บทความวิจัย

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพใหม่ของระบบดาวคู่ วี 0829 อะควิลา

ธนวัฒน์ รังสูงเนิน* นิติภูมิ โด่งพิมาย วิชญา ศรีชัยเชิด และ พัฒนพงษ์ จำรัสประเสริฐ
ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
สมานชาญ จันทร์เอี่ยม
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 3471 8278 อีเมล: kruneng.kk@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.06.009
รับเมื่อ 2 สิงหาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 20 กันยายน 2564 ตอบรับเมื่อ7 ธันวาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 26 มิถุนายน 2567
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยใช้เทคนิคโฟโตเมตรี ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม PHOEBE ผลปรากฏว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีสมการเส้นตรงอิฟิเมอริสใหม่ คือ HJD (min) = 2452500.442 + 0.221E มีคาบวงโคจร 0.221 วัน โดยมีคาบวงโคจรเพิ่มขึ้น 2.2730×10^{-20} วินาทีต่อปี มีค่าดัชนีสี B-V เท่ากับ 0.716 ค่าอุณหภูมิยังผลเท่ากับ 5,746.209 เคลวิน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพพบว่า ค่าศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 1 และ 2 มีค่า 2.352908 และ 2.195246 ตามลำดับ มวลของดาวดวงที่ 1 และ 2 มีค่า 7.001554 และ 1.750388 ตามลำดับ รวมทั้งข้อมูลลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ สรุปว่าดาวคู่ วี 0829 อะควิลา เป็นระบบดาวคู่อุปราคาชนิดดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส มีคาบวงโคจรที่กำลังเคลื่อนที่ห่างออกจากกันและในอนาคตอาจจะเป็นชนิดเบตา ไลรี

คำสำคัญ: ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส ลักษณะทางกายภาพ

การอ้างอิงบทความ: ธนวัฒน์ รังสูงเนิน, นิติภูมิ โด่งพิมาย, วิชญา ศรีชัยเชิด, พัฒนพงษ์ จำรัสประเสริฐ และ สมานชาญ จันทร์เอี่ยม, "ข้อมูลลักษณะทางกายภาพใหม่ของระบบดาวคู่ วี 0829 อะควิลา," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, หน้า 1–11, เลขที่บทความ 243-155295, ก.ค.–ก.ย. 2567.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2567
The Journal of KMUTNB., Vol. 34, No. 3, Jul.–Sep. 2024

Research Article

New Physical Parametric Data of a Binary System V 0829 Aquilae

Thanawat Rangsungnoen*, Nitipum Dongphimai, Wichaya Srichaicherd and Patthanapong Jumrusprasert
Physics and General Science Department Faculty of Science and Technology Nakhonratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima, Thailand
Smanchan Chandaiam
National Astronomical Research Institute of Thailand, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 3471 8278, E–mail: kruneng.kk@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.06.009
Received 2 August 2021; Revised 20 September 2021; Accepted 7 December 2021; Published online: 26 June 2024
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The aim of the research was to analyze the physical characteristics of a binary star system, V 0829 Aquilae. The data were collected using a photometric technique at Observatory Chalerm Phrakiat 7th Cycle Birthday Anniversary Nakhon Ratchasima, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization). The data were analyzed using PHOEBE program. The results show that the binary system V 0829 Aquilae has a new ephemeris equation, HJD (min) = 2452500.442 + 0.221E with an orbital period of 0.221 days and an orbital period increase of 2.2730×10^{-20} seconds per year, the B-V color index of 0.716 and the effective temperature of 5,746.209 Kelvin. When analyzing the physical characteristics, it was found that the equipotential surfaces of the first and the second star are 2.352908 and 2.195246, respectively. The masses of the first and the second are 7.001554 and 1.750388, respectively. Based on the other physical parameters, it can be concluded that a period increase of V 0829 Aquilae found in the study may indicate a possible change on the physical state of this binary system from W Ursae Majoris to Beta Lyrae.

