



כיצד מדענים יודעים שחומר אפל קיים?

Vishnu Prithiv Bhathe¹, Christina Brennan¹, Stephanie Ellis¹, Emily Moynes¹, Kevin Graham², Sean J. Landsman^{1*}

¹המכון למדע סביבתי ובין-תחומי, אוניברסיטת קרלטון, אוטווה, אונטריו, קנדה
²המחלקה לפיזיקה, אוניברסיטת קרלטון, אוטווה, אונטריו, קנדה

סוקרים צעירים

NOAH
 גיל: 10



OSCAR
 גיל: 12



SANAH
 גיל: 14



ישנם עדיין דברים רבים שאיננו יודעים על אודות היקום. הֶבְנֵת קיומו של החומר המסתורי שנקרא 'חומר אֶפֶל' והרכבו, היא אחד האתגרים המובילים שמדענים מתמודדים עימם כיום. ישנן מגוון תיאוריות לגבי מה חומר אפל יכול להיות, אך אנו עדיין צריכים להבין את טבעו האמיתי. כיצד אנו אפילו יודעים שדבר כזה קיים? האתגר הגדול ביותר בחקירת חומר אפל הוא שאין באפשרותנו לראותו. במאמר זה נדון באופן שבו מדענים משתמשים במדע ובתצפיות מטלסקופים במטרה לחזות את קיומו של חומר אפל, ומדוע מדענים סבורים שהוא נוכח בכל פינה ביקום שלנו.

מהו חומר אפל? האם הוא בכלל אמיתי?

כשאנו מתבוננים אל שמי הלילה, נוכל להבחין בכך שהם מלאים אלפי כוכבים. הגופים השמימיים האלה כוללים כוכבי לכת במערכת השמש שלנו; כוכבים בגלקסיה שלנו וגלקסיות רחוקות מאוד-מאוד. האובייקטים הללו מרכיבים את כל החומר פולט האור ביקום. בסיוע סוגי טלסקופים שונים, אנו יכולים להבחין בגופים שמימיים אלה דרך האור

ספקטרום אלקטרו-מגנטי (Electro-magnetic Spectrum)

הטווח המלא של תדרי אור, מגלי רדיו ועד לקרני גמא וקרני רנטגן.

אורך גל (Wavelength)

מדידה של אור, במיוחד של המרחק בין שיאים של גלי אור. אורכי גל של אור נמדדים בננומטרים (nm) ונמצאים בטווח שבין כ-400 ננומטרים (אולטרה-סגול) ל-700 ננומטרים (אינפרא-אדום), כאשר האור הנראה מצוי ביניהם.

חומר (Matter)

כל דבר שיש לו מסה.

חומר אפל (Dark Matter)

חומר שאינו פולט אור, ולכן לא ניתן לראותו באמצעות טלסקופים.

אסטרופיזיקאי (Astrophysicist)

מדען שחוקר אובייקטים אסטרונומיים, כולל את היקום כולו.

מהירות (Velocity)

המרחק שעוברים בין שתי נקודות בכל יחידת זמן נתונה. לדוגמה, מכונית שנעה במהירות 60 קמ"ש, עוברת מרחק של 60 קילומטרים בין נקודה A לנקודה B בתוך שעה אחת.

שאותם גופים פולטים. חלק מהטלסקופים מסוגלים לאתר אור ממרחק של מיליוני שנות אור. סופר-טלסקופ אחד שאולי שמעתם עליו – טלסקופ האבל, של נאס"א (סוכנות החלל האמריקאית), יכול לראות למרחק של יותר מ-13.4 מיליארד שנות אור [1]! כל הטלסקופים פועלים על בסיס איתור אור שנפלט על ידי הגופים השמימיים האלה בספקטרום האלקטרו-מגנטי – מאור נראה ועד לקרני רנטגן. מדענים משתמשים במגוון אורכי גל של אור שאותר כדי לקבוע מידע מרכזי שקשור בגופים השמימיים ביקום שלנו. מידע כזה יכול להיות למשל המרחק של הגופים השמימיים מאיתנו; גיליהם; גודליהם וצורתיהם. מדענים אפילו יכולים להשתמש בחלק מהמידע הזה כדי להבין את חוקי היקום. אולם, ישנו חומר ביקום שאינו פולט אור באף חלק של הספקטרום האלקטרו-מגנטי, כלומר שאיננו יכולים לצפות בו באמצעות הטלסקופים שלנו. התכונה הייחודית הזו הופכת את הצפייה בסוגי חומר זה לבלתי אפשרית, ולכן מדענים מכנים אותו חומר אפל.

