

## บทที่ 2

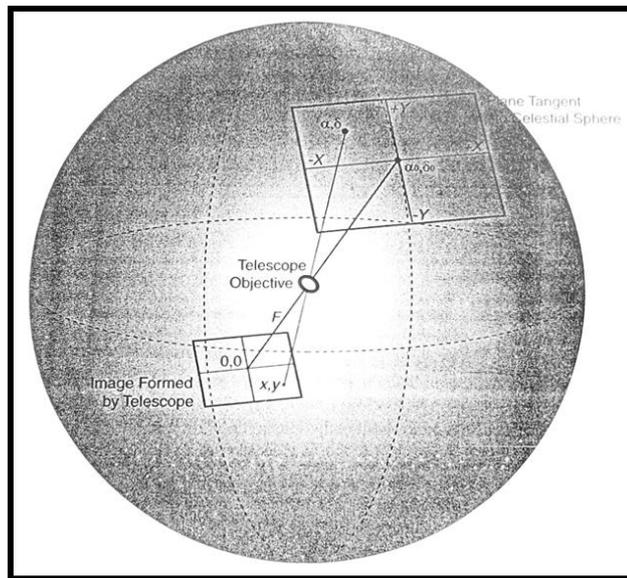
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางการทำวิจัยดาราศาสตร์ทางแสงด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก และใช้กล้อง DSLR เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการหาดำแหน่งดาว และการวิเคราะห์คาบการแปรแสงของระบบดาวคู่

#### 2.1 การหาดำแหน่งดาว

การวิเคราะห์หาดำแหน่งดาว มี 3 ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

- 1) พิกัดมาตรฐาน (Standard Coordinates)



รูปที่ 2.1 แสดงพิกัดมาตรฐาน (X,Y) บนระนาบสัมผัสทรงกลมท้องฟ้า และพิกัด (x,y) ที่ได้จากกล้องซีซีดี

ที่มา: Berry and Burnell, (1946). **The Handbook Of Astronomical Image Processing**. P. 221

พิกัดมาตรฐาน (X,Y) เป็นระนาบที่สัมพันธ์กับทรงกลมท้องฟ้า ที่ตำแหน่งไรต์แอสเซนชันและเดคลิเนชันเริ่มต้น  $(\alpha_0, \delta_0)$  โดยให้ค่าของไรต์แอสเซนชัน (R.A.) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\alpha$  ซึ่งอ่านค่าได้จากแนวแกน X และค่าของเดคลิเนชัน (Dec.) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\delta$  อ่านค่าได้จากแนวแกน Y แสดงดังรูปที่ 2.1 ตำแหน่งของเราเป็นตำแหน่งของดวงดาวจากพิกัดมาตรฐาน เรียกว่า ภาพฉายของดาว และเรียกพิกัดของดาวในภาพฉายนี้ว่า Plate Coordinates (x,y)

การคำนวณพิกัดมาตรฐานของดาวที่อยู่บนระนาบเส้นสัมผัสทรงกลมท้องฟ้า คือ

$$X = \frac{\cos \delta \sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos \delta_0 \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin \delta_0 \sin \delta} \quad (2.1)$$

$$Y = \frac{\sin \alpha_0 \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_0) - \cos \alpha_0 \sin \alpha}{\cos \delta_0 \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin \delta_0 \sin \delta} \quad (2.2)$$

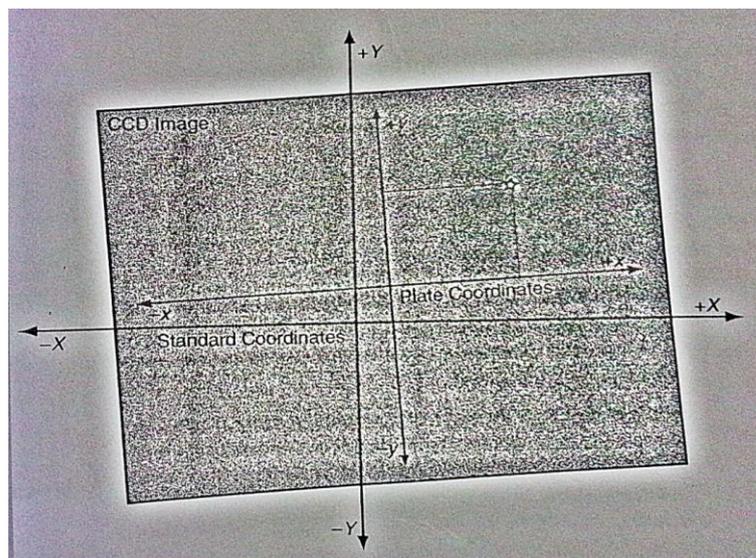
โดย X,Y คือ พิกัดมาตรฐานของดาวบนระนาบเส้นสัมผัสทรงกลมท้องฟ้า

