

## סוד היקום וקרינת רקע קוסמית

איינשטיין אמר פעם: – "הדבר הכי לא מובן בנוגע ליקום הוא שהוא ניתן להבנה". זה באמת אחד הפלאים הגדולים ביותר. איך אפשר לכאורה רק על ידי מבט בשמיים שמעלינו להבין סודות נפלאים ועמוקים על איך היקום העצום הזה נברא, איך הוא "פועל" מהם מימדי ועד שאלות נכבדות וכבדות משקל. אנחנו היום נפתח צוהר קטנטן אל היקום. ובין חלק קטן מסודו של היקום, ואולי אף חלק קטן מן השיטות בהן השתמשו החוקרים כדי להבין את הדברים הללו. – למשל:

אנחנו כאנשים מאמינים יודעים שה' ברא את העולם והוא מחיה אותו בכל רגע אך אין זה פותר אותנו מלנסות להבין ולחקור את נפלאותיו של היקום ולרתום את ההבנות הללו לצרכינו. ממש כמו שאנו מאמינים שה נתן לנו את התורה ומאז אנו הוגים בה יומם ולילה כדי לגלות את הסודות העמוקים הצפונים בה. כידוע גם ביחס לחקר העולם והיקום מצאנו התייחסות בחז"ל ל כך שזה יכול להביא תועלת – והמקור המרכזי הוא הרמב"ם ביסודי התורה אשר כותב שזו אחת הדרכים לאהבת ה'.

### היכוח הגדול

הבה נקפוץ לים סודו של היקום. עד אמצע המאה העשרים חקר היקום הנקרא: "קוסמולוגיה" נחשב ענף עתיק מאוד אך לא כל כך משמעותי בפיזיקה. היה זה משום שהתיאוריה שהייתה לגבי אופיו של היקום היא שהיא נמצא במצב קבוע, יציב ואינו משתנה. אלפי שנות צפייה בכוכבים (מתקופת המצרים הקדמונים) הראו שלמעשה, היקום הוא סטטי וכמעט אינו משתנה למעט תנועת גורמי השמיים הקרובים אלינו – מערכת השמש, אשר לה יש כמובן השפעה מכריעה על חיינו. גם איינשטיין עצמו תמך בתיאוריה זו, בתורת היחסות שפיתח, וכיוון שהוא המדען אשר נחשב, ובצדק, למספר 1 בעולם. מי יעז לחלוק עליו?

ובכן, היה אחד שהעז – מתמטיקאי רוסי בשם אלכסנדר פרידמן. אחריו באו עוד כמה וכמה, וכך התפתחה התיאוריה אשר היום כולם מכירים בצדקתה – תיאורית המפץ הגדול. איינשטיין עצמו נטה לזלזל בתיאוריה זו שלא הסכים עימה, ואפילו כשביקר עם אשתו בשנת 1931 במצפה הכוכבים "הר וילסון" בו מצא האבל הוכחות ניסיוניות חותכות לתיאוריה של המפץ הגדול, עוד העירה אשתו בזלזול: "נו, נו, בעלי מסביר את כל זה על גב מעטפה ישנה". אלא שהוא טעה. הוא טעה משום שהיה תיאורטיקן, ותיאוריות עלולות להיות שגויות. אולם מיד לאחר ביקורו, כשהבין איינשטיין שטעה טעות חמורה בנושא כל כך משמעותי זה, ערך מסיבת עיתונאים וחזר בו בפומבי מהקוסמולוגיה הסטטית שלו עצמו, ותמך במפץ הגדול. אחד המדענים (הרמן וייל) שהתייחס לכך אמר שעם התפתחותה של תיאוריה זו דומה כאילו "התמוטט קיר שהפריד בינינו לבין האמת". אנו למדים כאן שני דברים חשובים: 1. חשיבות האומץ לעמוד גם מול אדם שנחשב לחכם ביקום וללכת עם אמת שאתה מאמין בה. 2. הבנה כי במקצועות המדעיים (ואולי גם בדברים נוספים) אין תחליף לניסויים והתצפיות ורק הן אלו שיכריעו את גורלן של התיאוריות השונות.

אך מה בעצם טוענת תיאורית ה"מפץ הגדול"? במה היא שונה מהותי מזו של "היקום העמיד"? נחזור שוב למקום שבו היכוח הגדול החל. פרידמן הבין מהמתמטיקה, בניגוד לאיינשטיין, שלמעשה היקום מתפשט 3ב אפשרויות שונות – התפשטות לאינסוף, התפשטות ואז קריסה, או התפשטות מוגבלת<sup>1</sup>. פיזיקאי נוסף ז'ורז' למטר המשיך עוד יותר את קו המחשבה הזו, ואמר שאם היקום מתפשט כל העת (התפשטות תלת ממדית כמו בלון שמתנפח) אז מחר הוא יהיה קצת יותר גדול. ואתמול הוא היה קצת יותר קטן, ולפני המון המון זמן הוא היה כנראה... נקודה!!! זוהי לכאורה ההתחלה של היקום. ברגע הבריאה, לפי למטר, התרחש פירוק עצום של אטום כלשהוא שהכיל את הכול וזה הוליד את כל החומר שבעולם. אגב זה מאוד מתאים לאמונה היהודית שהיה רגע של בריאה – משום שלפי תיאורית היקום העמיד – היקום היה קיים כמו שהוא היום, מאז ומעולם (יקום נצחי) ואין לו רגע בראשיתי של התחלה. תפיסה זו של יקום נצחי הייתה השולטת בעולם, ועל כן היה מאוד קשה לערער אותה. כיוון שגם למטר לא מצא שום הוכחה ניסויית לתיאוריה שלו, היה נוח מאוד לקהיליית המדענים להמשיך להאמין בשלב זה ביקום הסטטי של איינשטיין. עתה פניהם של הכול היו מופנות אל האסטרונומים התצפיתנים שיכריעו בסוגיה המרתקת הזו אודות סודו של היקום, על ידי בניית טלסקופי ענק וצפייה בשמיים.

### מדידת מרחק אל הכוכבים וחישוב מהירותם

כידוע, הדרך היחידה של האסטרונומים ללמוד על היקום היא לצפות בו. אין הם יכולים לגעת בו. כל המידע נאסף על ידי ניתוח של האור המגיע מן הכוכבים. אולם כיצד ניתן בשיטה זו למדוד מרחקים של מיליארדי מיליארדי קילומטרים? באיזה סרגל מדידה ניתן להשתמש עבור מרחקים עצומים כאלו? המדידה היא על ידי שיטת ה **פרלקסה** – הבטה אל כוכב משני מקומות שונים במסלול של כה"א סביב השמש (ראה איור), בניית משולש ש"ש, וכך על ידי חישוב הזווית בין שני קווי הראיה וגודל הבסיס (קוטר מסלול הארץ

<sup>1</sup> אגב, הרקע למחלוקת זו, מרתק בפני עצמו. התובנה שלו נבעה מקושי גדול שהטריד מאוד את איינשטיין. לפי תיאורית הכבידה של איינשטיין כל גוף בעל מסה מושך גוף אחר. לפי זה – היקום שלנו אינו יציב כלל ואמור בשלב כלשהו לקרוס אל תוך עצמו! זה היה נגד האינטואיציה האנושית ותמונת היקום היציב, ועל כן הוסיף איינשטיין למשוואה שלו בצורה מלאכותית איבר כלשהוא (הקבוע קוסמולוגי) אשר גרם לכוח דוחה שאיזן את כוחות הכבידה. הוא עצמו הבין שזה פתרון "מכוער" אך לא הייתה לו ברירה. פרידמן, שכבר מגיל צעיר היה טיפוס מהפכן שהטיל ספק במסד, וארגן שביתות על רקע פוליטי בבית הספר שלו, לא הסכים "לעגל פינות" ולהתיישר לפי הזרם (ממש כמו קופרניקוס בשעתו בויכוח אודות תנועת כדור הארץ). הוא ניתח את המשוואות בדיוק כמו שהן, ללא כל תוספות מאולצות. שלושת האפשרויות שהציע הן 3 פתרונות אפשריים של המשוואות.

סביב השמש הוא פעמיים המרחק אל השמש שהיה ידוע<sup>2</sup>) ניתן לדעת את אורך כל צלע במשולש – המרחק אל הכוכב. לפי מרחק כוכב אחד ניתן לדעת מרחקים של כוכבים נוספים על ידי השוואת בהירותם. את אחת ההוכחות החזקות למפץ הגדול מצא אסטרונום מבריק בשם אדווין האבל. עוד בהיותו בגיל 8 קיבל האבל מתנת יום הולדת מסבו - טלסקופ בו צפה עד השעות הקטנות של הלילה. בגיל תיכון כבר כתב מאמר על המאדים, שהתפרסם בעיתון מקומי. מורתו הכריזה עליו "הוא יהיה אחד האנשים המבריקים ביותר בדורו". כל מורה מן הסתם אומרת דברים כאלו על התלמיד החביב עליה, אך במקרה שלה, היא גם צדקה ובגדול. האבל החל לחקור את תנועת הכוכבים בעזרת טלסקופים המשוכללים ביותר בעולם. הוא השתמש בטכניקה ידועה של מדידת מהירותם של הכוכבים והגלקסיות על ידי שינוי באורך הגל המגיע מהם אלינו (קרינה קוסמית – הבאה מן היקום אלינו) הטכניקה מבוססת על "הסחת דופלר" – אשר ניתן להבחין בה בגלי קול הבאים אלינו ממכונית החולפת במהירות גדולה על פנינו: כשהיא מתקרבת אלינו הגלים "מתקרבים" זה אל זה ואורך הגל מבחינתנו קטן. לכן הצליל נשמע גבוה. לעומת זאת, כשהמכונית מתרחקת מאיתנו אנו מרגישים באורך הגל גדול יותר, ולכן הצליל נהיה נמוך. כך בדיוק קורה גם בגלי אור – רק במהירות גבוהה הרבה יותר. עוד לפני האבל הבחינו אסטרונומים רבים בכך שרוב הגלקסיות מתרחקות מאיתנו, אולם האבל הוא זה שהבין במבט כולל את התמונה. הוא בנה טבלה מסודרת של מרחקה ומהירותה של כל גלקסיה והצליח להבחין שיש יחס ישר בין מרחקה של הגלקסיה מאיתנו למהירות התרחקותה (חוץ האבל). המשמעות הגדולה של מחקרו (1933) הוא שלא זו בלבד שכל הגלקסיות מתרחקות מאיתנו אלא שלפני זמן רב מאוד, היה כל החומר ביקום מרוכז בעת ובעונה אחת בנקודה אחת בודדה. זוהי למעשה הוכחה חזקה מאוד לתיאורית המפץ הגדול. משמעות נוספת של מחקרו היא היכולת לחשב את גיל העולם, לפי קצב התרחקות של אחת הגלקסיות מאיתנו. לפי החישובים מקבלים שגיל העולם הוא כ-14 מיליארדי שנים. (צריך להבין שאין כאן בהכרח סתירה לאמונה שלנו מכמה סיבות: א. הספירה היהודית מתחילה מבריאת האדם. איננו יודעים כמה זמן נמשך "יום" של השבוע הראשון של בריאת העולם, במיוחד הימים שקדמו לבריאת השמש שהיא זו שקובעת את אורך היום. ב. ייתכן שבזמן בריאת העולם התרחשו תהליכים פיזיקאליים בקצב אחר ממה שהם מתרחשים היום ג. מופיע בחזל שהקב"ה בונה עולמות ומחריבם וכו').

מי שהמשיך ופיתח את התיאוריה של המפץ הגדול הוא ג'ורג' גאמוב וחבריו אשר חקרו את היווצרות המימן וההליום אשר מהווים 99.99% מכול החומר שביקום, וכן את התהוות שאר החומרים. לפי התיאוריה שלהם, 300,000 שנים אחרי המפץ הגדול הטמפרטורה ביקום התקררה, הפלאסמה הטעונה חיובית ושליילית הפכה ליסודות ניטרליים ואז השתחרר אור חזק מאוד (והיה אור) באורך גל מסויים (אלפית המילימטר). שהציף את כל היקום. לפי זה, אנו היום צריכים למצוא את האור הזה שהציף את כל היקום. לפי החישובים של התפשטות היקום, אורך הגל של אור כזה צריך להיות היום בסדר גודל של מספר מילימטרים – מה שנקרא "גלי מיקרו" (גלי רדיו קצרים). גלים אלו קבלו את השם – **קרינת רקע קוסמית**, ותהילת עולם המתינה למי שיגלה את קיומם. גילוי קרינה זו יהווה למעשה את ההוכחה הסופית והמוחלטת בצדקתו של המפץ הגדול, שהרבה מאוד מדענים ובראשם הויל, וגולד עדיין ערערו עליו.

הבעיה היא שקרינה זו ברבות השנים נחלשה מאוד ועוצמתה מאוד קטנה, וקשה להבחין בה. פריצת הדרך התרחשה כשסטודנט צעיר (קרל ינסקי) בגיל 26 נתבקש על ידי חברת בל שנתנה שירותי רדיו, לגלות מוקדי רעש והפרעות על מנת לשפר את איכות השידור והקליטה של תשדירים. הוא בנה אנטנה ענקית שמסוגלת לקלוט גלי רדיו באורך של 15 מטרים, ואז הבחין בכל מיני רעשי רקע. בין הרעשים היה רעש אחד מאוד חלש, באוושה קבועה שמקורה לא היה ידוע לו (בניגוד לשאר הרעשים שנגרמו מסערות). רעש זה לא הפריעה לשידורי הרדיו, אך סקרנותו דחפה אותו לגלות את מקורו. לאחר כמה חודשי מחקר, הוא הבין שמקור הרעש הוא בגלקסיות שביל החלב שלנו. בשילוב של מזל, סקרנות ותושיה רב גילה ינסקי את אחד הגילויים החשובים באסטרונומיה. 20 שנה לאחר מכן גילו זוג אסטרונומים גלי רדיו שהיו בדיוק באורך הגל שחזה גאמוב מה שאושש מאוד את נכונות תיאוריית המפץ. גם כאן הם גילו תושייה רבה, ולא ויתרו כששמעו את "רעש" החלש שהציק להם כל הזמן (בשלב מסויים הם חשבו שהרעש הוא בגל חומר שהפרישו זוג יונים שקננו באנטנה...). אחת המסקנות מגילויים אלו היא שניתן לראות לא רק דרך העיניים. כל גוף פולט קרינה באורכי גל שונים, שחלקם ניתנים לצפייה בעיניים וחלקם בעזרת מכשירים אחרים שקולטים גלים באורך אחר (למשל חתימה תרמית שמשמשים בה בצבא). הבנה איכותי של פליטת הקרינה של הגוף יכולה לתת לנו רבה מאוד מידע על הגוף שפולט את הקרינה, החומר ממנו הוא עשוי, מרחקו ממנו, מהירותו וכו'.

כך ניתן בעזרת קרינה קוסמית שבאה מן היקום, ללמוד הרבה מאוד על הדרך שבה התפתח היקום שלנו, על מבנהו, גודלו העצום, החומרים ממנו הוא מורכב ועוד.

ישנם הרבה סוגים של קרינה קוסמית. אנו במאמר זה הזכרנו רק את **קרינת הרקע הקוסמית** החלשה אשר מעידה על המפץ הגדול, אולם ישנם עוד סוגים רבים של קרינה קוסמית הבאה מן השמש, מהגלקסיה, מכוכבים שהתפוצצו (סופרנובות) ועוד. במעבדה בה נבקר נראה מעבדה החוקרת בעיקר קרינה קוסמית מן השמש, כדי לתת תחזית קרינה יומיומית עבור לזוינים שקרינה ברמה גבוהה מסוכנת להם.

<sup>2</sup> האסטרונום המלכותי הבריטי אדמונד האלי (המוכר בזכות השיט המפורסם) פיתח שיטה להשתמש במעבר של נוגה כדי להעריך את המרחק בין כדור הארץ ובין השמש (מרחק המוכר היום כיחידה אסטרונומית, AU). לשם כך היה צורך לצפות באירוע מכמה מקומות על פני כדור הארץ, וככל שיהיו מרוחקים זה מזה, כך ייטב - שיטה המוכרת בשם שיטת ההיסט (parallax). השיטה מסורבלת, אבל לתוצאת המדידה הייתה חשיבות רבה - המרחקים היחסיים בין כוכבי הלכת היו ידועים, מצייאת הערך האמיתי של המרחק מן השמש תאפשר קביעת קנה מידה לכל מערכת השמש. ב-1769 התקבלה תוצאה שהעריכה את המרחק בין 150 לבין 156 מיליון ק"מ.