Received: October 10, 2023 Revised: November 27, 2023
Accepted: December 13, 2023 Published: December 26, 2023

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ V523 Pegasi
The Study of Physical Properties of a Binary Star System V523 Pegasi

สุภัทร สายรัตนอินทร์[1] ตอริก เฮ็งปิยา[2] และ วิระภรณ์ ไหมทอง[3*]
Supat Sairattanain[1] Torik Hengpiya[2] and Wiraporn Maithong [3*]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
[2] หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
[3] ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[1] Program in General Science, Faculty of Education, Sisaket Rajabhat University
[2] Regional Observatory for the Public, Songkhla, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)
[3] Department of Physics ang General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University
[*] wiraporn_mai@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ และการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Pegasi (V523 Peg) บันทึกภาพด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาด 0.7 เมตร ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบ ซีซีดี โฟโตเมทรี (CCD Photometry) ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (filter B) และสีเหลือง (filter V) โดยใช้เวลาในการรับแสงภาพละ 40 วินาที สลับกันไป ตั้งแต่วันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2564 เวลา 21:37 น. ถึงวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564 เวลา 04:02 น. (UT 14:37 – 21:02) ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา เมื่อนำภาพที่ได้มาวัดค่าความสว่างเพื่อสร้างกราฟแสง (light curve) แล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney พบว่าระบบดาวคู่นี้มีค่าอัตราส่วนมวล (q) ประมาณ 0.196479 ± 0.013397 อุณหภูมิที่คำนวณได้ของดาวดวงที่ 1 มีอุณหภูมิ 5,988 ± 1,570 K และดาวดวงที่ 2 มีอุณหภูมิ 4,913 ± 633 K นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ในการสร้างแผนภาพ O-C จากข้อมูลสังเกตการณ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรที่ 6.18695×10^{-3} วินาที/ปี หมายความว่าระบบดาวคู่นี้กำลังโคจรเข้าใกล้กันมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะรวมเป็นดาวดวงเดียวกันหรือดาวเดี่ยวในที่สุด

คำสำคัญ: กราฟแสง, ระบบดาวคู่, อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร, V523 Peg

Abstract

This research aimed at investigating the modeling and period variations of the binary star system known as V523 Pegasi (V523 Peg). Utilizing a 0.7-meter reflecting telescope equipped with CCD photometry techniques, observations were conducted in blue light wavelength (Filter B) and yellow light wavelength (Filter V). These observations were carried out from August 7, 2021, at 9:37 p.m. (UT 14:37) to August 8, 2021, at 04:02 a.m. (UT 21:02) at the Regional Observatory for the Public in Songkhla, with each image exposed for 40 seconds. When measured the obtained images for made light curve and analyzing for physical parameters with the Wilson-Devinney program. The outcomes of this study shown mass ratio (q) of the V523 Peg binary star system about 0.196479 ± 0.013397. The calculated temperature of the Star 1 is 5,988 ± 1,570 K and Star 2 is 4,913 ± 633 K. Addition, when analyzing the time of minimum an O-C diagram from observational data from the past to the present it has an orbital period change rate of 6.18695 x 10^{-3} seconds/year. This indicates that the binary stars are gradually moving closer together and may eventually merge into a single star or a binary system with one dominant star.

Keywords: light curve, binary star, orbital period change rate, V523 Peg

บทนำ

ดาวฤกษ์บนท้องฟ้ายามค่ำคืนที่มองเห็นส่วนใหญ่ไม่ใช่ดาวฤกษ์เพียงดวงเดียว แต่เป็นการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบของดาวฤกษ์ 2 ดวง ซึ่งไม่สามารถมองออกได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่า ระบบดาวคู่ (binary star system) ดาวฤกษ์ทั้ง 2 ดวงอาจมีขนาดแตกต่างกันมากหรือไม่แตกต่างกันก็ได้ และอาจใช้เวลาในการโคจรครบ 1 รอบยาวนาน จึงจำเป็นต้องใช้กล้องโทรทรรศน์และการบันทึกภาพอย่างต่อเนื่องในการวิเคราะห์และศึกษาระบบดาวคู่ (Maithong, 2021) โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา ตั้งอยู่ที่ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา ที่ละติจูด 7° 9' 29" N ลองจิจูด 100° 36' 39" E ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร บันทึกภาพด้วยระบบ ซีซีดี โฟโตเมทรี (CCD Photometry) สามารถถ่ายภาพระบบดาวคู่บนท้องฟ้าและนำมาวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางดาราศาสตร์ได้

การสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่จำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายในช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney (Wilson-Devinney, 1971) การหาอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ ทำได้โดยการบันทึกภาพของระบบดาวคู่ให้ครอบคลุมคาบการโคจร บันทึกภาพผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Astroimage J เพื่อหา ค่าฟลักซ์ของแสงดาวและค่า HJD เพื่อใช้สร้างกราฟแสง และคำนวณค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of minima light) แล้วสร้างแผนภาพ O-C (Liu et al., 2013) ดาว V523 Peg (V523 Pegasi) เป็นระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binary) ซึ่งดาวฤกษ์ทั้งสองจะเกิดคราสหรือการเคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งและระนาบเดียวกันเมื่อสังเกตจากโลก การเคลื่อนที่ผ่านกันนี้ทำให้ความสว่างโดยรวมของระบบลดลงชั่วคราว อยู่ในกลุ่มดาวม้าบิน (Pegasus) ที่ตำแหน่ง RA. 22 h 22 m 28.81 s และ Dec. +29° 22' 12.446" ตามระบบพิกัดศูนย์สูตร

(Equatorial Coordinates) จัดอยู่ในกลุ่ม K1V อุณหภูมิอยู่ในช่วง 3,000 – 5,000 K ตามการจัดระดับสเปกตรัมของฮาร์วาร์ด (Harvard spectral classification) (SIMBAD, 2566) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ทางกายภาพในการสร้างแบบจำลอง และอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg

บันทึกภาพระบบดาวคู่ V523 Peg ด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ด้วยระบบรับสัญญาณแบบ CCD (Charged-coupled Device) ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (filter B) และสีเหลือง (filter V) ของระบบ UBV Johnson โดยใช้เวลาในการรับแสงภาพละ 40 วินาที สลับกันไป ตั้งแต่วันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2564 เวลา 21:37 น. (UT 14:37) ถึงวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564 เวลา 04:02 น. (UT 21:02) ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา

วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพ ด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney โดยใช้ข้อมูลพารามิเตอร์จากระบบดาวคู่ YY Eri เป็นค่าตั้งต้นในการวิเคราะห์ (ดังตารางที่ 1) เนื่องจากเป็นดาวที่มีระดับสเปกตรัมใกล้เคียงกัน โดยกำหนดให้ค่าอัตราส่วนมวล ($q= m_2/m_1$) คงที่ คำนวณหาค่าอัตราส่วนมวลที่ดีที่สุด แล้วจึงวิเคราะห์โดยการแปรค่าอัตราส่วนมวลเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (กฤษฎา และคณะ, 2565) และสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ตั้งต้นจากระบบดาวคู่ YY Eri

พารามิเตอร์	ผลที่ดีที่สุด
ขนาดมุมเอียง (i)	$81.45^{\circ} \pm 0.10$
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 1 (g_1)	0.320
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 2 (g_2)	0.320
ศักย์ที่ผิวดาวดวงที่ 1 และ 2 $(\Omega_1 = \Omega_2)$	2.927108 ± 0.008878
อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ (T_1) (K)	5533 ± 154
อุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ (T_2) (K)	5598 ± 146
อัตราส่วนมวล (q)	0.555882 ± 0.005128
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน $(L_{1B}/(L_1+L_2)_B)$	0.60955 ± 0.02696
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง $(L_{1V}/(L_1+L_2)_V)$	0.61602 ± 0.02520

