

כוכבי לכת רחוקים והבטחות גדולות: כיצד לאתר אקזופלנטות ואם יש בהן חיים

Michel Mayor*

המחלקה לאסטרונומיה, אוניברסיטת ז'נבה, ז'נבה, שווייץ

סוקרים צעירים

ANUSHKA
גיל: 15



FAYDH MOHAMMED
גיל: 16



YUTONG
גיל: 11



אחת השאלות הכי מעניינות, מרגשות וכובשות שאנו יכולים לשאול את עצמנו היא: האם מתקיימים חיים במקומות אחרים ביקום? שאלה זו הציתה את דמיונם של דורות רבים של סופרי מדע בדיוני, מדענים ואזרחים סקרנים. במאמר זה, אספר לכם על גילוי כוכב הלכת הראשון שמקיף כוכב דמוי-שמש מחוץ למערכת השמש שלנו (כוכב כזה מכונה אקזופלנטה – כוכב לכת חוץ-שמש). עבור גילוי זה זכיתי בפרס נובל לפיזיקה לשנת 2019. אספר לכם גם על ההתקדמות שהתאפשרה מאז תגלית זו, ועל האתגרים הנוכחיים שאנו מתמודדים עימם כשאנו עוסקים בשאלת גילוי חיים במקומות אחרים ביקום. עד כמה אנו קרובים לענות על השאלה העתיקה הזו? בואו נגלה.

פרופסור מישל מ'יור זכה בפרס נובל לפיזיקה לשנת 2019, במשותף עם פרופסור דידייה קוּלוּז, עבור התגלית של אקזופלנטה המקיפה כוכב דמוי-שמש, ועבור תרומתו להבנתנו את האבולוציה של היקום ומקומו של כדור הארץ בקוסמוס.

האם אתם מסוגלים לדמיין את האפשרות של קיום צורות חיים אחרות בַּמְקוֹם כְּלִשְׁהוּ ביקום? בתחילה, מחשבה זו עשויה להיראות מעט דמיונית או קשה לתפיסה. אולם, כְּאֶסְטֵרוֹפִיזִיקָאִי, אני יכול לומר לכם שהיא דִי סבירה. מדוע? מאחר שישנם כל כך הרבה כוכבי לכת ביקום – מספר אדיר שלא ניתן לתפוס – וחלקם עשויים להיות מועמדים טובים לתמיכה בהתפתחותם של חיים. לפני שנצלול לאפשרות של קיום חיים אחרים ביקום, ראשית נתבונן באופן שבו גילינו כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו.

כיצד לגלות כוכבי לכת רחוקים

כשאנו מחפשים **כוכבי לכת יְשִׁיבִים** שיכולים לאכלס חיים כפי שאנחנו מכירים אותם, חיפושנו הוא אֶחָר כוכבי לכת שדומים לכדור הארץ. אחד התנאים ההכרחיים הוא שכוכב לכת כזה יקיף כוכב אשר פולט חום ואור. הכוכב צריך לְסַפֵּק את הטמפרטורה ואת תנאי ייצור האנרגיה המתאימים שנחוצים עבור התפתחות חיים, כמו אלה שכדור הארץ מקבל מהשמש. אולם, נוכחותו של כוכב בהיר (כמו השמש) ליד כוכב עמום (כמו כדור הארץ) אינה מאפשרת למדענים לְאֶתֶר את כוכב הַלְקֵת ישירות, מאחר שהאור המשתקף מכוכב הלכת נבלע באור המגיע מהכוכב הבהוק. לדוגמה, השמש בהירה פי כמיליארד מהאור שמשתקף מכל כוכב לכת שסובב אותה. לכן, עָלִינוּ לְפֶתַח שיטות עֲקִיפּוֹת לאיתור נוכחותו של כוכב לכת. אחת מהשיטות הללו מְעַרְבֶת את איתור השינויים שכוכב לכת זה גורם למהירות של הכוכב הקרוב. כדי להבין את השיטה הזו, נכיר שני מושגים – קוויים סֶפֶקְטְרָלִיִּים וְאֶפֶקְט דוֹפְלֶר.

קוויים סֶפֶקְטְרָלִיִּים

כפי שאתם אולי יודעים, לכל אָטוֹם יש רמות אנרגיה שקשורות לתנועה של אלקטרונים מסביב לגרעין שלו. כאשר אור עובר דרך אָטוֹם, חֵלֶק מאורכי הגל של האור, הקשורים לרמות האנרגיה של האטום, נספגים על ידי האטום. אז, האור נפלט בצורה ספונטנית על ידי האטום, אך בתדירות שונה מעט מזו של האור הנספג (תופעה זו מכונה הֶסֶט). לכל סוג אטום (ברזל, מימן, סידן וכדומה) יש היסט ספציפי. כלומר, אם אנו מְאֶתְרִים את האור שנפלט לאחר שעבר אינטראקציה עם אטום, אנו מקבלים 'טביעת אצבע' מסוימת של אותו האטום מתוך אורכי הגל המסוימים שאנו צופים בהם. הֶסֶפֶקְטְרוֹם הנמדד של האור, שקודם לכן היה רציף, מורכב כעת מקוויים של אור מופחת (כהה), או מועצם (בהיר), באורכי גל מסוימים. קוויים אלה מכונים **קוויים סֶפֶקְטְרָלִיִּים**¹.

