วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 29 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2567
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 29 (No.1) January – April 2024
บทความวิจัย

กราฟแสงใหม่ของระบบดาวคู่ PU Virginis

The New Light Curves of a Binary Star System PU Virginis

รณกฤต รัตนมาลา[1*], ฐานิยา เกิดปรางค์[2], พิชิตพงษ์ ลองสันเทียะ[2] และ สุวนิตย์ วุฒสังข์[3]

Ronnakrit Rattanamala[1*], Thaniya Kerdprang[2], Pichitpong Longsanthia[2] and Suwanit Wutsang[3]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ประเทศไทย

[2]หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ประเทศไทย

[3]หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ประเทศไทย

[1]Faculty of science and technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand

[2] Bachelor of education program in physics, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand

[3]Regional Observatory for Public, Chachoengsao, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization), Thailand

Received : 26 April 2023, Received in revised form : 22 February 2024, Accepted : 23 February 2024

Available online : 20 March 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : การศึกษาระบบดาวคู่ส่งผลให้เกิดความเข้าใจในกลไกทางกายภาพและพฤติกรรมของดาวฤกษ์ผ่านการวิเคราะห์กราฟแสงที่สมบูรณ์ในช่วงความยาวคลื่นที่หลากหลาย คณะผู้วิจัยเลือกระบบดาวคู่ PU Virginis เนื่องจากเป็นระบบดาวคู่ที่พึ่งมีการค้นพบ

วิธีดำเนินการวิจัย : สังเกตการณ์ที่หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยทำการถ่ายภาพด้วยกล้องซีซีดี ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (*B*) สีที่ตามองเห็นเฉลี่ย (*V*) และสีแดง (*R*) ที่ต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร และข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาสร้างเป็นกราฟแสงและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี และวิเคราะห์กราฟแสงด้วยฟูเรียร์

ผลการวิจัย : ผลจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพพบว่าดาวทุยติภูมิมีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5,000 เคลวิน มีมุมระนาบวงโคจรน้อยกว่า 30 องศา อัตราส่วนมวลประมาณ 0.68 และดาวทุติภูมิมีจุดมืด ขณะที่ผลของการวิเคราะห์ฟูเรียร์แสดงให้เห็นพฤติกรรมที่อาจเป็นดาวแปรแสงวงรี

สรุปผลการวิจัย : ระบบดาวคู่ PU Virginis มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นดาวแปรแสงวงรี

คำสำคัญ : ระบบดาวคู่อุปราคา ; พียู เวอร์จินิส ; ดาวแปรแสงวงรี

Abstract

Background and Objectives : The study of the binary star system led to an understanding of the mechanism and behavior of the stars through the analysis of the multi-band light curve. We selected a binary star system PU Virginis, which was only recently discovered.

Methodology : The observational data were obtained at the Regional Observatory for the Public in Chachoengsao, under the auspices of the National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) with the CCD photometer via the 0.7-m reflecting telescope in *B*, *V* and *R* bands. Including data obtained from the Kepler space telescope. The all data were used to create the light curves. The light curves were analyzed using the Wilson-Devinney code to determine the physical parameters. Moreover, the light curves analyze by the Fourier equation.

Main Results : The results of the physical parameters obtained from the Wilson-Devinney code are as follows: the temperature of the secondary star is approximately 5,000 K, the inclination is less than 30 degrees, the mass ratio is about 0.68, and the secondary component is expected to have dark spots. While Fourier analysis suggests that it might be an ellipsoidal variable star.

Conclusions : The binary star system PU Virginis might be the ellipsoidal variable star.

