บทความวิจัย

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566
วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

การวิเคราะห์กราฟแสงของ KIC 12109575 และแนวทางวิเคราะห์ความเป็นโนวา

Light Curve Analysis of KIC 12109575 and Nova Test Approach

ศักดิ์วิสิฐ สินทุมวงค์[1], พงศพัศ กิวัฒนา[1], พุฒิพงศ์ ยะติ[1], มนตรี นันตา[1], นพดล สาโรชสกุลชัยน[2] และ ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ[3,*]

[1]โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร ต.ดูใต้ อ.เมือง จ.น่าน

[2]สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ต.ดอนแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

[3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย

Sakvisit Sintumwong[1], Pongsaput kiwattana[1], Puttipong Yai1l[1], Montree Nanta[1], Noppadol Sarotsakulchai[2] and Farung Surina Bunthit[3,*]

[1]Srisawat School, Dutai, Muang, Nan, Thailand

[2]National Astronomical Research (Institute of Thailand), Donkaew, Maerim, Chiangmai, Thailand

[3]Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Bandu, Muang, Chiangrai, Thailand.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์คือเพื่อเสนอแนวทางการหาคุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่แบบบังกันที่ยังไม่มีข้อมูลของกราฟความเร็วในแนวเล็งที่อยู่ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ ผู้วิจัยเลือกระบบดาว KIC 12109575 ซึ่งกราฟแสงยังไม่ถูกตีพิมพ์ ด้วยคาบการโคจรประมาณ 0.5 วัน ซึ่งเป็นขอบเขตล่างของประชากรดาวแปรแสงประเภทโนวา เพื่อที่จะใช้เป็นเงื่อนไขที่จะประมาณการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของระบบได้ เรารวบรวมกราฟแสงที่ได้จากฐานข้อมูลเคปเลอร์ และพบว่ากราฟแสงแสดงจุดต่ำสุดปฐมภูมิและทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้อาจคาดการได้ว่า อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงต่างกันมาก อาจเป็นผลจาก

* Corresponding author : sc_farung@crru.ac.th

Received : 21/08/2022 Revised : 04/05/2023 Accepted : 07/06/2023

การที่จานรวมมวล การลุกจ้า หรือจุดเย็น ผู้วิจัยตระหนักดีว่าจำเป็นต้องมีศึกษาที่ละเอียดและซับซ้อน เช่น การศึกษากราฟแสงระยะยาวเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของคาบ ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ในเบื้องต้นเราทำการเลือกช่วงสั้น ๆ ของกราฟแสงจากฐานข้อมูลเคปเลอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนีในโหมด 2 และได้ชุดตัวแปรหนึ่งที่อาจเป็นแนวทางการประมาณค่าคุณสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิได้ เราได้อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 4522±42 K และ 4181± 42 K ด้วยรัศมี 0.3776±0.0001 $R_{\odot}/a$ และ 0.1735 ± 0.0001 $R_{\odot}/a$ ตามลำดับ ด้วยมุมเอียงระนาบวงโคจร 66.8 ± 0.4 องศา หากบนเงื่อนไขกำหนดให้ดาวทุติยภูมิเป็นดาวแคระขาวที่มีช่วงรัศมีที่เป็นไปได้ ($R_{WD} = 0.01 - 0.003R_{\odot}$) จะได้รัศมีของดาวปฐมภูมิ $R_1 = 0.021 - 0.006R_{\odot}$ ที่มีมวล $M_1 = 0.6 - 0.5M_{\odot}$ สำหรับดาวแคระขาวที่มีมวล 0.5-1.0 $M_{\odot}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าดาวปฐมภูมิมีค่ารัศมีและมวลอยู่ในช่วงที่น่าจะเป็นดาวแคระขาวเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของระบบโนวา ประกอบกับเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ (4181± 42 K) ที่เย็นเกินกว่าที่จะเป็นดาวแคระขาวได้ หรือแม้เป็นดาวแคระขาวมวลน้อย (<0.16$M_{\odot}$) จึงไม่น่าจะสามารถเป็นดาวแปรแสงคาทาคลิสมิกได้ ประกอบกับค่ามวลที่น้อยเกินไปนี้จะทำให้โอกาสที่ดาวแคระขาวนี้สามารถพอกพูนมวลขึ้นจนระเบิดเป็นโนวายิ่งมีโอกาสน้อยมาก ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า KIC 12109575 ไม่สามารถเป็นระบบโนวาได้

