



כיצד כוכבים נוצרים?

Majken Brahe Ellegaard Christensen*

אסטרונומיקה, אודנסה, דנמרק

סוקר צעיר

LUKE

גיל: 15



במאמר זה נסביר את תהליך ההיווצרות של כוכב עבור כוכבים דמויי שמש רגילים. כוכבים נוצרים מהצטברות של גז ואבק אשר קורסים כתוצאה מהגרביטציה ומכוכבים אחרים. התהליך של היווצרות כוכב אורך בסביבות מיליון שנים מרגע שענן הגז ההתחלתי מתחיל לקרוס ועד שהכוכב נוצר ומאיר כמו השמש. חומר השאריות מהולדתו של הכוכב משמש ליצירת כוכבי לכת ואובייקטים אחרים שחגים סביב מרכז הכוכב. צפייה בהיווצרות כוכב היא קשה מאחר שהאבק אינו שקוף לאור הנראה. אולם אפשרי לצפות באזורים האלה באמצעות גלי רדיו מאחר שגלי רדיו מתקדמים לעברנו ולעבר טלסקופי הרדיו שלנו באופן חופשי.

כוכבים כמו השמש שלנו לא תמיד היו בסביבה. כוכבים נולדים ומתים במהלך מיליוני או אפילו מיליארדי שנים. כוכבים נוצרים כשאזורים של אבק וגז בגלקסיה קורסים כתוצאה מהגרביטציה. ללא האבק והגז האלה כוכבים לא היו נוצרים.

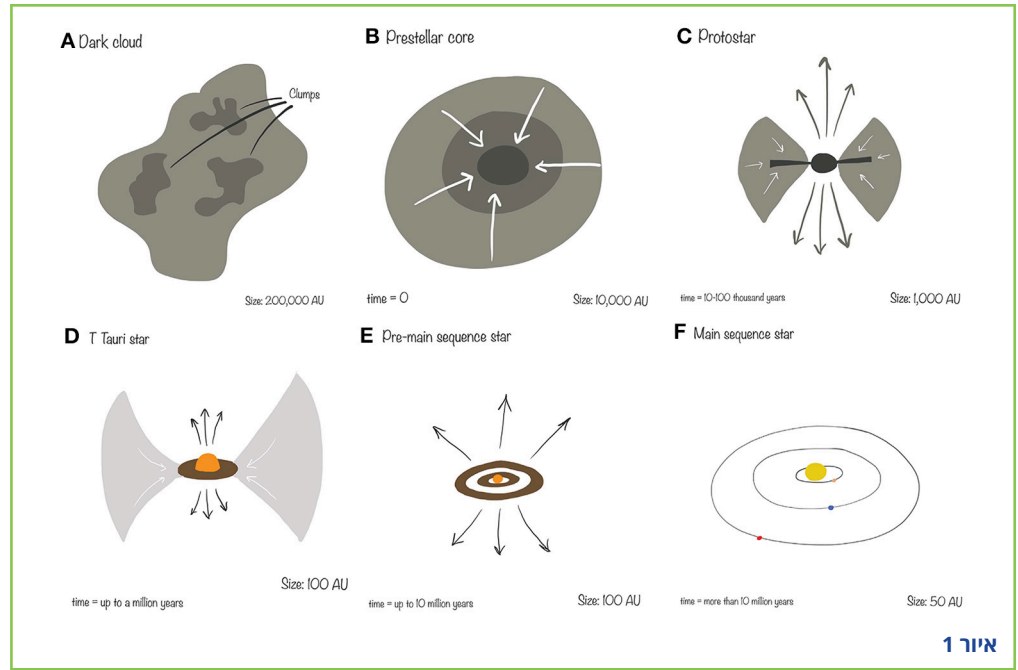
המרחבים המאובקים של כוכבים

גלקסיה מכילה לא רק מיליארדי כוכבים אלא גם כמות גדולה של גז ואבק. האזורים האלה של גז ואבק בגלקסיה נמצאים בחלל שבין כוכבים. אם הגלקסיה הייתה רחוב, הבתים היו הכוכבים

איור 1

תהליך היווצרות של כוכב. האיור מראה שישה שלבים של היווצרות כוכבים דמויי-שמש. התהליך מתחיל ב-(A), שבו הגז והאבק במרחב שבין הכוכבים (שגם נקרא תווך בינכוכבי) קורס לתוך כדור צפוף של גז שנקרא ליבה קדם-כוכבית

(B) (prestellar core) שבסופו של דבר יהפוך לשמש. במהלך הקריסה נוצר דיסק (C) סביב לליבה, בזמן ששני סילונים משוגרים בקצוות. בנקודה מסוימת הכוכב מפסיק לגדול, אולם גז עדיין נופל לתוך הדיסק (D). אחרי כמה מיליוני שנים התהליך הזה פוסק, הכוכב החדש נולד כעת (E), בזמן שהכוכבים נוצרים מחומרי שאריות שבסופו של דבר יהפכו למערכת השמש (F). מערכת השמש חיה באופן טיפוסי כ-10 מיליארד שנים אחרי תהליך היווצרות.