Keywords : Binary system; PU Verginis; Ellipsoidal variable star

***Corresponding author. E-mail :** ronnakrit.r@gmail.com

บทนำ

การศึกษาวัตถุท้องฟ้าเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะก่อให้เกิดองค์ความรู้และเข้าใจธรรมชาติ ซึ่งวัตถุท้องฟ้าที่นักดาราศาสตร์ให้ความสำคัญคือระบบดาวคู่ (Binary star system) เนื่องจากระบบดาวคู่เป็นวัตถุท้องฟ้าที่สามารถอธิบายกลไกทางกายภาพได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ที่จะสามารถอธิบายลักษณะวิวัฒนาการหรือวัตถุอื่นข้างเคียงในระบบดาวคู่ได้ ระบบดาวคู่ PU Virginis (GSC 4948-989) ถูกค้นพบโดย Rinner *et al.* ในปี ค.ศ.2003 ถูกจำแนกให้เป็นระบบดาวคู่อุปราคาชนิด W UMa ซึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบสัมผัสกัน มีตำแหน่งในระบบเส้นศูนย์สูตรฟ้า คือ RA = 12^{h} 39^{m} 48.54^{s} และ Dec = -2^{o} 26’ 21.6” โดยสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.212 เมตร พร้อมด้วยเครื่องวัดสัญญาณ KAF-1600 สามารถวัดคาบวงโคจรได้ 0.2562555 วัน (Rinner *et al.,* 2003) จากนั้น บุญชู สุขอ่วม, วิจิตร ฤทธิธรรม และ นงลักษณ์ จันทร์พิชัย ได้รายงานการศึกษาระบบดาวคู่ PU Virginis ในปี ค.ศ.2014 พบว่ามีจุดบนสมาชิกในระบบดาวคู่ สามารถจำแนกประเภทย่อยเป็นชนิด A มีอัตราส่วนมวล 0.81 มีองศาการแตะกัน 17.63% มีมุมเอียงของระนาบวงโคจร 43.76 องศา อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ 4,400 เคลวิน และอุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ 3,663 เคลวิน โดยไม่พิจารณาจุดบนดาวสมาชิก (Sukaum *et al.,* 2015)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระบบดาวคู่ PU Virginis เป็นระบบดาวคู่ที่พึ่งมีการค้นพบ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจะรวบรวมข้อมูลสังเกตการณ์บนพื้นโลกและข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ (Kepler space telescope) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และหลากหลายต่อการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่ PU Virginis ให้แม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาระบบดาวคู่ PU Virginis จะดำเนินการโดยทำการสังเกตการณ์ถ่ายภาพในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (*B*) สีที่ตามองเห็นเฉลี่ย (*V*) และสีแดง (*R*) ที่หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา ในวันที่ 10, 11, 12, 13, 17, 18 และ 19 มกราคม พ.ศ.2565 ใช้ระยะเวลาการเปิดหน้ากล้อง 120 วินาที, 30 วินาที และ 20 วินาที สำหรับช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีที่ตามองเห็นเฉลี่ย และสีแดง ตามลำดับ โดยภาพถ่ายทุกภาพจะนำมากำจัดสัญญาณรบกวนและวัดแสงด้วยโปรแกรม AstroimageJ (Collons *et al*., 2017) โดยใช้ดาว TYC4948-1040-1 และดาว TYC4951-152-1 เป็นดาวเปรียบเทียบ (Figure 1) ผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายได้ข้อมูลจำนวน 540, 489 และ 489 ข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีที่ตามองเห็นเฉลี่ย และสีแดง ตามลำดับ ขณะที่ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์นำมาจาก Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 1,977 ข้อมูล อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 430-890 นาโนเมตร ที่มีช่วงเวลาสังเกตการณ์ระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง กันยายน ค.ศ.2016 และเมื่อได้ข้อมูลกราฟแสงของระบบดาวคู่ PU Virginis แล้วจะนำไปวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพด้วยโปแกรมวิลสัน-เดวินนี (Wilson & Devinney, 1971)

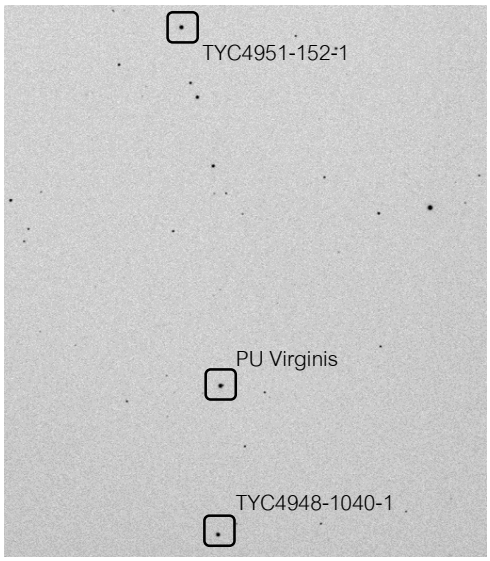

Figure 1 The image and location of PU Virginis, TYC4948-1040-1 and TYC4951-152-1 from our observation.

