



## การศึกษาโฟโตเมตริกและสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส

### Photometric Study and Physical Parameters of a Contact Eclipsing Binary System V1799 Orionis

ปฐม์พงศ์ พันธุ์พิบูลย์<sup>1\*</sup> รณชัย หล้าคอม<sup>1</sup> และ วิจิตร เชาว์วันกลาง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จ. มหาสารคาม 44000

\*Corresponding Author, E-mail: ppanpiboon@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโฟโตเมตริกและสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส สังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร วัดโฟโตเมตริกด้วยกล้องซีซีดีผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน แสงสีเหลือง และอินฟราเรด ณ หอดูดาว เฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 28-29 ธันวาคม พ.ศ. 2558 และวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2559 วิเคราะห์กราฟแสงและค่าสมบัติทางกายภาพโดยใช้โปรแกรม PHOEBE ผลจากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ อุณหภูมิยังผลของดาวทุติยภูมิ มุมเอียงของระนาบวงโคจร และอัตราส่วนมวลมีค่า 5000.00 เคลวิน 4849.58 เคลวิน 89.696 องศา และ 1.377 ตามลำดับ และเมื่อคำนวณค่าร้อยละของการแตะกันพบว่ามีค่าร้อยละ 5.146 อัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่นี้มีค่า  $4.9 \times 10^{-8}$  เท่าของมวลดวงอาทิตย์ต่อปี และอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $1.9 \times 10^{-8}$  วันต่อปี ดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิอยู่ในช่วงวิวัฒนาการที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมวลของระบบดาวคู่ สอดคล้องกับทฤษฎีการสันโดยการผ่นคลายความร้อน

#### ABSTRACT

In this research, we study the photometric and physical parameters of a contact eclipsing binary system V1799 Orionis. This work used the 0.5 meter reflecting telescope with CCD photometric system in blue, visual and infrared bands. The photometric data were obtained in December 28-29, 2015 and January 8, 2016 at the Thai National Observatory, Chiang Mai. The light curves and physical parameters were analyzed simultaneously using PHOEBE. The results show that the effective temperature of the primary and secondary star, the inclination and the mass ratio were 5000.00 K, 4849.58 K, 89.696° and 1.377, respectively. The degree of contact was calculated to be 5.146%. The mass transfer rate was  $4.9 \times 10^{-8}$  solar masses per year, and the period increased to  $1.9 \times 10^{-8}$  day per year. The evolutionary status of the primary and secondary components is that they are moving away from the center of mass of the binary system, in accord with the Thermal Relaxation Oscillation Theory.

คำสำคัญ: วี 1799 โอไรออนิส ระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน สมบัติทางกายภาพ

Keywords: V1799 Orionis, Contact eclipsing binary system, Physical parameter

## บทนำ

วี 1799 โอไรออนิส (V1799 Orionis) เป็นระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน (contact eclipsing binary system) อยู่ในกลุ่มดาวนายพราน (Orion) ซึ่งสังเกตเห็นได้ในช่วงฤดูหนาว มีค่าพิกัดตำแหน่งไรซ์แอสเซนชัน (right ascension) เท่ากับ  $04^{\text{h}} 47^{\text{m}} 18^{\text{s}}.19$  และค่าเดคลิเนชัน (declination) เท่ากับ  $+06^{\circ} 40' 56''.1$  มีคาบการโคจร เท่ากับ 0.29031 วัน (Khruslove, 2006) จัดเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ริส (W Ursae Majoris) โดยดาวสมาชิกทั้งสองดวงเป็นดาวแคระ (dwarfs) ซึ่งมีขนาดและความสว่างของดาวใกล้เคียงกัน (Strasbourg Astronomical Data Center, 2015) ดาวสมาชิกทั้งสองดวงของระบบดาวคู่นี้มีอยู่ใกล้กันมากจนทำให้รูปร่างของดาวทั้งสองดวงบิดเบี้ยว เมื่อพิจารณากราฟแสงพบว่าความโค้งของกราฟแสงมีความสว่างอย่างสม่ำเสมอ โดยมีความลึกของอุปราคาปฐมภูมิและความลึกของอุปราคาทุติยภูมิใกล้เคียงกัน (Liu et al., 2014)

ระบบดาวคู่ประเภทนี้ ดาวสมาชิกทั้งสองดวงมีผิวห่อหุ้มร่วม (common envelope) ล้นออกมายังผิวสมศักย์ (equipotential surface) ที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายดัมเบล (dumbbell shapes) ตามแบบจำลองของโรชส์ (Roche model) และเมื่อดาวทั้งสองดวงมีการขยายตัวจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรชส์จะมีการถ่ายเทมวล (mass transfer) จากดาวดวงหนึ่งผ่านจุดลากรางจ์ด้านใน (Inner Lagrangian point) ไปสู่ผิวห่อหุ้มของอีกดวงหนึ่งทำให้เกิดแนวเส้นสมศักย์ (equipotential surface) ที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายเลขแปด (figure eight) (บุญรักษา, 2550)

การถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร (period change) ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ดาวสมาชิกทั้งสองดวงมีการหมุนรอบตัวเองช้าลง เนื่องจากแรงเสียดทานและการสูญเสียพลังงานความร้อน ทำให้เกิดการลดลงของพลังงานภายในวงโคจร (orbital energy) และพลังงานของการหมุนรอบตัวเอง (spin energy) จนกระทั่งดาวสมาชิกทั้งสองดวงมีสถานะพลังงานต่ำสุด (วิระภรณ์, 2547) ทั้งนี้หากเราทราบ

กลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ ร้อยละของการแตะกัน (Degree of Contact) อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร อัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่ การวิเคราะห์กราฟแสง (light curve) รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ (physical parameters) ของระบบดาวคู่ จะทำให้เราสามารถอธิบายวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาการกำเนิดเอกภพได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโฟโตเมตรีและสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส ทำการวิเคราะห์กลไกที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ รวมทั้งคำนวณหาร้อยละของการแตะกัน อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร และอัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่ เพื่ออธิบายวิวัฒนาการของระบบดาวคู่นี้

## วิธีดำเนินการวิจัย

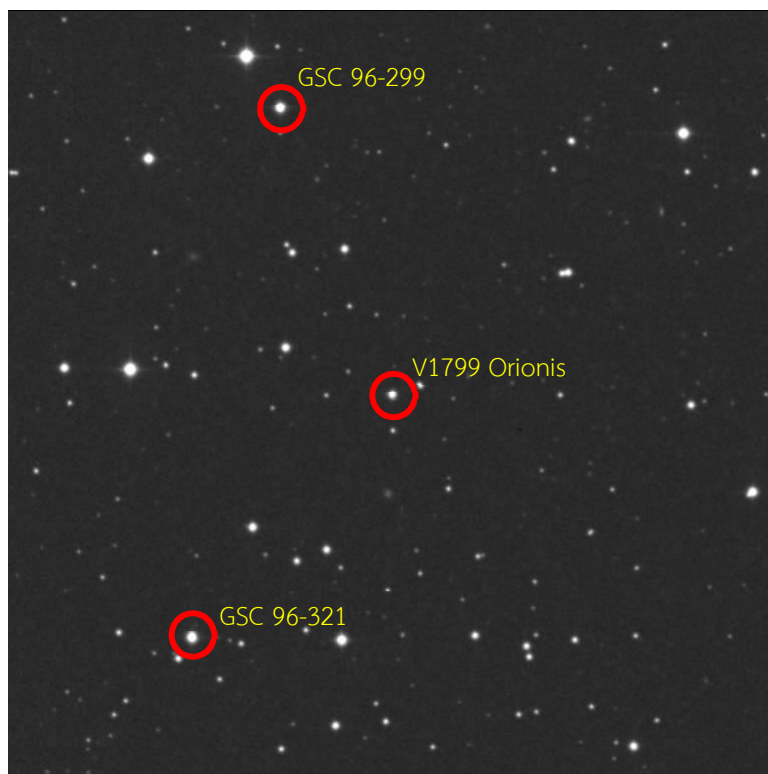
งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส โดยการสังเกตการณ์ทางแสง ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา จังหวัดเชียงใหม่ ในวันที่ 28-29 ธันวาคม พ.ศ. 2558 และวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2559 รวมเวลาทั้งหมด 3 คืน โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ชนิดริทชี - เครเตียง (Ritchey-Chretien Telescope) ที่เชื่อมต่อด้วยกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (CCD Photometer) ยี่ห้อ Andor Tech ขนาด 2048 x 2048 พิกเซล ดังรูปที่ 1 การถ่ายภาพผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (blue filter) ช่วงความยาวคลื่นแสงสีเหลือง (visual filter) และช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด (infrared filter) ใช้เวลาในการบันทึกข้อมูล (exposure time) 60 วินาทีต่อข้อมูล วัดค่าความสว่างด้วยเทคนิคโฟโตเมตรี (Photometry) เพื่อหาผลต่างระหว่างค่าความสว่างของระบบดาวคู่ โดยใช้ดาว GSC 96-299 เป็นดาวเปรียบเทียบ (reference star) และดาว GSC 96-321 เป็นดาวตรวจสอบ (check star) ดังรูปที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส ดาวเปรียบเทียบและดาวตรวจสอบ แสดงดังตารางที่ 1 แล้วนำข้อมูลภาพถ่าย 3 ช่วงความยาวคลื่นได้แก่ แสง

สีน้ำเงิน 249 ข้อมูล แสงสีเหลือง 247 ข้อมูลและคลื่นอินฟราเรด ใช้โปรแกรม Maxlm DL5 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ไม่  
245 ข้อมูล เข้าสู่กระบวนการรีดักชัน (image reduction) โดย ต้องการออกจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ (มติพล, 2556)



รูปที่ 1 กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงชนิด ริทชี - ครีเตียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร



รูปที่ 2 ภาพถ่ายของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส ดาวเปรียบเทียบและดาวตรวจสอบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอไรออนิส ดาวเปรียบเทียบและดาวตรวจสอบ

| Stars         | Right Ascension                                     | Declination    | Magnitude V |
|---------------|-----------------------------------------------------|----------------|-------------|
| V1799 Orionis | 04 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> .19 | +06° 40' 56".1 | 12.90       |
| GSC 96-299    | 04 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup> .83 | +06° 45' 44".8 | 12.05       |
| GSC 96-321    | 04 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup> .70 | +06° 36' 51".6 | 12.06       |

ที่มา (Strasbourg Astronomical Data Center, 2015)

ข้อมูลเวลาในขณะสังเกตการณ์เมื่อวัดโฟโตเมตริกข้อมูล จะอยู่ในรูปของค่าวันจูเลียน (Julian date) โดยเปลี่ยนให้เป็นค่า วันจูเลียนศูนย์สุริยะ (Heliocentric Julian Date) เพื่อแก้ไข เวลาที่แสงเดินทางมายังโลก เมื่อเทียบกับตำแหน่งของดวง อาทิตย์ที่อยู่ใกล้-ไกลกับระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส (Stephen, 2015) นำข้อมูลวันจูเลียนศูนย์สุริยะและ ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดโฟโตเมตริมาคำนวณหาค่าเฟส (phase) ค่านอร์มัลไลซ์ (normalized) และค่าน้ำหนักเฉลี่ย (weight) โดยกำหนดให้เป็นค่าคงที่ (วิชรารุณี, 2548) ซึ่งเป็น ข้อมูลสำหรับใช้วิเคราะห์ผลและสร้างแบบจำลองโครงสร้างของ ระบบดาวคู่

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุป รากาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส โดยใช้โปรแกรม PHOEBE (Physics Of Eclipsing Binaries) ซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรมของ วิลสัน-เดวินนี (Wilson Devinney code) (Prša and Harmanec, 2010) ทำให้โปรแกรม PHOEBE มีข้อแตกต่างคือ สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างของระบบดาวคู่ได้ เมื่อ กำหนดค่าสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นที่ปรับค่าไม่ได้เริ่มพิจารณา จากค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ (effective temperature

of primary component) นั่นคือ  $T_1 = 5000.00$  เคลวิน (Samec et al., 2010) สมบัติทางกายภาพที่ต้องพิจารณาอีกคือ ค่าสัมประสิทธิ์การมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วง (gravity darkening coefficient) ของดาวปฐมภูมิ ( $g_1$ ) และดาวทุติยภูมิ ( $g_2$ ) โดยปรับให้ค่าทั้งสองมีค่าเท่ากับ 0.32 ซึ่งกำหนดโดย Lucy (1967) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโบลเมตริก (bolometric albedo coefficient) ของดาวปฐมภูมิ ( $A_1$ ) และดาวทุติยภูมิ ( $A_2$ ) ปรับให้ค่าทั้งสองมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งกำหนดโดย Rucinski (1969) และค่าสัมประสิทธิ์ความมืดคล้ำที่ขอบดาวฤกษ์ (logarithmic limb-darkening coefficients) จะถูกปรับค่าตามวิธีการของ Van Hamme (1993) จากนั้นกำหนดค่าสมบัติทางกายภาพ เบื้องต้นที่ปรับค่าได้เริ่มพิจารณาจากค่าอัตราส่วนมวล (mass ratio;  $q = M_2/M_1$ ) โดยกำหนดเป็นค่าเบื้องต้นตามการคำนวณ ของ Liu et al. (2014) คือ  $q = 1.355$  รวมทั้งกำหนดสมบัติทาง กายภาพให้ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร (orbital inclination;  $i$ ) ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวทุติยภูมิ (effective temperature of primary component;  $T_2$ ) และค่าศักย์พื้นผิวของดาวสมาชิก (surface potentials;  $\Omega$ ) เท่ากับ 89.7 องศา 4781.00 เคลวิน และ 4.2572 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

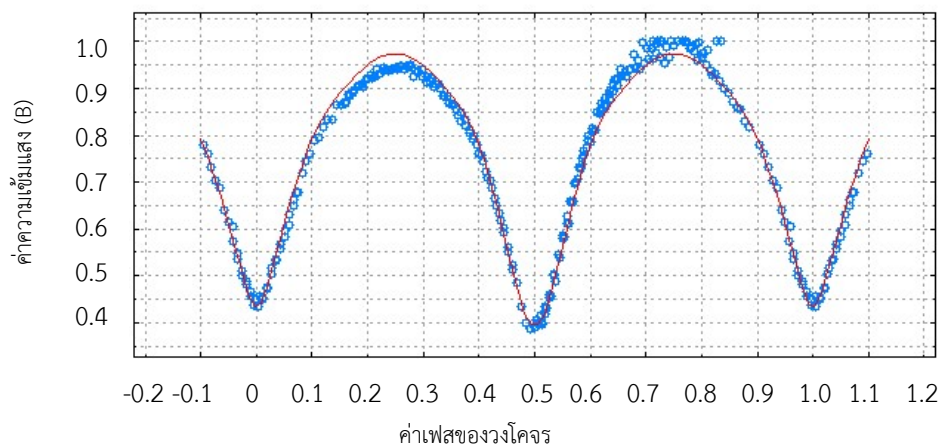
**ตารางที่ 2** ค่าสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส

| สมบัติทางกายภาพเบื้องต้น                                       | สัญลักษณ์และหน่วย | ผลลัพธ์ |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|---------|
| <b>สมบัติทางกายภาพที่ปรับค่าได้</b>                            |                   |         |
| อัตราส่วนมวลดาวทุติยภูมิต่อดาวปฐมภูมิ                          | $q = M_2 / M_1$   | 1.335   |
| มุมเอียงของระนาบวงโคจร                                         | $i (^\circ)$      | 89.7    |
| อุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ                                        | $T_2 (K)$         | 4781.00 |
| ศักย์พื้นผิวของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิ                       | $\Omega$          | 4.2572  |
| <b>สมบัติทางกายภาพที่ปรับค่าไม่ได้</b>                         |                   |         |
| อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ                                          | $T_1 (K)$         | 5000.00 |
| ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการสะท้อนของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิ        | $A_1 = A_2$       | 0.5     |
| ค่าการมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วงของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิ | $g_1 = g_2$       | 0.32    |

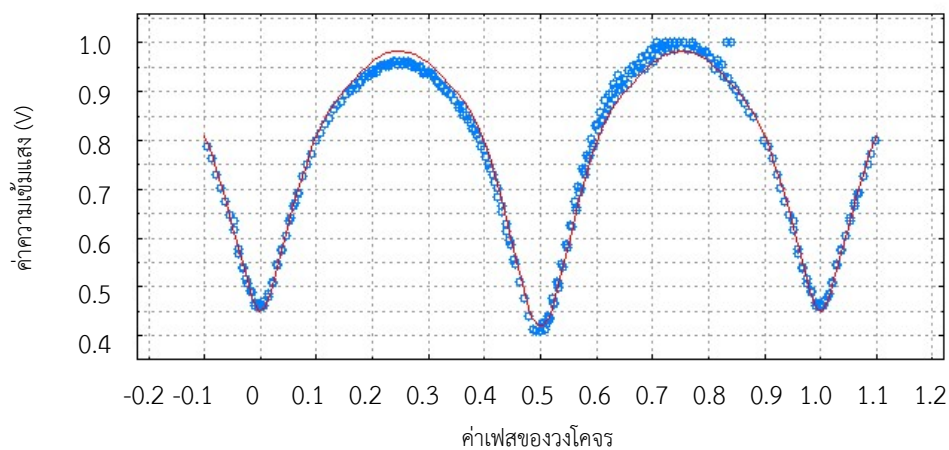
## ผลการวิจัย

จากข้อมูลที่สังเกตการณ์ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส ด้วยโปรแกรม PHOEBE โดยทำการวิเคราะห์สร้าง

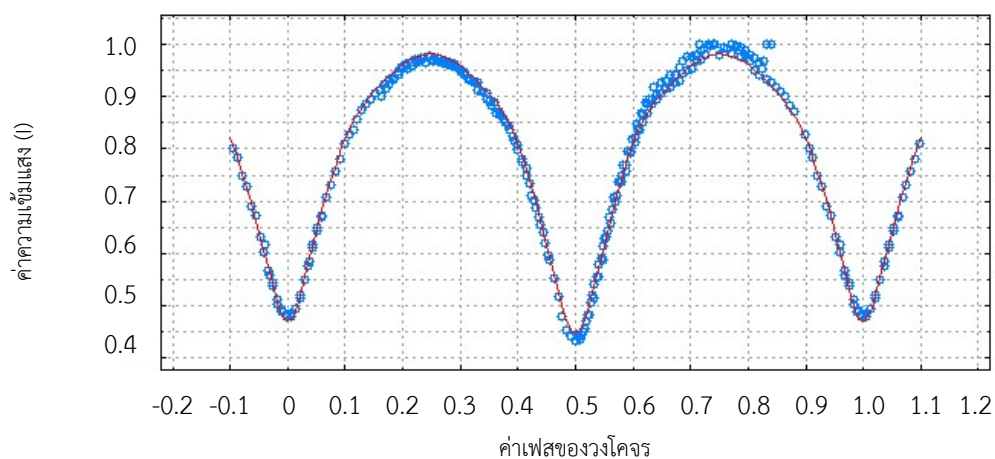
กราฟแสงสัณเคราะห์ให้มีลักษณะเหมือนกับกราฟแสงที่ สังเกตการณ์ได้ และคำนวณสมบัติทางกายภาพ ตลอดจนสร้าง แบบจำลองของระบบดาวคู่ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ช่วง ความยาวคลื่น ดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5



**รูปที่ 3** กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน



**รูปที่ 4** กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเหลือง



**รูปที่ 5** กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด

ผลการวิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่  
อุปราคาแบบแตกกัน วี 1799 โอโรอนิส ที่ได้จากการวิเคราะห์  
โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการของ Harmanec (1988) แสดงค่า  
สมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ดังตารางที่ 3 และแสดงแบบจำลอง  
โครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกกัน วี  
1799 โอโรอนิส แสดงดังรูปที่ 6 ทั้งนี้การเปรียบเทียบระบบดาว  
คู่โดยมีองศาการแตกกันมาน้อยเพียงใด สามารถคำนวณได้ดัง  
สมการที่ 1 (Liu et al., 2014)

$$f = \frac{\Omega - \Omega_{in}}{\Omega_{out} - \Omega_{in}} \quad (1)$$

เมื่อ  $f$  คือร้อยละองศาการแตกกัน (Degree of  
Contact)  $\Omega$  คือศักย์พื้นผิวของของดาวสมาชิกทั้งสองในระบบ  
ดาวคู่ (Surface potential)  $\Omega_{in}$  คือศักย์พื้นผิวด้านใน (Inner  
surface potential) และ  $\Omega_{out}$  คือศักย์ที่ผิวด้านนอก (Outer  
surface potential) โดยแทนค่าสมบัติทางกายภาพจากตารางที่  
3 ลงในสมการที่ 1 ซึ่งคำนวณค่าร้อยละองศาการแตกกันของ  
ระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกกัน วี 1799 โอโรอนิส ได้  
 $f = 5.146\%$

ตารางที่ 3 ค่าสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกกัน วี 1799 โอโรอนิส

| สมบัติทางกายภาพ                                                         | สัญลักษณ์                    | ผลลัพธ์               |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| วันจูเลียนศูนย์สุริยะเริ่มต้น ในหน่วยวัน ( $d$ )                        | $HJD$                        | 2451524.826           |
| คาบการโคจรของระบบดาวคู่ ในหน่วยวัน ( $d$ )                              | $P$                          | 0.2903039             |
| ค่าครึ่งแกนยาวของวงโคจรที่เป็นวงรี ในหน่วยรัศมีดวงอาทิตย์ ( $R_\odot$ ) | $a$                          | $2.07238 \pm 0.0018$  |
| อัตราส่วนมวลของดาวฤกษ์คู่ต่อดาวปฐมภูมิ                                  | $q = M_2 / M_1$              | $1.37679 \pm 0.0048$  |
| มุมเอียงของระนาบวงโคจร ในหน่วยองศา ( $^\circ$ )                         | $i$                          | $89.6962 \pm 0.0016$  |
| อุณหภูมิยังผลที่ผิวของดาวปฐมภูมิ ในหน่วยเคลวิน ( $K$ )                  | $T_1$                        | 5000.00               |
| อุณหภูมิยังผลที่ผิวของดาวฤกษ์คู่ ในหน่วยเคลวิน ( $K$ )                  | $T_2$                        | $4849.58 \pm 5.9331$  |
| ศักย์พื้นผิวของดาวปฐมภูมิและดาวฤกษ์คู่                                  | $\Omega$                     | $4.311259 \pm 0.0030$ |
| ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการสะท้อนของดาวปฐมภูมิและดาวฤกษ์คู่                   | $A_1 = A_2$                  | 0.5                   |
| ค่าการมีดคล้าเนื่องจากความโน้มถ่วงของดาวปฐมภูมิและดาวฤกษ์คู่            | $g_1 = g_2$                  | 0.32                  |
| กำลังส่องสว่างของดาวปฐมภูมิในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน                  | $L_{1B} / (L_{1B} + L_{2B})$ | $5.5055 \pm 0.0083$   |
| กำลังส่องสว่างของดาวปฐมภูมิในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง                   | $L_{1V} / (L_{1V} + L_{2V})$ | $5.4568 \pm 0.0082$   |
| กำลังส่องสว่างของดาวปฐมภูมิในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด                  | $L_{1I} / (L_{1I} + L_{2I})$ | $5.3182 \pm 0.0079$   |
| ศักย์พื้นผิวด้านใน                                                      | $\Omega_{in}$                | 4.340638              |
| ศักย์พื้นผิวด้านนอก                                                     | $\Omega_{out}$               | 3.769773              |
| มวลของดาวปฐมภูมิ ในหน่วยเท่าของมวลดวงอาทิตย์ ( $M_\odot$ )              | $M_1$                        | 0.598142              |
| มวลของดาวฤกษ์คู่ ในหน่วยเท่าของมวลดวงอาทิตย์ ( $M_\odot$ )              | $M_2$                        | 0.823516              |
| รัศมีของดาวปฐมภูมิ ในหน่วยเท่าของรัศมีดวงอาทิตย์ ( $R_\odot$ )          | $R_1$                        | 0.738743              |
| รัศมีของดาวฤกษ์คู่ ในหน่วยเท่าของรัศมีดวงอาทิตย์ ( $R_\odot$ )          | $R_2$                        | 0.855276              |
| ค่าแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวปฐมภูมิ                                       | $M_{bol1}$                   | 5.886330              |
| ค่าแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวฤกษ์คู่                                       | $M_{bol2}$                   | 6.072112              |

การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบ  
ดาวคู่แบบแตกกัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\frac{dP}{dt} = \left( 1.1 \times 10^{-8} \right) \left( \frac{k^2 (1+q)^2 (M_1 R_1^4 + M_2 R_2^4)}{q (M_1 + M_2)^{5/3} P^{7/3}} \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $dP/dt$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบการโคจร  
ของระบบดาวคู่ในหน่วยวันต่อปี  $k^2$  คือค่าคงที่ไจเรชัน (gyration  
constant) ซึ่งกำหนดค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.15 (บุญรักษา, 2550)  
โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.07  $q$  คือค่าสัดส่วนมวล  
ของระบบดาวคู่ (mass ratio;  $M_2 / M_1$ ) โดยที่  $M_1$  และ  $M_2$  คือ  
มวลของดาวปฐมภูมิและดาวฤกษ์คู่ในหน่วยเท่าของมวลดวง



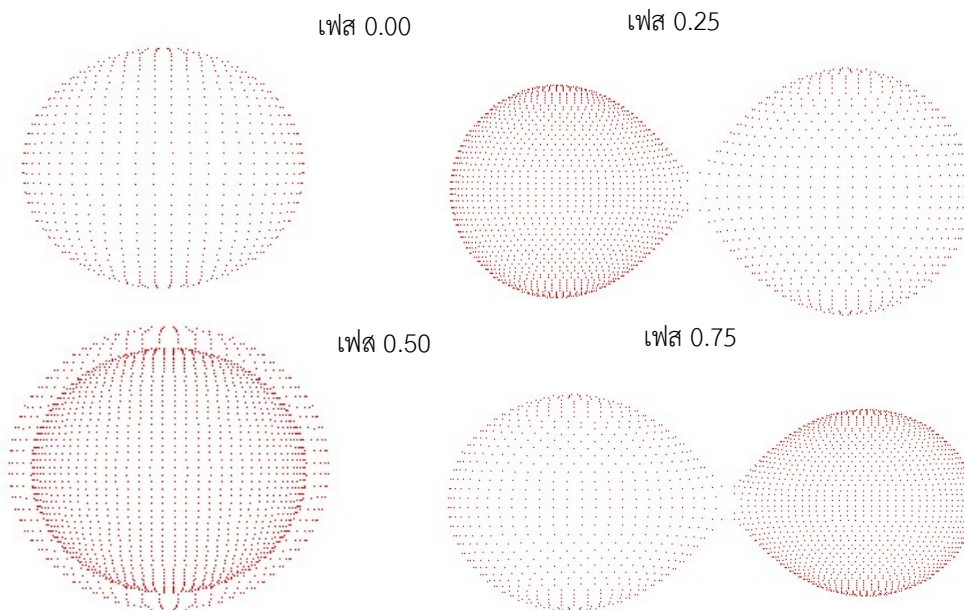
อาทิตย์ ตามลำดับ  $R_1$  และ  $R_2$  คือรัศมีของดาวปฐุมภูมิและดาวพฤหัสบดีในหน่วยรัศมีของดวงอาทิตย์ ตามลำดับ และ  $P$  คือคาบการโคจรของระบบดาวคู่ในหน่วยวัน จากผลการคำนวณในงานวิจัยของ Panpiboon และคณะ ในปี ค.ศ. 2016 พบว่า คาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะวันตก วิ 1799 โอโรอนิส มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2903039 วัน (Panpiboon et al., 2016) โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Khruslove ในปี ค.ศ. 2006 และเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 2 พร้อมทั้งแทนค่าของสมบัติทางกายภาพจากตารางที่ 3 ทั้งนี้จะสามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบตะวันตก วิ 1799 โอโรอนิส ได้  $dP/dt = 1.9 \times 10^{-8}$  วันต่อปี

การหาอัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่แบบตะวันตกสามารถพิจารณาจากค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบดาวคู่ โดยพิจารณาภายใต้เงื่อนไขการอนุรักษ์และไม่มีการสูญเสียมวลสารออกจากระบบดาวคู่ (บุญรักษา, 2550) เมื่อพิจารณาอัตรา

การเปลี่ยนแปลงมวลของดาวพฤหัสบดี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 (Liu et al., 2014)

$$\frac{dM_2}{dt} = \left( \frac{M_1 M_2}{3P(M_2 - M_1)} \right) \frac{dP}{dt} \quad (3)$$

เมื่อ  $dM_2/dt$  คืออัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่แบบตะวันตกในหน่วยมวลของดวงอาทิตย์ต่อปี  $M_1$  และ  $M_2$  คือมวลของดาวปฐุมภูมิและดาวพฤหัสบดีในหน่วยมวลของดวงอาทิตย์ตามลำดับ  $P$  คือคาบการโคจรของระบบดาวคู่ในหน่วยวัน และ  $dP/dt$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะวันตก วิ 1799 โอโรอนิส ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2 ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ามีค่าเท่ากับ  $1.9 \times 10^{-8}$  วันต่อปี เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 3 พร้อมทั้งค่าสมบัติทางกายภาพจากตารางที่ 3 จะได้อัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะวันตก วิ 1799 โอโรอนิส  $dM_2/dt = 4.9 \times 10^{-8}$  เท่าของมวลดวงอาทิตย์ต่อปี



รูปที่ 6 แบบจำลองโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะวันตก วิ 1799 โอโรอนิส

### วิจารณ์ผลการวิจัย

จากรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 เมื่อพิจารณารูปแสงจากการสังเกตการณ์ (จุดสีน้ำเงิน) เปรียบเทียบกับเส้นกราฟที่ได้จากการทำนายผลด้วยโปรแกรม PHOEBE (เส้นสีแดง) พบว่ากราฟแสงจากการสังเกตการณ์มีลักษณะไม่สมมาตร (asymmetry) กล่าวคือกราฟแสงในช่วง Max I (ค่าเฟสของวงโคจร เท่ากับ 0.25) ไม่เท่ากับ Max II (ค่าเฟสของวงโคจร เท่ากับ 0.75) โดยที่

ค่าความสว่างในช่วง Max I มีค่าความสว่างมากกว่าในช่วง Max II ( $\text{Max I} > \text{Max II}$ ) ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์โอคอนเนล (O'Connell effect) (O'Connell, 1951) โดยอาจเกิดจากการถ่ายเทมวลของดาวสมาชิกในระบบดาวคู่จนเกิดเป็นจุดร้อน (hot spot) (อัจฉรา, 2551; รณกฤต, 2558) นั่นคือ การถ่ายเทมวลจากสมาชิกของระบบดาวคู่ดวงที่ร้อนกว่า ( $T_1 = 5000.00$  เคลวิน) สู่มวลดาวที่เย็นกว่า ( $T_2 = 4849.58$  เคลวิน) อาจก่อให้เกิดจุด

ร้อนบนพื้นผิวของสมาชิกที่เย็นกว่าได้ (บุญรักษา, 2550) จากการวิเคราะห์ของ Liu และคณะในปี ค.ศ. 2014 ก็พบกราฟแสงในลักษณะเช่นนี้ (รูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5) โดยได้อธิบายว่าลักษณะของกราฟแสงเช่นนี้เกิดจากปรากฏการณ์โอคอนเนล เขาจึงได้วิเคราะห์จนกระทั่งพบว่า เป็นเพราะจุดบนดาวสมาชิกของระบบดาวคู่ และเมื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพพบว่าจุดดังกล่าวนี้เป็นจุดร้อนบนดาวฤกษ์ (hot spot on star 2) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส ในงานวิจัยครั้งนี้

เมื่อพิจารณารูปที่ 6 แบบจำลองโครงสร้างและการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส ซึ่งแสดงค่าสมบัติทางกายภาพในตารางที่ 3 พบว่าดาวปฐมภูมิมีขนาด ( $R_1 = 0.738743 R_\odot$ ) เล็กกว่าขนาดของดาวทุติยภูมิ ( $R_2 = 0.855276 R_\odot$ ) ค่าความสว่างของดาวปฐมภูมียังมีมากกว่าดาวทุติยภูมิสังเกตค่าแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวปฐมภูมิ ( $M_{bol1} = 5.886330$ ) และค่าแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวทุติยภูมิ ( $M_{bol2} = 6.072112$ ) และยังพบว่าศักย์พื้นผิวด้านใน ( $\Omega_{in} = 4.340638$ ) และศักย์พื้นผิวด้านนอก ( $\Omega_{out} = 3.769773$ ) มีค่าแตกต่างกันซึ่งอาจเกิดจากการถ่ายเทมวลจากดาวปฐมภูมิไปยังดาวทุติยภูมิทำให้ศักย์พื้นผิวของดาวทั้งสองดวงมีค่าที่แตกต่างกัน (บุญรักษา, 2550)

จากผลการคำนวณในสมการที่ 1 ร้อยละของคาบการตะกั้นระหว่างดาวทั้งสองดวงมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.146 มีค่าเพิ่มขึ้นจากผลการคำนวณของ Liu และคณะในปี ค.ศ. 2014 คือร้อยละ 3.5 ส่งผลให้คาบการโคจรของดาวทั้งสองดวงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.2903039 วัน (Panpi boon et al., 2016) จากการศึกษาวิจัยระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดหลายประเภทของ บุญรักษา (2550) ให้ข้อสรุปว่า การเพิ่มขึ้นของคาบอาจเป็นผลเนื่องจากความดันของสนามแม่เหล็กของดาวฤกษ์ที่เป็นสมาชิกในระบบดาวคู่ งานวิจัยของศิริมาศ (2546) กล่าวถึงมุมมองจากทฤษฎีการสั่นโดยการผ่อนคลายความร้อน (Thermal Relaxation Oscillation, TRO) ไว้ว่า ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่ที่มีค่าคงที่ จะพบว่าระยะทางระหว่างดาวทั้งสองดวงจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้คาบการโคจรของดาวสมาชิกทั้งสองดวงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยระยะทางระหว่างดาวสมาชิกทั้งสองดวงจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนดาวสมาชิกทั้งสองดวงแยกออกจากกัน นอกจากนี้ผลการคำนวณในสมการที่ 2 ยังพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของ

ระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส ที่คำนวณได้เพิ่มขึ้นเป็น  $1.9 \times 10^{-8}$  วันต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ Liu และคณะในปี ค.ศ. 2014 คือ  $1.8 \times 10^{-8}$  วันต่อปี และยังพบว่าอัตราการถ่ายเทมวลที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าที่คำนวณโดย Liu et al. (2014) คือ  $1.4 \times 10^{-8}$  เท่าของมวลดวงอาทิตย์ต่อปี เป็น  $4.9 \times 10^{-8}$  เท่าของมวลดวงอาทิตย์ต่อปี ทั้งนี้ Liu และคณะในปี ค.ศ. 2014 ได้คำนวณอัตราส่วนมวลมีค่าเท่ากับ 1.335 ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังได้ผลการคำนวณที่มีค่ามากกว่า คือ 1.377 แสดงว่าระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส ยังคงมีการถ่ายเทมวลจากดาวปฐมภูมิไปยังดาวทุติยภูมิทำให้ค่าอัตราส่วนมวลมีค่าเพิ่มขึ้น

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโฟโตเมตริกและสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส ผลการวิเคราะห์กราฟแสงและค่าสมบัติทางกายภาพโดยใช้โปรแกรม PHOEBE พบว่า ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ

ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวทุติยภูมิ และค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร มีค่า 5000.00 เคลวิน 4849.58 เคลวิน และ 89.696 องศา ตามลำดับ กราฟแสงจากการสังเกตการณ์มีลักษณะไม่สมมาตร เนื่องด้วยค่าความสว่างในช่วง Max I มีค่าความสว่างมากกว่าในช่วง Max II ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์โอคอนเนล นั่นคือระบบดาวคู่มีการถ่ายเทมวลจากดาวสมาชิกดวงที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสู่ดาวสมาชิกดวงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าก่อให้เกิดจุดร้อนบนพื้นผิวของดาวสมาชิกที่ดวงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ถ่ายเทมวลจากดาวปฐมภูมิไปยังดาวทุติยภูมิและเกิดจุดร้อนบนดาวทุติยภูมิ)

ผลจากการสร้างแบบจำลองการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาแบบตะกั้น วี 1799 โอโรอนิส และวิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพพบว่าดาวปฐมภูมิมีขนาดเล็กกว่าขนาดดาวทุติยภูมิ ความสว่างของดาวปฐมภูมิมากกว่าดาวทุติยภูมิ และยังพบว่า ศักย์พื้นผิวด้านในและศักย์พื้นผิวด้านนอกของดาวฤกษ์ต่างกันซึ่งเกิดจากการถ่ายเทมวลจากดาวปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังดาวทุติยภูมิที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้ค่าศักย์พื้นผิวของดาวทั้งสองดวงมีค่าที่แตกต่างกัน

เมื่อคำนวณค่าร้อยละของคาบการตะกั้นพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5.146 อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรมี



ค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $1.9 \times 10^{-8}$  วันต่อปี คาบการโคจรของระบบดาวคู่มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือระยะห่างระหว่างดาวสมาชิกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนดาวฤกษ์ทั้งสองดวงแยกออกจากกันในอนาคตหรืออธิบายได้ว่าดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส อยู่ในเวลาที่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางมวลซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสันโดยการผ่อนคลายความร้อน เมื่อวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทมวลของระบบดาวคู่พบว่ามีความเพิ่มขึ้นเป็น  $4.9 \times 10^{-8}$  เท่าของมวลดวงอาทิตย์ต่อปี และอัตราส่วนมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.377 ซึ่งทำให้ทราบว่าระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน วิ 1799 โอโรอนิส มีการถ่ายเทมวลจากดาวปฐมภูมิไปยังดาวทุติยภูมิอย่างต่อเนื่อง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้อนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูลและแนะนำเทคนิคการใช้กล้องโทรทรรศน์ 0.5 เมตร สำหรับใช้สังเกตการณ์และทำการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณนายบุญชู สุขอ่วม เจ้าหน้าที่เทคนิคดาราศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมทางด้านดาราศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้านระหว่างที่ทำการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

### เอกสารอ้างอิง

- บุญรักษา สุนทรธรรม. (2550). ดาราศาสตร์ฟิสิกส์. เชียงใหม่: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 328-377.
- มติพล ตั้งมดิธรรม. (2556). คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการ. สำนักงานบริการวิชาการและสารสนเทศทางดาราศาสตร์. ดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), สถาบันวิจัย.
- รณกฤต รัตนมาลา. (2558). การวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่เอ็กวาลิสโออนิส. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 3(ฉบับพิเศษจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ. (25)): 145 – 148.
- วัชรารุณี หน่อแก้ว. (2548). สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบแตกต่างกัน อี เอช แคนครี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

- วิระภรณ์ ไหมทอง. (2547). โครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แบบแตกต่างกัน วิ 532 แคส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- ศิริมาศ โกมลจินดา. (2546). โครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แบบแตกต่างกัน อาร์ แซต ทอรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัจฉรา ธีรวิทยานุกูล. (2551). การเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด บีแซต อีริดาเนีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- Harmanec, P. (1988). Bull. Astron. Inst. Czechosl. p 39-329.
- Khruslove, A. V. (2006). Information Bulletin on Variable Stars. 5699: 1.
- Lucy, L. B. (1967). Z. Astro. phy. p 65-89.
- Liu, N. P. Qian, S. B., Liao, W. P., He, J. J., Zhao, E. G., and Liu, L. (2014). Photometric investigation of the K-type extreme-shallow contact binary V1799 Orion. Research in Astronomy and Astrophysics 14: 1157-1165.
- O' Connell, D. J. K. (1951). PRCO. 2 p 850.
- Panpiboon, P. Lakhom, R. and Choawunklang, W. (2016). Period Change of Binary System V1799 Orionis. In Siam physics congress 2016: 92-96.
- Prša, A., and Harmanec, P. (2010). Phoebe manual. Philadelphia: Villanova University Department of Astronomy and Astrophysics.
- Rucinski, S. M. (1969). Acta. Astron. p 19-156.
- Samec, R. G., Melton, R. A., Figg, E. R., et al. (2010). The Observatory. 130: 364.
- Stephen, F. A. (SFA). (2015). แปลงค่าวันจูเลียน (Julian Date) เป็นค่าวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (Heliocentric Julian Date), Austin State University. แหล่งข้อมูล: <http://www.physics.sfasu.edu/astro/binstar/Heliocentric.JulianDay.zip>. ค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2559.
- Strasbourg Astronomical Data Center. (2015). ข้อมูลเบื้องต้นของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตกต่างกัน V1799 Orionis. แหล่งข้อมูล: [http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?ident=V\\*+V1799+Ori](http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?ident=V*+V1799+Ori). ค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2559.
- Van Hamme, W. (1993). Aj. p 106-2096.