

גורלו של היקום

3/1979



\*32\*

אסטרונומיה  
אסטרופיסיקו  
חקר החלל

התוכן

עמוד

63	חדשות מעולם האסטרונומיה (א. לרר, ח. גרשט)
65	תוכנית לחקר כוכבים הקרובים (ד"ר פורוורד)
69	על גורלו של היקום (ד"ר ג. איסלם)
78	תצפיות בכתמי השמש (יצחק שלוסמן)
84	קבוצת החודש (יגאל פתאל)
87	אובייקטים של Messier (י. פתאל)
88	תופעות הדדיות של הלוינים הגאלילאים של צדק (נח ברוש)
91	התכסות הכוכב SAO 144070 ע"י האסטרואיד יונו
92	יריחים של צדק
93	התכסויות
94	כוכבים משתנים
95	יומן השמים (מאי-יוני)

המערכת:

יצחק שלוסמן (עורך ראשי)

אהרון אופיר, נח ברוש, דוד גבאי, נפתלי תשבי.

כתובת המערכת: מצפה הכוכבים, גבעתיים, גן עליה השניה.  
מען למכתבים: מצפה הכוכבים, גבעתיים, ת.ד. 405, טל. 730117.

Editorial Board:

Isaac Shlosman (Editor)

Aharon Ophir, Noah Brosh, David Gabai, Naftali Tishbi.

Adress: Astronomical Observatory, Givatayim, P.O.B. 405, Israel.

כל הזכויות שמורות

© Copyright by "Starlight"

תמונת השער: המרחב הוא עקום בקירבת חור שחור בעל שדה כובד חזק (ראה מעמרו של ד"ר ג. איסלם "על גורלו של היקום" בעמוד 69).

תמונת השער האחורי: ערפילית הסרטן (Crab Nebula- M1) הנמצאת בקבוצת הכוכבים שור, בעלת גודל נראה 8.4. הערפילית הינה תוצר התפוצצות התפוצצות של סופרנובה בשנת 1054 (?). מרחקה כ-7000 שנות אור (צולם ע"י מצפה הכוכבים ווילסון).

## חדשות העולם האסטרונומיה

כוכבי לכת לכוכבים אחרים?

ליקט: אריה לרר  
חנוך גרשט

ד"ר הלמוט א. אבט (Abt) וד"ר שאול ג. לוי (Levy) מהמזפפה הלאומי בקיט פיק (ארה"ב) דווחו על קיום הוכחות לכך שמספר הכוכבים בגלכסיה שלנו (שביל החלב) העשויים לשאת כוכבי לכת ובהם תנאים לקיום חיים הוא גדול בהרבה מאשר הונח בעבר. מכאן אפשר להסיק כי הסיכוי לקיום חיים, בדומה לאלה שעל כדור הארץ גם כן יכול להיות גדול יותר בכוכבים הקרובים לנו מאשר הונח בעבר.

לדברי ד"ר אבט נמצאו הוכחות כי גם לכוכבים חמים ולא רק לכוכבים קרים יחסית (כמו השמש שלנו) ישנם שותפים הסובבים אותם, שהם כנראה כוכבי לכת.

האסטרונומים ניסו למצוא באיזה סוג כוכבים שכיחים מערכות כוכבי הלכת. בשנת 1976 הם חקרו כוכבים הדומים לשמש שלנו. בהעזרם בטלסקופ שבמזפפה קיט פיק הם בדקו 123 כוכבים. הם חיפשו שינוי בתנועות הכוכב - עדות להשפעה גרביטציונית של שותף נסתר. הם גילו כי לעשירית מהכוכבים היו שותפים אך בעלי מסה קטנה מדי מכדי להיות כוכבים בפני עצמם. מכאן ששותפים אלה חייבים להיות כוכבי לכת.

במחקרם האחרון ניסו המדענים למצוא שותפים לכוכבים חמים בהשתמשם באותן הטכניקות. הם מצאו כי 7 כוכבים מתוך 42 שנבדקו (16 אחוזים) עשויים לשאת מערכת כוכבי לכת.

לדבריהם תוצאות אלה מראות כי רוב הכוכבים הם בעלי שותפים המקיפים אותם וב- 10-20 אחוזים מהמקרים אלה הם כוכבי לכת. לאור תוצאות אלה מציע ד"ר אבט לפתוח בסדרת ניסויים למדידת ההסחה לאדום והאזנה בעזרת רדיו-טלסקופים למספר כוכבים נבחרים שכנראה נושאים כוכבי לכת.

ד"ר אבט מעריך כי מתוך <sup>11</sup>10 הכוכבים המצויים בגלכסיה שלנו כ- <sup>10</sup>10 כוכבים מלווים ככל הנראה ע"י כוכבי לכת אך אין לדעת בכמה מהם קיימים תנאים המאפשרים חיים.

נוסף לזאת, מאחר וכוכבים חמים "חיים" פחות מכוכבים קרים יש להניח כי צורות חיים עילאיות לא יתפתחו במערכות כוכבי לכת סביב כוכבים אלה.

מתוך "Cosmic Search"  
1979, Vol. 1, No. 1.

## הגדלת צל כדור הארץ בליקוי ירח

כמשך שנים רבות היה ידוע שמעבר הירח דרך צל כדור-הארץ בזמן ליקוי ירח אורך מעט יותר מהצפוי עפ"י גודל כדור הארץ. ולכן כחישוב זמני המגע הצפוי הצפויים לגבי ליקוי ירח נמוג להגדיל את הרדיוס התיאורטי של חרוט הצל ב-2%. ניתן לקבוע את מידת הגדלת הצל עפ"י מדידת זמני מגע בתצפיות, או בדיוק רב יותר, עפ"י מדידת זמני הכניסה והיציאה מהצל של מכתשים מסוימים.

חובכים אוסטרלים ערכו תצפיות מפורטות של ליקוי הירח המלא ב-24 במרץ 1978. בירון סולסבי מהאגודה האסטרונומית של קנברה ערך ניתוח של 238 זמני כניסה ויציאה של מכתשים. מתוך 200 זמני כניסה התקבל  $1.86 \pm 0.02$  אחוז הגדלה בצל כדור הארץ, ו-38 זמני יציאה נתנו  $1.86 \pm 0.08$  אחוז. באופן דומה 29 זמני מגע נתנו  $1.83 \pm 0.15$  אחוז.

מר סולסבי מציין שתצפיות אלו מעידות על פחיסות של  $\frac{1}{249}$  בצורת הצל, שהיא גדולה במידה ניכרת מפחיסות הארץ עצמה. בכמה ליקויים בעבר נמצא חוסר התאמה דומה.

בזמן ליקוי הירח המלא ב-16 בספטמבר 1978 נערכו תצפיות רבות בחצי הכדור המזרחי. בדיקה של 59 זמני יציאה של מכתשים נערכה ע"י גוז'ף אשברוק עפ"י דיווחים שהגיעו ל-"Sky & Telescope" מחובכים בבליה, איטליה, צ'כוסלובקיה וישראל, התוצאות כפי שחושבו עפ"י נוסחאות מדויקות מראות על  $1.79 \pm 0.05$  אחוזי הגדלה בצל כ"א.

לשם השוואה נביא תוצאות נוספות כפי שדווחו ב-S & T לגבי ליקויים שארעו לאחרונה.

1972 30 ינואר - 1.68 (715 תצפיות).  
1975 24-25 מאי - 1.70 (564 תצפיות).  
1975 18-19 נובמבר - 1.91 (157 תצפיות).  
1977 3-4 אפריל - 1.76 (165 תצפיות).

לכן נראה כי הערך המקובל של 2% בו השתמשו לשם תחזיות גדול במעט מהדרוש.

מתוך

"Sky & Telescope"  
Vol.57, No.1, 1979

# חקר החלל

## תוכנית לחקר כוכבים הקרוכים (\*)

מאת: ד"ר פורוורד  
תרגום: חנוך גרשט

### הנעה בעזרת אנטי-חומר

מושג ההנעה בעזרת אנטי-חומר נמצא בספרות הסכנית כבר זמן רב. מוצע שמערכת ההנעה תשא עמה חומר דלק שמחציתו חומר ומחציתו אנטי-חומר. כאשר החומר והאנטי-חומר יעורבבו יחדיו יהפכו שניהם לאנרגיה בצורות שונות: קרני גמה, נויטרונים ואלקטרונים ופוזיטרונים אנרגטיים. בערך כמחצית מכמות האנרגיה אצורה בנויטרונים, שיעלם מהמערכת באופן מידי.

למרות המחקרים שנעשו בתכנון מחזירי קרני גמה כדי להשתמש באנרגיות הפוטונים ככח הודף סיוגו רוב כותבי המאמרים את ההנעה בעזרת אנטי-חומר כבלתי אפשרות. מכיוון שלמשימות אל הכוכבים הקרובים לא נצטרך להביא את החללית למהירות הקרובה מאד למהירות האור, מהירות פליטת החלקיקים מהמנוע לא צריכה להיות כמהירות האור. מכיוון שכך ניתן יהיה להשתמש בכמויות קטנות של אנטי-חומר כדי להניע מסה גדולה יותר של חומר רגיל.

מחקר הנדסי לבחירת מערכת ההנעה הטובה ביותר בעזרת אנטי-חומר לא נעשה עדיין אך כבר כיום ניתן להעריך כמה מהנתונים הנדרשים. אם מערכת ההנעה בעזרת אנטי-חומר מיועדת להגיע למהירות של שליש ממהירות האור אז מינימום יחס המסות לכל אחד משלבי ההנעה הוא לפחות 5. מסת האנטי-חומר הדרושה היא כעשירית ממסת הדלק או 2% מהמסה ההתחלתית.

אם נניח פיתוח מכנה קל מאד לחללית בין כוכבית (כ-10 ק"ג) אזי משקל רכב החלל בעת ההמראה יורכב מ-51 ק"ג של השלב השני, 200 ק"ג של חומר הודף ו-5 ק"ג של אנטי-חומר. כמות זאת תספיק כדי להאיץ את השלב השני של החללית למהירות שליש ממהירות האור. 51 הק"ג של השלב השני יהיו מורכבים מ-10 ק"ג של מטען חללית המחקר, 40 ק"ג של חומר הודף וק"ג אחד של אנטי-חומר, אשר ישמשו להאטת החללית לעבר כוכב המטרה.

מלבד הבעיות הרבות בבניית מנוע שיוכל להפוך ביעילות אנרגיות אנטי-חומר לכח הדף ממשי עדיין נשארת השאלה האם ניתן יהיה להשיג אנטי-חומר בכמות מספקת ואח"כ לשלוט בו.

האחסון והשליטה באנטי-חומר, כאשר יבוצעו, לא יהיו קשים במיוחד כיוון שכבר היום ידועות דרכים מספר להפעיל כוחות על האנטי-חומר מבלי לגעת בו. שדות חשמליים, מגנטיים וקרני לייזר מנוצלים ע"י הטכנולוגיה של ימינו כדי לטפל בכמויות קטנות של חומר מבלי לזהם אותם. שיטות

(\*) מאמר שלישי בסידרה (המאמר הראשון "לטוס, לאן?"; ומאמר שני "שיטות ההנעה לטיסה בין כוכבית" (התפרסמו בגליונות 1-2/1979 של "כל כוכבי אור").

אלה יפעלו כאותה יעילות גם על אנטי-חומר.

יצירת כמויות מספיקות של אנטי-חומר היא בעייה טכנולוגית אותה יש לפתור בטרם נגרום לבדיקת יעילות ההנעה במסע בין כוכבי. בידינו כיום האפשרות להפוך כמויות אדירות של חומר לאנרגיה חשמלית. כל שנדרש הוא לפתח שיטות יעילות להפיכת האנרגיה לאנטי-חומר.

