



הבלשית של כוכבי הלכת



צילום: ענוד קורי

ד"ר אלונה וזאן מהמחלקה למדעי הטבע והחיים באו"פ חוקרת פלנטות זרות, בתוך מערכת השמש שלנו ומחוצה לה. בריאיון ל"אסכולה" היא מספרת כיצד התגלגלה לתחום הייחודי הזה, איך גילוי פלנטות מחוץ למערכת השמש עשה מהפכה בתחום, ומה הסיכוי למצוא חיים שבי כוכבים אחרים.

Tיג אוהב דגים, קבעו חברי להקת הגשש החיוור כבר לפני שנים רבות, וד"ר אלונה וזאן מהמחלקה למדעי הטבע והחיים באו"פ מודה שחוקר פלנטות אוהב פלנטות. "כן", היא צוחקת, "אני אוהבת אותן כמעט ברמה האישית - שאודה שיש לי תמונה של פלנטות בחדר השינה? קצת מביך, אבל זאת האמת".

וזאן היא בין החוקרות הבודדות בישראל בתחום האסטרונומיקה, תחום ששואב אליו מעט נשים יחסית, בוודאי בישראל. "יש הרבה פחות נשים בתחומים האלה, וככל שעולים בהיררכיה - כמות הנשים מצטמצמת. אני חושבת שלגיטימי שיהיו הבדלים טבעיים במשיכה מגדרית למקצועות שונים, אבל מטריד אותי ששליש מהלומדים פיזיקה לבגרות ברמה של חמש יחידות הן בנות, אבל הנשים שהן החברות סגל באקדמיה בפיזיקה הן רק שבעה אחוזים מהסגל. אז מה קורה בדרך עם השאר? לכך צריך לשים לב.

במסגרת תפקידה כחוקרת פלנטות (כוכבי לכת), וזאן מתבוננת במידע המגיע מתצפיות ברחבי העולם, מנתחת אותו, ומסיקה מסקנות באשר לתכונות האופי של כוכבי לכת במערכת השמש שלנו ובמערכות שמש אחרות. "בתפקידי אני הבלש של כוכבי הלכת, שאוסף את הממצאים, מנסה לחבר מהם סיפור ולפענח את מה שמסתתר מאחורי הממצאים. יש תצפיתנים עם טלסקופים ענקיים בכל רחבי העולם המחפשים כוכבי לכת. התפקיד שלי הוא להסביר מה רואים, לתרגם את התצפיות למה שהולך שם בפנים, בתוך אותם כוכבי לכת - אילו תנאים המתקיימים בהם, מדוע תנאים אלה קיימים ואיך הם נוצרו?"

איך מתגלגלים לתחום כזה ייחודי בישראל?

"עשיתי תואר ראשון בפיזיקה, ועבדתי כפיזיקאית בחברת HP במשך כמה שנים. הרגשתי שבא לי להתפתח עוד, בא לי ללמוד לתארים מתקדמים. בדיוק באותה תקופה נולדה בתי השנייה, והגמישות שבחיי הלימודים לצד האימהות קרצה לי מאוד. אז המשכתי לתואר שני ומשם לתואר שלישי באוניברסיטת תל אביב במדעים פלנטריים. הדוקטורט שלי עסק בפלנטות ענק. זהו, התאהבתי לחלוטין בתחום של חקר פלנטות, וידעתי שזה מה שאני רוצה להמשיך לעשות".

בישראל לא מדובר בתחום מרכזי. לא מסובך לחקר פלנטות דווקא אצלנו?

"בתחום שלי, של המחקר התיאורטי, זה לא כל כך משנה איפה אתה נמצא. למעשה, בעידן שבו אנחנו נמצאים

אפילו תצפיתנים לא תמיד יושבים ליד הטלסקופ, אלא שולטים בו מרחוק. אבל בוודאי במחקר תיאורטי, אין זה משנה אם אני יושבת בישראל או במקום אחר. אני עובדת בשיתופי פעולה בין-לאומיים, ובשביל מה שאני עושה היום אני צריכה בעיקר מחשב מתאים. החודש למשל, העברתי את כל החישובים שלי לאוניברסיטה הפתוחה והקצו לי במרכז החישובים את כל מה שדרוש לכך. תקופת הקורונה ממחישה לנו עוד יותר כמה גלובלי העולם. הנושא של המקום שבו אתה יושב פיזית הופך פחות ופחות חשוב, בעיקר בתחומים התיאורטיים".