$\alpha$  คือ ค่าไรต์แอสเซนชัน (R.A.) ของดาว

$\delta$  คือ ค่าเดคลิเนชัน (Dec.) ของดาว

## 2) Plate Coordinates

Plate Coordinates (x,y) เป็นระนาบที่ได้จากขนาดของภาพถ่ายดาว เมื่อซีซีดีประมวลภาพถ่ายดาว และส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ จะให้พิกัดของดาวในภาพถ่ายเป็นพิกัด x,y แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Plate coordinate แสดงถึงพิกัด (x,y) ของดาวในภาพถ่ายซีซีดี

ที่มา: Berry and Burnell, (1946). **The Handbook of Astronomical Image Processing**. P. 221

ความสัมพันธ์ระหว่าง plat coordinates (x,y) กับพิกัดมาตรฐาน (X,Y) เขียนเป็นสมการเชิงเส้นทั่วไป คือ

$$X = ax + by + c \quad (2.3)$$

$$Y = dx + ey + f \quad (2.4)$$

โดย a,b,c,d,e และ f เรียกว่า plate constants จะใช้วิธีการคำนวณหา plate constants จากพิกัดของดาวอ้างอิง (x,y) ที่มีในภาพถ่ายอย่างน้อยสามดวงขึ้นไป และคำนวณพิกัดมาตรฐานของดาวเหล่านั้นก่อน แล้วจึงแก้สมการเชิงเส้น ซึ่งจะได้สมการเชิงเส้นทั่วไป เป็น

$$X_1 = ax_1 + by_1 + c \quad Y_1 = dx_1 + ey_1 + f$$

$$X_2 = ax_2 + by_2 + c \quad Y_2 = dx_2 + ey_2 + f$$

$$X_3 = ax_3 + by_3 + c \quad Y_3 = dx_3 + ey_3 + f$$

ตัวห้อย 1,2,3 หมายถึงดาวอ้างอิงดวงที่ 1,2,3 โดยในทางปฏิบัติอาจเลือกดาวอ้างอิงมากกว่า 3 ดวง ถ้ามีดาว n ดวง จะได้สมการ n สมการ เราสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า a,b,c,d,e และ f ได้จากการคำนวณสมการตามวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) และจะได้ค่า plate constants ออกมามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $\frac{1}{F}$  โดย F คือความยาวโฟกัสของกล้องโทรทรรศน์

เมื่อได้ค่า plate constants แล้ว จะต้องคำนวณค่า residual (ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแปลงพิกัดมาตรฐานกับ plate coordinates) ของแกน R.A. และ Dec. ซึ่งเป็นค่า rms หรือ รากที่สองของกำลังสองของแกน R.A. และ Dec. จะแสดงค่าออกมาในหน่วย วินาที และฟิลิปดาตามลำดับ

### 3) การหาดำแหน่งดาว

เมื่อเรารู้พิกัดมาตรฐาน (X,Y) แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การแปลงพิกัดมาตรฐานเป็นค่าไรต์แอสเซนชัน ( $\alpha$ ) กับค่าเดคลิเนชัน ( $\delta$ ) ด้วยค่าไรต์แอสเซนชันและค่าเดคลิเนชันเริ่มต้น ( $\alpha_0, \delta_0$ ) กับ (X,Y) ฉะนั้นตำแหน่งของดาวหาได้จาก

