

ראשיתו של היקום

ד"ר נח ברוש

יש כבר
המערערים על
תורת "המפץ
הגדול" כהסבר
לראשית היקום.
שאלת
היווצרות היקום
עדיין מהווה
את אחת
השאלות
המעניינות
ביותר של
הקהילה
המדעית.



אלברט איינשטיין (1879 - 1955)



קשר לנושא לימוד:
כדור-הארץ והיקום

ד"ר נח ברוש,
בית-הספר לפיסיקה ואסטרונומיה
ומצפה הכוכבים וייז,
אוניברסיטת תל-אביב

NOAH@WISE.TAU.AC.IL

לפני כ- 15 מיליארד שנים התרחש אירוע ייחודי, שכתוצאה ממנו נברא היקום. האירוע, שכונה "המפץ הגדול", גרם לחומר להיווצר, ולאחר עידנים רבים, נוצרו ממנו הכוכבים והגלקסיות. שלבי התפתחות נוספים גרמו להופעת כמויות גדולות, יחסית, של יסודות אחדים, וביניהם פחמן, חנקן, חמצן, שאפשרו את התפתחות החיים. כך הופיע המין האנושי, שהחל לשאול שאלות לגבי תהליך היצירה הקוסמי, שכלל גם את בריאתו.

תורת ה"מפץ הגדול" קיימת כבר כמה עשורים. בדרך-כלל היא מצליחה להסביר היטב את כל התוצאות מן התצפיות, אך בשנתיים האחרונות הופיעו ממצאים הדורשים שינויים כה מפליגים בתורת ה"מפץ הגדול" הקלסית, שיש כבר המערערים על עצם התמונה שהיא מציירת. תורה מתחרה, שרק את ראשיתה אנו מכירים, מסבירה את קיומו של היקום לא בהתפוצצות אדירה, אלא בהתנגשות בין שני יקומים קודמים. שאלת ההיווצרות עדיין לא פתורה, והיא מהווה את אחת השאלות המעניינות ביותר של הקהילה המדעית של ראשית המאה ה- 21.



ג'ורג' לה-מטר (1894 - 1966)



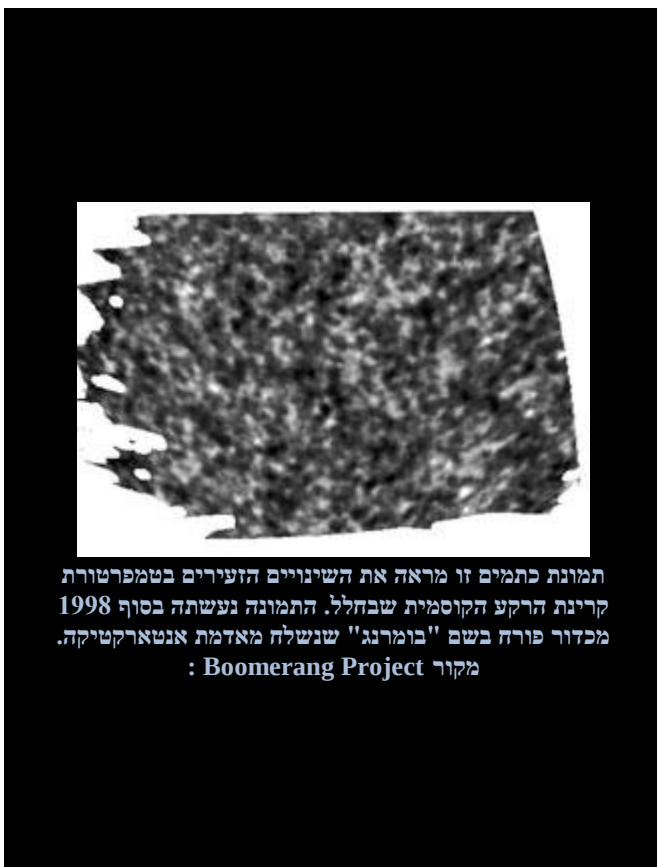
אדווין האבל (1889 - 1953)