איך התפתח חקר הפלנטות לאורך השנים?

"בעיקרון, אם אני מסתכלת ברמה ההיסטורית, עד שנות התשעים ידענו רק על הפלנטות שבמערכת השמש. ידענו שיש ארבע פלנטות ארציות: חמה, נגה, כדור הארץ ומאדים; רחוק יותר יש שתי פלנטות ענקיות: צדק ושבתאי; ובחלק החיצוני של המערכת נמצאות אלה המכונות 'ענקי הקרח', למרות שלא ברור כמה קרח באמת יש בהן: אורנוס ונפטון.

"עד 1995 אלה היו הפלנטות היחידות שהכרנו, כי היה קשה מאוד לאתר פלנטות מחוץ למערכת השמש, כלומר כאלה המסתובבות סביב שמשות אחרות. חשבו על זה שיש פלנטות מחוץ למערכת השמש כבר שנים רבות לפני כן, אבל היה צריך לפתח שיטות מתקדמות כדי להגיע לגילוי שלהן. רק בשנת 1995 התגלתה פלנטה ראשונה סביב כוכב אחר, ובשנה שעברה קיבלו המגלים פרס נובל בפיזיקה על הגילוי הזה.

"מאז השתכללו מאוד שיטות הגילוי, והיום אנחנו יודעים על אלפי פלנטות סביב כוכבים אחרים בגלקסיה. מה שמדהים בזה הוא, שפתאום אנחנו רואים כל כך הרבה סוגים של מערכות שמש שהן לא כמו שלנו. חלק מהתכונות של הפלנטות שהתגלו בהתחלה נראו לא הגיוניות להרבה חוקרים. חשבו שאולי יש טעות במדידה, כי הגילויים הללו לא התאימו לתיאוריות שלנו. לכן היה צריך לפתח תיאוריות חדשות שיתאימו לגילויים, וזה חלק ממה שאנחנו עושים בעבודה שלנו.

"כרגע ישנם טלסקופים הצופים בחלל, גם של נאס"א וגם של סוכנות החלל האירופאית, טלסקופים שמאתרים עוד פלנטות ומגלים עוד נתונים אודותיהן, כולל על גודלן הפיזי, על המסה שלהן, על מרחקן מהכוכב וכדומה. בחלק משימות החלל העתידיות נאתר חומרים שונים באטמוספירה, ותהיה גם משימת חלל שתיתן לנו הערכה לגבי גילן של פלנטות. כך אנחנו בונים את הפאזל בניסיון לפענח כיצד פלנטות נוצרות".



איך מתבצע המחקר בפועל?

"יש כמה דרכים: דרך אחת היא לקחת נתונים של פלנטות מתצפיות קיימות ולנסות להסביר אותם. דרך שנייה היא לקחת את מה שאנחנו יודעים על הנתונים ההתחלתיים, ובשנים האחרונות יש לנו יותר מידע על השלב הזה, ולהשתמש בחוקים פיזיקליים כדי לבנות מודל שבו אפשר כביכול להקדים את הזמן. למשל, אנחנו מפתחים מודלים כאלה של היווצרות פלנטות, ואחר כך בודקים מה קורה איתן עם הזמן ומשווים לתצפיות. אז אני יכולה לנתח מה הסבירות לקיומם של חומרים מסוימים בתוך פלנטה, מה המבנה שלה, ומה הקשר של התכונות האלה לתנאי היווצרות של הפלנטה.

"יש אתגר די רציני בהיווצרות של פלנטות, כי יש המון שלבים המעורבים בתהליך. הוא מתחיל משאריות של כוכב שנוצר. גז ואבק – זה מה שיש שם בהתחלה, עננים ענקיים של גז ואבק שמסתובבים סביב הכוכב. התהליך מתחיל מהגז והאבק ומסתיים במערכת שמש המכילה גופים של אלפי קילומטרים – פלנטות.

"בחלק מהעבודה שלי אני לוקחת את המידע מהתצפיות על הגוף הזה ובוחנת אילו תהליכים פיזיקליים משפיעים על היצירה וההתפתחות שלו. משם אני מתחילה. אני מסתכלת על מבנה הגוף המדובר, על הלחצים המופעלים עליו, על חומרים מסוימים שנמצאים בו ועל אופן התנהגותם, ועושה שילוב בין הנחות מושכלות לבין חישובים תיאורטיים. בהמשך אני משווה את הממצא הזה לתצפיות שנעשו על הפלנטה ומסיקה מסקנות.

