุปราคา สิ่งสำคัญจะต้องสร้าง คือกราฟแสงจากการสังเกตการณ์(Observational Light Curves) โดยแกนของกราฟแสง ซึ่งเดิมกำหนดในรูปของ “เวลา” นั้น นักดาราศาสตร์นิยมกำหนดในรูปของ “เฟส(Phase)” ส่วนแกนตั้งอาจอยู่ในรูปของ “กำลังส่องสว่าง” หรือ “โชติมาตร” ณ ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่ทำการสังเกตการณ์

นักดาราศาสตร์นิยามเฟสของวงโคจร(Orbital Phase) ของระบบดาวคู่อุปราคา ดังนี้คือ ในขณะที่ดาวดวงที่สว่างกว่าในระบบดาวคู่นี้ ถูกบังโดยสมาชิกอีกดวงหนึ่งที่สว่างน้อยกว่า ซึ่งเป็นช่วงเกิดอุปราคาปฐมภูมิ(Primary Minimum) เฟสจะมีค่าเท่ากับ 0 และค่าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนค่าความสว่างมากที่สุด ที่เฟสมีค่าเท่ากับ 0.25 ซึ่งเป็นช่วงที่ดาวทั้งสองไม่บังกัน หลังจากนั้นค่าความสว่างจะลดลง จนความสว่างน้อยที่สุดอีกครั้ง ในช่วงเกิดอุปราคาทุติยภูมิ โดยตำแหน่งนี้ เฟสจะมีค่าเท่ากับ 0.5 หลังจากเฟสนี้ความสว่างจะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดอีกครั้ง ที่เฟสมีค่าเท่ากับ 0.75 แล้วกลับไปสู่อุปราคาปฐมภูมิ เป็นการโคจรครบ 1 รอบพอดี และเริ่มนับเฟส 0 ใหม่ในการโคจรบังกันในรอบต่อไป ดังนั้นช่วงเฟสของวงโคจรจึงมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

การวิเคราะห์เฟสของระบบดาวคู่อุปราคา จะต้องคำนวณวันจูเลียน(Julian Date, JD) และวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ(Heliocentric Julian Date) โดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$HJD = JD + \Delta t \quad (2.1)$$

โดย Δt เป็นค่าการแก้ศูนย์กลางสุริยะ(Heliocentric Correction) ซึ่งแปลงเวลาการสังเกตการณ์บนโลก ให้เป็นเวลาการสังเกตการณ์เมื่อยึดตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นจุดอ้างอิง สำหรับการคำนวณค่า Δt นั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta t (\text{วัน}) = -0.0057755[(\cos \sigma \cos \alpha)X + (\tan \varepsilon \sin \sigma + \cos \sigma \sin \alpha)Y] \quad (2.2)$$

ซึ่ง X, Y เป็นพิกัดฉาก(Rectangular Coordinate) ของดวงอาทิตย์ ณ วันที่พิจารณา

α, σ เป็นค่าไรท์ แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดาว ณ วันที่พิจารณา

ε เป็นค่ามุมเอียงของอิกลิปติก ซึ่งมีค่า $23^\circ 27'$

การหาค่าพิกัดฉาก X และ Y ของดวงอาทิตย์ ณ วันที่ทำการสังเกตการณ์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. พิจารณาค่าศตวรรษจูเลียนสัมพัทธ์(Relative Julian Century) จาก

$$T = (J.D. - 2415020)/36525 \quad (2.3)$$

2. หาค่าลองจิจูดสุริยะเฉลี่ย (Mean Solar Longitude) จาก

$$L = 279^\circ .696678 + 36000.76892T + 0.000303T^2 - P \quad (2.4)$$

$$P = [1.396041 + 0.000308(T + 0.5)][T - 0.49998] \quad (2.5)$$

เมื่อ L เป็นค่าลองจิจูดสุริยะเฉลี่ย(Mean Solar Longitude) มีหน่วยเป็นองศา โดย L มีค่าน้อยกว่า 360°

