

איך מגלים כוכב לכת וטבעות ענק – הכול לפי הצל

Matthew Kenworthy*

מצפה הכוכבים של ליידן, אוניברסיטת ליידן, ליידן, הולנד

אסטרונומים גילו כנראה כוכב לכת מוקף בטבעות ענק, גדולות פי 200 ויותר מהטבעות סביב שבתאי. כוכב הלכת הזה עדיין צעיר, כך שיתכן שיירחיים עדיין נוצרים מחומר הטבעות שסביבו, ואנחנו רואים את הצל של הטבעות כאן על כדור הארץ. כעת מנסים למצוא עוד כוכבי לכת עם טבעות-ענק, וייתכן שבקרוב נראה הוכחת לקיום טבעות סביב כוכב הלכת בטא בקבוצת הכוכבים פן-ציור.

איך מאתרים בעזרת צל כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש?

כוכבי לכת רבים בגלקסיה שלנו התגלו כשהאסטרונומים ראו שהם עוברים לפני כוכב-האב שלהם ומסתירים חלק מהאור שלו למשך כמה שעות. כאשר כוכב הלכת גדול, כמו צדק למשל, הקוטר שלו הוא בסביבות עשירית מהקוטר של כוכב-האב, והוא מסתיר בערך מאית (אחוז אחד) מהאור שלו. הצמצום המיוחד באור של כוכב מסוים, שקורה כאשר כוכב לכת חולף על פני כוכב-האב שלו נקרא **ליקוי או טרנזיט**.

את הליקוי אפשר למדוד בטלסקופ קטן, וכך לגלות כוכבי לכת חדשים. הראשון שזיהה כוכב לכת באופן כזה הוא פרופסור דייוויד שארבונו, שעשה את התצפית בשנת 2000, בטלסקופ בקוטר כ-10 ס"מ עם מצלמה ממוחשבת [1]. כיום יש בעולם טלסקופים רבים ושונים המצלמים את שמי הלילה כל כמה דקות, במטרה לזהות ליקויים ולגלות כוכבי לכת חדשים.

סוקרים צעירים

JONAH

גיל: 10

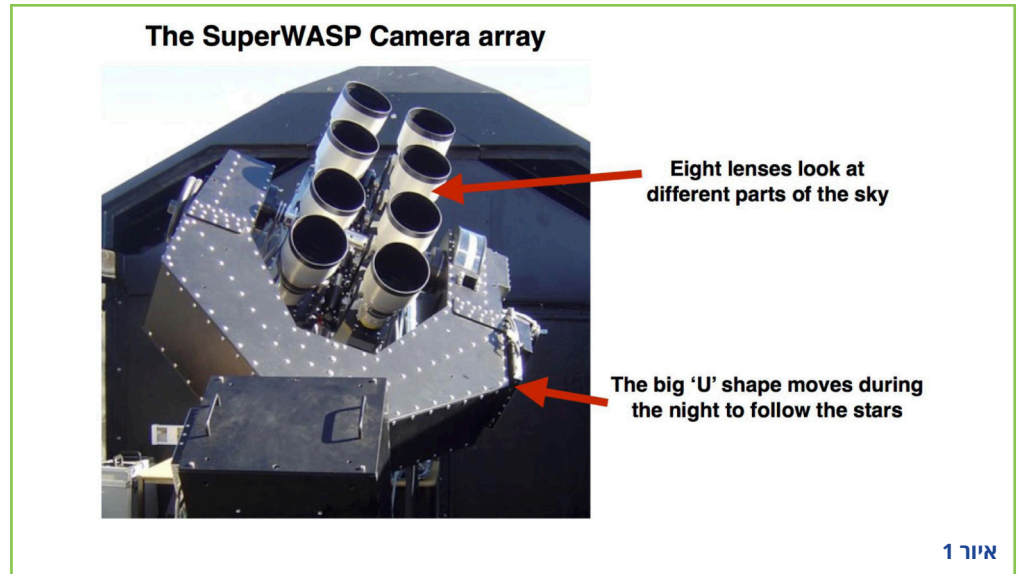


ליקוי (טרנזיט – Transit)

באסטרונומיה הכוונה היא למעבר של גוף שמימי אחד לפני גוף שמימי אחר.

