

מדידת מרחקים לגלקסיות

Jonathan D. Davis*

המחלקה לפיזיקה, אוניברסיטת עמק יזרה, אורם, יוטה, ארצות הברית

מדידת מרחקים לגלקסיות אחרות היא חלק חשוב ביכולתנו להבין כיצד היקום פועל. אסטרונומים יכולים להשתמש במה שנקרא פלקטואציות בבהירות פני שטח (SBF) יחד עם הצבע של גלקסיה, כדי לחשב כמה היא רחוקה מכדור הארץ. מרבית הגלקסיות שנמדדו באופן הזה נמצאות מיליוני שנות אור מאיתנו.

החלל גדול

בספר שלו, המדריך לטרמפיסט בגלקסיה, דאגלאס אדמס אומר: "החלל גדול. החלל ממש גדול! אתם פשוט לא תאמינו עד כמה הוא עצום וענק באופן יוצא דופן [1]".

הוא לא צחק! דמיינו את זה כך. העמידו פנים שאתם נמצאים בכבישים המהירים של גרמניה. אתם בתוך פרארי, טסים במהירות של 300 קילומטרים בשעה. אם לא הייתם צריכים לעצור, הייתם מסתובב סביב כדור הארץ תוך 133 שעות, או 5 וחצי ימים. כעת דמיינו שאתם בפרארי ולפתע יכולתם לטייל לשמש. זה היה לוקח לכם פי 4,000 יותר זמן להגיע לשמש, מאשר להקיף את כדור הארץ! זה אומר כ-22,000 ימים בפרארי! הכוכב הקרוב ביותר שאינו השמש נקרא **אלפא קנטאורי**. כדי להגיע אליו, זה כמו לנסוע לשמש 300,000 פעמים! **הגלקסיה** הקרובה ביותר, **גלקסיית אנדרומדה**, רחוקה כמעט פי 600,000 אלפא קנטאורי! הגלקסיות

סוקרות צעירות

CAYLE

גיל: 13



EILEEN

גיל: 8



אלפא קנטאורי (Alpha Centauri)

הכוכב הקרוב ביותר למערכת השמש שלנו. הוא במרחק של 1.37 פארסק, או 41.53 מיליארד קילומטרים מכדור הארץ.

גלקסיה (Galaxy)

קבוצת כוכבים, לעיתים אפילו מיליארדי כוכבים, שמקובצים יחד וחגים אחד סביב לשני.

גלקסיית אנדרומדה (Andromeda Galaxy)

אחת מהגלקסיות הקרובות ביותר לגלקסיה שלנו, שביל החלב.

¹קיבלתי את כל המספרים שלי מהאתר הזה: <https://www.wolframalpha.com/> פשוט הקלידו את שם הכוכב או הגלקסיה שאתם רוצים ללמוד עליהם עוד.

פארסק (Parsec)

דרך שבה אסטרונומים מתארים מרחקים בחלל. פארסק אחד הוא 30.86 טריליון קילומטרים.

פלקטואציות בהירות פני שטח (Surface Brightness Fluctuations - SBF)

כמה האור נראה גבשושי בתמונה של גלקסיה ממקום למקום. זה מה שאנו מודדים כדי לקבוע את המרחק של גלקסיה.

פיקסל (Pixel)

אור קטן מאוד שמהווה חלק מהמסך. טלוויזיה מורכבת מהרבה פיקסלים יחד.

ספקטרום עוצמה (Power Spectrum)

נותן מידע על הגדלים של הנבששויות שאנו רואים בתמונה של גלקסיה.

הרחוקות ביותר שאני מודד רחוקות יותר מפי 100 מאנדורומדה, וכדי להגיע לקצה של היקום הנראה אתם צריכים לטייל יותר מפי 150 פעמים מזה!¹ בכל מקרה, אם אתם רוצים לנסוע לקצה היקום הנראה, או פחות או יותר לכל מקום בחלל, זה לוקח הרבה מאוד זמן.

