



האסטרונומיה החדשה: התבוננות ביקום באמצעות אור וכבידה

Joey Shapiro Key*, for the LIGO Scientific Collaboration

המחלקה למדעי הפיזיקה, אוניברסיטת וושינגטון בות'ל, בות'ל, וושינגטון, ארצות הברית

סוקר צעיר

JONAH
גיל: 12



ביום קייץ ב-2017, אסטרונומים ברחבי העולם קיבלו הודעה על התנגשות מרגשת בין שני כוכבים רחוקים מאוד. ההודעה נשלחה על-ידי קבוצת אסטרונומים ממצפי LIGO ו-Virgo. המצפים החדשים האלה שונים מאוד מהטלסקופים שאיתם נהגנו לחקור את העולם עד כה. LIGO ו-Virgo הם מצפים של גלי כבידה, שמקשיבים לאדוות שקטות בחלל-זמן שנוצרות על-ידי התנגשויות בין חורים שחורים וכוכבי ניוטרונים רחוקים. ב-17 באוגוסט 2017, LIGO ו-Virgo איתרו את שאסטרונומים כינו GW170817, שהגיע מהתנגשות בין שני כוכבי ניוטרונים. פחות משתי שניות לאחר מכן, לוויין פרמי של נאס"א תפס את האות, שידוע כהתפרצות קרני גמא, ובתוך דקות ספורות הטלסקופים סביב לעולם החלו לסרוק את השמיים. טלסקופים בדרום אמריקה מצאו את מיקום ההתנגשות בגלקסיה רחוקה שידועה בשם NGC 4993. במשך שבועות וחודשים לאחר מכן, אסטרונומים צפו בגלקסיה ובאור הדועך מההתנגשות. זהו סוג אסטרונומיה חדש ורב-שליחי, שבו בפעם הראשונה בהיסטוריה אפשר לצפות באותו אירוע באמצעות גלי כבידה וגם באמצעות אור.

כוכבי ניוטרונים

כוכב ניוטרונים (Neutron Star)

אובייקט דחוס להפליא
שנשאר אחרי התנגשות של
כוכב מסיבי.

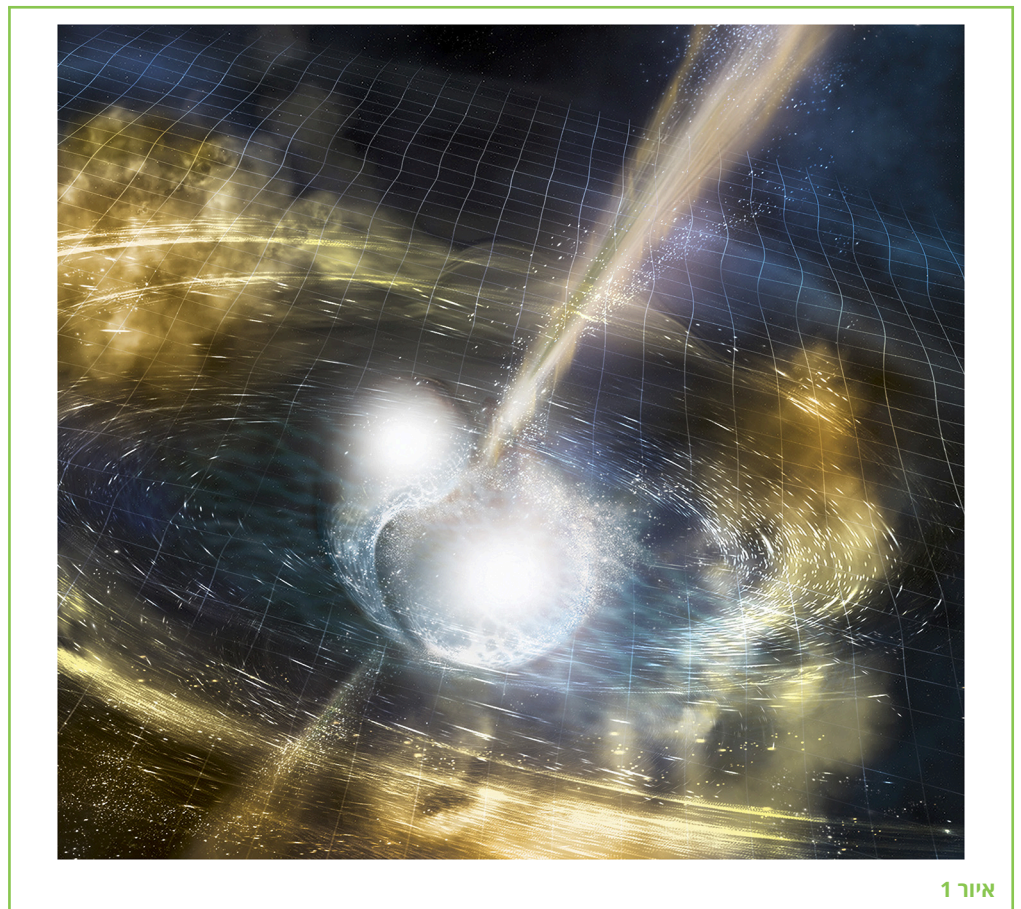
חור שחור (Black Hole)