P เป็นค่าการส่าย(Precession) ของแกนหมุนของโลก จากปี ค.ศ. 1950 ถึงวันสังเกตการณ์

3. หาค่าอะนอมัลลีสุริยะเฉลี่ย(Mean Solar Anomaly) จาก

$$G = 358^\circ .475833 + 35999.04975T - 0.00015 T^2 \quad (2.6)$$

เมื่อ G เป็นค่าอะนอมัลลีสุริยะเฉลี่ย(Mean Solar Anomaly) มีหน่วยเป็นองศา และต้องมีค่าน้อยกว่า 360° ถ้าผลการคำนวณโดยอาศัยสมการ (2.6) มีค่ามากกว่า 360° ต้องลบออกจากค่าจำนวนเต็มของ 360

4. หาค่า X และ Y สำหรับปี ค.ศ. 1950.0 จาก

$$X = 0.99986 \cos L - 0.025127 \cos(G - L) + 0.008374 \cos(G + L) + 0.000105 \cos(2G + L) + 0.000063 T \cos(G - L) + 0.000035 \cos(2G - L) \quad (2.7)$$

$$Y = 0.917308 \sin L + 0.023053 \sin(G - L) + 0.007683 \sin(G + L) + 0.000097 \sin(2G + L) - 0.000057 T \sin(G - L) - 0.000032 \sin(2G + L) \quad (2.8)$$

ค่า X และ Y ดังกล่าวแทนในสมการที่ (2.2) ทำให้สามารถหาค่า Δt และจากสมการ (2.1) จะสามารถหาค่าวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะได้

การคำนวณเฟสของวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาแบบใดก็ตาม จำเป็นต้องเทียบวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ ณ เวลาที่แสงของระบบดาวคู่อุปราคาน้อยที่สุดที่เคยมีผู้สังเกตการณ์หาไว้แล้วในอดีต เรียกว่าเวลาดังกล่าว “ยุค(Epoch)” ของการสังเกตการณ์กับค่าวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ ณ เวลาที่แสงน้อยที่สุดในการสังเกตการณ์ครั้งล่าสุด (HJD) รวมทั้งคาบ(Period) ของวงโคจร

สำหรับการคำนวณค่าเฟส (Phase) ของระบบดาวคู่ แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

ก. เมื่อ HJD น้อยกว่า Epoch

$$\text{Phase} = 1 - \text{Fraction Part of} \left[\frac{\text{HJD} - \text{Epoch}}{\text{Period}} \right] \quad (2.9)$$

ข. เมื่อ HJD มากกว่า Epoch

$$\text{Phase} = \text{Fraction Part of} \left[\frac{\text{HJD} - \text{Epoch}}{\text{Period}} \right] \quad (2.10)$$

(บุญรักษา สุนทรธรรมและคณะ , 2545)

2.4 การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา

ในการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่อุปราคาแบบหนึ่งอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน กราฟแสงที่ได้จะถูกนำมาหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum) ที่มีหลายๆ ค่า ซึ่งค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดเหล่านี้จะมีลักษณะที่เป็นคาบ ที่มีค่าเท่ากับคาบการโคจรของระบบดาวคู่ ดังสมการ

$$\text{MinI} = \text{HJD}_0 + P_0 E \quad (2.11)$$

เมื่อ MinI คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดในช่วงอุปราคาปฐมภูมิ ในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ (HJD)

HJD₀ คือ เวลาที่แสงน้อยที่สุดในช่วงอุปราคาปฐมภูมิที่ใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง ในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ

P₀ คือ คาบของวงโคจรของระบบดาวคู่ ณ เวลาที่ใช้อ้างอิง

E คือ Epoch หรือ จำนวนคาบที่ผ่านไป เมื่อพิจารณาจาก HJD₀ โดยที่ HJD₀ นี้มีค่า

$$\text{Epoch} = 0$$

สำหรับระบบดาวคู่อุปราคาหลายๆ ระบบ พบว่าเวลาที่เกิดอุปราคามีค่าไม่เป็นไปตามสมการที่ (2.11) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ สามารถพิจารณาได้ว่า

$$C = \text{HJD}_0 + P_0 E \quad (2.12)$$

และ

$$O = \text{HJD}_0 + P(E)E \quad (2.13)$$

เมื่อ C คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณ

O คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์

P(E) คือ คาบที่วัดได้จากการสังเกตการณ์

นำ (2.13) – (2.12) จะได้

$$O - C = \{P(E) - P_c\}E \quad (2.14)$$

ในที่นี้จะพิจารณาโดยใช้แผนภาพ O-C ที่มีลักษณะเป็นพหุคูณ ซึ่งสมการที่ใช้อธิบายกราฟ คือ

$$O - C = aE^2 + bE + c \quad (2.15)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการ (2.15) และ (2.14) พบว่า

$$\{P(E) - P_c\}E = aE^2 + bE + c \quad (2.16)$$

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.16) เทียบกับ E ได้

$$\frac{dP}{dE}E + \{P(E) - P_c\} = 2aE + b \quad (2.17)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ในสมการ ได้

$$\frac{dP}{dE} = 2a \quad (2.18)$$

และ

$$P(E) - P_c = b \quad (2.19)$$

โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ $\frac{dP}{dE}$ (หน่วย วันต่อรอบ) จะใช้การพิจารณาแผนภาพ O - C โดยหาค่า a จากการใช้ Quadratic Polynomial Fitting method แล้วแทนค่าในสมการ (2.18) (สิริมาศ โกมลจินดา, 2546)

2.5 การเปลี่ยนแปลงคาบเนื่องจากการถ่ายเทมวล

เมื่อระบบดาวคู่มีวิวัฒนาการขยายตัวจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ มวลที่ขยายตัวบางส่วนของดาวจะถ่ายเทสู่ผิวห่อหุ้มของโรซของดาวอีกดวงหนึ่ง อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างดาวคู่ทำให้คาบของวงโคจรมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยการพิจารณาว่าระบบดาวคู่เป็นระบบ two-body rigidly ดังนั้น โมเมนต์ความเฉื่อยของระบบ คือ

$$I = \frac{m_1 m_2 a^2}{m_1 + m_2} \quad (2.20)$$

โดย m_1 และ m_2 คือ มวลของแต่ละสมาชิกในระบบดาวคู่

a คือ ระยะระหว่างสมาชิกทั้งสอง

จากความสัมพันธ์ของโมเมนตัมเชิงมุม (L) และความเร็วเชิงมุม (ω) ในการโคจรที่มีคาบ (P) จะได้

$$L = I\omega \quad \text{และ} \quad \omega = \frac{2\pi}{P}$$

ทำให้ได้ค่าของโมเมนตัมเชิงมุม (L) คือ

$$L = \frac{2\pi m_1 m_2 a^2}{P(m_1 + m_2)} \quad (2.21)$$

และจากกฎข้อที่ 3 ของ เคปเลอร์

$$a^3 = \frac{P^2 G(m_1 + m_2)}{4\pi^2} \quad (2.22)$$

จากสมการ (2.21) และ (2.22) จะได้

$$L^3(m_1 + m_2) = \frac{m_1^3 m_2^3 P G^3}{2\pi} \quad (2.23)$$

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.23) เทียบกับเวลา โดยพิจารณาเงื่อนไขว่าระบบดาวคู่มีการอนุรักษ์ และไม่มีการสูญเสียมวลออกจากระบบ กล่าวคือ