בתחילת המאה ה-20 החלו האסטרונומים ללמוד על גודלו של היקום מתוצאות של מדידות חדשות ומתיאוריות שונות שהוצעו על-מנת להסבירן. כלי התצפית שעמדו לרשותם שוכללו, ובעזרת טלסקופים שגדלו והלכו עם השנים הצליחו החוקרים לראות רחוק יותר במרחב. בשנות העשרים של המאה התברר כי השמש שלנו ומערכת כוכבי-הלכת שמסביבה מצויים במקום שולי למדי בגלקסיה שלנו, הקרויה גלקסיית "שביל החלב", ושמורכז הגלקסיה נמצא כ-25 אלף שנות-אור מאתנו. זמן קצר לאחר מכן הובן כי רוב הערפיליות שנראו בין הכוכבים הנן גלקסיות, הדומות בחלקן לשביל החלב, ושמרחקן מאתנו נמדד במיליוני שנות-אור או יותר. באותה תקופה, החל בעשור השני של המאה ה-20, ניסה אלברט איינשטיין להבין את מבנה היקום במסגרת תורת הכבידה שפיתח. תורה זו, המכונה "תורת היחסות הכללית", מסבירה את הכבידה כ"התעקמות" של המרחב עקב נוכחות חומר בו. אחת המסקנות של תורתו של איינשטיין היא שאנרגיה שקולה לחומר, כלומר: ניתן להפוך עקרונית חומר לאנרגיה, ואנרגיה לחומר. התכולה הכללית של המרחב, הן של אנרגיה (שאות מצורותיה היא קרינה אלקטרומגנטית כדוגמת אור) והן של חומר - היא הקובעת את המידה שבה יתעקם המרחב. בתקופה שבה ניסח איינשטיין את תורת היחסות הכללית, רווחה בקרב המדענים הדעה, שהיקום בלתי-משתנה; כשם שהוא בהווה, כך יהיה בעתיד. אך התורה שפיתח איינשטיין טענה שאין זו התמונה האמיתית מכיוון שכל המסה ביקום מושכת בכח הכבידה כל מסה אחרת ביקום, ולכן אין היקום יכול להיות סטטי, אלא חייב להתכווץ בגלל כוח הכבידה העצמי שלו. המסקנות הברורות של תורת איינשטיין נגדו את מה שהעניינים ראו, וכדי להתגבר על כך נאלץ איינשטיין להניח כי קיים **כוח המתנגד לכבידה** והמבטל בדיוק את כוח המשיכה, ששואף לכווץ את היקום. לכוח זה לא היה בסיס פיסיקלי, וכאשר המתמטיקאי הרוסי פרידמן והכומר הבלגי הקתולי לה-מטר (LeMaitre) הצליחו לבנות מודלים דינמיים של היקום, המבוססים על המשוואות של איינשטיין ושיש בהם אלמנט של התפשטות ראשונית, נאלץ איינשטיין עצמו לוותר על הנחת כוח, המייצב את היקום (כיקום סטטי) ומתנגד לכוח הכבידה. בנוסף, בשנות השלושים של המאה ה-20 גילה האסטרונום אדווין האבל (Hubble) ממצאים, המעידים על התפשטותו של היקום. התברר כי ככל שגלקסיה רחוקה יותר מאתנו, כך מהירותה יחסית אלינו גדולה יותר. תיאוריית היקום המתפשט מקובלת כיום על דעת הרוב המוחלט של הפיסיקאים - במיוחד לאחר שנמצאו עדויות לקיומו של האירוע שיצר את היקום. עדויות אלה קשורות בגילוי "קרינת הרקע הקוסמית" ובחישוב שכיחות היסודות ביקום.

קרינת הרקע הקוסמית התגלתה ב-1965, כאשר שני מדענים אמריקנים, וילסון (Wilson) ופנצ'יאס (Penzias) ניסו לפתח אנטנה ומקלט רגישים לתקשורת לוויינים. למרבית הפתעתם גילו כי מכל מקום שלעברו הפנו את האנטנה נפלטת קרינה שנראתה כקרינה אחידה. מאז גילויה, נחקרה קרינת הרקע הקוסמית בתחום רחב של תדרים הן מהקרע והן ממטוסים, בלונים וחלליות. הלוויין COBE מפה קרינה זו בתחום רחב של תדרים ועל-פני כל כיפת השמיים ומצא שהיא מתאימה לקרינה של "גוף שחור", בעל טמפרטורה של 2,728 מעלות קלווין. לאחר שהובאה בחשבון ההשפעה של תנועת גלקסיית שביל החלב על קרינת הרקע הקוסמית, ניתן היה לומר כי קרינת הרקע, המגיעה מכל פינה ביקום, אחידה ברמה של חלק אחד מתוך 10,000.

