การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบและวัตถุที่สามในระบบดาวคู่ V781 Tauri

PERIOD CHANGE AND THIRD BODY STUDY OF A BINARY SYSTEM V781 Tauri

วิระภรณ์ ไหมทอง* และ อมรรัตน์ ตาจุมปา
Wiraporn Maithong* and Amornrat Tajumpa

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ V781 Tauri ในครั้งนี้ ได้ทำการสังเกตการณ์โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ต่อเข้ากับ CCD ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา จากการวิเคราะห์พบว่า ระบบดาวคู่ V781 Tauri มีคาบการโคจรลดลงด้วยอัตรา 0.00283 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึง ระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จึงเป็นไปได้ว่าระบบดาวคู่ V781 Tauri นี้มี วิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML) และจากการศึกษา แผนภาพ O–C ยังพบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงแบบคาบซ้อนกันอยู่ ซึ่งสามารถ อธิบายได้ถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามที่มีรัศมีวงโคจรประมาณ 1.38 AU และมีคาบการโคจร ของสมาชิกดวงที่สามประมาณ 41.906 ปี

คำสำคัญ: V781 Tauri, แผนภาพ O-C, วัตถุที่สาม

* ผู้ประสานงาน: วิระภรณ์ ไหมทอง
อีเมล์: wiraporn@g.cmru.ac.th

ABSTRACT

This period change study of a binary system V781 Tauri was conducted using 0.7 meters telescope and CCD with blue, visual and red filters for observation on 28 December 2018 at the Regional Observatory for the Public, Chachoengsao. The analysis found that the orbital period of the V781 Tauri binary system has a decreasing rate or 0.00283 second/year which means the distance between both stars is continuously decreasing. It is possible that the evolution of the V781 Tauri binary system is corresponding to the Angular Momentum Loss (AML) theory. Furthermore, it was found from the O-C diagram study that there is a periodic oscillation tendency that explained the existence of the third body with the orbital radius of 1.38 AU and the period of 41.906 years.

KEYWORDS: V781 Tauri, O-C Diagram, Third Body

บทนำ

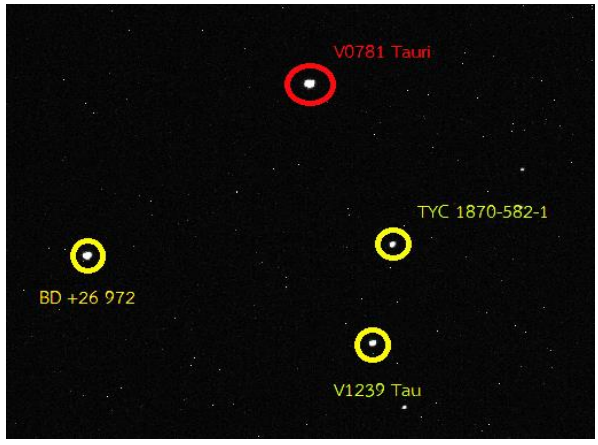
ระบบดาวคู่ (Binary Systems) เป็นระบบของดาวที่ประกอบด้วยสมาชิกสองดวงโคจรรอบจุดศูนย์กลางของมวลร่วมกัน และอยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงซึ่งกันและกัน ระบบดาวคู่ที่ปรากฏโดยทั่วไปนั้น ความจริงแล้วมีเพียง 2 ลักษณะเท่านั้น คือ ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binary Systems) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่มองผ่านกล้องโทรทรรศน์ หรือบางกรณีมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยจะเห็นเป็นดาว 2 ดวงอย่างชัดเจน กับอีกระบบหนึ่งคือ ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Close Binary Systems) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่เมื่อมองดูด้วยตาเปล่าหรือผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เพียงใดก็ตาม จะเห็นเป็นดวงเดียวเท่านั้น เนื่องจากดาวทั้ง 2 ดวงอยู่ใกล้กันมากจนกล้องโทรทรรศน์ไม่สามารถแยกภาพได้ ระบบดาวคู่ V781 Tauri เป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด มีลักษณะเป็นแบบอุปราคาแบบแตะกัน (Contact Binary System) ชนิดสเปกตรัม (Spectral Type) G0 โดยมีพิกัดอยู่ที่ตำแหน่ง R.A. 5h 50m 13.126s และ Dec. +26° 57' 43.362" Liu & Yang (2000) ได้ทำการศึกษาระบบดาวคู่ V781 Tauri พบว่า การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างปี ค.ศ. 1949 ถึง ค.ศ. 1998 ด้วยอัตรา -5 X 10^{-11} Kallrath et al. (2006) พบว่ามีการ

เปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงที่สอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillator (TRO) และ Li et al. (2014) พบว่าระบบดาวคู่ V781 Tauri มีการเปลี่ยนแปลงคาบแบบลดลงด้วยอัตรา 6.01 X 10^{-8} วันต่อปี และมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ขนาด 44.8 ปี และแอมพลิจูด 0.0064 วัน

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงจากแผนภาพ O-C เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ V781 Tauri นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามในระบบ พร้อมทั้งทำนายถึงค่ามวลของวัตถุดังกล่าว ที่ได้จากการสังเกตการณ์ในปี ค.ศ. 2018 เพื่ออธิบาย และรวบรวมเป็นฐานข้อมูลในการสังเกตการณ์และศึกษาวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ V781 Tauri ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ V781 Tauri เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ต่อเข้ากับ CCD และใช้แผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง โดยใช้ดาว TYC 1870-582-1 เป็นดาวเปรียบเทียบ (Comparison Stars) ดาว V1239 Tauri และดาว BD +26 972 เป็นดาวตรวจสอบ (Check Stars) ดังตัวอย่างภาพถ่ายดาวตามรูปที่ 1 และข้อมูลพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ระบบดาวคู่ V781 Tauri และดาวอ้างอิง

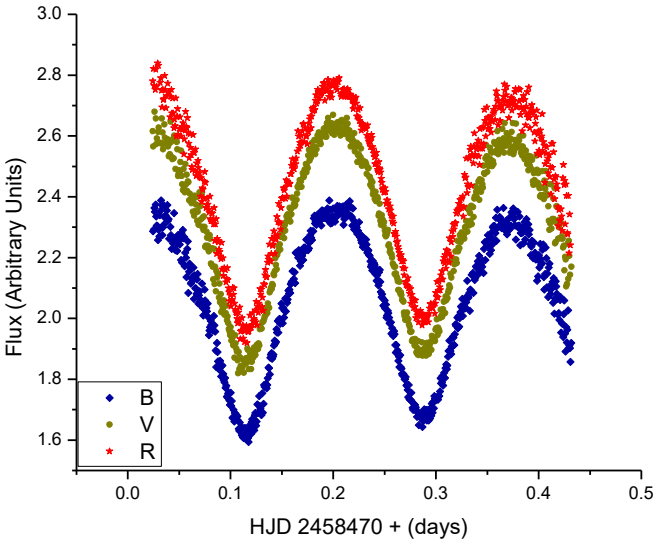
ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบดาวคู่ V781 Tauri และดาวอ้างอิง

Stars	R.A.(h m s)	Dec.(° ' ")	V magnitude
V781 Tauri	05 50 13.126	+26 57 43.362	8.67
TYC 1870-582-1	05 50 20.846	+26 56 42.493	11.41
V1239 Tauri	05 50 25.882	+26 56 50.602	10.89
BD +26 972	05 50 22.394	+26 59 54.992	9.68

ที่มา : SIMBAD Astronomical Database (2000)

จากภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าอันดับความสว่าง (magnitude, m) ด้วยโปรแกรมทางดาราศาสตร์ MaxIm DL6 แล้วคำนวณหาค่าฟลักซ์ (flux, f) ได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (1) และสร้างเป็นกราฟแสง ได้ดังรูปที่ 2

$$m = -2.5 \log f \qquad (1)$$



รูปที่ 2 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V781 Tauri ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R)

จากกราฟแสงที่ได้ นำไปคำนวณหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสง และการมีอยู่ของวัตถุที่สาม โดยใช้แผนภาพ O-C

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลที่ได้จากกราฟแสงดังรูปที่ 2 นำมาวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 2458470.1152 และ 2458470.2881 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงในงานวิจัยนี้ใช้สมการแสดงใน American Association of Variable Star Observers (AAVSO) โดย Bob Nelson ในปี ค.ศ. 2017 (American Association of Variable Star Observers, 2019) ดังสมการที่ (2)

$$\text{Min. I} = \text{HJD } 2443853.911 + 0.34491\ E \qquad (2)$$

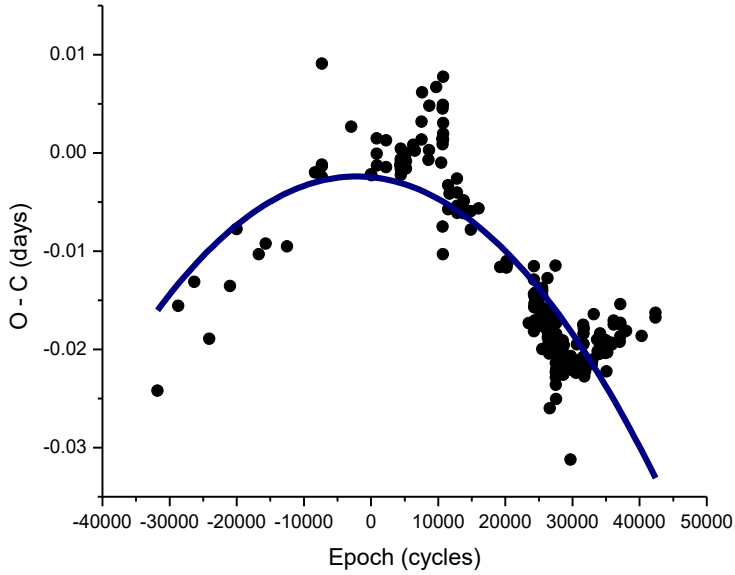
โดยที่ Min. I คือ เวลาที่แสงน้อยที่สุด
E คือ จำนวนรอบของการโคจรของระบบดาวคู่

จากค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) เพื่อคำนวณหาค่า Epoch และคำนวณหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (C) จากสมการที่ (1) แล้วหาผลต่างของค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด O–C ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า O–C ของระบบดาวคู่ V781 Tauri

HJD, O (days)	Epoch (cycles)	HJD, C (days)	O-C (days)
2458470.1152	42377	2458470.132	-0.01678
2458470.2881	42377.5	2458470.304	-0.01627

ค่า O–C ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้ประกอบกับค่า O–C ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่น ๆ ได้วิเคราะห์ไว้ในอดีตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1948 จากฐานข้อมูล AAVSO สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ได้กราฟดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V781 Tauri

จากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V781 Tauri เมื่อวิเคราะห์หาในเชิงตัวเลขด้วยสมการโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 (Second Order Polynomial Fitting) จะได้

$$O–C = -1.54989 \times 10^{-11}E^2 - 6.64197 \times 10^{-8}E - 0.00246 \qquad (3)$$

จากสมการที่ (3) สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร $\left(\frac{dP}{dE}\right)$ ของระบบดาวคู่ V781 Tauri ได้โดย

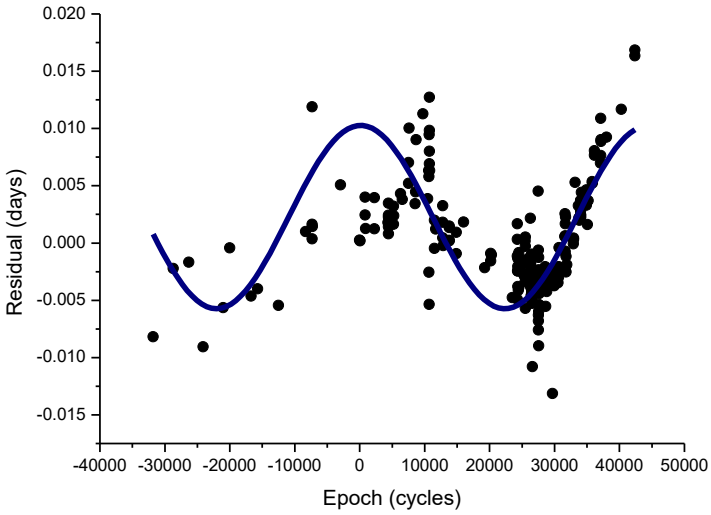
$$\left(\frac{dP}{dE}\right) = 2\,(-1.54989 \times 10^{-11})$$
$$= -3.09978 \times 10^{-11} \text{ วัน/รอบ}$$

ดังนั้น
$$\left(\frac{dP}{dE}\right) = -2.836 \times 10^{-3} \text{ วินาที/ปี} \qquad (4)$$

จากสมการที่ (4) ได้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรที่ได้จากการสังเกตการณ์ด้วยแผนภาพ O–C มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ V781 Tauri มีการลดลงด้วยอัตรา 2.836×10^{-3} วินาทีต่อปี นั่นหมายถึงระยะทางระหว่างดาวทั้งสองดวง

จะมีค่าลดลง ทำให้คาบการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของระยะห่างของระบบดาวคู่ V781 Tauri นี้ สอดคล้องตามทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Epoch จะได้กราฟดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V781 Tauri

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า Residual มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน แต่มีแนวโน้มในลักษณะเป็นคาบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการมีอยู่ของวัตถุที่สาม (Third Body) ในระบบ และสามารถหา Periodic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับค่า Residual ได้ดังสมการ

$$\text{Residual} = 0.00227 + 0.008 \sin(0.000142\ \text{Epoch} - 4.73) \qquad (5)$$

จากสมการที่ (5) จะเห็นว่าค่า Residual มีการเปลี่ยนแปลงคาบที่มี Amplitude เท่ากับ 0.008 วัน เมื่อวิเคราะห์ค่า Light time ของวัตถุที่สาม ซึ่งคำนวณจากค่า Amplitude โดยการแปลงหน่วยวันให้เป็นวินาทีแล้วคูณด้วยความเร็วแสง จะได้ระยะห่างระหว่างวัตถุที่สามกับระบบดาวคู่มีค่าประมาณ 1.38 AU และมีคาบการโคจรรอบระบบดาวคู่ประมาณ 41.906 ปี เมื่อพิจารณามวลของวัตถุที่สาม สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชันมวล (Mass Function) ดังสมการ

$$f\left(m\right)=\frac{m_3^3}{\left(m_1+m_2+m_3\right)^2}\sin^3 i'=\frac{1}{P'^2}\left(a'\sin i'\right)^3 \qquad (6)$$

โดยที่ m_1 คือมวลของดาวดวงที่ 1 ของระบบดาวคู่

m_2 คือมวลของดาวดวงที่ 2 ของระบบดาวคู่

m_3 คือมวลของวัตถุที่ 3 ในระบบดาวคู่

i' คือมุมเอียงของระนาบวงโคจรของวัตถุที่ 3

a' คือระยะห่างระหว่างวัตถุที่ 3 กับระบบดาวคู่

P' คือคาบการโคจรของวัตถุที่ 3 รอบระบบดาวคู่

ถ้าสมมติให้มุมเอียงของระนาบวงโคจรของวัตถุที่สาม ตั้งฉากกับผู้สังเกตการณ์ โดยที่มวลของระบบดาวคู่ V781 Tauri จากการศึกษาของ Kallrath et al. (2006) มีค่า 0.483 และ 1.193 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ ดังนั้นสามารถคำนวณหามวลของวัตถุที่สามตามสมการที่ (6) ซึ่งพบว่าวัตถุที่สามจะมีมวลประมาณ 0.172 เท่าของมวลดวงอาทิตย์

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่ V781 Tauri โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ต่อเข้ากับ CCD พร้อมด้วยแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2561 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ V781 Tauri โดยใช้แผนภาพ O-C พบว่าคาบการโคจรลดลงด้วยอัตรา 0.00283 วินาทีต่อปี ซึ่งหมายถึง ระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้น จึงมีแนวโน้มว่าระบบดาวคู่ V781 Tauri นี้มีวิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี AML นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่ามีวัตถุที่สามอยู่ระบบดาวคู่ V781 Tauri นี้ด้วย โดยวิเคราะห์ระยะห่างของวัตถุที่สามจากศูนย์กลางมวลของระบบได้ประมาณ 1.38 AU มีคาบการโคจรประมาณ 41.906 ปี และมีมวลประมาณ 0.172 เท่าของมวลดวงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา สำหรับสถานที่ และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

American Association of Variable Star Observers. (2019). [Online]. Available: https://www.aavso.org/bob-nelsons-o-c-files#Tau_V781.

Kallrath, J., Milone, E. F., Breinhorst, R. A., Wilson, R. E., Schnell, A., & Purgathofer, A. (2006). V781 Tauri: a W Ursae Majoris binary with decreasing period. *Astronomy & Astrophysics Journal, 452,* 959–967.

Li, K., Gao, D. Y., Hu, S. M., Guo, D. F., Jiang, Y. G. & Chen, X. (2014). [Online]. *The active W UMa type binary star V781 Tau revisited*. Available: https://arxiv.org/pdf/1601.00412.pdf.

Liu, Q., & Yang Y. (2000). A period study of the W UMa type contact binary V 781 Tauri. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series, 142,* 31-34.

SIMBAD Astronomical Database. (2000). [Online]. Available: http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=v781+tau&submit=SIMBAD+search.