

חתן פרס וולף: אני מרגיש יותר בנוח בעולם אם אני מבין למה דברים קורים

ימים ספורים לפני שיוענק לו הפרס היוקרתי, מספר הפיזיקאי יעקב בקנשטיין על הדרך שעבר עד שזכה להכרה. "מסתכל על העולם כתוצר העבודה של הקב"ה"

[אסף שטול-טראורינג](#)

05.05.2012 17:08

עם פרוץ עידן החלל ב-1957, יעקב בקנשטיין בן העשר וחבריו לבית הספר היהודי במקסיקו סיטי ידעו שהם לא יוכלו להיות רק צופים מן הצד במרוץ הטכנולוגי המרהיב של המעצמות. הרושם שהותירו בהם השיגורים החלוציים גרם להם לחבור יחד בערבים, בניסיון לשגר טילים משל עצמם אל מרומי האטמוספירה. המאמצים הצנועים של ילדי ספוטניק אמנם לא צלחו, אך כיום, כשלפרופסור בקנשטיין הכרה עולמית על הישגים מדעיים מכוננים שהפכו לאבני יסוד בחקר הפיזיקה, הוא מביט אחורה אל ילדותו ורואה בה תקופה חשובה מאוד להתגבשות המדעית שלו.

בעוד כמה ימים, בקנשטיין ועוד חמישה מדענים מרחבי העולם [יקבלו את פרס וולף היוקרתי](#) בטקס שייערך במשכן הכנסת. הפרס הזה יתווסף לרשימה ארוכה של הכרות רשמיות בתרומתו המדעית, כשבראשה ניצב פרס ישראל. בנימוק לזכייתו בפרס ישראל ב-2005, נכתב כי הוא "אחד החוקרים הבולטים בעולם כולו בחזית המחקר של צפונות היקום".

מסלולו האקדמי של בקנשטיין החל בברוקלין, לאחר שמשפחתו עברה ממקסיקו לארה"ב. בשנתו הראשונה במכון הפוליטכני של ברוקלין למד כימיה, ואז ערק ללימודי פיזיקה ("האדם הצעיר מתרשם מכל הפיצוצים וכל שינויי הצבעים בריאקציות. כשהגעתי לאוניברסיטה ראיתי שהשאלות היותר מהותיות הן פיזיקליות"). הוא המשיך ללימודי דוקטורט באוניברסיטת פרינסטון, והשלים עבודת פוסט-דוקטורט באוניברסיטת טקסס באוסטין. לאחר מכן עבר להתגורר בישראל בגפו ("ציונות", הוא מסכם במלה), עבד באוניברסיטת בן-גוריון שנים רבות וכיום הוא חבר סגל באוניברסיטה העברית.

ב-1972, כשבקנשטיין פרסם לראשונה את העבודה התיאורטית פורצת הדרך שהקנתה לו מעמד עולמי בעולם הפיזיקה, הוא היה רק בן 25. "כולם חשבו שזה רעיון טפשי", הוא סיפר השבוע.

בקנשטיין בביתו בירושלים. "כשהגעתי לאוניברסיטה ראיתי שהשאלות המהותיות הן פיזיקליות" אמיל סלמן



עוד כתבות בנושא

[מדענים מצאו את החורים השחורים הגדולים ביותר ביקום 05.12.2011](#)

הדבר החל בשיחה עם מנחה הדוקטורט שלו בפרינסטון, ג'ון ארצ'בלד ווילר. "הוא העמיד אותי בפני סתירה שעמדה בכל ההסתכלות על חורים שחורים, והוא שאל אותי איך לפתור את הפרדוקס הזה", הוא אומר. הסתירה נגעה למושג האנטרופיה - גודל פיזיקלי שמודד את רמת האי סדר שיש במערכת סגורה נתונה. על פי החוק השני של התרמודינמיקה, האנטרופיה של מערכת סגורה אינה יכולה לקטון. אם יש לנו כוס תה, תמצית התה יכולה להתערבב עם המים כך שרמת האנטרופיה תגבר, כפי שקורה תמיד, אך ההפך אינו יכול לקרות: תמצית התה אינה יכולה לפתע להתרכז לצד אחד של הכוס מבלי שנכניס שינויים כלשהם במערכת.

"ווילר אמר לי, מה קורה אם אתה שופך את התה לחור שחור?", מספר בקנשטיין. כאן נוצרת בעיה: חורים שחורים הם תוצרים של כוכבים וגופים מסיביים אחרים של חומר שקרסו לתוך נקודה סינגולרית (נקודה שבה יש צפיפות אין-סופית) בהשפעת כוח הכבידה. בשל הצפיפות האדירה בנקודה הזאת, נוצר סביבו מרחב בחלל שממנו שום דבר אינו יכול לברוח - גם לא אור.

כאן מתחילות הבעיות עבור החוק השני של התרמודינמיקה, אחד מהחוקים המרכזיים ביותר של הפיזיקה המודרנית: "אם החור השחור בולע את התה, האנטרופיה של התה נעלמת כי אתה לא יכול לראות אותה בחור השחור ולבדוק מה קרה אתה. אז האנטרופיה של כל העולם שלנו, שהוא מערכת סגורה, נהיית קטנה יותר. או שהחוק השני של התרמודינמיקה נעשה בלתי רלוונטי או שהוא לא עובד. זה דבר די חמור בשביל חוק מבוסס כזה", אומר בקנשטיין. "הייתי מוטרד מאוד מהסתירה כי זה חוק שבסך הכל נתן שירות יפה במשך 150 שנה, אז ניסיתי למצוא דרך לסדר את העניינים ולהציל אותו."

הפתרון של בקנשטיין לסתירה הזאת היה לייחס גם לחורים שחורים את תכונת האנטרופיה. "הרעיון שלי היה שברגע שאתה זורק את האנטרופיה של דבר מסוים, כמו כוס תה, לחור השחור, השטח של הגבול של החור השחור גדל קצת, אז האנטרופיה שנוצרה בחור השחור עצמו מקזזת את האנטרופיה של התה וכל מה שנפל לתוכו". בצורה הזו הכליל בקנשטיין את החוק השני של התרמודינמיקה כדי שיכלול גם חורים שחורים.



גז נשאב לתוך חור שחור בהדמיה של נאסארויטרס

"מה שבקנשטיין עשה הביא למהפכה ענקית", אומר הפיזיקאי התיאורטי פרופ' אליעזר רבינוביץ מהאוניברסיטה העברית. "אנו רגילים שבמערכות תרמודינמיות, כל הגדלים הפיזיקליים גדלים יחסית לנפח. זאת היתה הפרדיגמה במשך הרבה מאוד שנים. יעקב שיער שכאשר מגיעים לאנרגיות בהן אפשר ליצור חורים שחורים, הדברים מפסיקים להיות פרופורציוניים לנפח, אלא לשטח של החור השחור". כך הוא הראה שעל פי הגידול בשטח של החור השחור אנטרופיה אינה אובדת. "זאת הסתכלות אחרת על המרחב."

ההצעה של בקנשטיין הצעיר לא התקבלה באופן מידי, ובין מתנגדיו היה גם סטיבן הוקינג. "כשיצאתי עם התרמודינמיקה ב-1972, הוקינג ושני שותפיו (ברנדון קרטנר וג'יימס ברדין) טענו שכל המשוואות שלי הן לא של תרמודינמיקה אלא סתם תכונות מכניות של חור שחור", הוא אומר. לדבריו, רק שנתיים לאחר מכן, ב-1974, "הוקינג אישר את מה שאמרתי כל הזמן, והוא הודה שככה הדברים עובדים."

האישוש של הוקינג לתגלית של בקנשטיין היה גם הבסיס לתגלית הנודעת שלו, קרינת הוקינג. הוא הראה שברגע שבו חור שחור נוצר, אמורה להיפלט קרינה תרמית מאזור אופק האירועים - הגבול של החור השחור שמעבר לו אור אינו יכול לברוח.

לבקנשטיין הישגים משמעותיים נוספים בתחום התרמודינמיקה שתרמו להכרה העולמית שבה הוא זוכה ולפרסים שמורעפים עליו. הוא החל את דרכו המדעית בבית ספר דתי במקסיקו סיטי, וגם היום הוא חובש כיפה. "אני מסתכל על העולם כתוצר של העבודה של הקדוש ברוך הוא", הוא אומר. "הוא קבע חוקים מאוד מסוימים ואנחנו נהנים מאוד לגלות אותם בעבודה מדעית - לראות איך הכל משתלב ביחד". עם זאת הוא מוסיף שאמונתו אינה משפיעה כלל על הפרקטיקה המדעית עצמה: "מדענים דתיים מחשבים בדיוק כמו כל האחרים, ומרצים כמו כל האחרים. זה לא כל כך משנה."

הוא מוסיף שעולם הפיזיקה משחק תפקיד גם בחייו הארציים. "אני מרגיש הרבה יותר בנוח בעולם אם אני מבין למה דברים פשוטים קורים", הוא אומר. "אני מקבל תחושה של ביטחון שלא הכל אקראי ואני יכול בעצם להבין ולא להיות מופתע מדברים. אני חושב שלרוב האנשים חסר דבר כזה. אתה נהנה מזה שאתה רואה איזו תופעה - זה יכול להיות למשל הבהוב של איזו מנורה - ואתה מבין בעצם מה קורה. האדם שעל ידך, אין לו מושג וגם לא מעניין אותו. כשאני רואה את זה, אני רואה ביטויים של החוקים והסדרים בפיזיקה."