$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1} \left( \frac{X}{\cos \alpha_0 - Y \sin \alpha_0} \right) \quad (2.5)$$

$$\delta = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \delta_0 + Y \cos \delta_0}{\sqrt{1 + X^2 + Y^2}} \right) \quad (2.6)$$

## 2.2 ระบบดาวคู่

ระบบดาวคู่ เป็นระบบที่เกิดจากดาวฤกษ์ 2 ดวง โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามลักษณะที่ค้นพบหรือศึกษาดังนี้

1. ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binaries) ระบบดาวคู่ประเภทนี้สมาชิกทั้งสองดวงจะมองเห็นแยกกันได้ โดยคาบการโคจรของระบบดาวคู่ประเภทนี้อาจใช้เวลาเพียงไม่กี่ปีถึงหลายร้อยปี

2. ระบบดาวคู่แบบการวัดทางดาราศาสตร์ (Astrometric Binaries) ระบบดาวคู่ประเภทนี้สมาชิกดวงหนึ่งจะมีความสว่างมากกว่าสมาชิกอีกดวงหนึ่ง ทำให้สามารถเห็นสมาชิกดวงสว่างได้เพียงดวงเดียวเท่านั้น แต่เมื่อทำการสังเกตจะพบว่า สมาชิกดังกล่าวมีการเคลื่อนที่แบบส่ายเป็นคาบ (Oscillatory Motion) ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนของสมาชิกอีกดวงที่มองไม่เห็น

3. ระบบดาวคู่สเปกโทรสโคปี (Spectroscopic Binaries) ระบบดาวคู่ประเภทนี้ไม่สามารถสังเกตเห็นสมาชิกทั้งสองดวงแยกกันได้ แต่พบว่ามี การเลื่อนของเส้นสเปกตรัม อันเกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) นั่นคือความเร็วในแนวเล็งของสมาชิกแต่ละดวงมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบ อันหมายถึงการเคลื่อนที่เข้าและออกจากผู้สังเกต

4. ระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binaries) ระบบดาวคู่ประเภทนี้จะสังเกตเห็นเป็นดาวดวงเดียวเท่านั้นเนื่องจากสมาชิกทั้งสองอยู่ใกล้กันมาก แต่ถ้าระนาบวงโคจรของระบบดาวคู่ประเภทนี้ไม่อยู่ในแนวสายตาพอดี จะสามารถสังเกตเห็นการแปรแสงของดาวอันเป็นผลเนื่องมาจากดาวทั้งสองเคลื่อนที่บังกัน

ระบบดาวคู่อุปราคาสามารถจำแนกประเภทออกได้ตามลักษณะของกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์เป็น 3 ประเภท โดยเรียกชื่อตามดาวที่เป็นต้นแบบของแต่ละประเภท

1. ประเภทอัลกอล (Algol) กราฟแสงจะมีอุปราคาปฐมภูมิติด แต่อุปราคาทุติยภูมิต้น ส่วนช่วงนอกอุปราคาจะค่อนข้างสม่ำเสมอ ระบบดาวคู่ประเภทนี้สมาชิกทั้งสองจะแยกออกจากกันโดยเด็ดขาด และมีปฏิกริยาต่อกันได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างกันเท่านั้น

2. ประเภทบีตา ไลร์ (Beta Lyrae) กราฟแสงจะมีความโค้งสม่ำเสมอ และเห็นอุปราคาทุติยภูมิได้ชัด เนื่องจากการวิวัฒนาการของดาว ทำให้ดาวเกิดการขยายตัวออกอย่างช้าๆ จนถึงตำแหน่งที่ดาวดวงหนึ่งกลายเป็นรูปหยดน้ำที่มีปลายด้านแหลมชี้ไปยังดาวอีกดวงหนึ่ง ซึ่งตำแหน่งปลายแหลมนี้จะ เป็นตำแหน่งที่จะเกิดการถ่ายเทมวลสารจากดวงรูปหยดน้ำนี้ ไปยังดาวคู่ดาวอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจาก ระบบดาวมีการหมุนรอบซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงเกิดแรงคอริโอลิส (Coriolis Force) ที่ทำให้ธารของ ก๊าซนี้ไม่ตกลงสู่คู่ดาวโดยตรง แต่บางส่วนจะวกกลับสู่ดาวดวงเดิม และบางส่วนก็จะวนเข้าสู่คู่ ดาว เกิดเป็นแถบของสสารอยู่รอบดาว ก่อนจะตกลงสู่ผิวดาว

3. ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ (W Ursae Majoris) กราฟแสงของระบบดาวคู่ประเภทนี้จะ คล้ายกับประเภทบีตา ไลร์ แต่อุปราคาทั้งสองจะมีความลึกพอๆกัน และรูปร่างของอุปราคาทั้งสองมี ลักษณะกลมมนและกว้าง มีคาบการโคจรรอบกันสั้นประมาณ 0.2-0.7 วัน ระบบดาวคู่ประเภทนี้จะมี

ผิวห่อหุ้มร่วม (Common Envelope) ล้อมรอบดาวทั้งสอง ดังนั้นดาวสมาชิกจึงมีการถ่ายเทมวลสาร และพลังงานระหว่างกัน ทำให้โดยทั่วไปดาวสมาชิกทั้งสองจะมีชนิดสเปกตรัม (Spectral Type) ที่ใกล้เคียงกัน โดยจะมีชนิดสเปกตรัมอยู่ในระหว่าง F ถึง K

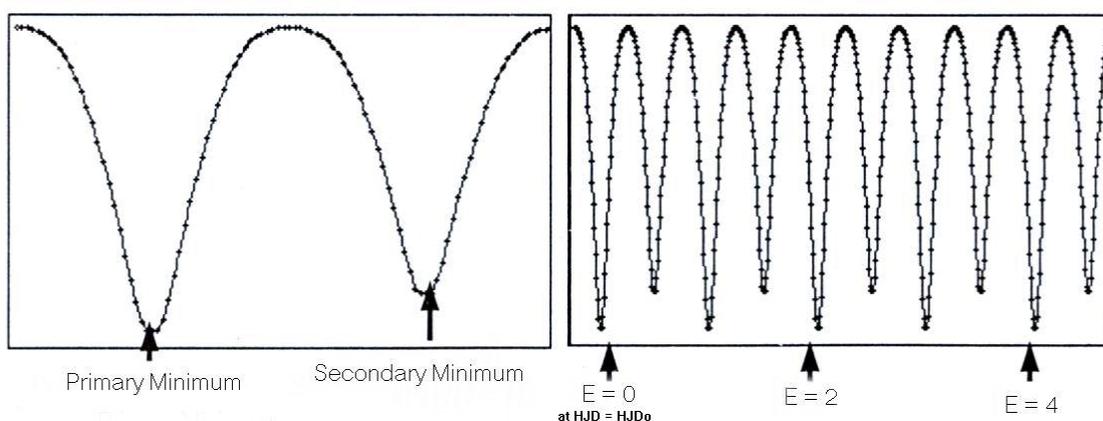
การสังเกตการณ์ระบบดาวคู่อุปราคาจะทำให้ได้กราฟแสง (Light Curve) ซึ่งบันทึกข้อมูลการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของแสงจากระบบดาวคู่ที่เวลาต่างๆกัน ลักษณะของกราฟแสงที่มีการลดลงของเส้นกราฟหมายถึงมีการโคจรบังกันภายในระบบดาวตามแนวสังเกตการณ์ โดยถ้าสมาชิกดวงสว่างโคจรไปอยู่ด้านหลังสมาชิกที่สว่างน้อยกว่า ลักษณะกราฟแสงที่ได้ในเวลานั้น จะมีการลดลงของแสงในปริมาณที่มาก เรียกเป็นอุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) และเรียกเวลานั้นเป็นค่าต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary Minimum, Min I) ในทำนองกลับกัน ถ้าสมาชิกที่สว่างน้อยกว่าโคจรไปอยู่ด้านหลังสมาชิกดวงสว่างมาก กราฟแสงที่ได้ก็จะมี การลดลงของแสงเช่นกัน แต่ในปริมาณที่น้อยกว่า เรียกว่าอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) และเรียกเวลานั้นเป็นค่าต่ำสุดทุติยภูมิ (Secondary Minimum, Min II) การโคจรรอบกันของระบบดาวคู่หนึ่งรอบ จะเกิดการบังกันที่ทำให้ปริมาณแสงลดลงสองครั้ง ซึ่งเวลาที่ระบบดาวคู่โคจรรอบกันครบรอบโดยสมบูรณ์ เรียกว่า คาบ (Period)