ผลการวิจัย

จากข้อมูลข้างต้นระบุว่าระบบดาวคู่ PU Virginis เป็นระบบดาวคู่ชนิด W UMa (Rinner *et al.*, 2003, Sukaum *et al.*, 2015) คณะผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์กราฟแสงเพื่อหาสมบัติทางกายภาพด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี (Wilson & Devinney, 1971) ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่จากกราฟแสง และได้ทำการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์เป็นแบบระบบดาวคู่แบบติดกัน ชนิด W UMa โดยกราฟแสงที่ได้รับทั้งหมดพบว่ามีความไม่สมมาตร (Asymmetry) ซึ่งกราฟแสงในเฟส 0.25 ต่ำกว่าในเฟส 0.75 ซึ่งเป็นผลจากจุดบนดาวสมชิกตามปรากฏการณ์ O'Connell (O'Connell, 1951) ตามรายงานจากการศึกษาข้างต้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิพื้นผิวของดาวปฐมภูมิเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 4,967 เคลวิน จากฐานข้อมูล Gaia ผลจากการวิเคราะห์ (Table 1) และกราฟแสงจากการวิเคราะห์ (Figure 2) โดยใช้สมการเชิงเส้น Ephemeris ดังสมการที่ (1) ในการสร้างกราฟแสงของระบบดาวคู่ PU Virginis

$$BJD_{min} = 2452407.45949 + 0.2562596 \times E \quad (1)$$

โดย E คือ ยุค (Epoch) และ BJD_{min} คือ เวลาที่แสงน้อยที่สุด ในหน่วย Barycentric Julian Dates

Table 1 The physical parameters of PU Virginis from Wilson & Devinney program.

Physical parameters	Values			
	B	*V*	*R*	Kepler
Primary star temperature (K)	4,967			
Secondary star temperature (K)	5,060±77	5,033±39	5,114±10	4,886±18
Inclination (Degree)	27.26±0.55	25.27±0.47	29.78±1.55	29.57±0.39
Mass ratio	0.686±0.041	0.620±0.010	0.681±0.045	0.659±0.019
Co-latitude (Radian)	1.298±0.272	1.347±0.859	1.298±0.759	1.628±0.317
Longitude (Radian)	1.212±0.465	1.289±0.375	1.212±0.683	1.552±0.244
Spot radius (Radian)	1.227±0.130	1.249±0.108	1.274±0.610	1.274±0.336
Temperature factor	0.967±0.001	0.965±0.001	0.966±0.001	0.976±0.001

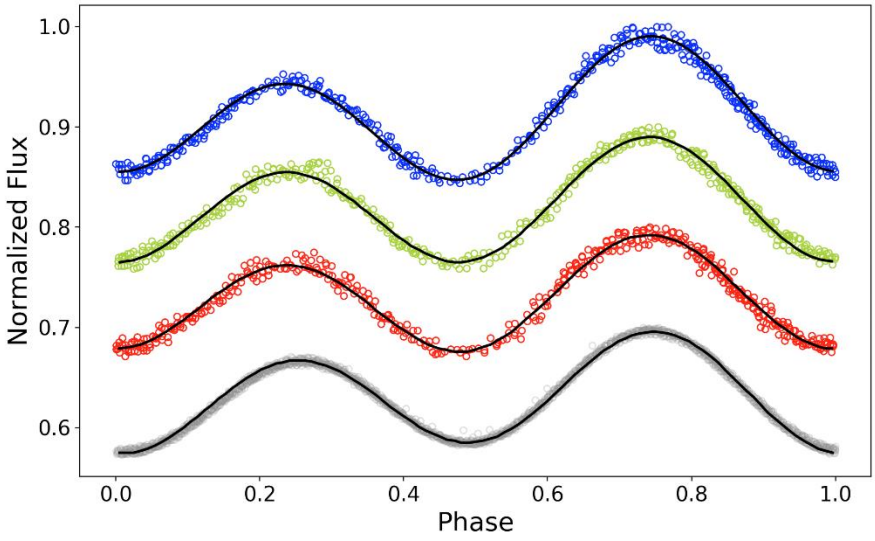

Figure 2 The synthesis light curves from Wilson & Devinney program (solid line black) and the data observation in *B* (blue circle), *V* (green circle), *R* (red circle) filters and Kepler telescope (gray circle).

