

”כוכבי השמים לרוב” - כמה זה?

דב פאליק

תקציר

התנ”ך משתמש במשל הכוכבים כדי לציין ריבוי - בעיקר ריבוי צאצאי עם ישראל. קוראי הדברים בתקופה שלפני המצאת הטלסקופ (בסוף המאה השש-עשרה למניינם) לא יכלו שלא לתמוה על משל זה, שהרי הם לא יכלו לראות אלא כמה אלפי כוכבים בלבד. לאור זאת, מעניין לראות כי הגמרא (מס’ ברכות דף ל”ב ע”ב) קובעת כי מספר הכוכבים הוא 10^{18} - קרוב לערך שהפיזיקה המודרנית קובעת. גם חלוקת הכוכבים לקבוצות דומה למדי לחלוקה שנתגלתה במאה העשרים.

מקורות

במספר מקומות בתנ”ך מובא מספר הכוכבים כמשל לריבוי עצום - בעיקר כהבטחת הקב”ה לאבות כי מספר צאצאיהם יהיה עצום ורב. בנספח מובאים תשעה פסוקים בהם נמשל הריבוי לכוכבי השמים.

כמה כוכבים ניתן לראות?

היוצא לרחובה של עיר מודרנית בלילות החורף כמעט שלא יראה כוכבים: רובם מוסתרים ע”י עננים. מי שישתכל לעבר השמים בקיץ יראה מאות בודדות של כוכבים לכל היותר - זיהום האוויר גורם לבליעת האור המגיע מן הכוכבים ומה שנקרא ”זיהום האור” (דהינו פליטת האור ממקורות קרובים כמו תאורת הרחובות ופנסי המכוניות) מפריע גם הוא במספר מנגנונים. בתקופת המקרא לא היו קיימים גורמי הפרעה כאלה. רועה צאן ששוטט עם עדרו מחוץ לכפר וצפה בכוכבים יכול היה לראות כאלף כוכבים אם היה בעל ראייה ממוצעת (מה שמרכיבי המשקפים מכירים בשם ”ראיה 6/6” בישראל או ”20/20” בארצות המודדות מרחקים ב-foot). בעלי כושר ראייה טוב יותר יכלו לראות יותר כוכבים - הקטלוג המפורט ביותר לפני המצאת הטלסקופ (זה של תלמי) הכיל רשימה של כששת אלפים כוכבים.

הטלסקופ הומצא בסוף המאה השש-עשרה למניינם. השימוש המתועד הראשון בטלסקופ לצפייה בכוכבים נעשה - ככל הידוע - ע”י גלילאו גליליי בראשית המאה השבע-עשרה. לפרסום רב זכו תצפיותיו על הירח ועל כוכבי-הלכת, אולם הוא גם הבחין במספר גדול של מה שנקראים בשם ”כוכבי שבת”. לא נעבור בפירוט על כל ההיסטוריה, אבל מספיק לציין כי בקטלוגים מודרניים מופיעות רשימות של מיליונים רבים מאד של כוכבים.

”כוכבי השמים לרוב” - כמה זה?



האסטרונומים ראו - באמצעות הטלסקופים - לא רק כוכבים בודדים אלא גם "ערפיליות" - כתמים בהירים בשמים. הערפילית הגדולה ביותר נראית גם בעין בלתי-מזוינת: זהו פס בהיר העובר לרוחב השמים ונראה כמו "שביל חלב". ואכן, כבר הקדמונים כינו ערפילית זו בשם "שביל החלב". עם שיפור הטכנולוגיה של הטלסקופים (בעיקר היכולת ליצר עדשות ומראות בקוטר של מטרים אחדים ובעלות דיוק גיאומטרי של שבר של מיקרון!) התברר כי ערפיליות אלה הן, בעצם, צברים של כוכבים רבים מאד. ערפיליות כאלה נקראות בשם "גלקסיות". אי אפשר לספור את הכוכבים בגלקסיה באופן ישיר, אבל בדרכי-עקיפין ניתן לחשב את מספרם. מספר הכוכבים בגלקסיה נע בערך בין מיליארד (10^9) לבין ביליון (10^{12}) והממוצע הוא מאה מיליארד (10^{11}). הגלקסיות אינן מפוזרות באופן אקראי, אלא הן מקובצות בצברים (clusters) כאשר בצבר אפייני יש עשרות אחדות של גלקסיות. גם הצברים מקובצים בצבירי-על (super-clusters) וצבר-על ממוצע כולל גם הוא כמה עשרות צבירים. הקורא לא יתפלא לשמוע כי גם צבירי-העל מקובצים בקבוצות, אבל הטכנולוגיה של זמננו אינה מאפשרת עדיין המשכת השרשרת. המספר הכולל של גלקסיות ביקום הניתן-לצפייה (observable) הוא כ-64 מיליארד, ולכן המספר הכולל של כוכבים הניתנים עקרונית לצפייה הוא $6.4 \cdot 10^{21}$. עם עבור הזמן, אפשר לראות גלקסיות יותר ויותר רחוקות (עד למרחק השווה לגיל היקום כפול מהירות האור) אולם מכיוון שהיקום מתפשט (הגלקסיות מתרחקות זו מזו) הרי שבעתיד הרחוק מאד ניתן יהיה לראות רק מספר סופי של גלקסיות - הערך האסימפטוטי (בעוד זמן אינסופי) הוא כ-150 מיליארד, ולכן המספר המקסימלי של כוכבים שניתן יהיה אי-פעם לראות הוא, לכל היותר, $15 \cdot 10^{21}$. אם נשלח כרגע קרן אור לגלקסיות מרוחקות, היא תגיע רק למרחק סופי (מה שנקרא בשם "הגבול העליון של יכולת ההשגה"), גם בעוד זמן אינסופי. לכן, מספרן של הגלקסיות שניתן, עקרונית, להגיע אליהן אי פעם גם הוא סופי - כ-2 מיליארד ומספר הכוכבים המתאים - $2 \cdot 10^{20}$. יש לציין כי משך החיים של הכוכבים והגלקסיות הוא סופי - הם מתפרקים ונוצרים מחדש.

