



การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่แบบตะวันตกัน 5 ระบบ คือ CE Leonis, DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani และ FG Hydrae

ปกิจ สังศิริ*

บทคัดย่อ

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่แบบตะวันตกันทั้ง 5 ระบบนี้ ได้ทำการสังเกตการณ์ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดริชชี-เครเทียน (Ritchey-Chretien) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ต่อเข้าด้วยกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ SBIG ST10-XME ขนาด 1024x1024 พิกเซล โดยใช้แผ่นกรองแสงระบบยูบีวี (UBV System) เฉพาะสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง จากการวิเคราะห์พบว่า ระบบดาวคู่ CE Leonis มีคาบการแปรแสงลดลงด้วยอัตรา 7.09×10^{-4} วินาทีต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML) ส่วนระบบดาวคู่ DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani และ FG Hydrae มีคาบการแปรแสงเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.011982 , 0.004113 , 0.011324 และ 0.013541 วินาทีต่อปีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO) สำหรับระบบดาวคู่ DF Hydrae ยังมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ นั้นหมายความว่าระบบดาวคู่นี้มีแนวโน้มที่จะมีวัตถุที่สาม (Third Body) อยู่ในวงโคจร โดยมีระยะห่างจากระบบดาวคู่นี้ประมาณ 6.808 AU และมีคาบการโคจรประมาณ 62.43 ปี

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงคาบ / CE Leonis / DF Hydrae / FZ Orion / YY Eridani / FG Hydrae

*อาจารย์ ประจำสาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์



**Period Change of 5 Contact Binary Systems; CE Leonis, DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani
and FG Hydrae**

Pakit sungsiri

Abstract

Period change study of these 5 contact binary systems were observed in January – February 2009 at Princess Sirindhorn Observatory, Chiang Mai University. The observation used 0.5 metres Ritchey-Chretien reflecting telescope and CCD Photometer SBIG ST10-XME 1024x1024 pixels with blue, visual and red filters of UBV system. The analysis shows that the period change of CE Leonis is decreasing with 7.09×10^{-4} seconds/year that is corresponding to Angular Momentum Loss (AML) theory but DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani and FG Hydrae are increasing with 0.011982, 0.004113, 0.011324 and 0.013541 seconds/year, respectively. These are corresponding to Thermal Relaxation Oscillation (TRO) theory. For the binary system DF Hydrae shows that a periodic oscillation is superimposed on this curve. This change can be explained by the presence of a third body with distance about 6.808 AU and period around 62.43 years.

Keywords: Period Change / CE Leonis / DF Hydrae / FZ Orion / YY Eridani / FG Hydrae

บทนำ

ระบบดาวคู่ (Binary Star) คือ ระบบที่ประกอบไปด้วยสมาชิก 2 ดวง โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงร่วมกัน ดาวบนท้องฟ้ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เป็นระบบดาวคู่ ระบบดาวคู่ที่ปรากฏโดยทั่วไปนั้น ความจริงแล้วมีเพียง 2 ลักษณะเท่านั้น กล่าวคือเป็นระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binary Systems) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่มองดูผ่านกล้องดูดาวหรือบางกรณีด้วยตาเปล่า จะเห็นเป็นดาว 2 ดวงอย่างชัดเจน กับอีกระบบหนึ่งคือระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Close Binary Systems) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่เมื่อมองดูด้วยตาเปล่าหรือผ่านกล้องดูดาวขนาดใหญ่เพียงใดก็ตาม จะเห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียวเท่านั้น เนื่องจากดาวทั้ง 2 ดวงอยู่ใกล้กันมาก จนกล้องดูดาวไม่สามารถแยกภาพได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรและวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด 5 ระบบ คือ CE Leonis, DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani และ FG Hydrae

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ทั้ง 5 ระบบ ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดริชชี-เครเทียน (Ritchey-Chretien) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ต่อเข้าด้วยกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ SBIG ST10-XME ขนาด 1024x1024 พิกเซล โดยใช้แผ่นกรองแสงระบบยูบีวี (UBV System) เฉพาะสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง แล้วนำมาวิเคราะห์หา Time of Minimum ของกราฟแสง โดยถ้าสังเกตการณ์ระบบดาวคู่คาบสั้นด้วยระยะเวลานาน กราฟแสงที่ได้จะมีค่าต่ำสุดหลายจุดซึ่งวนเป็นคาบตามการโคจรบังกันของระบบ ซึ่ง Time of Minimum ของกราฟแสงจะมีการแปรตามจำนวนเท่าของคาบตามสมการเชิงเส้นเอพริเมอร์ริส (Linear Ephemeris Equation) สำหรับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบเชิงมุม จะใช้แผนภาพ $O - C$ โดยที่

$$O = HJD_0 + P(E)E$$

$$C = HJD_0 + P_{est}E$$

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

C คือ Time of Minimum Light ที่ได้จากการคำนวณ (Calculate)