คำสำคัญ : KIC 12109575, เคปเลอร์, กราฟแสง, โนวา, ดาวแคระขาว

Abstract

The aim of the study is to provide an applicable method to investigate the physical parameters of binary systems listed in the big data on-line Kepler archive whose radial velocity curves are not available. An eclipsing binary star KIC 12109575 was selected due to its 0.5-day period which is the lower limit of novae population. An unpublished light curve of KIC 12109575 was collected and analyzed by using the Wilson & Devinney code to derive the relative physical parameters. We found that light curves presented the changing of primary and secondary minima with time. This can be due to the existing of an accretion disc or spots. Even though the detailed observations and more complicated investigations were promised to be made, we presented here the light curve solution for selected time. Preliminary result was suggested that the temperature of the primary (T_1) and secondary stars (T_2) could be 4522±42 K and 4181± 42 K. Meanwhile the radius were 0.3776±0.0001 $R_{\odot}/a$ and 0.1735 ± 0.0001 $R_{\odot}/a$, respectively with the inclination of 66.8 ± 0.4 degree. In order to get a better fitting, at least one hot spot on the secondary star with a temperature fraction around 0.7 should be located on the secondary. On the assumption that the secondary star is a white dwarf with radius range of $R_{WD} = 0.01 - 0.003R_{\odot}$, yielding $R_1 = 0.021 - 0.006R_{\odot}$ with mass $M_1 = 0.6 - 0.5M_{\odot}$ for the white dwarf whit mass of 0.5-1.0 $M_{\odot}$, respectively. Such small radius and mass of the primary suggest that it could be also another white dwarf which rule out the system to be a nova. Moreover, considering the temperature of the secondary star (3487±50 K) if it is a white dwarf, it would be a cool low-mass white dwarf (<0.16$M_{\odot}$) which is too low and would

not be able to accrete mass up enough to ignite the thermonuclear runaway as a nova in the future.

Keywords : KIC 12109575, Kepler, Light curve, Nova, White dwarf

ที่มาและความสำคัญ

งานวิจัยด้านดาราศาตร์ในโรงเรียนนั้นยังมีจำนวนไม่มาก อาจสรุปสาเหตุของการขาดแคลนงานวิจัย/โครงงานด้านดาราศาสตร์ในโรงเรียนนี้ได้ว่าเกิดจากการขาดแคลนเครื่องมือในการสังเกตการณ์ ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเสนอแนวทางการวิจัยง่าย ๆ โดยใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศที่เผยแพร่ข้อมูลเป็นสาธารณะและสามารถดาวน์โหลดได้จากระบบออนไลน์ เพื่อที่ผู้ที่สนใจจะทำโครงงานดาราศาสตร์สามารถหาข้อมูลได้ด้วยตัวเอง งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักเรียนในโรงเรียนที่มีความสนใจที่จะทำงานวิจัยด้านดาราศาสตร์แม้ไม่มีอุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ฐานข้อมูลออนไลน์ที่เผยแพร่สาธารณะ ได้แก่ ฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ (Kepler space telescope) เนื่องจาก ทั้งสองมีพันธกิจหลักที่โดดเด่นและน่าดึงดูดใจสำหรับประชาชนทั่วไป นั่นคือ การค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะเป็นความพยายามตอบคำถามที่ว่า “เราอยู่คนเดียวในเอกภพหรือไม่?” ซึ่งถือคำถามแห่งมนุษยชาติในยุคนี้

นอกจากนี้ หลักการที่กล้องโทรทรรศน์เคปเลอร์ใช้ในการสังเกตการณ์ ซึ่งคือการสังเกตระดับความสว่างของวัตถุท้องฟ้าที่เปลี่ยนไปเนื่องจากมีการบังกัน (eclipse) หรือเคลื่อนที่ผ่านหน้า (transit) นั้น ยังคงเป็นหนทางเดียวที่จะทำให้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ (absolute dimension) เช่น มวลและรัศมีของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิแบบแยกดวงได้ ในหน่วยกิโลกกรัมและเมตร [1,2]