מדידת החלל באמצעות פארסק

מאחר שהחלל גדול כל כך, הרבה אסטרונומים לא אוהבים לומר כמה דברים רחוקים באמצעות יחידות של קילומטרים או מיילים. במקום זאת, אנו משתמשים ביחידת מדידה שאנו מכנים **פארסק**. זוכרים את אלפא קנטאורי, הכוכב הקרוב ביותר? הוא נמצא במרחק של 1.347 פארסק, או 41,560,000,000,000 (41.56 מיליארד) קילומטרים. אני אוהב פארסקים מאחר שעבורי הם קלים יותר לשימוש ולהבנה, בהשוואה לכל האפסים כשאנו משתמשים בקילומטרים.

גלקסיות גבשושיות

זה די מגניב שהחלל גדול כל כך, או לפחות זה מה שאני חושב. אולם כיצד אנו אפילו יודעים מה הגודל של החלל? ישנן הרבה דרכים למדוד דברים שונים בחלל. אולם אני מתמקד במדידת המרחקים לגלקסיות באמצעות שיטה מיוחדת מאוד שנקראת **פלקטואציות בהירות פני שטח (SBF)**. כדי להסביר כיצד SBF פועלת, התבוננו מקרוב על מסך הטלפון הנייד או המחשב שאתם קוראים ממנו את המאמר הזה. אם המסך קרוב מאוד לפנים שלכם, אתם תהיו מסוגלים לראות את הפיקסלים, או אורות קטנים שמרכיבים את התמונה שאתם רואים, על המסך. כעת, התרחקו עד שכבר לא תהיו מסוגלים לראות את הפיקסלים.

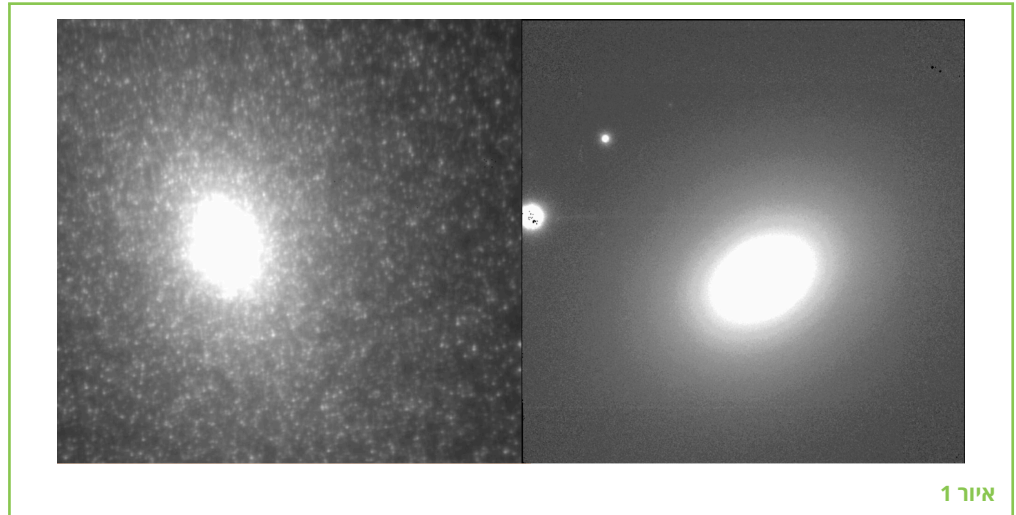
אתם יכולים לראות פיקסלים על המסך כשהוא קרוב מאחר שהמסך שלכם מורכב מהרבה פיקסלים. באופן דומה, גלקסיות הן פשוט אוסף של כוכבים שמקובצים יחד. גלקסיה היא לא מסך טלפון נייד אולם היא כן מתנהגת באופן דומה. כשגלקסיות קרובות אלינו, נראה גבשושיות יותר גדולות שמגיעות מהגלקסיה בגלל האופן שבו כוכבי הגלקסיה מאורגנים. כמו מסך, כשגלקסיות רחוקות, כל אותם הכוכבים מתערבבים יחד, והגלקסיה נראית חלקה מאוד, באופן דומה לאיך שהפיקסלים במסך מתערבבים יחד כשאתם מתרחקים מהמסך. באיור 1, אתם יכולים לראות איך גלקסיה קרובה נראית גבשושית יותר מגלקסיה רחוקה. כשאנו יודעים את הגודל של הגבשושיות, בגלל האופן שבו כוכבים מאורגנים בגלקסיה, זה מסייע לאסטרונומים להבין כמה כוכבים יש בגלקסיה הזו.