חלק מהמדענים, בפרט אסטרופיזיקאים, מקדישים זמן רב לפיתוח תיאוריות לגבי מה חומר אפל יכול להיות. מדענים יודעים כי חומר אפל אינו פולט אור באף חלק בספקטרום האלקטרו-מגנטי, אך חומר אפל נצפה כמושפע על ידי כוח הכבידה. אסטרופיזיקאים עדיין אינם בטוחים מהו בדיוק חומר אפל. אולם, הם יודעים מה חומר אפל אינו, על ידי צפייה באופן שבו הוא מתנהג בהשוואה לחומרים אחרים. ידוע לנו כי חומר אפל מרכיב כ-80% מהמסה הכוללת של הגלקסיות [2]. המשמעות היא שישנו פי 4 חומר אפל לעומת חומר רגיל! אם חומר אפל קשה כל כך לצפייה, מדוע מדענים מאמינים שהוא קיים? הרקאות שתומכות בקיומו של חומר אפל הן נרחבות, ובהמשך המאמר נסקור שלוש דוגמאות עיקריות לכך.

חומר אפל משפיע על תנועת כוכבים בתוך גלקסיות

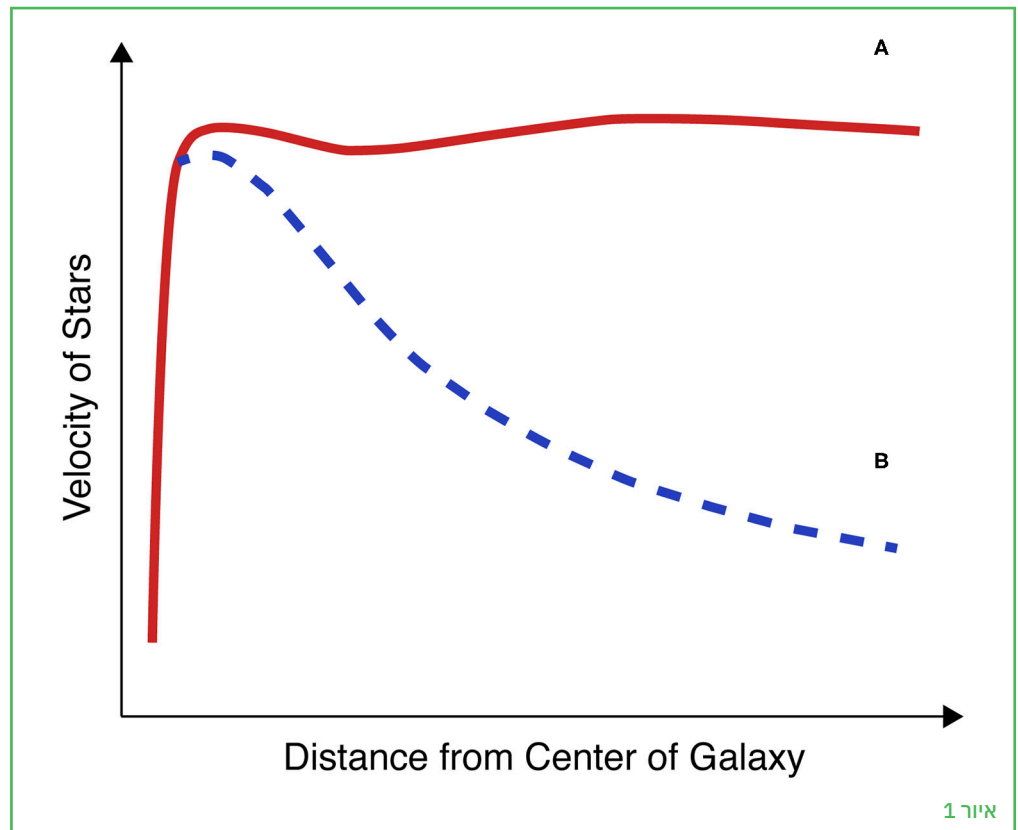
הסוג הראשון של רקאות התומכות בקיומו של חומר אפל קשור באופן שבו חומר זה משפיע על תנועתם של גופים שמימיים. במערכת השמש שלנו, כמעט כל המסה היא השמש. כוכבי הלכת הפנימיים ביותר, כמו כוכב חמה (Mercury) ונוגה (Venus), חגים סביב השמש במהירות הגבוהה ביותר. כאשר המרחק מהשמש עולה, המהירות שבה כוכבי לכת נעים פוחתת. הסיבה לכך היא שישנה פחות משיכה כבידתית מהשמש לכוכבי לכת רחוקים יותר, ולכן, כדי שלא להיכנס למסלול ספירלי לכיוון השמש או הרחק ממנה, על כוכבי הלכת לנוע לאט יותר. באופן דומה ביכולתנו להקיש לגבי גלקסיות. אם אנו מניחים שהחלק הבהיר של גלקסיה מראה היכן מצויה מרבית המסה, אז היא נמצאת ליד מרכז הגלקסיה, ובקצה האפלולי של הגלקסיה לא אמורה להיות כל כך הרבה מסה. לכן, אובייקטים שחגים רחוק ממרכז הגלקסיה צריכים לנוע לאט יותר מאובייקטים שקרובים יותר למרכז, ממש כמו כוכבי הלכת במערכת השמש שלנו.

