



האם ישנם "כדורי ארץ" נוספים שם בחוץ? הרמזים הראשונים שיש לאסטרונומים לוקחים אותנו 100 שנים אחורה

Benjamin Zuckerman*

המחלקה לפיזיקה ואסטרונומיה, אוניברסיטת קליפורניה בלוס אנג'לס (UCLA), לוס אנג'לס, ארצות הברית

סוקרים צעירים

LAPWAI
HIGH SCHOOL
גיל: 14-17



כוכב ננס לבן (White dwarf star)

כוכב שהוא בערך בגודל של כדור הארץ ולכן קטן הרבה יותר מכוכבים רגילים כמו השמש שלנו. כמעט כל הכוכבים הרגילים הופכים בסופו של דבר לננסים לבנים; במקרה של השמש שלנו, זה יקרה בעוד כחמישה מיליארד שנים מעכשיו.

מבין כל השאלות שהמדע מקווה לענות עליהן, רק מעטות מלהיבות אנשים יותר מהשאלה "האם ישנם חיים בעולמות נוספים מלבד כדור הארץ שלנו, ואם כן, האם ישנם יצורים חוצ'נים שהם בעלי תבונה הדומה לזו של בני אדם?" אבל איך אנו יכולים למצוא עולמות סלעיים שדומים לכדור הארץ וחגים סביב כוכבים אחרים שאינם השמש שלנו? באופן מפליא, הר'אות האסטרונומיות הראשונות לכך שעולמות כאלה קיימים הן כבר בנות 100 שנים! ראיות אלה כוללות תצפית של כוכב שנקרא "ננס לבן", שהוא אותו סוג כוכב שהשמש שלנו תהפוך אליו עוד חמישה מיליארדי שנים. מחקרים על ננסים לבנים הראו שעולמות סלעיים, שהרכבם דומה לזה של כדור הארץ, הם נפוצים ברחבי גלקסיית שביל החלב שלנו. לכן, תחזיות עתידיות הן אופטימיות ביחס למציאת כוכבי לכת סלעיים שהתנאים בהם מאפשרים קיום של חיים.

מבין כל השאלות שהמדע מקווה לענות עליהן, רק מעטות מלהיבות אנשים יותר מהשאלה "האם ישנם חיים בעולמות נוספים מלבד כדור הארץ שלנו, ואם כן, האם ישנם יצורים חוצ'נים שהם בעלי תבונה הדומה לזו של בני אדם?" האפשרות שקיימים חיים אחרים ביקום היא סיבה אחת לכך שנעשיתי מרותק לאסטרונומיה כבר כשהייתי בן 8 או 9. כמו ילדים רבים, חונכתי באמצעות טיולים למצפה הכוכבים המקומי (בעיר ניו-יורק), והוקסמתי ממדע בדיוני בטלוויזיה ובסרטים. אני עדיין זוכר את הגיבורים שלי - Doctor Zharkov ו-Flash Gordon נלחמים ב-Ming חסר הרחמים בכוכב הבית של מינג ששמו מונגו.

עד היום, כשישים שנים לאחר מכן, ביליתי את רוב הקריירה שלי בתור אסטרונום שחוקר תופעות הקשורות לשאלת החיים ביקום. המחקר האחרון שלי התמקד במקורות האבולוציה של מערכות כוכבי לכת, כולל מערכת השמש שלנו, שהיא מערכת כוכבי לכת שרובנו המוחלט מכיר. רוב האסטרונומים מצפים שחיים יכולים להיווצר רק על-גבי כוכב לכת, אולי כזה שיש לו גודל, הרכב (כלומר החומרים שמהם הוא מורכב) וטמפרטורה דומים לאלה של כדור הארץ. כדור הארץ, נוגה, מאדים וכוכב חמה נקראים כוכבי לכת "סלעיים" כיוון שהם עשויים כמעט לחלוטין מחומרים מוצקים, ומכילים רק מעט חומרים גזיים (כמו הגזים שנמצאים באטמוספירה שלנו).

המטרה העיקרית של מאמר זה היא לתאר איך אסטרונומים יכולים היום, בפעם הראשונה, למדוד את ההרכב של אבני הבניין של עולמות סלעיים אשר חגים סביב כוכבים שאינם השמש שלנו. אם ההרכבים האלה ימצאו דומים לאלה של כדור הארץ, יהיה הגיוני להסיק שעולמות כאלה יכולים לכלול צורות חיים חוצניות, ייתכן גם צורות חיים שאינן שונות מאוד מאלה שעל כדור הארץ.

