

## כוכב נולד: מהם "כדורים צהובים"?

Grace Wolf-Chase<sup>1</sup>, Charles Kerton<sup>2</sup>

<sup>1</sup>פלנטריום אדלר, שיקגו, אילינוי, ארה"ב

<sup>2</sup>המחלקה לפיזיקה ולאסטרונומיה, אוניברסיטת איווה, איימס, איווה, ארה"ב

### סוקרים צעירים

FRIDA

גיל: 16



TAYLOR

גיל: 16



איך באים כוכבים לעולם? השאלה הזאת מעסיקה בני אדם אלפי שנים וכבר הוצעו לה פתרונות רבים ושונים, אבל רק בעשורים האחרונים הומצאה הטכנולוגיה שמאפשרת למדענים לחקור את המקומות שבהם נוצרים כוכבים. הסיבה לכך היא שכוכבים מתחילים את דרכם בתוך "ענני אבק" קרים בחלל, והם בלתי-נראים לעינינו וגם לטלסקופים הפועלים באמצעות אור נראה לעין. לשמחתנו יש כיום מכשירים רבים היכולים לתעד אור שעניינו לא מסוגלות לראות, וליוצג אותו בצבעים שאנחנו רואים ומזהים. אפילו עצמים קרים מאוד מפיצים אור אינפרה-אדום, ובעזרתו אפשר לחקור איך נוצרים כוכבים מתוך "ענני האבק". מתנדבים מכל העולם עוזרים לאסטרונומים בעבודתם, ובזכותם התגלה שלב מוקדם בהתפתחות של כוכבים: תצורות שזכו לכינוי "כדורים צהובים". הם התגלו כשמתנדבים התבוננו בצילומי אינפרה-אדום במסגרת מיזם מדעי חשוב הנקרא "פרויקט שביל החלב".

### מדע לכולם

המחקר המדעי של ימינו מייצר כמות אדירה של נתונים, ולפעמים כמות הנתונים בפרויקט מסוים גדולה מכדי שמדען אחד, או אפילו צוות קטן של מדענים, יספיקו לטפל בה תוך

## איור 1

שביל החלב האסטרונום חוזה פרנסיסקו סלגאדו צילם את מרכז הגלקסיה שלנו. התמונה צולמה מאיזור סידר פלאט שבקליפורניה, ב-20 במאי 2010. תחת הכוכבים עומד המתקן המשולב למחקר באסטרונומיה של גלי מילימטר, הכולל 23 טלסקופי רדיו. צילום: פלנטריום אדלר, שיקגו, אילינוי, ארה"ב, חוזה פרנסיסקו סלגאדו.



איור 1

פרק זמן סביר. במקרים כאלה, מדענים מקצועיים מבקשים לפעמים עזרה ממדענים-אזרחים שמתעניינים בנושא. מדען-אזרח הוא אדם שמסייע במחקר ממשי שתכנן צוות מדענים מקצועיים, ושדרושים בשבילו הרבה זוגות עיניים (או במקרים מסוימים אוזניים) אנושיות. באתר Zooniverse [1] רשומים נכון לעכשיו כשמונים פרויקטים מדעיים כאלה, בהם מעורבים יותר מ-1.6 מיליון מדענים-אזרחים. אחד מהם הוא פרויקט שביל החלב, שבו מסייעים מדענים-אזרחים לחקור איך נוצרים כוכבים בגלקסיית הבית שלנו.