Keywords: V 0829 Aquilae, W Ursa Majoris, Physical Characteristics

Please cite this article as: T. Rangsungnoen, N. Dongphimai. W. Srichaicherd, P. Jumrusprasert and S. Chandaiam, "New physical parametric data of a binary system V 0829 aquilae," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 3, pp. 1–11, ID. 243-155295, Jul.–Sep. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา หรือ BD +03 4145, TYC 484-65-1, หรือ GSC 00484-00065 ในระบบการเรียกชื่ออื่นตามบัญชีรายการวัตถุท้องฟ้าในระบบต่าง ๆ ถูกค้นพบครั้งแรก โดย Hoffmeister [1] ในปี ค.ศ.1935 โดยข้อมูลระบุว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเป็นระบบดาวคู่แบบอุปราคา มีสเปกตรัมในกลุ่ม F5 มีคาบวงโคจรเท่ากับ 0.292 วัน มีองศาในการแตะกัน (f) เท่ากับ 7.9498 ± 0.0022 [2] โดยมีพฤติกรรมคล้ายกับดาวคู่ VZ Cancri และ AC Andromedae ข้อมูลเดิมจากการสืบค้นพบว่า มีการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เป็นดาวแปรแสงที่เกิดจากปัจจัยภายนอก ประเภทระบบดาวคู่อุปราคาชนิดอัลกอล (Algol) มีพิกัดอยู่ในกลุ่มดาวนกอินทรี ตำแหน่งไรต์แอตเซนชัน (RA) 19 ชั่วโมง 46 นาที 57.3 วินาที และ เดคคลิเนชั่น (Dec) +30 องศา 30 ลิปดา 28 ฟิลิปดา [2] ต่อมาจากการสังเกตการณ์โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกัน [3] กลับพบว่า ดาวดวงนี้ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์ที่มีสมาชิก 2 ดวง ดาวฤกษ์ดวงที่หนึ่งมีลักษณะเป็นดาวแปรแสงชนิดเดลต้า สคูติ (Delta Scuti) ดาวฤกษ์ดวงที่สองเป็นดาวฤกษ์ที่มีวิวัฒนาการคล้ายกับดาวแปรแสงชนิดแกมมา โดราดัส แวเรียเบิล (Gamma Doradus variable) และคาดการณ์ว่าเป็นดาวแปรแสงแท้ โดยเป็นการแปรแสงที่เกิดจากปัจจัยภายในของดาวฤกษ์เอง [4], [5] อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยพบว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลต่อเนื่องน้อยมาก ส่งผลทำให้ข้อมูลของนักวิจัยทั้งสองกลุ่มดังที่ได้กล่าวมาแล้วมีความเห็นไม่สอดคล้องกัน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ยืนยันลักษณะทางกายภาพและวิวัฒนาการของดาวคู่ระบบนี้ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถให้ประโยชน์แก่นักดาราศาสตร์หรือผู้ที่มีความสนใจในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการทำการศึกษาและวิจัยต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ คาบ อุณหภูมิยังผล ดัชนีสี มวล และวิเคราะห์วิวัฒนาการของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยเรื่องข้อมูลลักษณะทางกายภาพใหม่ของระบบดาวคู่ วี 0829 อะควิลา คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลภาพถ่ายของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ในระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึงวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2563 โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง แบบริชชี-เครเทียน (Ritchey-Chretien) รุ่น Plan wave ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้ากล้อง 0.7 เมตร เชื่อมต่อกับระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีวัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัยดังนี้ [6]

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

2.1.1 กล้องโทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลงานวิจัยหรือการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ เป็นกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง แบบริชชี-เครเทียน รุ่น Plan wave ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้ากล้อง 0.7 เมตร

2.1.2 ระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (CCD Photometer) เป็นซีซีดียี่ห้อ FLI ProLine Cooled CCD Cameras รุ่น FLI 16803 เป็นเครื่องมือที่เชื่อมต่อกับกล้องโทรทรรศน์ ทำหน้าที่บันทึกภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ โดยรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น ผ่านแผ่นกรองแสงช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้แผ่นกรองแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) ขนาดความยาวคลื่น 3,900–4,800 อังสตรอม แสงสีที่ตามองเห็น (V) ขนาดความยาวคลื่น 5,000–5,900 อังสตรอม และสีแดง (R) ขนาดความยาวคลื่น 5,700–7,100 อังสตรอม ตามระบบมาตรฐานยูบีวี (UBV System) หรือเรียกว่าระบบจอห์นสัน – มอร์แกน (Johnson – Morgan System) [7], [8]

2.1.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ 1) โปรแกรม TheSky X เป็นโปรแกรมแผนที่ดาว ที่ใช้บอกตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า โดยสามารถเชื่อมต่อกับกล้องโทรทรรศน์ เพื่อควบคุมการค้นหาตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าที่ต้องการสังเกตการณ์ได้อย่างแม่นยำ 2) โปรแกรม Maxlm DL Pro 6 เป็นโปรแกรมที่ใช้

ในการควบคุมการบันทึกข้อมูลการถ่ายภาพทางดาราศาสตร์โดยเชื่อมต่อกับระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ ตลอดจนใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเข้มของแสงที่ได้จากภาพถ่ายดาราศาสตร์ 3) โปรแกรม PHOEBE (Physics Of Eclipsing Binaries) [9] เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี (Wilson Devinney Code) [9] และ 4) [6] โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างกราฟแสง คือ โปรแกรม Origin Pro 8

2.2 วิธีการวิจัย

ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ขั้นตอนในการค้นคว้าหาข้อมูลของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา เริ่มจากการค้นหาในบัญชีรายชื่อของดาวแปรแสงผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตผ่านทางเว็บไซต์ https://vizier.u-strasbg.fr [10] ทำการเลือก gcvs จากนั้นค้นหาข้อมูลของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ผ่านทางเว็บไซต์ http://aladin.u-strasbg.fr สำหรับตำแหน่งพิกัดทางดาราศาสตร์ ข้อมูลทางกายภาพ รวมถึงบทความอ้างอิงจากนักดาราศาสตร์ผ่านทางเว็บไซต์ http://catserver.ing.iac.es/

2.2.2 การทดสอบและถ่ายภาพดาวคู่ วี 0829 อะควิลาโดยใช้กล้องโทรทรรศน์โดยเริ่มจากควบคุมหน้ากล้องไปยังตำแหน่งพิกัดของดาวคู่ ตั้งเวลาในการถ่ายภาพ (Expoture Time) โดยทำการทดลองถ่ายภาพให้ได้เวลาที่ดาวมีความคมชัด ซึ่งใช้ค่า S/N สูงประมาณ 10,000–30,000 สำหรับ แผ่นกรองแสงในทุกความยาวคลื่นที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ได้แก่แผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีแดง (R) ใช้เวลา 6 วินาที, แสงสีที่ตามองเห็น (V) ใช้เวลา 9 วินาที และสีน้ำเงิน (B) ใช้เวลา 34 วินาที และทำการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึง 24 ตุลาคม พ.ศ. 2563