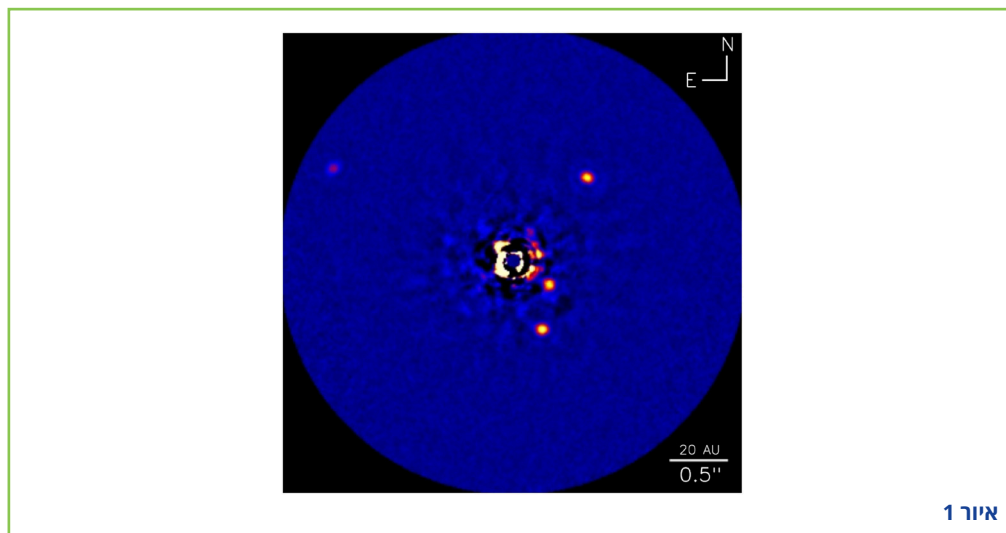
כשהייתי צעיר, לפני שידענו על קיומם של כוכבי לכת נוספים שאינם בתוך מערכת השמש שלנו, אסטרונומים היו משוחחים על שיטות שיוכלו לשמש למציאת **כוכבי לכת "חוץ-שמשיים"**, כלומר כוכבי לכת שמסתובבים סביב כוכבים שאינם השמש שלנו. שיטה פשוטה לגילוי כוכבי לכת חוץ-שמשיים נקראת "הדמיה ישירה", ובה ניתן לראות ולצלם תמונה של כוכב לכת שמסתובב סביב לכוכב אחר, ממש כמו שניתן לראות את נוגה וצדק בשמי הלילה, ובעזרת ציוד מתאים לצלם אותם (ראו איור 1). כשאין זה אפשרי לצלם תמונה ישירה של כוכב לכת חוץ-שמשית, אסטרונומים יכולים, במקום זה, להשתמש בשיטות שיכולות לגלות את קיומם של כוכבי הלכת על-ידי ההשפעה שיש להם על הכוכב שאותו הם מקיפים. לדוגמה, אם כוכב לכת עובר לפני הכוכב שאותו הוא מקיף, יחסית למיקום שממנו רואים אותו עם טלסקופ על פני כדור הארץ, אז כוכב הלכת יחסום חלק קטן מהאור של הכוכב שאותו הוא מקיף, וניתן למדוד את העמעום הזה בעוצמת האור. במקרים נדירים במערכת השמש שלנו, כפי שרואים מכדור הארץ, כוכב נוגה עובר לפני השמש. שני אירועים כאלה התרחשו בשנת 2004 ובשנת 2012 ונצפו על-ידי מיליוני אנשים באמצעות טלסקופים מיוחדים המיועדים לצפייה בשמש (ראו איור 2).