## גלקסיית הבית שלנו

השמש שלנו היא כוכב אחד מתוך קבוצת כוכבים גדולה מאוד – גלקסיית שביל החלב. זוהי גלקסיה שטוחה ודומה קצת בצורתה לִדְסְקִית גדולה. אם צפיתם פעם בכוכבים ממקום חשוך מאוד, אולי ראיתם פס של אור בהיר בשמים (ראו איור 1). הפס הזה עשוי ממספר עצום של כוכבים שמהם עשויה דִסְקִית שביל החלב. האור של רובם חלש מדי מכדי שבני אדם יוכלו לראות כל אחד מהם לחוד. מהמקומות החשוכים ביותר על פני כדור הארץ אפשר לראות אולי כמה אלפי כוכבים, מעיירה קטנה כמה מאות, ומעיר גדולה – בדרך כלל לא יותר מכמה עשרות כוכבים. למעשה יש בגלקסיה שלנו מאות מיליארדי כוכבים (מאה מיליארד = 100,000,000,000) אבל אפילו בעזרת הטלסקופ החזק ביותר אי אפשר לראות את רוב-רובם. זאת מכיוון שהתוֹך ה**בין-כוכבי**, כלומר החלל שבין הכוכבים, מכיל ענני ענן של גז ואבק, הנקראים ערפיליות. הערפיליות הקרות והסמיכות ביותר מסתירות את אור הכוכבים שבתוכן ומאחוריהן.

## המקומות החבויים שבהם נולדים כוכבים

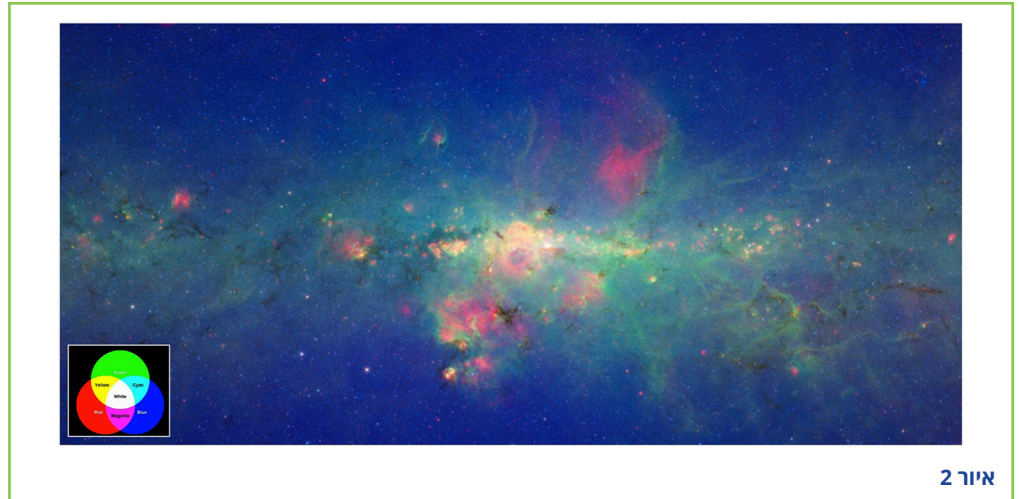
כוכבים נוצרים באזורים הסמיכים והמאובקים ביותר של התוֹך ה**בין-כוכבי**, ושם אי אפשר להתבונן בהם בטלסקופ רגיל. למרבה השמחה, בעשורים האחרונים פיתחו האסטרונומים

## התוֹך ה**בין-כוכבי** (Interstellar medium)

אבק וגז דלילים הנמצאים בין הכוכבים בגלקסיה. כוכבים נוצרים במקומות הקרים והסמיכים ביותר בתוֹך ה**בין-כוכבי**. מקומות אלה הם אטומים לאור נראה לעין, ולכן בתמונות אופטיות של הגלקסיה הם מופיעים ככתמים כהים.

## איור 2

תמונת אינפרה-אדום של שביל החלב זוהי תמונה של האזור שסביב מרכז שביל החלב, הגלקסיה שלנו. הצבעים כחול, ירוק ואדום בתמונה מייצגים צבעים אחרים של אור אינפרה-אדום, שאותם קלט טלסקופ החלל שפיצר. כשהצבעים חופפים, נוצרים צבעים אחרים (ראו הדגמה במסגרת הקטנה).  
צילום: /Caltech- JPL/NASA אוניברסיטת ויסקונסין.



איור 2

### אור אינפרה-אדום (Infrared light)

סוג אור שאורך הגל שלו ארוך מזה של אור נראה לעין, ולכן קל לו יותר לעבור באזורים של התווך הבין-כוכבי שבהם האבק סמיך.