$$\frac{dm_1}{dt} = -\frac{dm_2}{dt} = \frac{dm}{dt}$$

ทำให้ได้

$$\frac{dm}{dt} = \frac{m_1 m_2}{3P(m_1 + m_2)} \frac{dP}{dt} \quad (2.24)$$

จากสมการ (2.24) แสดงว่าถ้ามีการถ่ายเทมวลในระบบดาวคู่จะทำให้คาบวงโคจรเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อมีการถ่ายเทมวลแล้วทำให้อัตราการถ่ายเทมวลลดลง ก็จะทำให้คาบวงโคจรลดลงตามอัตราการถ่ายเทมวล และเมื่อคาบวงโคจรลดลงเรื่อยๆ ก็จะทำให้ระยะห่างของระบบดาวคู่ใกล้กันมากขึ้น (อาทิตย์ ลภีรัตนากุล, 2545)

2.6 เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรีเป็นเทคนิคการวัดค่าความสว่างของดาวแบบหนึ่ง ซึ่งทำได้ง่าย และสามารถลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องมือวัดแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ด้วยการวัดข้อมูลแสงออกมาเป็นค่าผลต่างระหว่างโชติมาตรของวัตถุท้องฟ้าที่ต้องการเก็บข้อมูลกับดาวเปรียบเทียบ(Comparison Star) ที่อยู่ใกล้เคียงในเฟรมของภาพถ่ายเดียวกัน

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรีนิยมใช้มากในการพิจารณาวิวัฒนาการตามเวลาของความสว่างในดาวแปรแสง(Variable Stars) ดาวคู่อุปราคา(Eclipsing Binaries) หรือวัตถุอื่นบนท้องฟ้า เช่น ดาวหาง และดาวเคราะห์น้อย เป็นต้น

หลักสำคัญสำหรับการเลือกดาวเปรียบเทียบ คือ ต้องเลือกดาวเปรียบเทียบให้อยู่ใกล้กับดาวที่ต้องการข้อมูลให้มากที่สุด ซึ่งระยะห่างระหว่างดาวที่ดีที่สุดควรอยู่ในช่วงห่างกันไม่เกิน 1 องศา และดาวเปรียบเทียบที่เลือกต้องไม่เป็นดาวแปรแสง เพราะจะทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้ โดยสามารถตรวจสอบการแปรแสงของดาวเทียบเคียงที่เลือกได้จากดาวตรวจสอบ(Check Star)

เนื่องจากดาวที่ต้องการเก็บข้อมูลกับดาวเปรียบเทียบอยู่ห่างกันไม่เกิน 1 องศา ดังนั้นในการหาค่าผลต่างโชติมาตรระหว่างดาวทั้งสองจึงสามารถหักลบเงื่อนไขการลดลงของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศโลกทิ้งไปได้ เพราะผลต่างของค่ามวลอากาศระหว่างดาวที่ต้องการข้อมูลกับดาวเทียบเคียงมีค่าเป็นศูนย์ (อาทิตย์ ลภีรัตนากุล, 2545)

2.7 ฟลักซ์สัมพัทธ์

การทำโฟโตเมตรีแบบส่วนต่างของโชติมาตร(Differential Magnitude) ที่เกิดจากผลต่างของค่าความสว่างระหว่างความสว่างปรากฏของดาวแปรแสง(m_v) กับดาวเปรียบเทียบ(m_{com})

$$\Delta m = m_v - m_{com} \quad (2.25)$$

โดยความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์(f) กับความสว่าง(m) คือ

$$m = -2.5 \log f \quad (2.26)$$

ดังนั้นค่าความสว่างของดาวแต่ละดวง

$$m_v = -2.5 \log f_v \quad (2.27)$$

และ
$$m_{com} = -2.5 \log f_{com} \quad (2.28)$$

จากสมการ 2.26 จะได้

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_v - m_{com} = -2.5 \log(f_v - f_{com}) \\ &= -2.5 \log\left(\frac{f_v}{f_{com}}\right) \end{aligned} \quad (2.29)$$