"יש גם מחקרים שבאים מכיוון המעבדה. למשל, במחקר ששלחנו לאחרונה לפרסום, נקודת המוצא שלנו הייתה ניסויים במעבדה. השתמשנו בניסויים שבהם לקחו סלע וקרח ודחסו אותם יחד חזק מאוד, כדי לראות מה קורה כאשר קרח וסלע מעורבים בלחצים גבוהים בתוך כדור הארץ ובפלנטות אחרות. התברר שהם הופכים לתמיסה אחת בגלל הלחץ הגבוה. בסיום המחקר הסקנו שבתוך פלנטות עם הרבה קרח אין לצפות למבנה של שכבות מסודרות אלא למשהו מעוות ומעורבב יותר".

איך את בונה מודל לפלנטה? האם נותנים שם ומיקום או שמנסים לאבחן ממה הפלנטה בנויה ומה הסיכוי שיתפתחו בה חיים?

"האפשרות השנייה מתאימה יותר. במקרה של פלנטות במערכת השמש שלנו אנחנו ממש מנסים להבין מה הולך בפנים ואיך זה נראה. לפני שנתיים, למשל, הובלתי מאמר על כוכב הלכת 'צדק' שתיאר את המבנה הפנימי שלו – ממש ברמה של המראה של החלק הפנימי – נניח, כמו שעוגה נראית אחרי שפורסים ממנה פרוסה ומסתכלים על השכבות שלה בפנים ועל הרכבם של החומרים שם. השווינו את התוצאות של הניתוח שלנו למדידות ממשימת החלל ג'ונו, שממוקמת בצדק ומודדת באופן מדויק מומנטים של גרביטציה, ונותנת לנו אינדיקציות על האופן שבו החומר מפוזר בתוך הפלנטה. בנינו מודלים חדשים שמראים שההתפלגות של החומרים בתוך צדק שונה מאוד מהמבנה שחשבנו עליו לפני כן. קודם היה נהוג לחשוב שהמבנה הוא של שכבות של חומרים שונים, בדומה לבטן כדור הארץ. אבל מה שאנחנו רואים במודלים החדשים, ותואם את התצפיות החדשות, הוא הרכב מדורג יותר, שבו אין שכבות אלא ישנו שינוי הדרגתי בריכוזים של חומרים שונים".

מה המשמעות של ממצא כזה?

"יש לו השלכות גדולות על הפירוש של התצפיות, כי האופן שבו החומר מפוזר בפנים מסייע לנו לתרגם את ההרכב לכמויות – כמה חומר מכל סוג יש שם. לכמות החומרים השונים יש קשר למיקום הפלנטה בזמן ההיווצרות שלה, וגם נתון זה לא ידוע. זה מראה לנו שאפילו בשכונה הקרובה שלנו, כאן במערכת השמש, עוד יש לנו הרבה דברים לגלות".

מרכזי תצפית ברחבי העולם מנסים כבר, במשך עשרות שנים, לאתר חיים במערכות שמש או בפלנטות אחרות. למשל במרכז SETI (מרכז לתצפית אחר סביבות חיים חוצניות). האם אנחנו קרובים לגילויים של חיים חיצוניים או שדווקא הולכים ומתייאשים מהאפשרות הזאת?

קצת מפתיע שעדיין לא גילו סימני חיים במקומות נוספים.

"באופן סטטיסטי, וגם לתחושי האישי, לא סביר שאין חיים במקום כלשהו. קשה לי להאמין שאנחנו לבד ביקום, אבל השאלה היא מה אפשר לצפות לגלות. אנחנו נמצאים בשלב הרמזים לקיומם של חיים, כמות הידע מתצפיות היא מוגבלת ואין חיזר ירוק שקופץ החוצה ומנופף לנו עם היד כמו בסרטים. אז מה זה 'חיים'? יכול להיות שזה ברמה של חיידקים בכלל. כיום יש הבנה שחשוב להמשיך לחפש חיים בתוך מערכת השמש ומחוצה לה.

כיצד מחקרים כאלה יכולים לתרום לאנושות?

