

ดาราศาสตร์ฟิสิกส์พื้นฐานสำหรับการหาขนาดของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะในระบบ KIC4069063

Over-the-counter Astrophysics to Derive Size of Exoplanet in KIC4069063

สร้อยพร พรหมจันใจ, กชกร น้อยฉิม, พัทธสยา กาใจ และ มนตรี นันตา*

Sarunporn Promjanjai, Kotchakorn Noichim, Patrasaya Kajari and Montree Nanta

โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยา ต.คูใต้ อ.เมือง จ.น่าน ประเทศไทย 55000

Srisawatwittayakarn School, Dutai, Muang, Nan Thailand 55000

*Corresponding author E-mail: Montree.nanta@gmail.com

(Received: Sept16, 2022; Revised: Nov22, 2022; Accepted: Dec14, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานด้านดาราศาสตร์ฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษามาหาขนาดของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะในระบบ KIC4069063 โดยใช้ข้อมูลสังเกตการณ์จริงจากฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์มาสร้างกราฟแสง แล้วทำการลงเส้นแนวโน้มด้วยมือ หลังจากนั้นทำการวัดความลึกของฟลักซ์มาตรฐาน (normalized flux) เพื่อหาสัดส่วนรัศมีของดาวเคราะห์และดาวฤกษ์ (r_p / r_s) ของระบบ KIC4069063 ซึ่งมีคาบการโคจรเท่ากับ 0.5042960 ± 0.0000004 วัน ผลงานวิจัยพบว่า $r_p = 0.9973 \pm 0.0002 r_s$ และตรวจสอบเบื้องต้นได้ว่า ดาวเคราะห์ในระบบ KIC4069063 ไม่อยู่ในโซนที่สามารถอยู่อาศัยได้ (habitable zone)

คำสำคัญ : ดาราศาสตร์ฟิสิกส์ ขนาดดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ KIC4069063

Abstract

This research aims to apply basic knowledge of astrophysics at the secondary level to determine the size of exoplanets in the KIC4069063 system by using real observation data from the Kepler space telescope database to create light curves. The curve fitting was done manually. Following this, the normalized flux depth was measured to determine the ratio between the planet's radius and the star's radius (r_p / r_s) of the system KIC4069063 whose orbital period is 0.5042960 ± 0.0000004 days. The results indicated that $r_p = 0.9973 \pm 0.0002 r_s$ and preliminary check that Planets in the KIC4069063 system are not in the habitable zone.

Keywords : Astrophysics, Size of exosolar planet, KIC4069063

บทนำ

ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (Extra-Solar planet หรือ Exoplanet) เป็นดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดาวฤกษ์ดวงอื่นนอกจากดวงอาทิตย์ หรืออยู่นอกระบบสุริยะของเรา [1] วิธีวัดการเคลื่อนผ่านหน้า (Transit Method) เป็นวิธีตรวจหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ โดยจะต้องหาการลดลงของความสว่างดาวฤกษ์ที่เกิดขึ้นจากดาวเคราะห์ที่โคจรผ่านหน้าดาวฤกษ์เป็นรอบ ๆ [2] ซึ่งค่าความสว่างที่ลดลงนี้มีความสัมพันธ์กับขนาดของดาวเคราะห์ ซึ่งทำให้เราสามารถนำมาวิเคราะห์เป็นกราฟแสงและทำให้ทราบถึงสมบัติทางกายภาพ เช่น รัศมีของดาวเคราะห์หรือสัดส่วนของรัศมีของดาวเคราะห์ต่อรัศมีของดาวฤกษ์ อุณหภูมิของดาวปฐุมภูมิ (T_1) และดาวทุติยภูมิ (T_2) ขนาดดาวปฐุมภูมิ (R_1) และดาวทุติยภูมิ (R_2) ข้อมูลการสังเกตการณ์ของดาราศาสตร์สามารถดาวน์โหลดได้จากฐานข้อมูลออนไลน์ที่เปิดเป็นสาธารณะ เช่น ฐานข้อมูลของกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ (Kepler space telescope) เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ถูกส่งขึ้นไปในอวกาศตั้งแต่ปี 2009 เพื่อค้นหาดาวเคราะห์ด้วยวิธีการเคลื่อนผ่าน และปลดประจำการในปี 2018 และดาวเทียมสำรวจดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) เป็นเสมือนผู้สืบทอดภารกิจของกล้องเคปเลอร์ จะทำการสังเกตการณ์ค้นหาดาวเคราะห์ด้วยวิธีการเคลื่อนผ่านเช่นกัน