השיטות הנהוגות כיום לייצור אנטי-חומר מבוססות על השימוש במאיצי ענק המייצרים קרן פרוטונים המספקת <sup>15</sup>10 פרוטונים בשניה: כאשר קרן כזו פוגעת במטרה נוצרים במקום אנטי-פרוטונים כחלק מהתגובה. יכול האנטי-פרוטונים מהמכשירים של היום הוא דל למדי. לעומת זאת השיטות הנהוגות בימינו אינן בנויות במיוחד לייצור אנטי-חומר אלא למחקר בחלקיקים האלמנטריים. הערכות שהביאו בחשבון שימוש במאיצים רבי-אנרגיה מראות כי ייצור ק"ג אחדים של אנטי-חומר לשנה אינה בלתי אפשרית. מחקר על אפשרויות הייצור של כמויות האנטי-חומר שידרשו למטרות הנעה יהיו את אחת המטרות הראשיות למחקר טכנולוגי בשלב הראשון של תכנון מסע מחקר אל החלל החיצון. בעיות אחסנת האנטי-חומר השליטה בו והניצול היעיל ביותר למטרות הנעה ישמשו אף הם מטרות למחקר מעמיק בעתיד הלא רחוק.

#### תכנית מוצעת למחקר בין-כוכבי

התכנית המוצעת ל-50 השנים הבאות (החל מ-1975) מתחילה בתקופה בת 15 שנים שתיועד למחקרים בנושאי מטרות המסע, מטען החללית האוטומטית ופתוח מואץ בשטחים טכנולוגיים שונים. לתכנית המחקר יידרש מימון של כמה מיליוני דולרים בשנה. ברגע שמבנה החללית האוטומטית יקבע יתחיל המחקר על שיטת ההנעה. יובחנו מבנם ויכולתם של מנועים הדורשים אנרגיות גבוהות ומפתחים מהירויות יחסותיות. התקציב השנתי לשלב זה של התכנית יגיע למיליארדים רבים. בסביבות שנת 2000 יוחל בשלוח מספר חלליות אוטומטיות לחלל הבין כוכבי כדי לחקור את מערכות הכוכבים הקרובות. התפתחות מערכות ההנעה תמשך עוד כ-20 שנה תוך כדי ההמתנה לקבלת המידע מהחלליות האוטומטיות, מידע שילדרש לפיתוח חלליות מאוישות. בהנחה שהתוצאות שחקבלו מהחלליות האוטומטיות יהיו חיוביות, ספינת החלל המאוישת הראשונה למחקר בין כוכבי תשולח בשנת 2025 לספירת הנוצרים. היא תגיע למערכת Alpha Centauri כעבור 20-10 שנה.

1975 הגדרת מטרות המחקר הבין כוכבי.  
חיפוש ראשוני אחרי מערכות כוכבי לכת סביב לכוכבים קרובים.  
מחקר על דגמים אפשריים לחללית אוטומטית ולמטענה.

1980 מחקר ראשוני על מערכות הנעה אפשריות.  
התפתחות טכנולוגיות המחקר הבין-כוכבי.  
פיתוח דגם של חללית אוטומטית (לא מאוישת).

- 1985 פיתוח דגם למערכת תקשורת בין כוכבית. מחקר על מכנה מערכת ההנעה. בניית דגם אב למטען חללית לא מאוישת.
- 1990 בניית דגם אב מוקטן של מערכת ההנעה. בדיקת דגם האב ע"י טיסה במסלול במרחק עשירית שנת אור. סביב הארץ ב"חיפוש אחר חיים" במערכת השמש שלנו.
- 1995 התחלת הבנייה של כלי הרכב למחקר בין כוכבי. שיגור החללית לכוון Alpha Centauri.
- 2000 שיגור חלליות אל כוכב ברנרד, סיריוס ו-Lalande 21185. התחלת מברקי השהיה בחלל למשך 20-10 שנה עבור טיסות בין-כוכביות מאוישות.
- 2005 המשך שיגור חלליות אל מערכות כוכבים נוספות. תכנון מערכות הנעה המתאימות לחלליות מאוישות.
- 2010 בניית ובדיקת דגם אב של מערכת הנעה לחללית מאוישת. הכנת קולטי שידורים עבור מידע החוזר מהחלליות.
- 2015 חזרת מידע ראשון מחללית אל Alpha Centauri. התחלת בניית כלי רכב מאוישים למחקר בין-כוכבי.
- 2020 חזרת מידע ראשון מהחללית אל כוכב ברנרד. חזרת מידע ראשון מהחללית לסיריוס ואל Lalande 21185.
- 2025 שיגור החללית המאוישת הראשונה למחקר בין כוכבי.

#### תמצית תאור משימתה של חללית בין-כוכבית

בשנת 1998 ספינת החלל הבין-כוכבית ששהתה בחלל באזור שבקרבת הירח תשגר עצמה לכוון המערכת המשולשת של Alpha Centauri. היא תדחוף את עצמה בתאוצה גבוהה, מנועיה פועלים כעוצמה הגדולה פי עשר מזו של הטיל סטורן 5. ממנועיה תהדף פלסמת מימן לוחטת שחאיר ככוכב בהיר ותראה ביום ובלילה, כאחד. לאחר ארבעה חודשים תעזוב החללית את מערכת השמש ותגיע למהירות של שליש ממהירות האור. היא תחל לנוע בחלל הבין כוכבי כאשר מעטה השלב הראשון מהווה כמגן קרינה בפני גשם החלקיקים האנרגטיים שיווצרו תוך כדי הטיסה המהירה דרך המימן המצוי בחלל הבין כוכבי. לאחר תנועה של כ-12 שנים (הספינה עברה עד כה מרחק של 4 שנות אור) היא זורקת את השלב הראשון מסתובבת ומתחילה בהאטה.

כאשר מהירות החללית תרד בהתקרבה למטרה החללית תפתח מצורחה הקומפקטית לצורת משטח ברדיוס של כ-100 מטר. משטח זה יהיה בנוי מרשת צפופה שעליו בנויים מערכים של חיישנים ומשדרים זעירים. כל המכשירים האלה יוחזקו יחדיו ויקושרו ע"י סיבים על-מוליכים.

החללית תפנה את משדריה כלפי הארץ כדי לקבל את ההוראות האחרונות. קרן לייזר חזקה שחיראה בהירה על רקע השמש המרוחקת תשדר את ההוראות הנדרשות. טלסקופים חדשים שעל הירח גילו (בעזרת שיטות עיבוד חדשות של התמונה) כוכב לכת בסביבת הננס האדום הקטן Proxima Centauri. החללית תדרש לחקור את הכוכב. הפקודה נתנה אמנם 4 שנים קודם לכן, אך עבור החללית אלה הוראות חדשות.

מערך החיישנים הממוקם על פני המשטח הגדול יקלוט את האורוהקרינה מכוכבי המערכת ובהתאם יתוקן כוון הנסיעה אל Proxima. חוץ כדי התקרבה אל הכוכב הקטן והאדום מחפשת החללית את כוכב הלכת. היא מוצאת אותו שם יחד עם עוד שלשה אחרים במרחק מה. שלשת האחרים הם קרים וקרוב לוודאי חסרי חיים אך גם הם "יזכו" לביקור לפני שהחללית תעזוב את Proxima בדרכה לחקור את שני הכוכבים האחרים במערכת. כאשר כח הדחף שלה מוכחת עד למינימום מתקרבת החללית אל כוכב הלכת. תוך כדי כך היא משדרת כל הזמן נתונים ותמונות של הכוכב בעזרת המערך הסדיר של הלייזרים המפוזרים על פני המשטח. כדור הארץ יקבל תמונות אלה רק כעבור 4.3 שנים זמן רב לאחר שהחללית תשלים את מחקרה ותעבור לכוכבים אחרים. בלא כל אפשרות של פקוח מהארץ מערכות המחשב הפזורות בתוך המשטח מנתחות את המידע הנקלט ע"י החיישנים. בהתקרבה לכוכב היא נכנסת למסלולו של הכוכב ומתחילה בחקירתו. גלאיה הרגישים לכל אורכי הגל מקבלים מידע בגלי רדיו, מיקרו-גל, אינפרא-אדום, אור נראה ואולטרא-סגול. גלאים אלה משיגים הפרדה של פחות ממטר אחד אפילו ממרחק 1000 ק"מ. מופעל מכ"ם לייזר למדידת הגבהים השונים על פני הכוכב. שטחים העשויים להכיל חיים "מופגזים" ע"י קרני לייזר באורכי גל שונים והקרניים המוחזרות מראות את הבליעה האופיינית לתרכובות אורגניות מסוימות.

לעבר אזורים אלה משוגר חלק קטן ממשטח הגלאים. חלק זה מכווון ע"י לחץ קרינת הלייזר מהחללית. הגלאים שלו קולטים ומאחסנים את האינפורמציה שהם קולטים. כאשר "פליסת החללית" נוחתת היא באה במגע עם הקרקע ומעגלים מולקולרים מיוחדים משגרים את התגובות הכימיות הנוצרות עם החומרים שעל הקרקע, קרני הלייזר מעבירות את המידע אל החללית ולאחר עיבוד הוא משוגר לכדור הארץ.

לאחר מכן נעה החללית אל עבר כוכב הלכת הבא במערכת. היא נעה ביתר איטיות כיוון שאספקת הדלק שלה פחתה מאז התחילה במסעה. החללית לא תעצור לפני שתגמור לחקור את כל כוכבי הלכת שבמערכת המשולשת. פעולה זו תדרוש זמן רב, אך זמן זה מצוי בשפע בידי החללית. יקחו לפחות 30 שנה בטרם יבוא האדם כדי לשלוט במקום.

# אסטרונומיה ואסטרופיסיקה

## על גורלו של היקום

מאת ד"ר ג. איסלם  
תרגום עופר להב

מה יהיה באחריתו של היקום? מה גורל הארץ והאנושות? - שאלות אלו לא פסקו להטריד את המח האנושי כמשך הדורות. ההתפתחות האחרונה בשדה הקוסמולוגיה מאפשרת שרטוט תמונה כללית לעתידו של היקום - אם אכן יוסיף להתקיים.

היקום, כפי שהוא מוכר לנו כיום, מורכב מגלכסיות אשר כ"א מהן מכילה  $10^{11}$  כוכבים הקשורים זה לזה בהשפעת כח המשיכה ההדדי. הגלכסיות מרוכזות בדרך כלל בצבירים, והתצפית מעידה שהצבירים מפוזרים באופן אחיד ביקום בכל זמן נתון. יש לזכור שתיאור שכזה הוא בגדר אקסטרפולציה: האור שאנו רואים מן הגלכסיות הרחוקות נפלט לפני מיליוני שנים ואיננו מתאר את מצבן הנוכחי של הגלכסיות.

ב-1920 גילו הכל (Hubble) ואסטרונומים אחרים את אופיו המתפשט של היקום. כל הגלכסיות (פרט אולי לאלו המצויות באותו צביר) מתרחקות האחת מן השניה במהירויות היחסיות למרחק שביניהן - כלומר, ככל שהגלכסיה רחוקה מאיתנו היא נעה מהר יותר.

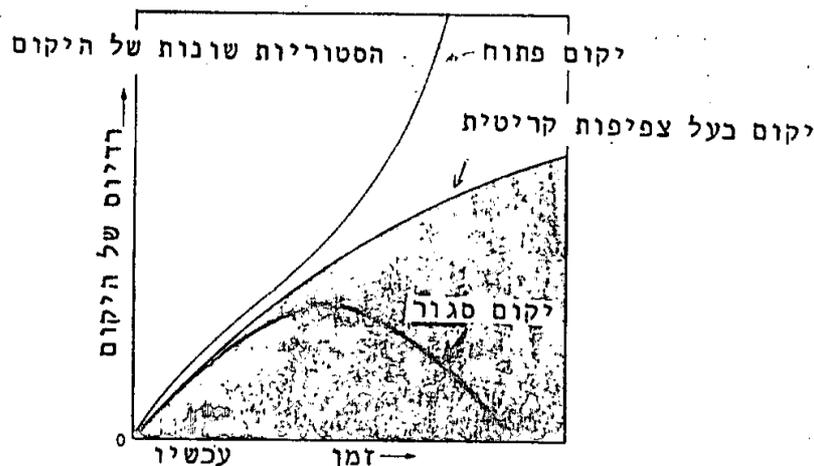
להמחשת התופעה נחשוב על בלון גומי המכוסה בנקודות. כאשר הבלון מתנפח, מתרחקות הנקודות זו מזו במהירויות היחסיות למרחק שביניהן ע"ג המעטפת. מן הדגם הפשטני הזה עולה העובדה שכל נקודה ע"ג הבלון יכולה להחשב כמרכז ההתפשטות. יש גם לזכור, שבעוד לבלון מעטפת דו-מימדית, מתפזרות הגלכסיות במרחב חלת מימדי שהוא סופי או אין-סופי - זאת איננו יודעים.

משיעור התרחקות הגלכסיות נובע שכעבר (לפני 10 מיליארד שנים) היה כל החומר הנוכחי של היקום "ארוז" במקום מצומצם. נהוג לחשוב שהיקום נולד ב"מפץ גדול" ("Big Bang"), שבמהלכו נזרקו והתפזרו חומר ואנרגיה. בהמשך החקבץ החומר לצורת גלכסיות, והן מוסיפות לנוע זו מזו בהשפעת אותו מפץ גדול.

נשאלת כמובן השאלה האם יוסיף היקום להתפשט לנצח, או שמא יעצר ויתחיל להתכווץ, בהשפעת כוחות המשיכה שבין מרכיביו. זוהי ללא ספק אחת השאלות הגדולות בקוסמולוגיה אשר נותרה ללא מענה. עתיד החומר והחיים ביקום תלוי בחשובה לשאלה חשובה זאת.

לשם חישוב מהירות ההתפשטות של היקום, ניתן למצוא את המהירויות (מן ההסחה לאדום) ואת המרחקים של עצמים רחוקים (ולכן קדומים) כמו הקוואזרים. גישה אחרת מתבססת על ידיעת הצפיפות הממוצעת של חומר ביקום, המפעילה, כח משיכה כניגוד להתפשטות. אם הצפיפות היא מעל לערך קריטי, יגרום כח המשיכה להתקבצות הגלכסיות זו לזו. כמו כן, ניתן לחשב את גיל היקום מתוך הערכת הגיל של יסודות רדיואקטיביים מסויימים, או של כוכבי צבירים כדוריים, ואז להשוות זאת עם פרק הזמן הדרוש ליקום להגיע לגודלו הנוכחי - זאת בתנאי שקצב התפשטותו קבוע ושווה לקצב הנוכחי.

לפיכך, מטרת הקוסמולוגים המודרניים היא בחישובם של 4 גדלים: קצב ההתפשטות הנוכחי ("קבוע הכל"), השינוי בקצב ההתפשטות (פרמטר התאווה), צפיפות המסה הנוכחית, וגיל היקום. חלק מן הגדלים קשורים זה בזה, למשל, במודל פשוט יחסית פרמטר התאווה שווה לחצי הצפיפות (כאשר שניהם מבוטאים ביחידות המתאימות). כיום, כל ארבעת הערכים אינם ידועים בוודאות מוחלטת. ב-1974 גילו גוט (Gott) ואחרים שצפיפות היקום היא רק עשירית מן הערך הקריטי. בהתאם למחקר זה ולמחקרים אחרים מובאת הטענה שהיקום יתפשט לעד, למרות ששאלה זאת עדיין לא הוכרעה.



ציור מס' 1. צפיפות החומר ביקום תקבע אם תעצור הגרביטציה את התפשטות היקום ותוצר קריסה, או שיוסיף היקום להתפשט לעד.

## שלוש דרכים למות

אם היקום אכן מחפשט לעד, מהי השפעתה של התופעה על הגלכסיות ועל הכוכבים? בהשפעת הגרביטציה נוטה החומר בכל מבנה להתמוטט לכוון מרכז המסה של המבנה. ככוכב, הכוחות הפנימיים הללו מתאזנים ע"י החום והקרינה המשתחררים בגרעינו ע"י הפיכת המימן להליום והליום ליסודות כבדים יותר. כאשר, לאחר מספר מיליארדי שנים הכוכב כילה את הדלק הגרעיני שלו, הכח הגרביטציוני לא מתאזן והכוכב יתחיל להתמוטט.

אם מסתו קטנה מ-1.4 מסות שמש יהפוך הכוכב לננס לבן, המורכב בעיקרו מגרעיני ברזל (לברזל גרעין יציב). לננס לבן בעל מסת שמש אחת כערך רדיוס של כדור-הארץ. כאשר נפלטת שארית האנרגיה של הננסים הלבנים הם מתקררים, מתנפחים והופכים לננסים "שחורים".

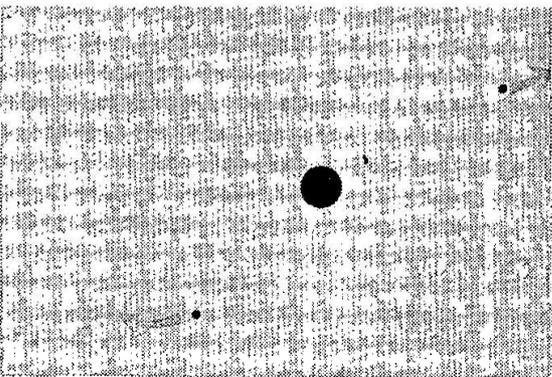
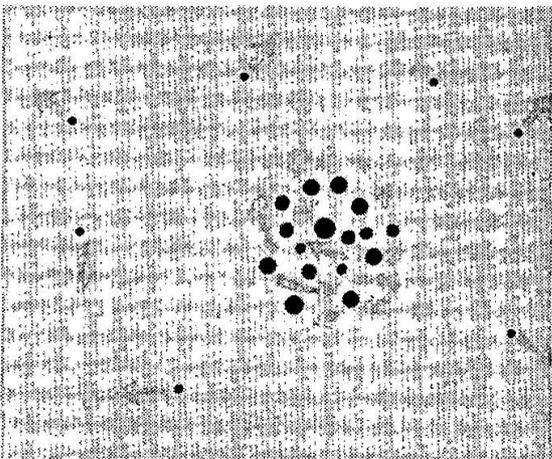
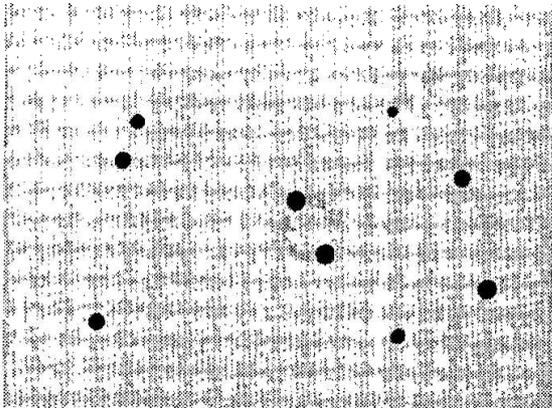
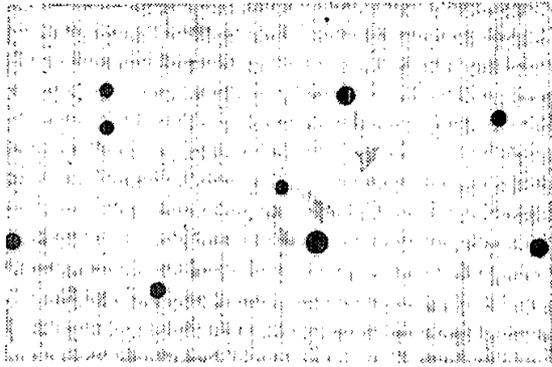
כוכבים מאסיביים יותר יסיימו את חייהם כ"כוכבי נויטרונים". בהתפוצצות סופרנובה מתלכדים האלקטרונים עם הפרוטונים שבגרעין ונוצרים נויטרונים. לחץ נויטרונים וכוחות גרעיניים ימנעו את הכוכב מהתמוטטות נוספת אם הוא פחות מאסיבי מ-3 מסות שמש. בנקודה זאת הכוכב המקורי הצטמק לרדיוס של 10 ק"מ וכפית של חומר ממנו חשקול כמיליארד טון.

אם לכוכב, לאחר התפוצצות הסופרנובה, עדיין מסה של יותר מ-3 מסות שמש, אזי בהתאם לחוקי היחסות הכללית לא ימנעו לחצי הנויטרונים והאלקטרונים את הקריסה לנקודה. התוצאה תהיה חור שחור - תחום ממנו לא יכול להמלט דבר - כולל אור. עם זאת, יתכן שתהיה קרינה כתוצאה מנפילת חומר המחומם לטמפ' גבוהות, לפני שהוא נעלם באיזור ממנו אין חזרה.

חור שחור יכול להתגלות ע"י קרינה כזאת (קרינת X) או השפעה גרביטציונית על כוכבים שכנים. רדיוס של חור שחור יחסי למסה שהוא כולל, ועבור מסת שמש הרדיוס הוא 3 ק"מ, ז.א. שליש מגודלו של כוכב נויטרונים. אלו הן אם כן 3 הדרכים בהתפצחות כוכבים, שאינם מסיביים בהרבה מן השמש. בגופים קטנים, כמו כדור הארץ או הירח, הגרביטציה תאזן ע"י הלחץ שחומר רגיל מפעיל.

## גלכסיות חשוכות

בקצב הנורמלי בו כוכבים פולטים אנרגיה, יגיעו כל הכוכבים בגלכסיה כמו זו שלנו למצבם הסופי בפרק זמן של כ-100 מיליארד שנה. אז תהפוך הגלכסיה למערכת חורים שחורים, כוכבי נויטרונים, ננסים לבנים, וגופים קטנים וקרים אחרים כמו פלנטות, אסטרואידים ואבק. עדיין יפעלו כוחות משיכה ולכן הגופים יוסיפו להיות מקושרים יחדיו בגלכסיה, אך כמיט שלא יפלטו אור או קרינה אלקטרומגנטית מכל סוג שהוא. במקרה זה ייראו השמים שחורים לכל עין אנושית בכל מקום ביקום, פרט לארועים כמו התנגשות כוכבים מתים בסמוך למרכז הגלכסיה. כמשך אלפי מיליארדי



ציור מס. 2. כוכבים מתים (חורים)  
 שחורים, כוכבי נויטרונים ונגסים  
 לבנים) בגלקסיה. ב- (a) ו- (b)  
 מתוארת אינטרקציה בין 3 כוכבים  
 שבעקבותיה כורח אחד מהם מן  
 הגלקסיה. לאחר הרבה אינטרקציות  
 מסוג זה נוצר גרעיין לגלקסיה (c),  
 שלבסוף מתמוטט לחור שחור, (d).

שנים לאחר שהכוכבים מחו הגלכסיות לא ישתנו באופן מהותי. אלו שאינן מצויות באותו צביר יוסיפו להתרחק זו מזו. ככל שהכוכבים (כלומר ננסים שחורים, כוכבי נויטרונים, וחורים שחורים) יוסיפו לשוב בגלכסיה הם יצרו גרעין מרכזי צפוף ועטוף. את התנהגותה של מערכת כזאת קשה לחזות מראש. נוספר כוכבים, אם הם מעורבים במפגש של 3 כוכבים יזרקו מן הגלכסיה יחדיו. התנגשויות אלו נדירות, ובמשך כיליון שנים מתרחשות רק התנגשויות ספורות. ואולם, במשך מיליארד מיליארדי ( $10^{18}$ ) או מיליארד מיליארד מיליארדים ( $10^{27}$ ) של שנים 99% מן הכוכבים יברחו מן הגלכסיה בתהליך הנ"ל. שארית החומר תלך ותצטמק לגרעין צפוף ולכסוף תהפוך לחור שחור ענק, בעל מסה של מיליארד שמשות (אחוז אחד מן המסה המקורית של הגלכסיה) ורדיוס של 3 מיליארד ק"מ (מספר שנות אור).

בצביר של גלכסיות כל גלכסיה תהפוך לחור שחור "גלכטי" יחיד. הדבר יגרום להתרכזות סביב גרעין, באותו אופן בו עושים זאת כוכבים ככל גלכסיה לחוד, ורבים יברחו מן הצביר בשל מפגשים של 3 גלכסיות קרובות. ה"גלכסיות" הנשארות יהפכו לחור שחור "סופרגלכטי" המאסיבי פי 10 עד 1000 מחור שחור גלכטי.

לכן, לאחר מיליארד מיליארדי ( $10^{27}$ ) שנים היקום יהיה מורכב מחורים שחורים גלכטיים וסופר גלקטיים הבורחים זה מזה ומותירים בתוכם שביניהם כוכבי נויטרונים, ננסים לבנים קרים וחורים שחורים קטנים.

#### חור שחור - לא לעד

עפ"י חוקי הפיסיקה הקלאסית והיחסות הכללית חור שחור יתקיים לנצח. לעומת זאת, הפיסיקה הקוונטית הדנה בחוקים של תופעות מיקרוסקופיות מוליכה לתמונה מדויקת יותר. סטפן הוקינג (Hawking) הראה, שכאשר לוקחים בחשבון את התופעות הקוונטיות ה"חורים השחורים" אינם שחורים, אלא פולטים קרינה, למשל גלים אלקטרומגנטיים או חלקיקי נויטרונים (חלקיקים חסרי מסה ומטען הנעים במהירות האור). בדרך זאת יכול החור השחור לאבד מסה ולהעלם! פרק הזמן הדרוש ל"התנדפות" זאת תלוי במסת החור השחור.

חור שחור קורן כאילו היה "גוף שחור" בעל טמפ' היחסית הפוך למסתו - ככל שחור מאסיבי, כך נמוכה הטמפ' שלו. המושג "גוף שחור" הוא כינוי טכני לגוף המצוי בשווי משקל תרמי עם סביבתו; הוא פולט אנרגיה בעלת ספקטרום אופייני התלוי בטמפ' ולא בטבעו של הגוף. ספקטרום שכזה יכול לאפיין את הקרינה מיד לאחר המפץ הגדול, כאשר החומר והקרינה ביקום היו באותה טמפרטורה. הם פסקו מלהיות בשווי משקל כאשר טמפרטורת היקום היתה כ- $4000^{\circ}\text{K}$  ופרוטונים יצרו עם אלקטרונים את אטומי המימן. ככל שהיקום התפשט חלה התקררות אך נשמר האופי של ספקטרום גוף שחור ובהווה הטמפ' היא  $30^{\circ}\text{K}$ . קרינה זאת התגלתה ב-1965 ע"י ארנו פנציאס (Penzias) ורוברט ווילסון (Wilson) כקרינת רקע קוסמית של גלי מיקרו. (\*).

(\* על כך הם זכו ב-1978 בפרס נובל לפיסיקה.

הטמפרטורה של חור שחור סופרגלכטי היא רק כ- $10^{-18}$  מעלות קלווין. אם הטמפ' של קרינת הרקע הקוסמית גבוהה מזההיה החור השחור קולט יותר אנרגיה ממה שהוא פולט. אך ככל שהיקום מתפשט, מוסיפה קרינת הרקע להתקרר ובמשך  $10^{27}$  שנים תגיע לטמפ' של  $10^{-18}$  מעלות קלווין.

לפיכך במשך הזמן שנוצרו חורים שחורים גלכטיים וסופרגלכטיים, או לאחר מכן, יהיו החורים חמים מן הרקע ולכן יפלטו יותר אנרגיה ממה שיקלטו.

זמן החיים של חור שחור יחסי לחזקה השלישית של מסתו. חור שחור טיפוסי "יגמר" תוך  $10^{30}$  שנים. חור שחור סופרגלכטי יעשה זאת במשך  $10^{100}$  שנים. לאחר מכן יעלמו חורים שחורים מכל הגדלים. היקום יורכב מכוכבי נויטרונים, ננסים שחורים ופלנטות. טמפרטורת הקרינה תלך ותשאף לאפס המוחלט.

#### שינויים קטנים

במכניקה הקוונטית יש לתופעות הכלתי אפשריות בפיסיקה הרגילה (כמו מעבר מחסום פוטנציאל, או בריחת חלקיקים מחור שחור) סיכוי (קטן אמנם) להתרחש. לפיכך, כל כמות חומר יכולה להחשב רדיואקטיבית, משום שתהליכי ביקוע והיתוך גרעיניים יכולים להתרחש עפ"י ההסבר הקוונטי. לכן לאחר זמן מספיק ( $10^{500}$  שנים) יכול חומר להפוך לברזל - שלו הגרעין היציב ביותר.

מה יקרה לכוכבי נויטרונים ולננסים לכנים? - אם ננס לבן נלחץ בהשפעת כח חיצוני הוא יקרוס לכוכב נויטרונים, אך עלינו לזכור שלא יהיה גורם שיוכל לבצע את הלחיצה ביקום הריק של העתיד הרחוק. ואולם, לאחר פרק זמן ארוך יתכן ויתרחש תהליך הלחיצה, עפ"י ההסבר הקוונטי שתואר לעיל. עפ"י חשבון שביצע דיסון (Dyson) יקרה הדבר בפרק זמן  $10^{77}$  (!!) שנים. ערך זה קרוי "תקופת דיסון". כפרק זמן מאותו סדר גודל יקרוס כוכב נויטרונים לחור שחור ויעלם, עפ"י תהליך הוקינג. לכן, אפילו ננסים שחורים וכוכבי נויטרונים יעלמו לאחר זמן רב מאד.

קשה לחזות מה יקרה לפיסות קטנות של חומר. חלקיקים אלמנטריים, כמו אלקטרונים או פרוטונים אינם יציבים בעצמם לאורך תקופת דיסון. כל החומר יתפרק כך שהיקום כולו יסיים את חייו כים רחב וחלש של קרינה.

מושג "הזמן החולף" מאבד משהו ממשמעותו כאשר משתמשים בו לתאור שלבי התפתחותו של היקום. זמן נמדד בד"כ ביחס לתופעות המשתנות באופן קבוע. יתכן שהדרך היחידה בה ניתן בכל זאת להתייחס למושג הזמן

החולף היא ביחס להפחתת הצפיפות והטמפרטורה של קרינת הרקע, אשר תשאף לאפס המוחלט, אך לא תגיע אליו.

בהתאם לחוקי המכניקה הקוונטית, יקום "ריק" איננו ריק לחלוטין, אלא מלא בחלקיקים וירטואליים מכל הסוגים הנוצרים בקביעות ואח"כ נהרסים. האנרגיה הדרושה ליצור את החלקיקים הללו באה מעקרון אי-הוודאות, הקובע, בין היתר, שאם מערכת מתקיימת לזמן קצר, האנרגיה איננה ודאית בשיעור שיקבע עפ"י אורך הקיום.

הוקינג ואחרים הציעו שהואקום מלא ב"חורים שחורים וירטואליים" שקוטרים  $10^{-33}$  סנטימטר, והם גורמים לחלקיקים ממשיים כמו אלקטרונים או פרוטונים לנוע בקווים לא ישרים בואקום ולהתפרק. המסקנה מכך היא שתמיד תהיה פעילות ביקום, גם אם היא רק במישור המיקרוסקופי.

#### עתיד החיים והציביליזציה

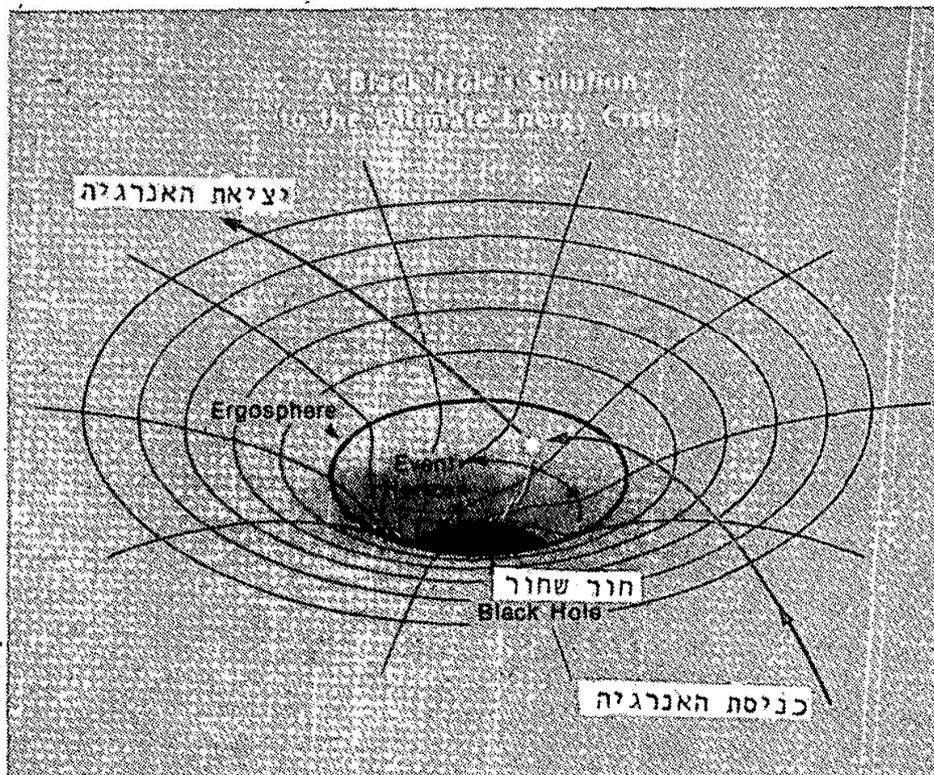
אין זה משנה מהי צורת החיים של האורגניזמים במשך השלבים השונים שתוארו - תמיד הם ידרשו מקור אנרגיה. השמש תספק אנרגיה כל עוד היא קורנת, כנראה לעוד מספר מיליארדי שנים (קודם שתהפוך לננס לבן).

במקרה זה יכולה האנושות לנסות ולעבור לכוכב אחר, כאשר בתקופת המעבר ישתמשו באנרגיה גרעינית מלאכותית. במשך מאה מיליארדי שנים כל הכוכבים יכלו את מאגר האנרגיה שלהם. כל ציביליזציה שתשאר תנסה לנצל את אנרגיית הרוטציה, היכולה למשל להלקח מחור שחור מסתובב, בהתאם למנגנון שהוצע בידי פנרוז.

בסופו של דבר כל הציביליזציות שיצליחו להשאר  $10^{27}$  שנים יתרכזו סביב החור השחור הגלכטי המרכזי, כדי לנצל את אנרגיית הסבוב. משום שרדיוס של חור שחור גלכטי ממוצע הוא פחות מיום-אור תתאפשר יצירת תקשורת בין ציביליזציות שונות. עם זאת, ברור שיווצרו מספר בעיות טכניות וחברתיות...

עקרונית, יכול תהליך כזה להמשך לפרק זמן של  $10^{100}$  שנים - פרק זמן הארוך כזמן קיומם של חור שחור גלכטי או סופרגלכטי, שלהם עדיין אנרגיית רוטציה.

קרינת הוקינג מחור שחור כוכבי או גלכטי, תהיה ללא ספק חלשה מדי מכדי לסייע לציביליזציה בקיומה. בכל מקרה, אף חור שחור לא ישאר לאחר  $10^{100}$  שנים. על הציביליזציה הנותרת יהיה לפתור את בעיית הקיצוב באנרגיה, לאור העובדה שכמות האנרגיה שנותרת לה היא סופית ומועטה. שאלת החיים ביקום המתפשט לעד היא שאלה ללא מענה.



ציון מס' 3. פתרון בעיית האנרגיה של האנושות בעוד  $10^{27}$  שנים, באמצעות חור שחור. הציון מראה את איזור הארגוספירה - שאליו ניתן לחדור וגם לשוב חזרה. עפ"י מנגנון פנרוז, חלקיק רדיואקטיבי שיוכנס לארגוספירה בזווית ישרה יתפרק ומרכיבו האחד יפול אל החור עם אנרגיה שלילית. השני ימלט מן הארגוספירה עם יותר אנרגיה מאשר זו של החלקיק המקורי. האנרגיה הנוספת נובעת מסבוב החור השחור.

### היקום הקורס

התסריט שהובא תקף לגבי יקום המתפשט לנצח. מעניין לשער מה יהיו התהליכים ביקום אשר איננו מתפשט לעד. במקרה זה, הקרוי "היקום הסגור" (כניגוד ליקום המתפשט הקרוי "פתוח"), הגרביטציה תפסיק את ההתפשטות והגלכסיות יתחילו להתקרב זו לזו.

נניח שצפיפות המסה הנוכחית תהיה פעמיים הערך הקריטי שהוזכר לעיל. היקום יתפשט אז עד להכפלת גודלו (שיהיה כ- 40-50 מיליארד שנות אור) ויתחיל להתכווץ. קרינת הרקע הקוסמית תתקרר ל- $1\frac{1}{2}^{\circ}\text{K}$  ואח"כ תתחמם עם ההתכווצות.

נקודת מפנה זאת תתרחש בעוד 50 מיליארד שנים - ומלבד העובדה שהיקום יגדל - הוא לא יראה שונה במיוחד. התהליכים בעת ההתכווצות ידמו לתהליכי ההתפשטות (כמו בסרט המוקרן לאחור). בעוד 110 מיליארד שנים היקום יתחיל להתכווץ מחדש ויגיע למאית מגודלו. טמפ' קרינת הרקע תגיע ל- $300^{\circ}\text{K}$ . שמי הלילה יראו כשמי היום (אם תוסיף השמש לקרוך) והחום יקשה על קיום חיים. 700,000 שנים אח"כ הטמפרטורה תהיה 10 מליון מעלות והאלקטרונים יקרעו מן האטומים. 3 שבועות אח"כ, כאשר הטמפרטורה תעלה ל-10 מיליארד מעלות ישכרו הגרעינים לפרוטונים ולנויטרונים. הטמפ' והצפיפות ישאפו לאינסוף ובנקודה זאת כל חשוכינו מגיעים לקיצם - זאת בערך בעוד 110 מיליארדי שנים. הפיסיקה ואפילו מושגים כמו זמן ומרחב יאבדו אז את משמעותם. אין טעם לשאול מה יקרה לאחר הקריסה הסופית, כשם שאין טעם לשאול מה היה לפני המפץ הגדול. סביר שלא יוותרו חיים, אלא אם כן שוב יתחיל תהליך של מפץ גדול ובעקבותיו התפשטות, התכווצות וחוזר חלילה.

קיימת גם תאוריית "המצב היציב" הטוענת שהיקום קבוע במצבו, למרות, שכוכבים וגלכסיות נולדים ומתים כפרטים. התאוריה, שהוצעה בידי בונדי, גולד והויל ב-1940, קובעת שחומר נוצר באופן מתמיד כדי למלא את החלל שנוצר עקב ההתרחקות היחסית של הגלכסיות. ביקום כזה יכולים חיים להמשך לנצח. אולם, תגלית קרינת הרקע הקוסמית ב-1965 הפכה את תאוריית ה"מצב היציב" לבלתי הגיונית - אם כי בעתיד הכל יכול להשתנות.

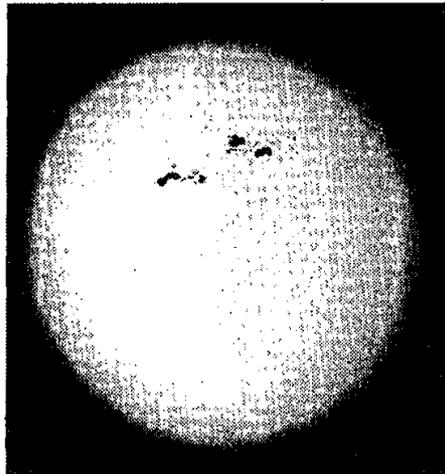
## פינת החובב

### תצפיות בכתמי השמש

מאת יצחק שלוסמן

מסה, רדיוס ובהירות השמש כנראה לא השתנו במידה כלשהי במשך מיליארדי השנים האחרונות (\*). אבל על פני השמש אפשר לראות הרבה פרטים משתנים, ולזה אנו קוראים פעילות השמש.

כנראה אף תופעה על השמש לא נצפתה כל כך הרבה כמו כתמים כהים, שמפעם לפעם מופיעים מעל דיסקת הכוכב שלנו. אזורים כהים וגדולים שנראים בצילום מס' 1, הם כתמי שמש טיפוסיים. האזור המרכזי, הכהה יותר, נקרא בשם גרעין (או צל). האזור המקיף את הגרעין נקרא חצי-צל. בדרך כלל כתמי השמש מופיעים בקבוצות המורכבות משתיים או יותר כתמים.



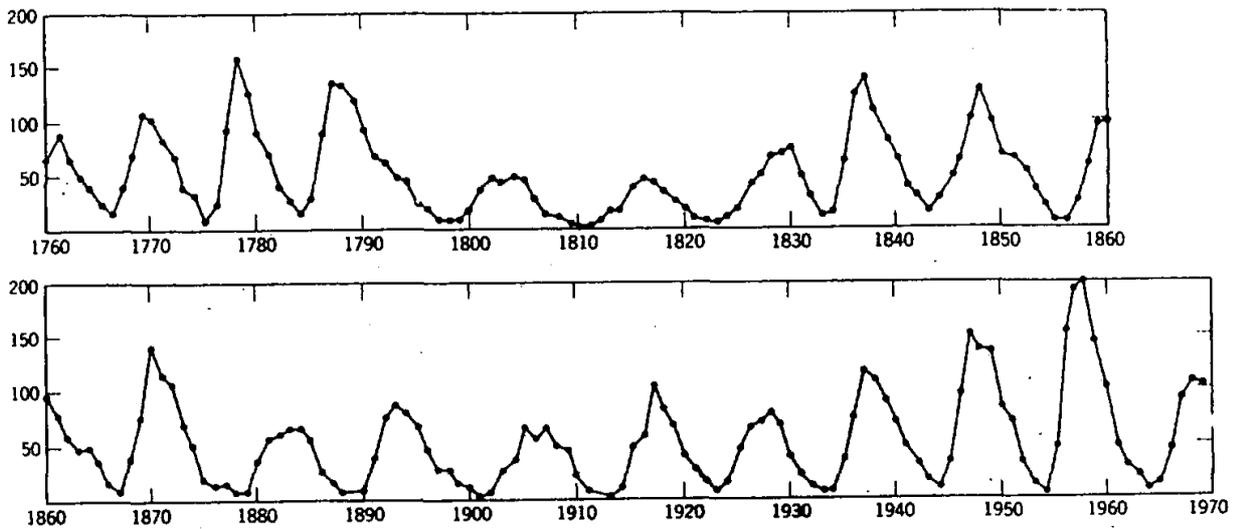
צילום מס' 1. צילום של השמש שהתקבל בתאריך 31/7-1949  
בעזרת הטלסקופ 48"  
של מצפה הכוכבים Hale.

הכתם המוביל, על פני השמש המסתובבת, בדרך כלל גם גדול יותר.

המספר והתפלגות של כתמי השמש משתנים בצורה מחזורית. בצירור מס' 1 אנו רואים מספרי קבוצות הכתמים שנצפו בתקופת שנות 1750-1955.

---

(\* ) על הנושא הזה קרא בגליון הבא של "כל כוכבי אור".



ציור מס' 1. מספר כתמי השמש בין השנים 1750 ו-1955.

מקסימומים ומינימומים נראו כל 11 שנה. כל מחזור חדש של פעילות מתחיל ממספר קטן של כתמים על קו הרוחב  $\pm 30^\circ$ ; מספר הכתמים מגיע לשיא, כשהם מופיעים בקו רוחב  $\pm 15^\circ$ ; המחזור נגמר כל 11 שנה בכמה כתמים על קו הרוחב  $\pm 8^\circ$ .

הכתמים, הם בעלי גדלים ומשך החיים שונים. רובם חיים פחות מיממה, אך אחרים מחזיקים מעמד עד ל-70 יממות. בדרך כלל הכתם החדש "נולד" קטן ועגול, בעל קוטר של כ-2000 ק"מ ונראה כנקבובית (Pore). "נקבוביות" מתפתחות עד מהרה והופכות לכתמים לא גדולים ונעלמים במשך היממה, אך חלק הופך לכתמים גדולים פי-כמה מכ"א.

כתמים נראים שחורים על דיסקת השמש, מכיון שטמפרטורה שלהם מגיעה רק (!) ל- $4500^\circ$  (\*). מהירות כניסת ויציאת החומר בכתמים מגיע ל-2-3 ק"מ/שניה.

(\* טמפרטורת פני השמש -  $5800^\circ$ .)

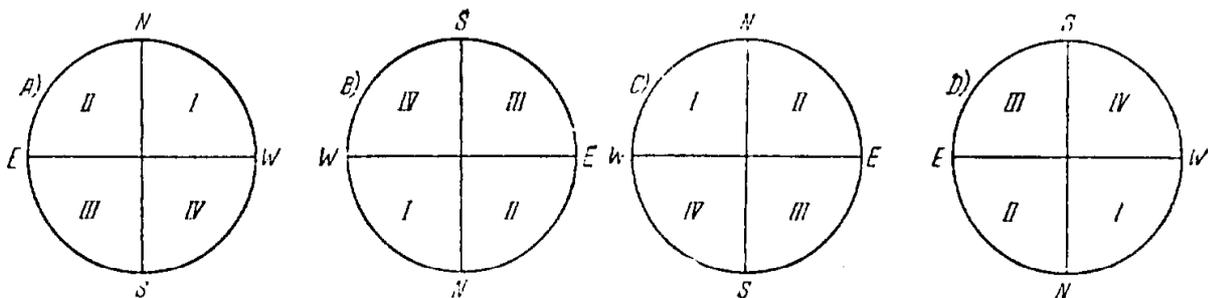
לכתמי השמש יש שדה מגנטי. השדה המגנטי של כתם בינוני הוא בעל עוצמה של כ-100 גאוס; ככתמים הגדולים השדה המגנטי חזק הרבה יותר - 4000 גאוס.