איור 1

מתקן ה-SuperWASP שמונה עדשות, מכוונות לאיזורים שונים בשמיים, מחוברות למתקן המסתובב במשך הלילה ועוקב אחר הכוכבים.



SuperWASP - ראשי תיבות של Super Wide Angle Survey for Planets

סקירה בזווית רחבה במיוחד לחיפוש כוכבי לכת.

תוצאה חיובית שגויה (False positive)

בתצפיות כוכבים הכוונה היא לאיתות שדומה באופן מטעה לאיתות של התופעה שמחפשים.

¹http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/SuperWASPMission.html

אחד ממצפי הכוכבים שנבנו במיוחד כדי לחפש מעברים כאלה הוא **SuperWASP** (ראו איור 1). יש בו שמונה עדשות בעלות עוצמה גבוהה ביותר מחוברות לשמונה מצלמות המצלמות כל לילה את השמיים [2]. למה דווקא שמונה? כי אילו היו יותר, היה יקר מדי להתקין ולהפעיל אותן, ואילו היו פחות – הצילומים היו אורכים יותר מדי זמן. עד 2010 המצלמות של SuperWASP כבר צברו במשך שש שנים נתונים על יותר מ-18 מיליון כוכבים! יוזמי התכנית ידעו שהנתונים על שיעור הצמצום באור הכוכבים יעזרו גם לאסטרונומים אחרים לעקוב אחר כוכבים שהם מתעניינים בהם.

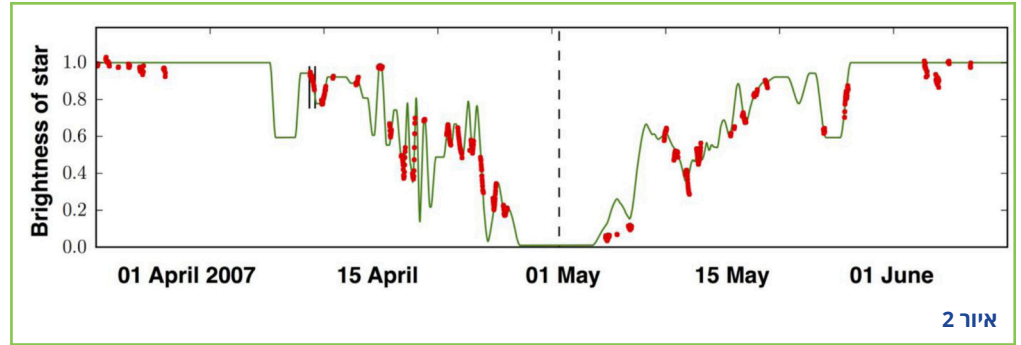
לטלסקופים קטנים כבר הייתה הצלחה רבה במציאת כוכבי לכת. טלסקופים על כדור הארץ גילו עד היום ליקויים של יותר מ-300 כוכבי לכת שעברו על פני כוכבי האב שלהם. המשמעות היא שקיימים הרבה יותר כוכבי לכת, שבהם אנחנו לא מבחינים, כי המסלולים שלהם לא מכוונים בדיוק לכדור הארץ ולטלסקופים שלנו. לווין החלל קֶפֶלֶר, ששוגר ב-2009, כבר זיהה בשיטה זו יותר מאלף כוכבי לכת.

אבל יש בעיה. קשה לתת למחשבים הוראה לחפש צמצום של אור כוכב כתוצאה ממעבר של כוכב לכת, כי יש כמה תופעות אסטרונומיות אחרות שגורמות לצמצום אור דומה. לכן מתקבלת לפעמים **תוצאה חיובית שגויה**. היא יכולה להופיע, לדוגמה, אם שני כוכבים שסובבים זה סביב זה מסתירים זה את האור של זה. אירוע כזה נראה דומה למעבר של כוכב לכת.