קוויים ספקטרליים מכוכבי לכת רחוקים

לכל כוכב יש שילוב ייחודי של אטומים באטמוספירה שמקיפה אותו. אם כן, כשאנו מְאֶתְרִים את אורו של כוכב לאחר שהוא עובר דרך האטמוספירה של הכוכב, אנו מקבלים את 'טביעת האצבע' הייחודית של הקוויים הספקטרליים שלו, אשר נובעת ממכלול האטומים השונים באטמוספירת הכוכב. ביכולתנו להשתמש בהיסטים קטנים בקוויים הספקטרליים האלה כדי להסיק לגבי נוכחותו של כוכב לכת שמקיף את אותו הכוכב. ההיסטים הקטנים הללו נובעים מתופעה המכונה אפקט דוֹפְלֶר.

כוכב לכת ישיב (Habitable Planet)

זהו כוכב לכת בעל תנאים הכרחיים המאפשרים קיום חיים.

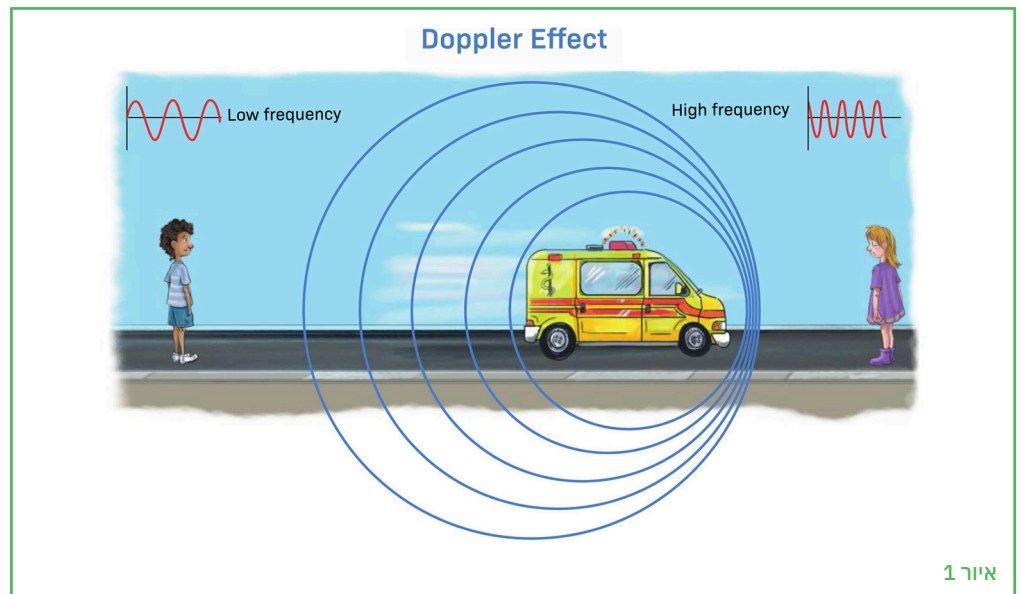
קו ספקטרלי (Spectral Line)

קו אור באורך גל מסוים, אשר נספג באטומים או נפלט מהם.

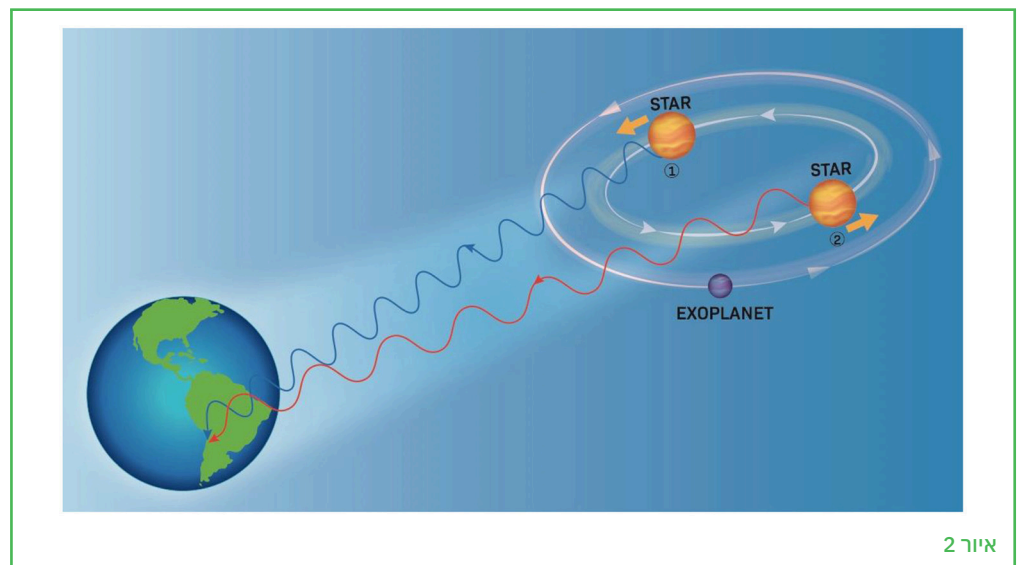
¹ לקריאה נוספת על אודות קוויים ספקטרליים, לחצו כאן.

