

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมในคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา วี 1851 โอไรโอนิส

A study of angular momentum change in the orbit of an eclipsing binary system V1851 Orionis

ธนวัฒน์ รังสูงเนิน^{1*} ปาจไน จอห์นออก² ปิยะนัฐ โพธิ์หนอง² และสมานชาญ จันทร์เอี่ยม³
Thanawat Rangsungnoen^{1*}, Pachanai Chohono², Piyanut Phonong²
and Smanchan Chandaiam³

รับบทความ 4 กันยายน 2566/ ปรับแก้ไข 28 พฤศจิกายน 2566/ ตอรับบทความ 22 ธันวาคม 2566
Received: September 4, 2023/ Revised: November 28, 2023/ Accepted: December 22, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคาบวงโคจรและลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส ซึ่งเป็นระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W Uma โดยข้อมูลทางกายภาพเดิมบ่งชี้ว่าระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส กำลังเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจากประเภทระบบดาวคู่แบบตะวันตกเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพใหม่ด้วยเทคนิคโฟโตเมตรี โดยเก็บข้อมูลด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร เชื่อมต่อกับระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R) ตามระบบมาตรฐาน ยูวีบี ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 18 – 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 และในระหว่างวันที่ 22 - 23 ธันวาคม พ.ศ.2563 ผลปรากฏว่าได้ผลการ linear ephemeris ใหม่ คือ $HJD = 2452617.7356 + 0.27695E$ และคาบวงโคจรของระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส เพิ่มขึ้นในอัตรา $5.02294198 \times 10^{-17}$ วินาทีต่อปี เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยโปรแกรม PHOEBE พบว่ามีค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.64694 มุมเอียงของระนาบวงโคจรเท่ากับ 87.78448 องศา อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิเท่ากับ 5,711 เคลวิน และ 6,000 เคลวิน ตามลำดับ ดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิมีมวลเท่ากับ 18.761285 และ 12.137425 เท่าของดวงอาทิตย์ ซึ่งให้เห็นว่าสมาชิกของระบบดาวคู่กำลังวิวัฒนาการสู่สภาพดาวยักษ์แดง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส เป็นระบบดาวคู่ที่เปลี่ยนจากสภาพเป็นระบบดาวคู่แบบตะวันตกมากขึ้น โดย

¹อาจารย์ประจำหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 340 ถ.สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹Lecturer of the Bachelor of Education Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 340 Suranarai Road, Nai Mueang Subdistrict, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

²บัณฑิตหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 340 ถ.สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

²Graduate of the Bachelor of Education Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University 340 Suranarai Road, Nai Mueang Subdistrict, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

³นักวิชาการประจำ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 111 ถ.มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

³Academician of Nakhon Ratchasima Regional Observatory for the Public, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) 111 University Rd. Suranaree University of Technology, Suranaree Subdistrict, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

*ผู้ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Corresponding author, E-mail : kruneng.kk@gmail.com

มีคาบวงโคจรลดลง ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิวัฒนาการดาวฤกษ์ตามทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่
คำสำคัญ : วี 1851 โอโรโอนิส ระบบดาวคู่ ทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม

Abstract

The aim of this research is to study the orbital period and physical characteristics of binary star V 1851 Orionis, a W UMa eclipsing binary star system which its physical characteristics indicate the change from a contact binary to a semidetached binary star system. The system has been reanalyzed by photometry techniques. Using a reflecting 0.7-m telescope and a CCD photometer blue (B), visible (V) and red (R) wavelength band filters at the Nakhon Ratchasima Regional Observatory for the Public. The data were collected during 18 - 21 November 2020 and 22 - 23 December 2020. The result shows a new linear ephemeris of $HJD = 2452617.7356 + 0.27695E$. The orbital period of the binary star system V 1851 Orionis increases at the rate of $5.02294198 \times 10^{-17}$ seconds per year. Its physical characteristics using the PHOEBE program, it was found that the mass ratio was 0.64694, the angle of inclination of the orbital plane was 87.78448 degrees, and the temperatures of the primary star and the secondary star were 5,711 Kelvin and 6,000 Kelvin, respectively. The masses of primary stars and secondary stars were calculated and found to be 18.761285 and 12.137425 solar masses, respectively which may imply that the each component of the binary system has been evolved to red giant stage. From the analysis, it can be concluded that the binary star V 1851 Orionis is on an evolutionary process from a more contact binary system with an orbital period decreasing. This is in line with the hypothesis of stellar evolution based on the angular momentum loss theory of the binary system.