אזור בחלל-זמן, שנגרם על-ידי
מסה קומפקטית להפליא, שבו
הכבידה כל כך אינטנסיבית
שהיא מונעת מכל דבר, כולל
אור, לברוח מהחור השחור.

איור 1

המחשה של צייר של שני
כוכבי ניוטרונים, שמוצגים
אחרי שהם התנגשו במרכז
התמונה. הקרן הצרה מייצגת
את התפרצות קרני הגמא,
בעוד שלוח המשבצות של
החלל-זמן מייצג את גלי
הכבידה מההתנגשות. עננים
מסתובבים של חומר שנזרק
החוצה מהכוכבים המתמוזגים
הם מקור אפשרי לאור שנצפה
על-ידי אסטרונומים. קרדיט:
הקרן הלאומית למדע / LIGO
/ האוניברסיטה הממלכתית
של סונמה / A. Simonnet.

כוכבי הלילה עשויים להיראות כאילו שהם היו שם מאז ומעולם, אולם כל כוכב נוצר בחלל מגז ומאבק שנמשכו זה לזה על-ידי הכבידה. כוכב חדש שנולד מאיר באור בוהק עד שהוא מסיים את הדלק שלו. כוכבים בגודל קטן ובינוני, כמו השמש שלנו, מסיימים את חייהם כננסים, השאריות הבוהקות של ליבת הכוכב. כוכבים גדולים הרבה יותר, כמו השמש שלנו, מתים מוות מרהיב, ומתפוצצים כסופרנובה. שאריות פיצוץ הסופרנובה הן ליבה דחוסה וכהה, בצורת **כוכב ניוטרונים** או בצורת **חור שחור**. הרעיון של כוכב ניוטרונים הוצג לראשונה לפני יותר מ-80 שנים, בשנת 1934, אולם חלפו עוד 33 שנים לפני שאסטרונומים מצאו את כוכב הניוטרונים הראשון. בשנת 1967 אותרו קרני רנטגן מכוכב ניוטרונים רחוק, ומאוחר יותר באותה השנה התגלה פולסר הרדיו הראשון. פולסר הוא כוכב ניוטרונים ממוגנט ביותר שמסתובב ושולח בכל סיבוב קרן של אות רדיו לכיוון כדור הארץ. טלסקופי רדיו כאן על כדור הארץ יכולים לצפות בפולסים האלה, אשר מגיעים באופן סדור כמו שעון מתקתק. אסטרונומים גם מצאו מערכת של שני כוכבי ניוטרונים, עם שני כוכבים שמסתובבים אחד סביב לשני. כשמדענים תכננו לבנות את גלאי גלי הכבידה LIGO ו-Virgo, הם קיוו למצוא אותות של גלי כבידה מחלק ממערכות שני כוכבי הניוטרונים האלה (איור 1).