טלסקופים וגלאים רגישים לאור אינפרה-אדום שאינו נראה לעין האנושית, אך יכול לעבור דרך ענני האבק שבתווך הבין-כוכבי. באמצעות המכשירים האלה אפשר לאתר עצמים קרירים, ולהציץ לתוך ערפיליות כדי להבין איך נוצרים כוכבים. כוכב בתחילת דרכו הוא קר מכדי לזרוח באור נראה לעין, אבל הוא זורח בעוצמה באור אינפרה-אדום. ככל שהכוכב מתבגר הוא מתחמם ומתחיל לזרוח יותר ויותר גם באור נראה לעין. למרבה הצער, האור שלו נספג באבק הערפילית שסביבו, ואינו נראה מחוץ לענן. האור האינפרה-אדום שמפיץ הכוכב, לעומת זאת, מצליח לבקוע מבעד לענן, ובנוסף לזה, האבק שסביבו מתחמם מאור הכוכב ומתחיל גם הוא לזרוח בעוצמה באור אינפרה-אדום. לכן אפשר להשתמש באור אינפרה-אדום כדי ללמוד גם על הכוכב החדש וגם על סביבתו [2].

באיור 2 נראה צילום אינפרה-אדום של חלק מהגלקסיה שלנו. אולי אתם תוהים איך מצלמים אור שכלל לא נראה לעין. ה"סוד" הוא להשתמש בתוכנת מחשב רבת עוצמה שהופכת צבעי אינפרה-אדום בלתי נראים לצבעי אור נראה (בדרך כלל כחול, ירוק ואדום). לפי צבעי אור שונים אפשר לדעת מה ההרכב של עצמים מסוגים שונים (כלומר, ממה הם עשויים) ומהן התכונות הפיזיות שלהם (למשל הטמפרטורה). בצילום האינפרה-אדום שבאיור 2, כל נקודה כחולה מייצגת כוכב, ואילו מולקולות מסוימות של גז ואבק, שמהן עשויות ערפיליות, מופיעות בירוק ובאדום. כששניים או שלושה צבעים מופיעים זה על גבי זה בתמונה, נוצר צבע אחר – למשל, ירוק ואדום יוצרים צהוב (ראו מסגרת קטנה באיור 2).

### טלסקופ החלל שפיצר (Spitzer space telescope)

"קרוב משפחה" קטן יותר של טלסקופ החלל האבל. שפיצר מורכב מטלסקופ בקוטר 0.85 מטר עם מכשור לקליטת אור אינפרה-אדום. ב-2003 שיגרה אותו סוכנות החלל האמריקאית למסלול שבו הוא מקיף את השמש בעקבות כדור הארץ.

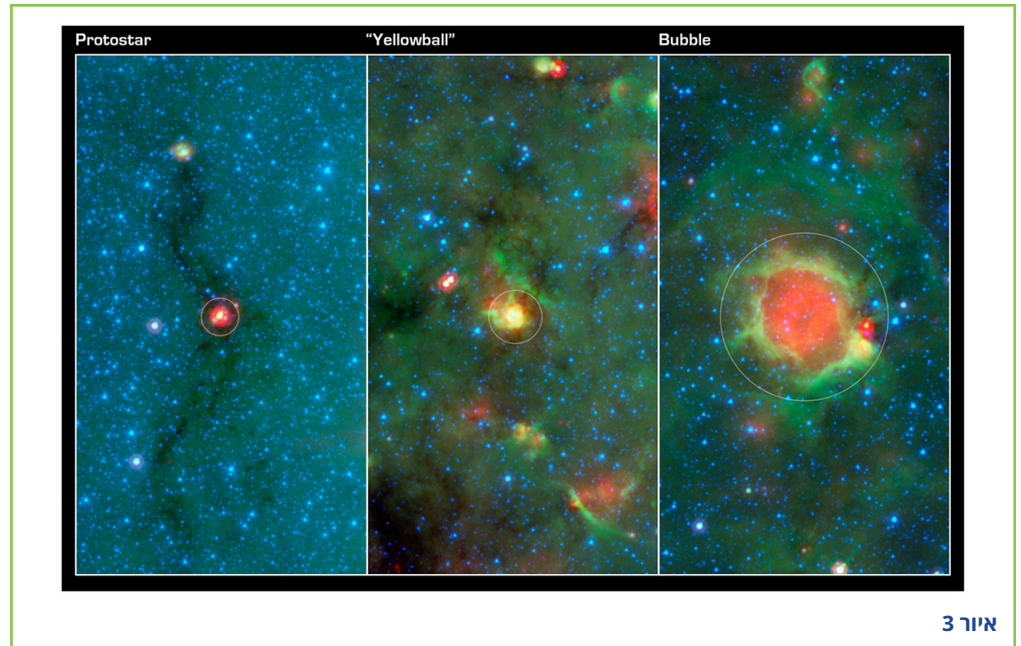
בפרויקט שביל החלב עובדים עם צילומי אינפרה-אדום של שביל החלב, שצולמו בעזרת **טלסקופ החלל שפיצר**. צילומים מסוג זה שימשו ליצירת איור 2. הפרויקט נועד לעזור למדענים לקטלג ולנתח את המידע המופיע במאות אלפי צילומים כאלה. מדענים-אזרחים בודקים אותם כדי לעזור למדענים מקצועיים ללמוד איך נוצרים כוכבים.