איור 1

אזורי הגז והאבק היו הגינות שבין הבתים. החלל שבין כוכבים בגלקסיה נקרא **תווך בינכוכבי** מאחר שזהו התווך, או החומר, שמהווה את החלל שבין אובייקטים גרמיים.

אזורי הגז והאבק נקראים **עננים מולקולריים** בשל התכולה שלהם. עננים מולקולריים מורכבים משילוב של אטומים, מולקולות ואבק. אטומים הם אבני הבניין הקטנות של כל החומר שסביבנו. מולקולות מכילות שני אטומים או יותר שמחוברים יחד. המולקולות שנמצאות בעננים המולקולריים הן לרוב מימן מולקולרי, H_2 , אולם הן גם יכולות להיות מולקולות מורכבות יותר כמו מתנול, אשר מכיל שישה אטומים, או מים, אשר מכילים שלושה אטומים. גרגירי אבק הם צבירי חומר גדולים אפילו יותר, והם יכולים להגיע לגודל של עד כמה מילימטרים, שזה גודל עצום בהשוואה לאטומים או למולקולות.

עננים מולקולריים בתווך הבינכוכבי הם גדולים. למעשה, ענן מולקולרי אחד יכול להיות גדול פי מאות אלפים מהשמש. הנפחים שלהם גם משתנים: ענן מולקולרי יכול להיות באותו הגודל של כל מערכת השמש שלנו, או גדול הרבה יותר. העננים המולקולריים העצומים האלה עוברים תנועה מערבולתית. משמעות הדבר היא שגז ואבק בתוך הכוכבים לא נשארים באותו המקום בחלוף הזמן. החומרים האלה נעים סביב בכל הכיוונים, כמו ילדים שרצים בחצר בית הספר. התנועה המערבולתית הזו של גז ואבק מפריעה לאטומים ולמולקולות באופן לא שווה, כך שחלק מאזורי הענן המולקולרי יכולו יותר חומר בתוכם מאזורים אחרים (ראו איור 1). אם הגז והאבק נערמים לרמה גדולה מאד באזור מסוים, האזור הזה מתחיל לקרוס כתוצאה ממשיכה מהגרביטציה העצמית שלו. האזור קטן יותר מאשר הענן המולקולרי וחי בתוך הענן המולקולרי. האזור בגודל כמה מאות של **יחידות אסטרונומיות** "בלבד", שזה פי כמה מאות פעמים מהמרחק של כדור הארץ מהשמש.

תווך בינכוכבי (Interstellar Medium)

כל החלל בתוך גלקסיות שבו אין כוכבים אלא יש הרבה גז ואבק.

ענן מולקולרי (Molecular Cloud)

ענן גדול בחלל שמלא בגז ובאבק. עננים מולקולריים נמצאים בתוך התווך הבינכוכבי.

יחידה אסטרונומית (AU)

יחידה אסטרונומית אחת היא המרחק שבין כדור הארץ לשמש.

קריסתו של ענן מולקולרי

ענן מולקולרי הוא קר מאוד, רק כמה מעלות מעל **האפס המוחלט**, שזו הטמפרטורה הכי נמוכה האפשרית (שמוגדרת גם כ-0 מעלות קלווין). אולם כאשר הגז והאבק מתחילים לקרוס באזור בתוך הענן המולקולרי, הוא מתחמם בהדרגה. זוהי תוצאה של חוק פיזיקלי שאומר לנו שכאשר חומר נדחס הצפיפות שלו תעלה והחומר יתחיל להתחמם. הקצה החיצוני של אזור שקורס יהיה בעל טמפרטורה של כ-10 מעלות מעל לאפס המוחלט (כלומר 10 מעלות קלווין), והאזור הפנימי יתחמם בהדרגה ויגיע לכ-300 מעלות קלווין, שזו בקירוב טמפרטורת החדר.

כשאזור שקורס מגיע לגודל של כ-10,000 יחידות אסטרונומיות הוא נקרא ליבה קדם-כוכבית (איור 1B) והוא באופן רשמי כוכב בהתהוות. בליבה קדם-כוכבית הכוונה "לפני שנהפך לכוכב". המילה ליבה מתייחסת לגז ולאבק שהם כעת דחוסים כל כך שהמונח ליבה מדויק יותר לתאר אותם מאשר אזור או ענן. כמו כן הליבה הקדם-כוכבית הזו תהפוך מאוחר יותר לליבה הפנימית של הכוכב.