P_{est} คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ที่คำนวณได้จากการคำนวณ

$P(E)$ คือ คาบการโคจรจริงของระบบที่ได้จากการสังเกตการณ์



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

จากนั้นดิฟเฟอเรนเชียลของสมการ (2.6) เทียบกับ E

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

เทียบสัมประสิทธิ์ของทั้งสองข้างของสมการ ทำให้ได้

$$\frac{dP}{dE} = 2a$$

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ เป็นหลักฐานที่นำไปสู่ทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองมุมมอง คือ

1. มุมมองจากทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)

ทฤษฎีนี้พิจารณาว่า วิวัฒนาการของระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน ต่อมาระบบดาวคู่นี้ได้วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ ตั้งแต่การที่สมาชิกดวงที่หนึ่งกลายเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวของชั้นบรรยากาศจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ กลายเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างกันจนกระทั่งดาวทั้งสองมีอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากัน กลายเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน และในที่สุดก็จะค่อยๆ รวมกันเป็นดาวเดี่ยวที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองสูง โดยตลอดวิวัฒนาการจะมีการเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์คแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ซึ่งดาวทั้งสองจะมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลง นั่นหมายถึงคาบการโคจรของระบบดาวจะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นระบบดาวคู่ที่มีแผนภาพ $O - C$ เป็นรูปพาราโบลาคว่ำ จึงเป็นหลักฐานที่รองรับทฤษฎีนี้

2. มุมมองจากทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO)

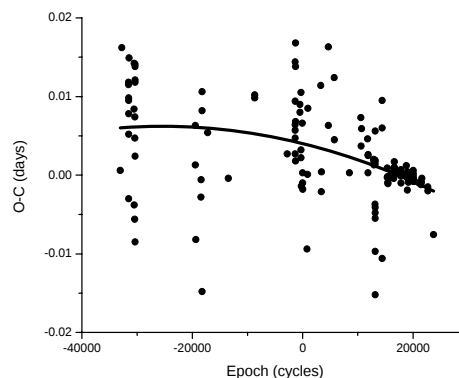
ทฤษฎีนี้เสนอขึ้นโดย Lucy ในปี ค.ศ. 1976, Flannery ในปี ค.ศ. 1976 และ Robertson และ Eggleton ในปี ค.ศ. 1979 โดยการพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เพิ่งจะแตะกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้เปรียบเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก จะพบว่า มวลของดาวทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดาวฤกษ์ในแถบกระบวนหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในสมดุลทางอุณหภูมิลแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งจะต้องมีขนาดเล็กกลง ดาวทั้งสองดวงจึงจะอยู่ภายในผิวสัมผัสที่เดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มร่วม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวดวงที่หนึ่ง ทำให้ค่าอัตราส่วนมวลมีค่าลดลง ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ จะพบว่า ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คาบการโคจรของดาวทั้ง

สองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประเภทของระบบดาวคู่จากระบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อยๆ

ผลการวิจัย

จากการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ทั้ง 5 ระบบนี้ในเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 เมื่อวิเคราะห์กราฟแสงแล้วได้ผลดังนี้

CE Leonis อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $11^h 44^m 24.23^s$ และ Dec. $23^\circ 21' 22.9''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด (V) คือ 11.88 มีค่า Time of Minimum Light คือ 2454876.3935 และสามารถคำนวณและสร้างแผนภาพ ($O-C$) จาก Linear Ephemeris ที่ Samec et.al คำนวณไว้ในปี ค.ศ. 1993 คือ $HJD.MinI = 2445047.4325 + 0.303429E$ ซึ่งจะได้ดัง ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่แบบแตะกัน CE Leonis

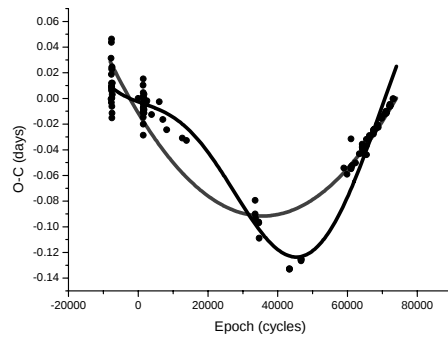
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ CE Leonis พบว่าข้อมูล $O-C$ สอดคล้องกับสมการ

$$(O-C) = 0.00401 - 1.73099 \times 10^{-7} Epoch - 3.40864 \times 10^{-12} Epoch^2$$