איור 1

גלי כבידה

לפני יותר מ-100 שנים, אלברט איינשטיין הציג את התיאוריה של יחסות כללית – תיאור של כבידה שחווה חורים שחורים וחלל-זמן מעוקם. התיאוריה גם חוזה גלי כבידה, שהם אדוות בחלל-זמן שמתקדמות במהירות האור, ונוצרות על-ידי האצה של אובייקטים מאסיביים, כמו למשל חורים שחורים וכוכבי ניוטרונים. בספטמבר 2015, גלאי LIGO החדשים והמשודרגים של הקרן הלאומית למדעים צפו באות גל הכבידה הראשון מהתנגשות בין שני חורים שחורים בגלקסיה מרוחקת [1]. האירוע נקרא GW150914, עבור גל הכבידה (Gravitational Wave - GW) שהתרחש ב-14 בספטמבר 2015. גלאי מצפה הכוכבים שמבוסס על אינטרפרומטר של לייזר (LIGO - Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) ממוקמים בהאנפורד, בושינגטון ובלבינסטון, לואיזיאנה, ארצות הברית. יחד עם גלאי Virgo האיטלקי, הם יוצרים רשת של מצפי גלי כבידה שאיתרו 10 אותות גלי כבידה שונים מזוגות של חורים שחורים מתנגשים בשנתיים הראשונות שהם פעלו בין 2015 ל-2017. בקיץ של חצי הכדור הצפוני בשנת 2017, המצפים איתרו סוג אות חדש, אחד שהגיע מהתנגשות בין שני כוכבי ניוטרינו [2].

התפרצויות קרני גמא

קרני גמא הן סוג של אור שהוא אפילו אנרגטי יותר מקרני רנטגן. באמצע שנות ה-1960, התפרצויות של קרני גמא (GRBs - gamma-ray bursts) התגלו על-ידי לווייני Vela. אסטרונומים גילו לאחר מכן שההתפרצויות האלה הגיעו מהחלל, אולם מה יכול היה ליצור את התפרצויות קרני הגמא האלה? קביעת מקורות ההתפרצויות הייתה אחד מאתגרי המפתח באסטרופיזיקה של אנרגיות גבוהות מאז. בשנת 2015, התפרצות קרני גמא קצרה (sGRB) התגלתה כמגיעה מגלקסיה רחוקה, ומצפים סיפקו ראיות לכך שהיא עשויה להיות תוצאה של התנגשות בין שני כוכבי ניוטרינו, או מהתמזגות של כוכב ניוטרינו עם חור שחור. אלה אירועים מאוחרים מאוד שקשה למצוא, כך שנדרש סוג חדש של אסטרונומיה והתפתחות של גלאים רגישים לגלי כבידה כדי לגלות את התנגשות כוכב הניוטרינו שיצרה את אות גל הכבידה GW170817, ואת התפרצות קרני הגמא שאותרה על-ידי לוויין פרמי של נאס"א ב-17 באוגוסט, 2017.

תגלית מרובת-שליחים

ב-17 באוגוסט 2017, לוויין פרמי של נאס"א שלח התרעה אוטומטית של אות של התפרצות קרני גמא, שכיום ידוע בשם GRB170817A [3]. לקח כ-6 דקות למחשבי LIGO למצוא שאות אפשרי של גלי כבידה אותר כמעט באותו הזמן במצפה הנפורד. אות גל הכבידה נראה כמגיע מהתנגשות בין שני כוכבי ניוטרינו שנצפו 2 שניות לפני התפרצות אות קרני הגמא. מדעני LIGO ו-Virgo הוציאו התרעה לאסטרונומים ברחבי העולם, וזמן קצר לאחר מכן הם חלקו מפה של האזור בשמיים שככל הנראה היה מקור התפרצות קרני הגמא ואותות גל הכבידה, והוא מוצג באיורים 2, 3.

אירוע זה ציין את התגלית רבת-השליחים הראשונה: היא נצפתה גם על-ידי גלי כבידה, וגם על-ידי אור, שידוע גם כגל אלקטרומגנטי. באותו הזמן של ההתרעה זו הייתה שעת צוהריים