אֶפְקֵט דּוֹפְלֵר

האם אי פעם הבחנתם בכך שכאשר אמבולנס נע לקראתכם עם סִינָה פעילה, גובה הצליל של הסירנה משתנה? הוא נעשה מהיר יותר וגבוה יותר כשהאמבולנס מתקרב אליכם, ואז גובה הצליל יורד ונעשה איטי יותר כשהאמבולנס עובר אתכם. למעשה, הצליל שבוקע מהסירנה אינו משתנה. מה שמשתנה הוא שכאשר האמבולנס מתקרב אליכם, לכל גל קול לוקח פחות זמן להגיע לאוזניכם מאשר לגל הקודם, מה שמוביל לעלייה בַּתְּדָר של הגלים. זה גורם לסירנה להישמע מהירה יותר כשהאמבולנס מתקרב אליכם, ואיטית יותר כשהוא מתרחק מכם² (איור 1). ההיסט הזה בתדר הנצפה מכונה אֶפְקֵט דּוֹפְלֵר.



אותו הדבר נכון גם עבור כל סוג של גל, לרבות גל אור. כאשר אובייקט מאיר כמו כוכב נע לקראתכם, תמונת הקווים הספקטרליים שלו תוסט לאורכי גל קצרים יותר ולתדר גבוה יותר (מה שמכונה 'הֶסְחָה לכחול'), וכשהוא נע הרחק מכם הספקטרום יוסט לאורכי גל ארוכים



² ראו הסבר מילולי לגבי התופעה באיור 1. לחצו כאן לצפייה בסרטון הדגמה.

אפקט דופלר (Doppler Effect)

אפקט פיזיקלי שבו אורך הגל הנמדד (התדירות) משתנה כאשר מקור הגל נע לכיוון הצופה או הרחק ממנו.

איור 1

אפקט דופלר. כאשר אמבולנס עם סירנה נע לקראתכם (לכיוון הילדה מימין באיור), צליל הסירנה מגיע אליכם מהר יותר (בתדר גבוה יותר) מאשר כשהאמבולנס מתרחק מכם (לכיוון הילד משמאל באיור, תדר נמוך). אפקט זה הוא תוצאה של שינוי בתדר מנקודת מבטו של הצופה. במציאות, תדר הסירנה אינו משתנה.

איור 2

איור אקזופלנטה באמצעות אפקט דופלר. אקזופלנטה שלא ניתן לראות ישירות מקיפה כוכב רחוק, וגורמת לכוכב לנוע במסלול אליפטי. לעיתים ינוע לעבר כדור הארץ (1), ולעיתים ינוע הרחק מכדור הארץ (2). כתוצאה מאפקט דופלר, אנו רואים היסטם בתדר של הקווים הספקטרליים שנפלטים על ידי הכוכב. ההיסט יהיה גבוה יותר (כחול) כאשר הכוכב נע לעבר כדור הארץ, ונמוך יותר (אדום) כאשר הכוכב נע הרחק מכדור הארץ. כפי שניתן לראות באיור 3, ההיסט יכול לשמש להסקת נוכחותה של אקזופלנטה (האיור עֵבֶד מ-ESO).

יותר ולתדר נמוך יותר (מה שמכונה 'הֶסְקָה לאדום'). כעת, כאשר כוכב הלכת מקיף את הכוכב, הוא משפיע על תנועת הכוכב כתוצאה מהכבידה של כוכב הלכת. הכוכב נע לאורך מסלול אֵלִיפְטִי שנגרם על ידי ההקפה של כוכב הלכת, ולכן במקודות מסוימות בזמן הכוכב ינוע אל עֵבֶר כדור הארץ, ובזמנים אחרים הוא ינוע הֶרְחָק מִכְדוּר הארץ. שינוי זה במהירות של הכוכב באופן יחסי לכדור הארץ יגרום לשינוי בקווים הספקטראליים של הכוכב³. לסיכום, המשמעות היא שאנו יכולים להסיק בעקיפין שישנו כוכב לכת שמקיף את הכוכב על ידי מדידת אפקט דופלר בקווים הספקטראליים של הכוכב (איור 2).

שיטת הקרוס-קורלציה

ישנו אתגר גדול בשימוש בשיטת דופלר לאיתור נוכחותו של כוכב לכת שלא ניתן לראותו ישירות. ההיסטים במהירות הכוכב שנגרמים כתוצאה מהאקזופלנטה הם בטווח של כמה מטרים בשנייה בלבד, או אפילו פחות. במונחים של היסטי דופלר של הקווים הספקטראליים של הכוכב, משמעות ההיסט הקטן הזה במהירות הכוכב היא היסטים של פחות ממיליארדית (1/1,000,000,000) מאורך הגל הנפלט שלו [1]. זהו אחוז קטן כל כך עד שבלתי אפשרי למדוד אותו באמצעות שינויים בקווים ספקטראליים בודדים שנובעים מאפקט דופלר.