כוכב לכת חוץ-שמשית (Extrasolar planet)

כל כוכבי הלכת אשר חגים סביב לכוכבים שאינם השמש שלנו, נקראים כוכבי לכת חוץ-שמשיים

איור 1

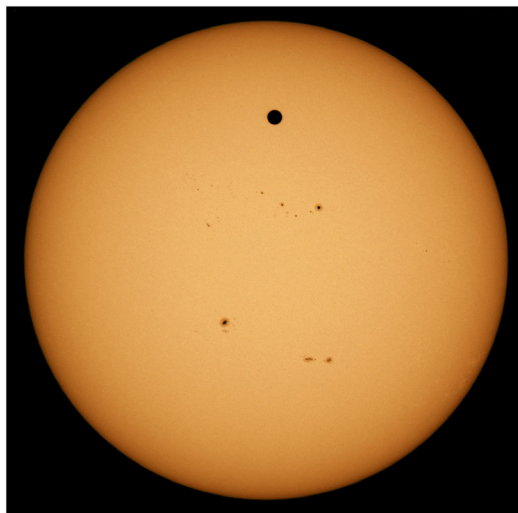
תמונה של הכוכב הבהיר HR 8799 יחד עם ארבעת כוכבי הלכת הענקיים המוכרים שלו – כוכבי הלכת הם שלושת הנקודות הבהירות שרואים מימין, מעל לכוכב שבאמצע ומתחתיו, ונקודת האור העמומה יותר שרואים בפינה השמאלית העליונה. הכוכב בהיר הרבה יותר מאשר כוכבי הלכת, אבל בתמונה הזו רוב האור של הכוכב הוסתר על-ידי מסכה שהוצבה במכוון לפני הכוכב (על-גבי הטלסקופ). בגלל שהחסימה הזו אינה מושלמת, אפשר לראות שארית של אור מהכוכב "מציצה" סביב לקצוות של המסכה. HR 8799 וארבעת כוכבי הלכת שלו, שכל אחד מהם כבד יותר מכוכב צדק, ממוקמים במרחק של כ-130 שנות אור מכדור הארץ (מקור התמונה: מועצת המחקר הלאומית של קנדה, C. Marois ומצפה Keck).



איור 1

איור 2

השמש, כאשר כוכב נוגה עבר מלפניה, כפי שנצפה מ-Haleakala, הוואי, בשנת 2012. נוגה הוא הכתם העגול הכהה שרואים מעל למרכז הדיסק של השמש. מאפיינים נוספים, פחות בולטים, שאפשר לראות קשורים בכתמי שמש ובאזור של פעילות שמש מוגברת באנרגייה גבוהה. [התמונה ניתנה על-ידי Ron Dantowitz (Clay Center Observatory) ו-Jay Pasachoff (Williams College – Hopkins Observatory)].



איור 2

השיטה הטובה ביותר שזמינה כיום לאסטרונומים כדי לגלות הקַבִּים של עולמות סלעיים חוץ-שמשיים אינה אחת השיטות הקלאסיות הישנות יותר, אלא משהו חדש. שיטה חדשה זו, שהגיעה כהפתעה גמורה לכל האסטרונומים, תתואר בהמשך המאמר הזה. על-ידי ניתוח האור שמגיע מכוכב אנו יכולים ללמוד יותר על החומר שממנו מורכב הכוכב הזה, ואם יש סביבו כוכבי לכת. הדבר המפתיע ביותר אולי הוא שלפני 100 שנים, עוד לפני שאסטרונומים הבינו איך לפרש בצורה נכונה את אור הכוכבים, השיטה הזו הפיקה את הראיות הראשונות [1] לקיומן של מערכות כוכבי לכת חוץ-שמסיות סביב לכוכב שנקרא Van Maanen 2 (על שמו של האסטרונום שגילה אותו). לקח לאסטרונומים כמעט 100 שנים לפני שהם ידעו מספיק על אסטרונומיה ועל השיטה הזו כדי להבין את הראיות לכך ש-Van Maanen 2 מוקף במערכת של כוכבי לכת [2].

בדומה ליצורים חיים, כוכבים נולדים, מזדקנים ומתים. השמש שלנו נמצאת עכשיו במחצית החיים שלה. היא קיימת כבר בערך 4.6 מיליארד שנים, ולפי חישובים שמבוססים על פיזיקה היא תחיה עוד כמות זמן כזו עד שתיהפך למה שנקרא כוכב "ננס לבן". כיום השמש מכילה מסה הגדולה בערך פי 300,000 מאשר המסה של כדור הארץ שלנו, וקוטר – כלומר אורך הקו הישר שעובר דרך מרכז הכוכב וממשיך כל הדרך מצד אחד לצד השני – שגדול בערך פי 100 מזה של כדור הארץ. אחרי שהשמש תיהפך לננס לבן, עדיין תהיה לה כחצי מהמסה הנוכחית שלה, אבל היא תהיה זעירה יחסית לגודלה כיום, רק בגודל של כדור הארץ (זו הסיבה שכוכבים כאלה נקראים "ננסים"). מאחר שננסים לבנים הם בערך בגודלו של כדור הארץ אבל המסה שלהם גדולה ביותר מפי 100,000 משלו, הם דחוסים להפליא ובעלי כוחות כבידה חזקים בצורה אדירה – אם אתם שוקלים עכשיו 45 קילוגרמים, על גבי ננס לבן תשקלו יותר מ-45,000 קילוגרמים. הרוב הנכבד של כוכבים בגלקסיית שביל החלב שלנו יבלו את השלבים האחרונים בחייהם בתור ננסים לבנים. Van Maanen 2 הוא ננס לבן.

