การศึกษาสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ ε CrA ด้วยกล้องโทรทรรศน์หักเหแสงขนาดเล็กร่วมกับกล้องดีเอสแอลอาร์

Study of Physical Properties of the Binary Star System ε CrA Using a Small Refractor Telescope with a DSLR Camera

ณัฐพงษ์ วิรุณพันธ์[1*] และ วรวัฒน์ พรหมเด่น[1]
Nuttapong Wirunphan[1] and Worrawat Promden[1]
[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
[*] NuT19721@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ ε CrA ด้วยกล้องโทรทรรศน์หักเหแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ร่วมกับกล้องดีเอสแอลอาร์ (DSLR) ประมวลผลภาพถ่ายแสงของดาวด้วยโปรแกรม IRIS 5.59 และประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม PHOEBE 1.0 พบว่าดาว ε CrA A มีมวล 1.870662 $M_\odot$ รัศมีดาว 2.136640 $R_\odot$ และแมกนิจูดของดาวเป็น 5.069680 ในขณะที่ดาว ε CrA B มีมวล 0.232710 $M_\odot$ รัศมีดาว 0.83794 $R_\odot$ และแมกนิจูดของดาวเป็น 2.639203 ข้อมูลทางกายภาพและกราฟแสงของระบบดาวคู่ ε CrA ที่ได้สอดคล้องกับสมบัติของระบบดาวคู่แบบสัมผัสกันประเภทดาวคู่อุปราคาดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส

คำสำคัญ: ระบบดาวคู่, ดาวเอปไซลอนของกลุ่มดาวมงกุฎใต้ (ε CrA), กล้องดีเอสแอลอาร์

Abstract

A study of physical properties of Binary star system ε CrA was performed using a 80 mm refractor telescope with DSLR camera. Data analysis was conducted using IRIS 5.59 and PHOEBE 1.0 . The results showed that the physical parameters for ε CrA A and B are stellar masses, M_1 = 1.870662 $M_\odot$ and M_2 = 0.232710 $M_\odot$; stellar radii, R_1 =2.136640 $R_\odot$ and R_2 =0.83794 $R_\odot$; magnitude, m_1 = 5.069680 and m_2 = 2.639203 . The physical parameters and a light curve of ε CrA correspond to a contact binary star system that has the defining characteristics of a W UMa-type eclipsing binary.

Keywords: Binary star system, ε Coronae Australis (ε CrA), DSLR camera

บทนำ

ระบบดาวคู่อุปราคา (eclipsing binaries) เป็นระบบดาวที่มีดาวฤกษ์สองดวงโคจรรอบกัน สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงความสว่างในขณะที่ดาวทั้งสองดวงบดบังกัน เรียกว่าการเกิดอุปราคา (eclipse) เมื่อสังเกตและติดตามความสว่างของแสงดาวในระยะเวลาหนึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงของความสว่างสองระดับ โดยการลดลงของแสงในปริมาณที่มากที่สุดเนื่องจากดาวที่มีความสว่างมากกว่าถูกบดบังด้วยดาวที่มีความสว่างน้อยกว่า เรียกว่า อุปราคาปฐมภูมิ (primary eclipse) ในทางกลับกันเมื่อดาวที่มีความสว่างมากกว่าโคจรมาอยู่ข้างหน้าจะมีการลดลงของความสว่างในปริมาณที่น้อยกว่าอุปราคาปฐมภูมิ เรียกว่าอุปราคาทุติยภูมิ (secondary eclipse) โดยสามารถจำแนกระบบดาวคู่อุปราคาได้เป็น 3 ประเภทคือ อัลกอล (Algol) บีตา ไรรี (Beta Lyrae) และ ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ (W Ursae Majoris)