จากกราฟแสงที่ได้สามารถวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร ทำให้ทราบถึงวิวัฒนาการของดาว อีกทั้งยังวิเคราะห์ถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามได้

### 2.3 การวิเคราะห์กราฟแสงของดาวคู่อุปราคาคาบสั้น

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลทางเวลาที่บันทึกการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงจากวัตถุท้องฟ้า ข้อมูลดังกล่าวจะบ่งชี้ถึงวิวัฒนาการของแสงจากวัตถุท้องฟ้านั้นตามเวลาที่ถูกบันทึก ดาวแปรแสงเป็นวัตถุท้องฟ้าที่นักดาราศาสตร์นิยมสังเกตการณ์ด้วยกราฟแสง โดยถ้าทราบว่าดาวแปรแสงดังกล่าวมีกลไกการแปรแสงอย่างไรก็สามารถทำนายโครงสร้าง และแนวโน้มพฤติกรรมของดาวแปรแสงนั้นเมื่อเวลาต่างๆ ได้ สำหรับดาวคู่อุปราคาจัดเป็นดาวแปรแสงที่มีกลไกการแปรแสงจากการโคจรบังกัน ดังนั้นกราฟแสงที่สังเกตการณ์ได้จะบ่งบอกถึงแนวการโคจรของระบบจากการสังเกตการณ์บนโลก ลักษณะของกราฟแสงที่มีการลดลงของเส้นกราฟหมายถึงมีการโคจรบังกันระหว่างดาวตามแนวสังเกตจากโลก โดยถ้าดาวสมาชิกที่มีความสว่างมากกว่าโคจรไปอยู่ข้างหลังดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่า ลักษณะกราฟแสงที่สังเกตการณ์ได้ในเวลานั้นจะมีการลดลงของปริมาณแสงมาก (Minimum Light) การลดลงของปริมาณแสงขณะนั้นถูกเรียกว่าค่าต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary Minimum: Min.I) ในทำนองเดียวกัน

ถ้าดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่าถูกบัง กราฟแสงจะมีการลดลงด้วยปริมาณน้อยกว่าการลดลงของกราฟแสงที่ตำแหน่งอุปราคาปฐมภูมิ และถูกเรียกว่าค่าต่ำสุดทุติยภูมิ (Secondary Minimum: Min.II) การโคจรของระบบดาวคู่ในหนึ่งรอบจะมีการบังกันซึ่งทำให้เกิดปริมาณแสงลดลงสองครั้ง คือการลดลงของแสงจากอุปราคาปฐมภูมิและจากอุปราคาทุติยภูมิ ซึ่งเวลาที่ระบบดาวคู่ใช้ในการโคจรครบหนึ่งรอบโดยสมบูรณ์เรียกว่า คาบ (Period) ในทางปฏิบัติสามารถวัดคาบของระบบดาวคู่ดวงนั้นๆ ได้จากการวัดช่วงเวลาจากตำแหน่งอุปราคาปฐมภูมิ (ทุติยภูมิ) หนึ่งจนถึงอุปราคาปฐมภูมิ (ทุติยภูมิ) ถัดไป และนิยมนิยามวัดคาบของดาวคู่ในหน่วยวัน