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่ PU Virginis ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี พบว่าค่ามุมระนาบวงโคจรค่อนข้างน้อย (Dal & Sipahi, 2013) คล้ายกับระบบดาวคู่ KIC 4762887 ที่ถูกอภิปรายลักษณะกราฟแสงว่าอาจเป็นดาวแปรแสงวงรี (Ellipsoidal variable star) (Li & Liu, 2021) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่ไม่มีการบังและสามารถพบได้ในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Morris, 1985, Beech, 1985) เช่นเดียวกับกราฟแสงของดาว V1464 Aql ที่เป็นดาวแปรแสงวงรี (Dal & Sipahi, 2013) ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาลักษณะการเป็นดาวแปรแสงวงรี โดยการวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier) ดังสมการที่ (2) ซึ่งถ้าสัมประสิทธิ์ a_3 มีค่ามากที่สุดแสดงว่ากราฟแสงนี้เป็นลักษณะแบบดาวแปรแสงวงรี (Faigler & Mazeh, 2011, Dal & Sipahi, 2013, Li & Liu, 2021) และผลจากวิเคราะห์ฟูเรียร์ของกราฟแสงระบบดาวคู่ PU Virginis (Table 2) และกราฟจากการวิเคราะห์ (Figure 3)

$$M(t) = a_0 + a_1 cos(2\pi ft) + a_2 sin(2\pi ft) + a_3 cos(4\pi ft) \qquad (2)$$

โดย $M(t)$ คือ ค่าโชติมาตรหรือผลต่างของโชติมาตร

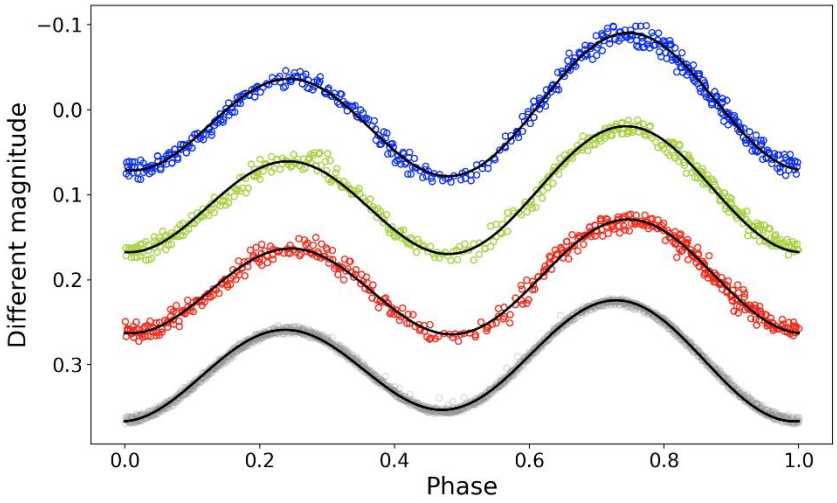

Figure 3 The synthesis light curves from fourier analysis by equation (2) (solid line black) and the data observation in *B* (blue circle), *V* (green circle), *R* (red circle) filters and Kepler telescope (gray circle).

Table 2 The coefficients of the Fourier analysis by equation (2).

Filters	The coefficients			
	a_0	a_1	a_2	a_3
B	0.00497	-0.00349	0.02706	0.06838
V	0.00391	-0.00103	0.02651	0.06394
R	0.00456	0.00059	-0.01707	0.05846
Kepler	0.00046	0.00681	0.01738	0.05879

จากผลการวิเคราะห์ฟูเรียร์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ a_3 มีผลต่อการคำนวณมากที่สุดในทุกช่วงความยาวคลื่นของกราฟแสง ดังนั้นระบบดาวคู่ PU Virginis มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นดาวแปรแสงวงรี เช่นเดียวกับดาว V1464 Aql (Dal & Sipahi, 2013) และดาว KIC 4762887 (Li & Liu, 2021)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากข้อมูลที่สังเกตการณ์ได้และข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ พบว่ากราฟแสงมีลักษณะเดียวกัน เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี พบว่าดาวทุติยภูมิมีอุณหภูมิพื้น(Secondary star temperature) ประมาณ 5,000 เคลวิน มีมุมระนาบวงโคจร(Inclination) น้อยกว่า 30 องศา มีอัตราส่วนมวล(Mass ratio) ประมาณ 0.68 และพบจุดมืดบนดาวทุติยภูมิ อีกทั้งกราฟแสงยังถูกนำไปวิเคราะห์ฟูเรียร์ และผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่ PU Virginis มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นดาวแปรแสงวงรี อย่างไรก็ตามการศึกษาระบบดาวคู่ PU Virginis จำเป็นต้องมีการสังเกตการณ์เพิ่มเติมในอนาคตเพื่อยืนยันลักษณะและสร้างความเข้าใจธรรมชาติของระบบดาวคู่ PU Virginis

สรุปผลการวิจัย

กราฟแสงของบระบบดาวคู่ PU Virginis ที่ได้รับข้อมูลจากการสังเกตการณ์ใหม่ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง ตลอดจนข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ ที่มีลักษณะกราฟแสงที่สอดคล้องกัน จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี พบว่าดาวทุติยภูมิมีอุณหภูมิพื้น (Secondary star temperature) ประมาณ 5,000 เคลวิน มีมุมระนาบวงโคจร(Inclination) น้อยกว่า 30 องศา และมีอัตราส่วนมวล(Mass ratio) ประมาณ 0.68 เมื่อพิจารณากราฟแสงของระบบดาวคู่ PU Virginis ซึ่งเป็นแบบไม่สมมาตรเนื่องมาจากการมีจุดบนดาวสมาชิก โดยการพิจารณาจุดบนดาวในครั้งนี้จะพิจารณาบนดาวทุติยภูมิ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนอุณหภูมิของจุดกับพื้นผิวดาวมีค่าประมาณ 0.96 แสดงว่าเป็นจุดมืดบนดาวทุติยภูมิทำให้กราฟแสงช่วงสูงที่ช่วงเฟส 0.25 ต่ำกว่าช่วงเฟส 0.75 อย่างไรก็ตามลักษณะกราฟแสงที่ได้รับทีความคล้ายกับกราฟแสงของดาวแปรแสงวงรีและผลของระบบวงโคจรค่อนข้างน้อย (Dal & Sipahi, 2013) จึงได้ทำการวิเคราะห์ฟูเรียร์และพบว่ามีความเป็นไปได้ที่ระบบดาวคู่ PU Virginis เป็นดาวแปรแสงวงรี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่อำนวยความสะดวกการใช้อุปกรณ์สังเกตการณ์ และขอขอบคุณข้อมูลของกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ จาก Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) และฐานข้อมูล Gaia ไว้เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

Beech, M. (1985). The ellipsoidal variables. *Astrophysics and Space Science*, *117*, 69-81.

Collons, K. A., Kielkopf, J. F., Stassun, K. G., & Hessman, F. V. (2017). ASTROIMAGEJ: Image processing and photometric extraction for ultra-precise astronomical light curves. The Astronomical Journal, *153*,77.

Dal, H. A., & Sipahi, E. (2013). The Nature of V1464 Aql: A new ellipsoidal variable with a δ Scuti component. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, *30*, e016.

Faigler, S., & Mazeh, T. (2011). Photometric detection of non-transiting short-period low-mass companions through the beaming, ellipsoidal and reflection effects in Kepler and CoRoT light curves. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *451*, 3921-3928.

Li, X. Z., & Liu, L. (2021). KIC 4762887: A near-contact binary or an ellipsoidal variable star?. *New Astronomy*. 84.

Morris, S. L. (1985). The ellipsoidal variable stars. *Astrophysical Journal*, *295*, 143-152.

O'Connell, D. J. K. (1951). The so-called periastron effect in eclipsing binaries (summary). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *111,* 642.

Rinner, C., Starkey, D., Demeautis, C., Charbonnel, S., Bernasconi, L., & Behrend, R. (2003). Eight new W UMa variables. *Information Bulleting on Variable Stars*, *5428*,1.

Sukaum, B., Rittidham, W., & Chanpichai, N. (2015). Study physical properties of the contact binary system PU Virgo. In Proceeding The 2nd Kamphaeng Phet Rajabhat University national conference. (pp. 500-507). Thailand: Kamphaeng Phet.

Wilson, R. E., & Devinney, E. J. (1971). Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, *166*, 605-619.