מדידת גבשושיות

כדי למדוד את הגודל של "גבשושיות" של גלקסיה רחוקה, אנו צריכים להסיר את החלק העיקרי של הגלקסיה מהתמונה, ולהתמקד בגבשושיות. כדי לעשות זאת, מחשב יוצר תמונה של גלקסיה שנראית חלקה מאוד ודומה לזו שצילמנו. לאחר מכן, אנו לוקחים את התמונה של הגלקסיה החלקה שנוצרה על-ידי מחשב, ומחסירים אותה מהתמונה המקורית שלנו, כך שנשארות רק הגבשושיות כפי שאפשר לראות באיור 2. ברגע שיש לנו רק גבשושיות בתמונה, אנו צריכים להבין משהו שנקרא **ספקטרום העוצמה**. ספקטרום העוצמה אומר לנו כמה גבשושיות גדולות יש לגלקסיה, בהשוואה לכמות הגבשושיות הקטנות שיש לה. אם ספקטרום העוצמה אומר לנו שישנן הרבה גבשושיות מפורטות וחדות בתמונה, זה יכול להגיד שהגלקסיה

איור 1

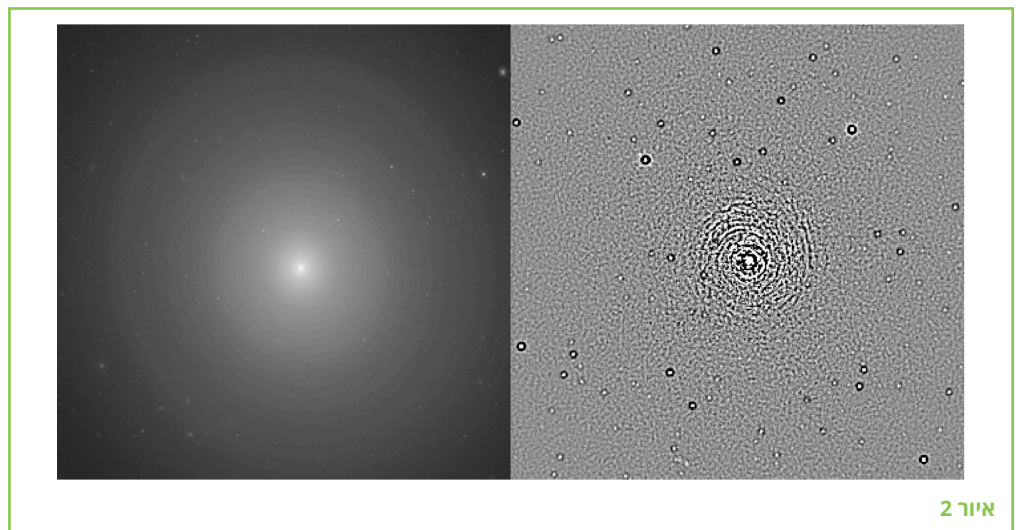
התמונה משמאל היא הגלקסיה M32, שצמודה לגלקסיית אנדרומדה, והיא במרחק של 0.77 מגה-פארסק (Mpc), או 770,000 פארסק. הגלקסיה מימין היא NGC 7768. היא במרחק של 120,000 פארסק. M32 נראית הרבה יותר גבשושית מאשר NGC 7768 מאחר שהיא קרובה יותר אלינו. שתי התמונות מגיעות ממצפה ג'מיני².



איור 1

איור 2

הגלקסיה NGC 0524 מוצגת משמאל. אחרי שמחשב מסיר את החלק העיקרי של הגלקסיה מהתמונה, רק הגבשושיות נשארות, כפי שאפשר לראות מצד ימין. הגדלים של גבשושיות הגלקסיה תלויים במרחק של הגלקסיה מאיתנו ובטמפרטורה שלה. התמונה של הגלקסיה הזו צולמה על-ידי טלסקופ החלל האבל³.