במטרה לבחון את ההשערה הזו, מדענים מדדו אור שמגיע מגלקסיה ספירלית רחוקה (גלקסיית הבית שלנו, שביל החלב, נחשבת לגלקסיה ספירלית), ושרטטו את המהירויות של הכוכבים לעומת מרחקם ממרכז הגלקסיה. הם גילו כי הכוכבים לא התנהגו באופן הצפוי – נמצא כי הכוכבים שרחוקים יותר מהמרכז נעים מהר הרבה יותר מהמצופה (איור 1). הדרך היחידה שבה הדבר יכול להתאפשר היא אם יש יותר מסה בחלק החיצוני של גלקסיות ממה

שאנחנו מסוגלים לראות. העובדה שאיננו מסוגלים לראות את המסה הזו, מאחר שאינה פולטת אור, מציעה את אפשרות קיומו של החומר האפל.

איור 1

הקשר בין מהירות של כוכבים למרחק ממרכז הגלקסיה. (A) המהירות הנצפית בפועל של כוכבים שרחוקים ממרכז הגלקסיה גדולה יותר מזו שחזו מדענים (B). נתונים אלה מצביעים על כך שישנה כמות מסה גדולה שנמצאת בחלק החיצוני של הגלקסיה שלנו, אשר אין באפשרותנו לראותה מאחר שאינה פולטת אור. ממצאים אלה מחזקים את אפשרות קיומו של חומר אפל (האיור שונה מהתמונה המקורית של PhilHibbs, והוא מוגן על ידי רישיון זכויות יוצרים (CC BY-SA 3.0).