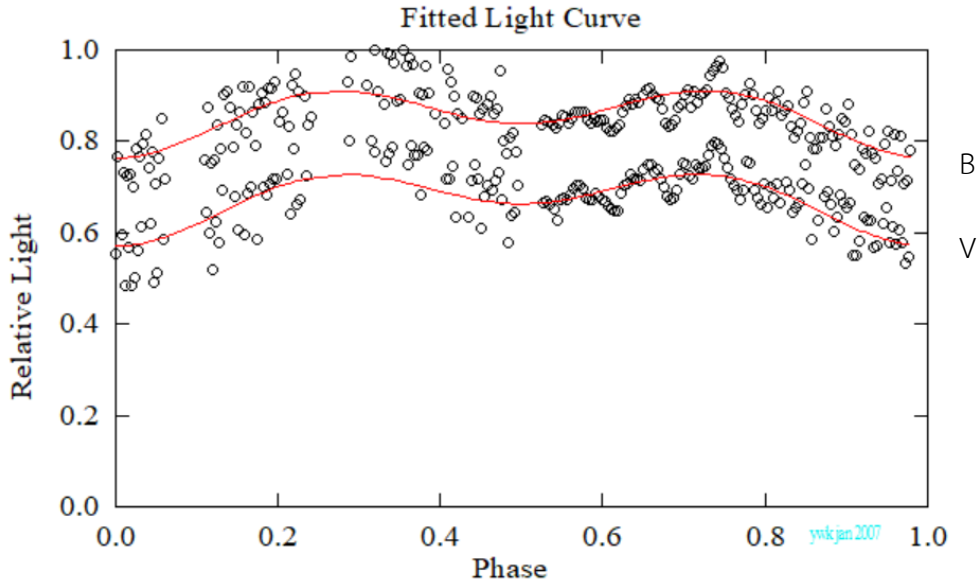
2. ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ V523 Peg โดยการนำภาพที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (Flux) และวันจูเลียนศูนย์สุริยะ (Heliocentric Julian Date,HJD) ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน และช่วงความยาวคลื่นแสงสีเหลือง นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสง (Light Curves) เพื่อหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of minima light) โดยนำข้อมูลแสงในช่วงต่ำที่สุดของทั้งช่วงความคลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลืองมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโพลิโนเมียลอันดับ 2 (Polynomial 2^{nd} order) จะได้สมการตัวแทนเส้นโค้งของทั้งสองความยาวคลื่นแล้วจึงนำไปหาอนุพันธ์ เพื่อหาจุดเปลี่ยน curve ทำให้ได้เวลาที่มีค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด (Min.I) แล้วจึงสร้างแผนภาพ O-C (Pancharoen-Maithong, 2021) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. แบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพ เพื่อสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg ในครั้งนี้ ได้ใช้พารามิเตอร์ตั้งต้น จากระบบดาวคู่ YY Eri (Pancharoen-Maithong, 2021) เมื่อวิเคราะห์หาผลเฉลยที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ทางกายภาพจากโปรแกรม Wilson-Devinney แล้ว ได้ผลดังตารางที่ 2 โดยมีกราฟแสงสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 1



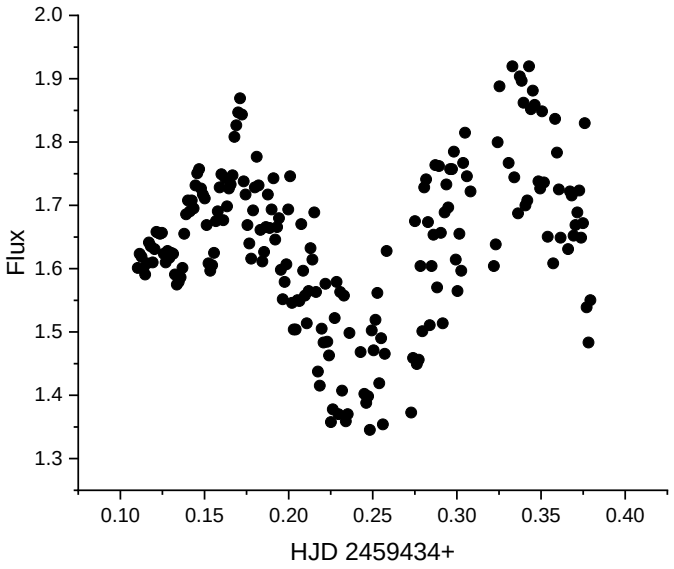
รูปที่ 1 กราฟแสงสังเคราะห์ของระบบดาวคู่ V523 Peg

วงกลมเล็กแต่ละวงในภาพคือกราฟแสงของระบบดาวคู่ V523 Peg ที่ได้จากการสังเกตการณ์ ส่วนเส้นสีแดงคือกราฟแสงสังเคราะห์ที่ดีที่สุด ที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์

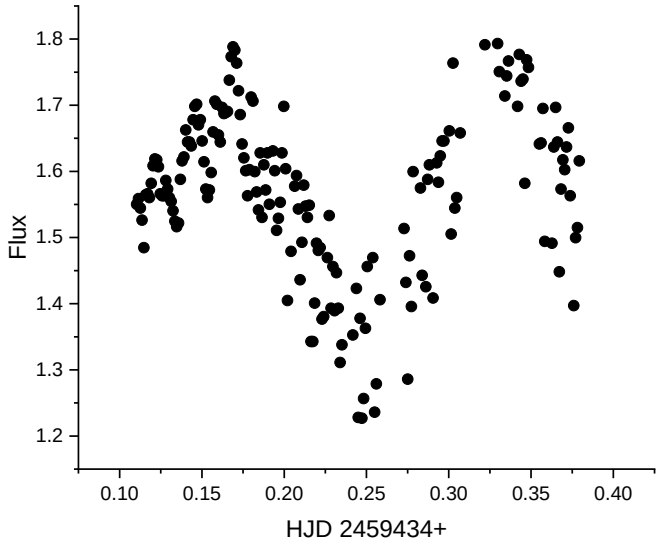
ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของระบบดาวคู่ V523 Peg