2.2.3 การวัดแสงจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ โดยการนำภาพถ่ายดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มาทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพถ่าย (Reduction Image) จากนั้นทำการวัดแสงโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมทรี (Differential Photometry Technique) ด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro 6 (Cyanogen Imaging, 2015) โดยทำการเลือกดาว USNO_A2_00900-16487606 เป็นดาวเปรียบเทียบ (Comparison Star) และดาว USNO_A2_00900-16544388 เป็นดาวตรวจสอบ (Check Star)

2.2.4 การหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum; MinI, Min II) ในแต่ละคืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงของเวลาการเกิดบังกันของดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกทั้งสองของระบบดาวคู่ หรือเรียกว่า ช่วงเวลาการเกิดอุปราคา (Time of Eclipse) ทั้งสองช่วง คือ อุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) และอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse)

2.2.5 การคำนวณเพื่อหาสมการเส้นตรงอิฟิเมอรีสใหม่ของงานวิจัยนี้ โดยวิธีการมีความจำเป็นต้องอ้างอิงถึงสมการเส้นตรงอิฟิเมอรีส (Linear Ephemeris Equation) ล่าสุดที่นักดาราศาสตร์ในอดีตได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีตำแหน่งพิกัดเทียบกับเวลาเปลี่ยนไปจากเดิมอย่างไร [7] สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการอ้างอิงสมการเส้นตรงอิฟิเมอรีส โดยคำนวณจากฐานข้อมูลบางส่วนของ Bob Nelson (2020) ซึ่งได้รวบรวมไว้ โดยอ้างอิงตำแหน่งค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Min I, Min II) ซึ่งตรงกันกับค่ายุค (Epoch) มีค่าเท่ากับ 0 เป็นต้นมา [11]

2.2.6 คำนวณหาเวลาที่แสงน้อยที่สุดหรือช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาที่ได้จากการคำนวณ หรือค่า C (Calculate) โดยการนำค่า HJD_0, Period และยุค ที่ได้จากการคำนวณของแต่ละวันที่เกิดอุปราคา แทนค่าในสมการที่ (1)

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

โดยที่ C คือ ช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาที่ได้จากการคำนวณ

HJD_0 คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของกราฟแสงในตำแหน่ง E = 0 ซึ่งอยู่ในรูปของวันจูเลียนศูนย์สุริยะ

P คือ คาบวงโคจรของระบบดาวคู่

E คือ ยุคหรือจำนวนรอบของการโคจรของระบบดาวคู่

2.2.7 นำค่า HJD_0 ของแต่ละช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาในแต่ละวันที่ได้จากการสังเกตการณ์หรือค่า O (Observation) ลบด้วยค่าเวลาที่เกิดอุปราคาที่ได้จาก การคำนวณ (C) จะได้ค่า O-C

2.2.8 นำค่ายุคและค่า O-C ของดาวคู่วี 0829 อะควิลา ที่ได้จากการคำนวณไปรวมกับข้อมูลค่ายุคและค่า O-C ของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ที่นักดาราศาสตร์ในอดีตเคยคำนวณไว้ทั้งหมด โดยงานวิจัยนี้เริ่มนับจากค่ายุคที่มีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นนำมาเป็นข้อมูลในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุคและค่า O-C เรียกว่าแผนภาพ O-C

2.2.9 เมื่อได้แผนภาพ O-C นำข้อมูลจากการคำนวณเส้นกราฟที่แสดงในแผนภาพ O-C มาคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยสมการโพลีโนเมียลอันดับสอง (Polynomail Fit Curve Quadratic Polynomail Fitting Method) จากนั้นคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ดังสมการที่ (2)

$$O - C = 2E^2 + bE + c = [P(E) - P_{est}]E \qquad (2)$$

โดยที่ P_{est} คือ คาบวงโคจรของระบบดาวคู่ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงอิฟิเมอรีส

2.2.10 คำนวณหาค่าดัชนีสี B-V ดังสมการที่ (3) [12] โดย B-V คือดัชนีสีของดาวฤกษ์ M_B และ M_V คือ ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวฤกษ์ผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีที่ตามองเห็น ตามลำดับ F_B และ F_V คือค่าฟลักซ์ของดาวฤกษ์ผ่านแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินและสีที่ตามองเห็น ตามลำดับ

$$B - V = m_B - m_V = M_B - M_V = 2.5 \log \frac{F_V}{F_B} \qquad (3)$$

และค่าอุณหภูมิยังผลของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ดังสมการที่ (4) [13]

$$T_{eff} = T_{\odot} \left(10\pi \frac{R}{R_{\odot}} \right)^{-1/2} 10^{-0.1(V_0 + BC - M_{bol\odot})} \qquad (4)$$

เมื่อ T_{eff} คือ ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวฤกษ์ $T_{\odot}$ คือ ค่าอุณหภูมิยังผลของดวงอาทิตย์ π คือ ค่ามุมพัลลาแรกซ์ในหน่วยอาร์คเซค $R/R_{\odot}$ คือ รัศมีของดาวฤกษ์เทียบกับรัศมีของดวงอาทิตย์ V_0 คือ ค่าโชติมาตรปรากฏในบรรยากาศอิสระ โดยที่ ($V_0 = V - A_V$), BC คือ ค่าโบโลเมทริกสำหรับการแผ่รังสีของดาวฤกษ์ และ $M_{bol\odot}$ คือ ค่าโชติมาตรโบโลเมทริก

