



โครงการวิทยาศาสตร์
เรื่อง การศึกษาคาบการแปรแสงและวัตถุที่สามของดาวคู่ NY Virginis
(Study of Period Changing and Third Body of NY Virginis)

โดย

นายพงศ์กฤต	คชาปัญญา
นายศิววิชญ์	คงปัญญา
นายชญานนท์	จันทร์ขำ

โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง

รายงานนี้เป็นส่วนประกอบของการนำเสนอโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์
เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของ สพฐ. ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาขาฟิสิกส์
ในการประชุมวิชาการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 13
วันที่ 6 - 7 กันยายน 2564
ณ โรงเรียนส่วนบุญโญปถัมภ์ ลำพูน



โครงการวิทยาศาสตร์

เรื่อง การศึกษาคาบการแปรแสงและวัตถุที่สามของดาวคู่ NY Virginis (Study of Period Changing and Third Body of NY Virginis)

โดย

นายพงศ์กฤต	คชาปัญญา
นายศิววิษญ์	คงปัญญา
นายชญานนท์	จันทร์ขำ

ครูที่ปรึกษา

คุณครูอ้อมฤทัย ใจอินทร์ และคุณครูศิวดล กุลฤทธิกร

ที่ปรึกษาพิเศษ

อาจารย์คมสันต์ ฐรี และอาจารย์ประณิตา เสพปันคำ

รายงานนี้เป็นส่วนประกอบของการนำเสนอโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์
เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของ สพฐ. ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาขาฟิสิกส์
ในการประชุมวิชาการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 13

วันที่ 6 - 7 กันยายน 2564

ณ โรงเรียนสวนบุญญูปถัมภ์ ลำพูน

ชื่อโครงการ	การศึกษาคาบการแปรแสงและวัตถุที่สามของระบบดาวคู่ NY Virginis The Study of Period Changing and Third Body of NY Virginis	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ผู้จัดทำโครงการ	นายพงศ์กฤต	คชาปัญญา
	นายศิววิชัย	คงปัญญา
	นายชญานนท์	จันทร์ขำ
โรงเรียน	บุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง	
ครูที่ปรึกษา	คุณครูอ้อมฤทัย ใจอินทร์ และคุณครูศิวดล กุลฤทธิกร	
ครูที่ปรึกษาพิเศษ	อาจารย์คมสันต์ จูรี และอาจารย์ประณิตา เสพปันคำ	
ปีการศึกษา	1/2564	

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร องค์ประกอบทางกายภาพ และวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ NY Virginis ซึ่งเป็นดาวแปรแสงประเภท Pulsating Subdwarf B-TYPE (sdB-TYPE) โดยดำเนินการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ประเภทสะท้อนแสงขนาด 1.0 เมตร ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจำนวน 2 ค่า คือ ขณะเกิดอุปราคาปฐมภูมิและอุปราคาทุติยภูมิ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการ Linear Ephemeris มีค่าเท่ากับ $BJD(min) = 245317.442647 + 0.10101597E$ แล้วนำข้อมูลเวลา (Epoch) และ $BJD(min)$ สร้าง O-C Diagram โดยใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method พบว่า การแปรแสงของดาวแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 8.32490×10^{-14} วันต่อรอบ และคาบวงโคจร เท่ากับ 0.10101597 วัน และนำ O-C ที่ได้ไปวิเคราะห์ Fourier Series Function เพื่อหาคาบของระบบดาวคู่ พบว่ามี Semi-Amplitude เท่ากับ 0.0001088734 วัน และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ NY Virginis ด้วยโปรแกรม Phoebe 0.31a พบว่า ชุดผลเฉลยที่ดีที่สุด (Best-Fit Parameter) มีค่ามวลของดาวปฐมภูมิ (M_1) และมวลของดาวทุติยภูมิ (M_2) เท่ากับ $0.406841 M_\odot$ และ $0.114729 M_\odot$ ตามลำดับ โดยอัตราส่วนมวลทุติยภูมิกับมวลปฐมภูมิ เท่ากับ 1 : 3.5461 ระบบดาวคู่เอียงทำมุม 80.946° และมวลของวัตถุที่สามเท่ากับ $1.876 M_J$ ในรูป $M_3 \sin(i)$ แล้วนำข้อมูลค่าผลเฉลยสร้างเป็นแบบจำลองของดาวคู่ด้วยโปรแกรม Phoebe 0.31a พบว่า แบบจำลองระบบดาวคู่ NY Virginis เป็นระบบดาวคู่ที่ไม่แตะกัน (Detached Binary) และไม่มีการถ่ายเทมวลจากวัตถุที่สาม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความกรุณาจากคุณครูอ้อมฤทัย ใจอินทร์ และคุณครูศิวดล กุลฤทธิกร ครูที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์คมสันต์ ฐรี และอาจารย์ประณิตา เสพปันคำ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ให้คำปรึกษา ในเรื่องดาราศาสตร์ต่าง ๆ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีจนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาคาบการแปรแสงของ ดาวแปรแสงของผู้สนใจต่อไป

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
- ที่มาและความสำคัญ	1
- วัตถุประสงค์	1
- สมมติฐาน	1
- ตัวแปร	1
- นิยามศัพท์เฉพาะ	2
- ขอบเขตของการดำเนินงาน	2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	8
- วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ	8
- ขั้นตอนการดำเนินงาน	8
- การวิเคราะห์ข้อมูล	8
บทที่ 4 ผลการทดลอง	9
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	12
- อภิปรายผลการศึกษา	12
- สรุปผลการศึกษา	13
- ข้อเสนอแนะ	13
เอกสารอ้างอิง	14
ภาคผนวก	15

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1.1 The NY Virginis Planetary System	4
ตารางที่ 4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของดาวตรวจสอบและดาวเปรียบเทียบ	9
ตารางที่ 6.1.1 แสดงค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ($T_{\min}$) ค่าลำดับการแปรแสง (E) และค่า O-C	16

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดาวแปรแสง NY Virginis	4
ภาพที่ 2.2.1 กราฟแสงของดาวเคราะห์น้อย 201 Penelope	5
ภาพที่ 2.3.1 O-C Diagram ของ WZ And	6
ภาพที่ 2.3.2 O-C Diagram ของ R Aql	6
ภาพที่ 4.1.1 ภาพถ่ายดาวแปรแสง NY Virginis จากการสังเกตการณ์	9
ภาพที่ 4.2.1 แสดงตัวอย่างกราฟความถี่ของข้อมูลและกราฟแสง ของดาวแปรแสง NY Virginis	10
ภาพที่ 4.3.1 แผนภาพ O-C ของดาว NY Virginis	10
ภาพที่ 4.4.1 แผนภาพ Residuals O-C ₂ ของดาว NY Virginis	10
ภาพที่ 4.5.1 กราฟแสงสังเคราะห์ (Synthetic Light Curve) ที่ได้จากโปรแกรม Phoebe 0.31a	11
ภาพที่ 4.6.1 แบบจำลองรูปร่างของระบบดาวคู่ NY Virginis	11