จะได้ฟลักซ์สัมพัทธ์(f_i)

$$f_i = \frac{f_v}{f_{com}} = 10^{-\frac{\Delta m}{2.5}} \quad (2.30)$$

ก่อนจะให้โปรแกรมวิลสัน-เดวินีคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะต้องทำการนอร์มัลไรซ์ (Normalize) โดย

$$\frac{f_i}{f_{i,max}} = \frac{f_v / f_{com}}{f_{v,max} / f_{com}} = \frac{f_v}{f_{v,max}} \quad (2.31)$$

2.8 Angular Momentum Loss Theory(AML)

เนื่องจากดาวฤกษ์ประกอบด้วยประจุไอออนจำนวนมาก เมื่อพิจารณาการหมุนรอบตัวเองของดาวฤกษ์รอบแกนหมุนที่ลากผ่านใจกลางของดาวฤกษ์ สามารถคิดได้ว่าเป็นการเคลื่อนที่ของประจุไอออนในรัศมีภายในดาวฤกษ์รอบๆ หนึ่ง ให้ \vec{r} คือโมเมนตัมเชิงมุมของการหมุนรอบตัวเองของดาว (Spin Angular Momentum) \vec{r} จะมีความสัมพันธ์กับโมเมนต์แม่เหล็ก $\vec{\mu}$ ที่เกิดจากประจุไอออนที่มีการเคลื่อนที่รอบๆ หนึ่ง ดังนี้

$$\vec{\mu} = \frac{ge}{2mc} \vec{r} \quad (2.32)$$

ถ้าดาวฤกษ์เป็นสมาชิกของระบบดาวคู่ที่โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลเดียวกัน การที่ดาวทั้งสองอยู่ใกล้กันทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์แม่เหล็กของดาวฤกษ์กับสนามแม่เหล็ก \vec{B}' ของดาวฤกษ์อีกหนึ่งดวงเกิดทอร์กแม่เหล็ก $\vec{\tau}_{mag}$ (Magnetic Torque) ตามสมการ

$$\vec{\tau}_{mag} = \vec{\mu} \times \vec{B}' \quad (2.33)$$

พิจารณาจากกรอบอ้างอิงเฉื่อยบนดาวฤกษ์พบว่าสนามแม่เหล็ก \vec{B}' เกิดจากดาวฤกษ์อีกดวงที่เป็นกรอบอ้างอิงเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน ซึ่งเมื่อคิดถึงผลทางสัมพัทธภาพ โดยการใช้การแปลงแบบลอเรนซ์ของสนามแม่เหล็ก (Lorentz Transformation of Magnetic Field) จะสามารถเขียน \vec{B}' ได้เป็น

$$\vec{B}' \approx \left(\vec{B} - \frac{\vec{V}}{c} \times \vec{E} \right) \quad (2.34)$$

แทนค่าสมการที่ (2.32) และ (2.34) ลงในสมการ (2.33) จะได้

$$\vec{\tau}_{\text{mag}} = \frac{ge}{2mc} \vec{S} \times \left(\vec{B} - \frac{\vec{V}}{c} \times \vec{E} \right) \quad (2.35)$$

สมการที่ (2.35) มีสนามไฟฟ้า \vec{E} มาเกี่ยวข้อง แต่แรงที่เกิดจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้ามีทิศทางตามแนวรัศมีและผ่านจุดศูนย์กลางของดาว จึงสามารถเขียนแทนได้ด้วยเกรเดียนของ central potential V ดังนี้

$$e\vec{E} = -\frac{\vec{r}}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.36)$$

ดังนั้น เมื่อแทนสนามไฟฟ้า \vec{E} ซึ่งได้จากสมการ (2.30) ลงในสมการที่ (2.29) จะได้

$$\vec{\tau}_{\text{mag}} = \frac{ge}{2mc} (\vec{S} \times \vec{B}) - \frac{g}{2m^2 c^2} (\vec{S} \times \vec{L}) \frac{1}{r} \frac{dV}{dr}$$