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์กราฟแสงเพียงอย่างเดียวจะทำให้เราได้เพียงคุณสมบัติทางกายภาพเชิงเปรียบเทียบ เช่น สัดส่วนอุณหภูมิ (T_2/T_1) และสัดส่วนของรัศมีดาว (R_2/R_1) ขณะที่การวิเคราะห์กราฟความเร็วในแนวเล็งจะทำให้ทราบค่าสัดส่วนมวล (M_2/M_1) ความยาวครึ่งแกนหลัก (a) ความรี (e) ขณะที่ค่าความเอียงของระนาบวงโคจร (i) ส่งผลต่อทั้งกราฟแสงและกราฟความเร็วในแนวเล็ง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์กราฟแสงที่หาได้จากฐานข้อมูลออนไลน์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากข้อมูลความเร็วในแนวเล็งของระบบดาวจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์สเปกโตรกราฟในการสังเกตการณ์ซึ่งมักต้องทำการเขียนโครงการขอใช้กล้องโทรทรรศน์ที่มีอุปกรณ์ดังกล่าวจึงเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนักสำหรับนักเรียนในโรงเรียนที่จะทำ ดังนั้น ในการคำนวณหาค่ามวลและรัศมีของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิจึงจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขบางประการเพื่อให้เอื้อต่อการสรุปผล

วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

1. การเลือกวัตถุเป้าหมาย

ตารางที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของ KIC 12109575 ที่ปรากฏในฐานข้อมูลเคปเลอร์

ตัวแปร	ค่าที่ได้
RA	19h22m58.884s
Dec	+50º39’ 49.79’’
BJD0	54953.62 ± 0.01
คาบการโคจร (วัน)	0.5316550 ± 0.0000004
โชติมาตรปรากฏKepler	13.296
โชติมาตรปรากฏGaia	13.3566 (2), 13.352 (3)
Teff (K)*	4350 (1), 4560.67 (2), 4485.5 (4)
Log G	4.447 (1), log g = 4.3 (4)
Metallicity	-1.153
$[Fe/H]$	- 0.1 (4)
E(B-V)	0.035
มุมพารัลแลกซ์ (mas)	4.1151 (2), 3.8094 (3)
ระยะห่างจากโลก (pc)	243 (2), 262.508 (3)
ความเร็วในแนวเล็ง(km/s)	-76 (3)
ชั้นสเปกตรัม	K5V (4)

***หมายเหตุ :** (1) ฐานข้อมูลเคปเลอร์[1] , (2) ฐานข้อมูลไกอา ดีอาร์ (Gaia DR2)[2] , (3) ฐานข้อมูลไกอา ดีอาร์3 (Gaia DR3)[3] , (4) ฐานข้อมูลลามอสต์ (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, LAMOST)[4]

เนื่องด้วยการคำนวณหาค่ามวลและรัศมีของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิจึงจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขบางประการดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เราจึงกำหนดเงื่อนไขในการตรวจสอบระบบดาวที่เลือกว่าจะสามารถเป็นดาวแปรแสงคาทาคลิสมิกประเภทโนวา ได้หรือไม่

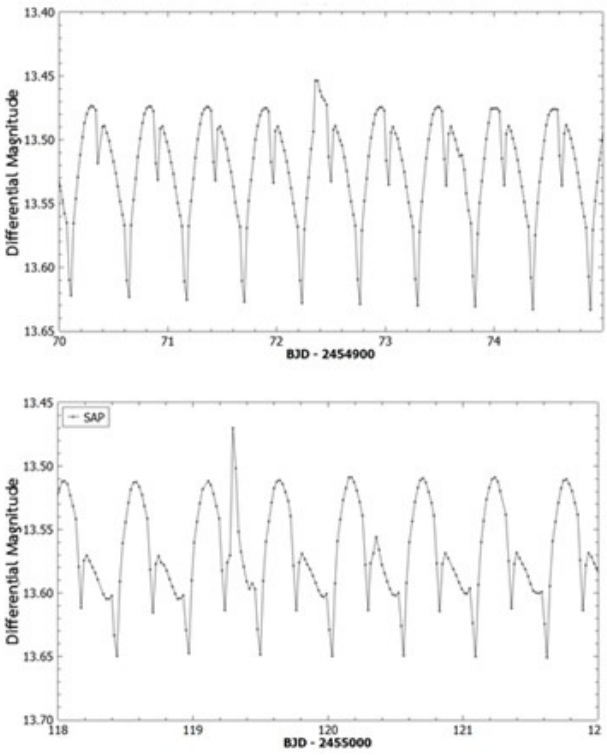
เมื่อ “โนวา (nova)” คือ ดาวแปรแสงคาทาคลิสมิก ที่เป็นระบบดาวคู่ประกอบด้วยดาวแคระขาว (white