Keywords : V 1851 Orionis, binary star system, angular momentum loss (AML) theory

บทนำ

ดาวฤกษ์จำนวนมากเกินกว่าครึ่งหนึ่งที่ปรากฏบนท้องฟ้า เป็นระบบดาวฤกษ์ที่ประกอบด้วยสมาชิกสองดวงหรือมากกว่าโคจรรอบจุดศูนย์กลางของมวลและอยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงซึ่งกันและกัน (Thanawat Rangsunognoen, 2012) บรรดาดาวฤกษ์ทั้งหมดพบว่ามีประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่าครึ่งเป็นระบบดาวคู่ มีการจำแนกออกเป็นประเภทได้หลายประเภทตามสมบัติทางกายภาพทั่วไป หนึ่งในนั้นคือความสัมพันธ์กับการจำแนกชนิดของระบบดาวคู่ดูปราคาดตามลักษณะโครงสร้างความใกล้ชิดกันและวิวัฒนาการของสมาชิกในระบบ ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองของโรชส์ (Roche Model) จัดแบ่งระบบดาวคู่ดูปราคาดออกเป็นสามชนิด คือ ระบบดาวคู่แบบแยกกัน (Detached Binary Systems) ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semidetached Binary Systems) และระบบดาวคู่แบบแตะกัน (Contact Binary Systems) ตามที่ Kopal ได้จำแนกไว้ (Kopal Zdenek, 1959) โดยการสังเกตและตรวจวัดข้อมูลที่ได้นำมาสร้างเป็นกราฟแสง (Light Curve) ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถวิเคราะห์คาบวงโคจรและองค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ที่นำมาเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิวัฒนาการภายใน

ระบบดาวคู่ได้ ความสำคัญประการหนึ่งของการศึกษาระบบดาวคู่ คือ ดาวฤกษ์เหล่านี้ถือกำเนิดขึ้นจากสมมติฐานการระเบิดครั้งใหญ่ รวมทั้งการระเบิดเล็ก ๆ ตามวัฏจักรการก่อกำเนิดดาวฤกษ์ ดังนั้นการศึกษาระบบดาวคู่จึงเปรียบเสมือนการค้นหาร่องรอย หลักฐานการเชื่อมต่อการวิวัฒนาการของเอกภพ

คณะผู้วิจัยได้เลือกศึกษาวิจัยระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส หรือเรียกชื่ออื่นในระบบบัญชีรายชื่อวัตถุท้องฟ้าว่า GSC 702 - 1892 หรือ ASAS J051245 + 101512 หรือ NSVS 9512770 หรือ 2MASS J05124486 + 1015104 (University de Strasbourg, 2020) เป็นระบบดาวคู่ในกลุ่มดาวนายพราน มีตำแหน่งพิกัด RA = 05h 12m 44.8s และ Dec = 10° 15' 10" ถูกค้นพบโดย Blattler และ Diethelm ในปี ค.ศ.2007 ด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบชนิดที่แคสสิเกรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร เชื่อมต่อกับระบบ CCD - Starfire refractor ณ หอดูดาวSchüsselacher ในเมือง Wald ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ผลการวิจัยระบุว่าระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส เป็นระบบดาวคู่ ชนิด W UMa มีคาบวงโคจร 0.276945 วัน มีค่าความสว่าง $V_{mag} = 11.9$ และ $R_{mag} = 12.6$ จัดเป็นระบบดาวคู่ดูปราคาดแบบแตะ

กัน (Contact Binary Systems) เนื่องจากระบบดาวคู่ชนิดนี้มีการถ่ายเทมวลระหว่างกันทำให้คาบวงโคจรมีการเปลี่ยนแปลง (Blattler and Diethelm, 2007) ซึ่งในปี ค.ศ.2013 Ahmed Essam และคณะได้วิเคราะห์ว่าระบบดาวคู่นี้มีอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.49 และรายงานพบว่าการเปลี่ยนแปลงของดาวฤกษ์ทั้งสองดวงอาจไม่ได้แตกต่างกันตามสมมติฐานการวิวัฒนาการดาวฤกษ์ของโรซซีในอนาคต โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสงที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ (Essam, A., Nakhlawy, A. & Rassem, M.A., 2013) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากสมมติฐานของโรซซี ดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกของระบบดาวคู่จะมีการวิวัฒนาการจนเต็มผิวห่อหุ้ม และมีการถ่ายเทมวลสารจนกระทั่งกลายเป็นระบบดาวคู่แบบแตกกัน โดยเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมเชิงมุมจะมีการลดลงของโมเมนตัมเชิงมุม ตามทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum loss ; AML) โดย Warisa Pancharoen และ Wiraporn Maithong ได้ทำการวิเคราะห์ระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส พบว่ามีคาบวงโคจรลดลง สอดคล้องกับแนวโน้มการลดลงตามทฤษฎี AML (Pancharoen, W. and Maithong, W., 2021) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลการสืบทอดดังกล่าวข้างต้นพบว่าระบบดาวคู่นี้มีการวิวัฒนาการที่เปลี่ยนแปลงอย่างน่าสนใจดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะทางกายภาพและแนวโน้มของ การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส จะมีแนวโน้มเป็นไปตามข้อเสนอแนะของAhmed Essam และคณะ หรือไม่ อย่างไร ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการบ่งบอกถึงทิศทางการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่นี้

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำการสังเกตการณ์และเก็บข้อมูลภาพถ่ายระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส ในระหว่างวันที่ 18 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 และในระหว่างวันที่ 22 - 23 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสงเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ขั้นตอนการหาข้อมูลของดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส

1) ค้นหาบัญชีรายชื่อของดาวแปรแสงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยค้นหาจากเว็บไซต์ <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR> เลือก gcv5

2) ค้นหาข้อมูลของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส จากเว็บไซต์ <http://aladin.u-strasbg.fr> และศึกษา

ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดาวจากเว็บไซต์ <http://catserver.ing.iac.es/staralt/index.php>

2. คณะผู้วิจัยได้ทำการสังเกตการณ์และบันทึกข้อมูลถ่ายภาพระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง Plane wave ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร เชื่อมต่อกับระบบมอเตอร์ตามดาวอัตโนมัติ เก็บข้อมูลผ่านระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ ผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) ขนาดความยาวคลื่น 4300 อังสตรอม ความยาวคลื่นสีเหลือง (V) ขนาดความยาวคลื่น 5500 อังสตรอม และความยาวคลื่นสีแดง (R) ขนาดความยาวคลื่น 6200 อังสตรอม ตามระบบมาตรฐานยูวีบี (UVB System) ใช้เวลาในการเปิดหน้ากล้องบันทึกข้อมูล (Integration Time) 105, 28 และ 15 วินาที ตามลำดับ โดยทำการเลือกดาว Nomad1 1002-0053403 เป็นดาวเปรียบเทียบ (Comparison Star) และดาว Nomad1 1002-0053386 เป็นดาวตรวจสอบ (Check Star)

3. ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R) มีจำนวน 769 ข้อมูล, 767 ข้อมูล และ 289 ข้อมูลตามลำดับ ข้อมูลที่ได้นำมาผ่านกระบวนการรีดักชันภาพ (Image Reduction) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro 6 และทำการวัดแสงด้วยวิธีโฟโตเมตรี (Photometry) ด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro 6 และใช้เทคนิคการสังเกตการณ์เปรียบเทียบ (Differential Observation) โดยหาผลต่างระหว่างความสว่างปรากฏของระบบดาวคู่กับดาวเปรียบเทียบทั้งสามช่วงความยาวคลื่น ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลาของดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส ในหน่วยวันจูเลียน (JD) ความสว่างปรากฏของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส กับดาวเปรียบเทียบ และความสว่างปรากฏของดาวตรวจสอบกับดาวเปรียบเทียบ

4. ดำเนินการหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดในแต่ละคืนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงเวลาการเกิดอุปราคาปฐมภูมิและอุปราคาทุติยภูมิ

5. ดำเนินการการคำนวณเพื่อหาสมการเส้นตรงอพิเมอร์สใหม่ มีความจำเป็นต้องอ้างอิงถึงสมการเส้นตรงอพิเมอร์สเดิมที่นักดาราศาสตร์ในอดีตได้คำนวณไว้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส เปลี่ยนคาบวงโคจรไปจากเดิม สำหรับงานวิจัยนี้อ้างอิงสมการเส้นตรงอพิเมอร์ส ในปี ค.ศ. 2002 ซึ่งรวบรวมข้อมูลโดย Bob Nelson (2020)

6. คำนวณค่า C (Calculate) โดยนำค่า HJD_0 , Period และ Epoch ที่ได้จากการคำนวณของแต่ละวันที่เกิดอุปราคา มาแทนค่าในสมการ

$$C = HJD_0 + PE \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณเวลาที่แสงลดลงน้อยที่สุด

HJD_0 คือ เวลาที่แสงลดลงน้อยที่สุด

P คือ คาบวงโคจรที่วัดได้จากการสังเกตการณ์

E คือ ค่ายุค ณ เวลาที่เกิดอุปราคาที่ใช้อ้างอิง

7. นำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของแต่ละช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาในแต่ละวันที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) ลบออกด้วยค่าช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาที่ได้จากการคำนวณ (C)

8. นำค่ายุคและค่า O-C ของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส ที่ได้จากการคำนวณไปรวมกับข้อมูลค่ายุคและค่า O-C ของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส ที่นักดาราศาสตร์ในอดีตเคยคำนวณไว้ทั้งหมด จากนั้นนำมาเป็นข้อมูลในการเขียนกราฟความสัมพันธ์แผนภาพ O-C

9. นำข้อมูลจากการคำนวณเส้นกราฟที่แสดงในแผนภาพ O-C มาคำนวณด้วยวิธี Polynomail Fit Curve Quadratic Polynomail Fitting Method หลังจากนั้นคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส ดังสมการ

$$O-C = aE^2 + bE + c = [P(E) - P_0]E \quad (2)$$

โดย O-C คือ ผลต่างเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์และการคำนวณ, a, b และ c คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากผลการคำนวณเส้นกราฟจากแผนภาพ O-C ด้วยวิธี Polynomail Fit Curve Quadratic Polynomail Fitting Method, E คือ ค่ายุคหรือวงรอบของการเกิดอุปราคา ณ ช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากงานวิจัยนี้, $P(E)$ คือ คาบวงโคจรที่อ้างอิง ณ ตำแหน่งค่ายุค $E = 0$ และ $P(0)$ คือ คาบวงโคจรที่ได้จากสมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่

10. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส โดยใช้โปรแกรม PHOEBE (Physics Of Eclipsing Binaries) (Prsa A., 2011) และนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดมาเขียนแบบจำลองทางกายภาพของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส

11. สรุปและประเมินแนวโน้มการวิวัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส

ผลการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส ได้ผลข้อมูลเบื้องต้นเป็นภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ จากนั้นนำภาพถ่ายดังกล่าวมาดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนและทำการวัดแสงของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี มีผลการวิจัยดังนี้

1. การหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด

การหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่เกิดจากการบังกันของดาวฤกษ์ทั้งสองดวงที่เป็นสมาชิกภายในระบบดาวคู่นี้ ผลปรากฏว่าได้ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจำนวน 9 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 1

2. การหาสมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่

การคำนวณเพื่อหาสมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่ มีความจำเป็นต้องอ้างอิงถึงสมการเส้นตรงอิมเมอร์สเดิมที่นักดาราศาสตร์ในอดีตได้คำนวณไว้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส มีผลลัพธ์ของการเปลี่ยนคาบวงโคจรไปจากเดิม อย่างไร สำหรับงานวิจัยระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส นี้ได้ทำการอ้างอิงสมการเส้นตรงอิมเมอร์สเดิมจากฐานข้อมูล Bob Nelson ซึ่งแสดงผลงานวิจัยของ TASS ที่คำนวณสมการไว้ในปี ค.ศ. 2002 ดังแสดงในสมการ (3)

$$MIN I = 2452617.7356 + 0.27695E \quad (3)$$

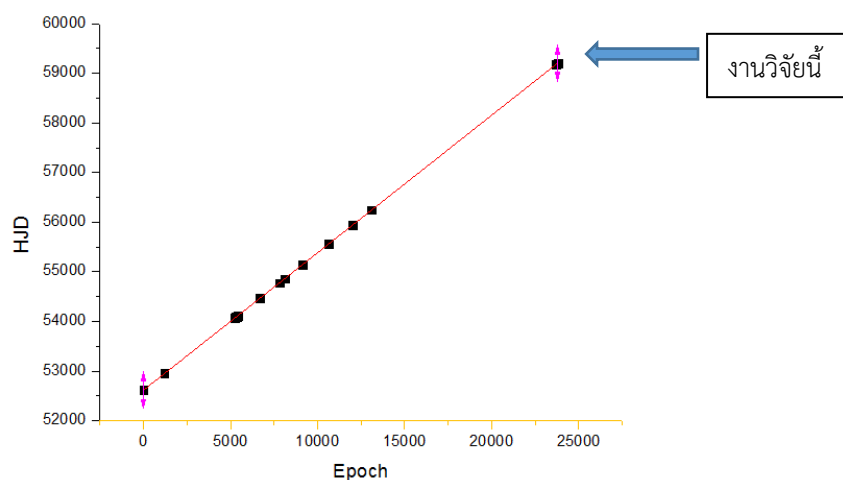
ทำการคำนวณหาค่ายุคในช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดของวันที่ 18 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 และวันที่ 22 - 23 ธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยใช้สมการ (3) จากนั้นนำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด $HJD (min)$ กับค่ายุคที่เป็นผลมาจากการคำนวณ ณ เวลาปัจจุบันไปรวมกับค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดกับค่ายุคที่นักดาราศาสตร์ในอดีตที่ได้ทำการคำนวณไว้ นำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังรูปที่ (1) และได้ผลลัพธ์เป็นสมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่ ของงานวิจัยนี้ ดังแสดงในสมการ (4)

$$HJD (min) = 2452617.77506 + 0.27695E \quad (4)$$

ตารางที่ 1 ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส

วัน/เดือน/ปี	ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของความยาวคลื่น (2459000+)			ค่าเวลาที่แสง น้อย ที่สุดเฉลี่ย (2459000+)	ชนิดของ อุปราคา
	สีน้ำเงิน (B)	สีที่ตามองเห็น (V)	สีแดง (R)		
18/11/2020	172.1212	172.1221	-	172.1217	ปฐมภูมิ
18/11/2020	172.2586	172.2606	-	172.2596	ทุติยภูมิ
19/11/2020	173.2319	173.2312	-	173.2315	ปฐมภูมิ
19/11/2020	173.0935	173.0914	-	173.0925	ทุติยภูมิ
21/11/2020	175.1676	175.1669	-	175.1672	ปฐมภูมิ
22/11/2020	206.1864	206.1874	206.1871	206.1870	ปฐมภูมิ
22/11/2020	206.3271	206.3293	206.3275	206.3272	ทุติยภูมิ
23/11/2020	207.2939	207.2949	207.2946	207.2945	ปฐมภูมิ
23/11/2020	207.1530	207.1560	207.1557	207.1549	ทุติยภูมิ

หมายเหตุ ชนิดของอุปราคา ได้แก่ อุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) คือการบังกันครั้งแรก ณ ตำแหน่งเฟส 0.0 และ 1.0 ในการนับการครบรอบ 1 รอบ ส่วนอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) คือการบังกันครั้งที่สอง ณ ตำแหน่งเฟส 0.5 ส่วนค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของความยาวคลื่นสีแดง ในวันที่ 18, 19 และ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2563 ไม่มีผลการแสดง เนื่องจากแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีแดงมีความบกพร่อง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Epoch กับ HJD (min)

3. การคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจร

การคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ วี 1851 โอโรโอนิส เริ่มต้นจากการนำค่าที่ได้จากการสังเกตการณ์ (Observed) ดังสมการ (5) และค่าที่ได้จากการคำนวณผล (Calculated) ณ ตำแหน่งเวลาที่แสงน้อยที่สุดในแต่ละคืน ดังสมการ (6) นำมาลบกัน

$$O = T_0 + PE \quad (5)$$

$$C = T_0 + P_0E \quad (6)$$

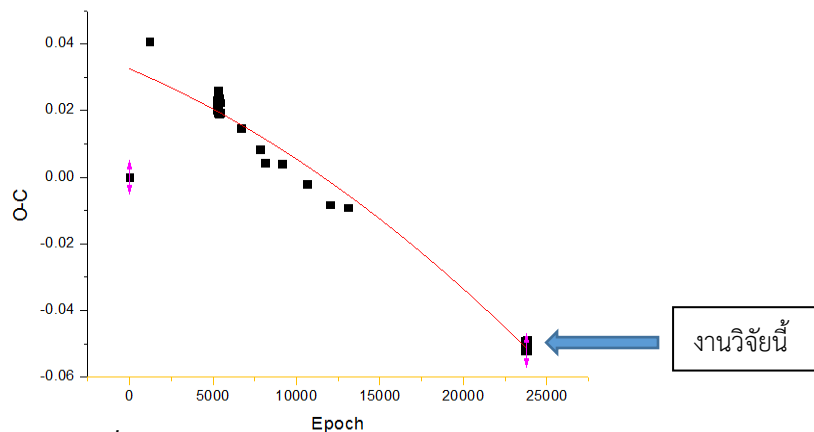
เมื่อ T_0 คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด เมื่อเริ่มต้นนับจำนวนรอบที่ $E = 0$, P คือ คาบเวลาที่ได้จากการสังเกตการณ์, P_0 คือ คาบวงโคจรของระบบดาวคู่ที่แสดงผลในวันนั้น และ E คือ ค่ายุคที่คำนวณได้ในเวลาที่แสงน้อยที่สุด ผลปรากฏว่า เมื่อนำค่าจากการสังเกตการณ์มาลบกับค่าที่ได้จากการคำนวณของช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดของงานวิจัยนี้ เรียกว่าค่า O-C นำไปรวมกับค่า O-C และค่ายุคของ

นักดาราศาสตร์ในอดีตที่เคยคำนวณไว้ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ แสดงผลในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 เส้นกราฟสังเคราะห์มีลักษณะเป็นพาราโบลาแบบคว่ำ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการลดลงของคาบวงโคจร ซึ่งอาจจะมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคาบ ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลมา

คำนวณเส้นกราฟที่แสดงในแผนภาพ O-C โดยวิธี Polynomial Fit Curve Quadratic Polynomial Fitting Method จะได้ว่า

$$(O-C) = (-5.95635 \times 10^{-11})E^2 + (-2.11269 \times 10^{-6})E + 0.03253 \quad (7)$$



รูปที่ 2 แผนภาพ O-C ของดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส

จากสมการ (7) สามารถหอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส ได้ว่า

$$\frac{dP}{dE} = 2(-5.95635 \times 10^{-11}) \text{ days/cycle} \quad (8)$$

$$\frac{dP}{dE} = -10.52788 \times 10^{-10} \text{ days/cycle} \quad (9)$$

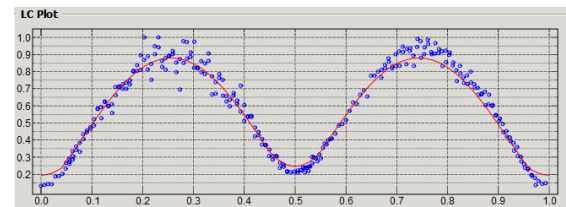
จากสมการ (9) ระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส มีอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจร เท่ากับ $-10.52788 \times 10^{-10}$ วันต่อการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ หรือเมื่อต้องการทราบเป็นอัตราการเปลี่ยนคาบเทียบกับเวลา แสดงดังสมการที่ 10

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\left((-10.52788 \times 10^{-10} \text{ days/cycle}) \times \left(\frac{1}{0.6641693} \text{ cycle/day} \right) \right)}{(86400 \text{ sec/day})(365.25 \text{ days/year})}$$

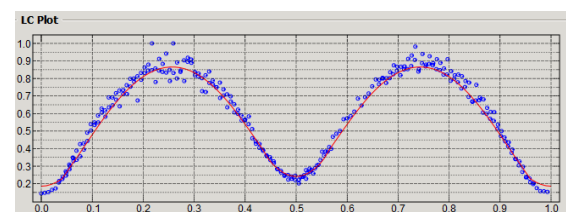
$$\frac{dP}{dt} = -5.02294198 \times 10^{-17} \text{ sec/year} \quad (10)$$

จากสมการ (10) แสดงว่าระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส มีคาบวงโคจรเพิ่มขึ้นเท่ากับ $-5.02294198 \times 10^{-17}$ วินาทีต่อปีและผลจากการคำนวณมีความสอดคล้องกันกับเส้นกราฟสังเคราะห์ จากแผนภาพ O-C ที่แสดงลักษณะ

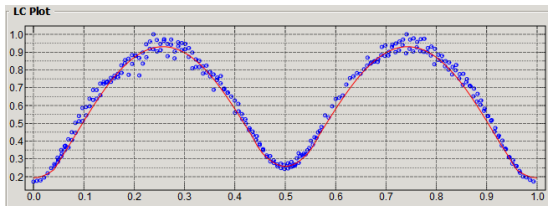
เส้นกราฟเป็นพาราโบลาแบบคว่ำ หมายความว่า จากผลการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกของระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส ทั้งสองดวงของเคลื่อนที่เข้าหากัน



รูปที่ 3 กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (B)



รูปที่ 4 กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (V)



รูปที่ 5 กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง (R)

4. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่วี 1851 โอไรโอนิส คณะผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม PHOEBE (Physics Of Eclipsing Binaries) ซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรมของ วิลสัน-เดวินนี่ (Wilson Devinney code) (Prša, A. and Harmanec, P., 2010) ทำให้โปรแกรม PHOEBE มีข้อแตกต่างจากโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ คือสามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างของระบบดาวคู่ได้จาก

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณลักษณะทางกายภาพ (Physical parameter) ที่สามารถปรับค่าได้ของงานวิจัยนี้

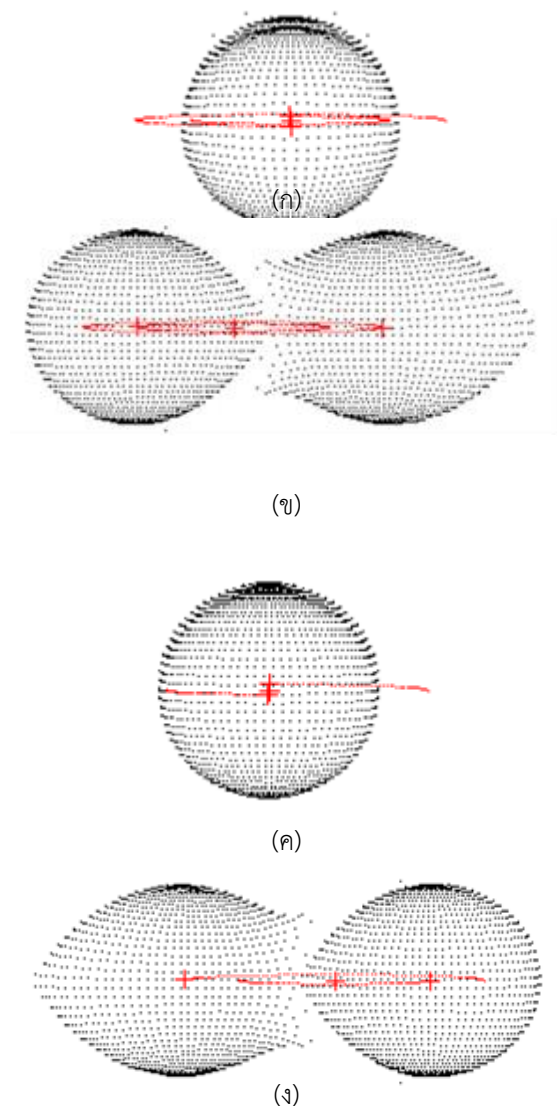
Physical parameter	Value
ค่าเวลาอ้างอิง (วันจูเลียนศูนย์สุริยะ)	2452617.73562
คาบวงโคจร (วัน)	0.27695
ค่าครึ่งแกนหลัก (SMA)	5.60831
อัตราส่วนมวล (RM)	0.64694
มุมเอียง (INCL)	87.78448
อุณหภูมิของดาวดวงที่ 1 (TAVH)	5711
อุณหภูมิของดาวดวงที่ 2 (TAVC)	6000
ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 1 (PHSV) Ω (L_1)	2.48925
ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 2 (PCSV) Ω (L_2)	2.4881
สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาว (albedo) ของดาวดวงที่ 1 (ALB1)	0.6
สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาว (albedo) ของดาวดวงที่ 2 (ALB2)	0.6
ความสว่างโน้มถ่วงของดาวดวงที่ 1 (GR1)	0.32
ความสว่างโน้มถ่วงของดาวดวงที่ 2 (GR2)	0.32
แถบการผ่านส่องของแสง (Passband luminosities) ดาวปฐมภูมิ	
L_B	4.846038
L_R	5.002884
L_V	4.710909
แถบการผ่านส่องของแสง (Passband luminosities) ดาวทุติยภูมิ	
L_B	4.846037
L_R	5.002884
L_V	2.710909

ข้อมูลที่ทำให้การสังเกตการณ์ได้ ซึ่งโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ไม่สามารถทำได้ โดยวิธีการเดิม หากต้องการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยต้องใช้โปรแกรม Binary Marker ในการสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่