หรือ

$$\vec{\tau}_{\text{mag}} = (\vec{u} \times \vec{B}) - \frac{g}{2m^2 c^2} (\vec{S} \times \vec{L}) \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.37)$$

โดยที่

$$\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v})$$

จากสมการที่ (2.37) เทอมแรกทางด้านขวาจะเป็นศูนย์เนื่องจากโมเมนต์แม่เหล็ก \vec{u} และสนามแม่เหล็ก \vec{B} มีทิศทางเดียวกันคือทิศตามแกนหมุนของดาว ดังนั้น

$$\vec{\tau}_{\text{mag}} = -\frac{g}{2m^2 c^2} (\vec{S} \times \vec{L}) \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.38)$$

แต่เนื่องจากระบบดาวคู่มีดาวสมาชิกอยู่ใกล้กันจนการหมุนรอบตัวเองของดาวสมาชิกมีความสอดคล้องกับการโคจรของดาวรอบจุดศูนย์กลางมวล ดังนั้นทอร์กแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการหมุนรอบตัวเองของดาวจะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจรในระบบ

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau}_{\text{mag}}$$

จะได้

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = -\frac{g}{2m^2c^2} (\vec{S} \times \vec{L}) \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.39)$$

จากสมการที่ (2.37) บ่งบอกว่าการหน่วงของสนามแม่เหล็ก(Magnetic Braking) ที่เกิดจากทอร์กแม่เหล็กเป็นผลจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวง โดยเทอมที่สองนั้นเพิ่มขึ้นมาจากการเหนี่ยวนำดังกล่าว สังเกตว่าเทอมนี้เป็นผลลัพธ์จากการ coupling กันระหว่างโมเมนตัมเชิงมุมที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของดาว \vec{S} กับโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวล(Orbital Angular Momentum, \vec{L}) จึงเกิดทอร์กแม่เหล็กขึ้นจาก Spin-Orbit coupling และเทอมดังกล่าวยังมีความสำคัญที่บ่งบอกถึงการที่ระบบดาวคู่มีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจรตามสมการ (2.39) จะสังเกตว่าถ้าไม่มีการ coupling ด้านขวาของสมการ (2.39) จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่ในกรณีนี้จะไม่เกิด Spin-Orbit coupling และไม่เกิดทอร์กแม่เหล็ก

สมการที่ (2.39) พิจารณาเฉพาะผลที่เกิดจาก Spin-Orbit coupling ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นได้ในกรณีดาวทั้งสองอยู่ใกล้กันพอที่จะมีสนามแม่เหล็กส่งผลกระทบถึงกัน แต่สำหรับดาวคู่ที่มีระยะห่างระหว่างดาวมากก็อาจเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กจนทำให้ทอร์กแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านทางลมดาวฤกษ์(stellar wind) ก็ได้ ดังนั้น Spin-Orbit coupling จึงเป็นปรากฏการณ์ในทฤษฎีวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ ที่ใช้อธิบายการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่ได้ทั้งระบบดาวคู่แบบแยกกัน ไปจนถึงระบบดาวคู่แบบตะกอน (อาทิตย์ ลภีรัตน์กุล, 2545)

การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ตามทฤษฎี Angular momentum loss (AML)

ระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน ต่อมาระบบดาวคู่นี้ได้วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ ตั้งแต่สมาชิกดวงหนึ่งกลายเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวของชั้นบรรยากาศจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซ กลายเป็น