## תגלית מפתיעה...

בין שאר הדברים שהמדענים-האזרחים התבקשו לחפש בצילומי האינפרה-אדום היו עיגולים (או אליפסות) המופיעים בצבע אדום עם שוליים ירוקים, כמו העיגול בתמונה הימנית באיור 3 [3]. בצילומים מעובדים כאלה, הצבע האדום מייצג בדרך כלל חלקיקי אבק

### איור 3

התפתחות של בועה  
 כאן מוצגים שלבי התפתחות  
 של בועה סביב כוכבים  
 מאסיביים צעירים. שלב  
 "הכדור הצהוב", שאותו זיהו  
 מדענים-אזרחים, מופיע בחלק  
 האמצעי. צילום:  
 Caltech – JPL/NASA



זעירים, והירוק מייצג מולקולות גז חמימות העשויות מאטומים רבים של מימן ושל פחמן. העיגולים האדומים-ירוקים האלה נראים שטוחים בתמונות הדו-ממדיות שאותן בודקים המדענים-האזרחים, אבל בחלל, שהוא תלת-ממדי, הם דומים יותר לבועות.

כוכבים חדשים ומאסיביים (אנחנו מגדירים כוכבים מאסיביים ככאלה שהמסה שלהם היא לפחות פי 10 מזו של השמש שלנו) מייצרים את "בועות הקרינה" האלה, ו"רוחות" מהכוכבים מפעילות כוח על הערפילית שסביבן. רוחות כוכביות לא דומות לרוח שאנחנו מכירים על פני כדור הארץ; מדובר בעצם בזרם של חלקיקים זעירים וטעונים. כאלה הם למשל הפרוטונים והאלקטרונים שמרכיבים את **רוח השמש**. הכוכבים הצעירים מחממים את הגז בתוך הבועה עד שהמולקולות מתפרקות, אם כי יש חלקיקי אבק ששורדים. לכן הבועות מופיעות בצילומים בצבע אדום, והשוליים שלהן, עם המולקולות ששרדו, הם ירוקים.

בזמן שהמדענים-האזרחים חיפשו בועות בצילומים במסגרת פרויקט שביל החלב, הם הבחינו גם בעצמים קטנים וצהובים, עגולים פחות או יותר, והחלו לתהות על קנקנם. ביקשנו מהם להמשיך לסמן את העצמים הללו כדי שנבדוק במה מדובר. היות שבתמונות אלה צבע צהוב מופיע כשאדום וירוק חופפים, העלינו השערה ש"הכדורים הצהובים", כפי שקראנו להם, הן גרסאות צעירות מאוד של הבועות הגדולות – בשלב שבו רוב מולקולות הגז ליד הכוכבים החדשים עדיין לא התפרקו [4].