איור 2

קרובה יותר² אלינו. אם אותה הגלקסיה רחוקה יותר, ספקטרום העוצמה יראה לנו רק מעט גבשושיות מפורטות וחלקות בתמונה. אם אתם יודעים מה הצבע של גלקסיה וכמה כוכבים יש לה, אתם יכולים להבין כמה אור אתם אמורים לראות אם היא במרחק מסוים מכם.

גלקסיות צבעוניות

דמיינו שאתם³ יושבים עם חבריכם סביב למדורה, וצולים כמה מרשמלואים טעימים. האם אי פעם תהיתם מדוע חלקים מהאש אדומים, חלקים כתומים, חלקים צהובים ואחרים לבנים? הסיבה לכך היא שהחלקים הקרים יותר של האש נראים אדומים, חלקים חמים אף יותר נראים כתומים, חלקים חמים אף יותר נראים צהובים, והחלקים הכי חמים נראים לבנים. אם יכולתם לחמם את האש מספיק, היא אפילו הייתה מתחילה להיות כחולה (אולם היא גם הייתה גורמת לכם לכוויה). גלקסיות מתנהגות באופן דומה. ממש כמו אש, כאשר גלקסיות מכילות כוכבים קרים יותר, הן נראות אדומות. כשהן מכילות כוכבים חמים יותר, הן נראות כחולות יותר. כשאנו יודעים מה צבע הגלקסיה, אנו יודעים כמה הכוכבים חמים. מתוך **צבע הגלקסיה** אנו יכולים למצוא כמה אור הכוכבים בגלקסיה יוצרים. ברגע שאנו יודעים כמה אור כל כוכב יוצר, אנו

²<http://www.gemini.edu/>
הוא אתר שבו אתם יכולים ללמוד עוד על טלסקופ ג'מיני.

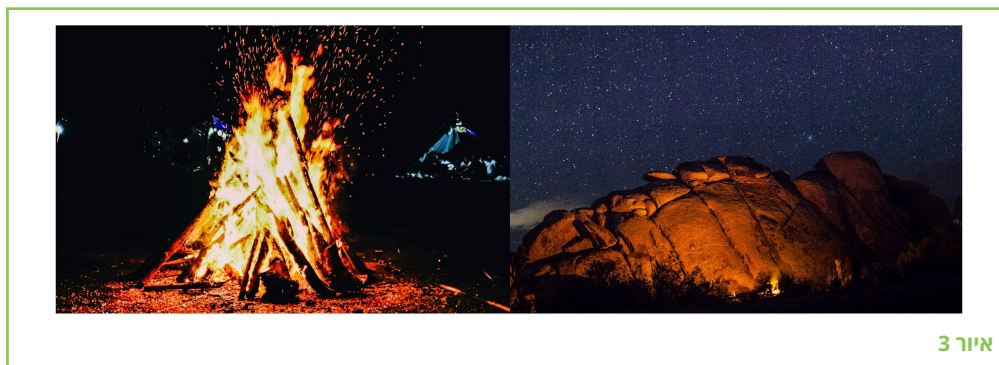
³האתר הזה יכול לספר לכם עוד על האבל:
<http://hubblesite.org/>

צבע גלקסיה (Galaxy Color)

צבע של גלקסיה אומר לנו כמה הכוכבים והגלקסיה חמים.

איור 3

האיור מראה שתי מדורות. התמונה משמאל⁴ היא קרובה מספיק כך שאתם יכולים לראות צבעים שונים. אם הייתם כל כך קרובים לאש, יכולתם להרגיש את החום שלה ואפילו לצלות כמה מרשמלואים! מימין, האש עדיין נראית אולם היא מעומעמת יותר, מאחר שהיא רחוקה יותר. האש נראית כאילו היא רק בצבע אחד, ואתם לא תהיו מסוגלים להרגיש את החום שלה.



איור 3

יודעים כמה כוכבים ישנם בסך הכול, אנו יכולים להבין כמה בהירה הגלקסיה צריכה להיות במרחק מסוים.

צבע וגבשושיות יחד יכולים לתת מרחק

דמיינו⁴ שאתם יושבים קרוב למדורה. כשאתם נמצאים ממש ליד המדורה, אתם יכולים להרגיש את החום שלה ואתם עשויים אפילו לקבל מספיק אור כדי לקרוא ספר. אולם דמיינו שאתם מתחילים ללכת הרחק מהאש. מהר מאוד אתם תרגישו קרים יותר, ויהיה חשוך מדי לקרוא, כפי שאתם יכולים לראות באיור 3. האש גם תיראה כאילו היא רק בצבע אחד, במקום אוסף של צבעים. הסיבה היא לא שהאש נכבית, או שכעת היא בצבע יחיד, אלא בגלל שאתם רחוקים יותר ממנה. אם הייתם משווים בזהירות את האופן שבו האש נראית כשאתם קרובים אליה עם האופן שבו היא נראית מרחוק, יכולתם לחשב כמה רחוק ללכת. ממש כמו עם מדורה, אנו רואים פחות אור ופרטים מגלקסיות ככל שהן רחוקות יותר מאיתנו.

הגבשושיות של גלקסיה תלויה גם במרחק שלה וגם בצבע שלה, וזו הסיבה לכך ששני הנתונים האלה נדרשים. הצבע של גלקסיה אומר לנו כמה חמים הכוכבים שלה, וכמה אור הם מייצרים. ברגע שאנו יודעים כמה הכוכבים חמים ומה הגודל של גבשושיות הגלקסיה, אנו יכולים להבין כמה כוכבים יש באותה גלקסיה וכמה אור הגלקסיה מייצרת. מכאן, אסטרונומים יכולים בסופו של דבר לחשב את המרחק של הגלקסיה מכדור הארץ, מאחר שהם יודעים כמה בהירה הגלקסיה צריכה להיראות אם היא במרחק מסוים מאיתנו, ממש כמו שיכולתם למדוד כמה התרחקתם מהמדורה על-ידי השוואת כמות האור שמגיעה ממנה.

מדוע מרחקים חשובים?

ישנן הרבה סיבות למדוד מרחקים לגלקסיות, אף על פי שזו יכולה להיות הרבה עבודה. אם איננו יודעים מהו המרחק לגלקסיה איננו יכולים להבין כמה היא גדולה, איננו יכולים לדעת כמה גדול החור השחור שלה, או כמה חומר נמצא באותה גלקסיה, בין דברים רבים נוספים. קשה מאוד לבחון תיאוריות מגניבות אחרות שיש לאסטרונומים, כמו למשל תיאוריות של חומר אפל, אנרגיה אפלה ותעלומות אחרות של היקום, אם איננו יודעים כמה הדברים רחוקים! אם אף פעם לא נבין כיצד למדוד מרחקים בחלל לא נהיה מסוגלים להבין כיצד היקום נראה באמת.

נשאלתי גם "מדוע חשוב לדעת כיצד נראה היקום?" חשוב להבין כיצד היקום פועל מאחר שכשאנו מבינים את זה אנו יכולים להשתמש בידע כדי ליצור ולעשות דברים מדהימים. לפני

<https://web.physics.wustl.edu/alford/htmlgeneral/newton.html>

חשבון אינפיניטסימלי (Calculus)

המתמטיקה השימושית מאוד שאידיק ניוטון המציא, ומשמשת אותנו באסטרונומיה.

יותר מ-300 שנים, אייזיק ניוטון הבין כיצד כוכבי לכת חגים סביב לשמש. זו בפני עצמה היתה תגלית די מגניבה, אולם מרבית האנשים לא מבינים שעל-ידי ביצוע התגלית הזו הוא גם פיתח את **החשבון אינפיניטסימלי**⁴. חשבון הוא סוג של מתמטיקה שסייע לאנשים להמציא דברים כמו לווניים, מחשבים, טלפונים ניידים, אינטרנט וכלים שמשמשים רופאים להצלת חיים! אפילו המזון שאתם אוכלים והבגדים שאתם לובשים הם תוצאה של כך שמדענים ביצעו תגליות מגניבות על האופן שבו היקום פועל.

אם כן, אנו יודעים שהבנת מרחקים בחלל חשובה מאחר שהמידע הזה יכול לסייע לנו ללמוד על האופן שבו היקום פועל. אולם מדוע חשוב להשתמש ב-SFB? אם אתם זוכרים כמה החלל גדול, ואיך הכל רחוק מאוד, קשה מאוד למדוד את המרחקים לגלקסיות רחוקות. אנו יודעים כמה רחוקות גלקסיות מסוימות, אולם באופן כללי אלה שאנו מכירים קרובות מאוד לכדור הארץ. אם אנו רוצים למדוד את המרחק לגלקסיה רחוקה יותר, אנו יכולים להשוות את הצבע והגבשושיות שלה לאלה של גלקסיות אחרות קרובות יותר, ואז לבצע מדידת מרחק מתוך הנתונים האלה. לכן, SBF יכולה לתת לנו את המרחק לגלקסיה שאחרת לא היינו מסוגלים למדוד.

אז, מה הלאה?

מאחר שזה דורש הרבה עבודה, SBF בוצעה רק על גלקסיות מסוימות. יהיו הרבה טלסקופים חדשים בעתיד שיצלמו הרבה תמונות, כך שנוכל לקבל הרבה תמונות נוספות על אלה שיש לנו היום. אני עובד על תוכנות מחשב שיגרמו לניתוח התמונות האלה להיות הרבה יותר מהיר, ויבצעו מדידות מרחק כך שאסטרונומים יוכלו למדוד מרחקים לכמה שיותר גלקסיות!

מקורות

1. Adams, D. 1980. *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. 1st Edn. New York, NY: Harmony Books.

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Joey Shapiro Key

מנחה מדעי: Jay Howard

ציטוט: Davis JD (2022) מדידת מרחקים לגלקסיות. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00142-he

תורגם והותאם: Davis JD (2019) Measuring Distances to Galaxies. Front. Young Minds 7:142. doi: 10.3389/frym.2019.00142

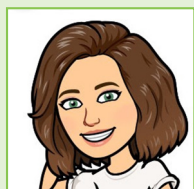
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2019 © 2022 Davis. זהו מאמר בנישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). 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.

סוקרות צעירות

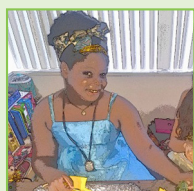
13 גיל: CAYLE

אני בכיתה ז'. בבית הספר אני אוהבת כתיבה, קריאה, מתמטיקה ומדע. הפעילויות האהובות עליי הן סופטבול, ריצה ובילוי עם חברים.



8 גיל: EILEEN

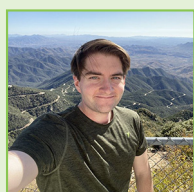
הי! קוראים לי אלין. אני בת 8 ובדיוק התחלתי את כיתה ג'. אני אוהבת ציור, שירה ויצירה של דברים. אני רוצה להיות כימאית כשאגדל. אני חברותית ואני אוהבת ליצור קשרים חדשים. בנוגע לספורט, אני אוהבת התעמלות אומנותית קצבית, שחייה וקפיצה על טרמפולינה!



הכותב

JONATHAN D. DAVIS

קוראים לי Jonathan D. Davis. אני אסטרונום מתצפת באוניברסיטת יוטה ומצפה סמית'סון לאסטרופיזיקה באריזונה, ארצות הברית. אני עושה עבודה ממש מגניבה כמו בניית תוכנה שמוצאת כוכבים שאנו יכולים לצלם אותם, ומדידת מרחקים לגלקסיות! אני גם אוהב לעשות דברים אחרים כמו פעילות גופנית, ואפילו לשחק במשחקי וידאו. אם אתם מתעניינים בחלק מהדברים שאני עושה באסטרונומיה, אתם יכולים להיכנס לבלוג שלי: <https://astronomaestro.blogspot.com>. astronomaestro@gmail.com*



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