2.2.11 ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา โดยใช้โปรแกรม PHOEBE จากนั้นนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดมาสร้างแบบจำลองทางกายภาพของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา

3. ผลการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 30 กันยายน วันที่ 6 14 19 และ 22–24 ตุลาคม พ.ศ. 2563 รวมทั้งสิ้น 7 คืน ทำการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เมื่อได้ข้อมูลภาพถ่าย คณะผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมทรีในการวัดแสง โดยเลือกดาว USNO_A2_00900-16487606 เป็นดาวเปรียบเทียบและเลือกดาว USNO_A2_00900-16544388 เป็นดาวตรวจสอบ

3.1 การหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด

การหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงเวลาการเกิดอุปราคาทั้งสองช่วง มีวิธีการดังนี้ คือ นำค่าวันจูเลียน (Julian Date; JD) ดำเนินการแปลงเป็นค่าวันจูเลียนศูนย์สุริยะ (Heliocentric Julian Date; HJD) จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง HJD กับโชติมาตรปรากฏ (Apparent Magnitude; m) ของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา โดยใช้โปรแกรม Origin Pro 8 ในการคำนวณหาค่าต่ำที่สุดของเส้นกราฟ โดยคำนวณในทุกช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใช้และหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเวลาที่แสงที่น้อยที่สุดเฉลี่ยของการเกิดอุปราคา

วัน/เดือน/ปี	ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดเฉลี่ย (2459000+)	ชนิดของอุปราคา
30/9/21	92.1556	ทุติยภูมิ
6/10/21	129.0180	ทุติยภูมิ
19/10/21	142.1617	ทุติยภูมิ
22/10/21	145.0634	ทุติยภูมิ
23/10/21	146.0352	ปฐมภูมิ
23/10/21	146.1028	ทุติยภูมิ
24/10/21	147.0757	ปฐมภูมิ
24/10/21	147.1205	ทุติยภูมิ

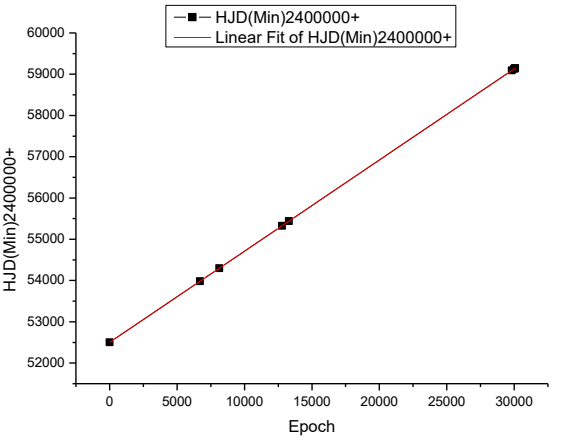
จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่ดาวดวงที่สว่างมากกว่าบังดาวดวงที่สว่างน้อยกว่ามีจำนวน 2 วัน ทำให้เกิดอุปราคาปฐมภูมิทั้งหมด 2 ครั้ง และช่วงเวลาดาวที่สว่างน้อยกว่าบังดาวที่สว่างมากกว่ามีจำนวน 6 วัน ทำให้เกิดอุปราคาทุติยภูมิทั้งหมด 6 ครั้ง

3.2 การหาสมการเส้นตรงอิฟิเมอริสใหม่

การคำนวณเพื่อหาสมการเส้นตรงอิฟิเมอริสใหม่สำหรับงานวิจัยดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ได้นำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ Bob Nelson (2020) ได้รวบรวมไว้ โดยอ้างอิงตำแหน่งค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ซึ่งตรงกันกับค่ายุค มีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นทำการคำนวณหาค่ายุคในช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดของวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2563 วันที่ 6 14 19 22 23 และ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2563 จากข้อมูลได้ค่ายุคดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ายุคของช่วงเวลาที่แสงที่น้อยที่สุดเฉลี่ยของการเกิดอุปราคา

วัน/เดือน/ปี	ชนิดของอุปราคา	ยุค
30/9/21	ทุติยภูมิ	31181.0
6/10/21	ทุติยภูมิ	31355.5
19/10/21	ทุติยภูมิ	31417.5
22/10/21	ทุติยภูมิ	31431.5



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุคกับค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (HJD)

ตารางที่ 2 ค่ายุคของช่วงเวลาที่แสงที่น้อยที่สุดเฉลี่ยของการเกิดอุปราคา (ต่อ)

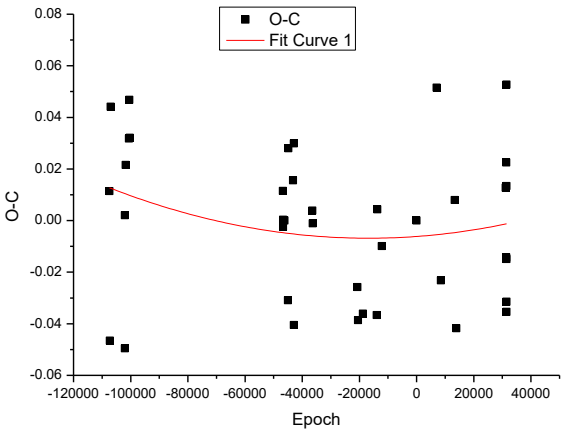
วัน/เดือน/ปี	ชนิดของอุปราคา	ยุค
23/10/21	ปฐมภูมิ	31436.0
23/10/21	ทุติยภูมิ	31436.0
24/10/21	ปฐมภูมิ	31441.0
24/10/21	ทุติยภูมิ	31441.0