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ระบบดาวคู่ NY Virginis เป็นดาวแปรแสงประเภท Pulsating Subdwarf B-TYPE (sdB-TYPE) ซึ่งจะมีการบดบังกันของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิทำให้เกิดช่วงเวลาที่การส่องสว่างของดาวมีการเปลี่ยนแปลง โดยระบบดาวคู่นี้มีความสว่าง (Magnitude) ประมาณ 13.30 ที่ตำแหน่ง RA (Right Ascension) : $13^h 38^m 48^s.1466489725$ และ DEC (Declination) : $-02^\circ 01' 49''.209465866$

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงต้องการที่จะศึกษาคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ NY Virginis โดยการถ่ายภาพผ่านกล้องโทรทรรศน์ ประเภทสะท้อนแสง และวิเคราะห์ความสว่างของดาว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำข้อมูลจากการสังเกตการณ์มาสร้างกราฟแสง ทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด, วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร และสร้างกราฟแสงของระบบดาวคู่
2. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ NY Virginis
3. เพื่อศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ NY Virginis ได้แก่ อัตราส่วนมวล, ค่ามุมเอียง, อุณหภูมิพื้นผิว, คาบวงโคจร และมวลของวัตถุที่สาม

สมมติฐาน

1. คาบการแปรแสงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการบดบังของระบบดาวคู่
2. วัตถุที่สามมีผลต่อองค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรต้น : เวลาที่สังเกตการณ์, การตั้งค่าการเก็บข้อมูล โดยใช้หลัก Interval Timer

ตัวแปรตาม : อัตราการแปรแสงของดาว, มวลของวัตถุที่สาม และแบบจำลองรูปร่างของดาว

ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิ CCD, ช่วงเวลาการสังเกตการณ์, ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของกล้อง, พารามิเตอร์ควบคุม, การจัดตำแหน่งของดาวในโปรแกรม Maxlm

นิยามศัพท์เฉพาะ

Right Ascension และ Declination (RA และ DEC) : พิกัดที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งบนทรงกลมฟ้า เป็นเส้นสมมติตามแนวเหนือ-ใต้ และเป็นเส้นสมมติตามแนวขนานกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า

Light Curve : เส้นโค้งแสงเป็นพล็อตของแสงที่มองเห็นได้จากดาวเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งใช้เพื่อกำหนดพฤติกรรมของดาว

CCD : อุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าจากภายในเครื่องไปยังพื้นที่ที่ประจุสามารถถูกจัดการหรือแก้ไขได้

Linear Ephemeris : สมการของค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของดาว สามารถหาค่าสมการได้โดยใช้ Least-Squares Method

ขอบเขตของการดำเนินงาน

ศึกษาโดยการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ NY Virginis โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงขนาด 1.0 เมตร ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ที่ติดตั้ง CCD (Andor 2048x2048 Pixels) และฟิลเตอร์ R I ใช้โปรแกรม AstrolImageJ และ OriginPro8.5 เพื่อวิเคราะห์ค่าความสว่างและกราฟของดาวแปรแสง โปรแกรม Period04 เพื่อวิเคราะห์ Fourier Series Function และโปรแกรม Phoebe 0.31a เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ NY Virginis

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราการแปรแสงที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระบบดาวคู่
2. ทราบการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่
3. ทราบโครงสร้างและองค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ NY Virginis ได้แก่ อัตราส่วนมวล, ค่ามุมเอียง, อุณหภูมิพื้นผิว, คาบวงโคจร, มวลของวัตถุที่สาม
4. สามารถสร้างประโยชน์ให้แก่การศึกษาเกี่ยวกับดาวแปรแสง รวมถึงการเสริมสร้างความรู้ให้แก่ผู้สนใจในการศึกษาหรือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปต่อยอดต่อไป

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การศึกษาคาบการแปรแสงของดาว NY Virginis นี้ ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยและเว็บไซต์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 NY Virginis (GSC 04966-00491)
- 2.2 Differential Photometry & Light Curve Analysis
- 2.3 O-C Diagram
- 2.4 The Third Body
- 2.5 An Updated Model for Circumbinary Planets Orbiting the sdB Binary NY Vir

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 NY Virginis (GSC 04966-00491)

NY Virginis เป็นดาวแปรแสงประเภท Binary Star ที่มีระยะทางห่างจากโลกราว ๆ 1,800 ปีแสง ดาวดวงหลักนี้เป็นประเภทที่หายากในกลุ่มดาว sdB โดยก่อนหน้านี้เป็นดาวยักษ์แดงที่ปกคลุมไปด้วยแก๊สไฮโดรเจน มีดาวข้างเคียงเป็นดาวประเภทดาวแคระแดง โดยธรรมชาติของระบบดาวคู่ NY Virginis นี้ถูกค้นพบในปี 1998 อีกทั้งยังมีคาบการโคจรที่สั้นมาก ประมาณ 0.101016 วันเท่านั้น พร้อมด้วยความสว่างของดาวที่ปรากฏเป็น Timescale ที่ 200 วินาที นั้นทำให้เกิดการศึกษาและระบุได้ว่าเป็นดาวประเภท B-Type Subdwarf ในปี 2003 (อยู่ใน Class sdB1VII:He1) ซึ่งระบบที่ไม่ใช่มาตรฐานนี้บ่งชี้ว่าเป็นการส่องสว่างที่ “ปกติ” สำหรับ Hot Subdwarf และ Spectrum นั้นถูกควบคุมโดยแก๊สไฮโดรเจนมากกว่าแก๊สฮีเลียม

ในปี 2011 ดาวเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ (Superjovian) ชื่อ NY Virginis (AB) b ที่มีวงโคจรที่กว้างนี้ถูกใช้ประโยชน์โดยการใช้วิธีการคำนวณของ Eclipse Timing และดาวอีกดวงยังเป็นที่สงสัย ต่อมาจึงได้มีการยืนยันว่ามีดาวข้างเคียงดวงที่ 2 ชื่อ NY Virginis (AB) c อยู่ และได้ปรับข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพของดาวให้เป็นปัจจุบันในปี 2019 เนื่องจากสังเกตได้ถึงความผิดปกติที่สำคัญของดาวเกิดขึ้น

The NY Virginis planetary system^{[11][6][3]}

Companion (in order from star)	Mass	Semimajor axis (AU)	Orbital period (days)	Eccentricity	Inclination	Radius
NY Virginis (AB) b	>2.7 M_J	3.3	3160	0.15	—	—
NY Virginis (AB) c	>5.5 M_J	7.54	9861.75	0.15	—	—

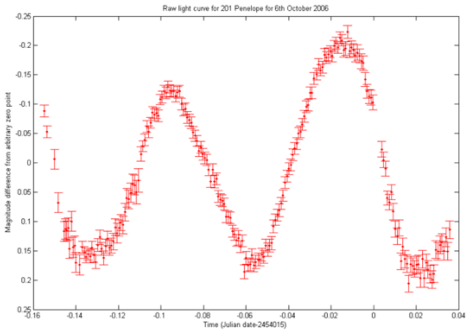
ตารางที่ 2.1.1 The NY Virginis Planetary System