במהלך 50,000 השנים הבאות, פחות או יותר, הליבה הקדם-כוכבית מתכווצת. זה עשוי להישמע כמו זמן ארוך אולם בסקאלת זמן אסטרונומית זה נחשב תהליך די מהיר בהשוואה לדוגמה לגיל של היקום שעומד על כ-14 מיליארד שנים. הליבה מתכווצת עד שהיא בגודל של כ-1,000 יחידות אסטרונומיות (איור 1C). היא עדיין מורכבת מאותם הגז והאבק, כך שהמשמעות היא שהצפיפות של אותו החומר גדלה ככל שהקוטר מתכווץ ל-1/10 מהגודל המקורי של האזור שקורס.

אחרי שעוברות 50,000 השנים האלה, המערכת כבר יצרה דיסק סביב לליבה המרכזית, וחומר עודף יוזרק החוצה מהקטבים של הכוכב. קוטב של כוכב הוא כמו הקטבים של כדור הארץ, כלומר הוא מוגדר כציר שסביבו הכוכב מסתובב. באיור 1C אתם יכולים לראות שני מבנים דמויי מזרקה שבהם החומר העודף הזה מוזרק. המבנים האלה נקראים סילונים והם מקיימים את חוקי הפיזיקה. תנועתם האקראית של גז ואבק שתיארנו קודם, בשילוב עם כיווץ המערכת בעת היווצרות הליבה הקדם-כוכבית, יגרמו לכל המערכת להסתובב. התהליך הזה גורם להיווצרות של דיסק שטוח סביב לליבה הקדם-כוכבית. זה דומה לאופן שבו שמלה יוצרת דיסק שטוח סביב למחליקה על הקרח שמסתובבת במהירות. אם המחליקה על הקרח לא הייתה מסתובבת, השמלה לא הייתה יוצרת דיסק שטוח סביבה אלא במקום זאת הייתה תלויה בצידי גופה. הסילונים הקטנים נוצרים כדי לשמור על המערכת באיזון. המערכת נקראת כעת קדם-כוכב (proto-star) והמשמעות היא שזהו השלב הראשוני ביותר של היווצרות כוכב אמיתי.

מליבה קדם-כוכבית לכוכב

הדיסק הזה הכרחי לגדילת הקדם-כוכב לכוכב בגודל רגיל. הדיסק מורכב ברובו מגז אשר מסתובב עם הדיסק ומתקרב בהדרגה על פני השטח של הקדם-כוכב. כאשר הגז מתקרב מספיק על הכוכב הוא נופל לתוך פני השטח של הכוכב מאחר שהגרביטציה של

האפס המוחלט (Absolute Zero)

הטמפרטורה הכי נמוכה האפשרית, שגם מוגדרת להיות 0 מעלות קלווין.

הצטברות (Accretion)

התהליך שבו אובייקט אחד אוסף מסה מאובייקט אחר.

הכוכב גדלה. התהליך הזה נקרא תהליך **הצטברות**, ואומרים שהכוכב צובר (או אוסף) חומר מהדיסק.

במהלך 1,000 השנים הבאות החומר מהדיסק מצטרף אל הכוכב או מסולק מהדיסק (איור 1D). הכוכב גדל מספיק בגודלו ובצפיפותו כדי שבאזור המרכזי תתחיל תגובה גרעינית אשר גורמת לכוכב לזרוח, כמו בשמש. בנקודה זו הכוכב נקרא כוכב T בשור (T-auri) וזו הפעם הראשונה שאפשר לראות את הכוכב באור נראה.

בסופו של דבר הכוכב מפסיק לצבור חומר מהדיסק אולם החומר שנותר סביב לכוכב עדיין נמצא בצורת דיסק (איור 1E). הדיסק כבר לא משמש למטרת הזנה של הכוכב בחומר לשם גדילת הכוכב. במקום זאת, הדיסק כעת הוא פשוט משטח חומר שזז בצורה מעגלית, שבהדרגה יתחיל להצטבר יחד ולחוג סביב לכוכב. הצבירים הקטנים האלה, שמורכבים מחומר השאריות מהיווצרותו של הכוכב, יצרו כוכבים חדשים. משמעות הדבר היא שהכוכבים במערכת השמש שלנו מורכבים מחומר שאריות מהולדתה של השמש! זו גם הסיבה לכך שכוכבים במערכת השמש שלנו נמצאים באותו המישור!

מערכת השמש הסופית (איור 1F) גמורה כשהדיסק התכלה לחלוטין וכל כוכבי הלכת נוצרו. במהלך 10 מיליארד השנים הבאות הכוכב יבער על דלק גרעיני במרכזו ויפלוט אנרגיה בצורת קרינה שאנו קוראים לה אור שמש.

צפייה בעננים מולקולריים

עננים מולקולריים שמארחים כוכבים חדשים ומעצבים אותם הם אזורים חשוכים בשמי הלילה. אין זה אפשרי עבור אדם לראות ענן מולקולרי - אפילו עם טלסקופ. הסיבה שאיננו יכולים לראות ענן מולקולרי היא שחלקיקי האבק מפוזרים בכל רחבי הענן והם סופגים את האור מהכוכבים הסובבים. זה מונע מאור כוכבים להגיע אלינו אל כדור הארץ דרך החלל, שזו הסיבה לכך שענן מולקולרי נראה כמו אזור חשוך בשמיים. למרבה מזלם של אסטרונומים, הענן המולקולרי שקוף לגלי רדיו. משמעות הדבר היא שגלי רדיו לא נספגים על-ידי חלקיקי האבק בענן, ולכן גלי הרדיו יכולים לנוע באופן חופשי למטה אלינו אל כדור הארץ. גלי רדיו אינם ניתנים לצפייה על ידי עין בלתי מזוינת, אולם באמצעות שימוש בטלסקופי רדיו אפשר לקבל אותות מהאזורים החשוכים האלה של עננים מולקולריים.

גלי הרדיו האלה נושאים מידע על תכולתם של עננים מולקולריים חשוכים. אם כוכב נולד, הענן ישלח החוצה אותות רדיו שונים מאשר במקרה שבו אף כוכב לא בתוכו. השימוש בגלי רדיו מאפשר לאסטרונומים לראות מתי כוכבים נולדים, אף על פי שהענן המולקולרי חשוך. נוסף על כך אף על פי שאסטרונומים כיום יודעים הרבה על האופן שבו נוצרים כוכבים כמו השמש, עדיין נותרה תעלומה גדולה שצריך לפתור.

מסקנות

התעלומה הגדולה מתעוררת כשנוצרים כוכבים גדולים מאוד. אסטרונומים יודעים כי כוכבים שמסתם גדולה עד פי 6 ממסת השמש נולדים באופן שתיארנו במאמר הזה. כוכבים עם מסות גדולות יותר דורשים תהליך שונה מאחר שהלחץ מקרינתו של הכוכב ידחוף את הדיסק החוצה, מה שימנע מכוכבים לגדול לגודל גדול יותר מ-6 פעמים גודלה של השמש לערך.

אסטרונומים ראו את הכוכבים הגדולים האלה כך שהם יודעים שהם קיימים, ועליהם להיווצר בדרך כלשהי. אולם השאלה כיצד הם נולדים נותרה עדיין שאלה גדולה פתוחה עבור אסטרונומים בכל רחבי העולם.

פורסם אונליין: 28 בינואר 2021

נערך על ידי: Edward Gomez, Las Cumbres Observatory Global Telescope Network, United States

ציטוט: Christensen MBE (2021) כיצד כוכבים נוצרים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00092-he

תורגם והותאם:

Christensen MBE (2019) How Do Stars Form? Front. Young Minds 7:92. doi: 10.3389/frym.2019.00092

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

COPYRIGHT © 2019 © Christensen 2020. 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.

סוקר צעיר

LUKE, גיל: 15

היי, אני Luke; אני בן 15 ומתעניין מאוד באסטרונומיה. אני גם אוהב לקרוא ולכן כשמשלבים את השניים מקבלים אהבה לקריאה על אסטרונומיה. אני נהנה ללמוד על דברים שאני אוהב כך שאני שם לב באופן צמוד לכל מה שקשור לאסטרונומיה.

הכותבת

MAJKEN BRAHE ELLEGAARD CHRISTENSEN

Majken Christensen היא אסטרונומית דנית ומתקשרת מדע. היא מבלה את זמנה בהנגשת אסטרונומיה לאנשים מחוץ לכותלי האוניברסיטה ונוסף על כך היא מסייעת לפרופסורים לאסטרונומיה להוציא את



המחקרים שלהם אל הקהל הרחב. ל-Majken יש חברה משלה שנקראת אסטרונומיקה (Astronomicca), שבה היא גם מנהלת בלוג על אסטרונומיה. בעבר היא עבדה באוניברסיטת דרום דנמרק ולפני כן היא עבדה בשני בנקים שונים, שם היא ביצעה "חישובי כספים" שהיו מורכבים כמעט כמו החישובים של היקום.
*majken.e.c@gmail.com

Hebrew version
provided by

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