אם כן, מה עשינו כדי להגדיל את הדיוק של מדידה זו? השתמשנו בתכסיס מתוחכם אחר, שנקרא **שיטת הקרוס-קורלציה**. שיטה זו שופרה בשנות ה-80 וה-90 של המאה הקודמת, ומילאה תפקיד חשוב ביכולתנו לִאֶתֵר כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו.

הרעיון המרכזי כאן הוא שבמקום למדוד את ההיסט רק בקו ספקטראלי בודד הנפלט מכוכב שמעניין אותנו, אנו מודדים את ההיסט הִקוֹלְקֵיבִי כתוצאה מהשפעתו של אפקט דופלר על כל הקווים הספקטראליים שנפלטו מהכוכב. עשינו זאת באמצעות מכשיר שנקרא **סֶפֶקְטְרוֹמֶטֶר קוֹרֶבֶל** (CORAVEL; איור 3A) [1, 2]. ספקטרומטר זה מכיל צלחת עם סֶט של חורים (איור 3B), אשר ממוקמים בדיוק במיקומים שבהם אנו מצפים לקבל קווים ספקטראליים כהים באור שמגיע מכוכב מסוים. כל האור שעובר דרך החורים האלה נשלח לִגְלָאי יחיד. כאשר הקווים הספקטראליים הכהים של הכוכב נמצאים בדיוק מול החורים בצלחת, אנו מִאֶתְרִים מינימום מהאור שעובר (איור 3C, משמאל). אולם, אם יש לנו היסט דופלר כתוצאה מאקזופלנטה שמשפיעה על תנועת הכוכב, אז המיקום של אלפים רבים של קווים ספקטראליים יוסט בו בזמן ביחס למיקום החורים בצלחת, וכמות האור שתעבור דרך החורים תגדל (איור 3C, מימין). לאחר היסט דופלר זה, עֵלִינוּ להזיז את הצלחת כך שהחורים יהיו ממוקמים שוב מול הקווים הספקטראליים השחורים. באופן זה נקבל שוב כמות אור מינימלית בגלאי שלנו.

כשאנו מודדים את קווי הבליעה הספקטראליים של הכוכב בשני מיקומים על גבי מסלול תנועתו, ומזיזים את הצלחת כך שבכל פעם מאותרת כמות האור המינימלית, אנו יודעים כמה הצלחת זזה בין המינימום הראשון (המיקום הראשון של הכוכב) למינימום השני (המיקום השני של הכוכב). היסט זה במיקום הצלחת בין שתי נקודות מינימום הוא תוצאה ישירה של היסט דופלר של הקווים הספקטראליים של הכוכב, כתוצאה מנוכחותה של

³ לחצו כאן לצפייה בהדגמת וידיאו.

אקזופלנטה (Exoplanet)

כוכב לכת שממוקם מחוץ למערכת השמש שלנו, ומקיף כוכב דמוי-שמש.

שיטת הקרוס-קורלציה (Cross-correlation Technique)

שיטה שמתמשת באפקט דופלר על קווים ספקטראליים מאור של כוכב רחוק, במטרה לִאֶתֵר כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו.

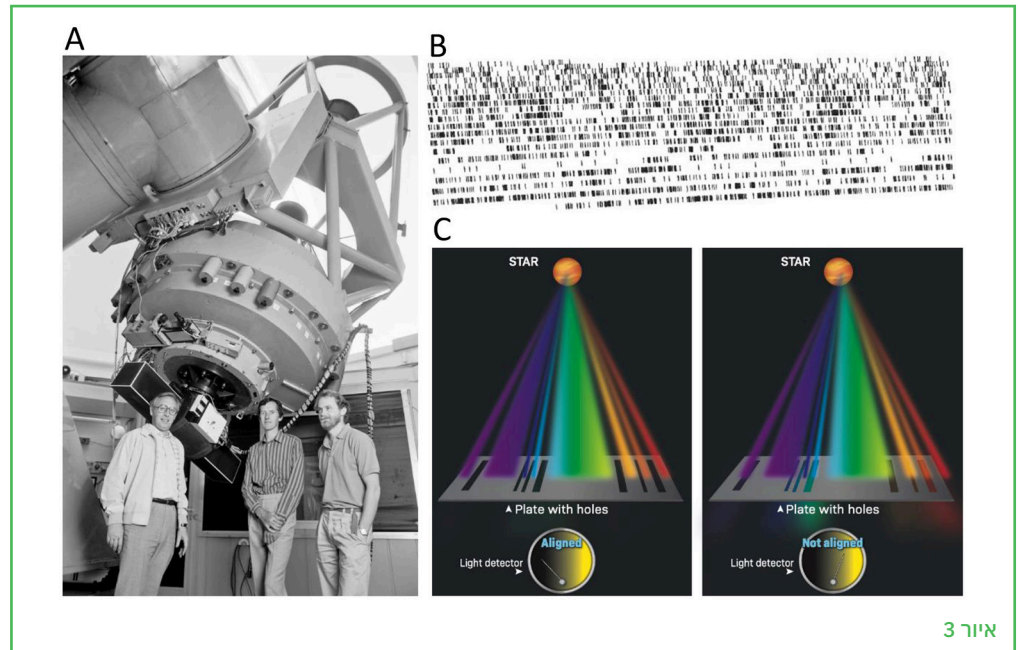
ספקטרומטר (Spectrometer)

מכשיר המשמש לאיתור ספקטרום האור ולניתוחו, ובמקרה שלנו אור המגיע מכוכבים ומכוכבי לכת.

איור 3

מידת קרוס-קורלציה באמצעות הספקטרוֹמֶטֶר קוֹרְבֵל (A) חברי צוות עומדים מול ספקטרוֹמֶטֶר קוֹרְבֵל (CORAVEL), שממוקם במצפה הכוכבים La Silla בצ'ילה. (B) צלחת קורבל המקורית עם החורים שלה (קווים שחורים) ששימשה אותנו לְאָתֵר את היסטי הדופלר של קווים ספקטריים (כהים) רבים שהגיעו מהאקזופלנטה 51 פגאסי בי (שלגביה יורחב בהמשך המאמר), בעזרת שיטת הקרוס-קורלציה. (C) האור שמגיע מכוכב, מרוכז על ידי טלסקופ קוֹרְבֵל ומוקרן לצלחת עם חורים. כאשר הקווים השחורים ממוקמים בדיוק מעל לחורים בצלחת, כמות אור מינימלית מגיעה לְגֵלַי האור ('Aligned'), כאשר הקווים השחורים מוסטים עקב אפקט דופלר, כתוצאה מנוכחותו של כוכב לכת המקיף את הכוכב הזה, הם כבר לא ממוקמים מעל לחורים בצלחת, וכמות אור גדולה יותר עוברת דרך הצלחת ומגיעה לְגֵלַי ('Not aligned'). באיור מימין). היסט זה במיקום של הקווים הספקטריים מאפשר לנו להסיק לגבי נוכחותו של כוכב לכת שמקיף את הכוכב. קרדיטים לתמונות: (A) ESO, (B) מתוך Mayor, M. [1].

אקזופלנטה. על ידי חישוב היסט הדופלר בקווים הספקטריים של הכוכב, בשילוב מדידה אחרת, ביכולתנו ללמוד על המאפיינים של האקזופלנטה שאיתרנו.



איור 3

מהירות דופלר (Doppler velocity)

השינוי במהירות של כוכב, שנובע מנוכחות כוכב לכת קרוב המקיף אותו.

שיטת הקרוס-קורלציה אפשרה לנו לְרַכֵּז את המידע מאפקט דופלר מכל הקווים הספקטריים הבודדים לכדי כמות אחת. כמות זו מכונה **מהירות דופלר**, מאחר שהיא מלמדת אותנו מהו השינוי במהירותו של כוכב כתוצאה מנוכחות כוכב לכת קרוב שמקיף אותו. באמצעות מהירות דופלר, בשילוב כמה מדידות אחרות, אנו יכולים להסיק לא רק לגבי הנוכחות של כוכב הלכת, אלא גם ללמוד על אודות המָסָה שלו, גודלו והזמן שלוקח לאותו כוכב לכת להשלים הקָפָה אחת סביב הכוכב. שיטה זו אפשרה לנו לְאָתֵר את 51 פְּגָאִסִי בִי – האקזופלנטה הראשונה שעמית, דידיה קוולוז, ואני גילינו ב-1995 [3]. עם ספקטוגרפים עכשוויים, הספקטרומים של כוכבים מתקבלים בדרך מעט שונה. במקום לסרוק את הספקטרום על גבי צלחת פיזית, הספקטרום נרשם על חיישנים מיוחדים שנקראים גלאי CCD (כמו אלה שיש לנו במצלמות דיגיטליות). לאחר מכן, הוא מנותח על ידי מחשב, על בסיס אותו עקרון קרוס-קורלציה שראינו קודם.

51 פְּגָאִסִי בִי: גילוי האקזופלנטה הראשונה שנמדדה מקיפה כוכב דמוי-שמש

51 פגאסי בי (51 Pegasi b, **איור 4A**) הוא כוכב לכת הממוקם כ-50 שנות אור (בערך 4.7 מאות-אלפי-מיליארדי קילומטרים!) מכדור הארץ, בקבוצת הכוכבים 'פְּגָסוּס' בשביל החלב⁴. הטמפרטורה שלו חמה, כ-1,000 מעלות צלזיוס. הוא מקיף כוכב דמוי-שמש שנקרא 51 פְּגָאִסִי, ומשלים הקָפָה אחת מְדִי כ-4.2 ימים. 51 פגאסי בי מורכב בעיקר מְגָזִים, ומסווג בתור ענק גזי, כמו כוכב צדק. מאחר שהוא מקיף את הכוכב שלו ממרחק קרוב כל כך, לעיתים הוא מכונה 'כוכב צדק חם'. המָסָה של 51 פגאסי בי קלה בכ-47% מהמסה של כוכב צדק, והוא גדול בכ-50% מגודלו של צדק. כוכב 51 פגאסי כבד יותר בכ-11% מהשמש שלנו, וגדול ממנה בכ-23%.

