

חורים שחורים: הגופים המוזרים ביותר ביקום

צבי פירן, סדרת "אוניברסיטה משודרת" של גלי צה"ל, משרד הביטחון, 106 עמודים.
יורם קירש, האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב

כבידתית". כאשר הרדיוס של הכוכב קטן מרדיוס מסיום (המכונה "רדיוס שוורצשילד"), כוח הכבידה שהוא מפעיל כה חזק עד ששום גוף ושום קרינה אינם יכולים לעזוב אותו, והוא הופך לחור שחור.

כדי שהשמש שלנו תהפוך לחור שחור היא צריכה להידחס לכדור שהרדיוס שלו קטן מכשלושה ק"מ. ואולם מתברר כי רק אם מסת הכוכב גדולה פי כמה ממסת השמש, כוחות הכבידה בו חזקים דיים כדי ליצור חור שחור, במקרים אחרים הקריסה נעצרת כאשר נוצר כוכב דחוס המכונה "ננס לבן", או גוף דחוס עוד יותר המכונה "כוכב נייטרונים".

הרדיוס של החור השחור (שהוא בעצם הרדיוס של אופק האירועים) נמצא ביחס ישר למסתו. למשל, הרדיוס של חור שחור, שמסתו גדולה פי עשרה ממסת השמש שלנו, הוא כשלושים ק"מ. גוף גדול מאוד יכול להוות חור שחור גם אם צפיפותו נמוכה אפילו כצפיפות המים למשל, אסטרונואוט שייקלע לאזור כזה במרחב כלל לא יחוש שהוא נמצא בתוך חור שחור עד שהוא ינסה לצאת ממנו ויגלה כי הוא לכוד.

חורים שחורים גירו את דמיונם של סופרי המדע הבדיוני. לפי תורת היחסות הכללית, שדה כבידה חזק גורם להאטת הזמן. לכן, אם נשגר חללית שתקיף חור שחור מחוץ לאופק האירועים, ואחר כך תחזור ותתרחק, יגלו האסטרונואוטים כי בהשפעת שדה הכבידה החזק של החור השחור מהלך הזמן שלהם הואט לעומת העולם החיצוני. הם עשויים לגלות כי לפי שעונם המסע ארך ימים ספורים ואילו בעולם החיצוני עברו עשרות או מאות שנים לכן חור שחור יכול לשמש מכונת-זמן היוצרת קיצור דרך אל העתיד.

בתוך החור השחור יש נקודה שבה צפיפות החומר היא אינסופית: הנקודה הסינגולרית. בסביבת נקודה זו מתמוטטים כל חוקי הפיסיקה הידועים. לפיסיקאים כלל לא ברור מה קורה לחומר ולאנרגיה באזור זה. הנקודה הסינגולרית שבתוך החור השחור יכולה להוות, על-פי כמה תיאוריות, מעין מסדרון המתחבר ליקום אחר או לאזור מרוחק ביקום שלנו. בזמנו סברו כי באמצעות המסדרון הזה אפשר לא רק להגיע בזמן קצר למרחקים של מיליוני שנות אור, אלא גם לערוך מסע-בזמן אל העבר. ואולם חישובים שנעשו בשנים האחרונות הראו כי גם אם קיים מסדרון כזה, הוא בלתי יציב, וכל ניסיון להעביר דרכו אפילו חלקיק זעיר יהרוס אותו.

מכיוון שחורים שחורים אינם פולטים אור או קרינה אחרת, נראה

חורים שחורים הם לא רק הגופים המוזרים ביותר ביקום, אלה גם הגופים המפחידים ביותר. חור שחור מושך אליו ובולע אל קרבו את כל מה שמתקרב אליו, ומה שנכנס אליו לעולם אינו יכול לצאת. ליד השפה של החור השחור, המכונה "אופק האירועים", הזמן עומד מלכת. אם חללית תנוע לעבר חור שחור היא תיפול לתוכו, אבל צופה שיתבונן בה מרחוק לעולם לא יראה את רגע הנפילה, משום שתנועתה של החללית תיראה לאותו צופה אטית יותר ויותר ככל שתתקרב אל האופק. לפני כעשרים שנה, רוב המדענים לא האמינו שעצמים כה מוזרים קיימים ביקום, על אף שהתיאוריה הפיסיקלית ניבאה את קיומם. ואולם כיום יש ראיות איתנות לקיומם של חורים שחורים במקומות רבים ביקום.

צבי פירן מציג בספרו את תופעת החורים השחורים החל במדענים הראשונים שדנו בה! הבריטי ג'ון מיטשל והצרפתי סימון לפלאס (Laplace) בשנת 1795 כתבו שניהם שאם יש ביקום גוף שמסתו כה גדולה ודחוסה, עד כי מהירות הבריחה ממנו (כלומר המהירות שיש להקנות לאובייקט הנמצא עליו כדי שיוכל להתנתק ממנו) עולה על מהירות האור – כי אז קרני האור שהגוף הזה יפלוט לא יוכלו להתנתק ממנו, והוא יהיה אפל לחלוטין.

החישובים של מיטשל ולפלאס התבססו על המכניקה הניוטונית, ואולם טיפול נכון בחור שחור דורש שימוש במשוואות תורת היחסות. כאשר איינשטיין ניסח בשנת 1915 את תורת היחסות הכללית, הוברר כי כוח הכבידה אכן משפיע גם על האור. יתר על כן, מכיוון שמהירותו של גוף חומרי תמיד קטנה ממהירות האור, חור שחור הוא גוף ששום דבר אינו יכול לצאת ממנו, ולא רק אור. תיאור מתמטי מדויק של חור שחור הוצג בשנת 1915, חודשיים לאחר פרסום תורת היחסות הכללית. חישוב אותו המתמטיקאי הגרמני קרל שוורצשילד, ואולם רק עשרות שנים מאוחר יותר הבינה הקהילה המדעית את פשר החישוב הזה.

בהמשך מציג הספר מחקרים תיאורטיים שנעשו במאה העשרים שהראו כיצד יכול חור שחור להיווצר. הדבר קורה כאשר בכוכב אוזל ה"דלק" של התהליכים התרמו-גרעיניים, שהוא המקור לאנרגיה של הכוכב, כשהכוכב עדיין חם, הלחץ הפנימי בו מאזן את כוח הכבידה, אך משהוא מתקרר, גורם לו כוח הכבידה להתכווץ. אם מסת הכוכב גדולה מספיק, כוח הכבידה יכול לגבור על הכוחות השוררים בין האטומים ובתוכם, והכוכב נדחס במהירות לנפח קטן מאוד, בתהליך המכונה "קריסה

כאילו אין אפשרות לצפות בהם. ואולם מתברר כי ניתן לגלותם בכמה דרכים. כאשר חומר נופל אל חור שחור הוא משחרר כמות עצומה של אנרגיה עוד לפני שהוא מגיע אל האופק. האנרגיה הזאת היא בחלקה קרינת רנטגן בעלת תכונות אופייניות, אי אפשר לצפות בקרינה הזאת מכדור הארץ, מכיוון שהיא נבלעת באטמוספירה.

ואולם לוויינים ששוגרו אל מחוץ לאטמוספירה, עם גלאים הרגישים לקרינת רנטגן, גילו כמה מקורות רבי עוצמה של קרינה זו, ולחלקם יש "סימני זיהוי" של חורים שחורים. אפשר לגלות חור שחור גם באמצעות הכבידה שהוא מפעיל על סביבתו, המשפיעה על ההתנהגות של גופים בסביבה.

בשנות הששים של המאה העשרים התגלו גופים מרוחקים מאוד, שפולטים כמויות עצומות של אנרגיה בתחום גלי הרדיו, האור הנראה וקרינת הרנטגן; הם כונו קוואזרים. הקרינה שפולט קוואזר שקולה לקרינה שפולטת גלקסיה שלמה, והיא נפלטת מנפה קטנטן יחסית לנופח של גלקסיה. כיום סבורים שהקוואזרים הם ליבות של גלקסיות שבמרכזן חור שחור ענק, בעל מסה שיכולה להגיע למאה מיליון מסות שמש ויותר ורדיוס שבין מיליון למיליארד ק"מ. החומר שנופל לעבר החור השחור הזה מאבד אנרגיית כבידה רבה, שנהפכת לקרינה.

המחקר של תופעת החורים השחורים אינו מפסיק להפתיע. בסביבות 1975 הוכיחו הפיזיקאי הישראלי יעקב בקנשטיין ועמיתו המפורסם סטיבן הוקינג, כי פליטה מסוימת של חומר ואנרגיה מחור שחור אפשרית, למשל, באמצעות תופעה קוונטית המכונה יצירת זוגות. חישובים מראים, כי פליטה כזו יכולה לחסל חורים שחורים קטנים (בעלי מסה של אסטרואיד) שאולי נוצרו זמן קצר לאחר היווצרות היקום, כאשר שרר ביקום לחץ עצום, אולם כמעט שאין לה השפעה על חורים שחורים גדולים יותר, הנוצרים בקריסה כבידתית של כוכבים.

בשנים האחרונות ניטש ויכוח בין הוקינג לפיזיקאים אחרים בקשר לגורל המידע הקשור בחומר שנופל לחור שחור; האם הוא הולך לאיבוד, או שמא הוא נשמר בדרך כלשהי? הוקינג סבר, כי חור שחור מוחק כל מידע על החומר שנופל לתוכו,

פרט למסה, למטען החשמלי ולתנע הזוויתי. רוב הפיזיקאים סברו כי הוא טועה. בשנת 1997 נערכה התערבות בין הוקינג לשני פיזיקאים אחרים שטענו כי מסקנתו שגויה, והוחלט כי אם הבעיה תוכרע בימי חייהם של הנוגעים בדבר, המפסיד יקנה למנצח אנציקלופדיה.

בשנת 2004 הופיע הוקינג בכינוס פיזיקאים והכריז כי טעה כשטען כי החור השחור מוחק מידע, וכעת פתר את הבעיה. הוא הציג חישובים שהראו כי האופק אינו משטח סטטי, אלא יש בו תנודות קוונטיות. חלקיקים שחוצים את המשטח משפיעים על התנודות, ולכן המידע עליהם נשמר על פני אופק האירועים. אך למרות טענתו של הוקינג, לשאלת המידע אין עדיין פיתרון מלא, גם שאלות אחרות הקשורות לחורים שחורים עדיין מחכות לתשובות, ואין ספק שהמחקר בנושא הזה עוד יספק לנו הפתעות.

פרופ' צבי פירן מהאוניברסיטה העברית בירושלים הוא מבכירי האסטרופיזיקאים בעולם, ומחקריו עוסקים בין השאר בפיזיקה של חורים שחורים. היכולת שלו לסביר תופעות סבוכות, שהן כה רחוקות מניסיונו היומיומי, בלשון פשוטה ובהירה ומבלי לוותר על הדיוק המדעי, הופכת את קריאת הספרון המרתק הזה לחוויה מרנינה. יש לי רק הערה קטנה אחת: בעברית נהוג לקרוא לאלף מיליון בשם מיליארד ולא ביליון, כמו בארצות הברית, והשימוש במלה ביליון עלול לבלבל את הקורא.

פרופ' יורם קירש הוא ראש קבוצת הפיזיקה באוניברסיטה הפתוחה. ספרו, "היקום על פי הפיזיקה המודרנית", ראה אור בהוצאת עם עובד.

הכרת תודה

הכתבה הופיעה לראשונה במוסף "ספרים" בעתון הארץ מיום 7.4.2007.

אנו מודים למחבר הכתבה פרופסור יורם קירש ולמר דרור משעני, עורך מדור "ספרים" ב"הארץ" על הרשות שנתנו לנו לפרסם את הכתבה ב"תהודה".

אל מגישי/מגישות מאמרים לפרסום ב"תהודה"

על מנת להקל על המערכת ולורזו את קצב הדפסת מאמר המוצע לפרסום ב"תהודה" נא למלא אחר ההנחיות הבאות:

1. לשלוח את המאמר בדוא"ל כנספח (attachment) כקובץ WORD בפורמט DOC. לפי הכתובת: hanna.goldring@weizmann.ac.il
2. סרטוטים ותצלומים המצורפים למאמרים.

א. **סרטוטים** - סרטוטים יהיו "שתולים" כתמונות בטקסט.

ב. **תצלומים** - נא לשלוח תשליל (נגטיב) של התצלום או תדפיס של התמונה. אם התצלום נעשה במצלמה דיגיטלית נא לשלוח את הקובץ המקורי בפורמט jpg או tif.

כל מאמר שישלח אלינו לפרסום, יוגש לבדיקה למומחים בתחום בו עוסק המאמר. המערכת שומרת לעצמה את הזכות לבקש מהכותב שינויים ו/או הבהרות.

מאמרים שלא יתקבלו לפרסום, יוחזרו לכותבים.

בשאלות ובירורים נא לפנות לחנה או לרחל, בטלפון 08-9342981, או בפקס: 08-9344174 או בדוא"ל.