בשני החלקים השמאליים של איור 3 אפשר לראות את השלבים המוקדמים בהתפתחות של בועה. הרצועה הארוכה והכהה בתמונה השמאלית היא ערפילית קרה מאוד – כל כך קרה שאפילו טלסקופ אינפרה-אדום לא קולט את קיומה. בחלק מהערפיליות הללו הכבידה חזקה מספיק כדי למשוך את חלקיקי האבק והגז הקר זה אל זה וליצור כוכבים חדשים. הנקודה האדומה על הערפילית הכהה היא המקום שבו **קדם-כוכבים** מתחילים לחמם את האבק. קדם-כוכב הוא מעין כוכב "ילד" – הוא עדיין גזל, בגלל הצטברות החומר שהכבידה מושכת אליו. תקופת ה"ילדות" נמשכת כ-10,000 שנה. כאשר קדם-כוכבים מגיעים לטמפרטורה גבוהה

### רוח השמש

#### (Solar wind)

זרימה בעלת מגנטיות גבוהה של חלקיקים טעונים, בעיקר פרוטונים ואלקטרונים, שפולטת השמש. מהירות רוח השמש היא מאות קילומטרים לשנייה.

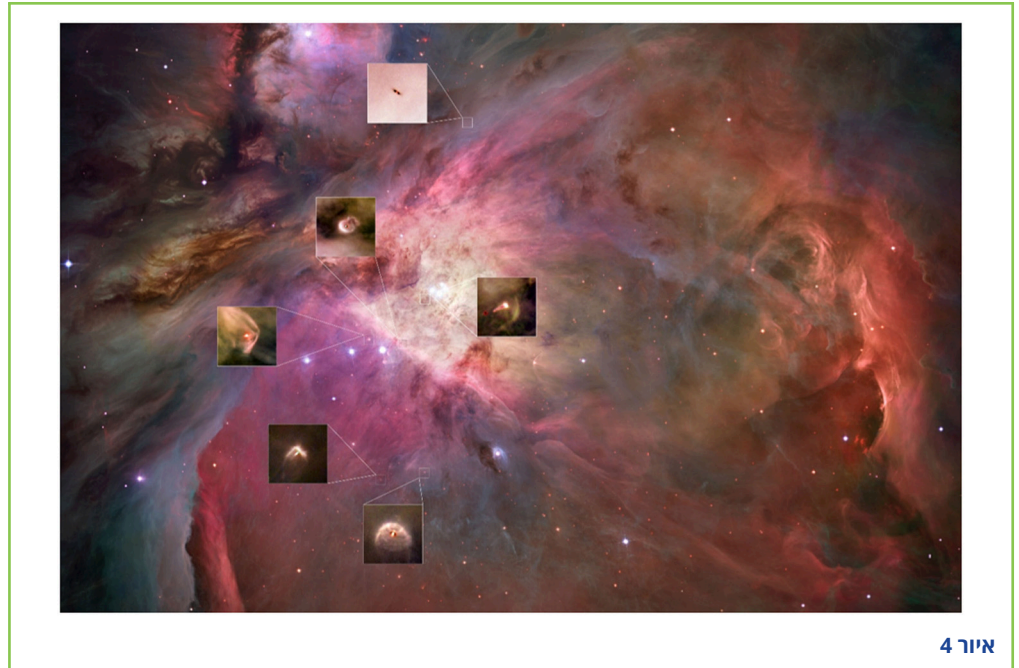
### קדם-כוכב

#### (Protostar)

מצבור גדול וכדורי של גז ואבק, שעדיין נמצא בתהליך הצטופפות והתגבשות לכוכב. לבת הכוכב עדיין לא די לוחסת וצפופה כדי שיווצרו בה תנובות היתוך המייצרות אנרגיה. כאשר היא מגיעה לבסוף לשלב זה וההיתוך מתחיל, הקדם-כוכב הופך לכוכב.