אחידות זו של קרינת הרקע היוותה בעיה למודלים, שניסו לתאר את התפתחותו הראשונית של היקום. הבעיה נבעה מן הסופיות של מהירות האור, המהווה גבול עליון למהירות העברת מידע ביקום. הקושי היה במציאת הסבר סביר לאחידות קרינת הרקע, כלומר: צריך היה להניח את קיומו של מגנטון, היכול לייצור טמפרטורה

אחידה (שיווי משקל תרמודינמי) בין חלקי יקום מנוגדים ומרוחקים ביותר זה מזה: לדוגמה, חלק אחד המצוי בהמשך הקו היוצא מהקוטב הצפוני של כדור-הארץ וחלק שני המצוי בהמשכו של קו היוצא מהקוטב הדרומי. מתורת היחסות הפרטית של איינשטיין ברור, שאזורי יקום אלה לא היו יכולים להחליף ביניהם מידע לגבי הטמפרטורה שלהם במהלך הזמן שחלף מאז ראשית היקום. אפילו במהירות הגבוהה ביותר של החלפת מידע - מהירות האור - נדרש משך זמן של גיל היקום רק כדי להגיע מאחד הקצוות עד אלינו, וכדי להגיע אל הקצה הנגדי נדרש פרק זמן גדול כפליים. עקב כך, קשה להסביר מהי סיבת האחידות של קרינת הרקע. במסגרת הנסיונות לפתור בעיה זו הועלתה התיאוריה לפיה היקום המוקדם ביותר עבר שלב של התפשטות מעריכית (אקספוננציאלית) - ולא גידול התלוי באופן ישר (ליניארי) בזמן, כפי שהציע האבל.



פונקציה מעריכית
תהליכים שהתפתחותם נעשית
לפי פונקציה מעריכית,
מסוגלים להגדיל אוכלוסיות או
ממדים בצורה עצומה תוך פרק
זמן קצר יחסית. לדוגמה, נתאר
לעצמנו אוכלוסייה של ארנבות
שאינן מתות לעולם, המתחילה
מזוג בודד. נניח שבכל דור
נולדות שתי ארנבות לכל זוג
(זכר ונקבה לצורך הדוגמה),
כלומר בכל דור האוכלוסייה
מכפילה עצמה. לאחר עשרה
דורות תמנה האוכלוסייה יותר
מ- 1000 ארנבות, ולאחר
עשרים דורות יהיה גודלה יותר
ממיליון פרטים. מאה דורות
של ארנבות יביאו את
האוכלוסייה ליותר ממיליארד-
מיליארדי-מיליארדים. תהליך
ריבוי הארנבות שמתואר כאן
הנו תהליך גידול אקספוננציאלי
(לפי חוק חזקה) ולאחר n
דורות גודל האוכלוסייה הוא
2ⁿ.

על-פי גרסת היקום המוקדם, התהליך שהתרחש החל ב- 10^{-34} השנייה לאחר המפץ הגדול ועד 10^{-10} השנייה הראשונה גרם להתנפחות אדירה של היקום. בפרק זמן זה גדל היקום פי 10^{43} , מגוף שממדיו קטנים משל כדור פינג-פונג עד למרחב גדול הדומה כמעט לזה של היקום הנראה כיום. שלב זה של ההתנפחות המהירה של היקום מכונה "שלב האינפלציה" (על-שם התהליך הכלכלי, שבו כמות השטרות במשק תופחת בצורה מהירה עקב ירידת ערך הכסף). הסיבות לשלב האינפלציוני בתולדות היקום אינן ברורות דיין. היום סוברים כי תהליך שינוי כלשהו בריק (בואקום) בעידן של צפיפות אנרגיה גדולה מאוד שחרר את האנרגיה הדרושה להתנפחות מתוך המרחב עצמו. תורת האינפלציה וההתרחשויות ביקום המוקדם ביותר קשורות היטב לתורת החלקיקים היסודיים של החומר. זו מנבאה את הולדת החלקיקים שאנו מכירים - הפרוטון, הניטרון, והאלקטרון, אך אינה מתארת עדיין את ההתרחש בעידן האינפלציה. בעיה נוספת היא, שמאצי החלקיקים לא מגיעים עדיין לאנרגיות כה גבוהות, כאלו ששררו ביקום בזמן האינפלציה. המחסור בתנאים ניסיוניים מונע אפוא התקדמות משמעותית בתיאוריה.