[1]เข้าถึงได้จาก https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0k9RFwl3D4Fa4ataIEsR5geWJHKrsoX04AB8pHSc-ZxK_ko5DCu947WO0

[2]เข้าถึงได้จาก https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-S?Gaia%20DR2%2021301620491952395 52

[3]เข้าถึงได้จาก https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-2?-source=gaia-dr3

[4]เป็นฐานข้อมูลสเปกตรัมที่เปิดให้ใช้อย่างสาธารณะ (สำหรับ Data Release version ที่ขึ้นป้ายว่า Public เท่านั้น) เช่น DR5 สามารถเข้าถึงได้จาก http://dr5.lamost.org/search



ภาพที่ 1: กราฟแสงเคปเลอร์ของ KIC 12109575 ที่แสดงจุดต่ำสุดปฐมภูมิและทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

dwarf) ล้อมรอบด้วยจานรวมมวล (accretion disc) และดาวอีกดวงที่กำลังถ่ายเทมวลสู่ดาวแคระขาวผ่านจานรวมมวล โดยตำแหน่งที่มวลสารเข้าปะทะจานรวมมวลจะเกิดเป็นจุดร้อน (hot spot) ที่จะสว่างกว่าบริเวณอื่น ๆ ของจานรวมมวล [3]

ผู้วิจัยจึงเลือก KIC 12109575 (ข้อมูลทั่วไปแสดงในตารางที่ 1) ซึ่งปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลว่าเป็นดาวคู่แบบบังกันด้วยคาบ 0.5 วัน อันเป็นค่าขอบเขตล่างของการกระจายตัวของคาบการโคจรของดาวแปรแสงคาทาคลิสมิก ทั้งนี้เพราะดาวแปรแสงคาทาคลิสมิกมีการกระจายตัวของคาบการโคจรเป็นกลุ่ม ๆ โดยมีค่าคาบการโคจรที่ $\sim$ 12 ชั่วโมง เป็นตัวแบ่งประชนกรระหว่าง 2 กลุ่ม ดังนี้ [3] :

1.) กลุ่มที่มีคาบยาวกว่า $\sim$12 ชั่วโมง : มีจำนวนน้อยและจำนวนลดลงเรื่อย ๆ ขณะที่คาบยาวขึ้น เป็นผลจากที่ดาวทุติยภูมิต้องมีมวลน้อยกว่าแคระขาว มิเช่นนั้นการถ่ายเทมวลสารจะไม่มีเสถียรภาพ เนื่องจากดาวแคระขาวจำเป็นต้องมีมวลต่ำกว่าขีดจำกัดจันทรเสกขาร์ (Chandrasekhar limit) $M_{CH}{\sim}1.4M_{\odot}$ ทำให้ดาวทุติยภูมิย่อมต้องมีมวลต่ำกว่าขีดจำกัดนี้เช่นกัน กลุ่มนี้จึงเป็นกลุ่มที่มีดาวทุติยภูมิมีระดับวิวัฒนาการที่สูง ขณะที่กฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์แสดงให้เห็นว่าขนาดของระบบดาวคู่จะมีค่าแปรผันตรงกับคาบการโคจร อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ขนาดของผิวห่อหุ้มโรชของดาวทุติยภูมิย่อมแปรผันตรงกับคาบการโคจรได้เช่นกัน ทำให้สรุปได้ว่ามวลของดาวทุติยภูมิย่อมแปรผันตรงกับคาบการโคจรในที่สุด แต่เนื่องจากมวลของดาวทุติยภูมิได้ถูกจำกัดไว้ที่ต่ำกว่าขีดจำกัดจันทรเสกขาร์ ทำให้คาบการโคจรมีขอบเขตบนอยู่ที่ $\sim$ 12 ชั่วโมง นั่นเอง

2.) กลุ่มที่มีคาบอยู่ในช่วงประมาณ 3 - 12 ชั่วโมง : จะมีลักษณะการถ่ายเทมวลสารที่ขึ้นกับ ”กระบวนการ

