



# מ-8200 ותארים בפיסיקה יוצאת סימולציה של היקום

## ד"ר שי גנל מאוניברסיטת הארווארד שותף לפיתוח סימולציה, המתארת את ההיסטוריה של היקום ואשר חישוביה דרשו שלושה חודשי הרצה בשני מחשבי-על

של החלל המסומלך. חשוב מכך, אילוסטרס הפיקה תמהיל קרוב מאוד למציאות של גלקסיות ספיראליות כדוגמת שביל החלב וגלקסיות אליפטיות כדוגמת כדורגל אמריקני. היא גם יצרה מבנים בקנה מידה גדול, כגון צבירי גלקסיות, וכן בועות וריקות של הרשת הקוסמית. בקנה מידה קטן היא גם שחזרה את הכימיה של גלקסיות פרטניות.

מכיוון שהאור נע במהירות קבועה, ככל שהאסטרונומים מתבוננים רחוק יותר כך הם רואים אחורנית בזמן. גלקסיה המרוחקת מיליארד שנות אור מאיתנו נראית כפי שהייתה לפני מיליארד שנה, וטלסקופים כדוגמת האבל יכולים לצפות ביקום המוקדם באמצעות צפייה למרחקים גדולים יותר. ואולם אסטרונומים אינם יכולים להשתמש בהאבל או בכל טלסקופ אחר, חזק ככל שיהיה, כדי לעקוב אחר האבולוציה של גלקסיה אחת לאורך זמן. "אילוסטרס היא כמו מכונת זמן. אנו יכולים ללכת קדימה ואחורנית בזמן. אנו יכולים לעצור את הסימולציה ולהתמקד בגלקסיה אחת או בצביר גלקסיות ולראות מה מתרחש שם", אומר גנל.

"לאחר הצבת תנאי ההתחלה הרצו את הזמן הקוסמי קדימה ועקבנו אחר התפתחות הגז, הכוכבים והחורים השחורים, וראו זה פלא - באופן טבעי נוצרו בתוך היקום המסומלך הזה גלקסיות בלי שנתכנת אותם. הם נוצרו לבדן רק בזכות תנאי ההתחלה וחוקי הפיסיקה", מסביר גנל. בתשובה לשאלה מה מיוחד בסימולציה הזאת לעומת סימולציות קודמות, אמר גנל: "החידוש הראשון הוא הכללתם של תהליכים רבים הקשורים בהיווצרות הכוכבים והחורים השחורים שסימולציות קודמות לא כללו. דבר זה אפשר לסימולציה לפתח אוכלוסייה גדולה של עשרות אלפי גלקסיות. הראינו שהגלקסיות הללו דומות לגלקסיות אמיתיות, שמדענים אחרים רואים בטלסקופ, והדבר נובע מהדיוק במידול חוקי הפיסיקה.

"הדבר השני שמויחד בסימולציה הוא בהיקפה. זו הסימולציה הכי גדולה של היקום שנבנתה אי פעם. היתרון לגודל מאפשר לנו לעקוב ברציפות אחר נפח גדול של היקום, ולבחון את המבנה הפנימי של כל גלקסיה בנפרד. המספר הגדול של הגלקסיות מאפשר לנו להשוות סטטיסטית

את אוכלוסיית הגלקסיות שאנו רואים לזו הקיימת במציאות ולהשוות האם הסימולציה אכן מדמה את המציאות. כדי להבין אם המודלים שלנו נכונים, אנו נדרשים למספר גדול של גלקסיות מסומלצות".

גנל מבצע גם מחקרים משותפים עם שני חוקרים ישראלים - פרופ' עמיאל שטרנברג מאוניברסיטת ת"א (שגנל שימש עוזר מחקר שלו עוד במהלך התואר הראשון), ופרופ' אבישי דקל מהאוניברסיטה העברית. סרטונים קצרים ותמונות ניתן למצוא באתר הסימולציה: [illustris-project.org](http://illustris-project.org).

מענים יצרו את המודל הווירטואלי הריאליסטי הראשון של היקום תוך שימוש בסימולציית מחשב המכונה Illustris. אילוסטרס יכולה לשחזר 13 מיליארד שנים של אבולוציה קוסמית בקובייה שממדיה 350 מיליון שנות אור לכל כיוון ברזולוציה חסרת תקדים.

"עד כה, אף סימולציה יחידה לא הצליחה לשחזר את היקום הן בקנה מידה גדול והן בקנה מידה קטן בו זמנית", אמר החוקר הראשי **מרק פוגלסברגר**, מ-MIT ומכון הארווארד סמיתסוניאן לאסטרופיסיקה, שביצע את העבודה בסיוע חוקרים מכמה מכונים, בהם מכון היידלברג למחקרים תיאורטיים בגרמניה. המחקר התפרסם ב-8 במאי בכתב העת ניצ'ר.

ד"ר **שי גנל**, שותף למאמר ופוסט דוקטורנט במכון לתיאוריה וחישובים באוניברסיטת הארווארד ובמכון הארווארד סמיתסוניאן אמר, כי ניסיונות קודמים לדמות את היקום נתקלו בהעדר כוח מיחשוב ובמורכבות הפיסיקה. כתוצאה מכך, התוכנות הללו היו מוגבלות ברזולוציה או שחיבו להתמקד במגזר קטן של היקום. סימולציות קודמות גם התקשו במידול המשוב המורכב בין היווצרות כוכבים, התפוצצויות סופרנובה וחורים שחורים מאסיביים במרכזי הגלקסיות.

גנל, שנולד וגדל בהרצליה, שירת ביחידה 8200. לתואר הראשון הוא למד במסלול משולב פיסיקה והנדסת חשמל באוניברסיטת ת"א: "בתור ילד התעניינתי בפיסיקה ואסטרונומיה, ובצאת התחלתי להתעניין במדעי המחשב, זה נהיה חיבור מאוד טבעי ומהנה בשבילי", הוא מסביר. לאחר מכן המשיך גנל במסלול ישיר לדוקטורט במכון מקס פלנק ליד מינכן בגרמניה, ולאחר סיום הדוקטורט עבר לפוסט דוקטורט במכון לתיאוריה וחישובים באוניברסיטת הארווארד בראשותו של פרופ' **אבי לייב**.

"סימולציית אילוסטרס משתמשת בתכנות מתוחכם בן כ-100 אלף שורות קוד כדי ליצור את האבולוציה של היקום באיכות גבוהה. המודל כולל התייחסות הן לחומר הרגיל והן לחומר האפל תוך שימוש ב-12 מיליארד 'פיקסלים' תלת ממדיים, או מרכיבי רזולוציה."

הצוות הקדיש חמש שנים לפיתוח תוכנת אילוסטרס. החישובים בפועל דרשו שלושה חודשים של זמן ריצה, תוך שימוש ב-8,000 מעבדים במקביל בשני מחשבי-על גדולים באירופה. אם אלו היו מעבדים רגילים של מחשב אישי, היו נדרשים אלפיים שנה להשלמת החישוב. סימולציית המחשב החלה כ-12 מיליון שנה לאחר המפץ הגדול, והיא מגיעה עד לימינו. האסטרונומים מנו יותר מ-41 אלף גלקסיות בקובייה