כבידה היא אחד הכוחות הבסיסיים בטבע. כל הפריטים במערכת השמש שלנו – השמש, כוכבי הלכת, האסטרואידים – מרגישים את כוחות הכבידה של כל שאר הפריטים במערכת. אם ננס לבן מוקף בכוכבי לכת ובפריטים קטנים יותר שחגים סביבו, הדומים לאסטרואידים במערכת השמש שלנו, ייתכן שהמשיכה הכבידתית של כוכב לכת תשנה את המסלול של האסטרואיד באופן כזה שהאסטרואיד יתקרב מאוד לננס הלבן.

איור 3

המחשה אומנותית של חלק ממערכת כוכבי לכת שחגה סביב לננס לבן (הנקודה הלבנה שבמרכז הטבעת האדומה). ברקע אנו רואים כמה אסטרואידים סלעיים. אם מסלולו של אסטרואיד זה מוסט מספיק על-ידי כוח הכבידה של כוכב לכת, האסטרואיד עשוי לעבור כל כך קרוב לננס הלבן עד שהוא ייקרע לגושים קטנים של סלעים שיסתובבו קרוב לננס. הטבעת האדומה מייצגת את השברים הסלעיים שנשארו מאסטרואידים קודם מים שכבר נשברו על-ידי כוח הכבידה החזק של הננס הלבן



איור 3

בגלל הכבידה החזקה שלו, הננס הלבן יקרע את האסטרואיד להרבה גושים קטנים של שברים (Debris). השברים יקיפו בתחילה את הננס הלבן ויצרו מבנה דמוי טבעת, אשר דומה לטבעות שרואים סביב שבתאי (ראו איור 3). אחרי זמן מה, השברים המסתובבים יפלו לתוך הננס הלבן.

כל דבר שאי פעם ראינו בטבע מורכב מ-92 אבני בניין אטומיות ייחודיות שנקראות "יסודות כימיים". יסוד מזוהה ונקרא לפי הגודל של הליבה שלו, שנקראת "גרעין" (Nucleus). מימן הוא היסוד הפשוט והקל ביותר, בעוד שאורניום הוא היסוד הכבד ביותר שנמצא בטבע באופן טבעי. באמצעות שימוש במכשיר שנקרא "ספקטרומטר", אשר מפריד את האור הלבן לצבעי הקשת, אסטרונומים יכולים לקבוע מי מהיסודות מרכיב את השברים הסלעיים שמקורם באסטרואידים שנפלו לתוך ננס לבן. אם כן, אפשר להבין את ההרכב הכימי של פריטים סלעיים שחגים סביב ננסים לבנים. מדענים שחוקרים כוכבי לכת מאמינים שהכוכבים הסלעיים במערכת השמש שלנו – כוכב חמה, נוגה, כדור הארץ ומאדים, נוצרו לפני 4.6 מיליארד שנים מצבירת כמות עצומה של פריטים קטנים יותר הדומים לאסטרואידים שחגים כיום סביב לשמש, בין מאדים לצדק. יש לנו, כעת, דוגמיות של האסטרואידים האלה בצורה של **מטאוריטים** שנפלו על כדור הארץ; מטאוריטים הם חתיכות קטנות שנשברו מאסטרואידים שחוו התנגשויות לפני זמן רב.