ชะลอการหมุนด้วยสนามแม่เหล็ก (magnetic braking) ของดาวฤกษ์ยักษ์ใหญ่ ระบบจึงบีบให้ดาวฤกษ์ยักษ์ใหญ่หมุนช้าลงและมีคาบโคจรที่สั้นลงด้วย ส่งผลให้ครึ่งแกนหลักมีระยะที่สั้นลงในที่สุด และมีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูง ($\sim 10^{-10} M_{\odot}$ ต่อปี) โดยเชื่อกระบวนการชะลอการหมุนด้วยสนามแม่เหล็กนี้จะหยุดลงเมื่อระบบมีคาบการโคจรลดลงจนถึง 3 ชั่วโมง

ข้อมูลทั่วไปของ KIC 12109575 ที่ปรากฏในฐานข้อมูลเคปเลอร์และฐานข้อมูลต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2: ค่าตัวแปรที่ได้จากการการวิเคราะห์กราฟแสงของ KIC 12109575 ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี โหมด 2

ตัวแปร	**ค่าที่ได้**
i (องศา)	66.8 ± 0.4
Ω_1	3.23 ± 0.04
Ω_2	3.99 ± 0.04
T1 (K)	4465
T2 (K)	4096 ± 42
L1 (Kepler, band 26)	10.407 ± 0.003
A1*	0.5
A2*	0.5
g1*	0.5
g2*	1.0
x1	0.772
x2	0.929
On star2 : Spot Latitude (LA1)	129 ± 1
On star2 : Spot Longitude (LG1)	55.32 ± 0.02
On star2 : Spot Radius (SR1)	0.68 ± 0.08
On star2 : Spot Temperature (ST1)	0.7 ± 0.9
r1 pole	0.3585 ± 0.0001
r1 point	0.3962± 0.0001
r1 side	0.3718 ± 0.0001
r1 back	0.3842 ± 0.0001
r2 pole	0.1710 ± 0.0001
r2 point	0.1758 ± 0.0001
r2 side	0.1724 ± 0.0001
r2 back	0.1750 ± 0.0001

***หมายเหตุ :** ตัวแปรที่ไม่ระบุค่าความคลาดเคลื่อน หมายถึง ตัวแปรที่ไม่มีการแปรค่าในโปรแกรม

ตารางที่ 3: สมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิของ KIC 12109575

ตัวแปร	ค่าที่ได้	
	กรณี $M_{WD} = 0.5M_{\odot}$	กรณี $M_{WD} = 1.0M_{\odot}$
$T_1(k)$	4522 ± 42	
$T_2(k)$	4148 ± 42	
$R_{WD}(R_{\odot})^*$	0.01	0.003
$R_1(R_{\odot})$	0.021	0.006
$M_{WD}(M_{\odot})^*$	0.5	1.0
$M_1(M_{\odot})^{**}$	0.6	0.5
$a(R_{\odot})$	0.7 ± 0.4	1.3 ± 0.9
$q = M_2/M_1$	0.8	1.9

หมายเหตุ : *ช่วงสมมติที่เป็นไปได้ของดาวแคระขาว **บนเงื่อนไขที่ M_1เป็นดาวในแถบกระบวนหลัก จึงสามารถหาค่ามวลได้จากความสัมพันธ์มวล-รัศมีของดาว

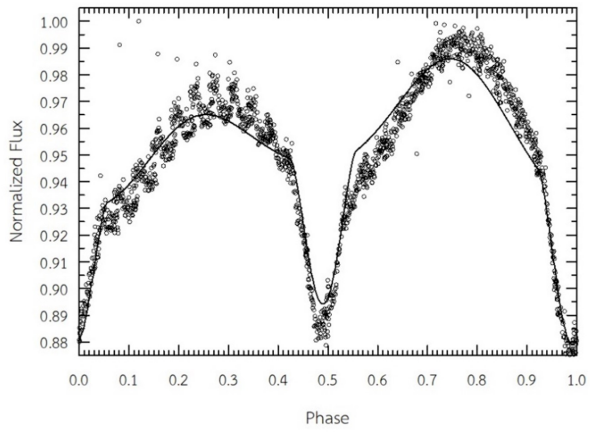
2. การวิเคราะห์กราฟแสง

จากการตรวจสอบกราฟแสงเบื้องต้นในฐานข้อมูลเคปเลอร์ พบว่าระบบดาวคู่นี้จัดอยู่ในกลุ่มดาวคู่อุปราคาคาบยาว พบข้อมูลกราฟแสงในฐานข้อมูลเคปเลอร์ แต่พบข้อมูลในฐานข้อมูลเทสส์ (Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS) และพบว่ากราฟแสงจากฐานข้อมูลเคปเลอร์ มีความละเอียดสูงมาก ทำให้ข้อมูลประเภท Simple Aperture Photometry (SAP) และประเภท Pre-search Data Conditioned Simple Aperture Photometry (PDCSAP) มีค่าไม่ต่างกันมาก ทำให้สามารถใช้ข้อมูล SAP ได้โดยตรง