จากสมการที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าลดลงในอัตรา 7.09×10^{-4} วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงการลดลงของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ CE Leonis นี้ สอดคล้องกับทฤษฎี Angular Momentum Loss

DF Hydrae อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $08^h 55^m 02.24^s$ และ Dec. $06^\circ 05' 37.687''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด (V) คือ 10.739 มีค่า Time of Minimum Light ได้ 2454880.14524 และสามารถคำนวณหาค่า ($O-C$) จาก Linear Ephemeris คือ $HJD.MinI = 2430676.883 + 0.3306005E$

(ข้อมูลจาก The American Association of Variable Star Observers; AAVSO) จากสมการนี้ นำมาสร้างแผนภาพ $(O - C)$ ซึ่งจะได้อ้าง ภาพที่ 2



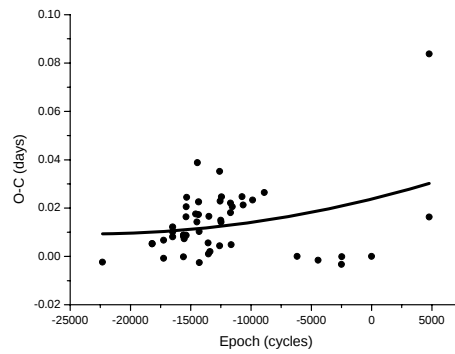
ภาพที่ 2 แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะก้น DF Hydrae

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae พบว่าข้อมูล $O - C$ สอดคล้องกับสมการ

$$(O - C) = -0.01205 - 4.48698 \times 10^{-6} \text{ Epoch} + 6.27601 \times 10^{-11} \text{ Epoch}^2 + 0.0394 \sin(9.1093 \times 10^{-5} \text{ Epoch} + 0.10787)$$

จากสมการที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.011982 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าระบบดาวคู่ DF Hydrae นี้มีวิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation และจากรูปที่ 2 นี้ยังมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคาบแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ นั่นหมายความว่าระบบดาวคู่นี้มีแนวโน้มที่จะมีวัตถุที่สาม (Third Body) อยู่ในวงโคจร โดยมีระยะห่างจากระบบดาวคู่นี้ประมาณ 6.808 AU และมีคาบการโคจรประมาณ 62.43 ปี

FZ Orion อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $05^{\text{h}} 41^{\text{m}} 21.0092^{\text{s}}$ และ Dec. $02^{\circ} 36' 22.975''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด (V) คือ 10.7 หาค่า Time of Minimum Light ได้ 54860.09844 และ 54860.23098 โดยคำนวณค่า $(O - C)$ ได้จากสมการ $HJD.MinI = 2444024.4583 + 0.3999866E$ (ข้อมูลจาก AAVSO) แล้วนำมาสร้างแผนภาพ $(O - C)$ ซึ่งจะได้อ้าง ภาพที่ 3



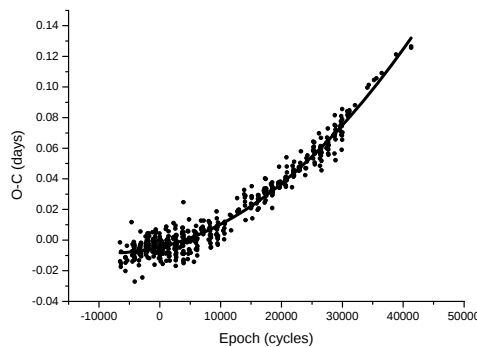
ภาพที่ 3 แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะก้น FZ Orion

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ FZ Orion พบว่าข้อมูล $O - C$ สอดคล้องกับสมการ

$$(O - C) = 0.02374 + 1.22735 \times 10^{-6} \text{ Epoch} + 2.60687 \times 10^{-11} \text{ Epoch}^2$$

จากสมการที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.004113 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าระบบดาวคู่ FZ Orion นี้มีวิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation

YY Eridani อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $04^h 12^m 08.8497^s$ และ Dec. $-10^\circ 28' 09.962''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด (V) คือ 8.0 หากค่า Time of Minimum Light ได้ 2454861.06629 และ 2454861.22618 สามารถวิเคราะห์หาค่า $(O - C)$ จากสมการ $\text{HJD.MinI} = 2441581.642 + 0.321494E$ (ข้อมูลจาก AAVSO) และสร้างแผนภาพ $(O - C)$ ได้ภาพที่ 4