לכן, על-ידי השוואה בין היסודות שמרכיבים את מאדים, כדור הארץ, הירח ואסטרואידים במערכת השמש שלנו עם ההרכב של שברים שנראו באטמוספירות של ננסים לבנים רבים, אסטרונומים יכולים לענות על השאלה: "האם עולמות סלעיים שחגים סביב כוכבים שאינם השמש שלנו, דומים בהרכבם לכדור הארץ, או שהרכבם שונה מאוד?" אם ההרכבים הם דומים

ספקטרומטר (Spectrometer)

מכשיר שמפריד את האור לצבעי הקשת השונים. כל צבע קשור לאורך גל אחר של האור, ומאחר שכל יסוד פולט וקולט אור באורכי גל מסוימים בלבד שייחודיים לו, הספקטרומטר יכול לזהות אלה יסודות נמצאים בחומר שאחראי על האור

מטאוריט (Meteorite)

אובייקט סלעי או מתכתי מהחלל החיצון ששורד במעבר דרך האטמוספירה ופוגע בקרקע או במשטח המים של כדור הארץ. מקורם של מטאוריטים בהתנגשויות בין אסטרואידים

מאוד או שונים מאוד, זו יכולה להיות ראייה חשובה בעד או נגד האפשרות של קיום חיים על כוכבי הלכת הסלעיים החוץ-שמשיים האלה.

ארבעת היסודות הנפוצים ביותר בכדור הארץ הם ברזל, מגנזיום, חמצן וסיליקון. על-ידי שימוש בספקטרוסקופים כדי ללמוד על האטמוספירות של הננסים הלבנים, אסטרונומים מצאו שארבעת היסודות האלה שולטים גם בהרכב של כוכבי לכת סלעיים חוץ-שמשיים [3]. לכן, אסטרונומים יכולים לומר בפעם הראשונה אי פעם, ועם רמת ביטחון טובה, שמחקרי הננסים הלבנים מלמדים כי ההרכב של רוב העולמות הסלעיים שחגים סביב כוכבים דומה להרכב הכללי של כדור הארץ. כפי שצוין לעיל, המסקנה הזו מביאה אותנו צעד נוסף קרוב יותר לאפשרות שצורות חיים חוצניות עשויות להיות קיימות בעולמות אחרים. הבנה מפורטת יותר תדרוש מחקרים נוספים בעתיד, שככל הנראה יתבססו על שימוש בטלסקופים שממוקמים בחלל הבין-פלנטרי (כלומר בחלל שבין כוכבי הלכת).

היסודות שמרכיבים את כדור הארץ אינם מעורבבים יחד בצורה שווה לאורך כל הכוכב. במקום זאת, רוב הברזל בכדור הארץ נמצא עמוק במרכזו, שנקרא הליבה; המעטפת, שנמצאת מעל לליבה, עשירה במגנזיום; והשכבה החיצונית, שנקראת "קרומ" (Crust), עשירה בסייליקון ובאלומיניום. תהליך ההיפרדות של יסודות וקבלת שכבות בעלות הרכבים שונים, אשר מתרחש על-גבי כוכבי לכת ואסטרואידיים גדולים, נקרא התבדלות.

ממדידות (שנעשו ב**ספקטרומטר**) של הרכבי השברים בחלק מאטמוספירות הננסים הלבנים, אפשר להבין כמה פרטים על המבנה של אובייקטים סלעיים שנהגו לחוג סביב הכוכב. לדוגמה, החומר באטמוספירה של ננס לבן אחד (שנקרא NLTT 43806 כיוון שהוא כוכב שתואר בקטלוג ששמו NLTT אשר נערך על-ידי אסטרונום בשם Willem Luyten באמצע המאה ה-20), הוא עשיר במיוחד באלומיניום, אבל מכיל יחסית מעט ברזל. אנו יכולים להשוות את הכמויות של תשעת היסודות באטמוספירה של NLTT 43806 עם הכמויות שלהם במערכת השמש שלנו, כולל במטאוריטים, בחלקים מכדור הארץ ועל פני השטח של הירח. בצורה הזו אסטרונומים הבינו שלא למנטים שנצפים ב-NLTT 43806 יש הרכב דומה לתערובת החומרים שנמצאת בקרום כדור הארץ ובקליפתו העליונה [4]. את התוצאה הזו אפשר לפרש כך שכוכב לכת חוץ-שמשי שהייתה בו התבדלות ושהכיל קרום, קליפה וגרעין, הסתובב פעם סביב NLTT 43806. אם כוכב הלכת הזה סבל מהתנגשות אלימה, אך לא חזיתית, עם כוכב לכת אחר, ההתנגשות יכולה הייתה לפשוט חלק משכבותיו החיצוניות של הכוכב שעבר התבדלות. אם השברים הסלעיים מההתנגשות הזו נפלו, בעקבות כך, לתוך NLTT 43806, זה יכול להסביר את היחסים בין היסודות השונים שנמדדו בימים אלה באטמוספירה של הננס הלבן הזה.