"מפה" מפורטת של היקום ניתנת בקישור הבא:

http://il.arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0310/0310571.pdf

הגמרא במסכת ברכות

במסכת "ברכות" שבתלמוד הבבלי, דף ל"ב: מופיע הקטע הבא:

"ותאמר ציון עזבני ה' וה' שכחני" (ישעיהו מט יד). היינו עזובה היינו שכוחה! אמר ריש לקיש, אמרה כנסת ישראל לפני הקב"ה: רבונו של עולם, אדם נושא אשה על אשתו ראשונה - זוכר מעשה הראשונה, אתה עזבתני ושכחתני. אמר לה הקב"ה: בתי, **שנים עשר מזלות בראתי ברקיע ועל כל מזל ומזל בראתי לו שלשים חיל ועל כל חיל וחיל בראתי לו שלשים לגיון ועל כל לגיון ולגיון בראתי לו שלשים רהטון ועל כל רהטון ורהטון בראתי לו שלשים קרטון ועל כל קרטון וקרטון בראתי לו שלשים גסטרא ועל כל גסטרא וגסטרא תליתי בו שלש מאות וששים וחמשה אלפי רבוא כוכבים כנגד ימות החמה** - וכולן לא בראתי אלא בשבילך, ואת אמרת עזבתני ושכחתני?! (ישעיהו מט טו) "התשכח אשה עולה" אמר



הקב"ה: כלום אשכח עולות אילים ופטרי רחמים שהקרבת לפני במדבר?! אמרה לפניו: רבונו של עולם, הואיל ואין שכחה לפני כסא כבודך שמה לא תשכח לי מעשה העגל? אמר לה (ישעיהו מט טו): "גם אלה תשכחנה". אמרה לפניו: רבונו של עולם, הואיל ויש שכחה לפני כסא כבודך שמה תשכח לי מעשה סיני? אמר לה (ישעיהו מט טו): "ואנכי לא אשכחך". והיינו דאמר רבי אלעזר אמר רב אושעיא: מאי דכתיב "גם אלה תשכחנה" - זה מעשה העגל, "ואנכי לא אשכחך" - זה מעשה סיני. (ההדגשות שלי - ד"פ).

לפי הגמרא הכוכבים מקובצים בקבוצות הנקראות "גסטרא". בגסטרא יש 365 אלפי ריבוא (דהינו 3.65×10^5) כוכבים. שלושים גסטראות מקובצות בקבוצה הנקראת "קרטון", ולכן מספרם של הכוכבים בקרטון הוא 109.5 מיליארד. שלושים קרטונים מקובצים... וכו'. המספר הכולל של כוכבים הוא 1.06434×10^{18} בדיוק!

דיון

כל מי שקורא את הבטחת הקב"ה לאבות או את דברי משה לעם כי הם יהיו "כוכבי השמים לרוב" ומתבונן בשמים, לא יוכל שלא לתמוה: האם הקב"ה מבטיח כי העם יגיע למספר של כמה אלפי נפש בלבד? הלא כבר בזמן שמושה אומר דברים אלה מנה העם מיליוני נפשות ("שש מאות אלף רגלי הגברים לבד מטף" שמות י"ב ל"ז). אנשי "דעת אמת" של אותה תקופה בודאי שמחו לפרסם באתר האינטרנט שלהם דברי לעג על ההבטחות המוזרות האלה.