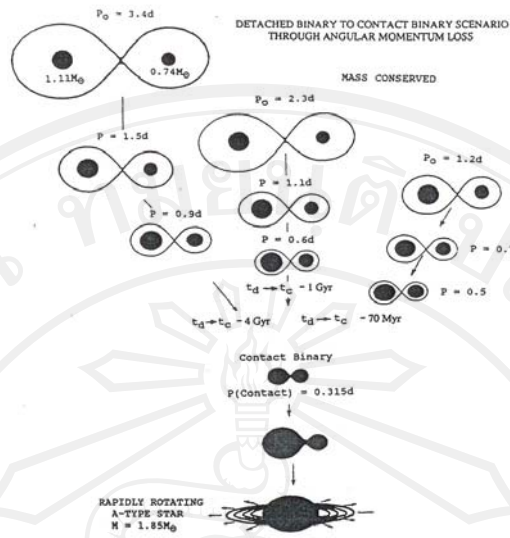
ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างกันจนกระทั่งดาวทั้งสองเริ่มมีอุณหภูมิต่ำลง พื้นผิวเท่ากัน กลายเป็นระบบดาวคู่แบบตะกันและในที่สุดก็ค่อยๆ รวมกันเป็นดาวเดี่ยวที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองสูง โดยตลอดการวิวัฒนาการจะมีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์แมเหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ซึ่งดาวทั้งสองจะมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลง นั่นหมายความว่าคาบของวงโคจรของระบบดาวจะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นระบบดาวคู่ที่มีแผนภาพ O-C เป็นรูปพาราโบลาถือว่าเป็นหลักฐานที่รองรับทฤษฎีนี้ (สิริมาศ โกมลจินดา, 2546)

2.9 วิวัฒนาการของระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่ที่เกิดจากการที่ดาวทั้ง 2 ดวงอยู่ใกล้กันจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลเดียวกันแบบระบบดาวคู่แยกกัน ซึ่งต่อมาก็มักมีการวิวัฒนาการมาเรื่อยๆ จนสมาชิกที่มีมวลมากกว่าวิวัฒนาการเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวเพิ่มผิวห่อหุ้มของโรซ(Roche Lobe) แล้วเกิดการถ่ายเทมวลไปสู่ดาวที่มีมวลน้อยกว่าจนกระทั่งดาวทั้ง 2 รวมเป็นดาวฤกษ์ดวงเดียวที่มีการหมุนรอบตัวเองสูงมาก โดยการวิวัฒนาการจะเกิดการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์แมเหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กของดาวทั้งสองจนมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลงตลอด แสดงว่าคาบของวงโคจรในระบบดาวคู่มีการลดลงเช่นกัน(ตามกฎข้อที่สามของเคปเลอร์) ดังนั้นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของวงโคจรในระบบดาวคู่ที่ลดลงหมายถึงระยะห่างของระบบดาวคู่ใกล้กันมากขึ้น

ระบบดาวคู่ประเภทอัลทอลจะมีแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของวงโคจรที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการหน่วงของสนามแม่เหล็ก(Magnetic Braking) ของลมดาวฤกษ์ และการถ่ายเทมวลระหว่างสมาชิกทั้งสอง

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



รูปที่ 2.8 การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบแยกกันมาเป็นดาวเดี่ยว
(บุญรักษา สุนทรธรรม,2550)

จากรูปที่ 2.8 แสดงการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ซึ่งเดิมเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน เมื่อผ่านกระบวนการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมจากผลของการหน่วงสนามแม่เหล็ก แล้วเปลี่ยนสภาพไปเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันแล้วหลอมรวมกันจนกลายเป็นดาวเดี่ยวที่หมุนรอบตัวเองเร็วมาจากการถ่ายเทมวลในระบบดาวคู่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร ซึ่งในกรณีที่คาบวงโคจรลดลง แสดงว่าสมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น จนในที่สุดอาจวิวัฒนาการเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน ผลที่ตามมาก็คือ การหมุนรอบตัวเองของสมาชิกแต่ละดวง จะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจร กล่าวคือ ก่อให้เกิดการหน่วงของสนามแม่เหล็กอันเป็นผลจากทอร์กแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำดาวฤกษ์ทั้งสองดวง ในที่สุดจะทำให้โมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่สูญเสียอย่างต่อเนื่องวงโคจรของระบบดาวคู่จึงลดลง(บุญรักษา สุนทรธรรม,2550)