



บทความวิจัย (Research Article)

Volume 4, Issue 1, January – June 2025, ISSN : 2821-9066 (Print)

การวิเคราะห์เวลาแสงต่ำสุดและการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร
ของระบบดาวคู่อุปราคา PV Comae Berenices
Analysis of Minimum Light Times and Orbital Period Variations
of the Eclipsing Binary System PV Comae Berenices

รณชัย หล้าคอม¹ และ ปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์^{2*}
Ronnachai Lakhom¹ and Patapong Panpiboon^{2*}

¹ ศูนย์ปฏิบัติการหอดูดาวแห่งชาติและวิศวกรรม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

² สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹ Centre of Observatory Operation and Engineering, National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

² Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University
Corresponding author e-mail: patapong.pa@rmu.ac.th

Received: April 26, 2025/ Revised: June 6, 2025/ Accepted: June 13, 2025

บทคัดย่อ

ระบบดาวคู่อุปราคาเป็นระบบดาวที่มีความสำคัญต่อการศึกษาคโครงสร้างและวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา PV Comae Berenices โดยการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นที่กลางแสงที่ตามองเห็น (551 nm) ณ หอดูดาวแห่งชาติ ในวันที่ 15-16 เมษายน พ.ศ. 2565 ผลการศึกษาพบว่าค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดอยู่ที่ 2459685.272 และ 2459686.166 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลในอดีตตั้งแต่ปี 2545-2563 สามารถคำนวณสมการ Linear ephemeris ใหม่ได้ การวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ กับ Epoch แสดงลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำที่ชัดเจน บ่งชี้ว่าระบบคู่นี้มีการลดลงของคาบวงโคจรอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรเท่ากับ -4.55×10^{-2} วินาทีต่อปี ซึ่งการลดลงนี้เกิดจากการถ่ายโอนมวลระหว่างดาวทั้งสองดวงหรือการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านกลไก Magnetic Braking ผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ PV Comae Berenices

คำสำคัญ : ระบบดาวคู่อุปราคา กราฟแสง เวลาแสงต่ำสุด การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร วิวัฒนาการของดาวฤกษ์

Abstract

Eclipsing binary systems are crucial for studying stellar structure and evolution. This research aims to investigate the orbital period changes of the eclipsing binary system PV Comae Berenices through observations in the visual wavelength band (551 nm) at Thai National Observatory on April 15-16, 2022. The study found that the times of minimum light were 2459685.272 and 2459686.166, respectively. When analyzing these data together with historical data from 2002 to 2020, a new linear ephemeris equation was calculated. The O-C diagram analysis revealed a clear downward parabolic pattern, indicating a continuous decrease in the orbital period with a period change rate of -4.55×10^{-2} seconds per year. This decrease caused by mass transfer between the two stars or angular momentum loss through the magnetic braking mechanism. The findings from this study will enhance our understanding of the evolution of PV Comae Berenices binary systems.

Keywords : Eclipsing Binary, Light Curve, Time of Minimum Light, Orbital Period Variation, Stellar evolution

บทนำ

ระบบดาวคู่อุปราคา (eclipsing binary systems) เป็นระบบดาวที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาดาราศาสตร์ฟิสิกส์ เนื่องจากให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับมวล รัศมี อุณหภูมิ และการวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ (Jones et al., 2020; Smith et al., 2021) ระบบดาวคู่อุปราคาสามารถจำแนกได้หลายประเภทตามลักษณะของกราฟแสง โดยหนึ่งในประเภทที่น่าสนใจคือระบบดาวคู่อุปราคาประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ิส (W Ursae Majoris-type) หรือ EW ซึ่งมีคาบการแปรแสงสั้นกว่า 1 วัน และมีชั้นพลาสมาาร่วม (common envelope) ระหว่างดาวทั้งสองดวง (Li et al., 2008) ระบบดาวคู่อุปราคา PV Comae Berenices (PV Com) ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้จัดอยู่ในระบบดาวคู่อุปราคาประเภท EW โดยมีพิกัดตำแหน่ง Right Ascension เท่ากับ $12^h 32^m 49^s.92$ และ Declination เท่ากับ $+15^\circ 17' 35.12''$ ในกลุ่มดาวผมเบเรนิซ (Comae Berenices) มีค่าโชติมาตรปรากฏในช่วงสว่างที่สุดเท่ากับ 12.45 (SIMBAD Astronomical Database, 2020)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาประเภท EW มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำควาเข้าใจกลไกการถ่ายเทมวลระหว่างดาวสมาชิก การสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม และวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ (Yang et al., 2022; Meng et al., 2023; Lalounta et al., 2024) อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรในระยะยาว และต้องการข้อมูลการสังเกตการณ์ที่ต่อเนื่องและแม่นยำ โดยเฉพาะการหาเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร (Faulkner, 1986) สำหรับระบบดาวคู่ PV Com มีผู้ศึกษาไว้บ้างแล้ว (Pojmanski, 2002; Diethelm, 2009, 2010, 2011, 2012; Jayasinghe et al., 2018; Alton, 2020) แต่ยังคงต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรและกลไกที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากข้อมูลและงานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบันเกี่ยวกับระบบดาวคู่นี้ยังมีจำกัดทั้งในด้านจำนวนและความละเอียด (Hahs et al., 2020; Alton and Stepień, 2021) แม้จะมีระบบดาวคู่อุปราคาให้เลือกศึกษามากมาย แต่ PV Com เป็นระบบที่น่าสนใจเนื่องจากยังมีข้อมูลการสังเกตที่จำกัด อีกทั้งยังมีคาบที่สั้นและความสว่างที่เหมาะสมกับการสังเกตการณ์จากประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการเสริมข้อมูลดังกล่าว เพื่อใช้เป็นฐานในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาในระยะยาว

การวิเคราะห์กราฟแสง (Light Curve) เป็นเทคนิคสำคัญในการศึกษาระบบดาวคู่อุปราคา โดยกราฟแสงแสดงการเปลี่ยนแปลงความสว่างของระบบดาวคู่ตามเวลา ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบได้ เช่น อัตราส่วนมวล มุมเอียงของระนาบวงโคจร และอัตราการถ่ายเทมวล (Darwish et al., 2024) การสังเกตการณ์และเก็บข้อมูล

ด้วยเทคนิคโฟโตเมตรี (Photometry) ผ่านกล้องโทรทรรศน์ที่มีประสิทธิภาพสูงช่วยให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ระบบดาวคู่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเพียงเล็กน้อย (Kozyreva et al., 2019)

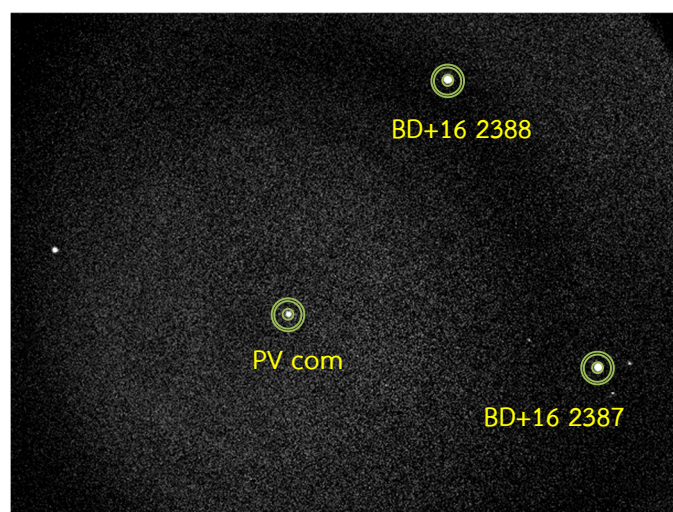
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ด้วยการสังเกตการณ์ผ่านกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ณ หอดูดาวแห่งชาติ (Thai National Observatory) การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดเพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร ซึ่งจะช่วยเติมเต็มข้อมูลของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ในคลังข้อมูลดาราศาสตร์ และช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ใกล้ชิดประเภท EW ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาระบบดาวคู่อื่น ๆ ในอนาคตได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลทางแสงของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ซึ่งติดตั้งบนฐานแบบอัลติซิมุส (Altazimuth) ณ หอดูดาวแห่งชาติ จังหวัดเชียงใหม่ กล้องโทรทรรศน์เชื่อมต่อกับกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (CCD Photometer) รุ่น ARC 4K ขนาด 4096×4096 พิกเซล การสังเกตการณ์ดำเนินการในวันที่ 15-16 เมษายน พ.ศ. 2565 รวมระยะเวลา 2 คืน โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทั้งหมด 304 ภาพ ซึ่งบันทึกภาพผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กลางแสงที่ตามองเห็น (551 nm) โดยใช้โหมด Binning 1×1 และเวลาในการเปิดรับแสง (Exposure time) 10 วินาทีต่อภาพ การวางแผนการสังเกตการณ์ได้คำนึงถึงเวลาการขึ้น-ตกของดวงจันทร์และระบบดาวคู่ PV Com โดยเฉพาะข้อจำกัดทางกายภาพของพื้นที่สังเกตการณ์ที่มีต้นไม้บดบัง ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ในมุมเงย (Altitude) ที่ต่ำกว่า 30 องศา

2. การเลือกดาวเปรียบเทียบและดาวตรวจสอบ โดยการวิเคราะห์โฟโตเมตรีแบบเปรียบเทียบ (Differential photometry) ได้ใช้ดาว BD+16 2387 (R.A. $12^h 32^m 28^s.37$, Dec. $+15^\circ 18' 19.46''$, Mag. V = 10.7) เป็นดาวเปรียบเทียบ (Reference star) และ ดาว BD+16 2388 (R.A. $12^h 32^m 39^s.29$, Dec. $+15^\circ 13' 36.79''$, Mag. V = 10.4) เป็นดาวตรวจสอบ (Check star) (SIMBAD Astronomical Database, 2020) โดยทั้งสองดวงอยู่ใกล้กับระบบดาวคู่ PV Com ในระยะไม่เกิน 1 องศาแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามหลักการเลือกดาวเปรียบเทียบที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโลก การเลือกดาวเปรียบเทียบและดาวตรวจสอบโดยอ้างอิงตามระบบพิกัด Epoch ปี พ.ศ. 2543 ซึ่งเป็นเวลาอ้างอิงมาตรฐานปัจจุบันสำหรับการระบุพิกัดหรือองค์ประกอบวงโคจรในทางดาราศาสตร์



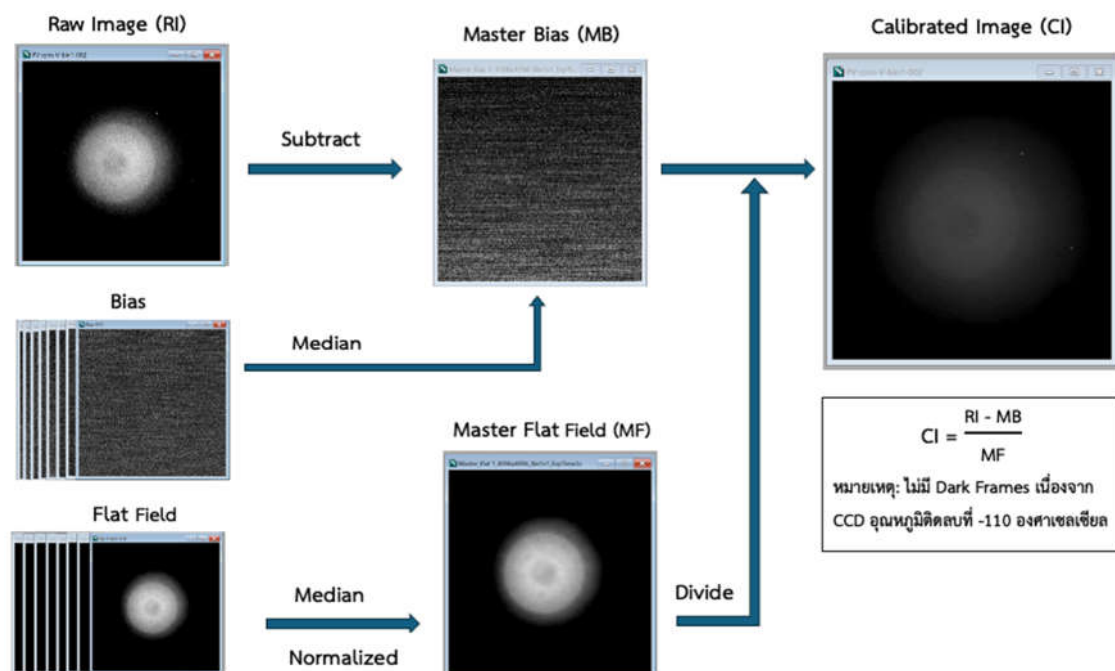
รูปที่ 1 ตำแหน่งของระบบดาวคู่อุปราคา PV com ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ

3. การปรับปรุงข้อมูลและการวิเคราะห์ภาพ โดยการประมวลผลข้อมูลเริ่มจากการรีดักชัน (Image reduction) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและความผิดพลาดเชิงระบบจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายทางดาราศาสตร์เริ่มต้นด้วยการลบ bias frames ซึ่งเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญ เนื่องจากเซนเซอร์ CCD มีสัญญาณรบกวนจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งแบบสุ่ม (random) และเป็นระบบ (systematic) ที่ปรากฏในทุกพิกเซล แม้ในสภาพที่ไม่ได้รับแสง การถ่าย bias frames ทำได้โดยเปิดระบบ CCD โดยไม่รับแสง (exposure time = 0 วินาที) แล้วถ่ายหลายภาพ (เช่น 9 ภาพ) เพื่อนำมารวม (combine) ด้วยวิธี median combine ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากค่าผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในบางเฟรม เช่น สัญญาณจาก cosmic rays หรือ hot pixels ที่ปรากฏเพียงชั่วคราว

ขั้นตอนนี้ดำเนินการด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro Version 5.24 (Diffraction Limited., 2013) ซึ่งช่วยในการหักลบภาพมืด (Dark frame) และการปรับความสม่ำเสมอของพื้นหลัง (Flat field correction) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (calibration) แบ่งเป็น 2 โหมดหลัก ได้แก่ (1) Process >> Calibrated เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ การลบสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (bias subtraction) ซึ่งถ่าย bias frames จำนวน 9 ภาพ และการแก้ไขความไม่สม่ำเสมอของการตอบสนองแสงของพิกเซล หรือสิ่งรบกวน เช่น ฝุ่นบนกระจกหรือฟิลเตอร์ ซึ่งทำให้ภาพปรากฏเป็นบริเวณมืดขนาดเล็ก โดยการถ่าย flat field frames จำนวน 9 ภาพ ทั้ง bias และ flat จะถูกรวมด้วยเทคนิค median combine เพื่อสร้างภาพเฉลี่ยที่มีคุณภาพสูง ใช้สำหรับการปรับเทียบภาพ (calibration) ได้อย่างเหมาะสม (2) Analyze >> Photometry เป็นขั้นตอนการวัดค่าความสว่างของดาว โดยใช้เทคนิคโฟโตเมตริแบบเปรียบเทียบ (differential photometry) ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการรีดักชันแสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งกำหนดรูปแบบการวัดแบบวงแหวนซ้อน (Concentric apertures) ประกอบด้วย

3.1 วงในสุด (Aperture radius) ครอบคลุมพื้นที่ความสว่างของดาวทั้งดวง ขนาดประมาณ 1.5-2.0 เท่าของค่า FWHM (Full-Width at Half-Maximum)

3.2 วงกลางและวงนอกสุด (Annulus) สำหรับวัดความสว่างท้องฟ้าพื้นหลัง โดยวงกลางมีขนาดประมาณ 4-5 เท่าของ Aperture และวงนอกมีขนาดประมาณ 6-7 เท่าของ Aperture



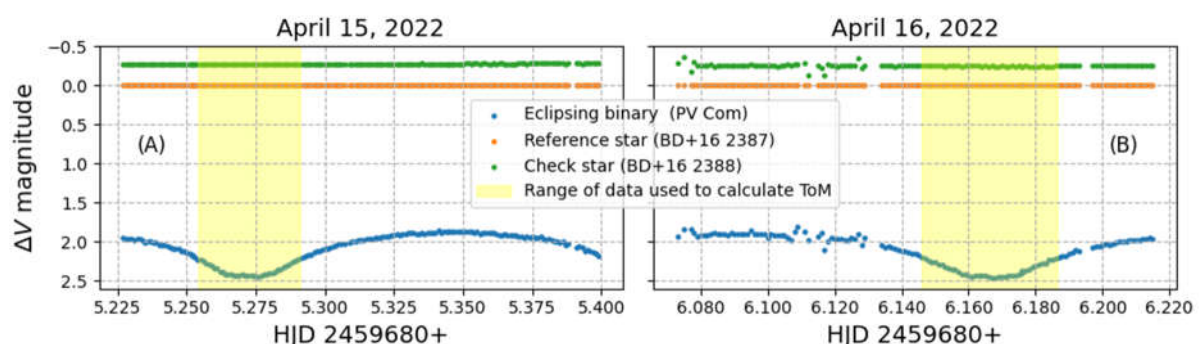
รูปที่ 2 การรีดักชันภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ของระบบดาวคู่อุปราคา PV com ที่ได้จากการสังเกตการณ์ด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro Version 5.24