จากข้อมูลในตารางที่ 2 นำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดกับค่ายุคที่เป็นผลจากการคำนวณทั้งหมดของงานวิจัยนี้ไปรวมกับค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดกับค่ายุคของนักดาราศาสตร์ที่เคยคำนวณไว้ในอดีต จากนั้นนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุคกับค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดโดยใช้โปรแกรม Origin Pro 8 เพื่อหาสมการเส้นตรงอิฟิเมอริสใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 1

จากกราฟดังรูปที่ 1 เป็นกราฟเส้นตรง ค่าความชันที่ได้จากกราฟสามารถนำมาเขียนเป็นสมการเส้นตรงอิฟิเมอริสใหม่ ได้ดังสมการที่ (5)

$$HJD\ (\mathrm{Min}) = 2452500.442 + 0.221E \qquad (5)$$

จากสมการที่ (5) แสดงให้เห็นคาบวงโคจรของดาวคู่



รูปที่ 2 แผนภาพ O-C ของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา

วี 0829 อะควิลา เท่ากับ 0.221 วัน ซึ่งเป็นคาบวงโคจรใหม่ของดาวคู่ระบบนี้ มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.56125×10^{-16}

3.3 การหาค่า O-C และอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจร

การหาค่า O-C มีความจำเป็นต้องนำค่ายุคและค่า O-C ของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ที่นักดาราศาสตร์ในอดีตได้คำนวณไว้ทั้งหมดมาเป็นข้อมูลในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยนำมารวมกับค่ายุคและค่า O-C ของงานวิจัยนี้ โดยคำนวณค่า C จากสมการที่ (1) จากนั้นลบด้วยค่า O ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลต่างค่าการคำนวณตำแหน่งกับการสังเกตการณ์

วัน/เดือน/ปี	การคำนวณ (C) (2459000+)	สังเกตการณ์ (O) (2459000+)	O-C
30/9/21	092.1413	092.1556	0.0127
6/10/21	129.0405	129.0180	–0.0143
19/10/21	142.1263	142.1617	0.0225
22/10/21	145.0485	145.0634	–0.0354
23/10/21	146.0878	146.0352	–0.0149
23/10/21	146.0714	146.1028	0.0526
24/10/21	147.0890	147.0757	–0.0314
24/10/21	147.1205	147.1205	0.0133

จากข้อมูลในตารางที่ 3 นำผลต่าง O-C และค่ายุคของงานวิจัยนี้รวมกับค่า O-C และค่ายุคจากงานวิจัยของนักดาราศาสตร์ในอดีต จะได้แผนภาพ O-C ดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 เส้นกราฟสีแดงแสดงผลการคำนวณแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของดาวคู่ ในขณะที่จุดดำคือความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุคกับค่า O-C ของงานวิจัยตั้งแต่ในอดีตรวมกับงานวิจัยนี้ จากแผนภาพ พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลาหงาย แสดงว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีคาบวงโคจรเพิ่มขึ้น แสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (6)

$$(O\text{-}C) \quad 2.38217 \times 10^{-12} E^2 + 8.03207 \times 10^{-8} E - 6.15 \times 10^{-3} \qquad (6)$$

จากข้อมูลในสมการที่ (6) สามารถหาอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา โดยใช้ค่า a จากสมการที่ (6) แทนลงในสมการ $\frac{dp}{dE} = 2a$ จะได้ว่า

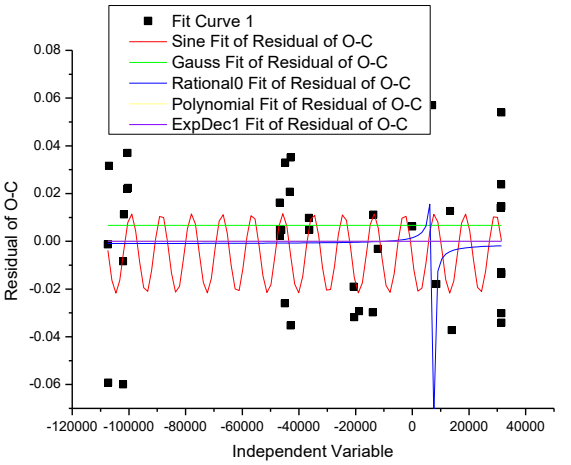
$$\frac{dp}{dE} = 2(2.38217 \times 10^{-12})$$

$$\frac{dp}{dE} = 4.76434 \times 10^{-12} \ \text{day/cycle} \qquad (7)$$

จากสมการที่ (7) แสดงให้เห็นว่าดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจร เท่ากับ 4.76434×10^{-12} วัน ต่อการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ หรือเมื่อแสดงผลเป็นอัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรเทียบเวลาจะได้ดังสมการที่ (8)

$$\frac{dp}{dt} = \left[\frac{(4.76434 \times 10^{-12} \ \text{day/cycle})}{(86400 \ \text{sec/day})} \times \frac{\left(\frac{1}{0.6641693} \ \text{cycle/day} \right)}{(365.25 \ \text{days/year})} \right]$$