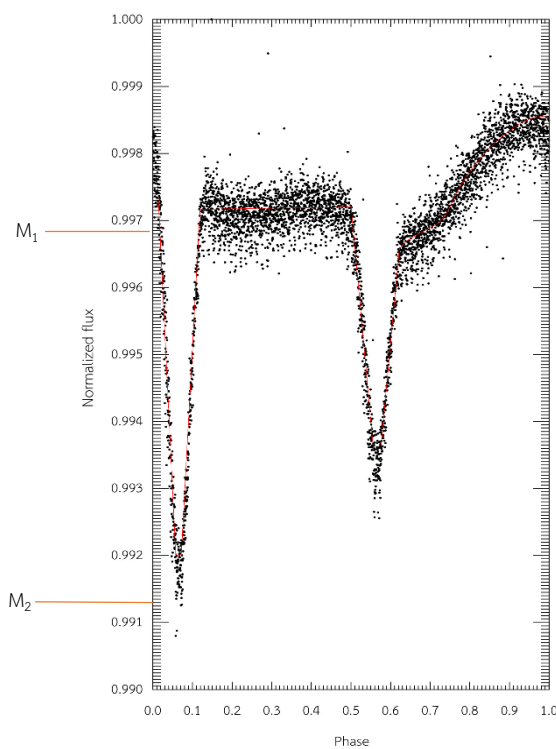
ปัจจุบันงานวิจัยทางดาราศาสตร์สำหรับเยาวชนยังมีไม่มากนัก ผู้วิจัยมีความต้องการที่ใช้ความรู้ฟิสิกส์พื้นฐานในการหาขนาดของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะและเพื่อเป็นแนวทางต่อยอดในศึกษาต่อไป ซึ่ง KIC4069063 เป็นหนึ่งในดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะในฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ที่ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะหาขนาดของดาวเคราะห์ในระบบนี้ เพื่อที่จะตรวจสอบเบื้องต้นว่าอยู่ในโซนที่สามารถอยู่อาศัยได้ (habitable zone) หรือไม่

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลสังเกตการณ์จริงที่สืบค้นมาจากฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์มาสร้างกราฟแสงของ KIC4069063 [3] (โดยข้อมูลทั่วไปแสดงดังตารางที่ 1) แล้วทำการลงเส้นแนวโน้มด้วยมือ
2. คำนวณหาค่า phase จาก BJD_0 และคำนวณหาค่า normalized flux เพื่อสร้างกราฟแสง
 - 2.1 ค่า phase หาได้จาก $phase = (BJD/period) - \text{int}(BJD/period)$
 - 2.2 ค่า normalized flux หาได้จาก $\text{flux} / \text{flux max}$ แล้วนำไปหาร flux แต่ละตัว
3. หลังจากนั้นทำการวัดความลึกของฟลักซ์มาตรฐาน (normalized flux) ของกราฟแสง (ดังรูปภาพที่ 1) เพื่อหาสัดส่วนรัศมีของดาวเคราะห์และดาวฤกษ์ (r_p / r_s) ของระบบ KIC4069063 ซึ่งมีคาบการโคจรเท่ากับ 0.5042960 ± 0.0000004 วัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของ KIC4069063 ที่ปรากฏในฐานข้อมูลเคปเลอร์

ตัวแปร	ค่าที่ได้
BJD ₀	54964.906342 ± 0.010072
Period	0.5042960 ± 0.0000004
Kepmag	13.318
T _{eff}	5905
RA	294.55850
Dec	39.13770