בקבוצת כתמי השמש, הכתם הגדול ביותר מאופיין ע"י קוטביות (כיוון שדה המגנטי) ההפוכה לזו של הכתמים הקטנים יותר. הקוטביות של הכתמים בכל מחזור תלויה בקו הרוחב: כתמים גדולים ביותר (שנצפים צפונה מקו המשווה של השמש) בעלי קוטביות הפוכה לקוטביות הכתמים הנמצאים דרומה מקו המשווה. יתרה מזו, קוטביות הכתמים במחזור של 11 שנה הפוכה לקוטביות של המחזור הקודם ושל המחזור שיבוא אחר כך. ז"א, מחזור המגנטי של כתמי השמש שווה ל-11x2 שנים. זוג כתמי השמש בעלי קוטביות הפוכה אפשר לדמיין לקצוות של מגנט דמוי-פרסה הנמצא מתחת לפני השמש.

### איך לצפות

כל נסיון להתבונן כשמש בעזרת משקפת יסתיים באסון! אין לצפות כשמש גם דרך אוקולר המוגן ע"י זכוכית כהה). על האובייקטיב של הטלסקופ מלבישים דיאפרגמה (מכסה עם חור באמצע) בעלת קוטר 1/3 של קוטר האובייקטיב. לתצפית שמש אין חשיבות לקוטר הטלסקופ: השמש נותנת מספיק אור. חשוב יותר הוא מרחק המוקד של הטלסקופ, מכיון שבעזרת מוקד ארוך יותר אפשר לקבל דמות (של השמש) גדולה יותר.

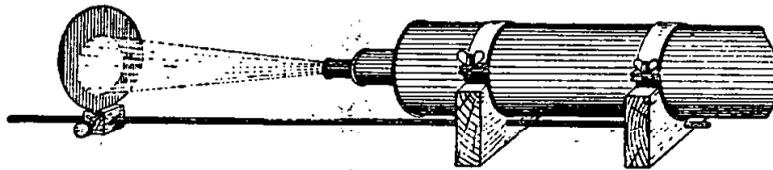
ציור מס' 2 מראה את הכיוון של הדמות כשתצפית נעשית בעזרת עין גלויה, טלסקופ ומסך.



ציור מס' 2. כיוון הדמות של השמש:  
 (A) תצפית בעזרת עין גלויה. (B) תצפית דרך הטלסקופ  
 (C) על המסך (בעזרת אוקולר<sup>(\*)</sup> אסטרונומי)  
 (D) על המסך (אוקולר רגיל)

(\*) לחלק מן הטלסקופים קיימים אוקולרי שמש מיוחדים.

במקרה של תצפית בעזרת מסך שמש יש צורך בהרכבת מוט בעל אורך של 35-40 ס"מ על צינור הטלסקופ. עליו יש לחזק (בניצב לציר האופטי) מסך בעל קוטר של כ- 15-20 ס"מ (ראה ציור מס' 3).



ציור מס' 3. מסך השמש

גודל הדמות המתקבלת על המסך תלוי במרחק אוקולר-מסך. ככל שהמסך קרוב יותר אל האוקולר - הדמות קטנה יותר.

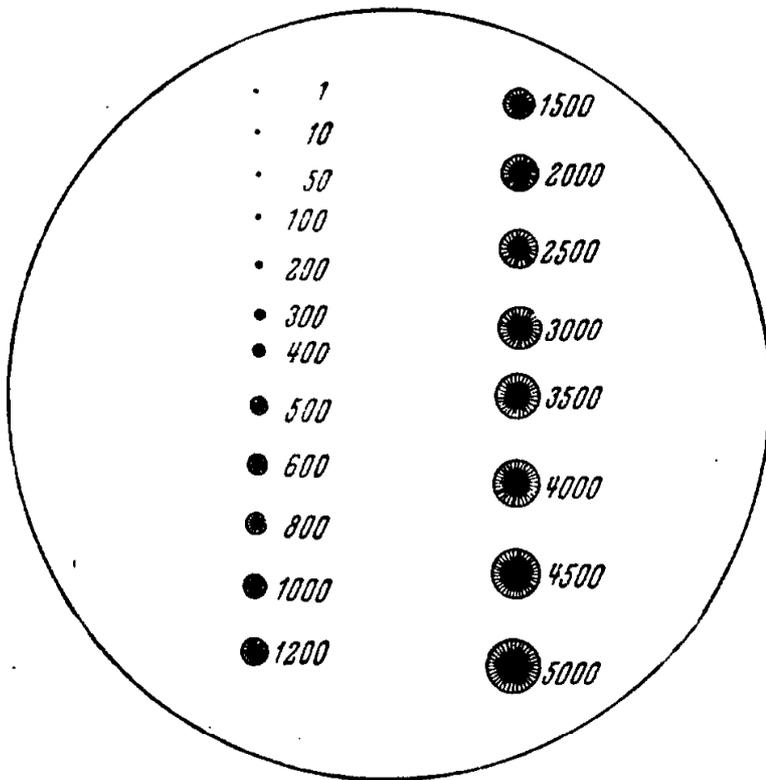
אחרי קביעת מקום המסך מחפשים את התמונה החדה בעזרת מיקוד האוקולר (לפי קצה הדמות). אם לא מצליחים בצורה כזאת לקבל תמונה חדה יש צורך בהחלפת האוקולר.

לפני התצפית בוחרים את הקוטר הרצוי של דמות השמש (למשל 10 ס"מ), מציירים עיגול בעל קוטר זה על דף נייר ומדביקים את הדף על המסך.

מטרת התצפית בכתמי השמש היא למצא את המקום והצורה המדויקים של הכתמים. הצופה מאחד את דמות השמש המתקבלת עם העיגול ובעזרת עפרון חד מצייר את הכתמים. חשוב מאוד להעביר נכון את גודלם ודרגת ההשחרה. אין צורך בעבודה אומנותית: כדי להדגיש את הכתמים הקטנים אפשר להשתמש בשיטה הבאה: עושים מסך שני נייד בעזרת נייר לבן מכריק, שמים אותו על מסך הראשי ומזיזים קדימה ואחורה. זה עוזר בראיית כתמים. מצידו האחורי של המסך הנוסף כדאי להדביק את קנה-המידה של כתמי השמש כמתואר בציור מס' 4.

כל ציור ביומן תצפיות חייב להיות מוסבר ע"י פרטים הבאים: תאריך וזמן מקומי (איזורי). בדיוק של עשירית שעה, מספר סידורי, סימון של קבוצת הכתמים או של כתם בודד, מספר הכתמים שבקבוצה, גודל השטח של הכתם או סכום השטחים של כל כתמים המרכיבים את הקבוצה, סימון של איכות התמונה (למשל 1 - רע מאוד, 5 - טוב מאוד). שטח הכתם כולל שטח של חצי-צל) מתקבל ע"י השוואה עם קנה-המידה (ראה ציור מס' 4) של הכתמים (\*). שטח הקבוצה כולל גם כן אץ אזורי "הנקביות".

(\* שטח הכתמים בקצה דיסקת השמש מקבלים מקוטרם.



ציור מס' 4. קנה-המידה של כתמי השמש (ביחידות 1/1.000.000 של שטח הנראה של השמש)

את הקבוצה המעניינת ביותר יש צורך לצייר בהגדלה ולעקוב אחרי התפתחותם יום-יום.

אפשר לסווג את הכתמים וקבוצות כתמים בשיטה הבאה:

- (1) "נקבובית" בודדת .
- (2) קבוצת "נקבוביות".
- (3) כתם בודד.
- (4) כתם בודד עם "נקבוביות".
- (5) קבוצה דו-קוטבית עם כתם קדמי גדול.

- (6) קבוצה דו-קוטבית עם כתם קדמי קטן.  
 (7) קבוצה דו-קוטבית עם כתמים דומים בגודלם.  
 (8) קבוצת "נקבוביות" בעלת מספר מרכזים.  
 (9) קבוצת כתמים בעלת מספר מרכזים.  
 (10) מקרים מיוחדים.

על הציורים יש צורך כסימון כיוון הסיבוב של השמש (סביב צירו).  
 לצורך זה יש לעקוב אחרי כתם אחד במשך 1.5-2 דקות, לסמן את כיוון תנועתו.  
 הכיוון המאונך לכיוון הנ"ל נותן לנו קו צפון-דרום על פני השמש. קביעת  
 כוון הסיבוב של השמש כדאי לעשות פעמיים: בהתחלה ובסוף התצפית.  
 צריך לשמור את סימון הקבוצות שנקבע.

מכיון שהסיבוב הנראה של השמש הינו בעל מחזור סינודי (\*), של  $27.23^d$   
 (לגבי אזורים של השמש הקרובים לקו המשווה שלה), הכתם שהופיע בקצה המזרחי  
 של הדיסקה ינוע מערבה. לפעמים, כתמים נוצרים במקום מסוים על פני הדיסקה  
 ונעלמים לפני שמגיעים אל הקצה המערבי. היו מקרים שאותו כתם נראה כמשך  
 2-3 סיבובים של השמש. בדרך כלל כתמים נעלמים מהר יותר. כל זה יש צורך  
 לסמן ביומן התצפית.

מקובל לאפיין את פעילות השמש ליצירת כתמים בעזרת מספר יחסי של  
 וולף  $W$  (Wolf), השווה ל-

$$W = k(10g + f)$$

כאן  $k$  - מקדם שתלוי בצופה ובמכשיר התצפית ונותן אפשרות להשוות  
 בין תצפיות שנעשו בתנאים שונים.  $g$  - מספר קבוצות הכתמים ו-  $f$  המספר  
 הכללי של הכתמים.

צריך לשים לב שכל גרעין של הכתם שמופרד מגרעין אחר ע"י חצי-צל,  
 כמו כן חצאי-צל בודדים, נחשבים ככתמים. בספירת הקבוצות, כל כתם בודד,  
 ואפילו "נקבובית" בודדת, נחשבים כקבוצה.

מספרי וולף שהתקבלו מתצפיות בעזרת מכשירים שונים יש צורך להביא  
 לאותם התנאים. בציריך (Zurich) נמצא שרות השמש המרכז את כל התצפיות  
 בשמש ומפרסם את מספרי  $W$  כל יום, גדלים ממוצעים לכל חודש, וגדלים  
 ממוצעים לשנה. לגבי שרות השמש בציריך:  $k=1$ .

(\* מחזור סינודי - זמן הסיבוב מלא של השמש כפי שנצפה מכ"א.