"דרך המחקרים האלה, פעמים רבות מתגלים, ברמה ההנדסית, דברים טובים לאנושות. לפעמים, כשמפתחים משהו לתעשיית החלל, הוא יכול לסייע גם בחיי היום יום. אבל יש בי צד שמתנגד לחיפוש אחר מעשיות במחקר, כי אני חושבת שבמדעים בסיסיים, בעיקר בפיזיקה, המחקר בא לענות על הסקרנות האנושית, והסקרנות האנושית יכולה לקחת אותנו למקומות שלא חלמנו עליהם. הרבה מאוד דברים, שבדיעבד אנחנו מסתכלים עליהם כתרומה לאנושות, התחילו מסקרנות נטו. לכן אני חושבת שיש בהחלט מקום לתמוך במחקר לשם למידה והבנה בסיסיים.

"באופן דומה אני חושבת שעצם החקר של פלנטות בפרט, ואסטרופיזיקה בכלל, עוזר לנו להבין את המקום שאנחנו חיים בו. לא רק ברמה המדעית, אלא גם ברמה החברתית והאנושית. עד תקופת גלילאו חשבו שכדור הארץ הוא מרכז היקום. אחר כך הבינו שזה לא נכון, שקיימת שמש שסביבה אנחנו מסתובבים, שאנחנו חלק מגלקסיה. היום אנחנו מכירים המון גלקסיות ומבנים גדולים יותר, ומבנים את המיקום שלנו ביקום. אמנם לא מצאנו עדיין כדור ארץ נוסף כמו שלנו, אבל אני חושבת שהגילוי הזה לא כל כך רחוק. מדי פעם אפשר לראות בעיתון ידיעה על תאום כדור הארץ שהתגלה. עד כה מדובר באזעקות שווא, אבל אני מאמינה שזה ישתנה בעתיד הנראה לעין".

"המאמץ רב-השנים של איתור אותות רדיו מהחלל לא נשא פירות עד כה. בשנים האחרונות יש השקעה לא קטנה בחיפוש אחר חיים חיצוניים, אבל פחות מהכיוון של המתנה לאותות רדיו של חיזרים ויותר מהכיוון של חקר פלנטות. אנחנו בוחנים את התנאים על פני השטח, ומחפשים חיים הדומים לאלה שאנחנו מכירים בכדור הארץ. החיפוש אחרי חיים מחוץ לכדור הארץ מעלה שאלות פילוסופיות, כי קשה לנו להגדיר חיים שונים מהחיים שלנו.

במסגרת הדיון המתמשך על סוג החיים שעלינו לחפש, הוחלט לחפש חיים מהסוג שאנחנו מכירים - כלומר כאלה שמסוגלים להתקיים בטווח טמפרטורות מאפס עד כמה מעלות צלסיוס, על פני שטח מוצק, בלי עודף של גזים רעילים ועם כוח משיכה סביר. כוכב הלכת צדק, למשל, לא מאפשר חיים מהסוג הזה, כיוון שפני השטח שלו עתירים בגז מימן וכוח המשיכה שם עצום. "לפני כמה שנים חקרנו פלנטות הנקראות 'מיני נפטונים', פלנטות הגדולות פי כמה מכדור הארץ שלנו ויש להן מעטפת גזים משמעותית. שאלנו: האם על פני השטח שם יש תנאים לחיים? התשובה שלנו היא לא, כי שכבת הגז גורמת לכך שהטמפרטורה על פני השטח גבוהה מדי, והחומרים החיוניים הופכים מסיסים אחד בשני. כלומר, אנחנו בעצם, קודם כול, מחפשים את התנאים לחיים, מקומות שחיים יכולים תיאורטית להתקיים בהם. זה מעיד על הפוטנציאל.

כאשר התנאים לקיום חיים מתקיימים על פלנטה ניתן לחפש חותמות ביולוגיות (biosignatures). תחום זה צובר תאוצה בשנים האחרונות, והרעיון הוא שהחיים משנים את הרכב החומרים של האטמוספירה, כמו שקרה בכדור הארץ, אז אם נמצא מולקולות מסוימות באטמוספירה של פלנטות זה ירמז על קיומם של חיים. צריך להיזהר מהסקת מסקנות, כי העובדה שמוצאים מולקולה מסוימת לא אומרת שיש בוודאות חיים על הפלנטה, אבל זה מעיד על כך שיתכן שיש שם חיים.