ดาวเอปไซลอนของกลุ่มดาวมงกุฎใต้ (Epsilon Coronae Australis, ε CrA ; HR 7152, HD 175813) เป็นดาวที่สว่างที่สุดในกลุ่มดาวแปรแสงชนิดดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส (W Ursae Majoris variable) หรือ ดาวคู่สัมผัสกันมวลน้อย (low mass contact binary) มีความสว่างปรากฏ (apparent magnitude) 4.73 และจัดเป็นดาวคู่แปรแสงอุปราคา (eclipsing binary variable star) มีคาบการโคจร (period) 0.59143357 วัน หรือ 14.194 ชั่วโมง (Shobbrook & Zola, 2006; Wilson & Raichur, 2011) มีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ 97 ปีแสง (Eker, Bilir, Yaz Gökçe, Demircan, & Helvaci, 2008) มีอายุ 2.83 ± 0.28 พันล้านปี (Yıldız, 2014) การศึกษาทาง spectroscopic orbit มีการพบองค์ประกอบของวงโคจร (orbital elements) คือ K_1=34.5 km/s K_2=266.9 km/s และ γ=57.9 km/s (Goecking & Duerbeck, 1993)

ในการศึกษาดาวคู่อุปราคาจะมีการเก็บข้อมูลการแปรแสงของดาว ซึ่งเป็นข้อมูลอย่างง่ายและสามารถใช้อุปกรณ์ทางดาราศาสตร์พื้นฐานได้ การวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก 80 มิลลิเมตร และกล้องถ่ายภาพดีเอสแอลอาร์ (DSLR) ที่มีตัวรับสัญญาณภาพแบบ CMOS ในการเก็บบันทึกข้อมูลการแปรแสงของดาวคู่ ε CrA และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดาวคู่เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กและกล้องถ่ายภาพดีเอสแอลอาร์ในการบันทึกการแปรแสงของดาว เพื่อหาแนวทางการประยุกต์ใช้ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลทางดาราศาสตร์อย่างง่ายเพื่อการจัดการเรียนการสอนดาราศาสตร์สำหรับนักเรียนและนักศึกษา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กและกล้องถ่ายภาพดีเอสแอลอาร์ในการบันทึกการแปรแสงของดาว

2. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดาวคู่ ε CrA เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

3. เพื่อหาแนวทางการประยุกต์ใช้ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลทางดาราศาสตร์อย่างง่ายเพื่อการจัดการเรียนการสอนดาราศาสตร์สำหรับนักเรียนและนักศึกษา

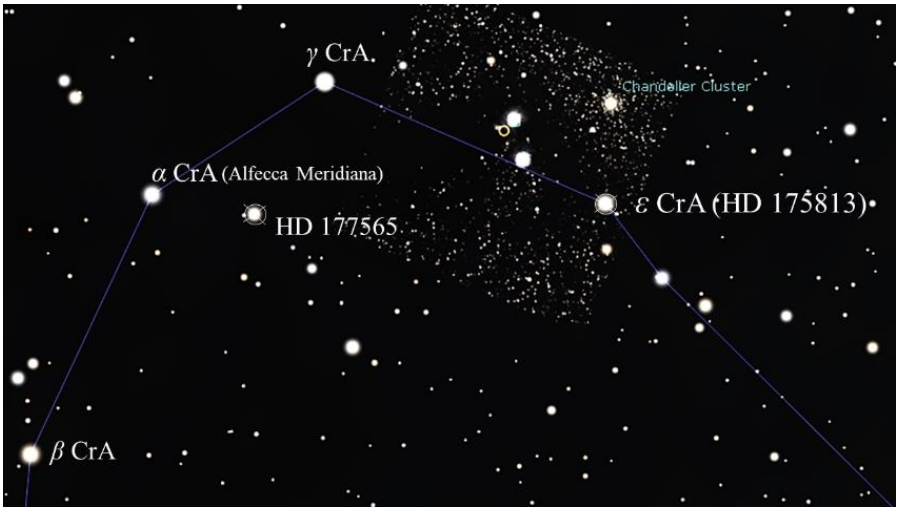
วิธีดำเนินการวิจัย

การคัดเลือกดาวที่จะศึกษา

สืบค้นข้อมูลดวงดาวจาก CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg) เว็บไซต์ http://cds.u-strasbg.fr/ เพื่อหาดาวที่มีแมกนิจูดเหมาะสมสำหรับการสังเกตผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาด 80 มิลลิเมตร และมีคาบไม่ยาวนานเกินไป มีการขึ้น-ตกของดาวในทิศและช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับผู้สังเกต งานวิจัยนี้ได้เลือกระบบดาวคู่เอปไซลอนของกลุ่มดาวมงกุฎใต้ (Epsilon Coronae Australis , ε CrA, HD 175813) และดาวอ้างอิง (reference star) คือดาว HD 177565