יש סיבות נוספות לשינויים בכמות האור: יש כוכבים שתופחים ומצטמקים כל כמה ימים, יש כאלה שעל פני השטח שלהם יש התפוצצויות, ויש כאלה השואבים חומר מכוכב סמוך. בגלל הסיכוי לתוצאות חיוביות שגויות, ובגלל התופעות האסטרונומיות הרבות והשונות, האסטרונומים שבנו את SuperWASP העלו את כל הנתונים שלהם לאינטרנט, כדי שגם אסטרונומים אחרים יוכלו להוריד אותם¹ ולחפש מידע על הנושאים שמעניינים אותם. כך גילינו את 1407J.

איור 2

נתוני האור שהתקבלו מהכוכב J1407 באפריל ובמאי 2007 הנקודות האדומות מסמנות את כמות האור שפלט הכוכב, לפי המדידות. יצרנו במחשב הדמיה של הטבעות ושל הכוכב כשהוא עובר מאחוריהן, כי לראות איזו כמות אור תגיע לכדור הארץ במשך התהליך. הקו הירוק מסמן את התוצאה שקיבלנו. [3].



איור 2

התגלית

אריק מאמנ'ק הוא פרופסור באוניברסיטת רוצ'סטר בארצות הברית. הוא ותלמיד המחקר שלו, ג'ון מארק פֶּקוֹ, בדקו נתונים רבים על אור כוכבים מתוך בסיס הנתונים של SuperWASP. גם אריק וגם מארק הם מומחים באיתור כוכבים צעירים מאוד, ושני סימני היכר של כוכבים כאלה הם: (1) יש להם הרבה כתמי כוכבים - מקומות פחות חמים על פני הכוכב, שנראים בטלסקופ כמו נקודות שחורות; (2) הם מסתובבים מהר יותר מכוכבים עתיקים יותר. השמש שלנו, למשל, מסתובבת סביב עצמה כל 25 ימים בערך, אבל כוכבים צעירים משלימים סיבוב סביב עצמם ביומיים או שלושה. בזמן הסיבוב אפשר לראות את כתמי הכוכבים מופיעים ונעלמים, ולכן יש שינויים קטנים בכמות האור. אריק ומארק בודקים את עוצמת האור של הכוכבים הצעירים האלה, ורואים שהשינויים האלה חוזרים על עצמם בכל פעם שהכוכב מסתובב. בסיס הנתונים של SuperWASP היה מקום מושלם בשבילם לחפש הוכחות לקיומם של כוכבים חדשים.

אחד הכוכבים שחקרו נקרא J1407, והם הבחינו שנתוני האור שהתקבלו ממנו מוזרים מאוד. שמו המלא של הכוכב הוא 1SWASP J140747.93-394542.6 (המספרים הם הקואורדינטות שמציינות איפה הוא נמצא בשמיים) אבל קיצרנו אותו ל-J1407. במשך שנתיים "התנהג" הכוכב בצורה רגילה, וכמות האור שלו השתנתה בכמה אחוזים מדי 3.2 ימים, מה שמצביע על מהירות סיבוב גבוהה (וכנראה על גיל צעיר). ואז, באמצע שנת 2007, היו חודשיים שבהם הכוכב עשה משהו מאוד יוצא דופן. האור שלו החל להיעלם, אחר כך חזר לעוצמה הרגילה, נעלם כמעט לגמרי למשך שבוע, חזר על התהליך בסדר הפוך, ולבסוף שב לפעילות הרגילה שלו - ראו איור 2. כשאור הכוכב נעלם, זה קרה במהירות רבה מאוד. במשך לילה אחד בלבד האור הספיק להיחלש ביותר מ-50%. מה יכול היה לגרום לאירוע כזה?

אריק הראה לי את הנתונים כמה חודשים אחר כך, אחרי שכמה אסטרונומים נוספים כבר הצטרפו לניסיון לבדוק אותם ולנסות להבין מה קורה. העלינו כמה השערות אפשריות - האם אנחנו רואים מערכת כוכבים בינארית? לא, נתוני האור היו מורכבים מדי. מה זה יכול להיות?