$$\frac{dp}{dt} = 2.2730 \times 10^{-20} \ \text{sec/year} \qquad (8)$$



รูปที่ 3 แผนภาพ $(O\text{-}C)_2$

จากข้อมูลในสมการที่ (8) คือ อัตราการเปลี่ยนคาบวงโคจรของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีค่าเท่ากับ 2.2731×10^{-20} วินาทีต่อปี โดยตัวเลขที่เป็นบวกแสดงให้เห็นว่าดาวคู่ระบบนี้มีคาบวงโคจรเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับเส้นกราฟในแผนภาพ O-C เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณต่อด้วยสมการพาราโบลาอิฟิเมอรีส และเขียนกราฟความสัมพันธ์ จะได้แผนภาพ O-C Residual ดังรูปที่ 3 เมื่อดำเนินการคำนวณหาความสัมพันธ์ของกราฟด้วยความถี่ของสมการต่าง ๆ ได้แก่ สมการ Polynomial Fitting สมการ Gauss Fit สมการ Rational Fit สมการ Exponential Dec1 และสมการคลื่นรูปซายน์ (Sine Wave) ผลปรากฏว่าแนวโน้มภายในระบบของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา จากเส้นกราฟความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง อธิบายได้ว่าภายในวงโคจรของระบบดาวคู่นี้ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการมีวัตถุดวงที่สามร่วมอยู่ด้วยในระบบ

อย่างไรก็ตามจากแผนภาพ $(O\text{-}C)_2$ สามารถหา Periodic Ephemeris [14] ที่ดีที่สุดสำหรับผลลัพธ์ที่เหลือ ได้ดังสมการที่ (9)

$$(O-C)_2 = (-0.00507) + 0.01662^d \sin\left[\pi\left(\frac{0.03325 - 5211.61546}{5356.53502}\right)\right] \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) พบว่า มีค่าการส่ายของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา เท่ากับ 0.01662 วัน

3.4 การหาค่าดัชนีสี (Colour Index)

การหาค่าดัชนีสีของดาวคู่ สามารถใช้สมการที่ (3) คำนวณหา ผลปรากฏว่า ค่าดัชนีสี B-V ของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีค่าเท่ากับ 0.716

3.5 ค่าอุณหภูมิยังผล (Effective Temperature)

อุณหภูมิของดาวที่แผ่ออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผิวดาว เสมือนว่าเป็นการแผ่รังสีของวัตถุดำ สำหรับดาวแปรแสง สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (4) ผลปรากฏว่ามีค่าเท่ากับ 5,746.209 เคลวิน แสดงให้เห็นว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา จัดอยู่ในกลุ่มดาวฤกษ์กลุ่ม G0 ของแถบลำดับหลัก (Main Sequence) ของแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างสีกับความสว่างของสมาชิกดาวฤกษ์ในระบบ หรือแผนภาพ H-R Diagram [15]

3.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพ

คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพหรือองค์ประกอบทางกายภาพของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ด้วยโปรแกรม PHOEBE ผลปรากฏว่า มีค่าองค์ประกอบทางกายภาพที่สามารถปรับค่าได้ เพื่อให้โปรแกรมคำนวณลักษณะทางกายภาพของดาวคู่ได้ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับได้เพื่อหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

พารามิเตอร์	ค่าจำนวน
วันจูเลียนศูนย์สุริยะ (HJD_0)	2452500.442
คาบวงโคจร (Period)	0.221
การเลื่อนของเฟส	–0.05
ค่าครึ่งแกนยาวของวงรี	10.0000
อัตราส่วนมวล	0.25
มุมเอียง	87.8
อุณหภูมิพื้นผิวของดาวปฐมภูมิ	5700

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับได้เพื่อหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด (ต่อ)

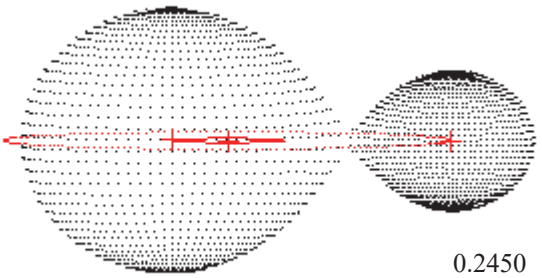
พารามิเตอร์	ค่าจำนวน
อุณหภูมิพื้นผิวของดาวทุติยภูมิ	6900
ศักย์พื้นผิวของดาวปฐมภูมิ Ω_1	1.8521
ศักย์พื้นผิวของดาวทุติยภูมิ Ω_1	8.8881
สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาวปฐมภูมิ	0.50
สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาวทุติยภูมิ	0.50
ความมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วงของดาวปฐมภูมิ	0.32
ความมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วงของดาวทุติยภูมิ	0.32

หมายเหตุ: SMA คือค่าครึ่งแกนหลักของวงโคจร, RM คือ ค่าอัตราส่วนมวลของดาวคู่ INCL คือ ค่ามุมเอียง TAVH คือ อุณหภูมิพื้นผิวของดาวดวงที่ 1 TAVC คืออุณหภูมิพื้นผิวของดาวดวงที่ 2 Ω_1 คือ ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 1 Ω_1 คือ ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 2 ALB1 คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาว (Albedo) ของดาวดวงที่ 1 ALB2 คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของดาวของดาวดวงที่ 2 GR1 คือ ความโน้มถ่วงของดาวดวงที่ 1 GR2 คือ ความโน้มถ่วงของดาวดวงที่ 2

ผลการคำนวณองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุด

พารามิเตอร์	ค่าจำนวน
ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 1 Ω (L1)	2.352908
ศักย์พื้นผิวของดาวดวงที่ 2 Ω (L2)	2.195246
มวลของดาวดวงที่ 1	7.001554
มวลของดาวดวงที่ 2	1.750388
รัศมีของดาวปฐมภูมิ	7.695841
รัศมีของดาวทุติยภูมิ	0.328467
แมกนิจูดโบโลเมตริกดวงที่ 1	0.146485
แมกนิจูดโบโลเมตริกดวงที่ 2	6.995305
ความโน้มถ่วงพื้นผิวของดาวปฐมภูมิ	3.510289
ความโน้มถ่วงพื้นผิวของดาวทุติยภูมิ	5.647757
ความสว่างพื้นผิวของดาวปฐมภูมิ	0.662368
ความสว่างพื้นผิวของดาวทุติยภูมิ	0.415971

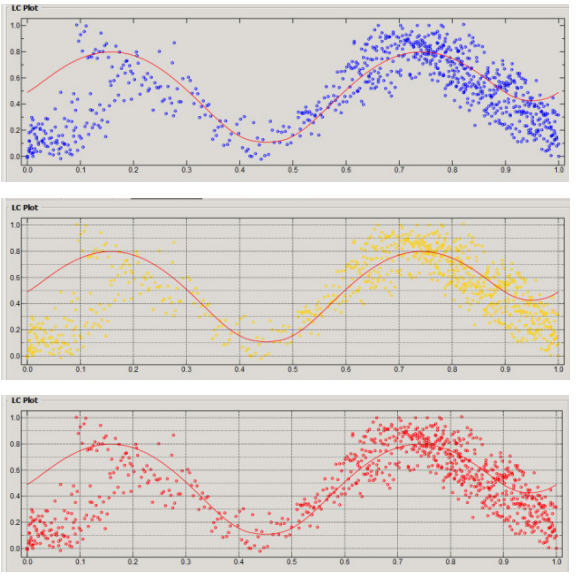


รูปที่ 4 แบบจำลองของดาวคู่ วี 0829 อะควิลาในตำแหน่งเฟส 0.245

นำค่าที่ได้จากตารางดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Binary Maker ผลที่ได้ปรากฏว่าได้ลักษณะแบบจำลองของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา แสดงลักษณะการเป็นระบบดาวคู่อุปราคา ชนิดดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ (W Ursae Majoris) และมีวิวัฒนาการแบบแตะกัน โดยระบบอาจมีการถ่ายเทมวลระหว่างกัน [6] ดังรูปที่ 4

4. อภิปรายผลและสรุป

ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีข้อมูลที่บ่งชี้ว่าในอดีตเป็นระบบดาวคู่ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส โดยมีดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกดวงหนึ่งมีการแปรแสงแบบ แกมมา โดเรดัส สมาชิกอีกดวงหนึ่งแปรแสงแบบ เดลตา สคูติ ตามที่นำเสนอแล้วนั้น เบื้องต้นต้องทราบก่อนว่า ดาวแปรแสงทั้งสองประเภทมีคุณลักษณะอย่างไร นั่นคือ ดาวแปรแสงชนิด แกมมา โดเรดัส นั้น มีมวลประมาณ 1.5 เท่าของ ดวงอาทิตย์ มีคาบการแปรแสงระหว่าง 0.5–3 วัน อยู่ในชั้นสเปกตรัมตั้งแต่ชั้น A–F ส่วนดาวแปรแสงชนิด เดลต้า สคูติ มีมวลระหว่าง 1.6–2.6 เท่าของดวงอาทิตย์ มีคาบแปรแสงระหว่าง 0.5–6 ชั่วโมง อยู่ในชั้นสเปกตรัม A2–F2 ดังนั้นจากการนำผลการสังเกตการณ์มาทำ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PHOEBE พบว่า ดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีคุณลักษณะที่ อาจไม่เข้าเกณฑ์การเป็นดาวแปรแสงทั้ง 2 ชนิด รวมถึงดาวคู่ระบบนี้อยู่ในชั้นสเปกตรัม G0 เช่นเดียวกันกับดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากต้องการทราบข้อมูลโดยละเอียดมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและโปรแกรมในการวิเคราะห์



รูปที่ 5 กราฟแสงของดาวคู่ วี 0829 อะควิลาแยกตามช่วงความยาวคลื่น B, V และ R ตามลำดับ

ที่มีศักยภาพสูง เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีสีของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ได้ค่าเท่ากับ 0.716 ซึ่งมีค่าเป็นบวก หมายความว่า ดาวคู่ระบบนี้เป็นดาวฤกษ์สีแดงที่มีอุณหภูมิพื้นผิวค่อนข้างเย็น สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิยังผลของดาวคู่ระบบนี้ จึงทำให้ถูกจัดอยู่ในชั้นสเปกตรัม G0 สำหรับความเกี่ยวเนื่องกันกับกราฟแสงในรูปที่ 5 หรือไม่นั้น ค่าดัชนีสี B-V จะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสว่างของดาว [15] เมื่อแสดงผลเป็นค่าบวก จึงสามารถสังเกตได้เบื้องต้นว่า กราฟแสงที่แสดงผลในช่วงความยาวคลื่นสีแดง จะมีความเด่นชัดมากกว่ากราฟแสงของความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีที่ตามองเห็น ดังแสดงในรูปที่ 5