⁴ מידע על אודות קבוצת הכוכבים 'פגסוס' תוכלו לקרוא כאן.

איור 4

חיפוש אחר אקזופלנטות. (A) ייצוג יצירתי של האקזופלנטה 51 פגאסי בי (כדור קטן) והכוכב שהיא מקיפה, 51 פגאסי. 51 פגאסי בי הוא כוכב לכת גזי שמרחקו כ-50 שנות אור מכדור הארץ. זהו כוכב הלכת הראשון שמקיף כוכב דמוי-שמש, אשר התגלה מחוץ למערכת השמש שלנו. (B) עמית, ידידיה קוולוז (משמאל) ואני, עומדים מול טלסקופ הארפס (HARPS) שגודלו 3.6 מטרים, במצפה הכוכבים La Silla בצ'ילה. מאז 2003, ספקטוגרף הארפס, העושה שימוש בשיטת הקרוס-קורלציה שפיתחנו, משמש לחיפוש אחר אקזופלנטות. קרדיטים לתמונות: NASA/JPL-Caltech (A) L.Weinstein/Ciel et (B) Space Photos.



איור 4

כפי שצינו לעיל, 51 פגאסי בי היה האקזופלנטה הראשונה שהתגלתה כסובבת סביב כוכב. בעוד שהכוכב והאקזופלנטה האלה הם מושאי מחקר מרתקים בפני עצמם, גילויים הוביל אף לפריצת דרך בתחום איתור כוכבי לכת, בשתי דרכים משמעותיות. ראשית, התגלית של 51 פגאסי בי הוכיחה כי כוכבי לכת שמקיפים כוכבים מתקיימים במקומות אחרים ביקום נוסף על מערכת השמש שלנו – דבר שלא היה ודאי לפני כן – וכי ניתן לאתר את כוכבי הלכת האלה באמצעות שימוש בשיטת הקרוס-קורלציה. שנית, תגלית זו הוכיחה תיאוריה המכונה 'הגירת כוכבי לכת' (planetary migration). תיאוריה זו מבוססת על הרעיון שלפיו עם הזמן כוכבי לכת יכולים להגר, או לנוע, קרוב יותר לכוכבים שאותם הם מקיפים⁵. כוכבים ענקיים, אשר קרובים מאוד לכוכבים שאותם הם מקיפים, אטרקטיביים מאוד עבור אסטרופיזיקאים מאחר שכוכבי לכת כאלה ניתן לגלות בתוך פרק זמן קצר יותר, באמצעות שיטת הקרוס-קורלציה. לפני גילוי של 51 פגאסי בי, מדענים האמינו כי זמן המחזור של הקפה אחת של כוכב ענק לא יכול להיות פחות מ-10 שנים, כלומר היה לוקח כעשור לאתר כוכב לכת אחד באמצעות אפקט דופלר! אולם, התגלית שלנו הראתה כי זמן המחזור של הקפה אחת יכול להיות קצר עד כדי כמה ימים בלבד – כלומר קצר יותר פי אלף מהמצופה! המשמעות היא שניתן לאתר אקזופלנטות מסוימות בתוך כמה ימים בלבד.

שתי פריצות הדרך האלה תרמו משמעותית לאיתורן של אקזופלנטות נוספות המקיפות כוכבים. נכון להיום, התגלו יותר מ-5,000 אקזופלנטות כאלה! זהו צעד חשוב לקראת איתור של חיים אפשריים ביקום.

חיים ביקום

ההגדרה הנוכחית שלנו של חיים, כפי שאנו מכירים אותם, כוללת שלושה מאפיינים עיקריים: מערכת חיה צריכה להיות מסוגלת – להגן על עצמה מפני הסביבה, לתקשר עם הסביבה ולהעביר מידע לדור הבא. העברת מידע זו מבוצעת באמצעות שרשראות ארוכות של אטומים ומולקולות (מכונות החומר הגנטי, או דנ"א), שהן שבריריות מאוד. מולקולות דנ"א דורשות טמפרטורות מסוימות ונוכחות של מים. המשמעות היא שאם קיימת אקזופלנטה שמכילה חיים, היא צריכה לקיים את הדרישות הללו⁶. כעת, עד כמה סביר למצוא כוכב לכת שכזה? מאחר שישנם כל כך הרבה כוכבי לכת ביקום, אנו משוכנעים לחלוטין כי ברבים מהם ישנה אפשרות להתפתחות חיים. אולם, בתור מדענים, איננו מסתפקים בתשובה 'כן', זה סביר מאוד, אלא מעוניינים להוכיח זאת.