ภาพที่ 1 กราฟแสงแสดงข้อมูลสังเกตการณ์ของ KIC4069063 จากฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ (จุดสีดำ) กับเส้นฟิตแนวโน้มที่วาดโดยผู้วิจัย (เส้นสีแดง)

โดยที่ M_1 คือ ค่า Normalized flux ของดาวในขณะที่ยังไม่ถูกบัง

M_2 คือ ค่า Normalized flux ของดาวขณะที่ถูกบัง

Phase ที่มี 2 พิก หมายถึง ดาวสมาชิกที่มีความสว่างมากกว่าโคจรไปอยู่หลังดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่ากราฟแสงที่สังเกตการณ์เวลานั้น จะมีการลดลงของปริมาณแสงมาก และในทำนองเดียวกันหากดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่าถูกบัง กราฟแสงจะมีปริมาณการลดลงของปริมาณแสงน้อยกว่ากรณีที่ดาวสมาชิกมีความสว่างมากกว่าถูกบัง

5. หาสัดส่วน (r_p / r_s) จากการลดลงของกราฟแสงที่ดาวเคราะห์เคลื่อนที่ผ่านหน้าดาวฤกษ์ (Transit)

จากสูตร
$$m_2 - m_1 = -2.5 \log(F_2 / F_1) \quad (1)$$

โดย 1 คือกรณีไม่บัง และ 2 คือกรณีบัง;

$$m_{\text{บัง}} - m_{\text{ไม่บัง}} = -2.5 \log(F_{\text{บัง}} / F_{\text{ไม่บัง}}) \quad (2)$$

เมื่อ $F_{\text{บัง}}$ คือ ฟลักซ์สูงสุด;
$$F_{\text{ไม่บัง}} = F_0 = 2\pi r^2 L = 2\pi r^2 (5T^4 / 4\pi d^2) \quad (3)$$

$$F_{\text{ไม่บัง}} = A_s L \quad (4)$$

และเช่นเดียวกัน;
$$F_{\text{บัง}} = (2\pi r^2 - A_{\text{บัง}})(5T^4 / 4\pi d^2) \quad (5)$$

$$F_{\text{บัง}} = (A_s - A_p)L \quad (6)$$

แทน (4) และ (6) ลงใน (2);

$$\begin{aligned} m_{\text{บัง}} - m_{\text{ไม่บัง}} &= -2.5 \log(A_s - A_p)L / A_s L \\ &= -2.5 \log[(2\pi r_s^2 - 2\pi r_p^2) / 2\pi r_s^2] \\ &= -2.5 \log[(r_s^2 - r_p^2) / r_s^2] \\ &= -2.5 \log[1 - (r_p^2 / r_s^2)] \\ &= -2.5 \log 1 + 2.5 \log(r_p^2 / r_s^2) \\ &= 5 \log(r_p / r_s) \end{aligned}$$

$$\frac{Drop}{5} = \log(r_p / r_s) \quad (7)$$

$$r_p / r_s = 10^{(Drop/5)} \quad (8)$$

โดยที่ **Drop** คือ การเปรียบเทียบ flux ที่วัดได้จากดาวฤกษ์กับตอนที่ดาวเคราะห์มาบังหน้าดาวฤกษ์

r_s คือ รัศมีของดาวฤกษ์

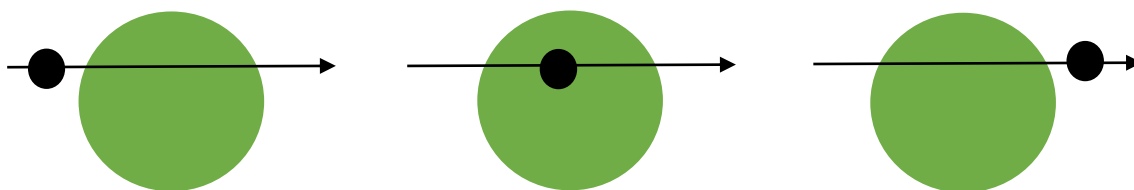
r_p คือ รัศมีของดาวเคราะห์

6. ตรวจสอบเบื้องต้นว่าอยู่ในโซนที่สามารถอยู่อาศัยได้หรือไม่ ด้วยวิธีวัดการเคลื่อนผ่านหน้า (ภาพที่

2)

6.1 คำนวณหาสัดส่วนค่ารัศมีของดาวเคราะห์ต่อดาวฤกษ์ (r_p / r_s) ในระบบ KIC4069063 จากค่า **Drop**

6.2 เปรียบเทียบหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัดส่วน (r_p / r_s) ในระบบ KIC4069063 และสัดส่วน (r_p / r_s) ของโลกและดวงอาทิตย์เป็นร้อยละ โดยกำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 15 สามารถอยู่ในโซนที่อาศัยได้



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ผ่านหน้า โดยช่วงที่ดาวเคราะห์ผ่านหน้าค่า flux จะลดลงหรือเรียกช่วงนี้ว่า ค่า Drop
โดยที่ วงกลมสีส้ม คือ ดาวฤกษ์
วงกลมสีดำ คือ ดาวเคราะห์

ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 ตารางการวัด Drop และค่า r_p/r_s ของระบบ KIC4069063 จากการคำนวณ

	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. Drop	0.00523	0.00514	0.00570	0.0054 ± 0.0003
2. r_p/r_s	0.99738	0.99743	0.99714	0.9973 ± 0.0002

จากการคำนวณหาค่า drop และ r_p/r_s ของระบบ KIC4069063 ด้วยสมการที่ (7) (ได้ผลตามตารางที่ 2) โดยค่า drop มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 0.0003 และค่า r_p/r_s มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 0.0002 และนำค่า r_p/r_s ไปคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า r_p/r_s ของระบบ KIC4069063 และค่า r_p/r_s ของโลกและดวงอาทิตย์ ได้เท่ากับร้อยละ 99.08

สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

จากผลการวิจัยพบว่าระบบ KIC4069063 มีสัดส่วนรัศมีของดาวเคราะห์เป็น 0.9973 ± 0.0002 เท่าของรัศมีดาวฤกษ์ เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่า จากสัดส่วนรัศมีของโลกต่อดวงอาทิตย์ที่มีสัดส่วนเท่ากับ 0.00915 เท่า (จากการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางดวงอาทิตย์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางโลก [4]) หากเปรียบเทียบกับสัดส่วนรัศมีของดาวเคราะห์ต่อดาวฤกษ์ในระบบ KIC4069063 จะได้ว่ามีสัดส่วนที่ต่างกันมาก ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 99.08 นั้นหมายความว่า KIC4069063 มีดาวเคราะห์ที่ขนาดใหญ่่มาก ๆ เกือบเท่ากับขนาดของดาวฤกษ์ ดังนั้น หาก KIC4069063 นี้เป็นระบบของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะจริง ดาวเคราะห์ของมันน่าจะเป็นดาวเคราะห์ก๊าซ และไม่สามารถมีสิ่งมีชีวิตอยู่ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฟ้ารุ่ง สุรีนา บุญทิศ จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ และขอขอบคุณโรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน ที่ให้โอกาสให้นักเรียนได้ร่วมทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนันท์ ก่อสีห์วิกุล, ศวิศกมล ปิจดี, ชูพงษ์ ภาคภูมิ, และคณะ. (2563). *การศึกษาสมบัติกายภาพของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ WASP-50b ด้วยวิธีการเคลื่อนที่ผ่านหน้า*. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม (มหาวิทยาลัยแม่โจ้) ครั้งที่ 1. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [2] หอดูดาวสำหรับโรงเรียน สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. (2560). *การตรวจหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ*. สืบค้นจาก <http://nso.narit.or.th/index.php>
- [3] MAST Archive. (2558). *Kepler Eclipsing Binaries*. Retrieved from https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html
- [4] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. (2564). *ดวงอาทิตย์*. สืบค้นจาก <http://www.lesa.biz/astromy/solar-system/sun>