חומר אפל מסבך את חישובי מסת הגלקסיה

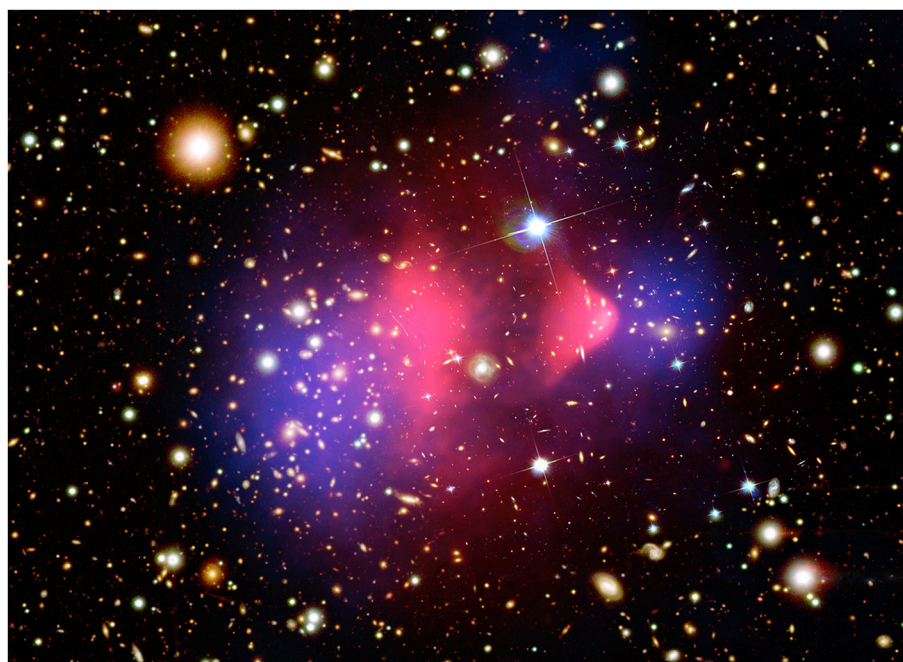
רְאִיּוֹת לחומר אפל אינן חדשות. בשנת 1933, פריץ צוויקי, אסטרונום שווייצרי, היה אחד מהראשונים שאיתרו את נוכחותו של חומר אפל. צוויקי חקר את האור שנפלט על ידי יותר מ-1,000 גלקסיות שהן חלק מִצְבִּיר הגלקסיות קוֹמָה. הוא קבע את המסה של צביר קומה באמצעות שתי שיטות. שיטה אחת השתמשה במהירויות של גלקסיות, שאותן הוא קבע על ידי מדידת שינויים באור שהן פלטו. שיטת החישוב השנייה קבעה את המסה באמצעות הבהירות הכוללת של הצביר. על ידי השוואת שתי הֶעֱרָכוֹת המסה שהתקבלו, הוא מצא כי מדידת מהירות הגלקסיה העריכה שהמסה היא פי כמה מאות יותר בצביר קומה ממה שתחזית הבהירות צפתה.

מאחר שהחומר הנוסף לא פלט אור, צוויקי אמר כי "אם זה יאושר, נקבל את התוצאה המפתיעה שלפיה חומר אפל נוכח בכמויות גדולות הרבה יותר מחומר קורן" [3]. זמן קצר מאוד לאחר מכן, תוצאה דומה התקבלה מצביר הגלקסיות וִיֶּרְגוֹ. אולם, שיטות המדידה באותו הזמן לא היו מדויקות כמו השיטות המודרניות, וטבעה השני במחלוקת של התוצאה – כי היקום נשלט על ידי סוגים של חומר אפל בלתי ידוע – גרם למדענים לדחות את ההשערה הזו עד לכמעט 50 שנים מאוחר יותר.

חומר אפל מכופף את האור

תחום הראיות השלישי שתומך בקיום חומר אפל מגיע ממחקר של צביר הקליע (Bullet Cluster), שהוא השם שניתן לשתי גלקסיות שהתנגשו לאחרונה. אסטרונומים מצאו דרך לגלות את המסה של אובייקט שמיימי, כמו גלקסיה, באמצעות שיטה הידועה בשם **עידוש כבידתי** [4]. שיטה זו מבוססת על העובדה שלפיה המסה של אובייקט משפיעה על צפיפות המרחב שסביבו. כאשר האור נע דרך המרחב הדחוס הזה, הוא מתעקם. כדי להמחיש זאת, נדמיין יריעה שטוחה מתוחה. היריעה מייצגת את המרחב כשאין מסות בקרבתו. כעת, דמיינו שאתם ממקמים כדור באולינג על היריעה. אנו יודעים כי היריעה תימשך למטה על ידי כדור הבאולינג. הכדור יעקם את היריעה באופן דומה לאופן שבו מסות מעקמות את המרחב-זמן. כאשר אור עובר קרוב לאובייקט בחלל, הוא נע על גבי משטח מעוקם, אשר מעקם את גלי האור. ככל שמסת האובייקט גדולה יותר, כך האור מתעקם יותר. בעזרת תיאוריה זו, ביכולתנו לקבוע את המסה של אובייקט שמיימי על ידי צפייה במידה שבה האור מכוכב שנמצא מאחוריו מתעקם.

באמצעות שימוש בשיטת עידוש כבידתי, מדענים קבעו את המסה הכוללת של צביר הקליע, לרבות החומר האפל [5]. **איור 2** מראה כי מרבית המסה של צביר הקליע אינה ממוקמת במקום שממנו נובעות פליטות קרני הרנטגן – כלומר, אינה מגיעה מהחומר שביכולתנו לראות. לכן, הגלקסיות האלה מורכבות מהרבה יותר חומר אפל בהשוואה לחומר רגיל.



איור 2

מה חומר אפל יכול להיות?

מדענים הציעו תיאוריות רבות שונות במטרה לנסות לפתור את חידת החומר האפל. חלקם מאמינים כי חומר אפל הוא פשוט חומר רגיל שמרוכז באובייקטים שקשה לראותם, כמו

עידוש כבידתי (Gravitational Lensing)

אור שנוצר על ידי גלקסיות רחוקות מתכופף ומתעוות כשהוא מתקשר עם שדה הכבידה של כמויות מסה עצומות, כמו למשל צבירי גלקסיות.

מרחב זמן (Spacetime)

מונח מתחום הפיזיקה לתיאור המרחב הארבע-ממדי, שאותו נהוג לייצג על ידי מערכת קואורדינטות מרחביות וקואורדינטת זמן. כל נקודה במארג זה מציינת אירוע המתרחש בזמן ובמקום מסוימים.

איור 2

תמונה של צביר הקליע שצולמה על ידי נאס"א באמצעות טלסקופ החלל האבל ומצפה

הרנטגן צ'נדרה. צביר הקליע הוא שילוב בין שתי גלקסיות שהתנגשו בעבר. האזורים הכחולים מייצגים את מרבית המסה בגלקסיות, שמורכבת מחומר אפל, והאזורים הוורודים הם חומר רגיל. ביכולתנו לאתר חומר אפל באמצעות עידוש כבידתי, אשר מאתר את ההיסטים באור שמוצא על ידי גופים שמיימיים רחוקים [5].