NY Virginis		Details	
Observation data		NY Virginis A	
Epoch J2000	Equinox J2000	Mass	$0.459 \pm 0.005^{[5]} M_{\odot}$
Constellation	Virgo	Radius	$0.151 \pm 0.001^{[5]} R_{\odot}$
Right ascension	$13^{\text{h}} 38^{\text{m}} 48.1466^{\text{s}}(^{[1]})$	Luminosity	$23.3 \pm 1.5^{[5]} L_{\odot}$
Declination	$-02^{\circ} 01' 49.2095''(^{[1]})$	Surface gravity (log g)	$5.739 \pm 0.002^{[5]} \text{ cgs}$
Apparent magnitude (V)	13.30 - 14.22 ^[2]	Temperature	$32,740 \pm 400^{[5]} \text{ K}$
Characteristics		Rotation	2.42438 hours ^[5]
Spectral type	sdB + M5 ^[3]	NY Virginis B	
Variable type	EA + RPHS ^[2]	Mass	$0.122^{[7]} M_{\odot}$
Astrometry		Radius	$0.16^{[7]} R_{\odot}$
Radial velocity (R_v)	$-25.0^{[4]} \text{ km/s}$	Surface gravity (log g)	$5.14^{[7]} \text{ cgs}$
Proper motion (μ)	RA: $-6.112^{[4]} \text{ mas/yr}$ Dec: $-11.914^{[4]} \text{ mas/yr}$	Temperature	$3,000^{[7]} \text{ K}$
Parallax (π)	$1.8116 \pm 0.0632^{[4]} \text{ mas}$	Other designations	
Distance	$1,800 \pm 60 \text{ ly}$ (550 $\pm$ 20 pc)	Gaia DR2 3637481302758519040, GSC 04966-00491, 2MASS J13384814-0201491, PG 1336-018 ^[1]	
Absolute magnitude (M_v)	4.49 ^[5]	Database references	
Orbit ^[6]		SIMBAD data	
Primary	NY Virginis A		
Companion	NY Virginis B		
Period (P)	0.101015968166 d		
Semi-major axis (a)	0.0160 AU		
Eccentricity (e)	0.46		

ภาพที่ 2.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดาวแปรแสง NY Virginis

2.2 Differential Photometry & Light Curve Analysis

เราสามารถศึกษาการแปรเปลี่ยนของแสงได้ โดยการทำการวัดแสง ณ เวลาต่าง ๆ และนำความสว่างที่สังเกตเห็น มาพล็อตกับเวลาที่สังเกตเห็นวัตถุนั้นค่าความสว่างนั้น 1 กราฟที่เราได้นี้ เรียกว่า กราฟแสง (Light Curve)



ภาพที่ 2.4.1 กราฟแสงของดาวเคราะห์น้อย 201 Penelope

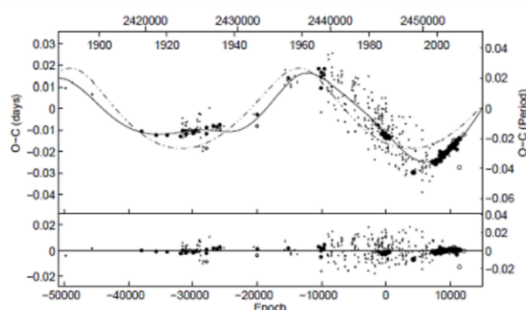
กราฟแสงเป็นกราฟที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความสว่างปรากฏของวัตถุที่สังเกต เทียบกับเวลา การสร้างกราฟแสงสามารถบอกให้เราได้ว่า วัตถุที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงลำดับความสว่างปรากฏจากเท่าใดไปเท่าใด ใช้เวลานานแค่ไหนในการแปรแสง และการแปรแสงนี้มีรูปแบบที่ซ้ำกันเป็นคาบหรือไม่ และคาบนั้นใช้เวลานานเท่าใด ขนาดของดาวฤกษ์ทั้งสองดวงต่างกันแค่ไหน ไปจนถึงมุมของระนาบวงโคจร และอุณหภูมิพื้นผิวที่แตกต่างกันของดาวฤกษ์สองดวงในระบบดาวคู่

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลทางเวลาที่บันทึกการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงจากวัตถุท้องฟ้า สำหรับดาวคู่อุปราคา จัดเป็นดาวแปรแสงที่มีกลไกการแปรแสงเกิดจากการโคจรบังกันระหว่างดาวตามแนวสังเกตจากโลก ทำให้ความสว่างปรากฏเปลี่ยนไปตามเวลาในลักษณะเป็นคาบซึ่งในเวลา 1 คาบ กราฟแสงจะแสดงค่าสว่างต่ำสุด 2 ครั้งที่มีความลึกของกราฟแสงไม่เท่ากันโดยตำแหน่งที่ค่าความสว่างปรากฏต่ำสุดจะเกิดอุปราคาปฐมภูมิ เกิดขึ้นเมื่อดาวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบังอยู่ด้านหน้าดาวที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เรียกเวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิว่า ค่าเวลาที่แสงต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary Minimum, Min I) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความสว่างปรากฏต่ำรองลงมาจะเกิดอุปราคาทุติยภูมิเกิดขึ้นเมื่อดาวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบังอยู่ด้านหน้าดาวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเรียกเวลาที่เกิดอุปราคาทุติยภูมิว่า ค่าเวลาที่แสงต่ำสุดทุติยภูมิ (Secondary Minimum, Min II) และความสว่างปรากฏจะค่อนข้างคงที่เมื่อไม่เกิดอุปราคา การคำนวณเฟสของวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคาต้องเทียบวันจูเลียนศูนย์สุริยะ ณ เวลาที่แสงของระบบดาวคู่อุปราคาน้อยที่สุด เรียกค่าเวลาดังกล่าวว่ายุค (Epoch) ของการสังเกตการณ์กับวันจูเลียนศูนย์สุริยะ ณ เวลาที่แสงน้อยที่สุดในการสังเกตการณ์ครั้งล่าสุดรวมทั้งคาบของวงโคจร

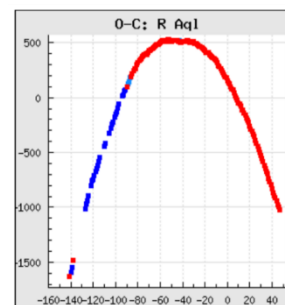
2.3 O-C Diagram

O-C Diagram เป็นการพล็อตที่แสดงให้เห็นถึง “เวลาที่ดาวดวงนั้นมีค่าความสว่างมากที่สุด (Observed Time of Maximum ; O) ลบกับการคำนวณของการคาดคะเนที่เป็นที่ยอมรับ (Calculated Ephemeris ; C)” แกนนอนของกราฟแสดงถึงเวลา (โดยปกติจะแสดงเป็นหน่วยวัน) นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จะ นิยมใช้หน่วย วันจูเลียน (Julian Date ; JD) ของการ Observe ซึ่งเป็นได้ทั้งวัฏจักรหรือขั้นตอนก็ได้ ส่วนแกนตั้ง เป็นส่วนของ O-C ซึ่งถูกตั้งให้เป็นชื่อของ Diagram สำหรับดาวที่มีคาบไม่เปลี่ยนแปลง (คาบคงที่) จุดบน O-C Diagram จะกระจายเป็นเส้นตรงใน แนวแกน X ของกราฟ ขนาดของการกระจายนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงความเที่ยงตรง Observed Time of Maximum (O) วิธีการ O-C นั้นเป็นการสมมติการใช้งานของนาฬิกาที่คงที่และเที่ยงตรง ความน่าเชื่อถือของ ข้อมูลทางดาราศาสตร์ที่ได้รับนั้นจะขึ้นกับความน่าเชื่อถือของค่า O และความไม่คงที่เหล่านั้นโดยตรง หากคาบ การแปรแสงของดาวนั้น

เป็นไปด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ซ้ำ ๆ ($P(t) = P_0 + Bt$; B มีค่าน้อย) จากนั้นการประมาณของ O-C Diagram จะเกิดขึ้นในรูปของกราฟพาราโบลา



ภาพที่ 2.6.1 O-C Diagram ของ WZ And



ภาพที่ 2.6.2 O-C Diagram ของ R Aql

สังเกตได้ว่าหากจะตีความ O-C Diagram อย่างถูกต้องนั้น จะต้องทราบจำนวนของวัฏจักร (Cycle) ที่เกิดคราสที่ได้ Observed (จุด Peak) แต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างการ Observe ปัญหาอื่นคือ หากคาบการแปรแสงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วระหว่างการ Observe ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นเป็นวงจรขณะที่เก็บข้อมูลนั้น จุดที่สูงที่สุดในกราฟจะเป็นจุดที่ทำให้เกิดความเที่ยงตรง หากคาบนั้นเกิดการเลื่อนกันเล็กน้อยจะทำให้เกิดเวลาล่วงเลยไป ซึ่งจะส่งผลให้กราฟนั้นดูเหมือนเป็นเส้นตรงขึ้น หาก O-C Diagram ออกมาในรูปของเส้นโค้ง

2.4 The Third Body

ในระบบดาวคู่บางระบบอาจไม่ได้ประกอบไปด้วยสมาชิกเพียงสองดวงเท่านั้น แต่อาจมีดาวฤกษ์หรือดาวเคราะห์ดวงอื่นร่วมอยู่ในระบบด้วย เรียกเป็นระบบดาวพหุ (Multiple System) โดยพบว่าประมาณ 1 ใน 5 ของระบบดาวคู่จะเป็นระบบดาวพหุ ซึ่งสมาชิกที่เพิ่มเข้ามานี้โดยมากจะอยู่ห่างจากระบบดาวคู่พอสมควร ดังนั้นถึงแม้ว่าสมาชิกดวงที่เพิ่มเข้ามานี้จะได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของระบบดาวคู่ ในการพิจารณาคาบการโคจรของระบบดาวคู่เป็นเวลานาน จะพบการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ในลักษณะเป็นคาบ ซึ่งมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม นอกจากนี้การมีอยู่ของสมาชิกดวงที่สามยังทำให้สมบัติทางกายภาพบางประการของระบบดาวคู่นี้มีค่าเปลี่ยนไป เช่นมวลรวมจะประกอบด้วยมวลของสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ปริมาณแสงที่สังเกตการณ์ได้จะประกอบไปด้วยแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ซึ่งปริมาณแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่สามนั้นถือว่าคงที่

ฟังก์ชันมวลสำหรับสมาชิกดวงที่สาม $f(m)$ จึงเขียนได้เป็น

$$\frac{(M_3 \sin i')^3}{(M_1 + M_2 + M_3)^2} = \frac{4\pi^2 (a' \sin i')^3}{GP'^2}$$

โดย P' คือคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

a' คือรัศมีวงโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

i' คือมุมเอียงของระนาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่สามกับแนวสายตา

ดังนั้น ถ้าแผนภาพ O-C มีลักษณะเป็นคาบหรือมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ในแผนภาพ จะสามารถหาสมการของฟังก์ชันคาบ (Periodic Function) มาอธิบายได้โดยที่คาบของฟังก์ชันนี้จะมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หามวลของสมาชิกดวงที่สามได้ต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5 An Updated Model for Circumbinary Planets Orbiting the sdB Binary NY Vir

Song et al. (2019) ได้สังเกตการณ์การแปรแสงในช่วง Primary (ค่าความสว่างลดลงต่ำสุดในคาบนั้น ๆ) จำนวน 18 คาบ ของดาวแปรแสง NY Virginis (Short-Period Eclipsing Binary System) ซึ่งนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับเอกสารงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์ขึ้นก่อนหน้านี้ เพื่อเพิ่มข้อมูลทางกายภาพของดาวนี้ โดยใช้ฐานของตัวแปรจาก O-C Diagram ที่คำนวณได้เป็นสมการโพลีโนเมียลลำดับที่ 2 และตัวแปรของดาวนอกระบบอีก 1-2 ดวง มีค่าอัตราการแปรแสง 2.83×10^{-12} วินาทีต่อคาบ หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ร่วมกับค่า Period จากงานวิจัยอื่น มีค่า 2.83×10^{-12} และค่า e จากดาวนอกระบบ 2 ดวง มีค่า 0.15, 0.15 มีมวลที่น้อยที่สุดประมาณ 2.7, 5.5 เท่าของมวลดาวพฤหัสบดี (Jovian Mass)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ

1. กล้องโทรทรรศน์ประเภทสะท้อนแสง ขนาดหน้ากล้องที่ 1.0 เมตร ณ หอดูดาวแห่งชาติ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT)
2. ซีซีดี (CCD Andor 2048x2048 Pixels) ผ่านฟิลเตอร์ Filter R I
3. โปรแกรม AstrolImageJ, OriginPro8.5, Period04 และ Phoebe 0.31a

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ดำเนินการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ประเภทสะท้อน ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ติดตั้ง CCD (Andor 2048x2048 Pixels) ผ่านฟิลเตอร์ Filter R I
2. จากข้อมูลที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์จะได้ภาพจะต้องมีดาวตรวจสอบและดาวเปรียบเทียบ นำข้อมูลที่ได้มาจัดสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้ค่าความสว่างของดาวแปรแสงที่แม่นยำ โดยใช้โปรแกรม AstrolImageJ สร้างกราฟ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum) วิเคราะห์การแปรแสงของดาว จากโปรแกรม OriginPro8.5 นำค่า Time of Minimum จากการสังเกตการณ์และที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่นเคยทำได้มารวบรวม คำนวณสมการ Linear Ephemeris สำหรับเวลาที่แสงน้อยที่สุด
2. แทนค่า Time of Minimum (O) เพื่อหาค่า Epoch ของแต่ละช่วงเวลา และคำนวณ Time of Minimum นำค่าทั้งสองมาหาค่าผลต่าง จะได้ค่า O-C ใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method นำมาใช้ในการปรับกราฟระหว่าง O-C และ E จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร
3. วิเคราะห์ Residuals $O-C_2$ จากผลต่างระหว่างค่า O-C ที่ได้จาก Linear Ephemeris และจาก Parabolic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับค่า Residuals และหา Frequency และ Semi-Amplitude ของระบบดาวคู่ โดยใช้ Fourier Series Function
4. คำนวณหาฟังก์ชันมวลของสมาชิกดวงที่สามจากคาบ และ Semi-Amplitude ของ Periodic Ephemeris เมื่อได้ Parameter ที่ดีที่สุดแล้ว จึงนำมาสร้างแบบจำลองรูปร่างของระบบดาวคู่ผ่านโปรแกรม Phoebe 0.31a

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาคาบการแปรแสงของดาว NY Virginis ในการจัดทำครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความสว่าง และค่าโชติมาตรปรากฏของดาว NY Virginis ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสว่างของดาวที่เปลี่ยนไปในหน่วยวันต่อรอบ มีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการศึกษาค่าความสว่างที่เปลี่ยนไปของดาว (Light Curve)

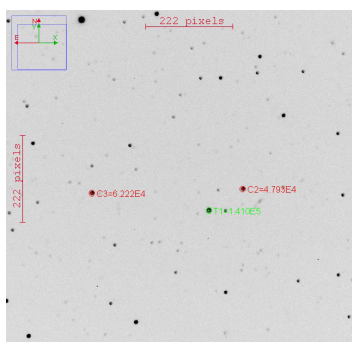
ตารางที่ 4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของดาวตรวจสอบและดาวเปรียบเทียบ

Stars	RA.	DEC.
13384380-0202589 (Check Star, C2)	13 ^h 38 ^m 43 ^s .778	-02° 02' 59''.22
13390669-0201198 (Check Star, C3)	13 ^h 39 ^m 6 ^s .677	-02° 01' 19''.28

จากการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีโฟโตเมทรี (Photometry) แล้วข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็นกราฟแสง และวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum) จากการการพล็อตกราฟแบบ Non-linear Fit ฟังก์ชัน Gaussian ด้วยโปรแกรม OriginPro8.5 ดังรูป และจากข้อมูลการศึกษาของ Shou Song et al. สามารถคำนวณสมการเชิงเส้น Ephemeris ได้เป็น

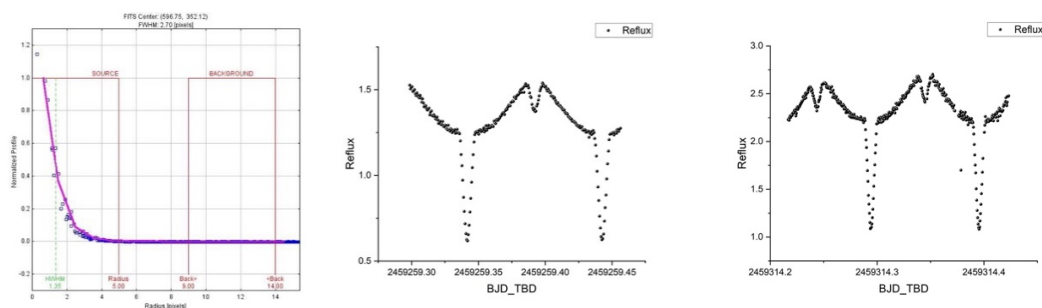
$$T_{min}(BJD_TBD) = 2453174.442647 + 0.10101597E$$

เมื่อ T_{min} คือ เวลาที่แสงน้อยที่สุด (BJD_TBD) $Epoch$ คือ ลำดับการแปรแสง



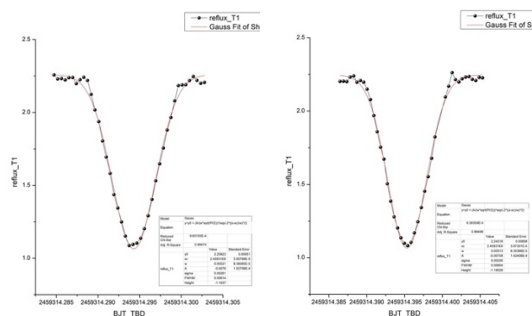
ภาพที่ 4.1.1 ภาพถ่ายดาวแปรแสง NY Virginis จากการสังเกตการณ์

4.2 ผลการศึกษาค่าความสว่างของดาว แสดงผลเป็น Light Curve จากโปรแกรม AstrolmageJ



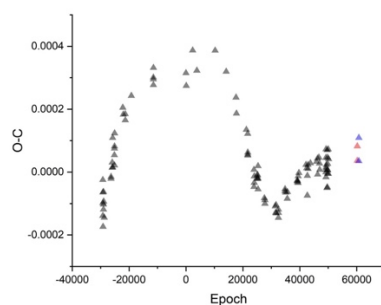
ภาพที่ 4.2.1 แสดงตัวอย่างกราฟความถี่ของข้อมูลและกราฟแสงของดาวแปรแสง NY Virginis

4.3 ผลการศึกษาค่าเวลาที่น้อยที่สุด (Time of Minimum) จากโปรแกรม OriginPro8.5



ภาพที่ 4.3.1 แผนภาพแสดงเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum) จากโปรแกรม OriginPro8.5

4.5 ผลการศึกษาอัตราการแปรแสง แสดงผลเป็น O-C Diagram ของดาว NY Virginis

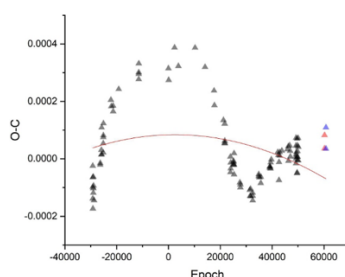


ภาพที่ 4.5.1 แผนภาพ O-C ของดาว NY Virginis

เมื่อนำข้อมูลค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจากการสังเกตการณ์ของ Kilkenny, Qian, WASP, Camurdan, Lee, Pulley, AAVSO, Basturk, Song et al. และจากการวิจัยนี้ (O) และค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจากการคำนวณ (C) กับค่า E มาสร้างเป็นแผนภาพ O-C ได้ดังรูปที่ 4.5.1 เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงการแปรแสงของดาว NY Virginis จากรูปที่ 4.5.1 สามารถวิเคราะห์แผนภาพ O-C ด้วยสมการพหุนาม (Polynomial Equation) ได้ดังสมการจะได้ $dP/dt = -8.32490 \times 10^{-14}$ วันต่อคาบ

ค่าที่ได้แสดงว่าคาบการแปรแสงมีอัตราการแปรแสงที่ -8.32490×10^{-14} วันต่อคาบนั้นแสดงว่า คาบการโคจรของดาว NY Virginis นี้มีค่าลดลงอีกด้วย ซึ่งจากลักษณะของ O-C Diagram ที่เป็นรูปของกราฟไซน์ ยังบ่งชี้อีกว่าอาจเป็นไปได้ว่ามีวัตถุที่สาม ที่มีแรงดึงดูดระหว่างมวลทำให้วงโคจรของระบบดาวคู่ NY Virginis นั้นเปลี่ยนไป

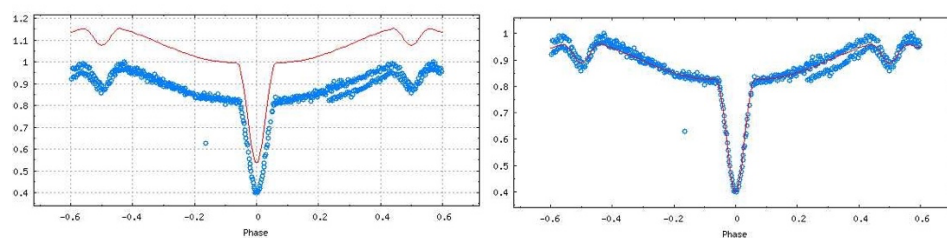
4.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของดาว แสดงผลเป็นกราฟ Residuals O-C₂



ภาพที่ 4.6.1 แผนภาพ Residuals O-C₂ ของดาว NY Virginis

คำนวณหาค่า Residuals O-C₂ ได้จากผลต่างระหว่างค่า O-C ที่ได้จากการคำนวณด้วย Linear Ephemeris และค่า O-C ที่ได้จากการคำนวณด้วย Parabolic Ephemeris ดังแสดงในภาพ

4.7 ผลการหาค่า Best-Fit Parameter และสร้าง Synthetic Light Curve

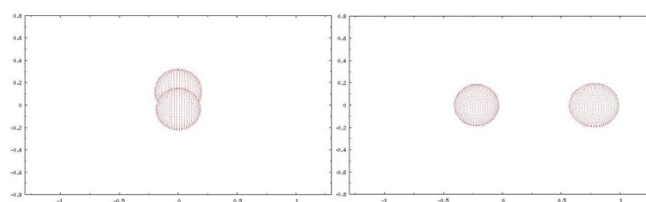


ภาพที่ 4.7.1 กราฟแสงสังเคราะห์ (Synthetic Light Curve) ที่ได้จากโปรแกรม Phoebe 0.31a

ค่า Frequency และค่า Semi-Amplitude จากโปรแกรม Period04

เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ Fourier Series Function โดยใช้โปรแกรม Period04 พบว่ามีค่า Semi-Amplitude เท่ากับ 0.0001088734 วัน วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ NY Virginis ด้วยโปรแกรม Phoebe 0.31a พบว่า ชุด Parameter ที่ดีที่สุด มีอัตราส่วนมวลของดาวทุติยภูมิกับมวลของดาวปฐมภูมิเท่ากับ 1 : 3.5461 ระบบดาวคู่เอียงทำมุม 80.946° และมวลของวัตถุที่สามเท่ากับ $1.876 M_J$ ในรูป $M_3 \sin(i)$

4.8 ผลการจำลองรูปร่างของดาว NY Virginis จากโปรแกรม Phoebe 0.31a



ภาพที่ 4.8.1 แบบจำลองรูปร่างของระบบดาวคู่ NY Virginis

แบบจำลองของระบบดาวคู่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Phoebe 0.31a พบว่าแบบจำลองของดาวคู่ NY Virginis เป็นระบบดาวคู่แบบไม่แตะกัน (Detached Binary) และไม่มีการถ่ายเทมวลจากวัตถุที่สาม

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

อภิปรายผลการศึกษา

จากการตรวจสอบและสำรวจของนักวิจัยหลาย ๆ ท่าน (เช่น Qian et al., Song et al., etc.) พบว่าการที่เกิดแรงดึงดูดของวัตถุที่สาม นั้นทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการแปรแสงที่เปลี่ยนไปจาก O-C Diagram ของดาวได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นแล้ว ข้อมูลการสำรวจจากงานวิจัยล่าสุด (Song et al. : 2019) ได้สนับสนุนไว้ว่าผลกระทบจาก Light-Travel-Time นั้นส่งผลให้กลไกของการโคจรเปลี่ยนแปลง ดังที่เห็นใน O-C Diagram ออกมาในรูปของกราฟไซน์ ของดาวแปรแสงประเภทระบบดาวคู่แบบไม่แตะกัน (Detached Binary) จึงวิเคราะห์และสนับสนุนว่าดาว NY Virginis นั้นเกิดปรากฏการณ์ Light-Time Travel Effect จากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงจากวัตถุที่ 3 อีกทั้งความเป็นไปได้ของการมีอยู่ของวัตถุที่สาม นั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างดาวคู่ดวงหลัก (NY Virginis (AB) b และ NY Virginis (AB) c) จึงทำให้การแปรแสงเปลี่ยนไป และสมบัติกายภาพของวัตถุที่สามที่ได้กล่าวถึงรวมทั้งโครงสร้างทางกายภาพของดาว NY Virginis ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องได้ทำการศึกษาและต่อยอดต่อไป

จากการสังเกตการณ์ดาวแปรแสง NY Virginis โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ประเภทหักเหแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร ต่อเข้ากับซีซีดี (CCD Andor 2048x2048 Pixels) พร้อม Filter R I ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของดาว NY Virginis ด้วยแผนภาพ O-C แล้วพบว่าคาบการแปรแสงของดาวแปรแสง NY Virginis มีอัตราการแปรแสงลดลง 8.3249×10^{-14} วันต่อคาบ คาบการโคจรของดาว NY Virginis นี้มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.10101597 วัน เมื่อทำการวิเคราะห์กราฟ Residuals O-C₂ พบว่าแผนภาพนี้เป็นกราฟฟังก์ชันไซน์ดังภาพที่ 4.6.1 บ่งบอกได้ว่าอาจมีวัตถุที่สามอยู่ร่วมด้วย และใช้การสร้างค่า Fourier Series Function สมมติขึ้นมา โดยมี Semi-Amplitude เท่ากับ 0.0001088734 วัน เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ Fourier Series Function โดยใช้โปรแกรม Period04 นำค่า Semi-amplitude ไปใช้คำนวณหา Light-Time Travel เพื่อหาค่าที่แสงเดินทางในช่วงเวลา 1 รอบ โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณ Light-Time Travel Effect ไปหาค่า M_3 จาก Mass Function โดยอาศัยค่า M_1 และ M_2 จากโปรแกรม Phoebe 0.31a มีค่า 0.406841 $M_\odot$ และ 0.114729 $M_\odot$ ในรูป $M_3 \sin(i)$ ซึ่งมีอัตราส่วนมวลของดาวทุติยภูมิกับมวลของดาวปฐมภูมิเท่ากับ 1 : 3.5461 ระบบดาวคู่เอียงทำมุม 80.946° ดังนั้นมวลของวัตถุที่สามในรูป $M_3 \sin(i)$ มีค่าเท่ากับ 1.876 M_J และสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ขึ้นด้วยโปรแกรม Phoebe 0.31a พบว่าแบบจำลองของดาวคู่ NY Virginis เป็นระบบดาวคู่แบบไม่แตะกัน (Detached Binary) ดังภาพที่ 4.8.1

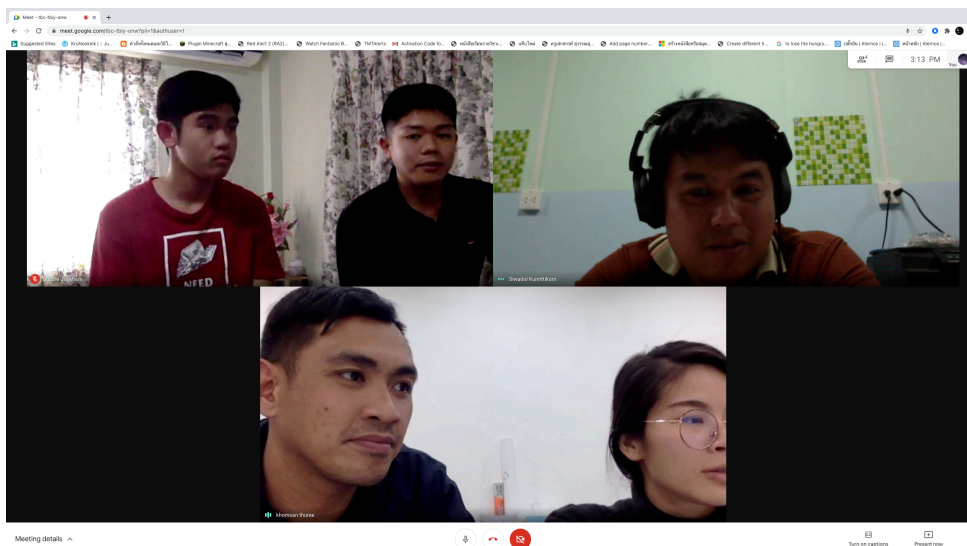
สรุปผลการศึกษา

จากการสังเกตการณ์ดาวแปรแสง NY Virginis ได้กราฟแสงและค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของดาว NY Virginis ดังภาพ 4.3.1 และนำมาแปรผลหาค่าลำดับการแปรแสง (E) และค่า O-C พร้อมกับงานวิจัยอื่น ดังในตาราง 4.4.1 พบว่าคาบการแปรแสงของดาวแปรแสง NY Virginis มีอัตราการแปรแสงลดลง 8.3249×10^{-14} วันต่อคาบ แสดงว่าคาบการโคจรของดาว NY Virginis นี้มีค่าเพิ่มขึ้นอีกด้วย และการคำนวณค่ามวลของวัตถุที่สามในรูป $M_3 \sin(i)$ มีค่าเท่ากับ $1.876 M_J$ จากการสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ พบว่าแบบจำลองของดาวคู่ NY Virginis เป็นระบบดาวคู่แบบไม่แตะกัน (Detached Binary) จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าไม่มีการถ่ายเทมวลจากวัตถุที่สาม

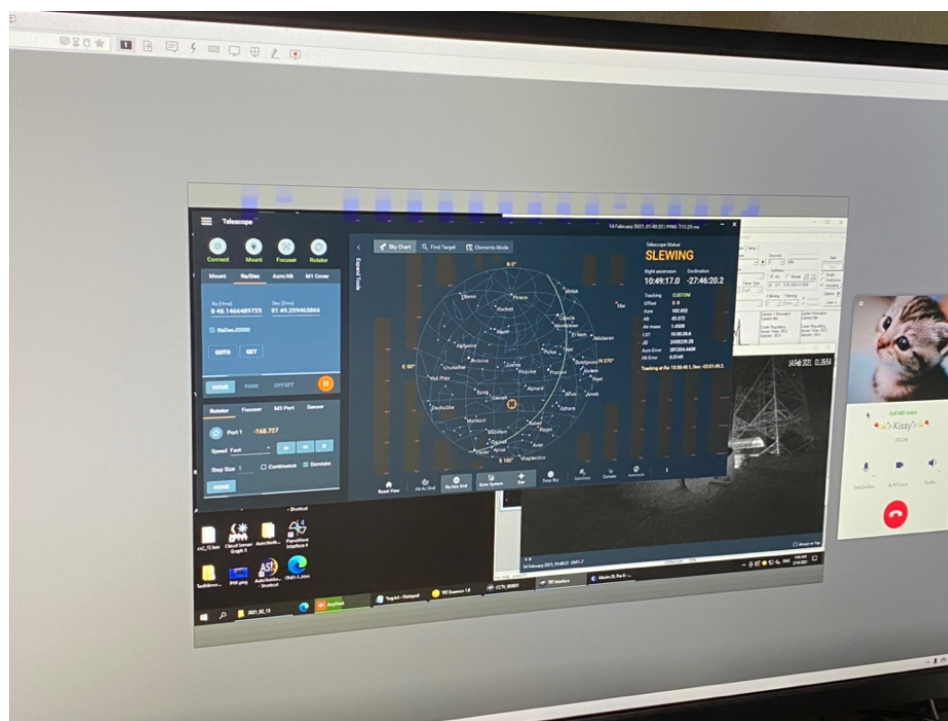
เอกสารอ้างอิง

- บุญรักษา สุนทรธรรม. (2550). **ดาราศาสตร์ฟิสิกส์ Astrophysics** (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่: 2550.
- มติพล ตังมดีธรรม. (2563). **คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการ** (พิมพ์ครั้งที่ 5). เชียงใหม่: 2563.
- H. Rovithis-Livaniou. (2001). **The (O-C) Diagrams of Eclipsing Binaries: Traditional and New Ways of Treatment**. Odessa Astronomical Publications, Vol 14.
- C. Sterken. (2005). **The O-C Diagram: Basic Procedures**. The Light-Time Effect in Astrophysics, Vol. 335..
- Jae Woo Lee. (2011). **The Pulsating sdB+M Eclipsing System NY Virginis and its Circumbinary Planets**. Monthly Notices of The Royal Astronomical Society, 000, 1-12.
- D. Kilkenney. (2011). **The Orbital Periods of AA Dor and NY Vir**. Monthly Notices of The Royal Astronomical Society, 412, 487-491.
- S.-B. Qian et al. (2012). **Circumbinary Planets Orbiting The Rapidly Pulsating Subdwarf B-Type Binary NY Vir**. The Astrophysical Journal Letters, 745:L23 (5pp).
- D. Kilkenney. (2014). **The Orbital Periods of Three sdB Eclipsing Binary Systems**. Monthly Notices of The Royal Astronomical Society, 445, 4247-4251.
- M. Wolf. (2014). **Light-Time Effect As a Valuable Tool in Stellar Astrophysics**. Astronomical Institute, Faculty of Mathematics and Physics. 43, 493-497.
- Shuo Song et al. (2019). **An Updated Model for Circumbinary Planets Orbiting the sdB Binary NY Virginis**. The Astronomical Journal, 157:184 (6pp).

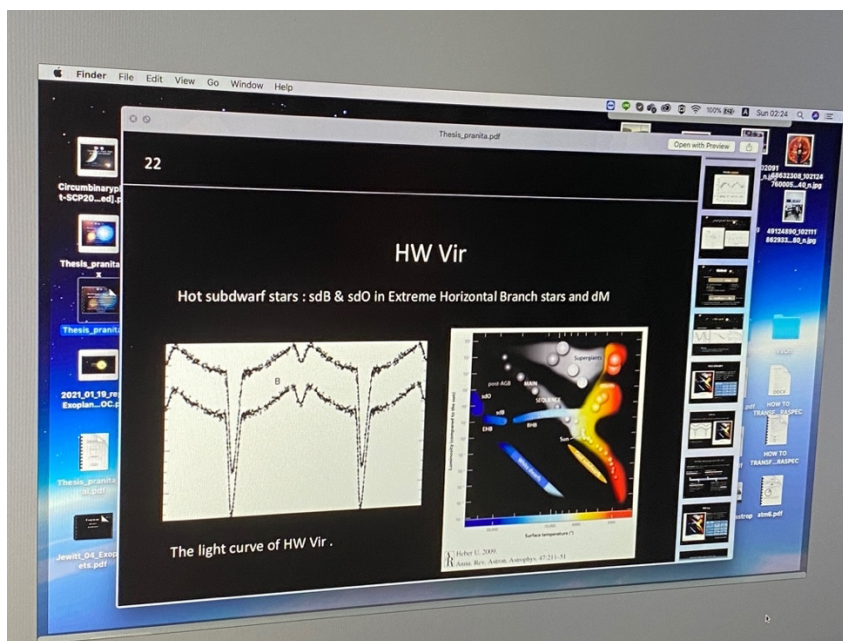
ภาคผนวก



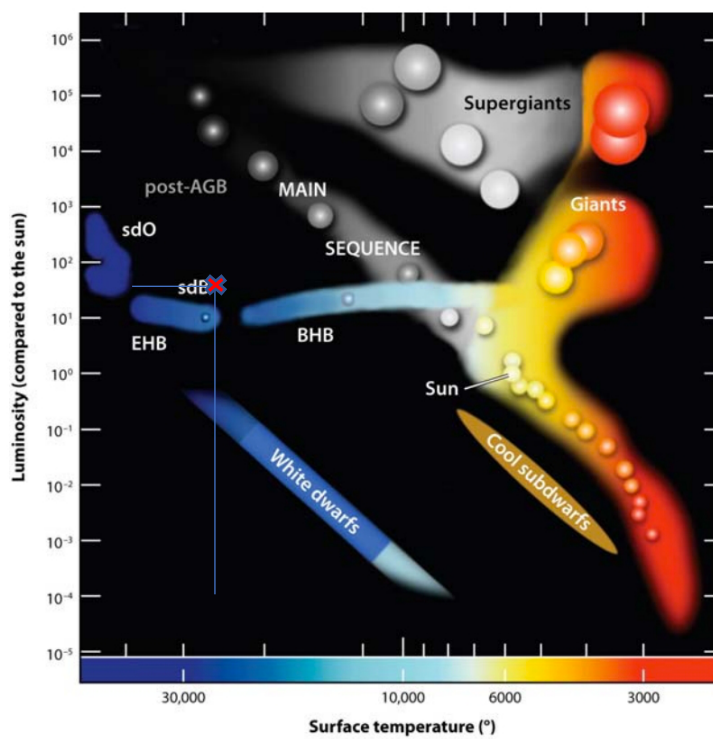
ภาพที่ 6.3 การประชุมผ่านโปรแกรม Google Meet เพื่อกำหนดเวลาการทำงานและกล้องโทรทัศน์ที่จะใช้ในการสังเกตการณ์ วันที่ 15 ม.ค. 64



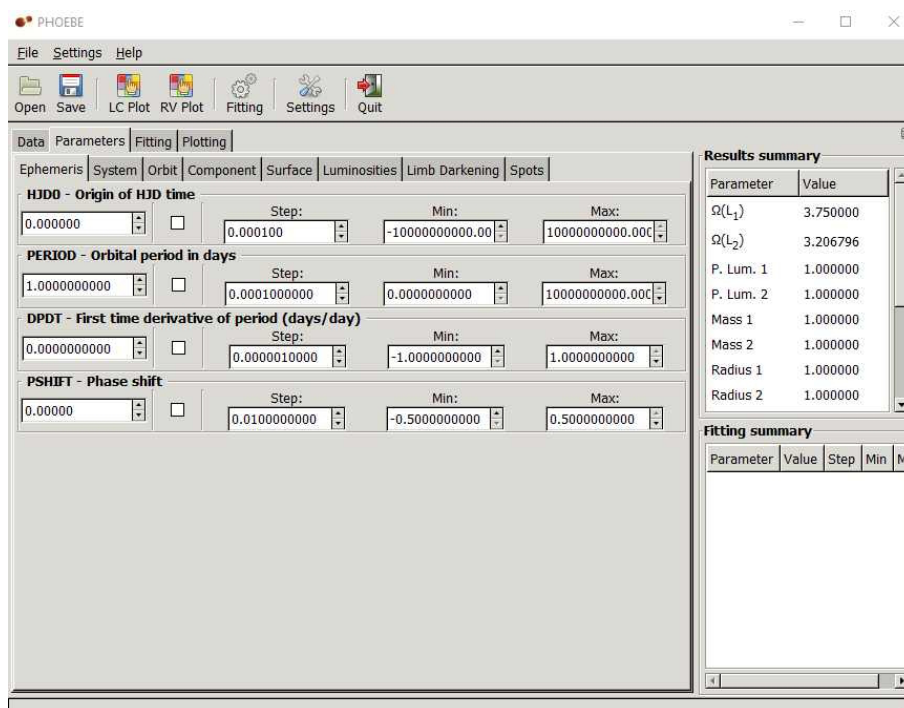
ภาพที่ 6.5 ทำการสังเกตการณ์ดาวแปรแสงวันที่ 14 ม.ค. 64 พร้อมตรวจสอบสภาพอากาศ



ภาพที่ 6.6 รับฟังการบรรยายเกี่ยวกับลักษณะการแปรแสงของดาว NY Vir แบบเดียวกับดาว HW Vir



ภาพที่ 6.9 แผนภาพเปรียบเทียบความส่องสว่าง (Luminosity) และอุณหภูมิ (Temperature) เพื่อแยกประเภทของวัตถุที่สาม



ภาพที่ 6.10 โปรแกรม Phoebe 0.31a ที่ใช้ในการสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ (Synthetic Light Curve)

Sub-brown dwarfs are formed in the manner of stars, through the collapse of a gas cloud (perhaps with the help of photo-erosion) but there is no consensus amongst astronomers on whether the formation process should be taken into account when classifying an object as a planet. Free-floating sub-brown dwarfs can be observationally indistinguishable from rogue planets, which originally formed around a star and were ejected from orbit. Similarly, a sub-brown dwarf formed free-floating in a star cluster may be captured into orbit around a star, making distinguishing sub-brown dwarfs and large planets also difficult. A definition for the term "sub-brown dwarf" was put forward by the IAU Working Group on Extra-Solar Planets (WGESP), which defined it as a free-floating body found in young star clusters below the lower mass cut-off of brown dwarfs.

Lower mass limit

The smallest mass of gas cloud that could collapse to form a sub-brown dwarf is about 1 Jupiter mass (MJ). This is because to collapse by gravitational contraction requires radiating away energy as heat and this is limited by the opacity of the gas. A 3 MJ candidate is described in a 2007 paper.

ภาพที่ 6.11 รายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุที่สามในระบบดาวคู่ NY Virginis