תורת האינפלציה פותרת בצורה טבעית את בעיית ההשוואה של הטמפרטורות ביקום שכן ליקום הקדם-אינפלציוני היו ממדים זעירים, ואפשרית הייתה בו טמפרטורה אחידה. אחידות זו נשמרה בתקופת האינפלציה, וכך היקום הענקי, שנוצר בתום תקופה זו, היה אחיד מבחינת הטמפרטורה. יש לציין שהטמפרטורה בעידן האינפלציוני הייתה עצומה - כמיליון-מיליארדי מעלות, ולכן ברור שהחומר המוכר כיום לא היה יכול להתקיים ביקום מעין זה. בתום עידן האינפלציה נקבעו ארבעת הכוחות המוכרים בטבע: הכוח החזק, כוח ה"צבע" הפועל בין הקווארקים שבהם בנויים הנוקליאונים (פרוטונים וניטרונים), הכוח האלקטרומגנטי, הכוח החלש וכוח הכבידה.

ארבעת הכוחות הבסיסיים של הטבע קובעים את ההתנהגות של היקום ושל כל חלקיו, עד לקטן שבקטנים. כוח ה"צבע" אחראי גם על "הדבקת" הנוקליאונים המצויים בקרבה הדדית גדולה זה לזה, בתוך גרעינים. ביקום המוקדם, כשצפיפות האנרגיה היתה גבוהה מאוד, התבטאות חשובה מאד של כוח ה"צבע" היתה בין זוגות של חלקיק ואנטי-חלקיק מהסוג קווארק. כמות הזוגות קווארק ואנטי-קווארק שנוצרו בתקופה זו, שנמשכה עד בערך מיליונית-המיליונית של השנייה הראשונה של היקום, עלתה בהרבה על כל החומר הנמצא כיום ביקום. רוב-רובו של חומר זה הפך חזרה לאנרגיה בתהליך של ביטול הדדי. כאשר קווארק רגיל פוגש אנטי-קווארק, שניהם הופכים לאנרגיה. חשוב לציין שבתום שלב זה, כשנייה אחת לאחר היווצרותו, החל היקום להראות נטייה לחומר - על-פני אנטי-חומר: שלשות של קווארקים התחברו ויצרו את החלקיקים הכבדים של היום - פרוטונים וניטרונים, היוצרים יחד עם חלקיקים אחרים, העשויים קווארקים, את משפחת החלקיקים הכבדים (הבריונים).

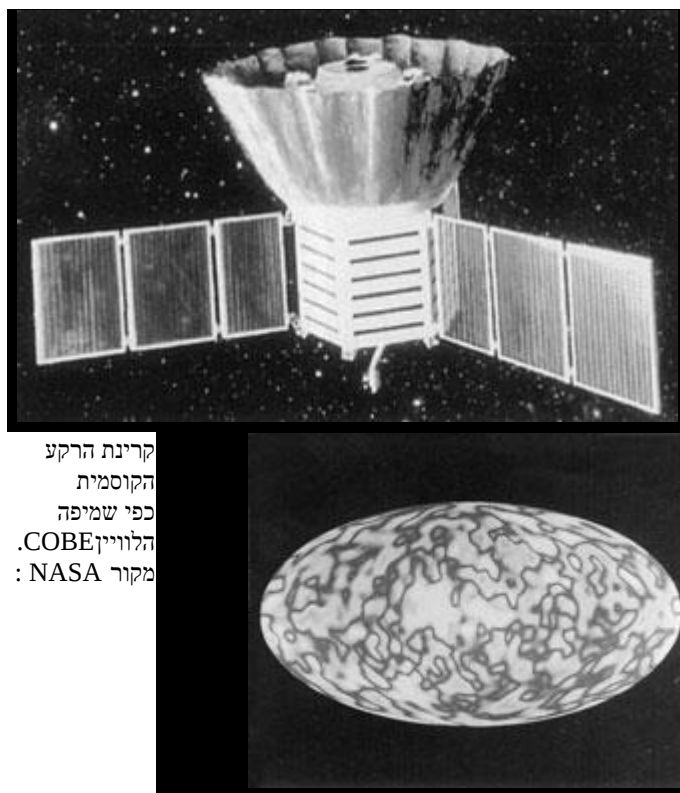
חשוב לציין שהעדיפות של החומר על-פני האנטי-חומר היא ברמה זעירה בלבד: יש רק חלקיק חומר עודף אחד על-פני חלקיק האנטי-חומר בכל 10 מיליארד זוגות של חלקיקים ואנטי-חלקיקים. למרות שכיחות נמוכה זו, היקום בו אנו חיים כיום נשלט על-ידי חלקיקי החומר, והאנטי-חומר שבו מהווה כמות זעירה ביותר.