ผลการคำนวณจากโปรแกรม PHOEBE สามารถแสดงกราฟแสงของระบบดาวคู่ โดยแกนตั้ง (Y) เป็นความเข้มแสง ส่วนแกนนอน (X) เป็นค่าของเฟส คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ประเภทการหาค่าพารามิเตอร์เป็น Unconstrained binary system ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 3 – 5 แสดงให้เห็นว่ากราฟแสงสังเคราะห์ (เส้นสีแดง) มีผลการคำนวณที่มีความสอดคล้องกับกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ โดยพิจารณาจากค่า Fitting DC minimizer ให้มีค่าพารามิเตอร์ของแต่ละตัวมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และสังเกตค่า Intrinsic weight ให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 2 และผลจากการคำนวณได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด แสดงในตารางที่ 3

5. แบบจำลองดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส

เมื่อข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด จากผลการคำนวณของโปรแกรม PHOEBE แล้ว นำข้อมูลดังกล่าวมาดำเนินการสร้างแบบจำลองลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส โดยใช้โปรแกรม Binary Marker ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองลักษณะทางกายภาพของดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส

- (ก) ณ ตำแหน่งเฟสของการบังกัน 0.00
- (ข) ณ ตำแหน่งเฟสของการบังกัน 0.25
- (ค) ณ ตำแหน่งเฟสของการบังกัน 0.50
- (ง) ณ ตำแหน่งเฟสของการบังกัน 0.75

ตารางที่ 3 ค่าลักษณะทางกายภาพ (Physical Parameter) ที่ดีที่สุดของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส

Physical Parameter	Value
Ω (L1)	3.148716
Ω (L2)	2.773685
Mass 1	18.761285
Mass 2	12.137425
Radius 1	3.45991
Radius 2	2.973871
$M_{bol,1}$	5.368417
$M_{bol,2}$	5.689778
$\log(g)_1$	4.643835
$\log(g)_2$	4.575089
Surf. Bright. ₁	0.510085
Surf. Bright. ₂	0.655181

วิจารณ์ผลการวิจัย

ระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส ได้ถูกค้นพบโดย Blattler และ Diethelm ในปี ค.ศ.2007 ด้วยกล้องโทรทรรศน์ส่วนตัว จะเห็นได้ว่าดาวคู่ในหลายระบบถูกค้นพบโดยความบังเอิญ ซึ่งเมื่อศึกษาทฤษฎีประกอบแล้วพบว่า เป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดกัน ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าเห็นได้ หากทำการสังเกตโดยทั่วไป คนส่วนใหญ่จะพิจารณาว่าเป็นเพียงดาวฤกษ์ดวงเดียวหรือดาวแปรแสงธรรมดา แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางดาราศาสตร์ ทำให้ทราบว่าเป็นระบบดาวคู่ อย่างไรก็ตามระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอนิส ได้รับการวิจัยและวิเคราะห์เพิ่มเติมโดย Essam และคณะ ในปี 2013 พบว่ามีคาบวงโคจรที่เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ Blattler และ Diethelm ได้ทำการคำนวณไว้ ซึ่งข้อมูลนี้ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการลดลงของโมเมนตัม ที่กล่าวว่า ระบบดาวคู่จะมีวิวัฒนาการเป็นลำดับชั้น โดยเมื่อพิจารณาคาบวงโคจรจะพบว่าระบบดาวคู่จากเดิมที่มีคาบวงโคจรห่างกันมาก ๆ เมื่อมีวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องจะมีคาบวงโคจรที่สั้นลง และวิวัฒนาการกลายเป็นระบบดาวคู่ชนิดอื่น เช่น เปลี่ยนแปลงจากระบบดาวคู่ชนิดอัลกอล เป็นชนิดเบตาไลรี หรือเปลี่ยนจากชนิดเบตาไลรี เป็นชนิดดับเบิลยูเออร์ชา เมเจอร์ส เป็นต้น ทั้งนี้มีสาเหตุหลักเบื้องต้นจากการลดลงของคาบวงโคจร ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทมวลสาร

ระหว่างดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิก ส่งผลให้โมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่มีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตามทฤษฎี AML อย่างไรก็ตาม จะพิจารณาเฉพาะคาบวงโคจรเพียงประการเดียวไม่ได้ มีความจำเป็นต้องพิจารณาลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น การวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกของระบบดาวคู่ การเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็ก สนามแรงโน้มถ่วง การถ่ายเทมวลสารระหว่างดาวฤกษ์ เป็นต้น ขั้นตอนสุดท้ายของการวิวัฒนาการระบบดาวคู่ตามสมมติฐานของโรซซ์ ดาวคู่จะมีการถ่ายเทมวลสารจนกระทั่งเข้าใกล้กันมากขึ้นและรวมเป็นดาวฤกษ์เดี่ยวเพียงดวงเดียว