⁶ אם אקזופלנטה אכן מקיימת את הדרישות האלה, אין זה מעיד בהכרח כי מתקיימים עליה חיים, אלא רק שיש לה פוטנציאל לקיום חיים. באפשרותנו גם לחלום על צורות חיים שונות לגמרי שיכולות להתפתח תחת תנאים שונים מאלה שאנו מכירים. אולם, אנו בוחרים להתחיל עם האפשרויות הפשוטות ביותר, המבוססות על המדע העדכני שמוכר לנו.

⁷ המשמעות היא גם שאפילו אם נמצא כוכב לכת ישיב מחוץ למערכת השמש שלנו, הוא לא יהיה מתאים להגירה אנושית בהתאם להבנתנו הנוכחית את חוקי הפיזיקה. לכן, עלינו להשקיע מאמצים גדולים בהגנה על כדור הארץ, כדי שיישאר בעל תנאים הכרחיים לקיום חיים אנושיים במשך דורות רבים נוספים.

⁸ לקריאת מידע נוסף על אודות שיטה זו, לחצו כאן [4].

ייתכן שנדמה כי הדרך הפשוטה ביותר לגלות חיים על כוכבי לכת אחרים היא לשלוח אליהם חלליות שיִסְקְרוּ את השטח ויצלמו תמונות. אולם, זה בלתי אפשרי באמצעות הטכנולוגיה העכשווית שלנו, והבנתנו הנוכחית את חוקי הפיזיקה. הסיבה היא שהיה לוקח זמן רב מדי לחללית להגיע לכוכבי הלכת הרחוקים מאוד הללו, והייתה נדרשת לצורך כך כמות בלתי סבירה של אנרגיה⁷. מכאן, עלינו להשתמש בשיטות של איתור מרחוק, שהן מדידות ותצפיות בלתי ישירות, שיכולות להעיד על קיום אפשרי של חיים על פני כוכבי לכת מסוימים. לדוגמה, ביכולתנו לנתח את ההרכבים הכימיים של האטמוספירות של אקזופלנטות באמצעות שימוש בקווים ספקטרליים. מאחר שאנו מכירים היטב את הקווים הספקטרליים של היסודות הכימיים באטמוספירת כדור הארץ, כמו למשל חמצן (אוזון), חנקן, מתאן ופחמן דו-חמצני, אנו יכולים לנסות למצוא תבניות דומות באטמוספירות של כוכבי לכת אחרים⁸. על אף שכיווני מחקר אלה ונוספים הינם מבטיחים, הם מורכבים מאוד ומצריכים פיתוחים נוספים לפני שיהפכו שימושיים. אם כן, השאלות הגדולות של אם וכיצד באפשרותנו לִאֶתֵר חיים על אקזופלנטות, נותרות כאתגר מרתק עבור הדורות הבאים של מדענים צעירים – כמוכם!

המלצות למוחות צעירים

כדי להיות מדענים, אני מאמין שעליכם להיות בעלי סקרנות רבה. מדע אינו עבודה 'נורמלית', הוא אינו מתבצע רק במטרה להרוויח כסף. אך אם אתם סקרנים לגבי נושא כלשהו במדע, אני מאמין שתהיו מאושרים בתור מדענים – זה עד כדי כך פשוט. מעולם לא התחרטתי על כך שבחרתי להיות מדען. עבורי, אחד התענוגות הגדולים של היותי מדען הוא שִנְפֵּלָה בחלקי הזכות לעבוד עם אנשים מכל רחבי העולם. נחמד להרגיש שיש לי חברים במקומות רבים ברחבי הגלובוס.

אני מאמין גם שחשוב מאוד שמדענים יהיו מסוגלים לעבוד היטב בצוותים. בְּעֵבְרִי הובלתי כמה צוותי מחקר במשך שנים רבות, והבחנתי בכך שמספיק שאדם אחד אינו משתלב טוב בצוות, כדי שכל חברי הצוות יושפעו מכך לרעה. כחלק מצוות, אתם צריכים לחוש בנוח עם העמיתים שלכם, ולאהוב לפגוש אותם בעבודה ולעבוד עימם. אם כן, ודאו שאתם מתחברים עם האנשים הנכונים, ונהנים מהאינטראקציות היומיומיות שלכם.

חומרים נוספים

- מישל מיור, זוכה פרס נובל לפיזיקה לשנת 2019: ריאיון רשמי (ועדת פרס נובל).
- פרס נובל לפיזיקה לשנת 2019 - גילוי האקזופלנטה הראשונה (ועדת פרס נובל).

תודות

ברצוני להודות לנועה שגב על עריכת הריאיון שהיווה את הבסיס למאמר זה, ועל כתיבה משותפת של המאמר. תודה לשרון עמלני עבור איורים 1, 2 ו-3C במאמר זה.