פרק הזמן שבין דקה אחת לכמה דקות בחיי היקום שזה-עתה נולד חשוב מאוד, כיוון שאז נוצרו הגרעינים של האטומים הקלים. חלק מהתגובות דאז דומה למתרחש כיום בשמש ובכוכבים דמויי-שמש: פרוטון מתחבר עם ניטרון, ונוצר גרעין של מימן כבד (דויטריום), וחיבור של ניטרון נוסף יוצר מימן על-כבד (טריטיום). תגובות נוספות הביאו ליצירת גרעינים של שני האיזוטופים של הליום, וכן נוצרו היסודות ליתיום, בריליום ובורון. ההתפשטות המתמדת של היקום, שהחלה בתום תקופת האינפלציה, גרמה הן להקטנת הצפיפות הממוצעת של החלקיקים והן לירידת הטמפרטורה של היקום, וכך קצב התגובות הגרעיניות בו, האחראי ליצירת היסודות, הלך וקטן עם הזמן. בתום שלוש הדקות הראשונות נפסקה בניית היסודות, וכל החומר המצוי ביקום, המורכב מיסודות הכבדים מבורון, חייב היה להיווצר בדרך אחרת, תוך בעירה גרעינית בליבות של כוכבים בתקופה הרבה יותר מאוחרת בתולדות היקום.

הצלחת התיאוריה של "המפץ הגדול" בהסברת השכיחות של היסודות הקלים, כפי שהיא נמדדת במקומות שונים ביקום, נתפסת כתמיכה עיקרית נוספת במודל זה של ההתפתחות הראשונית של היקום.

היצירה ביקום המשיכה להתרחש גם בתום שלוש הדקות הראשונות. כמה מאות אלפי שנים לאחר היווצרותו התקרר היקום המתפשט, עד שהפוטונים (שטף מנות האנרגיה המהוות את הקרינה) לא היו יכולים עוד להגיב עם אלקטרונים. הגרעינים והאלקטרונים "נדבקו" זה לזה ויצרו אטומים. מרגע זה התפשטה הקרינה בצורה חופשית ביקום, ולא שיקפה עוד את הטמפרטורה של החומר. עקב התפשטות היקום, הלכה קרינה זו והתקררה עם הזמן. בתקופת סיום הקשר בינה לבין החומר היא ייצגה טמפרטורה של "גוף שחור", כלומר של כ- 4,000 מעלות, ואילו כיום היא "קרה מאוד": רק 2,728 מעלות מעל לאפס המוחלט, והיא נראית לנו כ"קרינת הרקע הקוסמית". לאחר שחרור הקרינה התחיל החומר הרגיל, שהיה מורכב ברובו ממימן והליום, להצטופף ולהידחס במקומות מסוימים ביקום עקב השפעת הכבידה העצמית ובגלל חוסר אחידות זעיר בצפיפותו. באזורים אלה נוצרו כעבור מיליוני שנים רבים הגלקסיות הראשונות, ואחריהן עוד ועוד גלקסיות ובהן כוכבים, חלקם אולי עם מערכות של כוכבי לכת, ואולי הופיעו שם צורות חיים שהתפתחו לחיים תבוניים, כפי שהתרחש בשביל החלב שלנו, במערכת השמש, על כדור-הארץ.