คณะผู้วิจัยได้พิจารณาหลักการตามสมมติฐานของโรซซ์และทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม พบว่าระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส มีแนวโน้มของความขัดแย้งในสมมติฐาน จึงได้ทำการสังเกตการณ์และวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ ผลปรากฏดังข้อมูลที่แสดงให้เห็นดังกล่าวมาแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของ Essam และคณะ ในปี 2013 พบว่า คาบวงโคจรของดาวคู่ วี 1851 โอไร โอไนส มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม แม้ว่าจะเป็นตัวเลขที่เล็กน้อย แต่สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพภายในของระบบ ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลของ Warisa Pancharoen และ Wiraporn Maithong ที่ได้รายงานว่าดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส พบว่ามีคาบวงโคจรลดลง สอดคล้องกับแนวโน้มการลดลงของโมเมนตัมเชิงมุม ตามทฤษฎี AML อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพด้วยโปรแกรม PHOEBE ค่าลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ เช่น ค่ามุมเอียง ระยะห่างระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสอง สัมประสิทธิ์ความมืดขอบคล้ำ การสะท้อนแสง มวลของดาวฤกษ์ทั้งสอง เป็นต้น พบว่าตัวเลขต่าง ๆ สะท้อนให้เห็นว่าดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส มีวิวัฒนาการที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อเทียบกับข้อมูลของ Essam และคณะ ดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกทั้งสองดวงกำลังเคลื่อนห่างออกจากกัน ไม่เป็นไปตามทฤษฎี AML และสมมติฐานของโรซซ์ และสอดคล้องกับคำแนะนำของ Essam และคณะ ที่เสนอว่าระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส กำลังมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงจากระบบดาวคู่แบบแตะกันมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส ได้สมการเส้นตรงอพิเมอร์สใหม่ คือ $HJD = 2452617.7356 + 0.27695E$ คาบวงโคจรของระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส มีค่าลดลง

ในอัตรา $-5.02294198 \times 10^{-17}$ วินาทีต่อปี เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยโปรแกรม PHOEBE พบว่า มีค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.64694 มุมเอียงของระนาบวงโคจรเท่ากับ 87.78448 องศา อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิเท่ากับ 5,711 เคลวิน และ 6,000 เคลวิน ตามลำดับ ดาวฤกษ์ปฐมภูมิและดาวฤกษ์ทุติยภูมิมีมวลเท่ากับ 18.761285 และ 12.137425 เท่าของดวงอาทิตย์ และเมื่อพิจารณาค่า $\Omega (L_1)$ และ $\Omega (L_2)$ ในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่า ระบบดาวคู่ วี 1851 โอไรโอไนส เปลี่ยนสภาพเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันมากยิ่งขึ้น (Over contact binaries) และเมื่อพิจารณาค่ามวลและรัศมีของสมาชิกแต่ละดวงในระบบดาวคู่ในตารางที่ 4 (Mass 1, Mass 2 และ Radius 1, Radius 2) พบว่าดาวฤกษ์ทั้งสองดวงกำลังอยู่ในขั้นตอนการวิวัฒนาการสู่สภาพดาวยักษ์แดง ซึ่งระบบดาวคู่ยังคงมีชั้นสเปกตรัม G0 และการที่ระบบดาวคู่นี้มีคาบวงโคจรที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าดาวฤกษ์ทั้งสองดวงของระบบดาวคู่นี้กำลังเคลื่อนที่เข้าหากัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการลดลงของโมเมนตัมเชิงมุม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นักวิชาการและเจ้าหน้าที่ประจำหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษานครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่และเครื่องมือสำหรับการเก็บข้อมูลงานวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Blattler, E. and Diethelm, R. (2007). Observations of Variables. Commissions of 27 and 42 of The IAU information bulletin on variable stars, *IBVS*, 5799, pp 1 – 4.
- Bob Nelson. (2020). Bob Nelson's Database of Eclipsing Binary O-C Files. Retrieved June, 2, 2020. From <https://www.aavso.org/bob-nelsons-o-c-files>.
- Essam, A., Nakhlawy, A. & Rassem, M.A. (2013). The first photometric analyses and classification of the W-UMA eclipsing binary systems GSC 1283-53 and GSC 702-1892. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 2(1), pp. 1-7

- Kopal Zdenek. (1959). Close binary systems Vol.5.
U.S.A : Springer.
- Pancharoen, W. and Maithong, W. (2021). The
First study of a Period change of the
V1851 Orion Eclipsing Binary System.
ASEAN J. Sci. Tech report 2021, 24(3),
9-14.
- Prsa, A. (2011). PHOEBE Scientific Reference
version 0.30. Pennsylvania: Villanova
University.
- Prša, A. and Harmanec, P., (2010). PHOEBE
manual. pp. 1-21, Pennsylvania:
Villanova University.
- Thanawat Rangsungnoen. (2012). Physical
Structure of W Uma Binary System LO
Andromeda. *KKU Sci. J*, 41(1), pp. 203-
212 (in Thai).
- University de Strasbourg. (2020). Basic data of
V^{*} V1851 Ori – Eclipsing Binary.
Retrieved June, 12, 2020. From
[http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-
id?Ident=V1851%20ORI](http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=V1851%20ORI)