

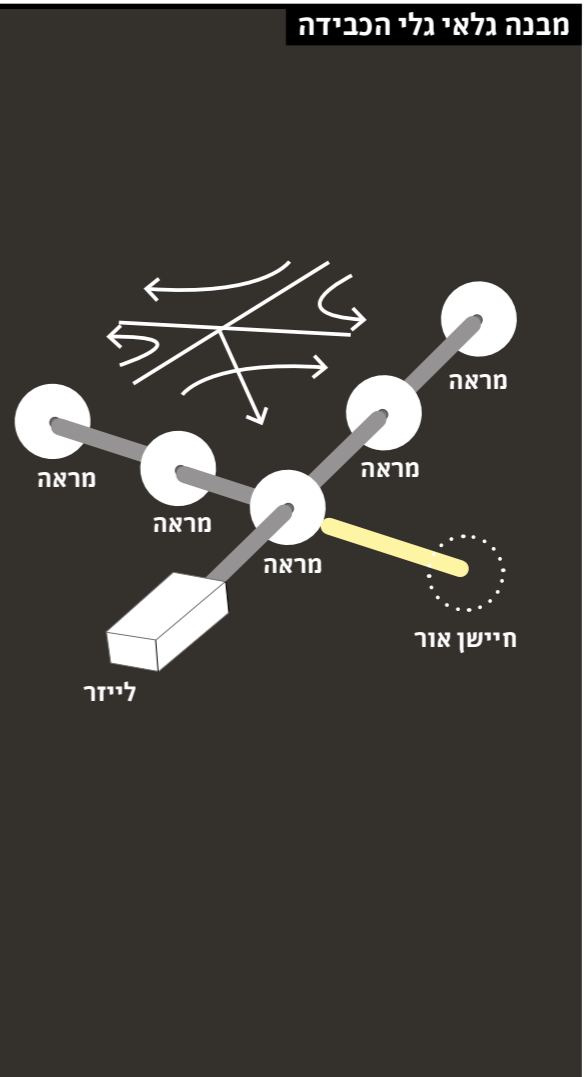
# עדכונים חמים מלפני מיליארד שנה

מאה שנה אחרי שאיינשטיין חזה את קיומם של גלי הכבידה, הגלאי של LIGO הצליח למצוא אותם לראשונה. בראיון ל"הארץ" מסביר מנהל המתקן מה הם הגלים, כיצד הגלאי עובד ואיך "השרדוג הקוונטי" שעבר מאפשר לאסטרונומים לקבל עדכונים בזמן אמת – ישר לטלפון שלהם

תופעה שכוה. ועתה, בזכות גלאי הכבידה, "התקבלה ההוכחה הרא" שונה לתיאוריה שהיתה לנו לגבי אופן היווצרות היסודות הכבדים" גם מציאת חור שחור בולע כו כב נויטרונים, אם תאושש בעו" רת תצפיות מטלסקופים נוספים, תאפשר תגליות חשובות נוספות. "המערכת הזו מעניינת כי היא כו" ללת חור שחור, אבל יש בה עדיין חומר", הסביר רייצה. "אם כוכב הנויטרונים קשיח דיו והחור הש" חור מאסיבי, הכוכב ייבלע בשלמור תו. אבל אם לא, כוכב הנויטרונים יוכל להתפרק – "להימרח" במס" לולו סביב החור השחור. ההתפ" רקות הזו מייצרת המון אור, וכך נוכל ללמוד יותר לעומק על ה" בע של כוכבי הנויטרונים".



חוקרים במתקן של ליגו, ב-2017. רייצה: "את גלי הכבידה הראשון קלטנו עוד לפני שגמרנו להפעיל את הגלאי. ביום שהתחלנו, בום. אות קוהרנטי לחלוטין" צילום: קאסי הסקת/מעבדת ליגו



בטווח האורך יותר, רייצה מס" מן עוד שתי מסורות שאפתניות עבור הגלאים אותם הוא מנהל, גם אם הוא מודה שיידרש מול רב כדי להגשימן. ראשית, הוא מקווה לק" לוש את גלי הכבידה של סופרנו" בה. סופרנובה נוצרת כאשר כוכ" בים מאסיביים יחסית שורפים את כל הדלק הגרעיני שלהם, ומתערי" ער האיוון בין כוח הכבידה הע" מי המושך את הכוכב פנימה, לבין הפעילות הגרעינית הדוחפת את החומר החוצה. אז קורס הכוכב לתוך עצמו במהירות, הליבה נד" חסת ומתחממת מאוד והמעטפת נורקת החוצה בעוצמה רבה.