ואולם דברי הגמרא, למי שחי בתקופה שעד לפני כמאה שנה, תמוהים עוד יותר - מנין לחז"ל דברי הגוזמא על מיליארד פעמים מיליארד כוכבים, המסודרים בקבוצות, שהקטנה בהם מונה כמה מיליארדי כוכבים? אתרם של "דעת אמת" בודאי התפקע מלגלוג על השטויות שהאמוראים כתבו, העומדים בניגוד ברור לידע המדעי הידוע לכל.

הקורא בן-זמננו עומד נפעם מול העובדה שאינה ניתנת להבנה רציונאלית: איך ידעו מחברי התנ"ך והגמרא כי יש הרבה יותר (כמעט פי מיליון פעמים מיליארד!) כוכבים מאשר נראה לעין? וכי הם מקובצים ב"קרטונים" שכל אחד מהם כולל כמאה מיליארד כוכבים, כמניין הכוכבים בגלקסיה ממוצעת? וכי הקרטונים מסודרים בצבירים ("רהטון") שכל אחד מהם כולל כמה עשרות קרטונים?

כל קורא רשאי לבחור לו תשובה.

מספר הכוכבים שניתן עקרונית להגיע אליהם אי-פעם גדול פי 200 ממספר הכוכבים המופיע בגמרא. אולם, מספר זה חושב רק מתוך הדינמיקה של היקום, מבלי להתחשב בהתפרקות וביצירה של כוכבים. למיטב ידיעתי, אין מודלים מספיק טובים לתיאור מצבם של הכוכבים בעתיד הרחוק מאד - בהחלט יתכן שהיקום יעבור לפאזה שבה החומר לא יהיה מאורגן בכוכבים אלא בצורה שונה לחלוטין (למשל, חומר מפוזר בצורה הומוגנית בכל היקום, או אפילו התפרקות החומר והפיכתו לקרינה גרידא). לכן, אין זה מן הנמנע (לפי מצב הידע כיום) כי ניתן להגיע אי-פעם רק למספר הכוכבים הרשום בגמרא!

גילוי נאות

על נושא המאמר חשבתי לפני יותר מעשרים שנה, כאשר לימדתי את מסכת ברכות בבית-הכנסת בו התפללתי ועסקתי באופן פעיל באסטרופיזיקה, אולם לא פרסמתי זאת. לפני כשנה שמעתי הרצאה על נושא דומה מאד מפי הרב צבי ענבל ואני שמח כי כיוונתי לדעת גדולים. אני מרשה לעצמי לפרסם את המאמר בשמי שכן הגיתי את הרעיון בטרם שמעתי את ההרצאה הנ”ל וכן משום שיש במאמרי אלמנטים חשובים שלא היו בהרצאה.

נספח

רשימת הפסוקים בהם נמשל הריבוי הגדול לכוכבי השמים:

בראשית ט”ו ה: ויוצא אתו החוצה ויאמר הבט נא השמימה וספר הכוכבים אם תוכל לספר אתם ויאמר לו כה יהיה זרעך.

בראשית כ”ב י”ז: כי ברך אברכך והרבה ארבה את זרעך ככוכבי השמים וכחול אשר על שפת הים וירש זרעך את שער איביו.

בראשית כ”ו ד’: והרביתי את זרעך ככוכבי השמים ונתתי לזרעך את כל הארצת האל והתברכו בזרעך כל גויי הארץ

שמות ל”ב י”ג: זכר לאברהם ליצחק ולישראל עבדיך אשר נשבעת להם בך ותדבר אלהם ארבה את זרעכם ככוכבי השמים וכל הארץ הזאת אשר אמרתי אתן לזרעכם ונחלו לעלם

דברים א’ י’: ה’ אלהיכם הרבה אתכם והנכם היום ככוכבי השמים לרב.

דברים י’ כ”ב: בשבעים נפש ירדו אבתיך מצרימה ועתה שמך ה’ אלהיך ככוכבי השמים לרב

דברים כ”ח ס”ב: ונשאתם במתי מעט תחת אשר הייתם ככוכבי השמים לרב: כי לא שמעת בקול ה’ אלהיך

נחום ג’ ט”ז: הרבית רכליך מכוכבי השמים ילק פשט ויעף.

דברי הימים א כ”ז כ”ג: ולא נשא דויד מספרם למבן עשרים שנה ולמטה: כי אמר ה’ להרבות את ישראל ככוכבי השמים.



תולדות חיים: דב פאליק
השכלה: ישיבה תיכונית "יבנה", חיפה, 1962

הפקולטה לפיזיקה בטכניון

1966 - B.Sc.

1977 - M.Sc.

1979 - D.Sc.

תעסוקה: רפא"ל, הרשות לפיתוח אמצעי לחימה, משרד הביטחון - 1970 עד 1999

1998 - 2002 - NDS

"כמו טוטו - כמות זוג"