# קבוצת החודש

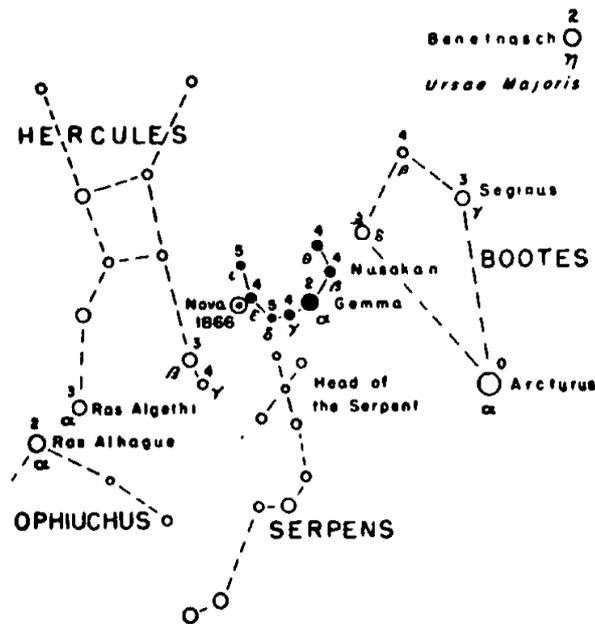
מאת: יגאל פתאל

מאל

## כתר צפון

קבוצה זו הנה אחת היחידות ששמה הולם לצורתה. בשליש הדרך מארקטורוס לכוון ווגה נמצאת קשת קומפקטית מורכבת מכוכבים זוהרים. הקבוצה ממוקמת בין קבוצות הרקולס לרועה הדובים. הקבוצה נמצאת קרוב לראשו המעוין של הנחש שמחזיק אופיציוס. כוכבי הקבוצה הנם בבהירות 4 לכד מ- $\alpha$  שמכונה "גמה" שבהירותו 2.3, ובהירותו המוחלטת 0.6. כוכב זה הנו כוכב כחול המכונה "אח הפנינה" של הכתר, מרחקו 71 שנות אור. יתר כוכבי הקבוצה הנם,

## CORONA BOREALIS



CORONA BOREALIS  
As it now appears      108,000 years hence

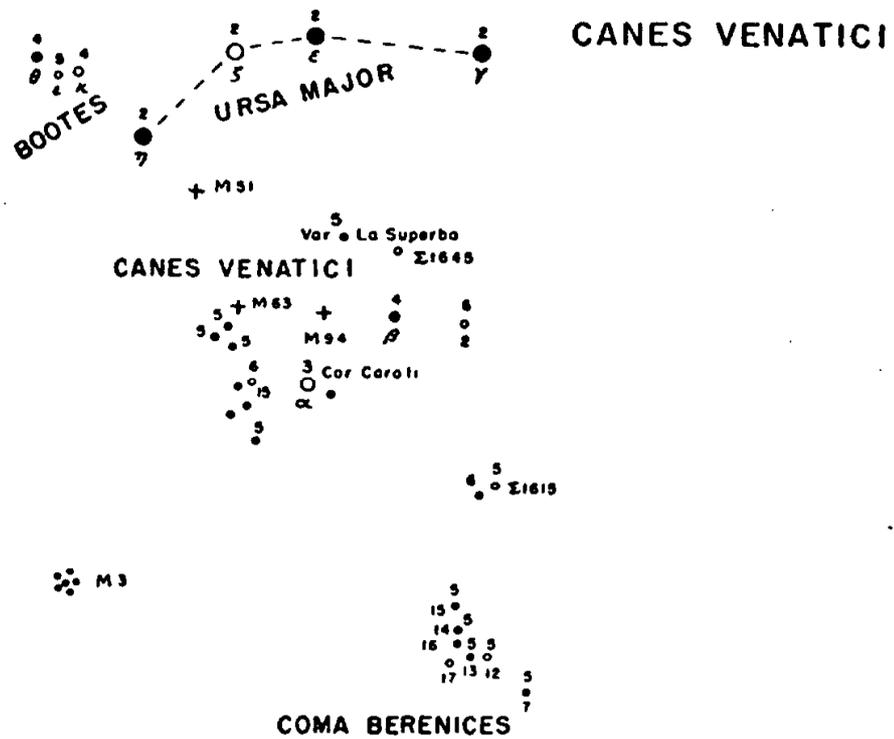


- α - כוכב בעל בהירות נראית 4.2 ובהירות מוחלטת 0.0. הכוכב הנו ענק כחול מטיפוס B5 ומרחקו 218 שנות אור.
- β - כוכב בעל בהירות נראית 3.7 ובהירות מוחלטת 1.2, הכוכב ענק לבן מטיפוס A8, מרחקו 102 שנות אור.
- γ - כוכב לבן מטיפוס A0, בעל בהירות נראית 3.9 ובהירות מוחלטת 0.7. מצוי במרחק 142 שנות אור.
- δ - כוכב ענק צהוב מטיפוס G4, בעל בהירות נראית 4.7 ומוחלטת 1.3. מרחקו 155 שנות אור.

יוני

כלבי צייד

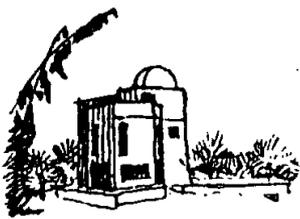
במחצית הדרך בין β באריה (דנבולה) ולבנטנש שהוא ח בדובה גדולה, ישנה קבוצה המורכבת ממספר רב של כוכבים מבהירות 5 וכוכב בהיר בעל בהירות 3. קבוצה זו נקראת כלבי צייד, על שם של אסטרויון ושרה, שהוחזקו ע"י רועה הדובים, על מנת לשמור על הדובה הגדולה.



כוכבי הקבוצה הם:

קור קרולי (Cor Caroli). ממוקם בכלב הנקרא שרה (Chara),  
בעל בהירות נראית 2.4 ובהירות מוחלטת -0.1. כוכב זה  
הינו כוכב כחול המלווה ע"י כוכב בעל בהירות נראית 5.4 ובהירות  
מוחלטת 2.4, לשני הכוכבים ספקטרום זהה A0, ומרחקם 130 שנות אור  
מעמנו.

B - כוכב בעל בהירות נראית 4.3 ובהירות מוחלטת 4.5, זהו ננס צהוב  
מטיפוס G5 המצוי במרחק 29.67 שנות אור מעמנו.



Givatayim Observatory

מוצפה הכוכבים  
של העיר  
גבעתיים

ימי ביקור לקהל כל יום שלישי  
בין השעות 20.00-21.30.  
הזמנת ביקורים קבוצתיים לפי טל. 730117.

## אובייקטים של Messier

ליקט: י. פתאל

M81, M82 - M81, גלכסיה ספירלית בדובה הגדולה מטיפוס Sb. הגלכסיה נראית כמעט ממבט על והיא בעלת גרעין דמוי-כוכבי. הגלכסיה הזו היתה הראשונה שתנועתה הסיבובית נמדדה בשנת 1914 ע"י מקס וולף (Max Wolf), שראה שקצות הגלכסיה סבים במהירות של  $300 \text{ km/sec}$ . גלכסיה זו הנה שייכת לקבוצת גלכסיות המונה כ-10 "חברים" והיא הגדולה שבהן. M82 לעומתה הינה גלכסיה בלתי-סדירה (אי רגולרית) בעלת צורה מוזרה ומיוחדת במינה. במרכז הגלכסיה רואים מעין "שערות" בזוית ישרה למישור הגלכסיה שנעים במהירות של  $1000 \text{ km/sec}$  והמעידים על התפוצצות(?) אדירה במרכז הגלכסיה. גלכסיה זו היתה הראשונה שגילו בה שדה מגנטי חזק.

למציאת שתי הגלכסיות יש לנוע מ- $\gamma$  בדובה גדולה ל- $\alpha$  בדובה גדולה. בהמשך הקו שנוצר, בערך של פעם וחצי המרחק בין הכוכבים, ימצא הכוכב 24 בעל בהירות 4.5. שתי הגלכסיות נמצאות באותו שדה ראייה כמעלה וחצי מזרחית מהכוכב. M81 תראה ככתם ערפילי עם מרכז דמוי-כוכב ולמרות בהירותה הגבוהה יחסית (7.9), תראה ככתם חוזר. אולם בטלסקופים של מפתח הגדול מ-8" יהיה ניתן להבחין בפרטים בהגדלות גבוהות. M82 לעומת זאת תראה צמודה לכוכב מבהירות 7, כשהיא יוצרת מעין פס ערפילי ארוך שניתן להבחנה ביותר קלות מאשר M81 וזאת למרות שבהירותה (8.8) נמוכה יותר.

M51 - גלכסיה ספירלית בכלבי צייד הנראית ממבט על. הגלכסיה הינה מטיפוס Sc ובהירות 8.1. לגלכסיה קשורה גלכסיה ננסית בלתי סדירה ע"י אחת מזרועותיה המהווה מעין גשר בין שתי הגלכסיות. הגלכסיה נמצאת  $3\frac{1}{2}$  מעלות דרומית ל- $\eta$  בדובה הגדולה שמהווה את קצה ה"זנב". בהגדלה נמוכה היא תראה כטבעת בעלת מרכז בהיר יותר כשהמרכז הנו דמוי כוכב. בטלסקופ 8" נעתן להבחין בפרטים של זרועות ובמיוחד הזרוע המחברת את שתי הגלכסיות.

M24 - גלכסיה ספירלית מטיפוס Sb בשערות ברניקה. גלכסיה בהירה יחסית (7.9). הגלכסיה כמו M51, נראית ממבט על. למציאתה יש לנוע מ- $\alpha$  בכלבי צייד 3 מעלות צפונית ומעלה אחת מערבית. הגלכסיה קלה למציאה בשל גרעינה שהנו דמוי כוכב ובעל בהירות גבוהה. הגרעין מוקף מעין טבעת חוורת הנראית בטלסקופים עם מפתח 6" ומעלה.

## דוחות תצפית

### תופעות הדדיות של הלויניס הגאלילאים של צדק (\*)

מאח נ. ברוש

ארכעת הלויניס הגדולים ביותר של צדק, הנקראים הלויניס הגאלילאים, מראים לפעמים "תופעות הדדיות", שהן התכסויות של לוינ ע"י לוינ אחר או ליקויים כנ"ל.

בפעם האחרונה תופעות כאלו התרחשו בשנת 1973 ואז נצפו תופעות אלו ממקומות רבים בעולם.

גם השנה, 1979, תתרחשנה תופעות כאלו. בטבלא מס' 1 אנו מביאים את תאריכי ההתרחשויות, סוג התופעה ( $E =$  ליקוי,  $0 =$  התכסות) לפי מספר הלויניס ( $Io = 1$ ;  $Europa = 2$ ;  $Ganymede = 3$ ;  $Callisto = 4$ ) ושעת ההתרחשות לפי שעון מקומי.

מה אפשר ללמוד מהתרחשויות כאין אלו? ובכן המסלולים של ירחי צדק אינם ידועים בדיקנות מירכית וכל נתון נוסף עוזר. ליקוי של ירח אחד ע"י ירח אחר מלמד על קשר בין שני המסלולים. כנ"ל לגבי התכסויות, שם מדובר בליקוי שאינו מלא. במקרה זה בטבלא שלנו אנו מביאים את אחוז ההתכסות, כמה משטחו של לוינ מסוים (למעשה הירידה בכמות האור) מכוסה ע"י הגוף השני.

אנו מבקשים מכם להביט בתופעות אלו ולצורך זה תוכלו להעזר, מלבד בטבלא שלנו כאן גם במפורסם במדור יומן השמיים - הלויניס של צדק גם במופיע ב"מגיד הרקיע 1979". רוב התופעות מתרחשות כהיות צדק קרוב לאופק וגם לשמש, לכן סביר להניח שהאסטרונומים המקצועיים לא יצפו בהתרחשויות אלו, הבכורה תהיה, אם כן, בידי האסטרונום החובב, שיכול להפנות את משקפתו סמוך לאופק ולהמתין לשעות המוקדמות של הבוקר, עת יזרח צדק ותתרחש ההתכסות.

כרגיל, שלחו אלינו את דיווחיכם ואנו נרכזם ונפרסמם כאן וגם נשלחם לחו"ל, לגוף שיעבד אותם בצורה מדעית מרוכזת לצורך שיפור ידיעותינו אודות המסלולים של לויני צדק.

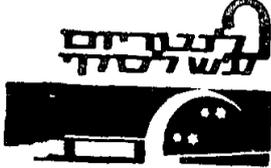
(\*) מכוסס על מאמרו של ארלו מ-1978, *Astron. Astrophys. Suppl.* 34, 195.

טבלא מס. 1 - תופעות הדדיות - לוייני צדק

גודל	משך (שניות)	התחלה (זמן מקומי)	תופעה	תאריך
0%		20:35:16	1E3	9/5
0%		5:02:59	4E1	5/6
0%		19:46:03	4E3	5/6
35%	383	18:51:00	3E1	9/6
0%		18:19:24	3E2	16/6
64%	597	22:17:29	3E1	16/6
0%	63	20:25:35	3E1	17/6
0%		17:41:58	4E1	21/6
0%		21:40:12	3E2	23/6
93%	1497	02:37:50	3E2	24/6
89%	1864	07:18:21	3E1	24/6
3%	198	23:58:38	3E1	24/6
0%		03:43:04	2E4	29/6
2%	351	22:00:24	3E4	30/6
0%		01:04:01	3E 2	1/7
12%	240	03:10:15	3E1	2/7
11%	609	18:41:58	4E3	6/7
0%		04:25:57	1E2	7/7
0%		19:56:18	4E2	7/7
10%	208	22:33:58	4E1	7/7
22%	310	04:29:54	3E2	8/7
26%	262	06:10:57	3E1	9/7
5%	235	07:01:45	1E3	12/7
0%		06:45:50	1E2	14/7
61%	423	07:58:15	3E2	15/7
0%	163	23:43:46	1E4	15/7
0%	270	04:24:01	1E4	17/7
0%		19:56:37	1E2	17/7
0%		19:59:22	2E3	19/7

## הערות לטבלא:

1. אנו מביאים כאן את ההתרחשויות עד לסוף יולי 1979. כיון שצדק יתקבץ עם השמש ב-13 באוגוסט השנה אי אפשר יהיה לצפות בו בנוח סמוך לתאריך זה. לכן הגבלנו את המופיע כאן לאירועים המתרחשים כאשר המרחק בין צדק לשמש הוא יותר מ-200.  
החלק השני של הטבלא, החל מספטמבר 1979 ועד סוף השנה נפרסם בגליון הבא.
2. כיון שכאמור המסלולים של ארבעת הלויינים אינם ידועים בדיוק רב אין אפשרות לנבא אם אמנם יתרחש ליקוי או לא. לכן הבאנו כאן גם אירועים ש"גודלם" הוא 0% כלומר שלפי הניבוי שני הירחים יתקרבו מאוד זה לזה אך לא יכסו אחד את השני. תמיד קיימת האפשרות שיתרחש ליקוי אמיתי וכדאי לצפות באירועים אלו.
3. התרחשות של ליקוי תופיע כירידה בעוצמת האור המגיעה משני הלוינים יחד. ניתן יהיה להעריך את הגודל הנראה של שני העצמים ע"י השואה עם כוכבים בסביבה שגודלם ידוע מקטלוגים, בשיטות של תצפית בכוכבים משתנים אם תצפיתכם היא כזו אל תשכחו לציין את כוכבי השואה.



מגיד הרקיע 1979

יצא לאור "מגיד הרקיע" 1979 - הנספח השנתי של "כל כוכבי אור", מהדורה מעודכנת ומשופרת של "מגיד הרקיע" 1978.  
מחירו - 35 ל"י.  
למנויים של "כל כוכבי אור" - 25 ל"י.

התכסות הכוכב SAO 144070 ע"י האסטרואיד יונו

בתאריך 20 ביולי 1978 עבר האסטרואיד יונו על פני הכוכב SAO 144070, "כל כוכבי אור" פירסם את התופעה מבעוד מועד ומספר חובבים בארץ צפו בתופעה. עד עתה המחננו לדוחות של כל הצופים וכעת אנו מפרסמים את התצפיות שהגיעו לידינו.

התצפיות מרוכזות בטבלא רצו"כ.

חן חן לצופים.

שם הצופה	מקום התצפית	טלסקופ	תחילת ההתכסות/משך	פרטים נוספים
ירון שפר	כפר סבא $\lambda = -34:54:31$ $\phi = +32:10:33$	2"4 (x80)	01:01:20.5 $\pm 0.1$	19.7 $\pm 0.1$
אריה לרר	רמת השרון $\lambda = -34:50:02$ $\phi = +32:08:44$	2"4 F=910מ"מ	01:01:19	תנאי תצפית גרועים, ירח קרוב מאוד, אובך חזק. באיזור התצפית נראו שני כוכבים בלבד $\alpha Aq1$ ו- $\gamma Aq1$ . תחילת התצפית 00:35.
יצחק שלוסמן	מצפה רמון	40"	-	לא נראה התכסות. התקצרות של הכוכב והאסטרואיד בשעה 01:01:30 $\pm 20$ . תנאי תצפית מצויינים. תחילת התצפית 00:45.

זרחים של צדק

יוני				מאי			
תופעה	זרח	שעה	תאריך	זרח(*) תופעה	שעה	תאריך	
העלמות	II	20 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	1	זריחה מעבר	IV	21 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	1
מעבר	III	19 25	2	צל (סוף)	II	20 30	2
צל	III	23 26	2	מעבר	I	19 39	5
העלמות	I	00 52	4	צל	I	20 52	
צל (סוף)	IV	21 53	4	מעבר (סוף)	I	21 55	
צל (סוף)	I	19 47	6	צל (סוף)	I	23 09	
העלמות	II	22 53	8	לקוי (סוף)	I	20 31	6
צל	II	19 58	10	התגלות	III	20 23	8
מעבר	II	20 54	10	לקוי	III	21 47	8
העלמות	I	21 27	12	מעבר (סוף)	II	20 38	9
לקוי (סוף)	III	21 24	13	צל	II	20 16	9
מעבר (סוף)	I	20 48	13	מעבר	I	21 36	12
צל (סוף)	I	21 43	13	צל	I	00 47	13
מעבר	II	20 51	17	העלמות	III	20 56	15
צל	II	22 33	17	לקוי	III	01 46	16
מעבר	II	20 31	20	מעבר	II	20 30	16
צל	I	21 20	20	צל	II	22 52	17
צל (סוף)	I	23 38	20	העלמות	I	20 54	20
לקוי (סוף)	I	20 58	21	לקוי (סוף)	I	00 21	21
מעבר	II	23 37	24	מעבר	II	23 13	23
צל	II	01 08	25	צל	II	01 28	24
לקוי (סוף)	II	22 17	26	לקוי	II	22 30	25
מעבר	I	22 31	27	צל	III	19 37	26
העלמות	III	22 46	27	העלמות	IV	20 40	26
צל	I	23 15	27	מעבר	I	20 02	28
לקוי (סוף)	I	22 52	28	צל		21 06	28
צל (סוף)	I	20 02	29				
לקוי (סוף)	IV	00 13	30				

(\*) סימון זרחי צדק:

- I - Io
- II - Europa
- III - Ganymede
- IV - Callisto

(\*) התכונות

תאריך	שעה (**)	נטיה	עליה ישרה	גודל נראה	קבוצה ספקטרלית	זווית מעב	אלונגציה	פזר % A	B
1	19h16m35s	+17o45'45"	06h55m03s	6.9	K0	135°	63	+27	-2.8
1	22 25 44	17 47 01	07 01 12	6.2	M0	62	64	+28	-0.2
9	20 11 12	-06 05 38	13 21 27	6.7	K0	165	152	+94	-2.8
13	22 43 40	-18 12 56	16 58 33	6.5	G0	283	157	-96	+0.4
(***) 14	21 48 57	-19 01 05	17 55 44	6.9	00	293	144	-91	+0.3
16	00 30 12	-19 16 25	19 01 51	6.0	G5	171	130	-82	-8.6
29	20 37 14	+17 07 45	07 30 35	5.6	K0	133	44	+14	-2.0
? ? ? ? ?									
3	22 58 15	+03 10 28	11 33 18	5.8	F5	87	100	+59	-1.1
4	21 45 00	-00 40 22	12 17 37	5.9	A3	127	111	+68	-2.1
4	22 34 02	-00 33 09	12 18 51	4.0	A0	66	111	+68	-0.1
9	00 00 40	-15 36 24	15 42 55	5.6	A5	121	159	+97	-1.6
13	22 49 40	-16 11 45	20 39 23	5.9	K0	276	134	-85	+0.8
14	01 15 20	-15 32 17	20 44 06	6.9	FD	310	33	-84	-1.2
15	02 03 19	-12 52 36	21 44 15	6.7	F5	234	119	-75	+1.7

באדיבותו של מנחם אלון (קב. יכנה) ומעפת הצ'י של ארה"ב (המפבר ודוגמת החישוב) (\*)  
 ראה ב"כל כוכבי אור" (2-3/1978).  
 זמן ישראל (קב. יכנה) (\*\*)  
 - עביר גלחתי (בהירות נראית 6.9). (\*\*\*)

### כוכבים משתנים

1. מועדי מינימום של כוכב אלגול ( $\beta$  Per)  
 עליה ישרה:  $3^h 04^m 09^s$  נטיה:  $+40^\circ 46'$   
 שנוי בהירות: 2.2-3.47 מחזור:  $2^d 86734$

יוני		מאי	
שעה	תאריך	שעה	תאריך
$0^h 44^m$	20	$3^h 41^m$	5
		0 30	7
		21 19	10
		02 13	28
		23 02	30

2. משתנים מטיפוס Mira ( $\alpha$  Ceti)

	מחזור מינימום/מקסימום	שינוי בהירות	נטיה	עליה ישרה	כוכב	מאי
מקסימום	$390^d$	4.5-9.5	$-23^\circ 01'$	$13^h 27^m 00^s$	R Hyd	4
מינימום	104	9.2-12.4	$+06^\circ 58'$	16 30.4	SS Her	6
"	372	6.3-12.0	$+20^\circ 10'$	05 52.9	U Ori	18
"	407	5.2-13.4	$+32^\circ 47'$	19 48.6	X Cyg	23
"	426	7.5-13.9	$+50^\circ 05'$	19 35.5	R Cyg	31
						יוני
"	332	3.4-9.1	$-03^\circ 12'$	02 16.8	$\alpha$ Cet	1
"	144	8.1-12.6	$+75^\circ 00'$	04 39.2	X Cam	4
מקסימום	291	6.1-11.5	$+08^\circ 09'$	19 04.0	R Aql	20
"	104	9.2-12.4	$+06^\circ 58'$	16 30.4	SS Her	27

# יומן השמים

## מאי - יוני

יוני			מאי		
תופעה	שעה	תאריך	תופעה	שעה	תאריך
ירח באפוגיאון	19	1	צדק $4^{\circ}$ צפ' לירח	08	3
רבע ראשון של הירח	01	3	רבע ראשון של ירח	06	4
ירח מלא	14	10	ירח באפוגיאון	00	5
ירח בפריגאון	18	13	שבתאי עומד	06	10
רבע אחרון של הירח	07	17	אורנוס בניגוד	08	10
נוגה $5^{\circ}$ צפ' לאלדבארן	05	20	אורנוס $4^{\circ}$ דר' לירח	23	11
ירח בפריגאון	14	21	ירח מלא	04	12
תחילת הקיץ האסטרונומי	02	22	ירח בפריגאון	11	18
בחצי כ"א הצפוני			רבע אחרון של הירח	02	19
השמש נכנסת (01:56)			מאדים $3^{\circ}$ צפ' לירח	21	23
למזל סרטן ומגיעה			יונו $1^{\circ}$ דר' לירח-	00	24
למרחק הזויתי הצפוני			החקבצות		
הגדול ביותר מקו המשווה			נוגה $3^{\circ}$ צפ' לירח	00	24
השמש מגיעה בישראל			מולד הירח	02	26
לגובה של $81^{\circ}$ אורך			כוכב-חמה בהתקבצות	01	30
היום כ-14:15			עליונה		
כוכב-חמה $5^{\circ}$ דר'	00	23	צדק $4^{\circ}$ צפ' לירח	00	31
לפולוקס					
נוגה $4^{\circ}$ צפ' לירח	02	23			
מולד הירח	14	24			
כוכב-חמה $5^{\circ}$ צפ' לירח	20	26			
צדק $3^{\circ}$ צפ' לירח	18	27			
ירח באפוגיאון	13	29			
שבתאי $2^{\circ}$ צפ' לירח	05	30			