พารามิเตอร์	ผลที่ดีที่สุด
ขนาดมุมเอียง (i)	$34.62^{o} \pm 8.37$
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 1 (g_1)	0.320
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 2 (g_2)	0.320
ศักย์ที่ผิวดาวดวงที่ 1 และ 2 $(\Omega_1 = \Omega_2)$	1.874885 ± 0.204632
อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ (T_1) (K)	5988 ± 1570
อุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ (T_2) (K)	4913 ± 633
อัตราส่วนมวล (q)	0.196479 ± 0.013397
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน $(L_{1B}/(L_1+L_2)_B)$	0.90188 ± 0.29754
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง $(L_{1V}/(L_1+L_2)_V)$	0.87979 ± 0.30046

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายผ่านแผ่นกรองแสง ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V) ของระบบดาวคู่ V523 Peg นำมาสร้างกราฟแสง ได้ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 3

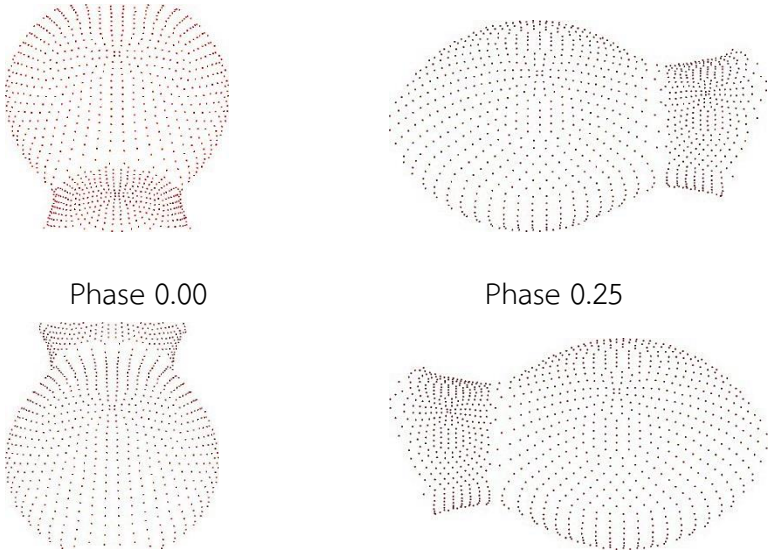


รูปที่ 2 กราฟแสงระบบดาวคู่ V523 Peg ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (ฟิลเตอร์ B)



รูปที่ 3 กราฟแสงระบบดาวคู่ V523 Peg ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเหลือง (ฟิลเตอร์ V)

เมื่อนำข้อมูลพารามิเตอร์จากตารางที่ 1 สามารถสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองของระบบดาวคู่ V532 Peg

2. การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 สามารถวิเคราะห์หาค่าเวลาที่ระบบดาวคู่ V523 Peg มีความเข้มแสงน้อยที่สุด (Min.I) และเมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของกราฟแสง คำนวณหาค่าจำนวนครบรอบของช่วงเวลาที่ดาวมี

ความสว่างน้อยที่สุด (Epoch) กราฟแสงจะมีค่าแปรตามจำนวนเท่าของคาบตามสมการเชิงเส้นเอฟรีเมอริส (Linear ephemeris equation) จากฐานข้อมูล AAVSO ดังสมการที่ 1

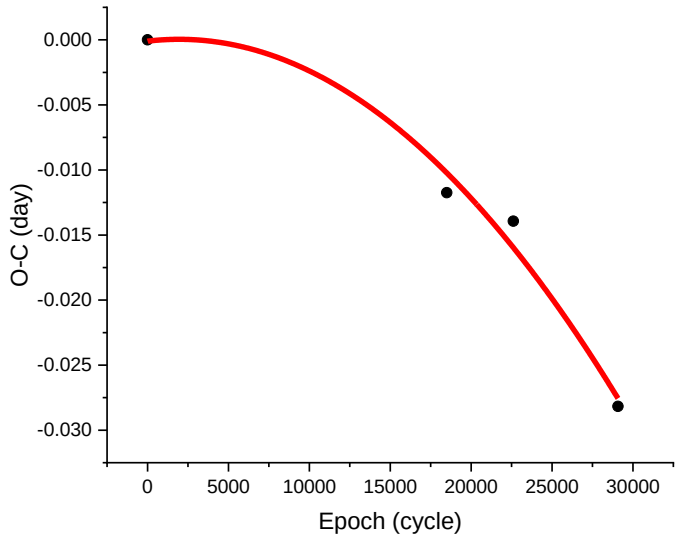
$$\text{Min.I} = \text{HJD } 2451352.7603 + 0.27793E \qquad (1)$$

จากสมการเชิงเส้นเอฟรีเมอริส ตามสมการที่ 1 และข้อมูลเวลาที่แสงน้อยที่สุดจากในอดีต สามารถคำนวณหาค่า O-C ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่า Epoch และค่า O-C ของดาว V523 Peg จากฐานข้อมูลต่าง ๆ

Epoch (Cycle)	O-C (day)	Source	Date
0	0	GCVS	23/6/1999
18496.5	-0.011745	IBVS 6118	19/7/2013
22613.5	-0.013936	RHN 2016	6/9/2016
29077.5	**-0.028175**	**งานวิจัยนี้**	**7/8/2021**

จากตารางที่ 3 พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2564 มีการศึกษาระบบดาวคู่ V523 Peg จำนวน 4 ครั้ง และเมื่อนำค่า Epoch และค่า O-C มาแสดงความสัมพันธ์จะได้แผนภาพ O-C ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V523 Peg

จากรูปที่ 5 สามารถวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg ด้วยสมการพหุนามอันดับ 2 (Second-Degree Polynomial) ได้ดังสมการที่ 2

$$\text{O-C} = -3.75157\text{x}10^{-11}\ E^2 + 1\text{x}10^{-7}\ E - 1.00702\text{x}10^{-4} \qquad (2)$$

เมื่อหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการที่ (2) เทียบกับ E สามารถเทียบสัมประสิทธิ์ของทั้งสองข้างของสมการ ทำให้ได้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ dP/dE คือ -2.69965×10^{-10} day/cycle นั่นหมายถึง การเปลี่ยนแปลงคาบมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราโดยประมาณ -7.16082×10^{-8} วัน/ปี หรือ -6.18695×10^{-3} วินาที/ปี

สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V523 Peg ด้วยภาพถ่ายจากกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้องแสง ขนาด 0.7 เมตร ของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา ในวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2564 โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney ใช้ช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเหลือง ในระบบ UBV Johnson พบว่าระบบดาวคูนี้มีขนาดที่ค่อนข้างต่างกัน โดยมีค่าอัตราส่วนมวล q ประมาณ 0.196479 มีขนาดมุมเอียง 34.62 องศา โดยดาวดวงที่ 1 มีอุณหภูมิประมาณ 5,988 K มากกว่าดาวดวงที่ 2 ที่มีอุณหภูมิ 4,913 K และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V523 Peg พบว่ามีค่าลดลงในอัตรา 6.18695×10^{-3} วินาที/ปี ซึ่งหมายความว่า ระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองดวงมีค่าลดลง นั่นคือสมาชิกของดาวคู่ V523 Peg มีแนวโน้มที่จะรวมเป็นดาวดวงเดียวกันหรือดาวเดี่ยวในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านแรงไทดัล (สมกรณ์ และกฤษฎา, 2565) ทำให้ระบบดาวคู่มีระยะระหว่างดาวลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของข้อมูลชุดนี้คือการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งอาจเกิดจากความแปรปรวนของสภาพอากาศในช่วงเวลาดังกล่าว จึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา บุญชม, ตอริก เฮ็งปิยา และวิระภรณ์ ไหมทอง. (2565). แบบจำลองแรกของระบบดำวคู่ V415 Virginis. *วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ. 5*(1), 78-83.

สมกรณ์ ชัยวรากรณ์ และกฤษฎา บุญชม. (2565). การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ จีดับเบิลยู ซีเอ็นซี. *วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ. 5*(1), 84-90.

Liu, W. P., Qian, S. B., Zhao, E. G. and Jiang, L. Q. (2013). First photometric study of W UMa binary star LU Lac. *New Astronomy*, *31*: 65-68.

Maithong, W. (2 0 2 1). Period Change and Third Body Analysis of a Binary Star V5 2 3 Cassiopeiae. *In Journal of Physics: Conference Series*, *1835*(1): 012099-012104.

Pancharoen, W. and Maithong, W. (2021). The First Study of a Period Change of the V1851 Orion Binary System. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports, 24*(3): 9-14.

SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). Retrieved 8 September 2023, http://simbad.u-strasbg.fr/simbad

Wilson, R. E. and Devinney, E. J. (1971). Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *Astrophysics Journal*, *166*: 605-619.