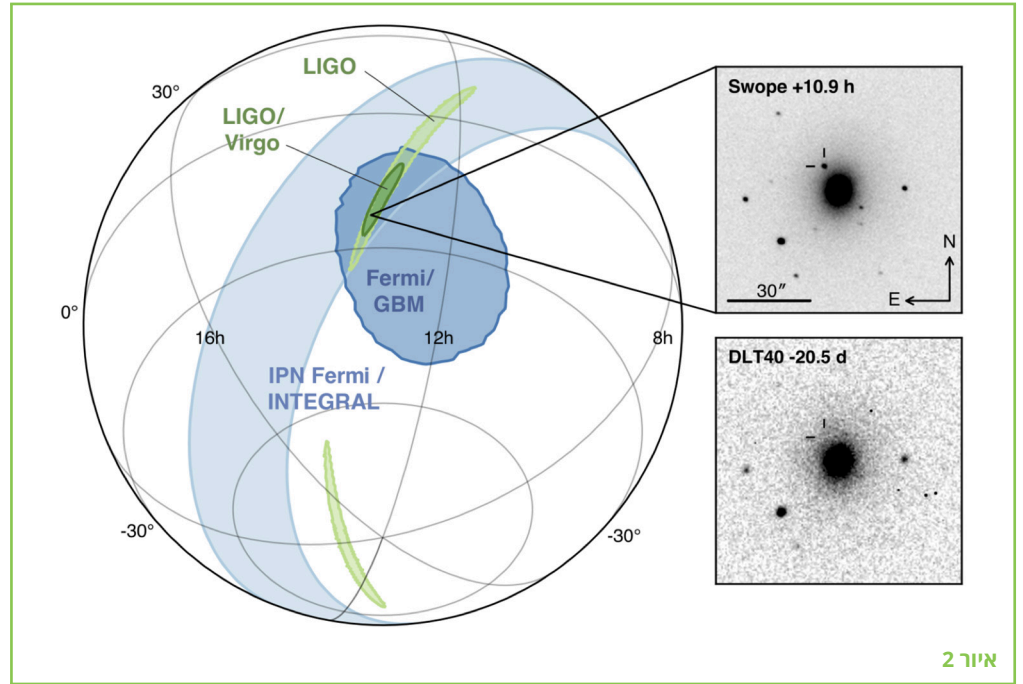
קרני גמא

(Gamma-ray)

האור בעל האנרגיה הגבוהה ביותר, שידועה גם בשם קרינה אלקטרומגנטית.

איור 2

כדי למצוא את הגלקסיה שבה התרחשה התנגשות כוכב הניוטרינו, מדענים שילבו מידע מ-LIGO ומ-Virgo, מלוויין פרמי ומטלסקופים נוספים. בעיגול שמייצג חלק מהשמיים, משמאל, כיוון האות מ-LIGO מוצג באור ירוק בהיר, הכיוון המשולב של LIGO ו-Virgo מוצג בירוק כהה, הכיוון מלווייני פרמי ואינטגרל מוצג באור כחול בהיר, והכיוון מגלאי פרמי להתפרצות קרני גמא (GBM) מוצג בכחול כהה. טלסקופים חיפשו את האזור החופף בשמיים, ומצאו מקור חדש בזהב בגלקסיה NGC 4993, שמוצג בתמונות הטלסקופ מצד ימין באמצעות קווים אופקי ואנכי. התיבה העליונה מראה את הגלקסיה מטלסקופ Swope 11 שעות לאחר התגלית, והתיבה התחתונה מראה את הגלקסיה מטלסקופ DLT40 20 ימים קודם לכן [3].