#### איור 4

מערכות כוכבי לכת הנוצרות כעת בערפילית אוריון זוהי תמונה של הערפילית אוריון, שצולמה באור נראה לעין והופקה על ידי טלסקופ החלל האבל. בכל אחד מהריבועים מופיעה הגדלה של מערכת כוכבים הנוצרת כעת בערפילית. הריבוע העליון הוא בערך בגודל מערכת השמש שלנו (יותר מתשעה מיליארד קילומטר מקצה לקצה). גודל הערפילית כולה מקצה לקצה הוא כמה שנות אור (שנת אור אחת היא כתשעה טריליון וחצי קילומטרים: (9,460,730,472,580) והמרחק שלה מהשמש הוא כ-1,500 שנות אור. צילום: NASA, ESA, M. Robberto (STScI/ESA), the HST Orion Treasury Project Team, & L. Ricci (ESO)



איור 4

מאוד, מתחיל החומר שסביבם להתפשט. בשלב זה, מולקולות גז וגם מולקולות אבק זורחות באור אינפרה-אדום ויוצרות "כדור צהוב" (תמונה אמצעית). הגיל של כדור זה הוא כ-100,000 שנה. רוב הכדורים הצהובים גדולים יותר ממערכת השמש שלנו, אבל קטנים מהמרחק בין השמש שלנו לבין הכוכב הקרוב אליה ביותר, פרוקסימה קנטאורי. כל כדור צהוב מייצר כנראה עשרות ואולי אפילו מאות כוכבים.

תוך כמיליון שנה הופך הכדור הצהוב לבועה בשלה, כמו זאת הנראית בחלק הימני של איור 3. כעבור כמה מיליוני שנים נוספים תתפוגג הבועה עצמה בתווך הבין-כוכבי הכללי, ותשאיר אחריה את הכוכבים החדשים, אשר יהפכו לחלק משביל החלב.

### מאות כוכבים

אם רוצים לדעת איך תיראה בועה אחרי כמה מיליוני שנים, אפשר אולי לקבל מושג אם מתבוננים בערפילית אוריון. זוהי ערפילית שאסטרונומים מקצועיים וחובבים כאחד אוהבים לערוך עליה תצפיות. בגלל הטמפרטורה הגבוהה שלה היא זורחת באור נראה לעין, והיא המקום הקרוב אלינו ביותר בגלקסיה שבו נוצרים כוכבים מאסיביים. אולי אפילו ראיתם אותה בעצמכם אם צפיתם בשמי הלילה בטלסקופ קטן או משקפת. יש בה רק קומץ כוכבים מאסיביים שמספקים לה אנרגיה, אבל גם מאות כוכבים קטנים יותר, כמו השמש שלנו, וסביבם דסקיות קרות של חומר שבהן כנראה הולכים ונוצרים כוכבי לכת. באיור 4 נראית תמונה של הערפילית אוריון שצילם טלסקופ החלל האבל [5]. בריבועים יש תמונות מוגדלות של כמה מערכות שמש הנוצרות כעת בתוך הערפילית.

יש סיבות טובות לשער שמערכת השמש שלנו נוצרה בסביבה דומה לערפילית אוריון, לפני כחמישה מיליארד שנה. לכן, אם נלמד איך מתפתחות בועות, נדע יותר על התנאים שבהם נוצר כדור הארץ.

## "אֶאוּרְקָה!" לעומת "זה מוזר...?"

זיהינו את השלבים הראשונים בהתפתחות של צבירי כוכבים בזכות צירוף מסוים של צבעי אינפרה-אדום שהדגיש גורמים חשובים בצילום. לו בחרנו בצירוף צבעים אחר, ה"כדורים" לא היו מופיעים בצבע בולט כל כך לעין. עד כמה שהאסטרונומים היו רוצים לראות את כל צבעי האור האפשריים, במציאות אי אפשר לבנות מכשירים שיעשו הכול. כדי לתכנן ולבנות מכשיר אסטרונומי, המדענים צריכים לקחת בחשבון אילו סוגי תצפיות יפיקו מידע רב ושימושי על העצמים שאותם הם מנסים להבין. לצילומים של טלסקופ החלל שפיצר נבחרו צבעי אינפרה-אדום מסוימים שיאפשרו להתבונן בעצמים כמו בועות, אבל לא ידענו עד כמה הצבעים האלה ידגישו את השלב המוקדם, "הכדור הצהוב"!