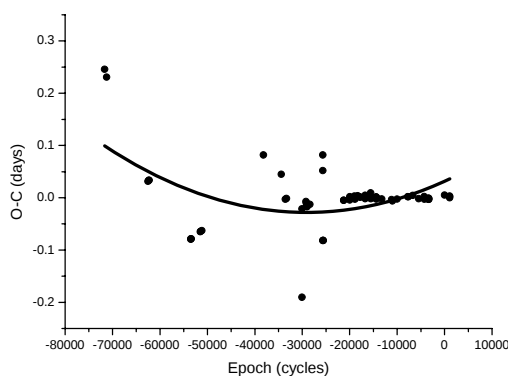
ภาพที่ 4 แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะก้น YY Eridani

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ YY Eridani พบว่าข้อมูล $O - C$ สอดคล้องกับสมการ

$$(O - C) = -0.00466 + 9.26313 \times 10^{-7} \text{ Epoch} + 5.76833 \times 10^{-11} \text{ Epoch}^2$$

จากสมการที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.011324 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ YY Eridani นี้ สอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation

FG Hydrae อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $08^h 27^m 03.9431^s$ และ Dec. $03^\circ 30' 52.333''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด (V) คือ 10.0 หา Time of Minimum Light ได้ 2454859.20658, 2454859.37265 และ 2454861.34042 และสร้างแผนภาพ ($O - C$) จาก Linear Ephemeris ที่มีในฐานข้อมูล AAVSO คือ $HJD.MinI = 2444968.2764 + 0.327832E$ ดัง ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะวันตก FG Hydrae

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ FG Hydrae พบว่าข้อมูล $O - C$ สอดคล้องกับสมการ

$$(O - C) = 0.03159 + 4.09641 \times 10^{-6} \text{ Epoch} + 7.03365 \times 10^{-11} \text{ Epoch}^2$$

จากสมการที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.013541 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ FG Hydrae นี้ สอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation

สรุปผลการวิจัย

จากการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อทำการวิเคราะห์กราฟแสงและวิเคราะห์แผนภาพ $O - C$ เพื่อศึกษาถึงวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบตะวันตกทั้ง 5 ระบบแล้วพบว่าระบบดาวคู่ CE Leonis มีวิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี AML โดยมีคาบการเปลี่ยนแปลงคาบ

การแปรแสงลดลงด้วยอัตรา 7.09×10^{-4} วินาทีต่อปี ระบบดาวคู่ DF Hydrae มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงเพิ่มขึ้น 0.011982 วินาทีต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี TRO และจากแผนภาพ $O-C$ ยังพบว่าระบบดาวคู่นี้มีแนวโน้มที่จะมีวัตถุที่สามอยู่ในระบบด้วย โดยวัตถุดังกล่าวอยู่ห่างจากระบบดาวคู่นี้ประมาณ 6.808 AU และมีคาบการโคจรประมาณ 62.43 ปี ส่วนระบบดาวคู่ FZ Orion, YY Eridani และ FG Hydrae มีคาบการแปรแสงเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.011982 , 0.004113 , 0.011324 และ 0.013541 วินาทีต่อปีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี TRO

ขอขอบคุณ

หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อ.วิระภรณ์ ไหมทอง อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

อ.เชิดตระกูล หอมจำปา อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

คุณสมสวัสดิ์ รัตนสุรย์ เจ้าหน้าที่เทคนิคดาราศาสตร์ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

รายการอ้างอิง

บุญรักษา สุนทรธรรม และคณะ, การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบเกือบและกันบางระบบ, รายงานวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2546

บุญรักษา สุนทรธรรม, ดาราศาสตร์ฟิสิกส์, สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2550

วิระภรณ์ ไหมทอง, โครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แบบและกัน วี523 แคส, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2547

วิระภรณ์ ไหมทอง, สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบและกัน เอกซ์วาย ลีโอนิส, รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 2548

อาทิตย์ ลภีรัตนากุล, การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบและกัน เอเอช ทอริ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2545

Bradstreet, D.H. 1981, *AJ*, **86**, 98



Kang, Y. W., Lee, H. W., & Hong, K. S. 2004, *AJ*, 128, 846

Lucy, L.B. 1976, *ApJ*, 205, 208

Qian, S. 2002, *A&A*, 384, 908

Samec, R. G., & Su, W. 1991, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 3650

Samec, R. G., Su, W., Terrell, D., & Hube, D. P. 1993, *AJ*, 106, 318

Shu, F.H., Lubow, S.H. and Anderson, L. 1976, *AJ*, **209**, 536

Willson, R.E., & Devinney, E.J. 1971, *AJ*, 166, 605

Yang, Y., & Liu, Q. 2002, *A&A*, 387, 162