การบันทึกภาพการแปรแสงของดาว

ทำการถ่ายภาพดาวคู่ ε CrA ในกลุ่มดาวดาวมงกุฎใต้ (RA: 18h 58m 43.37714s, DEC: −37° 06′ 26.4865″) ให้ปรากฏบนเฟรมเดียวกับดาวอ้างอิง HD 177565 (RA: 19h 06m 52.46471s, DEC: −37° 48′ 52.46471″) ในระหว่างวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2560 (ระยะเวลา 74 วัน) โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสง รุ่น Orion ED80 ; Optical diameter 80mm (Extra low dispersion FPL-53); Focal length 600 mm; Focal ratio f/7.5 และบันทึกภาพด้วยกล้องดีเอสแอลอาร์ (DSLR) รุ่น Nikon D3400 เซ็นเซอร์ภาพแบบ Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) ขนาดเซ็นเซอร์ 23.5 mm x 15.6 mm ตั้งค่า International Organization for Standardization (ISO) 800 ; Shutter Speed 1/40 sec สถานที่สังเกตคือ อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ประเทศไทย



รูปที่ 1 ดาวคู่ ε CrA ในการศึกษา และดาว HD 177565 ซึ่งใช้เป็นดาวอ้างอิง
(**ที่มา:** Stellarium 0.14.3 : 2560)

การประมวลผลภาพถ่าย

นำภาพถ่ายดาวคู่ ε CrA ที่บันทึกได้ตลอดระยะเวลา 74 วัน จำนวนทั้งสิ้น 1005 ภาพ ประมวลผลด้วยโปรแกรม IRIS (version 5.59) ด้วยคำสั่ง Aperture Photometry ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณค่า Intensity ของดาว ε CrA (I_1) และดาวอ้างอิง HD 177565 (I_2) ของแต่ละภาพ จากค่า Intensity ของดาวทั้งสอง สามารถคำนวณหาค่าแมกนิจูด (magnitude) ของ ε CrA (m_1) ได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \frac{I_1}{I_2} \qquad (1)$$

กำหนดให้

m_1 คือ แมกนิจูดของดาว ε CrA

m_2 คือ แมกนิจูดของดาวอ้างอิง HD 177565 มีค่า 6.15

I_1 คือ Intensity ของดาว ε CrA

I_2 คือ Intensity ของดาวอ้างอิง HD 177565

จากค่าแมกนิจูดของ ε CrA (m_1) ที่ได้ จะสามารถใช้คำนวณหาฟลักซ์ (Flux, f) ของแสงดาว ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณแสงต่อพื้นที่ต่อเวลาของแสงดาวคู่ ε CrA ของแต่ละภาพ ได้โดยใช้สมการที่ (2) ดังนี้

$$f = 10^{-m_1/2.5} \qquad (2)$$

แปลงค่าฟลักซ์ของแสงดาวแต่ละค่าให้เป็นค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ (normalized flux) และป้อนค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ลงในโปรแกรม PHOEBE 1.0 (PHysics Of Eclipsing BinariEs) (Zwitter, 2005) พร้อมกับป้อนค่าพารามิเตอร์ (input parameter) ของระบบดาวคู่ ε CrA ที่มีรายงานก่อนหน้านี้ (Wilson & Raichur, 2011) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบดาวคู่ ε CrA[a] ที่ใช้ป้อนลงในโปรแกรม PHOEBE 1.0

Ephemeris	
HJD_0 (Time of eclipse minimum)	2442296.95907
Period (Day)	0.59143357
System	
SMA (Semi-major axis in solar radii)	3.795
RM (Mass ratio)	0.1244
INCL (Inclination in degrees)	73.05
Component	
TAVH (Primary star effective temperature in K)	6481
TAVC (Secondary star effective temperature in K)	5939
PHSV (Primary star surface potential)	3.15362
PCSV (Secondary star surface potential)	1.76032

[a] (Wilson & Raichur, 2011)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแสงดาวของระบบดาวคู่ ε CrA ผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาด 80 มิลลิเมตร และใช้เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS ของกล้องดีเอสแอลอาร์ ประมวลผลภาพถ่ายการแปรแสงดาวด้วยเทคนิคโฟโตเมตรี (Photometry) โดยใช้โปรแกรม IRIS (version 5.59) ใช้ค่าฟลักซ์ของแสงดาวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PHOEBE 1.0 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่ ε CrA ได้ผลดังตารางที่ 2 และเปรียบเทียบผลที่ได้กับรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่าการใช้อุปกรณ์อย่างง่ายร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถหาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ ε CrA A และ B ได้แก่ ศักย์ที่ผิวดาว (Ω_1 = 2.031636 และ Ω_2 = 1.950860) มวลของดาว (M_1 = 1.870662 $M_\odot$ และ M_2 = 0.232710 $M_\odot$) และรัศมีของดาว (R_1 = 2.136640 $R_\odot$ และ R_2 = 0.83794 $R_\odot$) ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่มีการ

รายงานมาก่อนนี้ (Shobbrook & Zola, 2006; Wilson & Raichur, 2011) ในขณะที่ค่าโบโลเมตริกแมกนิจูดของดาว ε CrA A และ B ในการศึกษาครั้งนี้ได้เป็น 5.069680 และ 2.639203 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า ε CrA B มีความสว่างมากกว่า ε CrA A

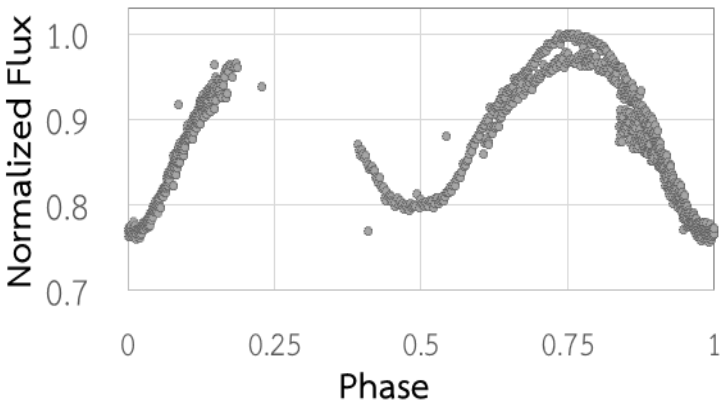
ตารางที่ 2 ข้อมูลทางกายภาพของระบบดาวคู่ ε CrA จากการทดลองและเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

ค่าสมบัติทางกายภาพ	ระบบดาวคู่ ε CrA	ผลจากการทดลองนี้	ข้อมูลอ้างอิง
ศักย์ที่ผิวดาว	A (Ω_1)	2.031636	2.0113 ± 0.0033[a]
(surface potential, Ω)	B (Ω_2)	1.950860	N.D.
มวลของดาว (mass, $M_\odot$)	A (M_1)	1.870662	1.9[a] , 1.74±0.06[b], 1.76[c]
	B (M_2)	0.232710	0.24[a], 0.21±0.02[b], 0.20[c]
รัศมีของดาว (radius, $R_\odot$)	A (R_1)	2.136640	2.14±0.03[b], 2.20[c]
	B (R_2)	0.83794	0.86±0.03[b], 0.79[c]
โบโลเมตริกแมกนิจูดของดาว	A	5.069680	N.D.
(Bolometric magnitude, M_{bol})	B	2.639203	N.D.
ความสว่างที่ผิวดาว	A	1.54661	N.D.
(*mag*/arcsecond^2)	B	0.798367	N.D.