איזק אסימוב, סופר מדע בדיוני מפורסם בן המאה העשרים, אמר פעם: "האמירה הכי מרגשת לשמוע מהעוסקים במדע, זאת שמבשרת על תגלית חדשה, היא לאו דווקא 'אֶאוּרְקָה!' אלא 'זה מוזר...'. כעת, בזכות הסקרנות של המדענים-האזרחים שלנו, למשל זה שחשב לעצמו 'זה מוזר...' ושיתף אחרים במחשבותיו על הכדורים הצהובים, יש לנו קטלוג של כאלף עצמים כאלה. בעזרתו יוכלו האסטרונומים לתכנן תצפיות עתידיות ומהן ימשיכו ללמוד איך מתפתחים כדורים צהובים ל"פעוטונים" של כוכבים, שמהם יצמחו אולי כוכבי לכת כמו כדור הארץ שלנו.

## מקורות

1. Zooniverse. 2015. Available at: [www.zooniverse.org](http://www.zooniverse.org)
2. Cool Cosmos. 2015. Available at: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/>
3. Simpson, R. J., Povich, M. S., Kendrew, S., Lintott, C. J., Bressert, E., Arvidsson, K., et al. 2012. The milky way project first data release: a bubblier galactic disk. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 424:2442–60. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.20770.x
4. Kerton, C. R., Wolf-Chase, G., Arvidsson, K., Lintott, C. J., and Simpson, R. J. 2015. The milky way project: what are yellowballs? *Astrophys. J.* 799:153–61. doi: 10.1088/0004-637X/799/2/153
5. O'Dell, C. R., Wen, Z., and Hu, X. 1993. Discovery of new objects in the Orion nebula on HST images – shocks, compact sources, and protoplanetary disks. *Astrophys. J.* 410:696–700. doi: 10.1086/172786

פורסם אונליין: 18 בינואר 2019

נערך על ידי: Shane L. Larson, Northwestern University, USA

ציטוט: Wolf-Chase G and Kerton C (2019) כוכב נולד: מהם "כדורים צהובים"? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2015.00016-he

### תורגם והותאם:

Wolf-Chase G and Kerton C (2015) What do "yellowballs" have to do with the birth of new stars? *Front. Young Minds* 3:16. doi: 10.3389/frym.2015.00016

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

© **COPYRIGHT** 2015 Wolf-Chase and Kerton. 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 (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

### FRIDA, גיל: 16

היי! אני פרידה ואני ציירת ומתלמדת בפלנטריום אדלר בשיקגו



### TAYLOR, גיל: 16

אני טיילור, ואני מדען-אזרח מתלמד בפלנטריום אדלר. אני עולה לכיתה י"א בתיכון Lane Tech College Prep.



## הכותבים

### GRACE WOLF-CHASE

שני תחומי העניין הגדולים שלי בילדותי היו אסטרונומיה והחלוקה תחרותית על הקרח. הדמיון שלי ומחשבותיי על החלל קיבלו השראה עצומה מביקורים במוזיאונים, ולכן אני מאושרת לעבוד כאסטרונומית בפלנטריום אדלר. מרתקות אותי במיוחד שאלות על תהליך ההיווצרות של כוכבים וכוכבי-לכת, והאפשרות ללמוד ממנו איך נוצר העולם שלנו. היכולת לשתף בהתלהבותי ממדע גם אחרים, כולל שלושת הילדים שלי, היא אחד החלקים הכי טובים בעבודתי. כיום אני מבלה פחות זמן בהחלוקה על הקרח, אבל אוהבת מאוד לשחות או להתעמל כל בוקר.



### CHARLES KERTON

אני מרצה וחוקר במחלקה לפיזיקה ואסטרונומיה של אוניברסיטת איווה. אהבתי לאסטרונומיה החלה כשצפיתי בגיל צעיר בשבתאי, בירח ובאוריון דרך טלסקופ ביתי קטן, בקוטר 60 מ"מ - והיא נמשכת עד היום. כשאני לא ליד הטלסקופ והמחשב, אני נהנה לעבוד בגינה ולצאת לטיולים ארוכים ברגל (בקייץ), להחליק על הקרח (בחורף), ולקרוא ספרי מדע בדיוני והיסטוריה (כל השנה).



Hebrew version  
provided by

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