ใช้โปรแกรมวัดความสว่างเฉลี่ยในแต่ละวงแล้วนำค่าความสว่างของวงนอก (ท้องฟ้าพื้นหลัง) มาหักออกจากความสว่างของวงใน ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับความสว่างของดาวอ้างอิง เพื่อแปลงเป็นค่าความสว่างสัมพัทธ์ (Delta magnitude) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยลดข้อผิดพลาดจากปัจจัยภายนอก เช่น การแปรปรวนของบรรยากาศหรือสภาพแสงที่ไม่คงที่ และทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัลเชิงตัวเลข (digital image data) โดยโปรแกรมจะอ่านค่าความเข้มของแสง (intensity) ที่ตกกระทบในแต่ละพิกเซลแปลงเป็นค่าตัวเลขจากนั้น Export ออกมาเป็นไฟล์ .CSV ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการทางคณิตศาสตร์สำหรับสร้างกราฟแสงต่อไป

4. การวิเคราะห์กราฟแสงและการหาเวลาแสงต่ำสุดจากข้อมูลความสว่างที่ได้ โดยทั่วไปในการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจะมีวิธีการวิเคราะห์หลัก 6 วิธี ได้แก่ วิธี Kwee & van Woerden, การฟิตแบบพาราโบลา (Parabolic Fit), การฟิตแบบ Five-Term Fourier Fit, วิธี Sliding Integrations, วิธี Digital Tracing Paper Method และการฟิตแบบ Least Squares (Nelson, 2019) โดยในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการฟิตแบบพาราโบลา เนื่องจากสามารถหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดได้อย่างแม่นยำในกรณีที่กราฟแสงมีลักษณะโค้งชัดเจนและข้อมูลมีคุณภาพดี งานวิจัยนี้ดำเนินการสร้างกราฟแสง โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและ HJD กราฟแสงที่ได้จะใช้ในการวิเคราะห์หาเวลาที่แสงต่ำสุด (Time of Minimum Light; ToM) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดย ToM เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษาคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรทำได้โดยเปรียบเทียบเวลาแสงต่ำสุดที่สังเกตได้จริง (Observed) กับเวลาแสงต่ำสุดที่คำนวณได้จากทฤษฎี (Calculated) ตามสมการแสดงคาบวงโคจร ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าคำนวณ ($O-C$) จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร โดยข้อมูล ToM จากงานวิจัยนี้ เมื่อนำไปประกอบกับข้อมูลจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรในระยะยาวของระบบดาวคู่ PV Com ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ทำการคำนวณวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (Heliocentric Julian Date; HJD) และพิจารณากราฟแสงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างความสว่างดังรูปที่ 3 จากนั้นพิจารณาช่วงที่จะนำมาคำนวณหาค่า ToM ด้วยการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันซึ่งเป็นสมการกำลังสอง (Quadratic equation) ดังรูปที่ 4 กราฟแสงให้เห็นช่วงการเกิดอุปราคาปฐมภูมิอย่างชัดเจนทั้งในวันที่ 15 และ 16 เมษายน พ.ศ. 2565 โดยมีค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดอยู่ที่ 2459685.272 และ 2459686.166 ตามลำดับ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Quadratic Polynomial Fitting แสดงให้เห็นลักษณะของเส้นกราฟรูปแบบพาราโบลาที่มีความแม่นยำสูงสำหรับการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เกิดอุปราคา (Li et al., 2024)

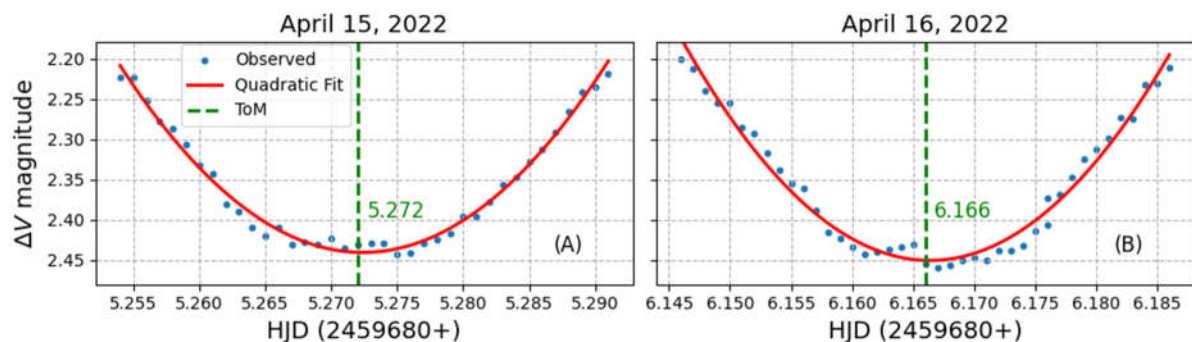


รูปที่ 3 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ระหว่างวันที่ 15 (A) – 16 (B) เมษายน พ.ศ. 2565 ที่ช่วงความยาวคลื่น 551 nm (ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและเวลา)

เมื่อนำค่า ToM ในหน่วย HJD (HJD_{MIN}) จากการสังเกตการณ์ในงานวิจัยนี้ไปรวมกับข้อมูลในอดีตตั้งแต่ปี 2545-2565 ดังแสดงในตารางที่ 1 จะใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า HJD_{MIN} กับค่า Epoch (E) ดังรูปที่ 5(A) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากงานวิจัยครั้งนี้ (ข้อมูลจุดสุดท้าย) มีความสอดคล้องกับแนวโน้มของข้อมูลในอดีตตามสมการเชิงเส้น Linear ephemeris ที่ใช้อ้างอิง ดังสมการที่ (1) (Czech Astronomical Society, 2002) งานวิจัยนี้คำนวณสมการเชิงเส้น Linear ephemeris ของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ได้ใหม่ดังสมการที่ (2)

$$HJD_{MIN I} = 2452638.140 + 0^d.2978920E \quad (1)$$

$$HJD_{MIN I} = 2459686.161(\pm 0.012) + 0^d.2978876(\pm 0.0000008)E \quad (2)$$



รูปที่ 4 การวิเคราะห์และคำนวณหาค่า ToM ของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ระหว่างวันที่ 15 (A) – 16 (B) เมษายน พ.ศ. 2565 ที่ช่วงความยาวคลื่น 551 nm

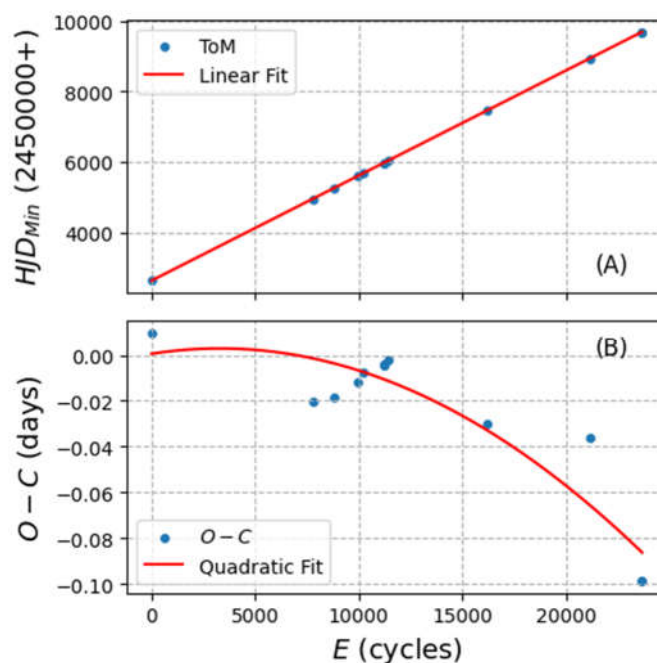
ตารางที่ 1 ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com จากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี 2545-2565

ToM (2,450,000+)	E	$O - C$	ชนิดของอุปราคา	อ้างอิง
2,638.150	0.0	0.0100	ปฐมภูมิ	Pojmanski (2002)
4,952.740	7,770	-0.0203	ปฐมภูมิ	Diethelm (2009)
5,269.699	8,834	-0.0185	ปฐมภูมิ	Diethelm (2010)
5,609.899	9,976	-0.0116	ปฐมภูมิ	Diethelm (2011)
5,679.758	10,210	-0.0078	ทุติยภูมิ	Diethelm (2011)
5,981.825	11,224	-0.0037	ทุติยภูมิ	Diethelm (2012)
5,981.973	11,225	-0.0047	ปฐมภูมิ	Diethelm (2012)
6,047.661	11,445	-0.0020	ทุติยภูมิ	Diethelm (2012)
7,456.811	16,176	-0.0300	ปฐมภูมิ	Jayasinghe et al. (2018)
8,933.753	21,134	-0.0363	ปฐมภูมิ	Alton (2020)
9,685.272	23,657	-0.0985	ปฐมภูมิ	งานวิจัยครั้งนี้ (2022)
9,686.166	23,660	-0.0984	ปฐมภูมิ	งานวิจัยครั้งนี้ (2022)

จากการวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ กับ E ดังรูปที่ 5(B) พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำ แสดงให้เห็นว่าคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรจะคำนวณได้ด้วยสมการพหุนามกำลังสองดังสมการที่ (3) ซึ่ง fitting ได้จากรูปที่ 5(B) ดังนี้

$$O-C = -2.15 \times 10^{-10} E^2 + 1.41 \times 10^{-6} E + 5.54 \times 10^{-4} \quad (3)$$

นำเทอมที่ 1 ของสมการที่ (3) มาดำเนินการหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบการโคจรในหน่วยวันต่อรอบ (day/cycle) จากนั้นทำการแปลงหน่วยให้เป็นวินาทีต่อปี (sec/year) ด้วยการคูณกับเวลา 1 ปี $\times 365.25$ วัน $\times 24$ ชั่วโมง $\times 60$ นาที $\times 60$ วินาที สุดท้ายนำผลคูณที่ได้หารด้วยค่าคาบการโคจรที่ fitting ได้จากรูปที่ 5(A) ในสมการที่ (2) (0.2978876 ± 0.0000008 วัน หรือ 7.15 ชั่วโมง) พบว่ามีค่าเป็น -4.55×10^{-2} วินาทีต่อปี ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Alton & Stepień (2021) ซึ่งวิเคราะห์ PV Com จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2559 และ 2563 และพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสองของสมการ $O-C$ เทอมที่ 1 มีค่าติดลบ (-9.32×10^{-11}) บ่งชี้ว่าคาบวงโคจรกำลังลดลงในอัตรา -2.28×10^{-7} วันต่อปี (-1.97×10^{-2} วินาทีต่อปี) ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของระบบดาวคู่ประเภท EW ที่อยู่ในช่วงปลายของวิวัฒนาการ นอกจากนี้ Alton & Stepień (2021) ยังเสนอว่าการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่นี้อาจได้รับผลกระทบจากแสงของดาวพื้นหลังหรือองค์ประกอบของแสงที่สาม (third light) และควรพิจารณาอย่างรอบคอบในการจำลองกราฟแสงและการวิเคราะห์ในอนาคต



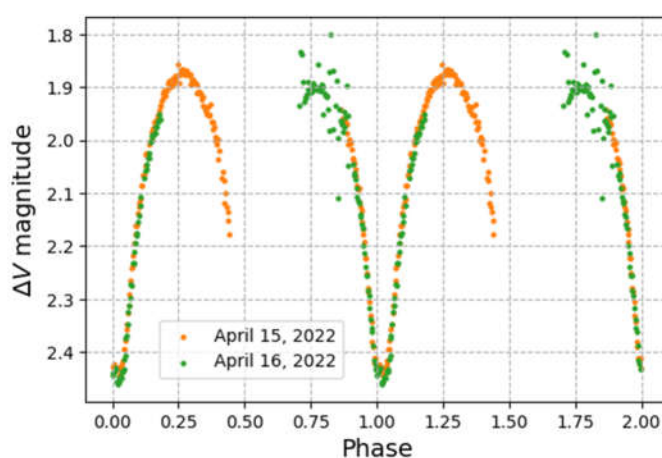
รูปที่ 5 (A) ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า HJD_{Min} กับ E และ (B) แผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ตั้งแต่ปี 2555-2565

ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการถ่ายโอนมวลระหว่างดาวทั้งสองดวงในระบบหรือจากการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านกระบวนการ magnetic braking (Qian et al., 2007; Khaliullina, 2021; Fang et al., 2024; Tian et al., 2025) ซึ่งเป็นกลไกที่พบได้บ่อยในระบบดาวคู่ที่มีคาบวงโคจรสั้น โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบที่พบในงานวิจัยนี้มีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่พบในระบบดาวคู่อุปราคาประเภท EW อื่น ๆ ที่มี

คาบวงโคจรต่ำกว่า 0.4 วัน (Lohr et al., 2013; Thiemann et al., 2021) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของระบบดาวประเภทเดียวกัน และช่วยสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรเนื่องจากกลไกภายในระบบดาวคู่ที่มีปฏิสัมพันธ์อย่างใกล้ชิด ระบบดาวคู่ประเภท EW มักจะเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรเมื่อเวลาผ่านไปและสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (Lohr et al., 2015; Qian et al., 2017; Hu et al., 2022)

จากการเปรียบเทียบค่า $O-C$ ของ ToM ตามลำดับเวลาดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อน $O-C$ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา ซึ่งสามารถสะท้อนวิวัฒนาการของคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ได้อย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลจาก Pojmanski (2002) ซึ่งเป็นหนึ่งในการสังเกตการณ์แรกที่มีรายงานค่าความคลาดเคลื่อน $O-C$ มีค่า บวก (+0.0100) บ่งชี้ถึงช่วงเวลาที่คาบวงโคจรของระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลงชัดเจนหรืออาจอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลง ต่อมา ในช่วงปี 2552–2555 ผลจาก Diethelm (2009, 2010, 2011, 2012) ได้แสดงให้เห็นว่า $O-C$ เริ่มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจาก -0.0203 เป็น -0.0020 ซึ่งสะท้อนถึงการหดสั้นของคาบวงโคจร Jayasinghe et al. (2018) และ Alton (2020) รายงานค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลงต่อเนื่องถึง -0.0363 ซึ่งเป็นหลักฐานที่สนับสนุนแนวโน้มการลดลงของคาบวงโคจรอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาหลังปี 2012 สุดท้าย ผลการสังเกตการณ์จากงานวิจัยครั้งนี้ (2565) แสดงค่า $O-C$ ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญไปถึง -0.0985 และ -0.0984 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการศึกษาทั้งหมดก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในระยะหลัง อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบที่มีนัยสำคัญของระบบดาวคู่ PV Com จึงเป็นตัวอย่างที่ดีของระบบดาวคู่อุปราคาที่กำลังอยู่ในช่วงวิวัฒนาการที่น่าสนใจ (Koçak et al., 2021) การลดลงของคาบวงโคจรอย่างต่อเนื่องอาจเป็นสัญญาณบ่งชี้ว่าระบบนี้กำลังเข้าสู่ระยะที่ดาวทั้งสองจะรวมตัวกันในอนาคต เป็นไปตามวิวัฒนาการระบบดาวคู่แบบ EW ซึ่งจะมีช่วงเวลาที่คาบวงโคจรลดลงก่อนจะรวมตัวกันเป็นดาวเดี่ยวที่หมุนรอบตัวเอง (Papageorgiou et al., 2023)

นอกจากนี้ เพื่อยืนยันว่าค่า ToM ที่ได้จากการวิเคราะห์ตามตารางที่ 1 นั้นเป็นอุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) หรือไม่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อดาวที่สว่างน้อยกว่าหรือมีขนาดเล็กกว่ากำลังเคลื่อนผ่านหน้าดาวที่สว่างกว่าในแนวสายตา ส่งผลให้ความสว่างโดยรวมของระบบลดลงอย่างชัดเจน โดยจุดต่ำสุดของแสงที่เกิดจากเหตุการณ์นี้เรียกว่า Primary Minimum (Min I) ซึ่งมักจะเป็นจุดต่ำสุดที่ลึกที่สุดในกราฟแสงดังรูปที่ 6 ในทางตรงกันข้ามอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) จะเกิดขึ้นเมื่อดาวที่สว่างกว่าเคลื่อนผ่านหน้าดาวที่สว่างน้อยกว่า ทำให้ค่าความสว่างของระบบลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากดาวรองปล่อยพลังงานน้อย จุดต่ำสุดที่เกิดจากอุปราคานี้เรียกว่า Secondary Minimum (Min II) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความลึกของกราฟแสงน้อยกว่าจุดปฐมภูมิ อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้ยังไม่เพียงพอต่อการระบุหรือแยกแยะอุปราคาทุติยภูมิได้



รูปที่ 6 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา PV Com จากการสังเกตการณ์ในวันที่ 15–16 เมษายน พ.ศ. 2565 แสดงการลดลงของความสว่างอย่างเด่นชัดในช่วงเฟส 0.0 ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของอุปราคาปฐมภูมิ

สรุปผลและเสนอแนะ

การศึกษาระบบดาวคู่อุปราคา PV Com ในครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็น (551 nm) ในวันที่ 15-16 เมษายน พ.ศ. 2565 ทำให้สามารถหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดได้อย่างแม่นยำที่ 2459685.272 และ 2459686.166 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลในอดีตพบว่ามีค่าคาบวงโคจร 0.2978876 ± 0.0000008 วัน (7.15 ชั่วโมง) ซึ่งสั้นกว่าค่าที่ใช้อ้างอิงเดิม (0.2978920 วัน) แสดงให้เห็นถึงการลดลงของคาบวงโคจรอย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์แผนภาพ O-C กับ Epoch แสดงลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำที่ชัดเจน บ่งชี้ว่าระบบมีการลดลงของคาบวงโคจรอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรเท่ากับ -4.55×10^{-2} วินาทีต่อปี

เมื่อพิจารณาค่า O-C ตามลำดับเวลา จะเห็นได้ว่าวิวัฒนาการของ PV Com มีความสอดคล้องกับลักษณะของระบบดาวคู่ที่อยู่ในช่วงสุดท้ายของวิวัฒนาการ ซึ่งมีมวลบางส่วนถ่ายเทจากดาวบริวารไปยังดาวหลักและมีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านกระบวนการ magnetic braking อย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การลดลงของคาบวงโคจร ดังนั้นการศึกษาระยะเวลาที่แสงน้อยที่สุดเพิ่มเติมในระยะยาวจะมีความสำคัญต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจรอย่างเป็นระบบ และเข้าใจวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ลักษณะนี้ได้

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการเข้าถึงกล้องโทรทรรศน์และความไม่แน่นอนของสภาพอากาศ ซึ่งส่งผลให้สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 2 คืน และจำกัดเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจรได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น การศึกษาวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการสังเกตการณ์ในระยะยาว เพื่อพิจารณาว่าระบบดาวคู่นี้มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรหรือไม่ นอกจากนี้ การสร้างแบบจำลองเชิงกายภาพที่มีความละเอียดสูงร่วมกับการประเมินค่าสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น มวล รัศมี อุณหภูมิ และมุมเอียงของระนาบวงโคจร รวมทั้งการวิเคราะห์แสงจากวัตถุที่สาม ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนในกราฟแสง จะช่วยให้สามารถทำความเข้าใจกลไกที่อยู่เบื้องหลังการลดลงของคาบวงโคจรได้อย่างชัดเจนและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณหอดูดาวแห่งชาติ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำหรับโปรแกรม MaxIm DL Pro Version 5.24

เอกสารอ้างอิง

- Alton, K. (2020). *PV Comae Berenices (VSX entry)*. AAVSO International Variable Star Index. <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=95127>
- Alton, K.B., & Stepień, K. (2021). Roche modeling and evolutionary history of six low mass contact binary systems. *Acta Astronomica*, 71(2), 123-161. <https://doi.org/10.32023/0001-5237/71.2.4>
- Czech Astronomical Society. (2002). *PV Com - Eclipsing binary*. Variable Star and Exoplanet Section of the Czech Astronomical Society. <https://var.astro.cz/en/Stars/12558>
- Darwish, M.S., Abdelkawy, A.G., & Hamed, G.M. (2024). Light curve analysis and evolutionary status of four newly identified short-period eclipsing binaries. *Scientific Reports*, 14(1), 3998. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54289-1>
- Diethelm, R. (2009). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5894(1), 1-10. <https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/5801/5894.pdf>
- Diethelm, R. (2010). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5945(1), 1-9. <https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/5901/5945.pdf>

- Diethelm, R. (2011). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5992(1), 1-22.
<https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/5901/5992.pdf>
- Diethelm, R. (2012). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 6029(1), 1-22.
<https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/6001/6029.pdf>
- Diffraction Limited. (2013). MaxIm DL Pro (Version 5.24) [Computer software]. Diffraction Limited.
<https://diffractionlimited.com>
- Fang, X., Wang, Q., & Qian, S. (2024). Orbital period change of SW Sex star TT Tri. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 531(1), 213-218. <https://doi.org/10.1093/mnras/stae1184>
- Qian, S.B., Dai, Z.B., He, J.J., Yuan, J.Z., Xiang, F.Y., & Zejda, M. (2007). Orbital period changes of the nova-like cataclysmic variable AC Cancri: evidence of magnetic braking and an unseen companion. *Astronomy & Astrophysics*, 466(2), 589-594. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065970>
- Hahs, G., Ortmann, C., & Gokhale, V. (2020). Light curve asymmetries in three short period eclipsing binary stars. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, 48(1), 57.
<https://apps.aavso.org/jaavso/article/3580/>
- Hu, K., Meng, Z.B., Wang, H.W., Yu, Y.X., & Xiang, F.Y. (2022). First photometric and orbital period investigations of four W UMa-type eclipse binaries. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 39, e057.
<https://doi.org/10.1017/pasa.2022.53>
- Jayasinghe, T., Stanek, K.Z., Kochanek, C.S., Shappee, B.J., Holoiien, T.W.S., Thompson, T.A., Prieto, J.L., Dong, S., Pawlak, M., Pejcha, O., Shields, J.V., Pojmanski, G., Otero, S., Britt, C., A., & Will, D. (2018). The ASAS-SN catalog of variable stars II: Uniform classification of 412,000 known variables. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489(2), 1907–1943. <https://doi.org/10.1093/mnras/stz844>
- Jones, D., Conroy, K. E., Horvat, M., Giammarco, J., Kochoska, A., Pablo, H., Brown, A.J., Sowicka, P. & Prša, A. (2020). Physics of Eclipsing Binaries. IV. The impact of interstellar extinction on the light curves of eclipsing binaries. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 247(2), 63. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab7927>
- Khaliullina, A.I. (2021). Variations in the orbital periods of eclipsing binaries RY Aqr, AK Vir, and AX Vul. *Astronomy Reports*, 65, 126-136. <https://doi.org/10.1134/S1063772921020037>
- Koçak, D., Yakut, K., Southworth, J., Eggleton, P.P., İçli, T., Tout, C.A., & Bloemen, S. (2021). The nature of the eccentric double-lined eclipsing binary system KIC 2306740 with Kepler space photometry. *The Astrophysical Journal*, 910(2), 111. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abe546>
- Lalounta, E., Christopoulou, P.E., Papageorgiou, A., Lopes, C.F., & Catelan, M. (2024). A study of nine extremely low mass ratio-contact binary systems. *The Astronomical Journal*, 168(2), 50. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ad4882>
- Li, C.Y., Jiang, L.Q., Zheng, J., Liu, Y.M., Long, X.Y., Sun, M., Zhang H.L., & Tian, X.M. (2024). V0405 Dra: a new deep and low mass ratio contact binary with extremely fast decrease in the orbital period. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 24(6), 065023. <https://doi.org/10.1088/1674-4527/ad47dd>
- Li, L., Zhang, F., Han, Z., Jiang, D., & Jiang, T. (2008). The evolutionary status of W Ursae majoris-type systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 387(1), 97-104.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.12736.x>

- Lohr, M.E., Norton, A.J., Kolb, U.C., Maxted, P.F.L., Todd, I., & West, R.G. (2013). Period and period change measurements for 143 SuperWASP eclipsing binary candidates near the short-period limit and discovery of a doubly eclipsing quadruple system. *Astronomy & Astrophysics*, 549, A86. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220562>
- Lohr, M.E., Norton, A.J., Payne, S.G., West, R.G., & Wheatley, P.J. (2015). Orbital period changes and the higher-order multiplicity fraction amongst SuperWASP eclipsing binaries. *Astronomy & Astrophysics*, 578, A136. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525747>
- Meng, F., Zhu, L., Qian, S., Liu, N., Li, L., & Matekov, A. (2023). NY bootes: an active deep and low-mass-ratio contact binary with a cool companion in a hierarchical triple system. *The Astrophysical Journal*, 954(2), 111. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ace8fe>
- Nelson, B. (2019). *Software by Bob Nelson*. <https://www.variablestarssouth.org/resources/bob-nelsons-software-tools/software-by-bob-nelson>
- Papageorgiou, A., Christopoulou, P.E., Lalounta, E., Lopes, C.F., Catelan, M., Drake, A.J., Hantzios, P., & Alikakos, L. (2023). A unique low-mass-ratio contact eclipsing binary system under the period cutoff. *The Astrophysical Journal*, 952(2), 141. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acdcf3>
- Pojmanski, G. (2002). The all sky automated survey. Variable Stars in the 0h - 6h Quarter of the Southern Hemisphere. *Acta Astronomica*. 52(1), 397-427. <https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/0210283>
- Qian, S.B., He, J.J., Zhang, J., Zhu, L.Y., Shi, X.D., Zhao, E.G., & Zhou, X. (2017). Physical properties and catalog of EW-type eclipsing binaries observed by LAMOST. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 17(8), 087. <https://doi.org/10.1088/1674-4527/17/8/87>
- Qian, S.B., Yuan, J.Z., Xiang, F.Y., Soonthornthum, B., Zhu, L.Y., & He, J.J. (2007). Ternarity, activity, and evolutionary state of the W UMa-type binary UX eridani. *The Astronomical Journal*, 134(5), 1769. <https://doi.org/10.1086/521927>
- SIMBAD Astronomical Database. (2020). *BD+16 2387 and BD+16 2388*. Centre de Données astronomiques de Strasbourg. <https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>
- Smith, G.D., Gillen, E., Queloz, D., Hillenbrand, L.A., Acton, J.S., Alves, D.R., Anderson, D.R., Bayliss, D., Briegal, J.T., Burleigh, M.R., Casewell, S.L., Delrez, L., Dransfield, G., Ducrot, E., Gill, S., Gillon, M., Goad, M.R., Günther, M.N., Henderson, B.A., ..., Wheatley, P.J. (2021). NGTS clusters survey–III. A low-mass eclipsing binary in the Blanco 1 open cluster spanning the fully convective boundary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 507(4), 5991-6011. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2374>
- Thiemann, H.B., Norton, A.J., Dickinson, H.J., McMaster, A., & Kolb, U.C. (2021). SuperWASP variable stars: classifying light curves using citizen science. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 502(1), 1299-1311. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab140>
- Tian, X.M., Jiang, L.Q., Wang, Z.H., & Wang, J.J. (2025). The first photometric investigation of two short-period Algol-type eclipsing binaries: IW UMa and V367 Gem. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 11, 1497989. <https://doi.org/10.3389/fspas.2024.1497989>
- Yang, Y., Yuan, H., Wang, S., & Dai, H. (2022). Magnetic activity on four short-period contact binaries: V0576 Peg, KW Psc, V0873 Per, and FY Boo. *The Astronomical Journal*, 163(6), 250. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ac63c0>