כשחוזרים, היום, לתגלית של Van Maanen 2 לפני 100 שנים, אנו מבינים סופסוף שהיסודות ברזל, מגנזיום וסידן שהספקטרומטר שלו איתר בכוכב Van Maanen 2 היו מוכרחים להגיע מאחד או יותר מהאסטרואידיים הסלעיים או מכוכבי הלכת המפורקים שחגו, לפני כן, סביב הננס הלבן הזה. מחקרים שנעשו לאחרונה על ננסים לבנים כמו NLTT 43806 מראים שאסטרונומים הגיעו רחוק, ב-10 השנים האחרונות בלבד, בהבנתם את העולמות הסלעיים החוץ-שמשיים. כיום אנו יודעים שההרכב של רוב העולמות האלה דומה לזה של כדור הארץ, ושהם גם בעלי מבנים של התבדלות. הצעדים הבאים עבור אסטרונומים יהיו לקבוע אם מישוהו מכוכבי הלכת האלה מאכלס צורות חיים חוצניות.

מקורות

1. van Maanen, A. 1917, Two Faint Stars with Large Proper Motion, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 29, 258–59
2. Zuckerman, B. 2015, Recognition of the First Observational Evidence of an Extrasolar Planetary System, ASPC, 493, 291–3
3. Jura, M. and Young, E. 2014, Extrasolar Cosmochemistry, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 42, 45–67
4. Zuckerman, B., Koester, D., Dufour, P., Melis, C., Klein, B. and Jura, M. 2011, An Aluminum/Calcium-rich, Iron-poor, White Dwarf Star: Evidence for an Extrasolar Planetary Lithosphere?, Astrophysical J. 739, 101–10

פורסם אונליין: 31 במאי 2018

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

ציטוט: Zuckerman B (2018) האם ישנם "כדורי ארץ" נוספים שם בחוץ? הרמזים הראשונים שיש לאסטרונומים לוקחים אותנו 100 שנים אחורה
Front. Young Minds. doi:10.3389/frym.2016.00006-he

תורגם והותאם מ:

Zuckerman B (2016). Are There Other Earths Out There? Astronomers' First Clues to an Answer Date Back 100 years. Front. Young Minds 4:6. doi:10.3389/frym.2016.00006

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

COPYRIGHT © Zuckerman 2016 . זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution (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

LAPWAI HIGH SCHOOL, גיל: 14-17

בית ספר תיכון iawpaL ממוקם ליד שמורת נו פרס (Nez Perce) ב-Lapwai, איידהו, ארצות הברית. המאמר נסקר על-ידי תשעה מתלמידי בית הספר שלומדים בכיתת המתמטיקה של כנסיית תמי (Tami's Church), והם האמריקאים ממוצא הודי הראשונים שסוקרים מאמר במסגרת העיתון Frontiers for Young Minds.



הכותבים

BENJAMIN ZUCKERMAN



עובד במחלקה לפיזיקה ואסטרונומיה באוניברסיטת קליפורניה בלוס אנג'לס. קיבל תואר בוגר ותארים מתקדמים מהמכון הטכנולוגי במסצ'וסטס (MIT) ומהרווארד. תחומי המחקר המדעי העיקריים שלו הם לידיה של כוכבים ומותם, ומערכות של כוכבי לכת. לכל אורך הדרך שמר על עניין מתמשך בשאלת קיום החיים, בפרט קיום חיים תבוניים, ברחבי היקום. היה שותף בעריכה של שישה ספרים, כולל הספר "חוצ'נים, היכן הם?" (Extraterrestrials, Where Are They?), שיצא בהוצאת קיימברידג' בשנת 1995, "המקור והאבולוציה של היקום" (The origin and Evolution of the Universe) בהוצאת ג'ונס ובארלט, שנת 1996 ו-"אוכלוסיית בני האדם והמשבר הסביבתי" (Human Population and the Environmental Crisis) בהוצאת ג'ונס ובארלט, שנת 1995. *ben@astro.ucla.edu

Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע"ר)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