รูป 2.4 แสดงส่วนประกอบในกราฟแสงและการหา Epoch

ถ้าสังเกตการณ์กราฟแสงระบบดาวคู่คาบสั้นด้วยระยะเวลาสั้น กราฟแสงที่ได้จะมีค่าต่ำสุดหลายจุดซึ่งวนเป็นคาบตามการโคจรบังกันของระบบ ซึ่ง Time of Minimum ของกราฟแสงจะมีการแปรตามจำนวนเท่าของคาบตามสมการเชิงเส้นเอพริเมอร์ริส (Linear Ephemeris Equation) ดังนี้

$$HJD = HJD_0 + PE \quad (2.7)$$

โดยที่ HJD คือ ค่า Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่งที่สนใจในรูปของวันจูเลียน-ศูนย์สุริยะ

$HJD_0$  คือ ค่า Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่ง  $E=0$  ในรูปของวันจูเลียน-ศูนย์สุริยะ

P คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่

E คือ Epoch หรือจำนวนรอบของการโคจรของระบบดาวคู่

ซึ่งการนับ Epoch จะมีลักษณะดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\text{HJD (next eclipse)} = \text{HJD}_0 + P(1)$$

$$\text{HJD (2}^{\text{nd}} \text{ eclipse)} = \text{HJD}_0 + P(2)$$

$$\text{HJD (3}^{\text{rd}} \text{ eclipse)} = \text{HJD}_0 + P(3)$$

.

.

.

สำหรับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบเชิงมุม จะใช้แผนภาพ  $O - C$  โดยที่

$$O = \text{HJD}_0 + P(E)E \quad (2.8)$$

$$C = \text{HJD}_0 + P_{est} E \quad (2.9)$$

โดยที่  $O$  คือ Time of Minimum Light ที่สังเกตการณ์ (Observe) ได้

$C$  คือ Time of Minimum Light ที่ได้จากการคำนวณ (Calculate) โดยสมการเชิงเส้น  
เอพริเมอริส

$P_{est}$  คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ที่คำนวณได้จากสมการเชิงเส้นเอพริเมอริส

$P(E)$  คือ คาบการโคจรจริงของระบบที่ได้จากการสังเกตการณ์

เมื่อนำสมการ (2.8) ลบด้วยสมการ (2.9) จะได้

$$O - C = (P(E) - P_{est})E \quad (2.10)$$

โดยถ้าแผนภาพ  $O - C$  ที่ได้มีการกระจายแบบพาราโบลา จะได้ว่า

$$O - C = aE^2 + bE + c = (P(E) - P_{est})E \quad (2.11)$$

จากนั้นดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.11) เทียบกับ  $E$

$$\frac{dP}{dE} E + (P(E) - P_{est}) = 2aE + b \quad (2.12)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ของทั้งสองข้างของสมการ ทำให้ได้

$$\frac{dP}{dE} = 2a \quad (2.13)$$

$$(P(E) - P_{est}) = b$$

ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่  $dP/dE$  (หน่วย days/cycle) จะใช้การพิจารณาแผนภาพ  $O - C$  โดยการหาค่า  $a$  จากการใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method แล้วจึงแทนค่าในสมการ (2.13) ต่อไป

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ เป็นหลักฐานที่นำไปสู่ทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองมุมมอง คือ

#### 1. มุมมองจากทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)

ทฤษฎีนี้พิจารณาว่า วิวัฒนาการของระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน ต่อมาระบบดาวคู่นี้ได้วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ ตั้งแต่การที่สมาชิกดวงที่หนึ่งกลายเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวของชั้นบรรยากาศจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ กลายเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างกัน จนกระทั่งดาวทั้งสองมีอุณหภูมิจนผิวเท่ากัน กลายเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน และในที่สุดก็จะค่อยๆ รวมกันเป็นดาวเดี่ยวที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองสูง โดยตลอดวิวัฒนาการจะมีการเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์คแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ซึ่งดาวทั้งสองจะมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลง นั่นหมายถึงคาบการโคจรของระบบดาวจะมีค่าลดลงด้วย 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 ในระบบดาวคู่ที่เพิ่งจะแตะกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้เปรียบเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก จะพบว่า มวลของดาวทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดาวฤกษ์ในแถบกระบวนหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในสมดุลทางอุณหภูมิลแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งจะต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองดวงจึงจะอยู่ภายในผิวสมศักดิ์เดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มร่วม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวดวงที่หนึ่ง ทำให้ค่าอัตราส่วนมวลมีค่าลดลง

ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ จะพบว่า ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คาบการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประเภทของระบบดาวคู่จากระบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อยๆ

## 2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

วิระภรณ์ ไหมทอง (2554) หาดำแหน่งดาวจากภาพถ่ายซีซีดี โดยใช้กล้อง CCD Star 1 ขนาดพิกเซล 384x576 ร่วมกับเลนส์ Tamron 28-200 มิลลิเมตร  $f/2.8$  พบว่า เมื่อใช้ความยาวโฟกัสที่ยาวจะให้ผลการคำนวณตำแหน่งดาวที่มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน มากกว่าใช้ความยาวโฟกัสที่สั้น

Lucy และคณะ (1678) ได้เสนอแบบจำลองของระบบดาวคู่ผ่านทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO) โดยพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เริ่มแตะกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้ เมื่อเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก พบว่ามวลของดาวทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่ามวลของดาวในแถบหลักที่อยู่ในสมคูล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในแถบกระบวนหลักแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองจึงจะอยู่ในผิวสัมผัสเดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มร่วม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวอีกดวงหนึ่ง ทำให้อัตราส่วนมวลมีค่าลดลง

อาทิตย์ ฤทธิรัตนากุล (2545) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบแตะกัน เอเชท ทอรี พบว่า การสังเกตการณ์ด้วยกล้องซีซีดีของระบบดาวคู่เอเชททอรีซึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันประเภท W UMa ได้ถูกนำเสนอพร้อมกับคำนวณหาค่า time of minimum light โดยแผนภาพ O-C ของการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรได้ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลสังเกตการณ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลลัพธ์ได้แสดงให้เห็นว่าคาบการโคจรของดาวคู่เอเชททอรีมีการลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา  $dP/dt = -0.01097786$  วินาทีต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณจากกลไกของทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านการหน่วงของสนามแม่เหล็ก และนำไปสู่วิวัฒนาการของระบบดาวคู่ในมุมมองใหม่ที่มีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

ธนา ยีรัมย์ (2548) ได้ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่ วี1061 ทอไร จากการสังเกตการณ์ด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมตรี ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเหลือง ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 พบว่า อุปราคาปฐมภูมิ มีความลึกเพียง 0.35 โซติมาตร ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลืองได้กระทำร่วมกับข้อมูลของ Terrell และคณะ จากการวิเคราะห์กราฟแสงด้วยเทคนิควิลสันและเดวินีเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์การโคจรของระบบดาวคู่ดังกล่าว ได้แบบจำลองดาวคู่แบบแตะกันสองชุด โดยดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิขยายตัวใกล้และเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ตามลำดับ แบบจำลองชุดที่หนึ่ง เป็นระบบดาวคู่ที่มีค่าอัตราส่วนมวล  $q = 0.2289 \pm 0.01510$  และ  $i = 70^\circ.93 \pm 0^\circ.490$  ในขณะที่แบบจำลองชุดที่สองมีค่า

$q = 0.2944 \pm 0.01866$  และ  $i = 72^{\circ}.58 \pm 1^{\circ}.973$  และแสดงแสงมีสามในปริมาณไม่มาก ส่วนการวิเคราะห์แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V1061 ทอไรนี้ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของคาบการโคจรซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

วิระภรณ์ ไหมทอง (2548) ได้ศึกษาสมบัติกายภาพของระบบดาวคู่แบบตะวันตก เอกซ์วายลีโอนีส ซึ่งมีคาบการโคจรรอบกันประมาณ 0.28410278 วัน จากการวิเคราะห์กราฟแสงโดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบดาวคู่ดังกล่าว ผลจากการคำนวณได้แบบจำลองดาวคู่แบบตะวันตก โดยมีเปอร์เซ็นต์การตะวันตกประมาณ 0.5% และจากการวิเคราะห์ค่า O-C พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของคาบการโคจร และมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการมีอยู่ของวัตถุที่สามที่มีคาบการโคจรประมาณ 18.78 ปี และมีรัศมีวงโคจรประมาณ 4.166 AU