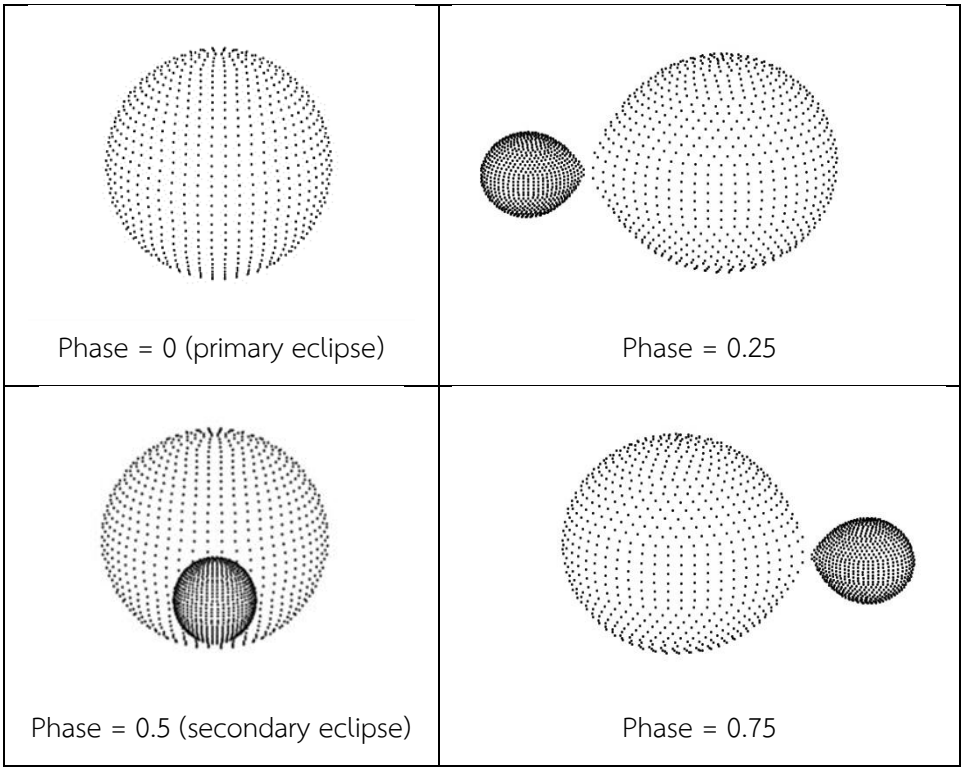
N.D., No data, [a] (Wilson & Raichur, 2011), [b] (Shobbrook & Zola, 2006), [c] (Maceroni & van't Veer, 1996)

กราฟแสง (light curve) (รูปที่ 2) ที่ได้จากโปรแกรม PHOEBE 1.0 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์และเฟส (phase) กราฟที่ได้พบลักษณะการแปรแสง และสามารถจำลองลักษณะการโคจรรอบกันของระบบดาวคู่ ε CrA ซึ่งประกอบด้วย ε CrA A และ B (รูปที่ 3) จากกราฟแสงจะพบว่าตำแหน่งเฟสที่ 0 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์มีค่าลดต่ำลงที่สุด แสดงถึงดาวสมาชิกดวงที่สว่างน้อยกว่า (ε CrA A) โคจรมาบดบังดาวสมาชิกดวงที่สว่างน้อยกว่า (ε CrA B) ซึ่งจัดเป็นอุปราคาปฐมภูมิ (primary eclipse) ในขณะที่ตำแหน่งเฟสที่ 0.5 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์มีค่าต่ำ แสดงถึงดาวสมาชิกดวงที่สว่างมากกว่า (ε CrA B) โคจรมาอยู่หน้าดาวสมาชิกดวงที่สว่างน้อยกว่า (ε CrA A) ซึ่งเรียกว่าอุปราคาทุติยภูมิ (secondary eclipse) นอกจากนี้สังเกตพบลักษณะของกราฟแสงที่มีขนาดความลึกของอุปราคาปฐมภูมิและอุปราคาทุติยภูมิที่ใกล้เคียงกัน บ่งบอกว่าสมาชิกทั้งสองดวงมีวัฒนาการจนเต็มผิวห่อหุ้ม

โรช (Roche lobe) ทำให้บรรยากาศของดาวสมาชิกทั้งสองดวงสัมผัสกันและมีการใช้บรรยากาศร่วมกัน ทำให้ผลการสังเกตจึงปรากฏเสมือนว่าสมาชิกทั้งสองดวงมีความสว่างใกล้เคียงกัน ระบบดาวคู่นี้จึงจัดเป็นระบบดาวคู่ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอริส (W Ursae Majoris) หรือระบบดาวคู่แบบสัมผัสกัน (contact binary system) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่มีรายงานว่าระบบดาวคู่ ε CrA เป็นระบบดาวคู่สัมผัสกันมวลน้อย (low mass contact binary) ซึ่งหมายถึงระบบดาวคู่ที่มีมวล M_1 น้อยกว่า 2.5 $M_\odot$ (Qian, 2001; Vilhu, 1981) ระบบดาวคู่ ε CrA จัดเป็นดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ ประเภทย่อย A (A-type W UMa binary) ซึ่งเป็นลักษณะของระบบดาวคู่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าดวงอาทิตย์(ประมาณ 5800 K) (spectral type A - F) มีคาบการโคจรในช่วง 0.4 - 0.8 วันโดยดาวดวงที่สว่างกว่าซึ่งถูกบดบังในช่วงการเกิดอุปราคาปฐมภูมิ นั้นมีขนาดเล็กและมีมวลน้อยกว่าสมาชิกอีกดวง สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิของ ε CrA A และ B มีค่า 6481 K และ 5939 K ตามลำดับ (spectral type F) (Wilson & Raichur, 2011) มีคาบการโคจรรอบกัน 0.59143 วัน (Shobbrook & Zola, 2006; Wilson & Raichur, 2011) มีโบโลเมตริกแมกนิจูดของ ε CrA A และ B มีค่า 5.069680 และ 2.639203 รัศมีของ ε CrA A และ B มีค่า 2.136640 และ 0.83794 ตามลำดับ



รูปที่ 2 กราฟแสงของ ε CrA จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PHOEBE 1.0



รูปที่ 3 แบบจำลองการโคจรรอบกันของระบบดาวคู่ ε CrA

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้พบว่าสามารถใช้กล้องโทรทรรศน์หักเหแสงขนาดเล็กร่วมกับกล้องถ่ายภาพดีเอสแอลอาร์ในการเก็บบันทึกภาพแสงดาวและประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ตามทฤษฎีหรือตามที่มีรายงานมาก่อน งานวิจัยนี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับการเก็บข้อมูลทางดาราศาสตร์ เพื่อให้สามารถจัดการเรียนการสอนดาราศาสตร์ในสถานศึกษาภายใต้เงื่อนไขทรัพยากรที่จำกัด และเป็นการฝึกทักษะทางวิทยาศาสตร์ให้แก่นักเรียนหรือนักศึกษาที่มีความสนใจดาราศาสตร์ให้สามารถเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่ายได้

เอกสารอ้างอิง

Eker, Z., Bilir, S., Yaz Gökçe, E., Demircan, O., & Helvaci, M. (2008). ***New absolute magnitude calibrations for W Ursa Majoris type binaries***.

Goecking, K.-D., & Duerbeck, H. W. (1993). **The spectroscopic orbit of epsilon Coronae Austrinae: an evolved W Ursae Majoris system**. *Astronomy and Astrophysics, 28*(2), 463-466.

Kitchin, C. R., & Forrest, R. W. (1998). ***Seeing Stars The Night Sky Through Small Telescopes***: Springer London.

Maceroni, C., & van't Veer, F. (1996). **The properties of W Ursae Majoris contact binaries: new results and old problems.** ***Astronomy and Astrophysics****, 311*, 523-531.

Qian, S. (2001). **Orbital period changes of contact binary systems: direct evidence for thermal relaxation oscillation theory**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328*(3), 914-924.

Shobbrook, R. R., & Zola, S. (2006). **Photometric Studies of Bright Southern Binary Systems: ε Cra and ψ Ori. In À. Giménez, E. Guinan, P. Niarchos & S. Rucinski (Eds.),** ***Close Binaries in the 21st Century: New Opportunities and Challenges*** (pp. 41-43). Dordrecht: Springer Netherlands.

Vilhu, O. (1981). **Problems of low-mass binary evolution**. *Astrophysics and Space Science, 78*(2), 401-418.

Wilson, R. E., & Raichur, H. (2011). **Distance and temperature from absolute light curves of three eclipsing binaries**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 415*(1), 596-604.

Yıldız, M. (2014). **Origin of W UMa-type contact binaries - age and orbital evolution**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 437*(1), 185–194.

Zwitter, A. P. a. T. (2005). **A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives**. *The Astrophysical Journal, 628*(1), 426.