מתמנת היקום המתקבלת מתסריט "המפץ הגדול", שהביאה ליצירת היקום שאנו מכירים, ניתן ללמוד על העתיד, כדי להבין מה עומד עוד להתרחש בו ולאיזה סוג יקום יכולים הצאצאים הרחוקים של המין האנושי לצפות. הוזכר כאן שכוח המשיכה פועל בכיוון מנוגד לכיוון התפשטות הגלקסיות, וכך מנסה הגרייטציה העצמית של היקום לכווץ אותו. אך האם יצליח כוח זה ברבות הימים להתגבר על הדחיפה הראשונית, שגרמה להתפשטות היקום -או לאו? דבר זה אינו ברור עדיין, והוא תלוי בכמות החומר ביקום או בגודל קל יותר למדידה: בצפיפות הממוצעת של היקום (הכוללת כל מרכיב היכול לתרום לכוח הכבידה, כולל אנרגיה וקרינה). המדידות האחרונות של הרכב הגלקסיות וצבירי הגלקסיות מראות, שאין ביקום די חומר כדי "לסגור" אותו, ומכאן שהיקום ימשיך להתפשט לנצח. מצד שני ברור היום שיש ביקום גם חומר שאינו קורן, ולכן אינו יכול להתגלות בטלסקופי החוקרים.



טבעו של חומר "אפל" זה אינו ידוע, גם לא ברור אם קיים ביקום די חומר אפל כדי להביא לסגירתו.

שתי מדידות שונות לחלוטין, שתוצאותיהן פורסמו בשנתיים האחרונות, מראות שהמצב ביקום מעניין הרבה יותר ממה שתורת "המפץ הגדול" מתארת.

**מסתבר כי לא רק שהיקום אינו מתכווץ - אלא
 שהתפשטותו מאיצה! במילים אחרות: ככל שגיל
 היקום גדול יותר - כך התפשטותו מהירה יותר ממה
 שתמונת "המפץ הגדול" הרגיל מנבאה .**

נראה שמופיע כוח, הדוחף את היקום להתפשט מהר יותר ממה שהדחיפה הראשונית העניקה לו. שתי מדידות אלה, התומכות בכוח הדוחף את יקום להתפשטות מהירה יותר, הן: א. השוואת הבהירות ומהירות ההתפשטות של כוכבים הנקראים "סופרנובות", ב. שינויים זעירים ממקום למקום בטמפרטורה של קרינת הרקע.

כדי לחקור את המבנה של היקום הרחוק חייבים להתמקד בגרמי שמים בהירים ביותר, שניתן לראות למרחקים. קבוצות מדענים מכל העולם החלו למדוד את בהירותן של סופרנובות מסוג Ia, הנוצרות כאשר כוכב מסוג "ננס לבן" הופך לכוכב ניטרונים או ל"חור שחור". בשיא בהירותן, קורנות הסופרנובות מסוג זה כמו גלקסיה שלמה. מכיוון שסופרנובה מסוג זה נוצרת מכוכב שמסתו מוגדרת היטב (המסה המרבית של ננס לבן עשויה להיות כ- 1.4 מסות-שמש), גם בהירותן בשיא מוגדרת היטב. תוך השוואת הבהירות המדודה וזו המחושבת ניתן למדוד את המרחק אל הסופרנובה. מכיוון שברוב המקרים מתרחשות הסופרנובות בגלקסיות נצפות, ומכיוון שלפי חוק האבל מהירותה של גלקסיה מתכונתית (פרופורציונית) למרחקה מאתנו, ניתן להשוות את שתי מדידות המרחק, ולהסיק שהסופרנובות הרחוקות מתרחקות מאתנו מהר יותר ממה שחוק האבל מנבא. פירושו הדבר אפוא שהתפשטותו של היקום מאיצה.

העדות השנייה להתפשטות המואצת של היקום באה דווקא ממדידת חוסר-האחידות של טמפרטורת קרינת הרקע הקוסמית. נעשו תצפיות ממכשירים, שהופעלו מתוך בלון, בגובה רב מעל אנטארקטיקה, והן הראו שקיים חוסר-אחידות בטמפרטורה של קרינת

הרקע ברמה של חלק אחד מתוך 100,000, והיא מגיעה מקטעי רקיע שגודלם הממוצע כמעלה אחת. חוסר-אחידות זה מיתרגם ישירות לחוסר-האחידות של התפלגות החומר ביקום בתקופה שבה נפרדה הקרינה מהחומר כמה מאות אלפי שנים לאחר המפץ הגדול. שילוב התוצאות של חוסר-האחידות עם התוצאות של מדידת הסופרנובות הרחוקות מצביע על יקום, ששני-שלישים מתוכנו הם האנרגיה המוזרה הגורמת להתפשטותו המואצת, ורק שליש אחד עשוי מהחומר הרגיל והחומר האפל, הקיים כנראה בגלקסיות ובצבירי גלקסיות. מדידות נוספות, המתוכננות להמשך העשור הקרוב, יצליחו לפתור שאלה זו של האצת ההתפשטות. תצפיות דומות באחידות קרינת הקרע, שעליהן דווח בחודש מאי 2001, מאששות ומרחיבות את המסקנות הללו.

בינתיים התפרסמו ידיעות על ניסוח תיאוריה חדשה לגבי ראשית היקום. חוקרים מאוניברסיטות פרינסטון ופנסילבניה בארצות הברית, וקיימברידג' באנגליה הציעו במאמר (שהוגש לפרסום) שלפני המפץ הגדול היו קיימים שני יקומים שקטים, ללא חומר, כוכבים, גלקסיות וכו'. שני יקומים אלה משכו זה את זה עד שהתנגשו. אז נוצרה שכבה, בה הטמפרטורה אחידה, ושם נוצרו חלקיקים. זהו התהליך שקדם למפץ הגדול, שממנו נוצר היקום שאנו מכירים. תיאוריה זו חדשה מדי כדי שהקהילה המדעית תוכל לעמוד היטב על טבעה, אך היא אחת מאלה המנסה להסביר "מה היה לפני-כן", ובכך גדולתה. רק העתיד יוכיח אם מסקנותיה ניתנות לבחינה ניסויית, שבה חייבת לעמוד כל תורה פיסיקלית.

לקריאה נוספת

מידב מאיר, ברוש נח, נצר חגי, היקום - יסודות האסטרופיסיקה (הפרק על קוסמולוגיה) הוצאת האוניברסיטה הפתוחה, 2000.

Peebles, P.J.E.,Schramm,D.N.,Turner,E.L.,Kron,R.G.(march1998) The evolution of the universe, Scientific American.

-
- **שנת-אור** הנה יחידת מרחק ששווה למרחק שעוברת קרן אור, הנעה במהירות האור, משך שנה אחת. ביחידות מקובלות, שנת-אור הנה כ- 10^{12} ק"מ.
 - **הכוח שמתנגד לכבידה** הופיע במשוואות המתארות את היקום שכתב איינשטיין כקבוע, שזכה לשם "הקבוע הקוסמולוגי".
 - **גוף שחור** הנו גוף הבולע את כל הקרינה שנופלת עליו ואינו מחזיר קרינה הקרינה היחידה שהוא פולט היא קרינה תרמית כתוצאה מהטמפרטורה שלו.
 - **סולם קלווין** למדידת טמפרטורה מכונה גם "טמפרטורות מוחלטות". גודל מעלה אחת בסולם זה הנו כשל מעלת צלסיוס הרגילה. האפס של סולם טמפרטורה זה מתאים למינוס 273 מעלות צלסיוס.
 - **"צבע"** הוא סוג של מטען ואין בינו לבין המושג הרגיל "צבע" ולא כלום. אם כך, מדוע נבחר שם זה? כל נוקליאון מורכב משלושה קווארקים. לכל אחד יש מטען צבע אחר: מטען "אדום", "כחול" ו"ירוק". הניטרון כולו אינו טעון ב"מטען צבע" שכן שלושה מטענים אלו מקזזים זה את זה, כמו שמטען חשמלי שלילי מקזז מטען חשמלי חיובי. הקיזוז ההדדי שבין שלושת מטעני ה"צבע" עורר בחוקרים אסוציאציה לתופעה שבה הקרנת שלושת צבעי היסוד, אדום כחול וירוק על אותו אזור במרקע, יוצרת כתם לבן. לכן החליטו לקרוא לסוג זה של מטענים - מטען צבע.