สรุปได้ว่าดาวคู่ วี 0829 อะควิลา เป็นระบบดาวคู่ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส [16] โดยมีคาบวงโคจร เท่ากับ 0.221 วัน เพิ่มขึ้น 4.76434×10^{-12} วันต่อการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ หรือ 2.2731×10^{-20} วินาทีต่อปี มีค่าดัชนีสี B-V เท่ากับ 0.716 ซึ่งมีค่าเป็นบวก แสดงว่าดาวคู่ระบบนี้เป็นดาวฤกษ์สีแดงที่มีอุณหภูมิพื้นผิวค่อนข้างเย็น สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิยังผล ที่มีค่าเท่ากับ 5,746.209 เคลวิน แสดงให้เห็นว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา จัดอยู่ในชั้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ของแถบลำดับหลัก (Main Sequence) ในกลุ่ม G0 และหากพิจารณาลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ที่เป็นผลมาจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PHOEBE เปรียบเทียบกับข้อมูลลักษณะทางกายภาพเดิมที่นักดาราศาสตร์ในอดีตเคยนำเสนอไว้พบว่า ดาวคู่ วี 0829 อะควิลา มีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดาวฤกษ์สมาชิกทั้งสองดวงมีค่ามวลที่เปลี่ยนไป ดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกของดาวคู่ระบบนี้มีระยะห่างออกจากกันมากขึ้น

อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยขอเสนอแนะให้มี การสังเกตการณ์และทำการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เพื่อยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นของคาบวงโคจรอย่างชัดเจน รวมทั้งการสร้างกราฟแสงที่สมบูรณ์ในช่วงความยาวคลื่น B และ V เป็นการพิสูจน์ถึงแนวโน้มในอนาคตของดาวคู่ วี 0829 อะควิลา ที่อาจจะเปลี่ยนชนิดจากดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส เป็นระบบดาวคู่อุปราคา ชนิดเบตา ไลรี ได้โดยพิจารณาจากกราฟแสง ซึ่งหากมีแนวโน้มเป็นเช่นนั้น แสดงว่าสมมติฐานการวิวัฒนาการของดาวคู่ที่อธิบายโดย แบบจำลองของโรช อาจไม่เป็นจริงในระบบดาวคู่บางระบบ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏ-นครราชสีมาที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Diethelm, “V829 Aquilae is a pulsating Star with a variable light curve,” *Commissions 27 and 42 of The IAU Information Bullentin on Variable Stars. IBVS*, vol. 4530, no. 10, pp. 1–2, 1997.

[2] G. Handler, H. Pikall, and R. Diethelm, “The nature of V829 Aql - A triple-mode radially pulsating post-main-sequence delta scuti star,” *Information Bulletin on Variable Stars*, vol. 4549, no. 1, pp. 1–4, Jan. 1998.

[3] J. Patthanapong. *Astronomy*. 1st ed. Nakhonratchasima: NRRU, 2016 (in Thai).

[4] C. C. Lovekin and J. A. Guzik, "Convection and Overshoot in models of gamma Doradus and delta Scuti stars," *The Astrophysical Journal*, vol. 849, no. 38, pp. 1–7, 2017.

[5] S. Boonruksar, *Astrophysics*, 1st ed. Chiang Mai: NARIT, 2017 (in Thai).

[6] W. Supattra, "Evolution of eclipsing binaries system AK Cmi and V 714 Mon," *KKU Science Journal*, vol. 47, no. 3, pp. 529–537, 2019 (in Thai).

[7] T. Rangsungnoen, "Physical structure of W Uma binary system LO Andromeda," *KKU Science Journal*," vol. 41, no. 1, pp. 203–212, 2013. (in Thai).

[8] M. Tangmatitham, *A Guide to the Study of Operational Astronomy*. 1st ed. Chiang Mai: NARIT, 2020, (In Thai).

[9] A. Prsa, *PHOEBE Scientific Reference: PHOEBE version 0.30*, 1st ed. Philadelphia: Villanova University, 2011.

[10] M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, P. Dubois, F. Bonnarel, S. Borde, and R. Monier, "The Simbad Astronomical Database, The CDS reference database for astronomical objects," *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, vol. 143, pp. 9–22, 2000.

[11] B. Nelson. (2020. Jun.). Bob Nelson's Data base of Eclipsing Binary O-C Files. (1st ed). [Online]. Available:https://www.aavso.org

[12] J. Battat, *Working with Magnitudes and Colour Indices*, 1st ed. Massachusetts: Harward University press, 2005.

[13] C. Jordi, I. Ribas, A. Gimenez, J. Torra, and E. Oblak, "Effective temperature determination of eclipsing binaries," in *Proceeding of the ESA Symposium 'Hipparcos–Venice' 97'*, Italy, 1997, pp. 409–412.

[14] H. J. Deeg, "Period, epoch, and prediction error of ephemerides from continuous set of timing measurements," *Astronomy and Astrophysics Journal*, vol. 578, no. A17, pp. 1–5, 2015.

[15] S. Weijia , C. Xiaodian, D. Licai, and D. G. Richard, "Physical parameter of late- type Contact binaries in the Northern Catalina Sky servey", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 247, no. 50, pp. 1–12, 2020.

[16] E. M. Lohr, A. J. Norton, S. G. Payne, R. G. West, and P. J. Wheatley, "Orbital period changes and higher–order multiplicity fraction amongst SuperWASP eclipsing binaries," *Astronomy and Astrophysics Journal*, vol. 578, no. A136, pp. 1–7, 2015.