איור 2

בחצי הכדור המערבי, ועד הלילה טלסקופים בדרום אמריקה היו ממוקמים טוב כדי לסקור את שמי הלילה בחיפוש אחר ההתנגשות. בשעות הראשונות של החושך, כמה טלסקופים מצאו מקור בזהב בגלקסיה NGC 4993. טלסקופים ברחבי העולם הפנו את מבטם ל-NGC 4993 כדי לראות מה יקרה הלאה. במשך השבועיים שלאחר מכן, רשת של טלסקופים שממוקמים על האדמה ומְצַפִּים שממוקמים בחלל עקבו אחרי האיתורים הראשונים. תצפיות נעשו בכל מיני סוגים של אור, עם טלסקופים שיכולים למדוד אותות אולטרה-סגולים, אופטיים ואינפרה-אדומים. אסטרונומים גילו שמקור האור החדש היה kilonova, אירוע קצר-מועד שנגרם על-ידי התנגשות בין שני כוכבי ניוטרינו. לאחר התרחשות kilonova, אותו אזור בשמיים נצפה באמצעות טלסקופים של קרני רנטגן ואותות רדיו כדי להבין טוב יותר את ההתנגשות. התצפיות האלה חשפו מידע חשוב על תוצר האנרגיה של הפיצוץ, על החומר שנזרק החוצה, ועל הסביבה של ההתנגשות. התצפיות האלה הראו לנו שהתנגשויות כוכב ניוטרינו מסוגלות ליצור יסודות כבדים, כולל זהב, ואיששו את מה שהייתה לפני המדידה השערה בלבד. מצפי **ניוטרינו** חיפשו ללא הצלחה אחר ניוטרינואים עתירי אנרגיה שמגיעים מאזור GW170817. זו מטרתה של **אסטרונומיה רבת-שליחים** לְאָתֵר גלי כבידה, קרינה אלקטרומגנטית, וניוטרינואים מאותו אירוע קוסמי [4]. מאחר שגלי הכבידה והפרצויות קרני הגמא התרחשו בזמנים כמעט זהים, הצלחנו לאשש את התחזית של איינשטיין על כך שגלי כבידה וגלי אור מתקדמים במהירות האור, לאורך מיליוני קילומטרים.

האסטרונומיה החדשה

תגלית אות גל הכבידה GW170817 והתפרצות קרני הגמא שאותו על-ידי לוויין פרמי ב-17 באוגוסט 2017, ציינו את הפעם הראשונה שנצפים גלי אור וגלי כבידה מאותו מקור אסטרופיזיקאי. מצפי LIGO ו-Virgo לגלי כבידה שלחו התרעה לאסטרונומים ברחבי העולם בבקשה לסקור את שמי הלילה ולחפש התנגשות בין שני כוכבי ניוטרינו. טלסקופים מצאו את

ניוטרינו (Neutrino)

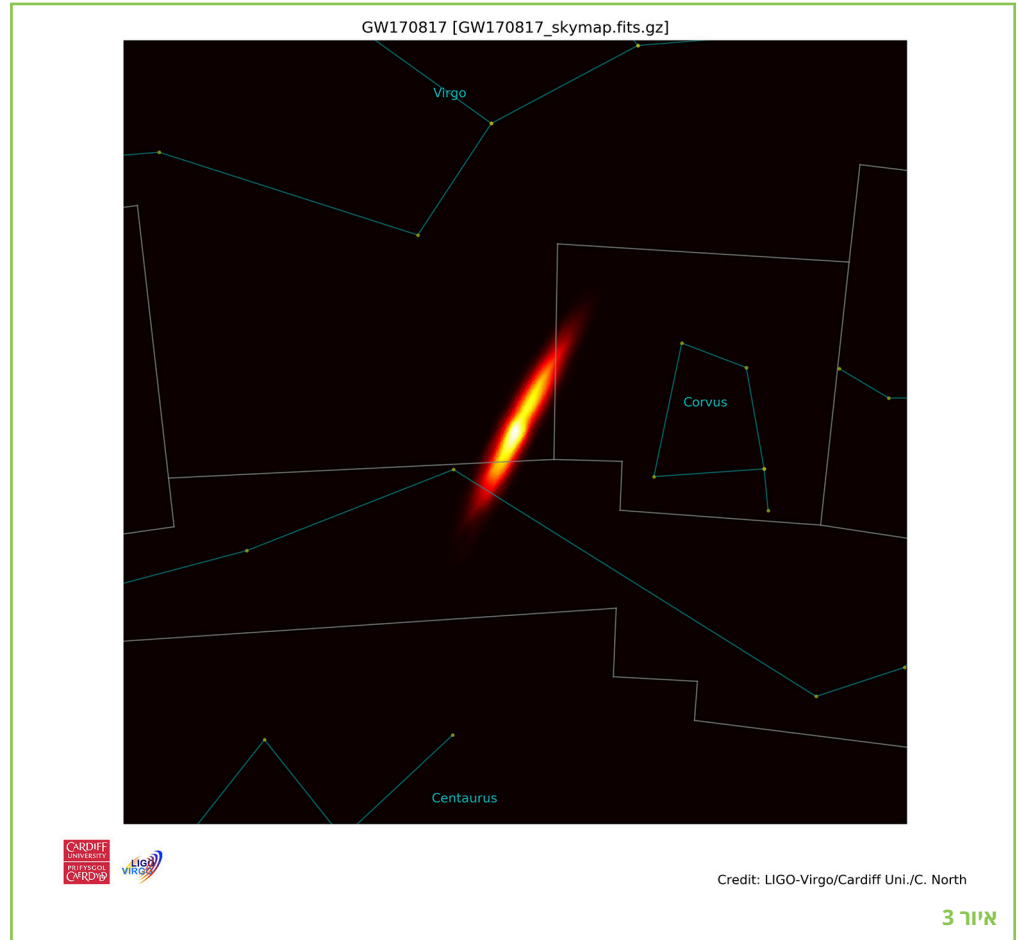
חלקיק זעיר ללא מטען מגנטי.

אסטרונומיה רבת-שליחים (Multi-messenger Astronomy)

שימוש בנתונים אלקטרומגנטיים, נתונים מגלי כבידה ונתונים מחלקיקים אסטרונומיים כדי ללמוד על היקום.

איור 3

מפת שמיים שמראה את כיוון
 אות GW170817 משילוב בין
 מצפי Virgo-I LIGO. קרדיט:
 Cardiff U./ LIGO-Virgo/
 .C. North



מיקום ההתנגשות בגלקסיה רחוקה, ובשבועות ובחודשים שלאחר מכן אסטרונומים צפו ורשמו את האור הדועך מההתנגשות. האירוע הזה היה הפעם הראשונה שאותו האירוע נצפה גם על-ידי גלי כבידה וגם על-ידי אור, והראה עד כמה חשוב שאסטרונומים יעבדו יחד כדי לגלות תגליות חדשות ומרגשות בעידן חדש של אסטרונומיה רבת-שליחים.

מאמר המקור

Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., et al., LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, Multi-Messenger Partners. 2017. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger. *Astrophys. J. Lett.* 848:L12. doi: 10.3847/2041-8213/aa91c9

מקורות

1. LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration. 2016. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.* 116:061102. doi: 10.1103/PhysRevLett.116.061102

2. LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration. 2017. GW170817: observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral. *Phys. Rev. Lett.* 119:161101. doi: 10.1103/PhysRevLett.119.161101
3. Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., et al., LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, Multi-Messenger Partners. 2017. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger. *Astrophys. J. Lett.* 848:L12. doi: 10.3847/2041-8213/aa91c9
4. LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, ANTARES, IceCube, and Pierre Auger Observatory. 2017. Search for high-energy neutrinos from binary neutron star merger GW170817 with ANTARES, IceCube, and the Pierre Auger Observatory. *Astrophys. J. Lett.* 850:L35. doi: 10.3847/2041-8213/aa9aed

פורסם אונליין: 30 בדצמבר 2021

נערך על ידי: Shane L. Larson

ציטוט: Key JS (2021) האסטרונומיה החדשה: התבוננות ביקום באמצעות אור וכבידה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00123-he

תורגם והותאם: Key JS (2019) The New Astronomy: Observing Our Universe With Light and Gravity. *Front. Young Minds* 7:123. doi: 10.3389/frym.2019.00123

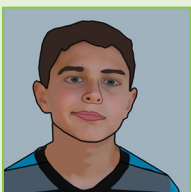
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2019 © 2021 Key. 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 (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.

סוקר צעיר

JONAH, גיל: 12

אני אוהב ענפים שונים של מדע שכוללים פיזיקה, כימיה, תכנות ומתמטיקה. אני אוהב לקרוא ספרים, ואני במיוחד מעריך של סיפורת. כיום אני גר בצפון קליפורניה ואני בכיתה ו. אני מבלה את זמני בדמיון של הרבה דברים ובהתנסויות במשחק שנקרא מיינקראפט.





הכותבת

JOEY SHAPIRO KEY

Joey Shapiro Key היא פרופסורית לפיזיקה באוניברסיטת וושינגטון בות'ל. יש לה תואר ראשון באסטרופיזיקה מקולג' ויליאמס, ודוקטורט בפיזיקה מהאוניברסיטה הממלכתית של מונטנה. היא חברה באיגוד LIGO Scientific Collaboration. *joeykey@uw.edu

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



הוצאת גרסה עברית
 Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK