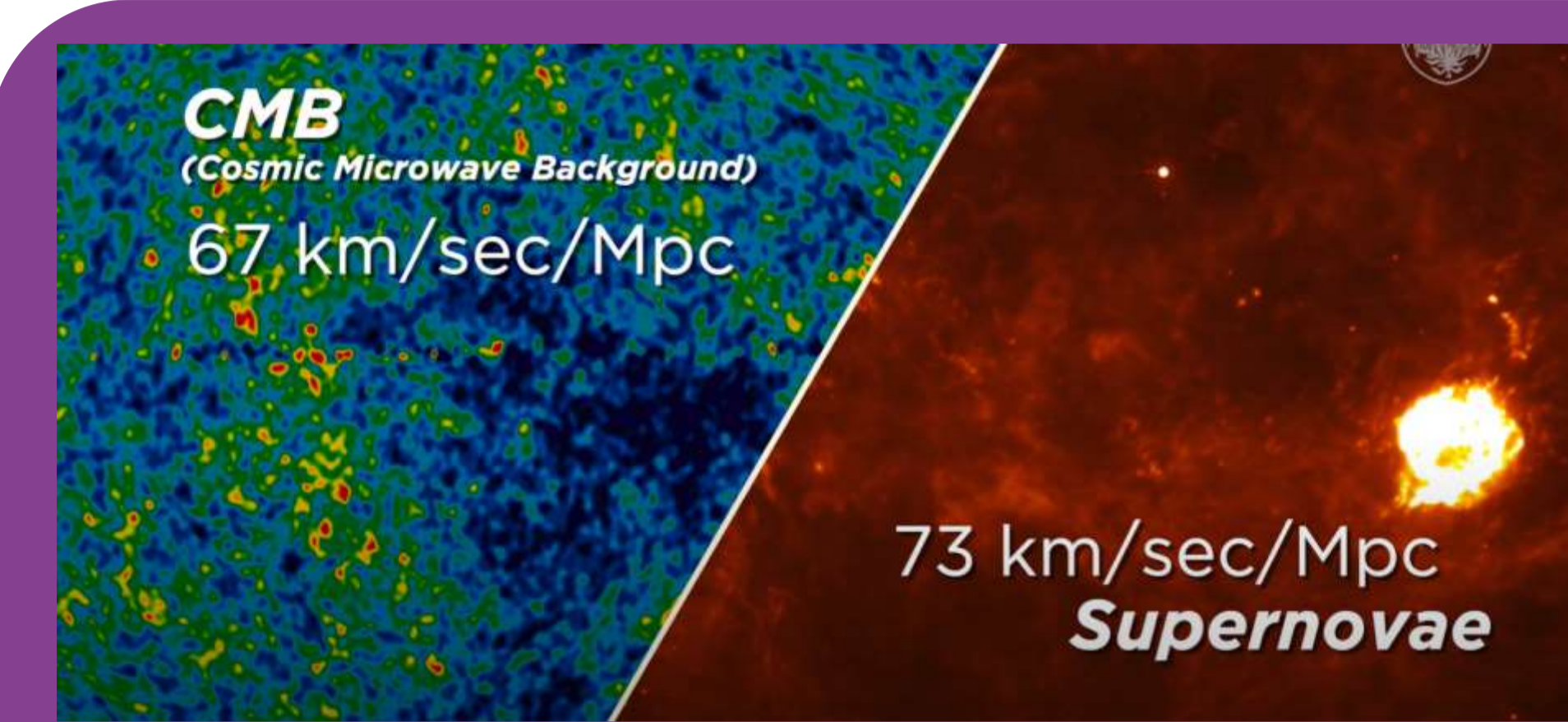




התהליכים הפיזיקליים השולטים בהתפשטות היקום

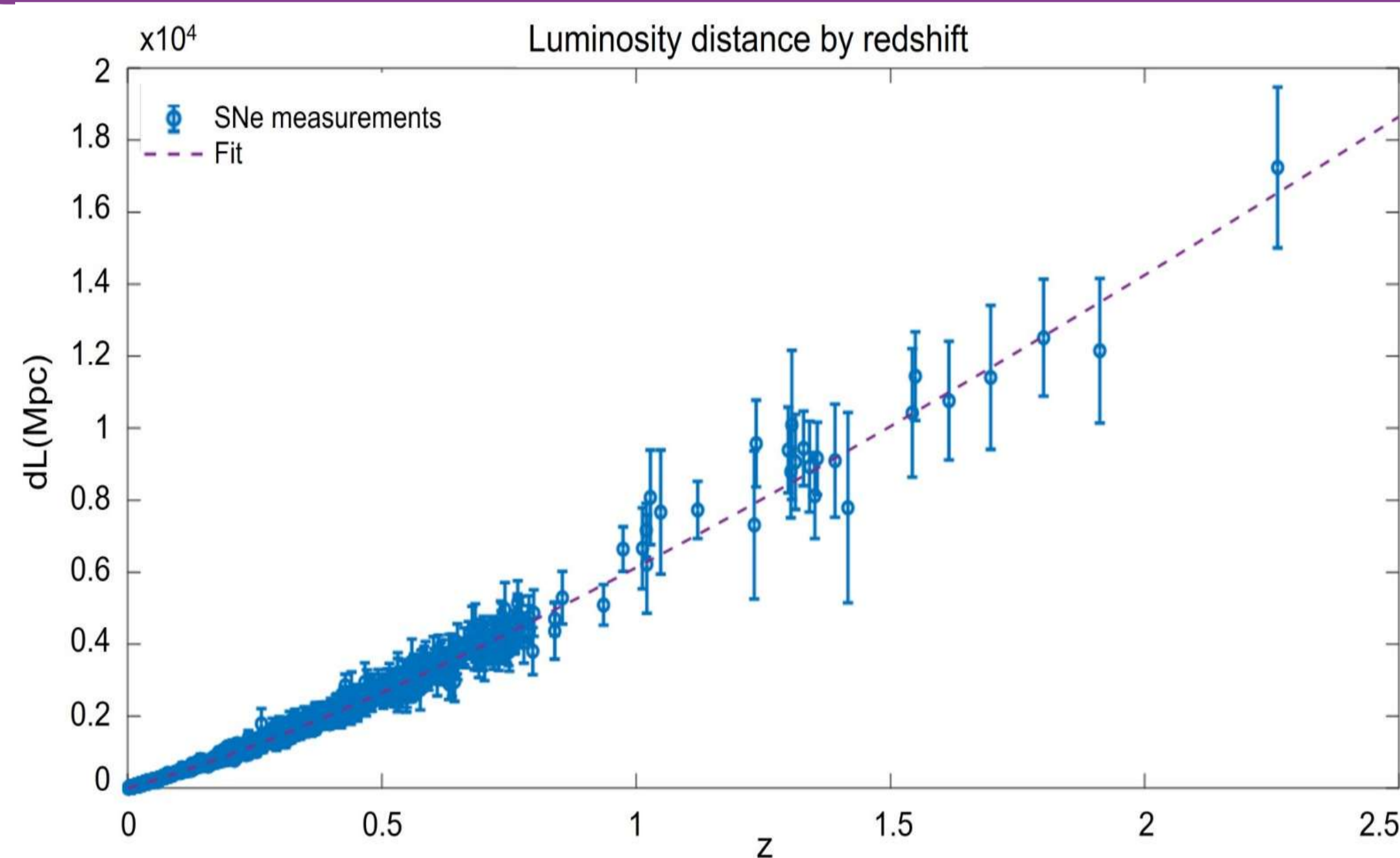
שימוש בנתוני סופרנובות מסוג 1a, משתנים ספאידיים, סולם המרחקים הקוסמי ואלגוריתם LSQ למדידת קצב התפשטות היקום וצפיפות האנרגיה האפלה בו



איור 3: איור הממחיש את מתח האבל.

מתח האבל:

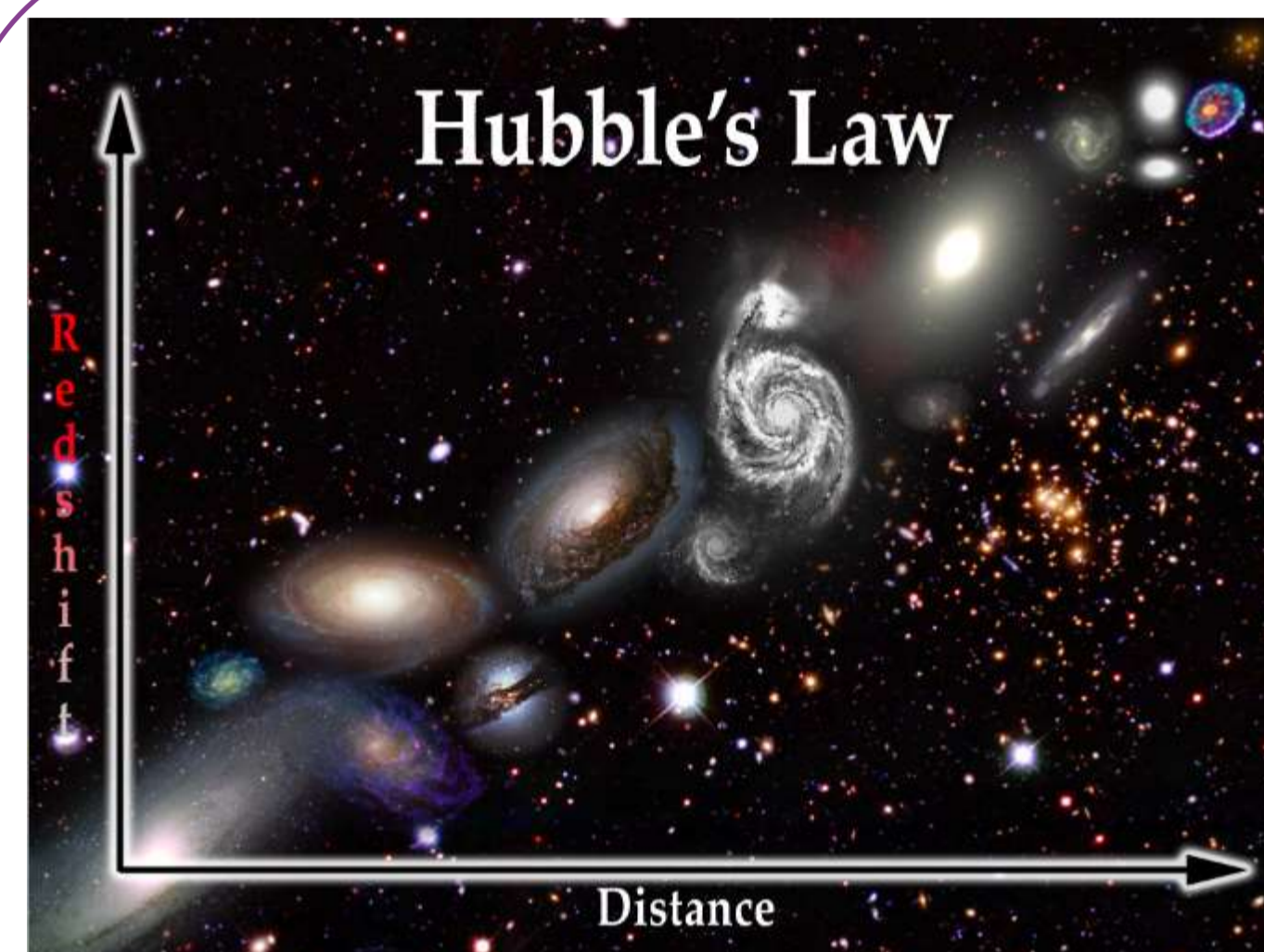
קיימת אי-הסכמה על ערכו של קבוע האבל, המכונה "מתח האבל" (איור 3). המתח נובע מכך ששיטות מדידה שונות גוררות תוצאות שונות – בעוד שהשיטה המתוארת. במחקר זה מניבה קבוע האבל בערך של $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, שיטה נוספת העושה שימוש בקרינת הרקע הקוסמית מעידה על ערך של $67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. מתח האבל מהווה שאלה פתוחה קריטית בחקר היקום שלנו, שיכולה להעיד על שגיאה משמעותית בהבנת התהליכים הפיזיקליים השולטים בהתפשטות היקום.



איור 4: הפונקציה $d_L(z)$ (בסגול) לאחר ביצוע ההתאמה.

מטרות המחקר:

- מציאת מרכיבי היקום (Ω_M, Ω_Λ) וקצב התפשטותו (H_0) בהינתן מאגרי נתונים שונים של מרחק redshift ומשתנים ספאידיים.
- יישוב/חקירת מתח האבל בעזרת הכפלת המרחק המודולרי אל סופרנובות בקבועים שונים, במטרה לבדוק האם חוסר ההתאמה בין הערכים השונים של קבוע האבל נובע משיגיה בפיזיקה המחשבת מרחקים אסטרונומיים (סולם המרחקים הקוסמי).



איור 1: הקשר הלינארי בין מהירות ומרחק הגלקסיות. שיפוע הגרף הוא קבוע האבל.

מבנה היקום והתנהגותו:

בסוף שנות ה-20 של המאה ה-20 גילה האסטרונום אדווין האבל כי היקום מתפשט, ואף כי ישנו קשר לינארי בין מרחק הגלקסיה לבין מהירות התפשטות - $V = H_0 \times d$. נוסחה זו מכונה חוק האבל, והיחס בין המהירות למרחק הוא קבוע הקרוי "קבוע האבל" (איור 1). בסוף שנות ה-90 של המאה ה-20 התגלה כי היקום מאיץ את התפשטותו, כתוצאה מאנרגיה אפלה שטיבה לא ידוע. שאר המסה-אנרגיה ביקום מורכבת מהחומר שאנו מכירים מחיי היום יום, וחומר אפל שמשפיע על תנועת הגלקסיות ומאפשר היווצרות מבנים ביקום בזמן קצר יותר.

הקשר בין מרחק redshift:

Redshift הינה תופעה פיזיקלית בה תדר האור הנמדד על ידי צופה, נמוך מהתדר אשר נפלט על ידי המקור, כתוצאה מהתרחקות של המקור מהצופה. תופעה זו נקראת כך משום שככל שתדר גלי האור אדומים יותר. משוואות פרידמן הן משוואות דיפרנציאליות שהפתרון להן הוא פונקציה המתארת את התפשטות היקום, במידה והוא הומוגני ואיזוטרופי. על מנת לפתור את המשוואות הללו, יש צורך במציאת הפרמטרים שבמשוואות - היחס בין צפיפות האנרגיה האפלה ביקום לבין הצפיפות הקריטית - Ω_Λ , היחס בין צפיפות מסת חומר בריוני (רגיל) ואפלי לבין הצפיפות הקריטית - Ω_M , היחס בין צפיפות המסה והאנרגיה של חלקיקים יחסותיים לבין הצפיפות הקריטית ששווה בקירוב לאפס - Ω_R , ועקמומיותו של היקום - Ω_K שנהוג להניח ששווה לאפס. ממשוואות פרידמן ניתן לפתח ביטוי המתאר מרחק כתלות בהיסט לאדום:

$$d_L(z) = f(z, \Omega_\Lambda, \Omega_M, H_0)$$

סולם המרחקים הקוסמי:

סולם המרחקים הקוסמי הינו כלי שעוזר במדידת מרחקים אל עצמים בחלל, שמו נובע מכך שכל שלב בסולם חיוני לשלב הבא – מדידת מרחקים של עצמים רחוקים אפילו יותר. השלב הראשון בסולם הוא מדידות טריגונומטריות. שלב זה אפשר את מציאת הקשר בין עוצמתם המוחלטת של משתנים ספאידיים (כוכבים בעלי בהירויות המשתנות במחזור קבוע) לבין זמן המחזור שלהם – דבר שאפשר מדידת מרחקים לטווח מרחקים רחב יותר. בזכות שלב זה נמצאה עוצמתן המוחלטת של סופרנובות מסוג 1a (איור 2). סופרנובות 1a ומשתנים ספאידיים מכונים "נרות סטנדרטיים", שכן בהירותם הניתנת למדידה מאפשרת מדידת מרחקים אסטרונומיים.



איור 2: סופרנובה מסוג 1a.

חשיבות המחקר:

חשיבותו המרכזית של מחקר זה טמונה באישוש הידוע לנו אודות התפשטות היקום ותכונותיו. יתרה מזאת, המחקר מהווה צעד נוסף אל עבר פתרון מתח האבל, בכך שהוא מראה שהגדלת המרחקים בחצי אחוז מובילה לערך קבוע האבל המתיישב עם הערך שנמצא דרך קרינת הרקע הקוסמית. המחקר מחזק את ההנחה לפיה הקשר בין תכונות הנרות הסטנדרטיים והבהירות שלהם אינו מכויל כראוי, וסולל את הדרך לפתרון הקונפליקט המשמעותי הזה בעולם הקוסמולוגיה. מן המחקר עולות שאלות חדשות: מה טיבו הפיזיקלי של הקשר האמיתי בין התכונות של נרות סטנדרטיים ובהירותם? האם הקשר הזה מרמז על תכונות פיזיקליות ממשיות ביקומנו או לחילופין על שגיאות סיסטמטיות במדידות הנתונים?

מסקנות:

תוצאות המחקר מצביעות על יקום מתפשט בקצב מאיץ בעל קבוע קוסמולוגי חיובי, כלומר על יקום שמכיל ברובו אנרגיה אפלה. יתרה מזאת, הכפלת המרחקים המודולריים אל הסופרנובות והמשתנים הספאידיים (הנובעת מההנחה שהערכות הנוכחיות למרחקים אלו היו שגויות כתוצאה מהבנה לא נכונה של הקשרים בין תכונות הנרות הסטנדרטיים ובהירותם) מיישבת את מתח האבל.

תוצאות:

במחקר, הותאמו נתוני הסופרנובות והמשתנים הספאידיים לפונקציה $d_L(z)$. נמצא כי מרכיבי היקום הם (איור 4):

$$H_0 = 72.8868 \pm 0.4749 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

$$\Omega_M = 0.3519 \pm 0.0045, \Omega_\Lambda = 0.6684 \pm 0.0085$$

וכי לאחר הגדלת המרחקים ב-0.5%, מרכיבי היקום הם:

$$H_0 = 67.1705 \pm 0.4554 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

$$\Omega_M = 0.3044 \pm 0.0041, \Omega_\Lambda = 0.7145 \pm 0.0096$$

מתחרים

נויה לינדר

ביה"ס

קריית החינוך ע"ש בן

גוריון, נס ציונה

מורה מלווה

מר הון ברלי

ד"ר דקלה בן שושן-עפרון,

מנחה

מר גלעד שדה

פרופ' אלי ווקסמן

מכון ויצמן למדע, רחובות

הנחיה מטעם התחרות

מר דותן הלוי