הבעיה, אומר רייצה, שעד היום חוקרים לא מבינים עד תום את מנגנון ההתפוצצות הזה. "אפשר להכניס את כל הפיזיקה למחשב ולכתוב קוד מסובך שמדמה מה קורה כשסופרנובה מתפוצצת", הוא מסביר. "יש חלק בקוד, שת" לוי בתנאים המסוימים, שבו הכוכב פשוט לא מתפוצץ". לדבריו, ניתוח כמות האנרגיה המדויקת הנפל" טת מסופרנובה בגלי כבידה יוכל" אולי לפתור תעלומה זו. הבעיה, הוא אומר, היא ההגישות. המשך בעמוד 8

ביתר לעצם קיומם של חורים שחורים אליה מדענים הצליחו להגיע – עד לפריצת הדרך בה" דש שעבר שאפשרה לצלם חור שחור ישירות. "כוכבי נויטרונים מתמוגגים זה סיפור שונה, כי כשהם מתנגשים, הם מייצרים אור אור זה יכול ללמד גם על מה קורה בתהליך ההתנגשות, וגם מה קורה לחו" מר עצמו", אומר רייצה. כוכבי

ספורות לאחר פיתוח הלייזר ע" מו, בידי צמד מדענים רוסיים. בש" קאי את הדרישות הטכנולוגיות המינימליות לבניית גלאי שכוה, אולם שני עשורים חלפו לפני שה" טכנולוגיה הבשילה דיה כדי שחור קרים ינסו לבנות אבי-טיפוס של גלאים שכאלה. אן, בשנות ה-90, החלה הבנייה של הגלאים של LIGO, במימון הקרן הלאומית האמריקאית למדע (NSF), שה" שקיעה בסך הכל יותר ממיליארד דולר בפריקט.

עורך כתב העת אליו שלחו הש" ניים את המאמר העביר אותו לכ" קורת עמיתים, למורת רוחו של איינשטיין. חוקר בפרינסטון בשם הווארד רוברטסון עבר על המאמר לפסול את קיומם של גלי הכבי" דה, ובסופו של דבר המאמר תוקן.

עורך כתב העת אליו שלחו הש" ניים את המאמר העביר אותו לכ" קורת עמיתים, למורת רוחו של איינשטיין. חוקר בפרינסטון בשם הווארד רוברטסון עבר על המאמר לפסול את קיומם של גלי הכבי" דה, ובסופו של דבר המאמר תוקן.

## SPRING SUMMER 2019

**מכירה מיוחדת מהמלאי, עודפים ופינות אוכל- באספקה מיידית!**

**MONNALISA**  
טרמינל בנד  
והדום מעור

### דגמים חדשים במחירים ללא תקדים! אספקה מיידית מהמלאי

**NAPPOLI**

חדש!

בנד 3+2 בעור 14,900 | בנד 12,900

**LUCCA**

חדש!

בנד 14,900 | בעור 12,900

## 20 פינות אוכל עד 60% הנחה, אספקה מיידית

**רמת גן**  
רחובות 10 א.ת. חדש | 03-9617576  
פתוח כל שבוע 10:00-21:00

**ירושלים**  
רחובות 10 א.ת. חדש | 02-6763867  
פתוח כל שבוע 10:00-21:00

**תל אביב**  
רחובות 10 א.ת. חדש | 03-9617576  
פתוח כל שבוע 10:00-21:00

**חיפה**  
רחובות 10 א.ת. חדש | 04-9422842  
פתוח כל שבוע 10:00-21:00

**גילוי חדש מדי שבוע**  
לבסוף, כסבב השרדוג האחרון, שנמשך 19 חודשים, הוסיפו המה" נדסים המדענים לגלאי גם "ש" לול קוונטי". אור נתון לאותה במאות אלפי קילומטרים. "לכן צריך לעשות טריקים לגרום לג" לאי "לחשוב" שהוא ארוך בהר" בה", מספר רייצה.

הגרסה הראשונה של הגלאי, שפעלה מ-2002 ל-2010, לא היתה רגישה דיה לקלוט את הג" לים החתמקמים. הדור השני של גלאי LIGO החל לפעול ב-2015. יואת גל הכבידה הראשון קל" טנו עוד לפני שגמרנו להפעיל את הגלאי, מספר מנהל המת" קן הכפול. "המכשירים היו בה" כנה להרצה המרכזית, אבל כל המידע נשמר, ואן, ביום שהתח" לנו, בום. קלטנו אות. ואות עצום. בשני הגלאים. אות קוהרנטי לח" לוטין", מתאר רייצה בתלהבות את הגילוי, מאה שנה אחרי שה" תופעה נחזתה לראשונה. מנהל LIGO הגיע לארץ כדי להשתתף בכנס אוואי, אירוע הנערך ב" והאקדמאים פעם בשנתיים ומפ" גיש בין אקדמאים ומהנדסים מ" כילים מהתעשייה בתחומי האלק" טרוי אופטיקה. "הכנס מהווה מוקד משיכה לעוסקים בתחום מהתע" שייה הישראלית העולמית", אמר אהוד נוף, יו"ר לשכת המהנדסים. "הוא מאפשר מפגש בין חברות שונות, קרנות הון סיכון וסטארט אפים במטרה להביא להמשך ק" דום פיתוחים חדשניים בתחום".

**בעתיד רייצה מקווה לקלוט את גלי הכבידה שנוצרו במפץ הגדול, לפני 13.7 מיליארד שנה**  
טיים ביותר המייצרים גלי כבידה – מיווג בין חורים שחורים – עלה מפעם מחדש כמעט לפעם בשבוע, והחוקרים הצליחו גם לתעד אירור עים עוצמתיים פחות (שלכן קשה יותר לקלוט אותם מעל רעשי הר" קע) אך מסקרנים גם הם, כמו מ" ווג בין כוכבי נויטרונים ואולי גם חור שחור הבולע כוכב נויטרונים. אם כן, מדוע מתעניינים המדענים באירועים קוסמיים שכאלה?

ראשית, חקר החורים השחור" רים מאפשר לחקור את טבע הכ" בידה עצמה – לבחון לעומק את תורת היחסות של איינשטיין. "כשחור שחור נוצר, כל ההזות של החומר ממנו הוא עשוי נמ" קחת. כל מה שנותר בחור הש" חור מוגדר על ידי מסה ותנע וזימת", אומר רייצה. "לילי הח" רים השחורים נמצא את סוגי הכ" בידה הקיצוניים ביותר, את המ" ח"ומן בשיא העיוות שלו". בנר" סך, מזכיר פרופ' קול, הפיזיקאי מהאוניברסיטה העברית, כי גלאי הכבידה נתנו את העדות הישירה

### הצלחת הדור השני

20 שנה נוספות, ומלחמת ער" לם אחת, היו צריכות לחלוף לפ" ני שמדענים יתחילו להבין מה המשמעות של המשוואות המת" מטיות העולם הפיזיקלי. התפת" חות זו החלה גם את עידן החי" פוש אחר הגלאים שיקלטו וינתחו את אותם גלי כבידה היפותטיים. הדור הראשון של הגלאים היה ב" טרוו של דבר מוטות אלומיניום ענקיים. היעיון שמאחורי בניית הגלאים הללו, שהראשון שבנה אחד מהם היה חוקר בשם ג'ו וובר באוניברסיטת מרילנד, הוא שאם גל הכבידה עובר דרך המוט, הוא גורם לו להתכווץ ולהתרחב בה" תאם לגל. אם התדר של גל הכבי" דה יתארם לתדר התהודה של מוט האלומיניום, טען וובר, הגל יגרום לגלאי לדנדן כמו פעמון.

### החוקרים מעריכים שיהיו מפגש בין חור שחור לכוכב נויטרונים – אירוע שלא נצפה עד היום

"וובר החל לזהות מה שהוא חשב שהם גלי כבידה במוטות האלומיניום שלו", סיפר רייצה. חוקרים אחרים, שבתוכם את הג" האם נחוש בהיעלמות המסה שלה מיה, או שההשפעה תגיע אלינו רק אחרי שמונה דקות (הזמן שלוקח לאור להגיע מהשמש לכאן?) גלי הכבידה, התנדדות במרחב וזמן ע" מו הנעות במהירות האור, את הפ" תרון לסתייה זה. "אולם לאיינשטיין היתה מע" רכת יחסים מורכבת עם גלי הכבי"

עורך כתב העת אליו שלחו הש" ניים את המאמר העביר אותו לכ" קורת עמיתים, למורת רוחו של איינשטיין. חוקר בפרינסטון בשם הווארד רוברטסון עבר על המאמר לפסול את קיומם של גלי הכבי" דה, ובסופו של דבר המאמר תוקן.

עורך כתב העת אליו שלחו הש" ניים את המאמר העביר אותו לכ" קורת עמיתים, למורת רוחו של איינשטיין. חוקר בפרינסטון בשם הווארד רוברטסון עבר על המאמר לפסול את קיומם של גלי הכבי" דה, ובסופו של דבר המאמר תוקן.



דייוויד רייצה בביקור בתל אביב, בחודש שעבר צילום: תומר אפלאום

דה", מוסיף רייצה. תחילה, במא" מר מ-1916 עשה איינשטיין טעות בחישוב, אותה הוא תיקן שנתיים מאוחר יותר. אן, בשנות ה-30, הוא נגזר רון (מי שייסד במהמשך את הפקולטה לפיזיקה בטכניון), כת בו מאמר הטוען שעצם גלים אלה הם רק "תופעת לוואי" של המת" מטיקה של תורת היחסות, ואין לייחס להם ממשות פיזיקלית.