ההסבר המדהים

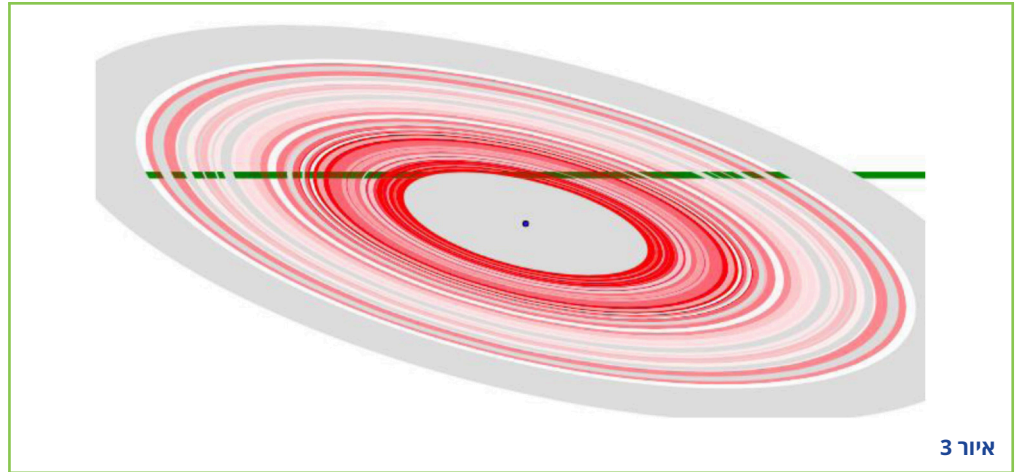
ההסבר ההגיוני היחיד שעלה בדעתנו היה שאנחנו רואים הרבה טבעות קטנות הנמצאות בתוך טבעות גדולות, כמו אלו של שבתאי, והטבעות נעות בינינו לבין הכוכב. המהירות הרבה שבה אור הכוכב נעלם והופיע רמזה לנו על מהירות הסיבוב של הטבעות, וכשהכפלנו את המהירות שלהן במספר הימים שבהם הכוכב הבהב כך, קיבלנו מושג לגבי הקוטר שלהן -

מערכת כוכבים בינארית (Binary star system)

שני כוכבים הסובבים סביב מרכז המסה המשותף שלהם.

איור 3

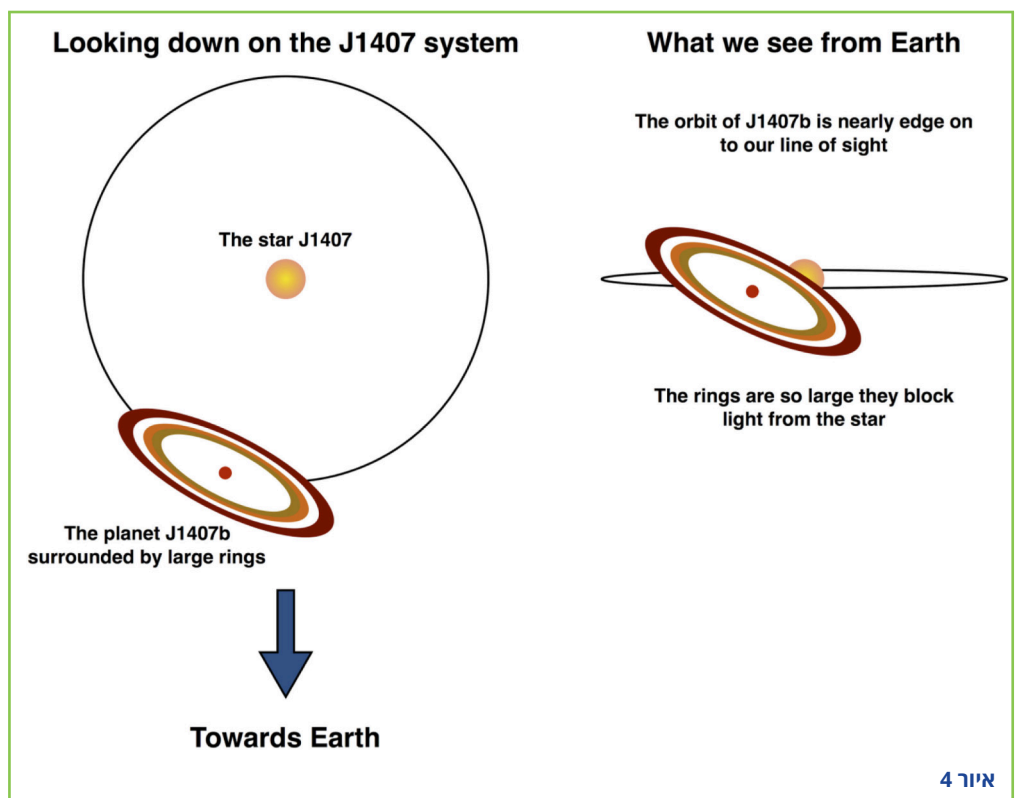
מודל משוער של הטבעות של כוכב J1407
 הקו הירוק מסמן את המסלול שבו נע הכוכב כשהוא עובר (כנראה) מאחורי הטבעות. הנקודה הכחולה היא המיקום של J1407, הטבעות האפורות מסמנות את האיזור שלגביו אין לנו נתונים ממצלמות ה-SuperWASP, והגוונים השונים של אדום מציינים את הדחיסות של חומר הטבעות [4].



איור 3

איור 4

מערכת J1407 במבט מלמעלה על מסלול כוכב הלכת, ובמבט מכדור הארץ כוכב הלכת J1407 נע במסלול סביב כוכב האב שלו, J1407. הטבעות סובבות סביב כוכב הלכת, והטבעות יחד עם כוכב הלכת סובבים סביב כוכב-האב. כשצופים במסלול של J1407 מכדור הארץ (צד ימין של האיור) רואים אותו כמעט מהצד, והטבעות מסתירות את האור של כוכב-האב. הופק על ידי Kenworthy, Leiden.



איור 4

יותר מ-180 מיליון קילומטר! זה בערך קוטר המסלול של כוכב נגה סביב השמש (איור 3). זאת הייתה תגלית מדהימה.

אבל איפה נמצאות הטבעות האלה? סביב הכוכב? לא. ההסבר הפשוט ביותר היה שקיים כוכב לכת שאותו לא ראינו, המסתובב סביב הכוכב J1407 אבל במרחק גדול ממנו, והטבעות מקיפות את כוכב הלכת הזה (ראו איור 4). אבל קוטר הטבעות האלה הרי אמור להיות גדול פי 200 ויותר מקוטר הטבעות סביב שבתאי (מה שאומר שהשטח שלהן יהיה גדול פי 40,000 בערך). (ראו איור 5). האם זה אפשרי?

לשבתאי, כמעט בוודאות, הייתה מערכת טבעות הרבה יותר גדולה כשהיה כוכב לכת צעיר, אבל החומר שממנו הן היו עשויות קָרס ויצר את הירחים של שבתאי שאותם אפשר לראות

איור 5

הטבעות סביב J1407b גדולות כל כך שאילו הן היו סביב שבתאי, יוכלנו לראות אותן בזמן הדמדומים ללא טלסקופ, ולצלם במצלמות הסלולרי. זוהי הדמיה שלהן כפי שהיו נראות בשמי לייזר, מעל מבנה האקדמיה. הופק על ידי Kenworthy, Leiden.



איור 5

היום. האסטרונומים קוראים לכוכבי לכת על שם כוכבי האב שלהם, ונותנים לכל אחד מהם אות מזהה. הם מתחילים מהאות B, כי כוכב האב נחשב לעצם הראשון במערכת ומקבל את האות A. לכוכב הלכת J1407b יש טבעות שבסופו של דבר יקרו וייצרו סביבו ירחים, וייתכן שבשלב כלשהו במיליוני השנים הקרובות, יישארו טבעות בגודל הטבעות של שבתאי, שיהיו קרובות יותר אליו. כשראינו שלפי נתוני האור שלנו, במרחק כ-400 שנות אור מכאן יש עצם ענק המסתובב בחלל סביב כוכב, השתמשנו בטלסקופים הגדולים ביותר בעולם כדי לנסות לצלם את המערכת המדהימה הזאת. ידענו שהטלסקופים לא מספיק חזקים כדי שנוכל לראות את הטבעות, אבל קיווינו לראות את כוכב הלכת עצמו זוהר במרכז הטבעות.

החיפוש אחר J1407b

כדי לחפש את J1407b השתמשנו במצלמות שקולטות חום במקום אור נראה לעין. כוכבי לכת פולטים קרינת חום בתחום התת-אדום, שאורך הגל שלה גדול פי 3-4 מאורך גלי האור שאנחנו יכולים לראות בעיניים. אנחנו מצפים לראות את כוכב הלכת מפיץ "זוהר חום" כזה, כי כוכב לכת הוא כדור גדול ודחוס של גז שהתלהט כאשר הוא נוצר; אבל את הטבעות אי אפשר למצוא לפי אנרגיית חום, כי הן עשויות מהרבה אבנים קטנות שהתקררו במהירות.

דרך הטלסקופ קולט החום לא ראינו דבר ליד הכוכב – אבל זה עדיין לא אומר שכוכב הלכת לא קיים. אנחנו יודעים שהטבעות נמצאות שם, וכדי להחזיק טבעות במקומן צריך כבידה של כוכב לכת. לכן, המידע שקיבלנו מהטלסקופ גרם לנו להבין שכוכב הלכת פשוט קטן יותר משציפינו. אפילו בטלסקופים הגדולים ביותר בעולם אי אפשר לראות כוכבי לכת קטנים במיוחד. כך אנחנו מבינים שכוכב הלכת של J1407 הוא לכל היותר כבד פי 80 מכוכב הלכת צדק – אילו היה כבד יותר, היינו רואים בטלסקופ את החום שהוא מפיץ.

הכוכב J1407 מפיץ אור חזק יחסית, ואפשר לראות אותו בעזרת טלסקופים קטנים. לכן ביקשנו מאסטרונומים חובבים ברחבי העולם לצפות בו ולצלם אותו. כעת אנחנו מחכים שהטבעות יסתירו שוב את הכוכב, אבל לא ברור מתי זה יקרה בדיוק. לפי החישוב המדויק ביותר, אפשר לדעת רק שזה יהיה בשלב כלשהו בעשר השנים הבאות – אבל זה יכול גם להתחיל מחר! השיטה הטובה ביותר היא להמשיך לצפות בכוכב ולחכות בסבלנות.

בינתיים אפשר גם להמשיך לנתח נתונים ישנים. לפני שהחלו להתקין בטלסקופים מצלמות דיגיטליות, האסטרונומים נהגו לצלם את השמיים באמצעות לוחות צילום – לוחות זכוכית דקיקים שגודלם בערך כגודל של ראש, והם מצופים בכימיקל רגיש לאור. החומר הזה שקוף, אך כשהוא נחשף לאור הוא משחיר. את הלוחות התקינו בטלסקופ בחדר חשוך לגמרי. אחר כך כיוונו את הטלסקופ אל שמי הלילה למשך שעות רבות, ואז החזירו את הלוחות לחדר חשוך, שם שטפו אותם בכימיקלים מיוחדים. בסוף התהליך אפשר היה לראות גופים שמימיים ככתמים כהים על הזכוכית השקופה. מאות אלפי צילומים כאלה צולמו במשך מאה שנה, ובמצפה הכוכבים של הארוורד מתנהל עכשיו פרויקט בשם, DASCH, בו סורקים חלק מהם למחשב. אפשר להשתמש בנתונים ישנים כאלה כדי לבדוק מתי בעבר עברו הטבעות לפני הכוכב J1407, ואנחנו עובדים על כך עכשיו.

מעבר של כוכב לכת צעיר

אנחנו רוצים לדעת מתי יתרחש שוב מעבר של כוכב לכת לפני כוכב האב שלו, ובמקרה אנחנו יודעים על כוכב לכת שצפוי לעשות זאת בקרוב. לכוכב האב קוראים "בטא בן-ציור" (בלועזית Beta Pictoris), וסביבו מסתובב כוכב לכת בשם "בטא בן-ציור b", שהוא כד בערך פי עשרה מכוכב הלכת צדק. הוא התגלה ב-2010 [5], ולפי צילומים שנעשו בינתיים, אנחנו רואים שהמסלול שלו יעבור לפני כוכב-האב שלו בקרוב. אי אפשר לדעת מתי בדיוק, כי האור העז שמפיץ כוכב-האב מקשה מאוד למדוד באופן מדויק איפה כוכב הלכת נמצא.

אנחנו מקווים לצלם בשנתיים הקרובות את בטא בן-ציור ולראות אם אפשר להבחין בצל של טבעות נעות לפני הכוכב. אם נצליח זה יהיה מרגש מאוד, כי אסטרונומים מכל העולם רואים את הכוכב המאיר הזה, וכולם אוספים נתונים יחד. גם מהכוכב J1407 לא התייאשו – אנחנו מחכים בסבלנות לראות מתי הטבעות יתחילו שוב לעבור לפניו, ומצפים שגם הפעם התהליך יימשך חודשיים. האם נראה שוב את אותו דפוס? האם נצליח להבין מאיזה חומר עשויות הטבעות? נותר לנו רק לחכות ולראות!

מאמר המקור

Kenworthy, M. A., and Mamajek, E. E. 2015. Modeling giant extrasolar ring systems in eclipse and the case of J1407b: sculpting by exomoons? *ApJ* 800:126. doi: 10.1088/0004-637X/800/2/126

מקורות

1. Charbonneau, D., Brown, T. M., Latham, D. W., and Mayor, M. 2000. Detection of planetary transits across a sun-like star. *ApJL* 529:45. doi: 10.1086/312457
2. Butters, O. W., West, R. G., Anderson, D. R., Collier Cameron, A., Clarkson, W. I., Enoch, B., et al. 2010. The first WASP public data release. *A&A* 520:10. doi: 10.1051/0004-6361/201015655
3. van Werkhoven, T. I. M., Kenworthy, M. A., and Mamajek, E. E. 2015. Analysis of 1SWASP J140747.93–394542.6 eclipse fine-structure: hints of exomoons. *MNRAS* 441:2845. doi: 10.1093/mnras/stu725
4. Kenworthy, M. A., and Mamajek, E. E. 2015. Modeling giant extrasolar ring systems in eclipse and the case of J1407b: sculpting by exomoons? *ApJ* 800:126. doi: 10.1088/0004-637X/800/2/126
5. Lagrange, A.-M., Bonnefoy, M., Chauvin, G., Apai, D., Ehrenreich, D., Boccaletti, A., et al. 2010. A giant planet imaged in the disk of the young star Beta Pictoris. *Science* 329:57. doi: 10.1126/science.1187187

פורסם אונליין: 18 בינואר 2019

נערך על ידי: Ameer Jeanette Hennig, University of Arizona, USA

ציטוט: Kenworthy M (2019) איך מגלים כוכב לכת וטבעות ענק – הכול לפי הצל. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2016.00025-he

תורגם והותאם:

Kenworthy M (2016) Seeing the Shadow of Rings around a "Super Saturn". *Front. Young Minds*. 4:25. doi: 10.3389/frym.2016.00025

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © Kenworthy 2016. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

JONAH, גיל 10

אני אוהב מדע מכל הסוגים, כולל פיזיקה, מדעי החלל, כימיה, תכנות, ולדעת איך הגוף פועל. אני אוהב לרוץ, ואוהב לקרוא ספרים מכל הסוגים, כולל ספרי סיפורת וספרי עיון. כרגע אני גר בצפון קליפורניה, ואני בכיתה ד'. אני מבלה זמן בשיחות על מדע עם אבא שלי ובמשחק מחשב בשם מיינקראפט (אני אוהב את החלקים של הבנייה ושל ההישרדות), ואני רוצה להמציא דברים חדשים שישפרו לאנשים את החיים. אני חושב שיהיה מגניב להמציא מכונת הקטנה ומכונות זמן.





הכותב

MATTHEW KENWORTHY

מתיו קנוורת' הוא אסטרונום במצפה הכוכבים בליידן שבהולנד. הוא גדל ליד לונדון, אבל נסע בעולם כדי לחפש כוכבי לכת בשמיים הבהירים של טוסון באריזונה ובפאנאראל בצ'ילה.
*kenworthy@strw.leidenuniv.nl

Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