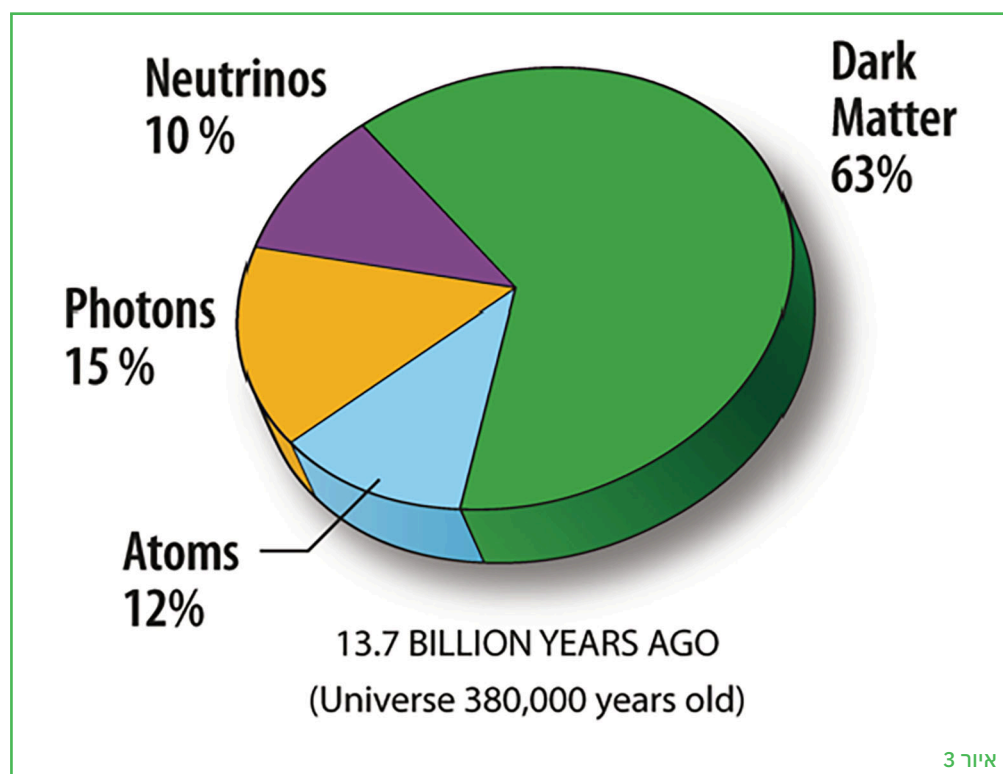
הנקודות הבהירות מחוץ לאזורים הצבעוניים הן כוכבים וגלקסיות שאינם חלק מצביר הקליע (קרדיט – קרני רנטגן: ;NASA/CXC/CfA/ M.Markevitch et al. אופטי: ;NASA/STScI Magellan/U.Arizona/ D.Clowe et al. מפת עידוש: ;ESO WFI ;NASA/STScI U.Arizona/ Magellan/ (D.Clowe et al.

למשל כוכבי לכת גדולים או חורים שחורים. אולם, תצפיות מדעיות גורמות לתיאוריה הזו להיות לא סבירה.

אם כן, ממה מורכב חומר אפל? מדענים כבר גילו סוג חלקיק אחד שמרכיב חומר אפל, אשר נקרא **נייטרינו**. נייטרינואים הם חלקיקים שאינם פולטים אור, ממש כמו חומר אפל. אולם, נייטרינואים יכולים להוות רק חלק קטן מכמות החומר האפל הכוללת. הסיבה לכך היא כיוון שהם קלים מדי, וכאשר נוצרו ביקום המוקדם, הם נעו מהר מדי. לפיכך, חלקיקים נוספים שעדיין לא התגלו צריכים להיות מעורבים. שני המועמדים המבטיחים ביותר הם חלקיקים שנקראים WIMPs ו-axions. סוגי חלקיקים אלה טרם נצפו, ובמסגרת ניסויים רבים הנערכים ברחבי העולם בימים אלה, מחפשים אחריהם.

סיכום

מעריכים כי חומר אפל מהווה כ-63% מכלל החומר ביקום (איור 3). יכולתנו להבין חומר אפל תסייע לנו ללמוד עוד על היקום, בכלל זה לגלות פרטים על אודות מקורו ואופן היווצרותו. ניסויים רבים נערכים ברחבי העולם, כולל ניסויים ב-LHC –מאיץ חלקיקים גדול, הממוקם בשווייץ,¹ במטרה להתחקות אחר טבעם של חלקיקים זעירים שיכולים ללמדנו על התנאים שבהם חומר אפל נוצר. עבודה רבה עוד צריכה להיעשות, אך דבר אחד בטוח – יש הרבה למה לצפות בתחומים של אסטרופיזיקה ופיזיקת חלקיקים!



נייטרינואים (Neutrinos)

חלקיקים זעירים, קטנים יותר מאטומים, שאין להם מטען חשמלי. נייטרינואים הם אחד המרכיבים של חומר אפל.

¹למידע על אודות LHC – לחצו כאן; למידע נוסף לגבי חומר אפל – לחצו כאן.

איור 3

תרשים עוגה המייצג את כל החומר שהיה נוכח 380,000 שנים אחרי לידת היקום. תוכלו לראות כי כמות החומר האפל גדולה הרבה יותר מכל סוגי החומר האחרים. כמותו זו נותרה זהה כיום [2], והמסה של היקום לא השתנתה הרבה מאז העידן שמוצג באיור. תרשים זה נוצר על ידי NASA/WMAP Science Team, והוא זמין לשימוש הציבור.

מקורות

1. Garner, R. 2015. *About the Hubble Space Telescope*. Retrieved from: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html
2. Ibarra, A. 2015. Dark matter theory. *Nucl. Part Phys. Proc.* 267–269:323–31. doi: 10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.126
3. Bertone, G. and Hooper, D. 2018. History of dark matter. *Rev. Mod. Phys.* 90:045002. doi: 10.1103/revmodphys.90.045002
4. Wambsganss, J. 1998. Gravitational lensing in astronomy. *Living Rev. Relativ.* 1:12. doi: 10.12942/lrr-1998-12
5. Clowe, D., Bradac, M., Gonzalez, A. H., Markevitch, M., Randall, S. W., and Jones, C., et al 2006. A direct empirical proof of the existence of dark matter. *Astrophys. J. Lett.* 648:L109–13. doi: 10.1086/508162

פורסם אונליין: 28 באפריל 2023

נערך על ידי: Joey Shapiro Key

מנחות מדעיות: Auriane C. Ernault and Kathryn A. Wierenga

ציטוט: Bhathe VP, Brennan C, Ellis S, Moynes E, Graham K and Landsman SJ (2023) כיצד מדענים יודעים שחומר אפל קיים? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.576034-he

תורגם והותאם מ: Bhathe VP, Brennan C, Ellis S, Moynes E, Graham K and Landsman SJ (2021) How Do Scientists Know Dark Matter Exists? *Front. Young Minds* 9:576034. doi: 10.3389/frym.2021.576034

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

COPYRIGHT © 2021 © Bhathe, Brennan, Ellis, Moynes, Graham and Landsman 2023. 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

NOAH, גיל: 10

היי! קוראים לי נוח. אני בן 10, ובדיוק התחלתי את כיתה ה'. מאז שהייתי בן 3, רציתי להיות אסטרונוט. אני יודע הרבה על אודות החלל, תעופה, מדע והיסטוריה. אני אוהב לקרוא וללמוד דברים חדשים. אני גם אוהב לשחק עם בני הדודים שלי ועם חבריי, ולהשתתף בפעילות בסניף המקומי של EAA (ארגון המציע לימוד תעופה והתנסות בתחום, ומקדם מעורבות חברתית של בני נוער בקהילה).



**OSCAR, גיל: 12**

היי! קוראים לי אוסקר ואני גר בצרפת, קרוב לפריז. התחביב האהוב עליי הוא משחקי וידיאו עם חברים. אני אוהב לטייל ולעסוק בספורט, אוהב גם מתמטיקה ופיזיקה, ואוהב מאוד מדע.

**SANAH, גיל: 14**

היי! קוראים לי סנאה. אני גרה קרוב לפריז ומסוקנת מאוד מהעולם. אני אוהבת מדע ובמיוחד אסטרונומיה, מדעי המוח ופסיכולוגיה. כשאגדל, ארצה להיות חוקרת, ולסייע לרפא מחלות. אני גם אוהבת מחול מודרני ומוזיקה.

הכותבים**VISHNU PRITHIV BHATHE**

וישנו פריטיו בְּאֵט'ה השלים את לימודיו לאחרונה באוניברסיטת קרלטון באוטווה, אונטריו, קנדה, כבוגר תואר ראשון במדע. מאז ילדותו היה סקרן לגבי מדע ולגבי האופן שבו אנשים משתמשים בשיעורים ממדע כדי לשפר את העולם. הוא גם מתעניין ביזמות ומתכוון להשתמש במחקר מדעי במטרה לתמרץ חדשנות. בזמנו הפנוי, הוא אוהב לרכוב על אופניים, לצייר, לקרוא ספרים ולחקור דברים חדשים.

**CHRISTINA BRENNAN**

כְּרִיסְטִינָה בְּרֶנָן היא סטודנטית לתואר ראשון באוניברסיטת קרלטון באוטווה, אונטריו, קנדה, שלומדת מדע בין-תחומי כחוג ראשי. היא מתעניינת במיוחד בקריירה בתקשורת המדע, ומשתמשת בכישורים שפיתחה בתואר הראשון שלה כדי לגשר בין תחומי ידע שונים. מאז שהייתה בת 10, כריסטינה עיצבה תוכניות קרקע של בתים על גבי נייר גרפי, וממשיכה לעשות זאת גם כיום באמצעות מדל תלת-ממדי. פרט למטרותיה האקדמיות, באחד הימים היא מקווה לעצב את הבית האקולוגי שלה (net zero home), ולבנותו.

**STEPHANIE ELLIS**

סטפני היא סטודנטית לתואר ראשון בשנתה האחרונה בתוכנית למדע ולהתמחות בין-תחומיים באוטווה, אונטריו, קנדה. יש לה תשוקה למעורבות קהילתית ולהבנת האופן שבו מערכות שונות פועלות, ממוח האדם ועד למחשבים. כבר בגיל צעיר, היא קיבלה השראה ממוריה להמשיך לחפש תשובות ולעקוב אחרי תשוקתיה.

**EMILY MOYNES**

אמילי היא סטודנטית שנה חמישית לתואר ראשון, שלומדת מדעי הסביבה באוניברסיטת קרלטון באוטווה, אונטריו, קנדה. במהלך רכישת השכלתה, השלימה התמחות בהנחייתו של דוקטור סטיבן קוק בפרויקטים שונים שקשורים לדגים, מה שהוביל לפרסום מאמר בעיתון Transactions of the American Fisheries Society. כיום היא משלימה את התזה שלה על קשיחות גופם של חרקים, בהנחיית דוקטור תומס נֶשֶׁר. אמילי אוהבת לרכוש ידע וחוויות חדשים בתחום שלה, ובעתיד מקווה לעסוק בתחום חקירת התנהגות חיות, או לקדם יוזמות הקשורות לשימור.

**KEVIN GRAHAM**

קוֹוִין גְּרָאָהם הוא פרופסור באוניברסיטת קרלטון באוטווה, קנדה, המתמחה בחקר פיזיקת חלקיקים. בגיל צעיר, פיתח עניין בהבנת האופן שבו היקום פועל מהיסוד. זה הוביל אותו להיות מדען המעורב במדידת תכונות החלקיקים הקטנים ביותר של החומר, והאינטראקציות ביניהם. קוֹוִין חבר בניסוי ATLAS שממוקם



במאיץ LHC (Large Hadron Collider) ב-CREN ליד ז'נבה, שווייץ. ניסוי זה מודד את האינטראקציות מהתנגשויות של פרוטונים באנרגיות גבוהות, שיכולות להפיק חומר אפל, נוסף על חלקיקים אחרים. הוא עובד עם צוות מדענים בינלאומי במטרה למצוא ראיות לחומר אפל שנוצר ב-ATLAS.



SEAN J. LANDSMAN

סין הוא פרופסור מלמד בתוכנית למדע ולהתמחות בין-תחומיים באוניברסיטת קרלטון באוטווה, אונטריו, קנדה, שנמצאת בשטח הלא מוסדר של Algonquin First Nation. הוא אקולוג חוות דיג מוסמך וחוקר כיצד דגים נעים בסביבותיהם, כמו גם כיצד אנשים משפיעים עליהם. סין הוא גם מתקשר מדע בעל תשוקה רבה, ונהנה לחלוק את הידע שלו עם כל מי שמוכן להקשיב! למעשה, אהבתו לתקשור מדע חוות הדיג היא שהובילה אותו לצילום, ובפרט לצילום תת-ימי. סין אוהב לבלות זמן בחוץ, במיוחד בחוות דיג ובטיול, ונהנה מביצוע תיקונים במחסן שלו ומיצירת דברים מעץ.

*sean.landsman@carleton.ca

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