จากการพิจารณากราฟแสงเคปเลอร์ของ KIC 12109575 พบลักษณะที่แปลกและน่าสนใจ นั่นคือ กราฟแสงมีจุดต่ำสุดปฐมภูมิ (primary minima) และจุดต่ำสุดทุติยภูมิ (secondary minima) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (ดังแสดงในภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ทำให้ทราบว่าระบบดาวคู่นี้น่าสนใจ การที่มีจุดต่ำสุดที่เปลี่ยนแปลงเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงต่างกันมากเมื่อเทียบกับเวลา อาจเป็นผลจากการที่จานรวมมวล (accretion disk) ประกอบกับการคาดหมายว่ากราฟแสงลักษณะนี้น่าจะมีการลุกจ้า (flare) จุดร้อน และ/หรือจุดเย็น [10] ดังนั้นสมมติฐานว่าระบบดาวนี้เป็นดาวแปรแสงคาทาคลิสมิก (cataclysmic variable) จึงเป็นสิ่งที่น่าจะได้รับการทดสอบต่อไปเนื่องจากมีเงื่อนไขว่าดาวดวงหนึ่งเป็นดาวแคระขาว

แม้จะตระหนักดีถึงลักษณะพิเศษของกราฟแสงนี้ ที่จำต้องศึกษาที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น การศึกษากราฟแสงระยะยาวเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของคาบ ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้พยายามเลือกช่วงใดช่วงหนึ่งของกราฟแสงจากฐานข้อมูลเคปเลอร์มาวิเคราะห์ในเบื้องต้น โดยเลือกช่วงที่กราฟแสงมีความต่อเนื่อง (ระหว่าง BJD 1373.47761926 - 1471.14738376) (ซึ่งแสดงผลการสังเกตการณ์ระหว่าง JD 21207.28571 - 21257.71429) หลังจากทำการแก้ไข



ภาพที่ 2: ข้อมูลสังเกตการณ์ของเคปเลอร์ (วงกลม) เทียบกับแบบจำลองกราฟแสงด้วยชุดตัวแปรในตารางที่ 2 (เส้น)

การเลื่อนของเฟส (phase shift) แล้ว นำกราฟแสงที่ได้จากเคปเลอร์มาประมวลด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี โหมด 2 (สำหรับดาวคู่แบบแยกกัน [4]) โดยเริ่มกำหนดให้อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ (T_1) มีค่าเท่ากับอุณหภูมิยังผล (T_{eff}) ก่อน โดยเราใช้ค่าเฉลี่ยจากฐานข้อมูลทั้งเคปเลอร์และกายอา เท่ากับ 4465 K ได้ผลดังภาพที่ 2 และตารางที่ 2

3. การประมาณสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์

ฐานข้อมูลลามอสต์บอกให้ทราบว่าสำหรับระบบที่มีค่า log g = 4.3 เป็นดาวคู่ในลำดับหลัก(ปกติ) ตามข้อมูลในสถิติ โดยค่า $[Fe/H]$ = -0.1 ที่มีค่าต่ำกว่า 0 บ่งบอกว่าระบบดาวนี้มีค่าความเป็นโลหะต่ำ (low metallicity) แสดงว่าเป็นระบบดาวคู่ที่มีอายุ ซึ่งตรงกับลักษณะของระบบดาวคู่อุปราคาชนิดอีเอ (EA-type) ทั่วไป [5]

แนวทางการประมาณการเบื้องต้น ว่าระบบดาวนี้มีโอกาสเป็นแปรแสงคาทาคลิสมิกและ/หรือโนวาหรือไม่นั้น อาจทำการสมมติอย่างง่าย ดังนี้ หากสมมติให้ดาวทุติภูมิเป็นดาวแคระขาวที่มีมวลโดยทั่วไปอยู่ $\sim 0.5M_{\odot}$ ถึง $\sim 1.0M_{\odot}$ ซึ่งจะมีรัศมีสัมบูรณ์ $(R_2) \sim 0.003R_{\odot}$ ถึง $\sim 0.001R_{\odot}$ ตามลำดับ [6]

นำค่า r_1และ r_2 ที่ได้จากตารางที่ 2 มาคำนวณหา R_1 จากความสัมพันธ์ $R_1/R_2 = r_1/r_2$ (เนื่องจาก $a = R_1/r_1$) แล้วจึงนำค่า R_1และ R_2 ที่ได้ มาประกอบกับสัดส่วนของ T_1/T_2 ที่ได้จากตารางที่ 2 มาคำนวณหาอุณภูมิของดาวปฐมภูมิ (T_1) และทุติยภูมิ (T_2) ที่ถูกต้องอีกครั้ง โดยวิธีการเทียบกลับอุณหภูมินี้ (สมการที่ 1 และ 2) ได้เสนอไว้โดย [7] และถูกนำมาใช้โดย [8]

$$T_1 = \left(\frac{(1 + R^r_{ratio})^4_{sys}}{1 + R^2_{ratio}T^4_{ratio}}\right)^{0.25}$$

$$T_2 = T_1 T_{ratio} \quad (1)$$

เมื่อ ความสัมพันธ์

$$R_{ratio} = \frac{R_2}{R_1} T_{ratio} = \frac{T_{22}}{T_{12}} = \frac{4096}{4465} \quad (2)$$

เมื่อได้ R_1, R_2, r_1และ r_2 มาแล้ว จะสามารถหาระยะครึ่งแกนเอก (a) ได้จากจากความสัมพันธ์ $r_{1,2} = R_{1,2}/a$ นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวณค่ากำลังส่องสว่างในหน่วยของดวงอาทิตย์ตามความสัมพันธ์ $L_{1,2} = R_{1,2}^2 T_{1,2}^4$ ได้อย่างตรงไปตรงมา โดยสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3

เมื่อสมมติให้ดาวที่เต็มผิวสมศักย์เป็นดาวในแถบกระบวนหลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีดังสมการที่ 3 เราจะสามารถหากค่า

$$\frac{M_1}{M_\odot} \simeq (\frac{R_1}{R_\odot})^{1/0.8} \quad (3)$$

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

KIC 12109575 เป็นระบบดาวคู่อุปราคาระบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการมีกราฟแสงที่แสดงจุดต่ำสุดปฐมภูมิและทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้อาจคาดการได้ว่า อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงต่างกันมากเมื่อเทียบกับเวลา อาจเป็นผลจากการที่จานรวมมวล การลุกจ้า จุดร้อน หรือจุดเย็น ดังนั้น เราจึงตั้งสมมติฐานเบื้องต้นก่อนว่าระบบดาวนี้อาจเป็นดาวแปรแสงคาทาคลิสมิกซึ่งมีเงื่อนไขว่าดาวดวงหนึ่งเป็นดาวแคระขาว แม้ตระหนักดีว่าจำเป็นต้องศึกษาที่ละเอียดและซับซ้อน เช่น การศึกษากราฟแสงระยะยาวเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของคาบ ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ทำการเลือกช่วงสั้น ๆ ของกราฟแสงจากฐานข้อมูลเคปเลอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินนีในโหมด 2 และได้ชุดตัวแปรหนึ่งที่อาจเป็นแนวทางการประมาณค่าคุณสมบัติทางกายภาพของระบบได้ (ตารางที่ 2) และสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิ (ดังแสดงในตารางที่ 3) โดยมีเงื่อนไขว่าดาวทุติยภูมิเป็นดาวแคระขาวและกำหนดให้ดาวแคระขาวมีช่วงรัศมีที่เป็นไปได้ ($R_W D = 0.01$–$0.003 R_\odot$) จะได้รัศมีของดาวปฐมภูมิ $R_1 = 0.021$–$0.006 R_\odot$ ที่มีมวล $M_1 = 0.6$–$0.5 M_\odot$ สำหรับดาวแคระขาวที่มีมวล 0.5–$1.0 M_\odot$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าดาวปฐมภูมิมีค่ารัศมีและมวลอยู่ในช่วงที่น่าจะเป็นดาวแคระขาวเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของระบบโนวา ประกอบกับเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ (4181 ± 42 K) ที่เย็นเกินกว่าที่จะเป็นดาวแคระขาวได้ หรือแม้เป็นดาวแคระขาวมวลน้อย ($< 0.16 M_\odot$) จึงไม่น่าจะสามารถเป็นดาวแปรแสงคาทาคลิสมิกได้ ประกอบกับค่ามวลที่น้อยเกินไปนี้จะทำให้โอกาสที่ดาวแคระขาวนี้สามารถพอกพูนมวลขึ้นจนระเบิดเป็นโนวายิ่งมีโอกาสน้อยมา ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า KIC 12109575 ไม่สามารถเป็นระบบโนวาได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจาก KIC 12109575 มีกราฟแสงไม่สมมาตร หรือมีผลกระทบโอคอนเนลล์ (O'Connell effect) ที่บ่งบอกว่าอาจจะมีจุดเย็นเกิดขึ้นที่ผิวดาว [10] ขณะที่กลไกการถ่าเทมวลสามารถตรวจสอบจากการศึกษาการ

เปลี่ยนแปลงของคาบการโคจรและข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่าจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับ KIC 12109575 เช่น การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟแสงในระยะยาว เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงของแสง (maxima variations หรือ brightness modulation) มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การหาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร โดยจำเป็นต้องมีกระบวนการการสังเกตุการณ์โดยเฉพาะเนื่องจากวัตถุที่มีโชติมาตรปรากฏ ระดับ 13.7 จะพบในฐานข้อมูลได้ไม่มากนัก อาจพบได้ในฐานข้อมูล เช่น All Sky Automated Survey for SuperNovae (ASAS-SN) และ/หรือ Zwicky Transient Facility (ZTF) เท่านั้น นอกจากนี้ จากการสืบค้นเบื้องต้นพบว่า KIC 12109575 มีข้อมูลสเปกตรัมในฐานข้อมูลลามอสต์จำนวน 3 ชุด จึงควรนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อศึกษาต่อไปประกอบเพื่อที่จะสามารถระบุได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้นถึงประเภทของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิ [9]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายและสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอบคุณโรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จ.น่าน ที่ให้โอกาสให้นักเรียนได้ร่วมทำงานวิจัยร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] Kang Y. W. (2008). Light Curve Analyses of the Eclipsing Binaries in the Small Magellan Cloud, J. Astron. Space Sci. Vol. 25 Issue 2 pp. 77-86

[2] Surina F. and Kang Y. W. (2009). Absolute Dimensions of Four Eclipsing Binaries, ASP Conf. Ser., Vol. 404 pp. 178-183.

[3] ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ (2565) ฟิสิกส์ดาราศาสตร์เบื้องต้นของโนวา (Introduction to Astrophysics of Nova Eruption). กรุงเทพ : ดีเซมเบอรี่ จำกัด

[4] Wilson R. E. and Devinney E. J. (1971). Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni, Astrophys. J. Astrophysical Journal, vol. 166, pp. 605-619.

[5] Qian S. B., Zhang J., He J. J., Zhu L. Y., Zhao E. G., Shi X. D., Zhou X. and Han Z. T. (2018). Physical Properties and Evolutionary States of EA-type Eclipsing Binaries Observed by LAMOST, Astrophys. J. Suppl. Ser. Vol. 235 Issue 5 pp. 1-12

[6] Shuntov M 2018 Master Degree Report Aix Marseille Université.

[7] Kang Y. W., Hong K. S. and Lee J. (2007). Eclipsing Binaries: The Primary Distance Indicator, ASP Conf. Ser. Vol. 362 pp. 19-25

[8] Aindang A., Inkum R., Sarotsakulchai T. and Surina F. (2021). Kepler-TESS light curve analysis of KIC 10417986 as a practical example for astronomical research in schools, J. Phys Conf. Ser. Vol. 1719 pp. 012017

[9] Surina F., Bode M. F. and Darnley M. J. (2015). Investigation of Halactic Classical and Recurrent NOVAE with Ground-Base Observations and the Solar Mass Ejection Imager (SMEI), Pub. of Korean Astron. Soc. Vol. 30 Issue 2 pp30 237-240

[10] Knote M. F., Caballero-Nieves S. M. , Gokhale V. Johnston K. B. and Perlman E. S. (2022). Characteristics of Kepler Eclipsing Binaries Displaying a Significant O'Connell Effect, Astrophys. J. Suppl. Ser. Voi. 262 Issue 1 pp. (32p)