מקורות

1. Mayor, M. 2020. Nobel lecture: plurality of worlds in the cosmos: a dream of antiquity, a modern reality of astrophysics. *Rev. Mod. Phys.* 92:030502. Available online at: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.92.030502>
2. Baranne, A., Mayor, M., and Poncet J. L. 1979. Coravel-a new tool for radial velocity measurement. *Vist. Astron.* 23:279–316. doi: 10.1016/0083-6656(79)90016-3
3. Mayor, M., and Queloz, D. 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature* 378:355–9.
4. Schwieterman, E. W., Kiang, N. Y., Parenteau, M. N., Harman, C. E., DasSarma, S., Fisher, T. M., et al. 2018. Exoplanet biosignatures: a review of remotely detectable signs of life. *Astrobiology*. 18:663–708. doi: 10.1089/ast.2017.1729

פורסם אונליין: 23 בדצמבר 2022

נערך על ידי: Joey Shapiro Key

מנחים מדעיים: Amal Dameer, Ila Mishra, and Dongliang Liu

ציטוט: Mayor M (2022) כוכבי לכת רחוקים והבטחות גדולות: כיצד לאתר אקזופלנטות ואם יש בהן חיים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2022.857995-he

תורגם והותאם מ: Mayor M (2022) Distant Planets and Big Promises: How to Detect Exoplanets and Whether They Have Life. *Front. Young Minds* 10:857995. doi: 10.3389/frym.2022.857995

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

COPYRIGHT © 2022 © Mayor 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(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

ANUSHKA, גיל: 15

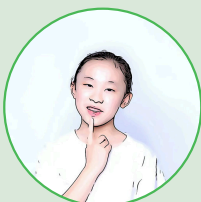
התחבבים שלי הם קריאה ושירה. אני חולמת לפתח קריירה באסטרופיזיקה. תמיד התעניינתי בחלל ובבסיבין הוליווד. אני אוהבת לנסות דברים חדשים, לפגוש אנשים, וללמוד על תרבויות שונות.





FAYDH MOHAMMED, גיל: 16

קוראים לי פאיד מוחמד. אני אוהב לעשות הרבה סוגי ספורט וללמוד דברים מעניינים. אני טוב עם טכנולוגיה ואני אוהב לחקור כלים טכנולוגיים וגדג'טים חדשים. אני גם קצת מוכשר בציור. אני רוצה לפתח את החשיבה והכשרונות שלי על מנת לבנות לעצמי חיים מספקים בעתיד. אני מאד מתרגש לעבוד עם פרונטירז – מדע לצעירים!



YUTONG, גיל: 11

היי, אני יוטונג. אני אוהבת לשחות, להחליק על קרח ולטפס. אני אוהבת מוזיקה ושירה, ואני גם מנגנת על פסנתר. אני מקווה שבאמצעות סקירת המאמרים האלה, אוכל ללמוד דברים חדשים ומעניינים!

הכותב



MICHEL MAYOR

פרופסור מישל מייור הוא אסטרופיזיקאי שווייצרי שנולד ב-1942 בלוזן, שווייץ. בין גילי 11-16, היה לו מורה נפלא למדעים, שעורר את סקרנותו בנוגע למדע. בתקופת לימודיו בבית הספר, היה חבר פעיל בצופים, השתתף בטיפוס, סקי וקמפינג בהרים גבוהים, ובפעילויות שונות בטבע. פרופ' מייור למד באוניברסיטת לוזן, שם קיבל את התואר השני שלו ב-1966 עבור מחקרו על אינטראקציות של ספינים. לאחר מכן, עבר למצפה ז'נבה (אוניברסיטת ז'נבה), שם השלים את תזת הדוקטורט שלו ב-1971 על גלי צפיפות בגלקסיות ספירליות, והיה בה לפרופסור ב-1988. פרופ' מייור עבד גם באוניברסיטת קיימברידג', במצפה האירופי הדרומי בצ'ילה ובאוניברסיטת הוואי. פרופ' מייור ועמיתיו פיתחו כמה שיטות למדידה מדויקת של מהירויות כוכבים, ושיפרו את מדידות היסט דופלר של קווים ספקטרליים באמצעות שיטת הקרוס-קורלציה, שבסופו של דבר אפשרו את איתורן של אקזופלנטות. בשנת 1995, עם פרופ' דידייה קוולוז, גילה את 51 פגאסי בי – כוכב הלכת הראשון שהתגלה מחוץ למערכת השמש שלנו, אשר מקיף כוכב דמוי-שמש בגלקסיית הבית שלנו, שביל החלב. עבור תגלית זו זכה בפרס נובל לפיזיקה לשנת 2019, במשותף עם פרופ' קוולוז. עם הפרסים האחרים שקיבל נמנים מדליית אלברט איינשטיין (2004); פרס שאו באסטרונומיה (2005); פרס קייטו (2015); ופרס וולף (2017). כיום, פרופ' מייור מכהן כפרופסור אקדמי במחלקה לאסטרונומיה באוניברסיטת ז'נבה, וכחוקר פעיל במצפה הכוכבים של ז'נבה. נשוי לפרנסואז ולהם שלושה ילדים, אן, קלייר וג'וליאן, וחמישה נכדים. *michel.mayor@unige.ch

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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK