

# אסטרונומיה

בטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה

גיליון 3

כרך 25



## שלושה דורות של כוכבים

טלסקופ האבל מוצא שאריות סופרנובה, ענקים  
אדומים וכוכבים חדשים בערפילית הטרונטולה

✓ כוכב הלכת מאדים בניגוד

✓ כוכבי ניוטרונים זקנים

✓ האגודה מעבירה הילוך - הצטרפו לחטיבות

✓ התצפית החדשות

משימות חלל עתידיות

מחיר 25 ש"ח



\*97\*

# אסטרונומיה

בטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה

גיליון מספר 3

כרך 25

3	באגודה
6	חדשות אסטרונומיה וחלל
15	עתיד נשק- על תכניות החלל החדשות
25	מאדים בניגוד- כוכב הלכת האדום נוטן תצוגה מרשימה בחודשים הקרובים
29	10 שאלות ותשובות על NEOs
31	בית קברות לכוכבי ניוטרוניים- מה קורה לגופים הקומפקטיים והמסיביים לקראת סוף חייהם
38	תנאי יסוד להתפתחותה של יכולת טכנולוגית
40	אסטרונומיה בימי קדם- אנאקסינס ואנאקסאגוראס
41	שמי האביב- האובייקטים המעניינים שנוכל לראות בחודשים הקרובים
44	הגלריה- דוחות תצפית, תמונות ורעיונות של חברי האגודה

## אסטרונומיה

בטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה, עמותה מס' 58-004-867-6

מצפה הכוכבים גבעתיים, גן העלייה השנייה גבעתיים ת.ד. 149 גבעתיים 53101 טל. 03-5732152

אינטרנט <http://astronomy.org.il/giv-obs/index.html>  
e-mail [magazine@astronomy.org.il](mailto:magazine@astronomy.org.il)

שירותי משרד - קוסמוס, רחוב הרוא"ה 41 רמת גן ת.ד. 10834 רמת גן 52008, טל. 03-6724303 פקס. 03-5799230

Astronomy, Israeli Astronomical Association  
The Givatayim Observatory,  
Second Aliya Park, P.O.B 149, Givatayim 53101

מערכת ועריכה גרפית: מורן נחשוני ויגאל פת-אל

מחיר מנוי שנתי 80 ש"ח  
מחיר חוברת בודדת 23 ש"ח

שער קדמי- שלושה דורות של כוכבים בערפילית הטרוטולה שבען המגלני, נאסא/JPL. ראה עמ' 14

שער אחורי - א. כדורי אש מעל מצפה רמון- מטר  
הלאונידים בנובמבר 98. צולם ע"י עופר גבז.  
ב. מיכשור חדיש במצפה הכוכבים גבעתיים- טלסקופ  
LX200 "16.

## במערכת

החוברת "אסטרונומיה" נמצאת בתהליך של גיבוש ומשנה את פניה. חידושים גרפיים, תכנים ופרסונליים גרמו לבעיות בהוצאת החוברת במועדה המתוכנן.

לאחרונה הוחלט להוציא את החוברת אחת לשלושה חודשים ולתת דגש נרחב יותר לפעילות חטיבות האגודה החדשות (ראה ב-"מה באגודה"). אנו מקווים כי תמצאו עניין בהשתתפות באחת או יותר משש החטיבות.

החוברת הנוכחית יוצאת בסימן הציוד החדש שנקלט במצפה הכוכבים בגבעתיים. בעזרת טלסקופ "16 ממוחשב, 90mm ETX, ומצלמת Pictor 1616, ניתן לבצע במצפה עבודה בכמה רמות מעל לרמה שבה עבדנו עד היום. כמו כן נרכשו עבור המצפה מחשב חדיש ומוזגנים לחדר הטלסקופ וחדר ההרצאות, דבר שיקל רבות על הפעילות בקיץ ויהפוך את הביקור במצפה למהנה יותר. תודות מיוחדות לחברת פלאפון על תרומתה הנדיבה לרכישת הציוד החדש.

בחוברת הנוכחית הגדלנו את כמות ונושאי המאמרים, כך שיתאימו לכולם. המאמר הפותח מאת הוד"מ מספר על החלליות שפועלות ושיפעלו בעשורים הבאים. מאמרו של יגאל פת אל, ירר האגודה, מדבר על התקרבותו של מאדים לכדור הארץ, ומה אנו יכולים לראות על פניו. אילן מגוליס עונה על 10 שאלות נפוצות בתחום ה-NEOs. מאמרו של ערן אופק, בוחן את בעיית חיפושם של כוכבי ניוטרוניים זקנים. במאמר כלולות הרבה נוסחאות מתמטיות, אך ניתן להבין את המאמר גם בלי להבין אותם. כתבתו של חיים מזר דנה בתנאים הבסיסיים שלהם זקוקה ציביליזציה בכדי לפתח יכולת טכנולוגית. הטור הקבוע של מנחם בן עזרא עוסק, כמו תמיד, בהיסטוריה של האסטרונומיה.

על הנעשה בשמיים תוכלו לקרוא ב"שמי האביב". לבסוף, נמצאת הפינה שלכם, "הגלריה", לשם אתם יכולים לשלוח תמונות שצילמתם, דוחות תצפית ורעיונות חדשים. בחוברת זו תמצאו את דוח התצפית של יוסי חורי, ובצירוף תמונות שצולמו ע"י חובבים ממצפה הכוכבים ומטלסקופים פרטיים.

חברים המעוניינים לכתוב לחוברת מוזמנים לשלוח את החומר דרך הדואר האלקטרוני של החוברת או לכתובת המופיעה מימין, עדיף מודפס ובצירוף דיסקט.

קריאה נעימה

*Yigal Pith*

ערך

# מה באגודה

בחטיבה אחת. חברי האגודה מוזמנים להשתתף בפעילויות החטיבות, בין אם באמצעות הצידוק הקיים במצפה או באופן עמצאי. לצורך כך, אנו מצרפים לחוברת זו טופס מפקד טלסקופים של חברי האגודה, בצירוף פירוט נושאי החטיבות השונות. בחוברות הבאות וכן באתר האינטרנט של האגודה יובאו דיווחים על פעילויות החטיבות השונות. להלן, תקציר על מבנה החטיבות ומרכויהם:

## חטיבת NEO's

פעילות חטיבת ה- NEO's במצפה שהושעתה עד לסיום השימוצים במצפה הכוכבים בגבעתיים וקליטת הצידוק החדש, שבה לפעילות. החטיבה תעסוק בעיקר בניטור וקביעת מסלוליהם של אסטרואידים וכן סריקה של השמים.

מרכז – אילן מנוליס.

## חטיבת כוכבים משתנים

החטיבה תעסוק בחקר הכוכבים המשתנים לסוגיהם השונים, תצפית, ניתוח תצפיות ובניית עקומות אור. החטיבה תעסוק בסוגים שונים של כוכבים, החל מכוכבים לוקים, כוכבים פועמים, מערכות סימביוטיות ומתפרצים למיניהם.

מרכז – עופר גבז

## גופים קטנים במערכת השמש

החטיבה תעסוק במחקר של כוכבי שביט ואסטרואידים – מדידות פוטומטריות, מדידת סיבוב סביב ציר, ומדידות אסטרומטריות.

מרכז – ליאורה מלכי.

## החטיבה הפלנטרית

החטיבה תעסוק בחקר כוכבי הלכת וירחיהם – מדידות פוטומטריות, צילומים.

מרכז – חיים מזר.

## הירח

החטיבה תעסוק בירח, מיפוי, מדידות פוטומטריות, והתכסויות כוכבים על ידי הירח.

## טיול מאורגן לטורקיה לשם תצפית על ליקוי החמה המלא שייראה ב- 11 באוגוסט, 1999

### תזכורת

ב- 11 באוגוסט, ייראה ליקוי החמה שישגור את האלף הנוכחי, אחד מליקויי החמה המרשימים ביותר שנראו באלף הנוכחי. לא הודות לאורכו של הליקוי, שיפחת מ- 3 דקות, ולא בגלל כל תופעה אסטרונומית אחרת. הסיבה היא: מסלולו של צל הירח.

מסלולו של הירח ינוע לאורך כל אירופה הקלאסית: החל מחופה הדרומי של אנגליה, שם יאפיל את עיר הנמל פלימות', דרך חופה המערבי של צרפת - לה הבר, דרך העיר העתיקה רואן, המצויה מעט צפונית לפריז, דרך גרמניה, שם יעבור מעל שטוטגרט ומינכן, אוסטריה, הונגריה, שם ייראה מרכז הליקוי בדיוק מבדפשט, טורקיה, אירן - מעל איספהאן ויסתיים בהודו.

גם בישראל ייראה הליקוי היטב - במרכז הארץ תכוסה 79% מקוטרה של דיסקת השמש ואילו בצפון רמת הגולן, יגיע גודל הליקוי ל- 89%.

מסלולו של הליקוי יאפשר למאות מיליוני בני אדם לצפות בליקוי המלא. האגודה הישראלית לאסטרונומיה מארגנת טיול מאורגן לטורקיה, שם נצפה בליקוי המלא וכן במטר המטאורים - הפרסאידים, שייראה בלילה שלמחרת. טורקיה נבחרה כיוון שהסיכוי ליום נטול עננות הוא הגבוה ביותר מכל האפשרויות הקיימות (אלא אם ייכון שלום ביננו לבין אירן תוך פחות משנה...). לפרטים, יש להתקשר אל פנינה, משרדי החברה להגנת הטבע, רח' השפלה 3, טל. 5372717.



## חטיבות האגודה

בעת הוצאת החוברת אל הדפוס, אנו משלימים את קליטתו של הטלסקופ החדש במצפה הכוכבים בגבעתיים. טלסקופ זה, בקוטר 16 אינץש (40 ס"מ), ממוחשב לחלוטין תוצרת Meade ארה"ב, ישמש, בין היתר, גם לפעילויות של חטיבות האגודה. כרגע, הוקמו שש חטיבות שונות, כאשר אנו מקווים כי חברי האגודה ימצאו עניין, איש איש, לפחות

מרכז – עודד אברהם.

## מטרות מטאורים

החטיבה נועדה לרכז תצפיות ולאסוף חברים המשוניים לצפות במטרות מטאורים.

מרכזת – אנה לויין.

במהלך חודש יוני יתקיים במצפה קורס לאסטרונומיה המיועד למורים בחטיבות הביניים ובחטיבות העליונות. הקורס הוא בהיקף של 56 שעות ומקנה גמול השתלמות לזכאים. להרשמה ולקבלת מידע, ניתן לפנות אל שוני לוטן, טל. 03-5722227 בשעות הבוקר.

במהלך הקורס יילמדו נושאי אסטרונומיה, אסטרופיזיקה וחקר החלל. הקורס יתקיים במתכונת מרוכזת, מספר ימים בשבוע במשך כ- 3 שבועות.



## קייטנת אסטרונומיה

במהלך חודש יולי תפתח קייטנת אסטרונומיה במצפה. הקייטנה תתקיים במתכונת של שילוב לימודי האסטרונומיה לילדים עם פעילויות נופש אחרות. המעוניינים לרשום את ילדיהם מוזמנים לפנות אל שוני לוטן.



## חוג מתקדמים במצפה

בחודש יוני ייפתח המחזור הראשון של חוג אסטרונומיה ואסטרופיזיקה למתקדמים. החוג מיועד לבוגרי קורסים באסטרונומיה וכן לקהל בעל רקע בנושא. במסגרת הקורס תינתנה 14 הרצאות בנושאים שונים.



## אתר האינטרנט

אתר האינטרנט של האגודה הישראלית לאסטרונומיה ומצפה הכוכבים בגבעתיים מזמין אתכם להיכנס אליו ולדלות מידע. באתר יהיו גם טבלאות מגיד הרקיע וכן מידע על פעילות המצפה והאגודה. כתובת האתר:

<http://astronomy.org.il/giv-obs/index.html>

פרטים על הנעשה בשמים, מפות וכדומה ניתן לדלות באתר:

<http://cosmos.co.il>



## גמול השתלמות למורים

## הרצאות במצפה הכוכבים גבעתיים

הפורום המדעי במצפה הכוכבים בגבעתיים ממשיך בפעילותו. הרצאות בנושא אסטרונומיה ומדע ניתנות מדי יום חמישי בשעה 21:30 לאחר התצפית. להלן פירוט ההרצאות במצפה הכוכבים בחודשים הקרובים:

תאריך	נושא	מרצה
6.5.1999	גיאולוגיה בפטיש ישראלי	מיכאל וכטל
13.5.1999	קואורדינטות שמיימיות	עופר גבז
27.5.1999	מבוא למדעי האטמוספירה	ליאורה מלכי
3.6.1999	מבוא לאסטרופיזיקה	יגאל פת-אל
10.6.1999	על החוק הראשון של קפלר	רוני מועלם
17.5.1999	מבוא מקוצר להיסטוריה של האסטרונומיה	מנחם בן עזרא
24.6.1999	טלסקופיים רובוטים	אילן מנוליס

# אמרת חלל- אמרת קוסמוס

**קוסמוס- המרכז לציוד אסטרונומי הגדול בישראל.**  
נציגים של חברת Meade ארה"ב, החברה המובילה בעולם בייצור טלסקופים.  
טלסקופים, משקפות, מצלמות דיגיטליות, מיקרוסקופים, פוסטרים, ספרים, תוכנות ועוד.

**טלסקופים של Meade משרתים אוניברסיטאות, מצפי כוכבים ומוסדות לימוד מובילים.**

**לקוחותינו נהנים משירות ולייני מקצועי, אחריות ואמינות.**

## חדש!! ETX90-ec



הביאו את מצפה הכוכבים הממוחשב הביתה

כעת, אין צורך להתמצא ולהכיר את השמים כדי לכוון את הטלסקופ אל גלקסיה, כוכב לכת חיוור, אסטרואיד, שביט, צביר כוכבים ואפילו קוואזר מרוחק או לווין גדול החולף בשמים.

כל שעליך לעשות – להקיש את שם האובייקט,

ומחשב ה-Autostar המתוחכם יכוון את הטלסקופ עבורכם. למעלה מ-12,000 עצמים מצויים בזכרון הפנימי, ואם לא די בכך, ניתן לכוון לעשרות מליוני עצמים נוספים באמצעות חיבור למחשב הביתי.

השילוב של האיכות האופטית, לל תחרות, של דגם

ה-ETX האגדי בשיטת מקסוטוב-קסיגרין והאיכות הטכנולוגית המובילה בעולם של שיטת LX200 הביאה לעולם את הטלסקופ המתקדם והמבוקש ביותר כיום.

### תכונות:

מערכת אופטית באיכות מעולה בקוטר 90 מ"מ  
קומפקטי ונוח להפעלה  
אפשרות לשליטה באמצעות מחשב ביתי  
מערכת כיוונון אוטומטית  
אפשרות לרכישה ללא Autostar

מוצרים חדשים בקוסטוס:

טלסקופ שובר אוד בקוטר 102 מ"מ, חצובה LX200  
טלסקופ שמידט-קסיגרין בקוטר 8" חצובה גרמנית  
טלסקופ ניוטוני, 4.5", חצובה אלומיניום, 2590 ש"ח בלבד.

## מועדון הלקוחות של קוסמוס

הרשמו למועדון הלקוחות של קוסמוס ותהנו ממבצעים המיוחדים לחברי המועדון, קבלת מידע שוטף על מוצרים חדשים, הנחות מיוחדות ברכישת ציוד ואביזרים ועוד.

ההרשמה - באתר האינטרנט שלנו - [cosmos.co.il](http://cosmos.co.il)

קוסמוס - הרוא"ה 41 ת.ד. 10834 רמת גן. טל 03-6724303 פקס 03-5799230  
[cosmos.co.il](http://cosmos.co.il) E-mail: [astronomy@cosmos.co.il](mailto:astronomy@cosmos.co.il)



# חדשות אסטרונומיה וחלל

## אוראנוס מתרדמת החורף מתעורר

עד ביקורה של חללית וויאג'ר ב-1986 אופיו של כוכב הלכת אוראנוס היה נסתר מן האדם. כשהגיעה החללית וצילמה את פניו, היא גילתה פלנטה כחלחלה ומשעממת. מבעד למצלמות וויאג'ר נראתה האטמוספירה של כוכב הלכת הגוי כחולה ללא סימנים מיוחדים. לא נראו עננים או סערות כמו בשאר כל כוכבי הלכת הענקיים. רק צילום בודד בפילטר מסוויים הראה פעילות אטמוספירית כלשהי.



עננים בשמים הצמניים של אוראנוס

אך סרט חדש של פני אוראנוס שצולם ע"י טלסקופ האבל שינויים עונתיים בפלנטה הנמוחקת. אוראנוס נארה כעת כעולם דינמי מאוד, בעל העננים הבהירים ביותר במערכת השמש, ומערכת טבעות שברירת הנהגת כמו גלגל לא מאוון. העננים עשויים, כנראה, מגבישי מתאן המתגבשים כאשר בועות של גז חם צפות במעלה האטמוספירה של אוראנוס.

הסרט מראה גם, את מבנה הטבעות השברירי של אוראנוס, הנגרם כנראה מצורתו השטוחה וממשיכת ירחיו הרבים. למרות שאנו צופים באוראנוס כבר מעל 200 שנה, "אף אחד לא ראה תופעה שכוון בעידן האסטרונומיה המודרנית בגלל השנה

הארוכה של אוראנוס - 84 שנות ארץ, אומר ד"ר היידי האמל MIT.

השינויים העונתיים על כדור הארץ נגרמים מפני הזווית הקטנה שיש בין מישור הקפת הארץ סביב השמש לבין ציר הסיבוב היומי. כתוצאה מכך, הקוטב הצפוני או הדרומי מופנה אל או מחוץ לשמש. אך זווית זו אצל אוראנוס כמעט ישרה - דבר הגורם לעונות שנה שנמשכות כ-20 שנה ומוג אויר חריג. במשך כרבע מכל שנת אוראנוס השמש זורחת רק על קוטב אחד, ומשאירה את חצי הכדור השני בעלטה מוחלטת, וחורף קפוא.

חצי הכדור הצפוני של אוראנוס יוצא כרגע מתרדמת החורף הארוכה שלו. כאשר אור השמש מגיע למקומות חדשים, הוא מחמם את האטמוספירה הקפואה. דבר זה גורם לפעילות המתרחשת בפניו הדרומיים. אוראנוס, מורכב ברובו ממימן והליום, ובלישת אור אדום על ידי מוזאן נורמת לצבש החלחלה.

## בלון מזג אויר למיפוי מטאורים

בזמן שיאו של מטר הלאונידים ב-98 בנובמבר, שיגרו ד"ר דיויד נואבר וג'מיתים ממרכז החלל מארשל של נאסא, בלון מזג אויר לסטרטוספירה, שם הוא שהה במשך שעתיים מעל 98% מאטמוספירת כדור הארץ. על הבלון היו מצלמת וידאו דיגיטלית ואספק קסרוגיל למיקרוטאוריטים, דומה ללאספק האבק הקוסמי על גבי החללית Stardust.

"משימת הבלון ב-98 הייתה למעשה ניסוי הנדסי", אמר נואבר, "רצינו לבדוק אם זה אפשרי לדגום מטאוריטים, או כל סוג אחר של אבק, בסטרטוספירה ולבדוק את החומרה שברשותנו לקראת המטר 99-2".

כפי שהתברר, משימת 98 הייתה יותר מוצלחת ממה שציפו. מצלמת הוידאו תיעדה מספר רב של כדורי אש, ששודרו למיליונים באמצעות האינטרנט. לאחר שמתען הבלון נאסף, נואבר ועמיתיו השתמשו

במיקרוסקופ אלקטרוני סורק בכדי לבדוק את אספק האבק. הם מצאו 8 מכתשים קטנים, שנגרמו מחלקיקים בגודל 20-50 מיקרון. האם אלו באמת מטאוריטים מהלאונידים? "אינו יודעים זאת. גודל החלקיקים הוא מה שציפינו ממטאוריטים בסטרטוספירה, אך הם יכולים להיות ארציים" אמר נואבר.

התשובה החלקית נמצאת בהרכב הכימי של החלקיקים. חלקיקים כמו מטאוריטים שנכנסים לאטמוספירה במהירות גבוהה נוטים להיות עשירים ביסודות שלא מתאדים בקלות כאשר הם מתחממים מאוד. יחס המאסות בין Mg/Si, Al/Si ו-Fe/Si ביחד עם שכיחות איוטופיות יכולות להבדיל בין חלקיקים ארציים לחוץ ארציים.



מכתש מיקרוסקופי בקוטרו 30 מיקרון שהתגלה על גבי אספק האבק

"המראה של החלקיקים חשוב גם כן", ממשיך נואבר, "למטאוריטים שהותכו חלקית ע"י החיכוך יש שכבה מותכת מסביב לנרעין לא מותך. כרגע אנו בודקים את הרכבם הכימי וגם את המבנה שלהם, בתקווה שנקבל בקרוב תשובה".

בינתיים הם מתכוונים לשגר בלון נוסף ב-10 לאפריל בכדי לדגום אבק בסטרטוספירה, כאשר כדור הארץ אינו עובר בתווך של מטאוריטים כמו הלאונידים. "בזמן הרבע הראשון של כל שנה יש מינימום בפעילות מטאורים", מסביר ד"ר טוני פיליפס מנאסא. "כדור הארץ אינו עובר דרך שאריות שביטים חשובות בתקופה שבין 15 לינואר ועד סוף אפריל. שטף המטאורים הנמוך הוא רק תוצאה של פיזור אקראי של נתיבי שאריות שביטים במערכת השמש".

צייד הפלנטות גיאוף מרסיי ומל באטלר הסימו עוד ארבע פלנטות לאוסף הפלנטות של האסטרונומים. המספר הנכחי של פלנטות הנקפות כוכבים דמויי שמש שמד כעת על 14.

הראשון שייך לקטגוריית "הצדקיים החמישי". שלם זה מקיף את הכוכב HD187123, כוכב תיאום-שמש בקבוצת ברבור. מרחקו כ-150 שנות אור מכדור הארץ. לפלנטה מסה של לפחות חצי צדק (165 מסות כדור הארץ), אך מרחק מסלולה סביב הכוכב הוא רק 4 מיליון ק"מ, כ-1/9 מרחקו של כוכב חמה מן השמש, ורק פי 4 קוטר הכוכב עצמו. הפלנטה מקיפה את הכוכב שלה בכמעט חיבוק. הדבר גורם להקפה סביב הכוכב תוך 3.1 ימי ארץ - תקופת ההקפה הקצרה ביותר מכל הגלקסיות שנתגלו עד היום.

הפלנטה השניה מקיפה את הכוכב HD210277, מעין גרסה מגדולת במקצת של השמש שנתגלתה 68 שנות אור מכאן בקבוצת דלי. פלנטה זו בעלת 1.4 מאסות צדק ומסלולה הוא הדומה ביותר לזה של כדור הארץ, מבין אלו שנתגלו עד כה. עם מסלול המרוחק מכוכבו ב-15% אחוז בלבד מזה של כדור הארץ סביב השמש, כוכב הלכת משלים הקפה סביב הכוכב שלו ב-437 ימי ארץ (1.2 שנות ארץ). אך המסלול הוא אליפטי מאוד - מה שמצביע על מפלי טמפי קיצוניים מהם סובלת הפלנטה, ואולי גם ירחיה (אם קיימים כאלה). HD187123 ו-HD210277, כמו כמעט כל הכוכבים שסביבם פלנטות (מרט לאחד), מכילים את אותן הכמויות של יסודות כבדים, פחות או יותר. "הדבר מעיד כי שלעים וקרח בדיסקה הטרום-פלנטרית הנם בעלי חשיבות רבה בקביעת היווצרות הפלנטות", אומר באטלר.

שני כוכבי הלכת החדשים נתגלו בעקופן ע"י הכוח הגרביטציוני שהפעילו על כוכביהם. מארסי ובאטלר מצאו אותם בעזרת טלסקופ 10 המטרים קק-1 בהוואי, תוך שימוש בספקטרומטר מדויק ביותר, שנבנה ע"י סטיב וונט (*Logg*) מאוני קליפורניה. "אלו שניים מכוכבי הלכת הרבים שקק ימצא", אומר באטלר. האסטרונום הנריטי החובב קווין אפס (*Apps*), כעת *sophomore physics student* עזר למארסי ובאטלר לגלות את הפלנטה של HD187123. אחרי

שקיבל רשימה מפורטת של מטרות מהשניים ב-97, קווין השתמש במידע מהלוין היפרכוס כדי לקבוע כי 30 מתוך 430 המועמדים הנם ענקים - עובדה המוציאה אותם מהחשבון. קווין סיפק לבאטלר ומארסי רשימה הכוללת 30 כוכבים אלטרנטיביים המוגדרים "תאומי-שמש".

HD187123 היה אחד מהם. "איני יכול לבטא במילים את הרגשתי כאשר נודע לי שגאוף ומל מצאו פלנטה סביב מטרה שמצאתי". מתרגש קווין.

השלישי מהם מקיף את הכוכב גלייסי (Gliese) 876, אשר נמצא במרחק של 15 שנות אור בלבד מכדור הארץ. "זהו כוכב הלכת הקרוב אלנו ביותר שנתגלה מחוץ למערכת השמש", אומר גיאוף מרסי מאוני סאן-פרנסיסקו. הוא עצמו יחד עם מל ובאטלר, עמדו בראש הצוות המדעי בעל התגלית. כבר דווח בעבר כי הכוכב לילנד 21185, המרוחק מאתנו 8.3 שנות אור בלבד, הוא בעל פלנטות, אך אסטרונומים עדיין מפקפקים בקיומן. כל שאר כוכבי הלכת המקיפים כוכבים אחרים הנם במרחק 40 שנות אור ומעלה מכדור הארץ. כוכב הלכת של גלייסי 876 במצע הקפה אחת סביב כוכבו (שנה) ב-61 ימי ארץ. מסלולו המוארך של כוכב הלכת מביא אותו קרוב לכוכבו פי 5 ממרחק כדור הארץ אל השמש. אם נשליך מצב זה על כדור הארץ שלנו, נמצא אותו עמוק בתוך מסלולו של כוכב חמה. לכוכב הלכת מסה של לפחות 1.9 מסות צדק, לכן סביר מאוד להניח שגם הוא ענק גז.

מלבד קרבתו, גלייסי 876 הוא הכוכב הקל ביותר שבבעלותו כוכב לכת. זהו ננס אדום שמאסתו היא 1/3 מסת השמש. ב-8 מערכות הכוכבים האחרות שנתגלו בעבר, שכן כוכב שמאסתו הייתה לפחות 85% מסת השמש. מכאן נובע כי גם כוכבים בעלי מסה נמוכה מאוד יכולים לקיים סביבם כוכבי לכת. לא סביר שפליטת האנרגיה הורודה של גלייסי 876, רק 2.5% מפליטת השמש שלנו, יכולה לתמוך במערכת חיים על פני כוכבי הלכת שלו, או על ירחיהם, אם אלו קיימים.

כוכב הלכת הנוסף שנתגלה, מקיף את הכוכב גלייסי 614 במרחק כ-60 שנות אור מכאן. לפלנטה זו מסה של לפחות 3.3 מסות צדק, מה שהופך אותה לענק גז כמעט בטוח.

"צייד כוכבי לכת ממשיך להיות כף לא נורמלי", מוסיף באטלר. "כעת, כאשר טירוף התקשורת שהתקיים

סביב התופעה שכת, אנו יכולים להתרכז במדע הטהור - שיפור הדיוק ונמתן מענה לשאלות בסיסיות".

## סוג חדש של כוכב

כעת, כאשר אסטרונומים מצלמים גלקסיות חיוורות על סף היקום הנראה, ניתן היה לצפות כי את סוגי הכוכבים הנמצים בגלקסיית שביל החלב כבר זיהו אולם, אם נשמש לפי נתונים ראשוניים שהתקבלו מסקר שמיים באור אינפרא אדום, שהוצגו בפגישת חודש יוני של החברה האמריקאית לאסטרונומיה בסן-דייגו, אסטרונומים רק מתחילים למצוא לראשונה אוכלוסייה חדשה של כדורי גז קרים וחיוורים מאוד.

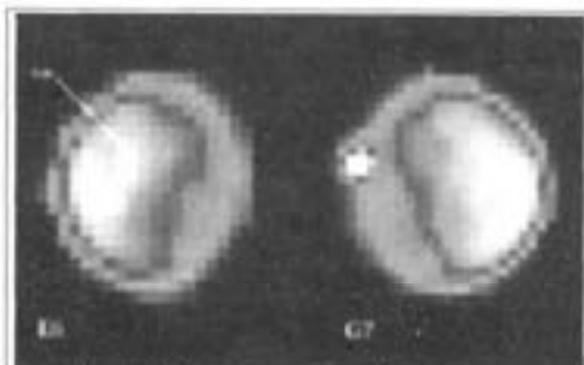
הסקר השמימי באור אינפרא אדום ויהה 20 גופים אחרי סקירה של 1% בלבד מן השמיים. עצמים אלו פולטים ספקטרום המצביע על סוגים רבים של מולקולות ואטומים הבורחים כוכבים "נורמליים". רבים מכוכבים אלה הנם כנראה ננסים חומים אשר נוצרים באותו תהליך כמו כוכבים "רגילים" (כמו השמש), אך אינם בהירים כמותם, מפני שאינם מספיק מסיביים כדי לקיים היתוך גרעיני ומקור ראשון לאנרגיה כוכבים "רגילים".



ננס מסוג L (מעל החץ) כפי שנקלט במצלמות 2MASS

הספקטרום של אובייקטים אלו כה שונה מזה של כוכבים "רגילים" עד שנדרש עדכון מסיבי לסקאלת סוגי הכוכבים בה אנו משתמשים היום (סקאלה בת 100 שנה בערך). מן החמים לקרים, כוכבים קוטלגו ע"י אסטרונומים לפי סוגים ספקטרליים

הגעש שעל פני איו, ירחו של צדק, תצפיות אחרונות שביצעה "גלילאו" באינפרא-אדום מגלות למחות תריסר מליטות לבה בטמפרטורה שבין 1200-1700 מעלות צלזיוס, בערך פי 3 מהטמפי הגבוהה ביותר על פני מרקורי בצהריי היום, וללא ספק, טמפרטורת השטח החמה ביותר במערכת השמש. לפי אלפרד מקאוויץ (McEwen), מנהל מעבדת המחקר הפלנטרית באוני אריזונה, וראש צוות המחקר, הטמפי הנמדדות הנה פי 2 מהטמפי שנמדדו ע"י "וויאג'ר" ב-1979. זה לא שאיו התחמם עם הזמן, אלא של-"וויאג'ר" לא היו מכשירים רגישים, ובעלי יכולת הפרדה גבוהה כמו אלו שעל גלילאו". למרות החום הקיצוני באזורים אלו, שאר הירח נותר קפוא.



"נקודה חמה" על איו, מעלמות גלילאו מעלמות התפרצות הר געש

הטמפי הגבוהה של הליבה מרמזת כי היא מורכת מסיליקטים עשירים במגנזיום. אולם, סביר להניח כי חלקיקים כבדים אלו שוקעים לתוך נוזל המותך של איו. תהליך הסקיעה נקרא "הבדלה" או "הפרדה" (Deffer) "עקב התפרצויות החוקות של איו, אנו צופים הבדלה מסיבית", אומר מקאוויץ. "הנתונים מרמזים כי אנו צופים בשלב בו המגמה מוצת החוצה, כפי שקרה על ירחו של כדור הארץ. כיצד ניתן להסביר זאת?"

פעילות וולקאנית זו שעל פני איו דומה מאוד לפעילות הוולקאנית אשר התרחשה על פני כדור הארץ לפני כמה ביליוני שנים. למדענים שאלות רבות בתחום זה. "הייתי רוצה לחשוב על איו כמעין ניסוי בולקניזם פלנטרי והבדלה", אומר מקאוויץ. "ניסוי מעין זה מסוגל לעזור לנו להבין בצורה אולטימטיבית את התפתחות כדור הארץ וטוכבי הלכת האחרים, כמו ננה ומאדים אמנם, איו הוא הירח החם ביותר שעל צדק, אך הוא אינו היחיד שמראה על פניו פעילות וולקאנית. "גלילאו" מצאה עדויות חותכות לפעילות וולקאנית מימית על פני ננימד, הירח הגדול ביותר

לאחור האסטרונמים קיבלו רמזים להתרחשות המיוזג אשוויץ (Ashwind) והאסאואנדה (Vasavanda) זעמיתיו, כולם אסטרונמים מאוני קלטק, צפו בכתמים במבדוראר 97 בעזרת החלילית "גלילאו".

"שניים מן הכתמים היו קרובים זה לזה בצורה לא רגילה, כאשר ביניהם נדחפה סערה נוספת", אומר אשוויץ. "כיום ניתן לומר שהיה מיוזג, אך אז לא העלטו על הדעת כי הדבר יתרחש".

הכתמים הלבנים הם סערות אמוניה הנעות במהירויות של כ-350 קמ"ש ובקצוות, הן נעות ככדור בין רצועות עננים, כמו זרם הסילון הנושב ממערב למזרח מסיבי לפלנטה שלנו בין השנים 1938-1939 נשברה רצועת עננים בהמיספירה הדרומית, והפכה ל-3 כתמים אובליים. הם נראו גם בטלסקופ 6 אינץ' פשוט, עקב גודלם העצום - כ-15,000 ק"מ בקוטר.

לא מדע כדוגמת התנגשות עוצמתית בין כתמים מסוג זה בהיסטוריה. "עד היום, כאשר כתמים אלו התנגשו זה בזה, הם פשוט היו נחמדים זה מזה", אומרת אמי סימון מאוני ניו-מקסיקו, המנטרת את צדק בעזרת טלסקופ החלל "האבל", אולם, בשנת 1995 התחילו הכתמים "להתקלף" וליצור "רכבת" בנובמבר 97 הם היו קרובים מאוד - הכי קרובים שאמי ראתה מעולם.

איש לא יודע מה מניע את הסערות הללו, או מדוע הן נמשכות זמן כה רב. אך סימון ואסטרונמים נוספים מקווים שהוספת התנגשות הכתמים לנודלים הממוחשבים של אטמוספירת צדק החיצונית יעזרו להם לפתור את השאלה. "אם נוכל למקד את המודל, הם יעזרו לנו בהבנת המצב שמתחת לעננים", אומרת אמי.

## יותר חם מחם

המכתשים הצרובים על מרקורי, כוכב הלכת הקרוב ביותר לשמש, כמו פני השטח הכמעט בוהרים שעל ננה, לא יכולים להתחרות באדמה הבוהרת ביותר במערכת השמש - הרי

באתיות M, K, G, F, A, B, O לשם הזיכרון, הומצא המשפט "Oh, Be A Fine Girl (Guy), Kiss Me" ביי דייוו קירק פטריק (D. Davy Kirkpatrick) מאוני קלטק, אסטרונם וחבר במרייקט, הכניס את האות L לסקאלה, ובכך שיט את המשפט ל: "Oh, Be A Fine Girl (Guy), Kiss My Lips"

אולם, לאסטרונמים יש יותר במה להרהר מאשר את אחת "בהסתמך על נתוני המרייקט עד כה, נראה כי נניסים מסוג L הם מהסוג הנפוץ ביותר בגלקסיה שלנו", אומר קירקפטריק. "הם כל-כך נפוצים, עד שקיים סיכוי שגלה אחד קרוב יותר לשמש מפרוקסימה קנטאורי, הכוכב הידוע הקרוב ביותר לשמש".

## כתמים מתמזגים לבנים

מיוזג נוסף עושה כותרות בימים אלו, אך לא אחד כזה של בנקים או חברות מסחריות. אחרי 58 שנים כישויות נפרדות, שני ציקלונים לבנים שגודל כל אחד מהם כגודל כדור הארץ, מתאחדים על פני צדק.



שתי הסערות הלבנות (ימין למעלה) על צדק זמן קצר לפני התחברותן

ביוני האחרון, כמה טלסקופים על כדור הארץ דיווחו לראשונה על מיוזג של שניים מתוך שלושת הכתמים הלבנים שעל צדק. כתמים אלו דומים בצורתם לתם האדום הגדול, אך קטנים ממנו בהרבה. קרוב לאחר מכן, "האבל" צילם כתם לבן בהיר, במקום בו היו אמורים להיראות שני הכתמים הקטנים. אך מאז ה-14 ביוני, "האבל" צפה בשטח קטן מדי מכדי לקבוע כי כבר אין שלושה כתמים לבנים על צדק.

איש לא ראה למעשה את האיחוד, אשר התרחש במבדוראר כאשר צדק היה מאחורי השמש. אולם, בחישוב

ברמת חסרת תקדים של הפרדה, הקלטת צבעים, מיקומים שמימיים ובהירות של מעל ל-100 מיליון עצמים שמימיים שונים. הפרוייקט ייתן לנו תמונה תלת מימדית של היקום שסביבנו, כאשר את צופים פי מאה רחוק יותר ממה שאפינו עד כה. אומר ברוס מרגן מאוניברסיטת (MARGON) וושינגטון, מנהל הפרוייקט.

הפרוייקט ימדוד הסחות לאדום ושיטת אומדן מרחק על פי תופעת דופלר) של מיליון גלקסיות בהירות, תוך ציון מרחקים מדויקים שיעזרו לאסטרונומים לקבוע צבירי גלקסיות בדיוק טקסומלי. הפרוייקט גם ימדוד מרחקים של 10,000 קוואזארים על סף היקום הנראה, תוך ניתור מרחקים של קוואזארים ונלקסיות במרחקים שונים, האסטרונומים יוכלו לקבוע את סיפור התפתחות הגלקסיות.

**The Orion Nebula & Trapezium**

ליבה של ערפילית אוריון-הטרפזיום  
מטלסקופ 2MASS

כאשר יושלם הפרוייקט, יוכלו מדענים מכל העולם להיכנס למאגר המידע הענק לשגודלו המשוער הוא כ-10 טרה בייטס, שימוקם בספריית הקונגרס בארה"ב מעל 200 מדענים והנדסאים מ-8 מוסדות שונים בארה"ב ויפן נוטלים חלק בפרוייקט.

ברשימה המתארכת שנותנתה היא "טיעונים נגד חיים על ALH84001 - רשימה הכוללת זיהום ביולוגי ארצי, ואף בעיות בטכניקות מעבדה, ההוכחות כנגד החיים על המטאוריט הצטברו בשיטתיות משך השנה האחרונה.



אך לצוות נאסי"א יש מדע חדש התומך בחיים על המטאוריט. "רוב הקהילה המדעית מאמינה כעת כי הקרבונטים נוצרו בטמפ' נמוכות", אומר אורט ניבסון ממרכז החלל ע"ש ג'ונסון, המטאוריט מכיל גם מגנטייט של מינרל ברזל חמצני, אשר מסוגל להצביע לא רק על היסטוריית טמפרטורת הסלע, אלא משמש גם כאינדיקטור ביולוגי. כאשר ניבסון מודה כי טמפ' גבוהות אכן נמצאות, "הן מהוות כ-5% עד 8% מן הכלל", כ-90% מצביעים על היווצרות מגנטייט ביולוגי. את עינו לביקורת בכל הטיעונים הללו, ניבסון וצוותו הוסיפו ביו-רצועות - כיסויי הגנה הנוצרים ע"י בקטריות בתנאי מחיה עינים לרשימת הטיעונים בעד החיים.

למרות שנתיים מרוכזות של מחקרים, שאלת החיים על ALH84001 נותרת פתוחה. תוך כדי כך, נמצא מטאוריט נוסף במדבר סהרה במשקל 2.2 ק"ג. זהו המטאוריט ה-13 שמוצאו טמאדים (מכאן שמו - Lucky 13). מחקרים במוסד מאקס-פלנק לכימיה אשר במיינץ, גרמניה, מראים כי הסלע הועף ממאדים לפני כמיליון שנה, ונחת בצמון אפריקה לפני כמה אלפי שנים. למידע נוסף, ראה גם כרך 24 גיליון 2 עמ' 66.

## הישג ראשון לפרוייקט 2 MASS

ב-9 במאי שנה זו, אסטרונומים מתחו בפרוייקט 2 Micron All Sky Survey הישרני במצפה אפאצ'י פוינט (Apache Point), שבמערב ניו-מקסיקו, במהלך 5 השנים הבאות יוטפו השמיים באמצעות טלסקופ אופטי 2.5 מטר,

במערכת השמש. מדענים מעריכים כי פעילות זו גרמה להיווצרות החריצים על פניו של איו. מצלמות החללית שלחו לכדור הארץ תמונה של גומה שקועה באורך 55 ק"מ ו-17 עד 20 ק"מ ברוחב, באזור סימור סולקוס (Schorr Sulcus) שעל הירח. בתחתית הגומה יש סחופת דמוית זרימה ברוחב של 7-10 ק"מ המתעקמת החוצה, כנראה במורד הזרם, לעבר חריצה נוספת בכיוון הנגדי מבנה זה מרמז כי פעילות וולקאנית יצרה תעלה אשר חוצבת לתוך פני השטח.

## הקרב על הסלע

לאחר שגורה משיטחו של טמאדים ע"י התרסקות אסטרואיד לפני כ-10 מיליון שנים, המטאוריט הידוע בשמו ALH84001, לאנטרקטיקה וחנה שם במשך 13,000 שנים, כמו פצצת זמן מדעית, עד שהתגלה בשנת 1984. הפצצה התמוצצה כאשר צוות מדענים של נאסי"א וכמה אוניברסיטאות ניסו, הצהירו באותה 11 שנה אחרי כי נמצאו עדויות לקיום מיקרובים מאדימיים על המטאוריט, שגודלו כגודל תפוח-אדמה. כמעט מיד הונחו הנחות לא ביולוגיות לגבי מקור העדויות שבמטאוריט המורר. מאמינים וספקנים כאחד הוציאו מחקרים חדשים כדי להבליט ולהשמיע את דעותיהם.



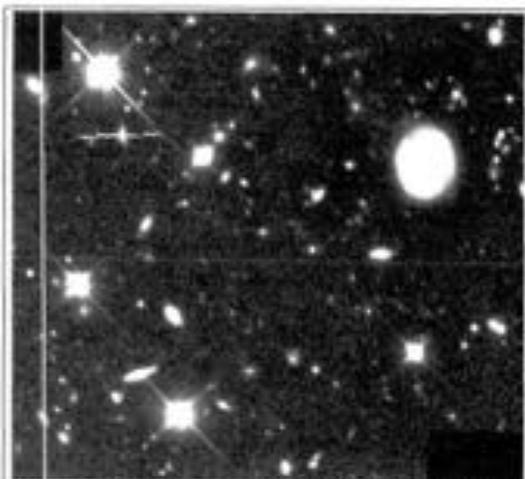
אד סקוט, גיאופיזיקאי מאוני הוואי, טען, יחד עם עמיתיו, כי החומר הביולוגי שנמצא על המטאוריט, נבייש פחמן בגוון זהב, נבע כתוצאה מהתנגשות בטמפ' עצומה, ולא מביולוגיה בטמפ' נמוכה. ניתוח של צורות והרכבי הקרבונטים, טוענים החוקרים, מראה כי הקרבונטים נוצרו כאשר טמפ' ולחץ אדירים כמו על פחמן להתמוסס אל תוך חריצי הסלע. סקוט אומר כי זהו טיעון נוסף

## ”האבל” מגביר חיפוש אחר גלקסיות רחוקות

תוך שהם מותחים את יכולתו האופטית של טלסקופ החלל ”האבל”, אסטרונומים הצליחו לחדור עמוק ביותר לתוך החלל, למקום בו גלקסיות חדשות מתגלות.

צילום בחשיפה ארוכה בתחום האינפרא-אדום נלקח בעזרת מכשיר ה-*Near Infrared NICMOS Camera and Multi Object Spectrometer* בצילום נתגלו הגלקסיות החיוורות ביותר שגילה המדע

אסטרונומים מאמינים, כי חלק מן הגלקסיות נמצאות במרחק 12 מיליארד שנות אור מכאן לתלוי לפי איזה מודל קוסמולוגי משתמשים - עובדה ההופכת אותן לגלקסיות הרחוקות והצעירות ביותר שנצפו אי-פעם. דור חדש ומשוכלל של טלסקופים ינסה לאשר את קביעת מרחק זה.



הגלקסיות הרחוקות בתמונה משולבת בין אור נראה ואינפרא אדום מהאבל

”NICMOS הסיר את הוילון השחור שחסם לנו את הנוף של עצמים רחוקים מאוד, וחשף שורה חדשה של שחקנים, אנו יכולים כיום ללמוד מיהם, ומה תפקידם. אנו עדיין מגלים גבולות חדשים”, אומר רוג'ר א. תומפסון מאוני אריזונה בטוקסון.

”זהו המבט הטנטטיבי הראשון שלנו ליקום הרחוק מאוד”, אומר אלן דרסלר ממזפצת קרנסי שבפסדינה, קליפורניה. ”מה שאנו רואים עשוי להיות החוליה הראשונה בהוצרות הגלקסיות. אך האור שמגיע מן העצמים הוא כה חיוור, עד שרק טלסקופים משוכללים יותר יוכלו לחקור את העניין בעתיד”.

אסטרונומיה, כרך 25 גיליון 3

”תצפית זו היא צעד גדול לעבר מילוי אחד מייעודיו העיקריים של ”האבל”: החיפוש אחר העצמים החיוורים והרחוקים ביותר ביקום”, מוסיף אד וויילר (Weiler), שותף בכיר בפרוייקט.

בתגלית נפרדת, מצא תומפסון גלקסיות אדומות חיוורות מתאימות לתנאים כחולים של אור שנראה התמונות קודמות. ”הדבר נראה שחלק מהאובייקטים שנראו בצילומים אופטיים קודמים כגלקסיות נפרדות, היו בעצם אזווי יגירת כוכבים חמים בגלקסיות ישנות הרבה יותר”, הוא אומר.

לפני תצפיות NICMOS, הוכתרה חשיפה ארוכה בת 10 ימים של טלסקופ החלל ”האבל” כחדירה העמוקה ביותר לחלל אי-פעם.

על האסטרונומים היה לחכות למצלמת האינפרא-אדום שתותקן על האבל, על מנת לחפש גלקסיות חדשות מעבר לגבול הנראה של היקום. היה צורך ברמישות האור האינפרא-אדום עקב ההשערה כי התפשטות היקום תמתח את אור הגלקסיות לאור האינפרא-אדום.

תומפסון בחר כמה חשיפות ארוכות של ”האבל” מהסדרה הקודמת, וחזר עליהן באינפרא-אדום. כאשר השווה בין השדות, מצא הרבה עצמים שלא נקלטו בצילומים הראשונים באור נראה.

תומפסון מדד בדיוק את ההסחה לאדום של הגלקסיות באור אינפרא-אדום. הוא גילה כי ההסחה של חלק מהגלקסיות מצביע על היותן רחוקות ביותר מכדור הארץ. רחוקות מספיק כדי שלא יתגלו בסריקה האופטית.

טלסקופ החלל של הדור הבא, המיועד לשיגור בשנת 2007, כבר יהיה מורגל בלקיחת חשיפות אינפרא-אדומות על מנת לאמת את מדידת המרחקים של מה שנראה כגלקסיות רחוקות (ראה כתבה בחוברת זו). הרזולוציה המשופרת שלו תאפשר למדענים לגלות מה צורתם של עצמים שתיקים אלו.

## מקור הטבעות של צדק

תמונות אחרונות שהגיעו מהחללית ”גלילאו” חשפו פרטים רבים במערכת הצדקית שלא נקלטו בעין העדשה של ”וויאג'ר” 20 שנה לפני-כן. נמצא כי לצדק 4 טבעות ולא 3, כפי שנחשב. הטבעות כוללות טבעת ראשית, הילה, ו-2 טבעות דקיקות מחוץ לטבעת הראשית (המכונות טבעת קורי העכביש). תצפיות גלילאו גם אישרו כי הטבעות אכן נוצרו מאחד הירחים של צדק.

גלילאו הראתה כי חלקיקים בטבעות הדקיקות שוקבים אחרי מסלוליהם של שניים מירחי צדק, אמליתאה וטבה הקטנים והפנימיים. לזוינים אלו מקיפים את צדק במסלול המתנווד כמו חישוק הולה-הופ סביב מותניו. עובי מסלול תנדויותיהן נמצא ביחס ישיר לעובי הטבעות הדקיקות. ”היות שלחלקיקים אותו מסלול וכיוון, הם נראה נוצרו מירחים”, אומר האסטרונום ג'וזף ברנס (Burns) מאוני קורנל.

הטבעות נוצרו כאשר אסטרואידים קטנים פגעו בירחים והציפו מהם אבק. כוח המשיכה של הירחים הקטנים לא היה חזק דיו כדי לאחזו באבק, ולכן סילונו חלקיקים ניסאו לחלל מרגע זה, כוח הכבידה של צדק אחז בהם, וגרר אותם למסלול הוריהם הירחיים.

אסטרונומים משערים כי הטבעת הראשית נוצרה באופן דומה, אך מחלקיקים אשר הושלכו מהירחים הקטנים והפנימיים אנדרסטי ומתיס.

משוער כי ההילה נוצרה בצורה שונה. חלקיקי האבק שמקיפים את צדק הנם בעלי מטען חשמלי, וכאשר הכוח האלקטרו מגנטי של כוכב הלכת מושך אותם, הם מגיבים בשדה מגנטי. בגבול היווצרות השדה החלקיקים ”קופצים” בצורה אנכית, תופעה זו יצרה הילה של אבק מפורז בעובי של יותר מ-24,000 ק”מ. לשם השוואה - הטבעת הראשית רוחבה 29 ק”מ בלבד.



”תמונות אלה מספקות את אחת מהתגליות החשובות בנושא המערכת הצדקית שגילתה לנו החללית ”גלילאו”, אומר האסטרונום מיכאל

## צביר כוכבים קרוב מסייע בהבנת היקום המוקדם

טלסקופ החלל עייש האבל (HST) לקח "צילום משמחתי" של כוכבים צעירים וסופר בהירים עוד כשהם בתוך רחם הגז שלהם. מחלקת היולדות השמימית, N81, ממוקמת 200,000 שנות אור משביל החלב, בתוך הענן המגלני הקטן (גלקסיית לויין קטנה ולא סדירה של שביל החלב). אלו כנראה הכוכבים המסיביים הצעירים ביותר שנצפו בגלקסיה הקרובה.

הרחם, או נכון יותר, הגלקסיה, מציעה הזדמנות מיוחדת להצצה קרובה על "יסערת האש" המולדת את לידת הכוכבים המסיביים, ושבהירותן הנה פי 300,000 מבהירות השמש שלנו. זיקוקים גלקטיים כאלו היו נמוצים הרבה יותר לפני כמה מיליארדי שנים, עוד בוסן שהיקום היה צעיר ורוב הכוכבים קיבלו את צורתם.

"הזדמנות זו נותנת לנו נקודת ראות חדשה לתוך השליטה של מכניקת החלקיקים להיווצרות כוכבים וגלקסיות רחוקות שהתקיימו מזמן". אומר מוחמד היידארי (Mehydari Malayeri) אשר עמד בראש הצוות המדעי שמענח את המידע שהתקבל מהמצלמה הפלנטרית רחבת השדה מס' 2 של "האבל".

Wide Field Planetary Camera 2

עקב העובדה כי כוכבים אלה חסרים ביסודות כבדים, הם מתפתחים כמו הכוכבים הראשונים ביקום, אשר היו עשויים כמעט לחלוטין מהיסודות הראשוניים, מימן והליום, שנוצרו במפץ הגדול. הענן המגלני הקטן משמש כמעבדה ייחודית ללימוד היווצרות כוכבים ביקום ההתחלתי, מפני שהיא הגלקסיה הקרובה ביותר אלינו הנאכלסת כוכבים "חסרי ברזל". נתון זה הופך אותה מושלמת לתצפיות.

תצפיות אחרות, מראות שכוכבים מסיביים יכולים להיווצר בצבירים. "כתוצאה מכך הגיוני יהיה כי חלקם יהיו קשורים למערכות כמולות ואף משולשות". אומר מוחמד. "המערכות מרובות הכוכבים ישפיעו

בצורה ניכרת על הכוכבים שבתו, עקב פליטת חומר רב לחלל".



כוכב מסוג וולף ראיט כפי שצולם ע"י טלסקופ האבל. עקב הרוח הכוכבית החזקה הוא יוצר סביבו ערפילית.

קצב גבוה כזה של פליטת חומר לחלל מקבל תוקף בתצולמי האבל, החושפים צורות חקוקות במעטפת הנו של הערפילית. צורות אלו נגרמו, כנראה, כתוצאה של התפרצויות חומר דרמטיות מסוג זה אל קירות הערפילית, בהם נוצרו גלי ההלם. "הדבר מעיד על סביבה מערבולתית מאוד, אשר אופיינית למדי באזורי היווצרות כוכבים צעירים", מוסיף מוחמד.

הוא מאמין, כי אחד מתושבי הצביר

הנו כוכב נדיר בקוצר חייו ובחומס (Wolff 450,000 K, כוכב וולף ראיט) שמו. כוכב זה מייצג תקופת מעבר אלימה במהלך חייו של כוכב לקראת מותו - התמוצות סופר-נוכה.

"אם הדבר יחוסס בתצפיות האבל הבאות, ממצא זה ישפיע רבות על מודלים בהתפתחות כוכבים". אומר מוחמד. "זאת מפני שהמועמד וולף ראיט חוזר יותר מכוכבים דומים בגלקסיה שלנו, בניגוד לתחזיות המודלים בנושא". בקרוב יפורסם מחקרם של מוחמד וצוותו במגזין האירופאי "ASTRONOMY & ASTROPHYSICS".

יכולת ההפרדה של "האבל" מאפשרת לאסטרונומים להצביע בדיוק על 50 כוכבים נפרדים המאוכלסים בצפיפות בלב הערפילית בקוטר 10 שנות אור - קצת יותר מפי שתיים המרחק מן השמש לכוכב הקרוב אליה ביותר. כוכבים הקרובים ביותר זה לזה בעביר היום היום כ-1/3 שנת אור אחד מן השני. לפני תצפיות "האבל" N81 סומן בתור גוש מפני שלא ניתן היה לומר עליו משהו מסף מתצפיות שהתבצעו על פני כדור הארץ עוד על צבירים, ראה מאמר בגליון זה.



אזור יצירת כוכבים N81 שבענן המגלני הקטן. בתוך הערפילית ניתן לראות את הכוכבים סמוך מאוד ללידתם.

## קוואזרים על הכוונת

קבוצת אסטרונומים בינלאומית העשה שימוש ברשת רדיו-טלסקופים, הפיקה תמונות חסרות תקדים של קוואזרים - גופים אנרגטיים מאוד, המרוחקים מאתנו מיליארדי שנות אור. ההשערה היא כי גופים אלו מונעים בכוח של חורים שחורים מסיביים ביותר.

הפרוייקט, שהוכתר בשם *The Very Long Baseline Interferometry Space Observatory Program*, מרשת 40 רדיו-טלסקופים מימן, ארזניב, קנה, אוסטרליה, הולנד, רוסיה ושוודיה. אך היד עוד נטויה. הרשת כוללת לווין ימני, עליו רדיו-טלסקופ בקוטר 8 מטרים, שנקרא *the Highly Advanced Laboratory for Communication and Astronomy*, ובקיצור *HALCA*.

יחדיו, טלסקופי הרדיו הלכו יוצרים שטח קליטה גדול יותר מכדור הארץ. למעשה, יכולתו של מערך בסדר גודל כזה, האפשר לו לקרוא את האותיות ממאמר זה מרחוק - קצת פחות מ-10,000 ק"מ.

כאשר הצוות הבינלאומי החל להיגזר במערך כדי להתמקד בקוואזרים, הוא הצליח להפיק תמונות ממרחקות של אונות - מבנים כדורים בקצה סילונים של חלקיקים תת-אטומיים. חלקיקים אלו מוטטים מהמרכז הגלקטי החוצה מן הקוואר במהירות האור. סילונים אלו יכולים לשרוד משך כמעט מיליון שנות אור, או 100 מיליון פעמים קוטר הגלקסיה שלנו.

התמונות מראות כי הסילונים מפיקים טמפי גבוהות מאוד, מעבר למיליון מעלות פרנהייט. מה שיוצר את התופעה הזו, יהיה נח שיתיה, חייב להיות לפחות דומה לחור שחור, אומר חבר הצוות דייוויד מאיר (Meier) ממעבדת JPL של נאס"א.

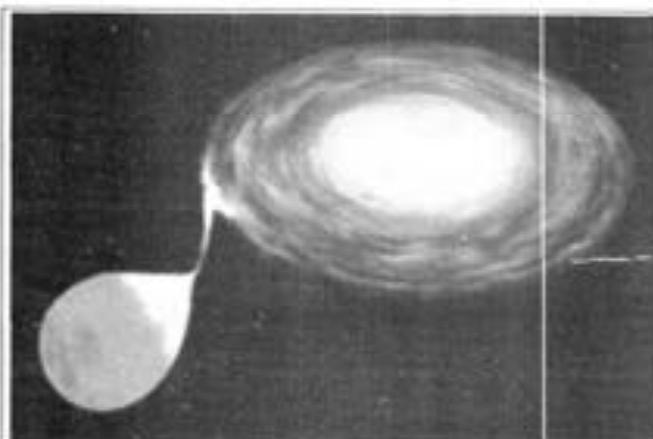
כאשר אסטרונומים במרייקט ממשיכים לצפות בקוואזרים, הם יודעים כי הם עדיין ממש רחוקים מלראות חור שחור, אך כפי שמאיר מציין "שום טכניקה אחרת לא מאפשרת לנו לצפות כל-כך רחוק עד שאנו ממש רואים את התנועה

שנוצרת ע"י חור שחור - (A.C. מתרחשת".

## קניבל כוכבי

כנראה שהתגלתה החוליה החסרה שבין כוכב נייטרונים הפולט בעיקר רנטגן לכוכב נייטרונים הסובב סביב צירו ומלט בעיקר גלי רדיו.

הכוכב החדש מסוג מלסר-רנטגן, מצוין בשם "SAX J1808.4-3658". כוכב זה הנביר את קצב סיבובו סביב צירו על חשבון שותף קרוב ממנו שאב גזים אל פני הקרקע שלו. בתהליך שנקרא "ספיחה" זהו הפולסר בעל הסיבוב המהיר ביותר מסוגו הידוע כיום, SAX מסתובב בקצב אדיר של 400 פעמים בשנייה וזמן סיבוב אחד סביב צירו - מה שמכונה "יטמה" - 2.5 אלפיות השנייה. זהו הפולסר הראשון המונע בכוח ה-"ספיחה" פולסרי המילי-שניה הם כוכבי נייטרונים



תהליך ספיחת חומר ע"י כוכב נייטרונים מכוכב רגיל. כוכב הנייטרונים הקוטמקטי מושך חומר מהכוכב הרגיל (בעזרת בלוו). החומר מטטבר בדיסקת ספיחה.

צפופים וקטנים מאוד (גודל ערך) אחר מסתובבים סביב צירם במהירויות גבוהות רובם מסיימים סביב אחד במחוז מ-8 אלפיות השניה. פעולת הספיחה מתרחשת כאשר גז מכוכב קרוב נמשך לתוך שדה הכבידה של הפולסר.

שני צוותים מתחרים עשו שימוש בחללית "רוז" (*Rosetta X-ray Timing Explorer*) של נאס"א על מנת להגיע לאותה תגלית הצוות הראשון, בראשות ד"ר מיכאל ואן דר קליס ורודי ווינאבס (*Wijnabts*) מאוני אמסטרדם, הולנד, גילו את הפולסר ומדדו את פרק הזמן שבין פעימות הרדיו שלו, זאת על מנת למדוד את זמני סיבובו הצוות השני, בראשות ד"ר דיטמו ציקרבטי (*Dieter Chakrabarty*) וד"ר

אדוארד סטרומייר, מהמכון לטכנולוגיה במסצ'וסטס (MIT), קיימברידג', מסצ'וסטס, גילה כי הכוכב גם נע בהקפה בת שתיים סביב ציר, ומדד את גודלה. הנתון שמתפרסם במגזין "NATURE" ב-23/7/98, מעיד על בני-זוג בלתי נראה של הפולסר.

"אסטרונומים קיימים שיערו מזה זמן רב כי הסיבה היחידה שפולסרי מילי שניות קיימים בכלל, היא שהם מקבלים את תנופתם מצבירת חומר מכוכב שותף, אך זוהי הפעם היחידה שאחד מהם "נתפס על חס"י. זהו הגביע הקדוש של אסטרונומית הרנטגן, והוא נמצא סוף-סוף", אומר ואן דר קליס.

"קניבל כוכבי זה הוא מסעדת מזון ותיקה", מוסיף ציקרבטי, "אנו מעריכים שהוא מושך חומר משותמו כבר בין 100 מיליון למיליארד שנים. במשך הזמן השותף איבד כבר יותר מחצי מאסתו. כרגע, מסת השותף היא כ-15% מזו של השמש.

אולם, לא כל חוסר הנסה של השותף נובע מן הספיחה. "פולסרי מילי שניות עשויים לרוק מעליהם חומר שאינם יכולים לתפוס ע"י "איזוי" השותף בקרני חלקיקים וקרני רנטגן. גז הנמשך ונפל על פני השטח של הפולסר, מתחמם ומלט קרני X. קרני ה-X מעיפות חומר מן השותף. בסוף כל מהלך הפולסר פולט, ככל הנראה, קרניים של חלקיקים תת-אטומיים במהירויות גבוהות, הממשיכות להעיף חומר מעל פני השותף. במשך מיליארד שנים הפצצה נמשכת וזו יכולה לגרום לשותף להיעלם לתמיד", אומר ד"ר טוד

סטרומייר (*Strohmayer*) ממכון גודארד לתעופה וחלל שבגרינבלט, מדיסון.

"שחיקה זו של קרני X יכולה להסביר מדוע פולסרי מילישניות נמצאים לבדם, למרות העובדה שהיה להם צורך בשותף על מנת להפוך לפולסרים מסוג זה. ע"י איזוי השותף הם מסתירים את הראיה. זו דוגמה יקומית לפע המושלם", אומר סטרומייר.

"במקרה הייחודי שכאן, אנו מוצאים שכמות קרני ה-X של הפולסר חלשה במקצת כאשר הוא בצד הרחוק מאתנו, בהקפתו סביב השותף. הדבר נגרם כנראה כתוצאה של "ערפילי" של חומר, המועף לעבר שטח הפולסר - עדות ישירה של

הפולסר החדש עוזר למדענים לפתור תעלומה. לפני התגלית היו ידועות שתי אוכלוסיות של כוכבי נייטרונים בעלי שדות מגנטיים חלשות יחסית הייתה אוכלוסיית כוכבי הנייטרונים הזקנים, אשר מקור קרני ה-X שלהם נבע מחומר ש"יגבוי" משתפיהם. קבוצה נוספת הייתה כוכבי נייטרונים שפליטות גלי הרדיו שלהם הראו כי הם סובבים במהירות רבה שיוזרת בהדרגה. מדענים חשדו שקיים קשר בין שתי הקבוצות, אך התגלית האחרונה של פולסר שפולט קרני X וגם מסתובב במהירות רבה סביב צירו, מספקת את החוליה החסרה. למרות שהשדות המגנטיים של שני כוכבי הנייטרונים בקטגוריות הנ"ל חזקה מזו של כדור הארץ, הם נמוכים יחסית משאר הפולסרים. מדענים משערים כי השדה המגנטי החלש, הוא שמאפשר לתהליך הספיחה לסובב את הכוכב מהר כל-כך. אחרי שלב הספיחה פליטות קרני ה-X מהפולסר נפסקות מפני שכבר אין חומר הנופל על פני שטח הפולסר. מהירות הסיבוב מתחילה לרדת בנקודה זו, משום שהחומר שהיה אחראי על הסיבוב הפסיק להגיע

## תאבונה של הגלקסיה

גלקסיית שביל החלב יש מוניטין ידוע ומבוסס של קניבליזם, אך מסתבר כי ענן המינן שנמשך מתוך הגלקסיות שכסביבתה אינו מצביע על לחיכה, אלא על מציאת זמן. הגלקסיות האלו נקדשות לגורים.

אסטרונומים התדיינו על טבע הרגלי האכילה של הגלקסיה שלנו, מאז התגלו סילונו הגז הנשאבים מהעננים המגנליים לתוך שביל החלב, לפני 35 שנים. זרם שני של מימן, הנשאב מגלקסיות הלועזן של שביל החלב, התגלה לא מוסמן בעזרת טלסקופ הרדיו פארקס (PARKES) האוסטרלי, שקוטר צלחתו הוא 65 מטר. תגלית זו עשויה לסיים את הדיון.

"בתמונה אחת הגלקסיה שלנו קניבליזם, רעה ומפלצתית. בתמונה שניה הגלקסיה הומניטרית, והיא מושכת את הגז בעדינות יתרה". אומר בראד גיבסון מטעפה הר הסטרומלו באוסטרליה, חלק מצוות בינלאומי של אסטרונומים בכנס באוגוסט שנערך בקנברה.

במודל ה"הומניטרי", המכונה "הפשיטה בלתי קלה", זרם אחד של גז נגד החוצה מאחורי העננים המגנליים כאשר הם חוצים את הילתה התמה של שביל החלב. "תיאוריה זו יכולה להסביר את הזרם הנובע מאחורי העננים, אך לא את זה הנובע מקדמתם". אומרת מארי פוטמן (Putnam), דוקטורנטית של גיבסון, אשר גילתה את הזרם הקדמי. "הדבר ייראה כאילו השתמטת במינינו שיצר, וחלק משיעריך יימשך אליו".

המודל "האכזרי", המכונה בשם "כוח הגיאות" דורש הימצאות זרם נוסף של גז. בצורה דומה לכך שהירח מרים את גלי הים מעל כדור הארץ בזמן גאות, כך נורדת שביל החלב את הצד הקרוב אליה של העננים המגנליים במעט יותר כוח מן הצדדים הרחוקים. כך נדחס כדור גז וכוכבים אל צורת סיוור בתוך העננים. זו בורח משני צדי הסיוור בצורה ברורה, היכן שכוחות הגרוויטציה הם המועטים ביותר.

מציאת הזרם השני "הנחיתה מכת מוות על המודל ההומניטרי", אומרת פוטמן. הדבר גם מרמז על השוואה כי גלקסיית שביל החלב חייבת חלק מגדולתה לגלקסיות שכנות. שאולי טרפה במשך השנים בצורת יניקה אכזרית של גזים וכוכבים לתוך דיסקת הגז המסתובבת שלה.

## הירח, אחינו התאום

תגלית חדשה של החללית לונר פרוספקטור קבעה כמעט חד משמעית כי מוצאו של הירח מהתנגשות גוף גדול בכדור הארץ. תגלית זו שוללת את ההנחה כי כדור הארץ והירח נוצרו ביחד מאותה עננה קדומה. על פי מודל ההתנגשות הגדולה, גוף בגודל של מאדים התנגש בכדור הארץ לפני מיליארדי שנים. כוח ההתנגשות קרע חלק מקרום כדור הארץ והעיף אותו למסלול בחלל, שם הוא התבטש לגוש אחד



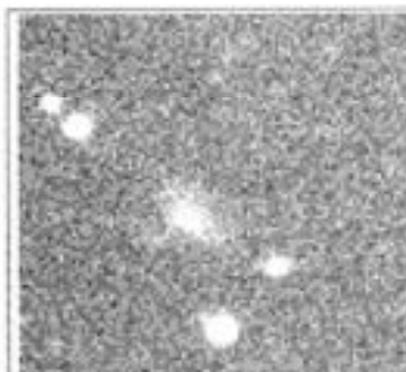
הולדת הירח לפני מיליארדי שנים על פי התרשמות אומן

שלו את קוראים הירח.

לונר פרוספקטור קבעה כי מסת גרעין הירח היא לא יותר מ-4% מהמסה הכוללת של הירח, וכנראה אף פחות מ-2%. לשם השוואה, גרעינו של כדור הארץ מכיל כ-30% מהמסה הכוללת שלו. אם נוצרו הירח וכדור הארץ בו זמנית, הינו מצפים למצוא אותו יחס של מסת גרעין אך כאשר נקרע הירח מקרום כדור הארץ, העני ביסודות כבדים כמו ברזל וניקל, הוא עף לחלל עם כמות קטנה של יסודות אלו. התגלית של לונר פרוספקטור מאשרת בכך את המודל.

## צידי אסטרואידיים מגלים הפתעה

אסטרונומים המחפשים אחר אסטרואידיים בסכנת התנגשות בכדור הארץ, נתקלו בתופעה בלתי מיוקת אך מרהיבה-סופרנובה.



הגלקסיה לפני ההתפרצות. נראית כגוש ערפילי במרכז התמונה.



הגלקסיה בזמן ההתפרצות. הסופרנובה נראית ככוכב מיטין למרכז הגלקסיה

בזמן חיפוש שגרתי אחר אסטרואידיים נתקלו האסטרונומים בכוכב חדש, שהופיע בתוך גלקסיה המרוחקת כ-650 מיליון שנות אור מאתנו. הסופרנובה, שכייתה הוא 1999am, היא מסוג Ia. סופרנובה מסוג Ia נוצרת כאשר ננס לבן

העיקרי הוא לפרוש מפרש אלומיניום לכיוון השמש, ולתת לאור זרוח השמש לדחוף את החללית לעדה. אך תנועה זו איטית מדי. ד"ר רוברט מרוורד מציע "לעזור" לכוחות הטבע ע"י דחיפת החללית בעזרת גלי לייזר או מיקרו מכדור הארץ.

מרוורד הציע להשתמש בחוטי אלומיניום סופר מוליכים בכדי לקלוט את המוטונים, ולפלוט אותם ובכך ליצור דחף. דבר זה ידחוף את החללית מכדור הארץ לנפטון במהירות של 1/20 ממהירות האור ולהגיע לשם תוך שבוע. אך מבנה כזה הוא חלש מידי ועתיד להתפרק. כעת מציע מרוורד להשתמש במפרש שעשוי מפחמן, שיקלוט את המוטונים שידחפו אותו, ויפלוט אנרגיה בצורת קרינה תת אדומה.

למשימות מחוץ למערכת השמש ישתמשו במפרש משולב. צימוי אלומיניום, בעובי 70 אטומים בלבד, יוציא את החללית ממסלול של כדור הארץ ויוליך אותה לעבר השמש, למסלול החטאה, בעת המעבר ליד השמש תתאדה שכבת האלומיניום. שכבת הפחמן תקלוט את אור השמש ותחמם לטמפרטורה של K2000, ותפלוט אותו כרנה תת אדומה. דבר זה יאזן אותה פי 14 מתאוצת כדור הארץ. לשם השוואה, תאוצת מעבורת החלל בעת ההמראה היא 3 G.



**בועה מגנטית-התנגשות רוח השמש בשדה המגנטי תאיץ**

הצעה אחרת, של ד"ר ווינגלי מאוני וושינגטון, היא מפרש מגנטי. הרעיון הוא, שבלחיצת כמתור, ניתן להפעיל שדה מגנטי מסביב לחללית, בדומה לזה של כדור הארץ. מפרש הוא מוגבל בגודלו. לכן מציע ווינגלי להשתמש בגז מיון (פלסמה), שיצור שדה מגנטי מסביב לחללית בקוטר של 30-60 ק"מ. בקבוק פלסמה של הליום ששוקל 3 ק"ג, יספיק ליצור בועה מגנטית לשלושה חודשים. דבר כזה יתן לחללית דחף השווה לפי 20 מזה של מנוע מעבורת החלל.

האקלים של מאדים בימים האחרונים מרשה החללית את האנטנה הראשית שלה, ובעקבות כך היא תשלח לכדור הארץ זרם של תמונות באיכות מצויינת ובהפרדה גבוהה.

עוד על המשימות העתידיות למאדים, ראה כתבה בגליון זה.

## דורות של כוכבים בערפילית הטרוטולה

במרכזו של אזור יצירת הכוכבים המורה ביותר ביקום הקרוב אלינו נמצא צביר של כוכבים בהירים ומסיביים בשם "הודני 301". הצביר נמצא בתוך שכנתנו הקרובה, גלקסיית הענן המגלני הגדול, ונראה בפינה הימנית תחתונה של התמונה. (בשער)

צביר זה אינו הצביר הבהיר ביותר, הצעיר ביותר או הצפוף ביותר בערפילית הטרוטולה. כבוד זה מגיע לצביר R136. למעשה, הודני 301 הוא כמעט פי 10 יותר מבוגר מ-R136.

אך לפעמים לגיל מבוגר יש יתרונות. כוכבים רבים בהודני 301 כל כך זקנים, עד כי חלקם כבר התמוצצו והפכו לסופרנובות. מיצוץ זה מעיף לאזורים שמסביב חומר במהירות של 450 קמ"ש. חומר זה מתנגש בערפילית שמסביבו, ויוצר גלי הלם, ודוחס את הגז לעמודים, כפי הנראה בפינה השמאלית עליונה של התמונה.

הודני 301 מכיל בתוכו שלושה על ענקים אדומים, כוכבים הקרובים לסוף חייהם ועתידים להתמוצץ בסופרנובה. בנוסף לכך, ניתן לראות במרכז התמונה כדורי גז ועמודי אבק, היכן שכוכבים צעירים נולדים היום, כחלק מתהליך יצירת כוכבים כללי השובר על ערפילית הטרוטולה.

## לשוט אל הכוכבים

האם זה אפשרי להגיע לפלוטו בשבוע, ללא שימוש כלל בדלק? מסתבר שכן. הבעיה העיקרית בתחבורת חלל כיום היא, שכדי להגיע רחוק צריך הרבה דלק, והדלק מהווה את רוב משקל החללית ובכך מאיט אותה.

בעתיד הלא רחוק תשתנה לגמרי צורת ההנעה בחלל. במקום טיל שישתמש בדלק, נשוט בתוך ומחוץ למערכת השמש במהירויות גבוהות בעזרת מפרשים מיוחדים. הרעיון

במערכת כוכבים כמולה סופח חומר מכן זוג החומר מצטבר על שפת הנגס הלבן בדיסקת ספיחה, ועלול להגיע למצב בו הנגס הלבן לא יוכל לעמוד בעומס לאחר סדרה של התכווצויות והתרחבויות. בניגוד הנגס, הוא מתמוצץ לחלוטין בעצמה השווה למאות מיליארדים מעצמת השמש.

הסופרנובה התגלתה באמצעות טלסקופ ירי.

## מקפת מתחילה במשימת המיפוי

המקפת לחקר מאדים - Mars Global Surveyor, החלה במשימת המיפוי שלה במשימה זו תצלם החללית את פני מאדים בכוסר הפרדה של 3 מטרים לניקסל, רוולוציה שלא נראתה עד היום. הדמות הראשונה שנתקלה בה הייתה מכתש המצופף השמח.

התמונה המפתיעה התקבלה, כאשר החללית צילמה שלג בשפת מכתש. עכשיו שורר קיץ בחצי הכדור הצפוני של מאדים, ולכן שלג המצטבר, שלא באזור הקטבים הוא מראה נדיר.



**שלג או כפור בשפת המכתש במאדים. הפרטים בתמונה הימנית הם בגודל של 6 מ'.**

בחודשים הקרובים יגיע למאדים שתי חלליות נוספות. אחת תנחת עליו באזור הקוטב הדרומי, ובדומה לפאטיפינדר, תישא אותה רכב מיניאטורי. השניה חשאר במסלול ותפקידה העיקרי הוא ניטור

# עתיד מתוק

מורן נחשוני

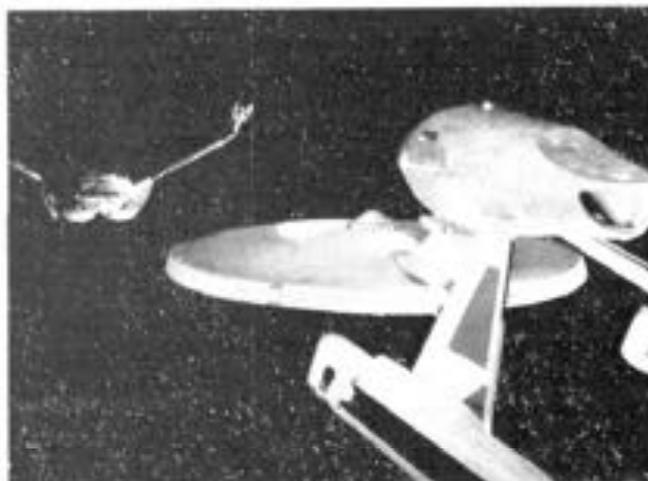
אחרים; כן- יש סיכוי למצוא חיים בעתיד הקרוב, כן- האדם עתיד להקים מושבה על מאדים, וכן- אנו יודעים מהו חור שחור ומהו גודל היקום ונילו. אך עם כל התגליות הללו ישנת חידות רבות שלא נפתרו.

לא רחוק היום שבו יאספו בני אדם לסוף שבוע בירח או לטיול במשרכת השמש. לא רחוק היום בו נמצא חיים תבוטניים מסביבנו וניצור קשרי תרבות עם גוים אחרים. התמונה שמימין לא חייבת להיות שייכת לאגף המדע הבידיוני בספרית הוידאו הקרובה לביתכם. זה יכול להיות העתיד של כולנו.

הטכנולוגיה מתקדמת בצעדי ענק. לפני 50 שנה מחשב היה בגודל של אולם ועבד ע"י שפורפרות. היום בכל בית שני בישראל ישנו מחשב חזק פי כמה מהמחשבים הענקים של פעם. שיתוף פעולה בין מדינות, לא רק בתחום מדעי החלל, הוא דבר שלא נראה הרבה בזמן המלחמה הקרה. בעזרת רשת האינטרנט נעשה העולם כבר קטן. מדענים מיפן עובדים עם עמיתיהם מארה"ב. מדענים רוסים עם אוסטרלים. חילופים של רעיונות, אמצעים ומשאבים חוסך כסף רב ותורם הרבה יותר למדינות. אל לנו לשכוח את תוצרי הלואי החשובים- פיתוח טכנולוגי, פיתוח של תרומות חדשות, אמצעי יצור חדשים ועוד ועוד. התחרות שקידמה את הטכנולוגיה לפני 30 שנה, פיתחה את מקומה לשיתוף פעולה החיוני ביותר למשך הפיתוח.

שתי תוכניות מתבלטות: במשימות למשרכת השמש מתבלטת תכנית דיסקברי, ובמשימות האסטרופיסיקה מתבלטת תכנית אוריניון. על כל המשימות הקשורות אליהן ועל אלו שלא- תוכלו לקרוא מסקירה שלפניכם.

העידן הבא בחלל יהיה מרתק בהרבה מקודמיו. בעזרת חלליות ולווינים יקבלו מדעני העולם מידע בהיקף חסר תקדים על הנעשה במערכת השמש, בכוכבים הסכונים לנו בגלקסיית שביל החלב וביקום הגדול ככלל. למרות הקיצוצים המחריפים בתקציב סוכנויות החלל ברחבי העולם, הצליחו נאסא ושותפותיה ליצור תוכניות חלל טובות יותר, זולות יותר ומהירות יותר. הדוגמה הטובה ביותר היא סדרת חלליות "דיסקברי", הראשונה התכנית שמטרתה להשיג "כמה שיותר בכמה שפחות".



ככתבה זו אסקור את משימות החלל שכבר פועלות, שיפעלו בעתיד ואף את אלו שהן עדיין רק בגדר חלום למדעני ומהנדסי נאסא. בגלל הקיצוצים בתקציב נאסא כמעט ולא נראה תכניות גרנדיוזיות שעלותן מיליארדי דולרים, אלא משימות ממוקדות בעלות נמוכה.

לפני שנים מעטות, בתקופה בה התחלתי להדריך במצפה הכוכבים נשאלתי, ע"י מבקרים, שאלות רבות בסגנון: האם יש פלוטות אחרות מחוץ למערכת השמש? האם יש סיכוי למצוא חיים בעתיד הקרוב? מהם חורים שחורים? האם האדם יקים מושבה בכוכב לכת אחר? מהו גודל היקום ומה גילו? באותה תקופה לא היו לי תשובות ברורות לענות לשואלים. בתקופה קצרה של חמש שנים בלבד השתנו פני כל האסטרונומיה. בעזרת טלסקופ החלל האבל, חלליות כמו גלילאו, קלמנטין ולונר פרוספקטור (לירח) וטלסקופים לכל גוויי הספקטרום, קיבלה האנושות מידע מדויק הרבה יותר על הסובב אותנו. כן-יש כוכבי לכת סיבי כוכבים

לפני שנים מעטות, בתקופה בה התחלתי להדריך במצפה הכוכבים נשאלתי, ע"י מבקרים, שאלות רבות בסגנון: האם יש פלוטות אחרות מחוץ למערכת השמש? האם יש סיכוי למצוא חיים בעתיד הקרוב? מהם חורים שחורים? האם האדם יקים מושבה בכוכב לכת אחר? מהו גודל היקום ומה גילו? באותה תקופה לא היו לי תשובות ברורות לענות לשואלים. בתקופה קצרה של חמש שנים בלבד השתנו פני כל האסטרונומיה. בעזרת טלסקופ החלל האבל, חלליות כמו גלילאו, קלמנטין ולונר פרוספקטור (לירח) וטלסקופים לכל גוויי הספקטרום, קיבלה האנושות מידע מדויק הרבה יותר על הסובב אותנו. כן-יש כוכבי לכת סיבי כוכבים

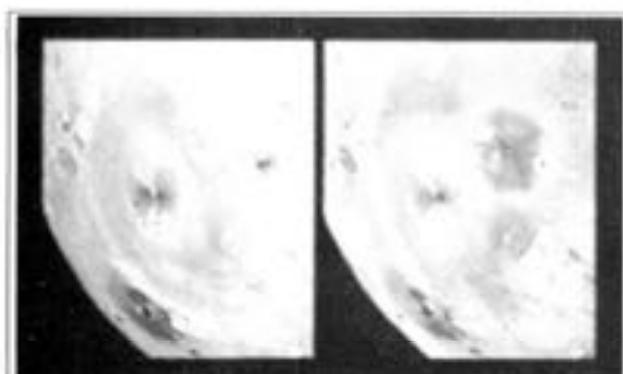
## משימות למערכת השמש

ברגעים אלו פועלות כתשע חלליות בתחום מערכת השמש ובעשור הבא יצטרפו אליהן כמה נוספות. משימות אלו עתידות ליצור מהפכה בכל תפיסתנו את מערכת השמש מקורותיה והתפתחותה. רוב העשייה בתחום מערכת השמש פועלת במסגרת סדרת משימות דיסקברי. מטרת תכנית דיסקברי, עקב הקיצוצים בתקציב, היא לפתח חלליות יותר קטנות, יעילות ובטוחות לחקר מערכת השמש. תקציב משימה בתכנית דיסקברי עומד על 150 מיליון דולר, סכום אפסי לעומת משימות בעבר, ובזמן פיתוח נמוך. בתכנית זו משתפת נאסא גורמים פרטיים רבים כמו אוניברסיטאות ומכוני מחקר בתמורה לזכויות מחקר, בכדי להויל את העלויות מכספי משלם המיסים האמריקני. נאסא גם משתפת בפיתוח, מחקר, ותפעול שותף את סוכנויות החלל הגדולות בעולם.

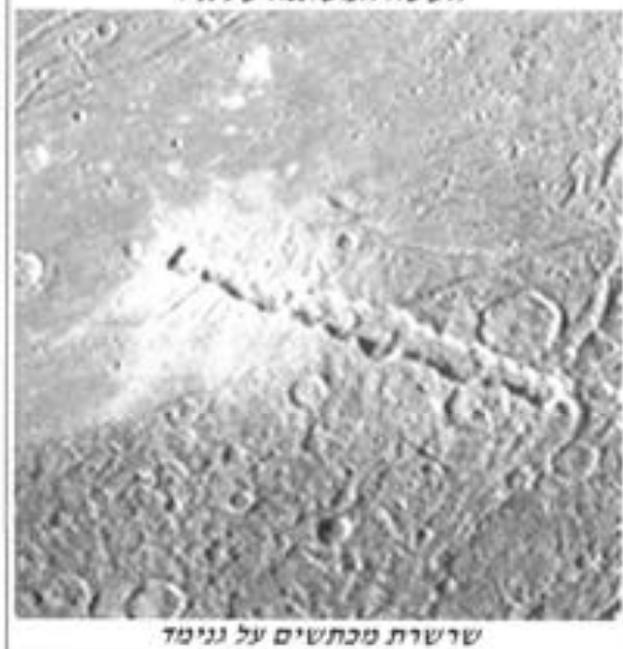
**חלליות וויאג'ר ששוגרו לפני יותר מ-20 שנה, עדיין פועלות, וימשיכו לשלוח מידע עד שנת 2020**

חלליות וויאג'ר I ו-II - למרות גילן המופלג ממשיכות חלליות וויאג'ר לשלוח לכדור הארץ מידע על מקום הימצאותן בגבולותיה החיצוניים של מערכת השמש. משימתן העיקרית החלה עם שיגורן ב-1977 לנבר צדק, שבתאי (I II), אורנוס ונפטון (II) והושלמה ב-1989. או החלה המשימה הבינוככבית (VIM) שמטרתה לקבוע את גבולותיה החיצוניים של מערכת השמש. שתי החלליות נמצאות כרגע באזור הנשלט ע"י השדה המגנטי של השמש וחלקיקי הפלסמה מרוח השמש. מאמינים כי במרחק מסוים מהשמש (בין 80 ל-90 יחידות אסטרונומיות) מואטת רוח השמש ממהירות על קולית לתת קולית ע"י הרוח הבינוככבית (Termination Shock). וויאג'ר I אמורה להגיע לאזור בין

השמש. באחד מהם הנקרא פילאן מטרה הגיע הטמפרטורה ל-2000 מעלות K.



השטח המשתנה של איו



שרשרת מכתשים על גנימד

תמונות חדשות של גנימד, הירח הגדול ביותר במערכת השמש, מגלות מכתשים עם צורות מוזרות, עדויות לפעילות טקטונית וסימנים לורימות וולקניות של קרח. נמצאה, כמו כן, שרשרת מכתשים שנגרמה כנראה ע"י כוכב שביט מרוסק, כדוגמת שביט שומקר לוי ב-1994. גלילאו שופכת אור גם על הפלנטה הענקית צדק. מסתבר שמערכת הטבעות של צדק נוצרת ע"י אבק שנזרק למסלול כאשר מטאוריטים בינפלנטריים (מתוך מערכת השמש) מתנגשים בארבעת הירחים הפנימיים. מסתבר גם, שהטבעת החיצונית מורכבת משתי טבעות שונות המסתירות אחת את השנייה. בעזרת טלסקופ החלל האבל, תצפיות מהקרקע וגלילאו גילו המדענים שתי סדרות לבנות ענקיות שהתמזגו ויצרו סדרה בגודל כדור הארץ. לאחר סיום המפגשים עם אירופה עברה גלילאו לסדרה עם קליסטו ואחריו איו.

**קסיני** - לאחר שיגור מוצלח ב-15 לאוקטובר 97 יצאה החללית בדרכה הארוכה לעבר שבתאי. קסיני היא אחד הפרוייקטים השאפתניים והמורכבים ביותר שידעה האנושות. החללית מחולקת לשניים - הלווין, שסובב סביב שבתאי; והגשושית, הקרויה עייש היונגס, שאמורה לנחות על הירח הענק טיטן. קסיני היא אחת החלליות הגדולות והכבדות שאי פעם יוצרו: הלווין לבדו שוקל 2150 ק"ג, והמשקל הכולל בשעת השיגור היה 5600 ק"ג (ביחד עם היונגס, מתאם רכב שיגור ודלק). גובהה כ-6.8 מ' ורוחבה 4- מ'. בחללית ישנם 1630 מעגלים, 22,000 חיבורי חשמל ו-14 ק"מ של חוטים.

שנים 2000 ל-2001. לאחר מכן תעבור לאזור הנשלט ע"י השדה המגנטי של השמש וחלקיקים מרוח השמש (*Heliosheath*). סיומו של חלק זה יגיע כאשר החלליות יעברו בהליופאוזה (*Helioopause*), שהוא הגבול של השפעת השדה המגנטי של השמש. לאחר שלב זה יגינו שלב החקר הבינכוכבי, שהוא המטרה הסופית של פרויקט VIM. מטרתם של שבעת המכשירים המדעיים הפועלים כעת בחלליות וויאג'ר היא לחקור את חוזקו וכיוונו של השדה המגנטי של השמש, הרכב, כיוון ואנרגיה שלרוח השמש וקרוניים קוסמיים בינכוכביים; חוזקם של שידורי רדיו שמקורן בהליופאוזה; ופיוורו של המימן בבולות החיצוניים.

בכדי לקלוט את האות החלש ששלחות חלליות וויאג'ר ממרחק של מעל 70 י"א, משתמשים מדעני נאסא ברשת החלל העמוק (DSN) - טלסקופ רדיו בקוטר 34 מטר הממוקם בארה"ב, ספרד ואוסטרליה. הכורים הנרעיוניים הקטנים שמספקים חשמל למערכות החלליות יפעלו עד שנת 2020. ברגע זה תיפסק למרי משימת חלליות וויאג'ר.

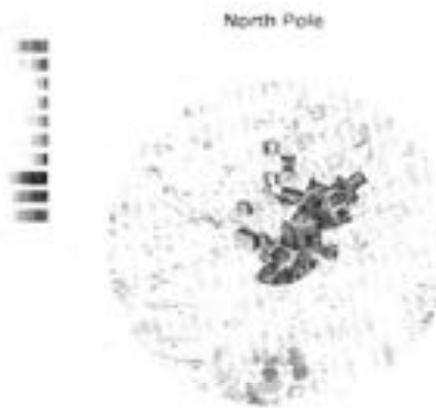
**יוליסס** - החללית יוליסס שוגרה לעבר השמש כבר באוקטובר 1990, אך משימתה ממשיכה. לאחר שעברה את צדק בפברואר 92, השתמשה יוליסס בנח משיכתו והתייצבה במסלול לעבר הקוטב הדומי של השמש, אליו הגיע ב-1994 ולצפוני ב-95. בפעם הראשונה נזקרה השמש ממסלול גבוה שלא ממשור המילקה.

החללית גילתה את תכונותיהם של הקורונה - החלק החיצוני של השמש, רוח השמש, השדה המגנטי של השמש, חלקיקים אורגניים מהשמש, קרוניים קוסמיים גלקטיים, התפרצויות רדיו מהשמש וגלי פלסמה. בנוסף לכך חקרה יוליסס אבק קוסמי, התפרצויות קרוני נאמה ואת שדהו המגנטי של צדק. בכך נשלם החלק הראשון של משימת יוליסס. החלק השני של המשימה יהיה ללא ספק מעניין יותר. בזמן החלק הראשון פעלה יוליסס בתקופה של פעילות מינימלית של השמש. בזמן המעבר מעל הקוטב הדרומי (ספט 2000 עד יוני 2001) והקוטב הצפוני (ספט-דצמ 2001) תהיה השמש בפעילות שיא, דבר המתרחש כל 11 שנים. השמש צפויה לספק דרמות רבות כמו לזאאות, להבות וסילוני פלסמה.

**גלילאו** - החללית הוותיקה סובבת את צדק כבר מעל שלוש שנים, ועדיין ממשיכה לפעול בשיא המרץ. לאחר סיום המשימה הראשית שלה בדצמבר 97, החלה גלילאו את שלב חקר הירח אירופה. המשימה המורחבת של גלילאו התמקדה בירחי צדק ובייחוד בירח הקטן אירופה. סדרת המעברים הקרובים לאירופה, שהקרוב ביניהם התרחש בדצמבר 97 - מנובה של 200 ק"מ בלבד מעל פני הירח, חיזקה את דעת המדענים בדבר הימצאותו של אוקיינוס של מים נוזליים תחת פני השטח. ערוצים, חריצים עמוקים ותצורות שטח חדשות תומכים בהנחה שפני השטח של אירופה נעים מעל לאוקיינוס הנוזלי - בדומה לתנועת הלוחות הטקטוניים בכדור הארץ.

אך מסתבר שאירופה אינו הירח היחיד עם אפשרות לאוקיינוס מתחת לשטח. מידע חדש מהמגנומטר בגלילאו מראה כי ישנה שכבה של חומר מוליך הזורם קרוב לפני השטח של קליסטו, וגורם לשינויים בשדה המגנטי של צדק. שכבה של מים מלוחים נוזליים היא כנראה הגורם לכך. המידע החדש שינה את תפיסת המדענים לגבי קליסטו. בעוד שבעבר חשבו כי מים הירח אינו משתנה כלל, המידע החדש מצביע שהוא אינו משתנה הרבה אך גם לא דומם לגמרי.

הירח המתפרץ איו חם יותר ממה שחשבו בעבר. המצלמה על גבי גלילאו צילמה עשרות הרי געש על פני השטח ומצאה שהלכה הזורמת בהם חמה יותר מכל זרית לבה במערכת



הקוטב הצפוני של הירח כפי שצולם ע"י לונר פרוספקטור



מבט אומן על קסיני והויגנס

לונר פרוספקטור היא חללית קטנה (שוקלת כ-295 ק"ג) המשתמשת בטכנולוגיות חדשות אך מנסות כבדי להבטיח תוצאות טובות במינימום סיכון. כל תהליך פיתוח לקח 22 חודשים, בהתאם לדרישות תכנית דיסקברי. התוצאות לא אחרו להגיע - ב-15 למרץ 98 גילתה החללית מים על הירח, בכמות של 300 מיליון טון משקב בכל קוטב. באותו זמן גם חשפה הפרוספקטור את מפת הגרביטציה של הירח, דבר שיעזור בעתיד ליצור מסלולים טובים וחשכוניים יותר אל הירח. הדוגמה הטובה ביותר לכך היא החללית אפולו 16, שהשאירה במסלול לוויין סביב הירח. האקסצנטריות של הלוויין גדלה במהירות והוא התנגש בפני הירח 35 ימים בלבד אחרי השחרור, כתוצאה מכוח שדה הגרביטציה. הפרוספקטור מחפשת גם אחרי 10 יסודות חשובים על פני הירח בכדי ללמוד על עברו של הירח וגם בכדי לעשות בהם שימוש בעתיד. החללית מטפה גם את השדה המגנטי של הירח בכדי לקבוע מה נמצא מתחת לפני השטח, ומחפשת אחר התפרצויות וולקניות שעדיין מתרחשות על פניו המתים לכאורה של הירח.

**החללית לונר פרוספקטור גילתה כמויות גדולות של מים בתוך אדמת הירח, במכתשים מוצלים סמוך לקטבים.**

**Near Earth Astroid Rendezvous -NEAR**

שוגרה לעבר האסטרואיד ארוס בפברואר 1996, והיא המשימה השניה בסדרת משימות דיסקברי. ארוס הוא אחד האסטרואידים הגדולים ביותר בסביבת כדור הארץ, ולכן חשוב לחקור את מקורו והרכבו בכדי ללמוד איך להימנע מהתנגשות עם גוף כמותו, ואף ללמוד לצל לטובתנו את האסטרואידים בקרבתנו. עדויות לפגיעות אסטרואידים בגדלים שונים ניתן למצוא בכל רחבי כדור הארץ. אחד מהם תרם להתפתחות האדם, כאשר השמיד את הדינוזאורים ואפשר בכך את התפתחות היונקים. לארוס עצמו סיכוי של 1 ל-20 להתנגש בכדור הארץ.

אך ארוס ודומיו מציעים לכדור הארץ גם הזדמנות מצוינת לשימוש כתחנות בדרך למאדים, מקורות לדלק ומשאבים אחרים למשימות עתידיות המחכים לשימושה של האנושות. משימתה של NEAR פותחת חלון שהיה סגור עד כה למדענים. היא המשימה הראשונה בהיסטוריה שמקדשת לחקר אסטרואיד, תעזור לשפר את הידע שלנו בדבר התפתחותו של כדור הארץ מגופים כדוגמת ארוס. משימתה של NEAR במהלך שנת 2000 תעזור לחקור את עברה הרחוק של מערכת השמש והיווצרותו של כדור הארץ בתוכה.

בטרם הגעתה לשבתאי צריכה החללית לעבור פעמיים בנוגה, פעם אחת בכדור הארץ ופעם אחת בצדק. מסלול מיוחד זה נועד בכדי שקסיני תצבור מהירות בעזרת טכניקה שנקראת "האצה כבידתית" (Gravity Assist). אין ביכולתנו לשגר חללית ישירות לשבתאי בזמן אופטימלי. לכן משתמשים המתנדסים במסלול מיוחד המנצל את חילופי האנרגיה בין החללית וכוכבי הלכת בכדי להאיץ את החללית.

במסלול כזה ייקח לקסיני 6.7 שנים עד שתגיע לשבתאי ב-1 ליוני 2004. בעזרת החללית מקוים מדעני נאסא על שבתאי, מערכת הטבעות שלו, השדה המגנטי שלו, על ירחו טיטן בפרט ושאר ירחיו בכלל. טיטן מעניין במיוחד את המדענים מפני שכיום שוררים על פניו תנאים, שמאמינים כי שררו על כדור הארץ לפני מיליארדי שנים. בגלל האטמוספירה העבה במיוחד שלו, לא ניתן לראות את פני השטח מצילומים של חלליות וטלסקופים.



מבט אומן על נחיתת נשויט הויגנס

לונר פרוספקטור - לונר פרוספקטור הוא החללית השלישית ששוגרה במסגרת תכנית דיסקברי. היא שוגרה לעבר הירח ב-6 לינואר 1998 ושלחה לכדור הארץ מידע על מבנהו, משאביו ומקורו של הירח, בכדי לקבוע אם ניתן לבנות בסיס אנושי בעתיד על הירח. החללית סובבת את הירח מעל הקטבים בכדי לענות על שאלה העומדת כבר זמן רב - האם יש מים על הירח.

לנחות בשטח אש של צבא ארה"ב ליד סאלט ליק סיטי  
ביוטה ב-15 לינואר 2006.

**חלליות מאדים** - לאחר שירותה מוצלח של הנחתת **מאריס פאת'פינדר** באמצע 97 לא הגיע לקצו הפרק הנוכחי בחקר המאדים. כמעט ביחד עם הפאת'פינדר, שוגרה לעבר מאדים המקפת למחקר ומיפוי מאדים (*Mars Global Surveyor*). לאחר שהגיע אליו החלה המקפת בסדרת תמרונים המשתמשים באטמוספירה כבלם (*aerobraking*) במסלול החלה החללית לשלוח מידע על מאדים, האטמוספירה, השדה המגנטי ותצורות הנוף. מדענים מקוים להשוות את התפתחות מאדים לזו של כדור הארץ, שכן בשניהם שררו תנאים דומים לפני מיליארדי שנים.

בשנים הקרובות תשלח האנושות, במאסף בין-לאומי, חלליות רבות למאדים, שמטרתן לחגוג סביבו ולנחות עליו. ישנה אף תכנית לשיגור חללית שתנחת על מאדים, תאסוף חומר, ותחזור לכדור הארץ. כרגע נמצאות בדרך למאדים שתי חלליות חדשות ששמן הכולל הוא *Surveyor 98*.

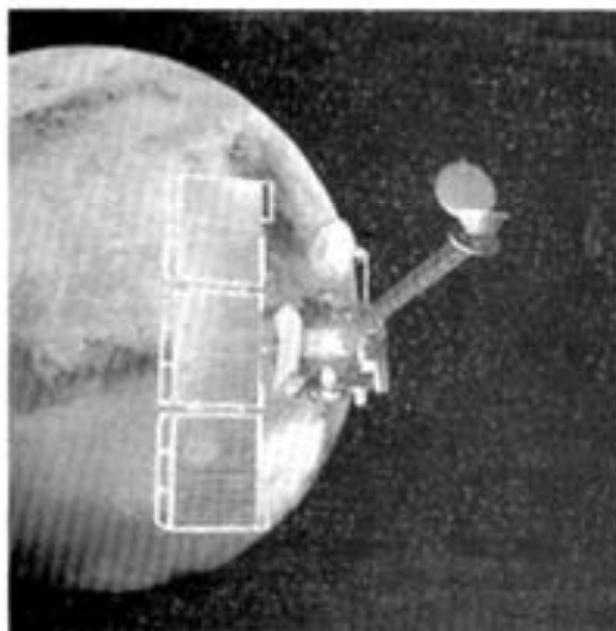
הראשונה, שנקראת "המקפת לחקר האקלים" (*Mars Climate Orbiter*) שוגרה ב-11 לדצמבר 98, ואמורה להגיע למאדים ב-23 לספטמבר 99. בעזרת מכשירים למדידות אטמוספיריות ומצלמות תספק החללית מידע מפורט על אקלים ונוף מאדים. השנייה, שנקראת "הנחתת הקוטבית" (*Mars Polar Lander*) שוגרה ב-3 לינואר 99 ואמורה לנחות על מאדים ב-3 לדצמבר 99, באזור הקוטב הדרומי. הנחתת מצוידת במצלמות, זרוע רובוטית ומכשירים למדידת הרכב הקרקע. שתי מיקרו-גשושיות צמודות לנחתת, שמטרתן לחזור לתוך אדמת מאדים בכדי למצוא קרח מים.

### סדרת המשימות למאדים, שהחלה ב-96, תמשיך עד 2005. בעתיד תחזיר חללית דגימות קרקע של מאדים לכדור הארץ.



החללית NEAR במפגש עתיד עם האסטרואיד ארוס

**Stardust** - כשמה כן היא - לחקור את אבק הכוכבים. משימתה היא להתקרב לכוכב שביט, ובנעם הראשונה להחזיר לכדור הארץ דגימות מהחומר השביטי. היא המשימה הרביעית במסגרת סדרת דיסקברי, כשקדמו לה הפאת'פינדר, NEAR ולונר פרוספקטור. שוגרה, ב-7 לפברואר 99, על גבי טיל דלתא II, היה כל כך מוצלח, עד כדי כך שמהנדסי נאסא ביטלו תמרון לתיקון מסלול שתוכנן ל-22 בחודש. עד מפגשה עם השביט Wild 2 ב-2 לינואר 2004 תאסוף סטארדסט מידע על האבק הבינפלנטרי. חומר זה מכיל שאריות מלפני היווצרות מערכת השמש וצפוי לשפוך אור על התפתחות השמש, כוכבי הלכת ואף על מקור החיים בכדור הארץ.



סקפת 2001 ומאדים



הילת וגרעין השביט הייל בוס ממצפה הכוכבים בנצ'עתיים. StarDust תחקור אזורים אלו

עם הגיעה אל השביט תשלח החללית תמונות שלו, ספירות של חומר שביטי הפוגע בחללית וניתוח בזמן אמת של הרכב החומרים בשביט. בכדי לתפוס את חלקיקי השביט משתמשים בחומר מיוחד הנקרא ארוגיל. חומר זה דומה למוצת סבון, וכל חלקיק אבק שילכד בו ישמר בתוכו עד לנחיתה על כדור הארץ. בינתיים התחילה סטארדסט במחקר האבק הבינפלנטרי. כרגע המכשירים הפועלים הם המכשיר למדידת זרם האבק, מאבחן אבק שביטי ובינפלנטרי, ובקרום מתכננים להפעיל את מצלמת הניווט, שתעזור לנווט את החללית לעדה וגם תספק תמונות של גרעין השביט. הקפסולה שמכילה את דגימות החומר אמורה

כפי שנכתב לעיל, חלליות רבות עוד יגיעו למאדים. הפרויקט הבא של נאסא למאדים יצא לדרך בשנת 2001. המשימה מורכבת גם כן ממקפת ונחתת ושמה *Mars*

**Surveyor 2001 Lander/Orbiter** הנחת אמורה לצאת לדרך ב-10 לאפריל 2001 ולנחות על פני מאדים ב-22 לינואר 2002. על גביה תישא הנחתת מצלמת נחיתה מיוחדת שתצלם עוד מהאוויר את אזור הנחיתה. התמונות שתשלח יישמשו גם לניתוח גיאולוגי של אזור הנחיתה ולשימוש של הרכב הקטן שעל סימנה (Rover).

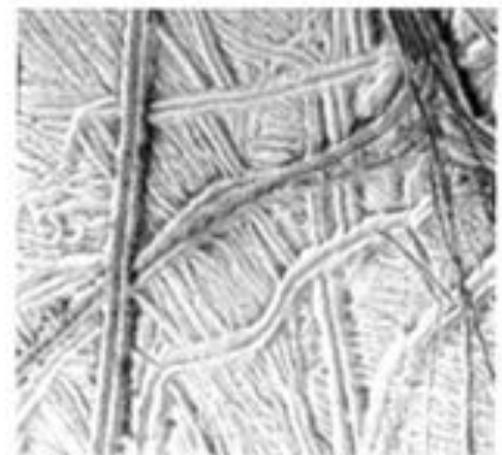


נחתת 2001 והדובר

הנחתת תשמש גם כפלטרומה של ניסויים מדעיים וטכנולוגיים שמטרתם לקבוע את אופיו של מסע מאויש עתידי למאדים. בעזרת מכשירים על הנחתת יבחנו המדענים שיטות ליצור דלק טילים מהגזים באטמוספירת מאדים. שאר המכשירים יישמשו ללמידת אופי הקרקע והסביבה.

משימת המקפת תצא לדרך ב-18 לאפריל 2001 ואמורה להגיע למאדים ב-27 לאוקטובר אותה שנה. על גבי המקפת יהיו 2 מכשירים מדעיים עיקריים: משרכת הדמית קרינה תרמית (THEMIS) וספקטרומטר קרני גאמה (GRS), ירושה מפרוייקט מארס אוברבר האמוד. THEMIS תמפה את

המינרלוגיה והמורפולוגיה של הקרקע בעזרת שימוש במצלמה חוקה וספקטרומטר אינפרא-אדום. ה-GRS ימפה את פיזור היסודות על פני השטח ואת שכיחותו של המימן מתחת לפני השטח. המקפת תשמש גם כן כנחתת מספר עבור הנחתת והדובר, שיגיעו כמה חודשים מאוחר יותר. משימות מתוכננות למאדים גם ב-2003 ו-2005.



פניו המחורצנים של אירופה. מתחת לקרח יתכן וקיים אוקיינוס מים נוזליים

**מקפת לחקר אירופה-\*** אירופה, הפך בשנים האחרונות, עם הגעתה של גלילאו לצדק, לאחד היעדים החשובים ביותר

במערכת השמש למחקר. בהנחה שמים נוזליים קיימים מתחת לפני השטח, אין זה בלתי סביר שהתפתחו שם חיים. גם במעמקי האוקיינוסים על כדור הארץ, הרחק מהישג ידן של קני השמש המיונות, התגלו חיים הגיוונים מכימיקלים המופרשים מכדור הארץ בלחות של הרי געש תת מימיים. בתמונות חדשות מגלילאו ניתן לראות משטחי קרח צעירים יחסית על אירופה, שעומקם מוערך כ-1 ק"מ בלבד. הגורם לתופעה זו הוא כוח המשיכה של צדק, שמפעיל כוחות גאות על גרעין הירח ובכך מחמם אותו, וממיס את הקרח. מטרת המקפת לחקר אירופה היא למדוד את עובי שכבת הקרח ולגלות את האוקיינוס התת קרקעי. בעזרת טכניקת רדאר ומכשירים אחרים תמדוד המקפת את עובי שכבת הקרח ותגלה פרטים על תהליכים פנימיים וחיצוניים על צדק. משימה זו באה בכדי לסלול את הדרך לצוללת רובוטית שיימיסו את דרכן פנימה בעתיד.

**פלוטו-קויפר אקספרס-\*** פלוטו, כוכב הלכת הקטן ביותר במערכת השמש, נשאר תעלומה מאז גילויו ב-1930. פלוטו הוא הפלנטה היחידה שלא נחקרה ביסודיות ע"י חללית, ועקב מרחקו הרב וגודלו, אופיו אינו ידוע. מעבר למסלול פלוטו נתגלתה לאחרונה תגורת קויפר- ביתם של "ננסים קפואים" או מיני פלוטות. אלה גופים בגדלים שבין 200-600 ק"מ ואופים אינו ידוע. משערים כי בעבר הרחוק הרכיבו גופים אלו את האטמוספירה והביוספירה של כדור הארץ. בכדי לענות על שאלות אלו מתכננים מדעני נאסא חללית רובוטית שתשתמש בטכנולוגיה החדשה ביותר בעזרת פיתוח חומרה ותוכנה מיוחדים. מטרת התכנית היא להגיע לפלוטו בשנת 2010 או לאחר מכן (תלוי בקצב פיתוח הטכנולוגיה). אם המפגש עם פלוטו יהיה מוצלח תשלח החללית לעבר גוף אחד או יותר בחגורת קויפר.

## מתחת לפני השטח הקפואים של אירופה מסתתרו אוקיינוס מים. חללית עתידית תמיס את דרכה פנימה.

\* המקפת לחקר אירופה תשוגר ב-2003, ופלוטו-קויפר אקספרס ב-2004, אלא אם כן הטכנולוגיה לא תהיה זמינה. במקרה זה תשוגר פלוטו קויפר אקספרס ב-2003 והמקפת לחקר אירופה ב-2004 כדי לאפשר עוד שנה של פיתוח טכנולוגיה. אם תשוגר בזמן תגיע המקפת לאירופה ב-2007. זמן ההגעה של פלוטו-קויפר אקספרס אינו ידוע עדיין. שתי התכניות לא יקיבלו אישור תקציבי נכון לזמן כתיבת המאמר.

**גשושית השמש- Solar Probe** היא חללית שמטרתה להתקרב לשמש עד כדי מרחק של 4 רדיוסי שמש (2.8 מיליון ק"מ) ולעוף דרך השכבה החיצונית (הקורונה) של השמש. היא אמורה לענות על מספר שאלות: מה מחמם את הקורונה ומאיץ את רוח השמש? מהיכן בקורונה יוצאת רוח השמש? מה תפקידם של גלים ומערבולות בחימום הקורונה? אילו תהליכים מאיצים שומרים ומעבירים חלקיקים אנרגטיים בקורונה?



גשושית השמש על רקע השמש הפעילה

המשימות החדשות בתחום האסטרופיסיקה ישתמשו בטכנולוגיות חדישות וטכניקות תצפית שכיחם הן רק בשלבי פיתוח וניסוי. במרכז משימות האסטרופיסיקה עומדת סדרת תכניות *Origins*, שעליה נרחיב בהמשך. משימות בתחום האסטרופיסיקה מאופיינות בפלישה לתחומים חדשים שעד היום היו רק בשלבי מחקר ראשוני, או שהטכנולוגיה הדרושה לא הייתה קיימת. טכנולוגיה גילוי גלי גרביטציה, שכיחם הם עדיין בגדר תיאוריה, היתה לפני שנים מעטות מדע בדיוני. המשימות של העשור הבא בחלל מהוות פריצת דרך בשימוש בחומרים יצור של טלסקופים הגדולים פי כמה מטלסקופ החלל האבל ועם זאת התוצר הסופי קל וזול הרבה יותר משימות רבות משתמשות בשיטה הנקראת אינטרפרומטריה. עוד על אינטרפרומטריה-בסוף הכתבה.

## החללית MUSE-CN תנחית על פני האסטרואיד נראוס רכב קטן שיטייל על פניו, יצלם אותו ויבדוק את הרכב הקרקע. החללית עצמה תאסוף דגימות קרקע בכדי להחזיר לכדור הארץ.

**Genesis** - מחקרים חדשים מצביעים על כך שכוכבי הלכת, הירחים ואסטרואידים שונים בהרכבם אחד מהשני. גופים אלו הם שאריותה המאובנים של הערפילית הסולרית הקדומה, ושינויים בהרכב היסודי והאיזוטופי של גופים אלו יכול לספק רמזים בנוגע להתפתחותה של הערפילית. בעזרת ניתוח גורמים אלו יכולים מדענים להגיע למספר מודלים התפתחותיים של הערפילית, אך הם אינם יודעים מאילו חומרים בדיוק הורכבה הערפילית הקדומות. אך השמש, שמכילה 99% מכלל החומר במערכת השמש, יכולה לעזור למצוא את הפתרון. בתוך גרעין השמש עוברים החומרים שינויים גרעיניים, החומר בשכבות החיצוניות נותר כמעט ללא שינוי. כיוון שאי אפשר לדגום את חומר השמש באופן ישיר, אך ניתן לדגום חומר המועף מהשמש- רוח השמש. עיי שיגור חללית שתוצב מחוץ לשדה המגנטי של כדור הארץ ניתן לתפוס את החלקיקים האלו, ולהחזירם לארץ לבדיקה מעבדתית. עיי השוואת הרכב האיזוטופים של השמש לזה של כוכבי הלכת ניתן אולי לענות על כמה שאלות בחידת מקורנו.

חללית גניסיס אמורה להגיע לנקודת L1, הנקודה שבה כוח המשיכה של כדור הארץ ושל השמש מתאזנים. ברגע שתכנס למסלול תפרוס גניסיס תאים בצורת כנפיים ותחל לכדוד את רוח השמש. אחרי שנתיים תחזור החללית לכדור הארץ ותנחת במדבר יוטה. מספר גורמים הופכים את גניסיס למשימה אטרקטיבית: דגימות חוזרות לכדור הארץ לניתוח במעבדות המשוכללות ביותר, וכך גם ניתן לחזור פעמיים על ניסוי חשוב. זמן השיגור אינו חשוב ואינו תלוי בגורמים אחרים. זמן הטיסה ליעד הוא 3 חודשים, כך ש-80% מהזמן יוקדש למחקר. דגם החללית זול פשוט ובטוח.

**ARISE** - אינטרפרומטרית רדיו מתקדמת בין כדור הארץ והחלל- תצוב בחלל טלסקופ רדיו בקוטר 25 מ' וישמש ביחד עם מטרי רדיו (כדוגמת VLBI) קרקעיים לצלם גופים קומפקטיים ברזולוציה גבוהה של 10-20 מיקרו שניות קשת VLBI - *very long baseline interferometry*. הוא כרגע מערך טלסקופי הרדיו הטוב בעולם עם רזולוציה של 100 מיקרו שניות קשת, פי 100 יותר טוב מטלסקופ האבל. אריזו יחקר תופעות אנרגטיות ובמיוחד גרעיני גלקסיות פעילים (AGN) שמאמינים כי בנוכחם פועלים חורים שחורים ענקיים. הוא יחקר את סילונות הפלסמה היוצאים מחורים שחורים, אזורים

גשושית השמש תישא בתוכה מספר מכשירים: קורנוגרף, מגנטוגרף אופטי, ספקטומטר אולטרא-סגול, ספקטרומטר פלסמה, מכשיר לחלקיקים אנרגטיים, גלאי גלי פלסמה ומגנטומטר. החללית מתוכננת להישלח לעבר צדק בנובמבר 2003, להגיע אליו באפריל 2005 ולהגיע לשמש ביולי 2007. החללית תשתמש במגן חום חדיש, שאמור להגיע עד 2200 K, שימש גם כאנטנה. גם חללית זו נמצאת בשלב פיתוח ראשוני, ואם תאושר, יתחיל הפרויקט רשמית באוקטובר 2000.

**MUSES-CN** - היא משימה יפנית לעבר האסטרואיד (NEO) נראוס. התכנית היא לשלוח לעבר האסטרואיד חללית ורכב קטן (שוקל כ-1 ק"ג) והחזרת דגימות קרקע לכדור הארץ. החללית אמורה להמריא לחלל על גבי טיל M5 מקוגשימה, יפן, בינואר 2002. המשימה היא שיתוף פעולה בין סוכנות החלל היפנית שמספקת את החללית, ונאסא שמספקת את כלי הרכב המיניאטורי. הראשונה שנשלחת לאסטרואיד במטרה להחזיר דגימות, וכמו כן נבחנו בה טכנולוגיות חדשות.

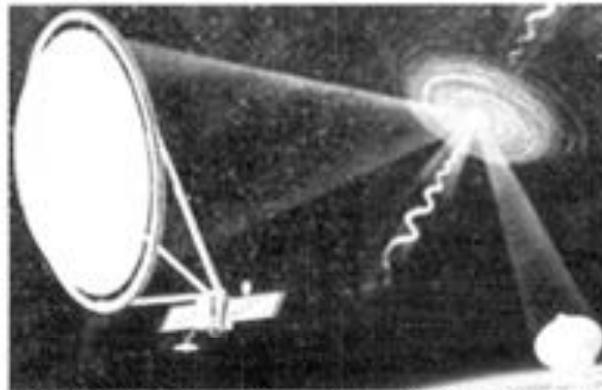
רוב האסטרואידים שאנו רואים היום הם תוצאה של התנגשויות קדמוניות בינם לבין עצמם, ולכן אינם חתנים מידע טוב על מערכת השמש בעבר הרחוק. אך ישנם אסטרואידים כדוגמת נראוס שאינם שרידים להתנגשויות, אלא הם נשארו כמו שנוצרו לפני מיליארדי שנים, בעת שכוכבי הלכת הפנימיים מהתגבשות גופים קטנים. עיי ניתוח המבנה והמרכיבים של גוף כזה ניתן ללמוד את הרכבו של כדור הארץ בעת שנוצר. האסטרואיד הוא בגודל 2 ק"מ ובעל כוח משיכה קטן פי 100,000 מזה של כדור הארץ, דבר שיוצר בעיה בתכנון משימות החללית והרכב. החללית מונעת עיי כוח חשמלי סולרי וייקה 17 חודשים להגיע לאסטרואיד. הדחף שיוצר כוח זה הוא מיוזערי, אך הוא נבנה עם הזמן.



האסטרואידים נאספורה ואיידה (מגיליאה) ומתילדה (M-NEAR)

**MUSES-CN** תגיע לאסטרואיד ב-2003. היא תרחף בגובה 20 ק"מ מעל פניו לתקופה של חודש, אז תנחת על האסטרואיד, ותשחרר את הרכב (manorover), הנאנורובר עשוי לשמש גם למשימות לרעיני שביטים, ירחים במערכת השמש ומאדים. משימתו היא להסתובב בשטח ולצלם תמונות באור נראה ואינפרא אדום, ברזולוציה גבוהה. משימת MUSES-CN תמשך כחודשיים, עד חזרתה לכדור הארץ. קפסולה עם דגימות הקרקע תנחת באזור ארה"ב ותשלח ליפן לבדיקה, כשמדעני נאסא יקבלו את חלקם אחרי שנה. עלות הפרויקט היא 180 מיליון דולר בשה"כ.

יימך, ומנועים קטנים ידחפו את החללית בחזרה למיקומה המקורי. דיוק המדידה עומד על 10 מיקומטר, או פי 10 יותר קטן מאטום. אם תאושר, תחל העבודה על הפרויקט ב-2005 והשיגור מתוכנן ל-2008.



טלסקופ "ארייז" וטלסקופ רדיו קרקעי צופים אל חור שחור

**סדרת תכניות Origins- באוסא**

פיתחו תכנית מחקר חדשה בכדי להתחקות אחר מקורותינו במערכת השמש וביקום. שאלות שנשאלות כבר אלפי שנים, כמו מהיכן באנו? מהו גודל היקום? מהו גילויו האם אנו היצורים החיים היחידים בגלקסיה? נותרו ללא מענה אפילו כיום. בעזרת סדרת אוריגינס מקווים המדענים לענות על שאלות אלו. בעזרת שימוש בטכנולוגיה חדשה,

הנקראת "אינטרפרומטריה אופטית", שנמצאת כיום בחיתוליה, מקווים המדענים לראות הרבה יותר רחוק ובהפרדה גבוהה פי כמה, האינטרפרומטריה האופטית קיימת בתיאוריה כבר כמעט מאה שנה, אך רק לאחרונה התאפשר שימוש יעיל בה. בעזרתה מקווים המדענים לנלות כוכבי לכת ארציים סביב הכוכבים השכנים לנו בגלקסיית שביל החלב. בעזרת שימוש בטלסקופים לקרינות אולטרא סגול ואינפרא אדום מקווים המדענים לחקור את הולדתם של כוכבי לכת מתוך דיסקות סביב כוכבים צעירים, היווצרות כוכבים וחורים שחורים ענקיים במרכזי גלקסיות. כרונולוגית, ניתן לחלק את המשימות הקשורות לתכנית אוריגינס ל-4 קבוצות.

**המשימות הקדומניות**

עקב ההשקעות בעבר, הטכנולוגיות לשימוש במשימות אלו נמצאות כיום בהישג יד. לכן, משימות אלו כבר פעילות או בשלבי פיתוח מתקדמים. כל המשימות יכנסו לפעילות מלאה עד סוף 2001.

**HST - טלסקופ החלל ע"ש האבל** - למרות שהטלסקופ הוותיק מתחיל להראות סימני הזדקנות, הוא עדיין משמש כטלסקופ החזק ביותר שקיים. לאחר משימות שירות שונות, שבהן התקינו לטלסקופ מצלמות חדשות, ומשימה קרובה באוקטובר השנה, הטלסקופ הוא מצפה אסטרונומי רב תחומי. האבל צופה בשמים מקרינה אולטרה סגולה דרך אור נראה ועד לאינפרא אדום. הוא משמש הן למחקר פלנטרי והן למחקר אסטרופיזיקלי.

**FUSE - חללית מחקר ספקטרוסקופית בתחום האולטרא סגול הרחוק** - אמורה לחקור את השמים בתחום העל סגול ברגישות וברזולוציה גבוהה בהרבה מסכשירים קיימים אחרים (כמו טלסקופ החלל האבל). זוהי המשימה הראשונה בסדר גודל שזכה שמנותחת ומנהלת כולה על ידי אוניברסיטה - אוניברסיטת ג'והנס הופקינס. FUSE מציג מספר חידושים טכנולוגיים והנדסיים. במקום מראה יחידה משתמש הטלסקופ ב-4 חלקי מראות שמרכוזות את האור לנקודת מיקוד יחידה. שתיים מהמראות מצופות בחומר מסוים (SiC) שמחזיר בצורה מצוינת את התחומים הקצרים יותר של האולטרא סגול, והשתיים האחרות מצופות בחומר (LiF) שמחזיר מצוין בתחומים הארוכים יותר. דבר זה מאפשר תצפית אופטימלית בכל הספקטרום ל-FUSE שיטות חדשניות לקליטת ושמירת המידע, לשבירת האור לספקטרום ולהכוונת החללית ותיקון טעויות עקיבה. FUSE ישוגר לחלל ע"י רכב שיגור מסוג דלתא II

המתפרצים בקרינת גאמה ושניתן גם לצלמם ברדיו ומגה-מייזרים (לייזר בקרינת מיקרו) בדיסקות סביבה במרחק של שנת אור מהחור השחור בכדי למדוד את מהירותם, ובכך "לשקול" את החורים השחורים. הוא יחקור סילוני רדיו במרכזי גלקסיות רחוקות בכדי להשוות בין התנאים ביקום המוקדם לזה של היום. הוא גם יצלם עדשות כבידתיות ברזולוציה גבוהה בכדי לקבוע ביתר דיוק את כמות החומר האפל (חומר שלא ניתן לראותו במישור) אך מאמינים כי הוא מכיל כ-90% מהחומר ביקום) באובייקטים אלו. ארייז ימדוד את מעבר החומר בין כוכבים במערכות כפולות ויצלם את פיזור החמצן בעננים מולקולריים בכדי למדוד את הטמפי באזורי יצירת כוכבים.

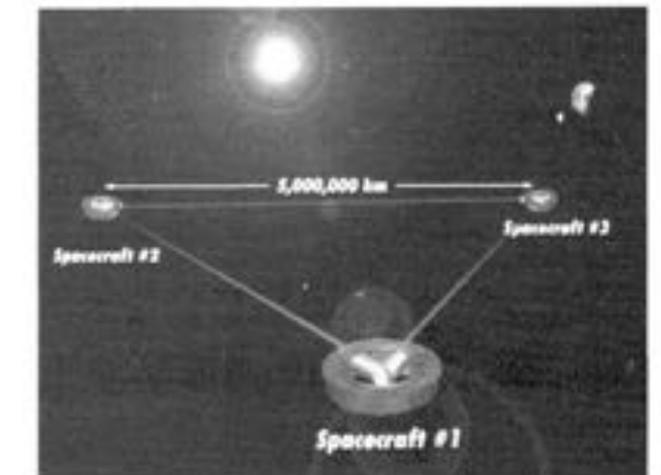
**LISA - אנטנת לייזר לאינטרפרומטריה בחלל**

שלוש חלליות שירחפו במרחק של 5 מיליון ק"מ זו מזו בצורת משולש שווה צלעות. מרכז המשולש יהיה על מישור המילקה במרחק י"א אחת מהשמש ועשרים מעלות מאחורי כדור הארץ. מטרתה של החללית היא לנלות גלי גרביטציה-גלים הנוצרים במערכות כוכבים כפולות, מסביב לחורים שחורים ואף שרידים של המפץ הגדול. למרות שיש עדויות לא ישירות לקיומם, גלי גרביטציה עדיין לא נילו או נמדדו במישור. ליסה בתור אינטרפרומטר ענקי ותמדוד את עיוות החלל בזמן מעבר גלי גרביטציה. גלי גרביטציה העוברים דרך מערכת השמש יגרמו לשינויים קטנים במרחקים בין החלליות. מרחקים אלו ניתנים למדידה בעזרת אינטרפרומטר לייזר, בדיוק של תווה בגודל מיקרון. אור השמש יכול גם הוא לגרום לתנועה, אך זוהי



גלי גרביטציה הנוצרים במערכת כוכבים כפולה

החלל בזמן מעבר גלי גרביטציה. גלי גרביטציה העוברים דרך מערכת השמש יגרמו לשינויים קטנים במרחקים בין החלליות. מרחקים אלו ניתנים למדידה בעזרת אינטרפרומטר לייזר, בדיוק של תווה בגודל מיקרון. אור השמש יכול גם הוא לגרום לתנועה, אך זוהי



מערך חלליות ליסה-מבנה משולש כשהמרחק בין כל חללית הוא 5 מיליון ק"מ

מקוונות בעזרת "מאסה צפה" בתוך החלליות. גוף החללית מגן על מאסות אלו מהשפעת קרני השמש, כך שלמעשה, המרחקים נמדדים בין מאסה אחת לשניה. כאשר אור השמש ידחוף את החללית לעבר המאסה הצפה, מרחק זה

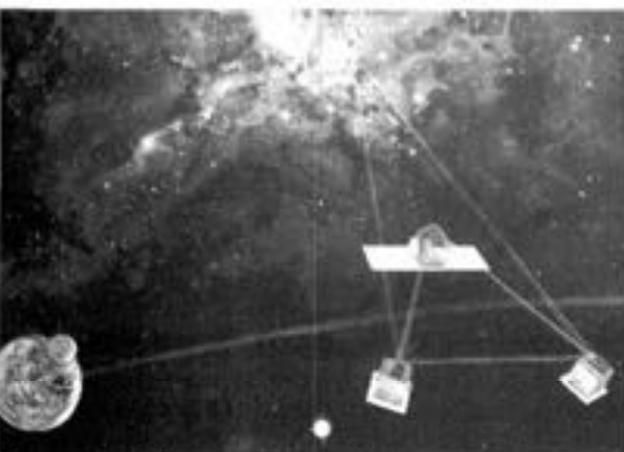


סופיה-מטוס בואינג נושא טלסקופ אינפרא אדום

**משימות תור הראשון-** למשימות אלו ידרשו טכנולוגיות חדשות שכרגע נמצאות בפיתוח. טכנולוגיות אלו כוללות שימוש בטלסקופים גדולים בהרבה, אך עם זאת גם קלים בהרבה, מטלסקופ החלל האבל, וצירוף של מספר טלסקופים קטנים, שיתפקדו כגוף אחד, בכדי ליצור תמונות שהיה יוצר רק טלסקופ ענקי אחד. משימות אלו נמצאות כרגע בשלב התכנון, ויצאו לדרכן במחצית השנייה של העשור הבא. הן כוללות את:

**NGST - טלסקופ החלל של תור הבא-** אמור לרשת את טלסקופ החלל האבל בעשור הבא, אך מתכנניו עדיין אינם יודעים מה יהיה אופיו של הטלסקופ. ישנן כרגע שלוש תוכניות שמפותחות עבור הטלסקופ, שישוגר ב-2007 על גבי טיל אטלס. קוטר המראה הראשית נע בין 8 ל-9.09 מ'. אורך חייה של המשימה יהיה כ-10 שנים. ישנם ויכוחים לגבי אופי התצפית בטלסקופ: האם יהיה טלסקופ לתצפית באורכי גל מסוימים, ובכך להזיל את העלויות, או שמא טלסקופ המכסה תחום רחב מהספקטרום, כדוגמת האבל, שייקר בהרבה את עלות המשימה.

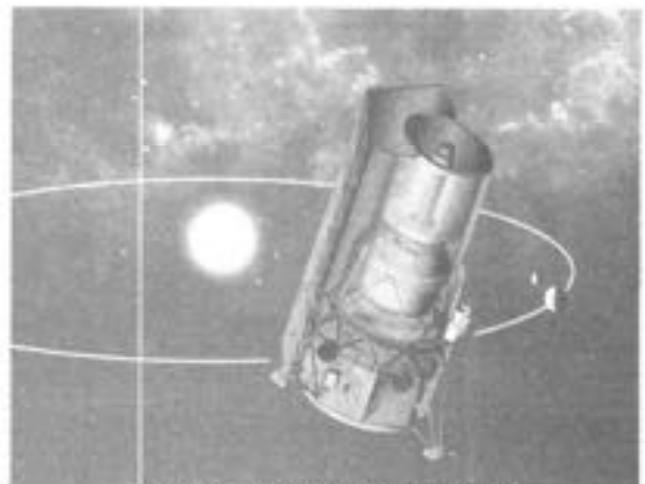
**Deep Space 3 -** היא משימה קטנה של נאסא שאמורה לבחון את טכנולוגיית האינטרפרומטר האופטי בחלל המשימה תשוגר בשנת 2003 כהקדמה לכל המשימות הגדולות שיבואו בעקבותיה, ושתלויות בהתקדמות הטכנולוגית שתושג עם משימה זו. המשימה תכלול שלושה טלסקופים שיטושו בחלל במבנה מדויק ובמרחק גדול אחד מהשני, ובכך מתנהגים כמו טלסקופ אחד גדול הרבה יותר.



האינטרפרומטר האופטי הראשון בחלל-פרוייקט Deep Space 3

למסלול בגובה 800 ק"מ מפלורידה באמצע 99, לתקופת שירות של שלוש שנים.

**SOFIA - מצפה סטרטוספרי לאסטרונומיה באינפרא אדום-** כפי שהוכח ע"י תצפיות באינפרא אדום כמו KAO (המצפה המוטס ע"ש קויפר) ו-IRAS, ISO, תחום המחקר באינפרא אדום מאופיין בתופעות פיסיקליות רבות המתרחשות באזורים המוסתרים מן העין. תחומים רבים באסטרונומיה מוסתרים מעינינו בתחומי הספקטרום האחרים, ורק בתחום האינפרא אדום ניתן לחקור אותם. SOFIA אמור לחקור את השמים בתחום האינפרא אדום בטווח אורכי גל רחב וברזולוציה גבוהה. SOFIA יהיה מצפה מוטס על גבי מטוס בואינג 747 משופר ומשודרג לצורכי התצפית. המטוס ייקח את הטלסקופ בן ה-2.5 מ' גובה מעבר להשפעה המעוותת של האטמוספירה ובכך יאפשר מחקר מתמשך בתחום האינפרא אדום. מטרת המחקר של הפרוייקט הן: עננים בינוכביניים, היווצרות כוכבים, דיסקות פרוטו פלנטריות והיווצרות כוכבי לכת, מקורותיהם והתפתחותם של אטומים ומולקולות הדרושים לחיים, הרכב ומבנה של אטמוספירות וטבעות של כוכבי לכת, שביטים, כימיה של גלקסיות והפעילות במרכז שביל החלב.



טלסקופ האינפרא אדום SIRTf.

**SIRTf -** טלסקופ חלל האינפרא אדום תוכנן בתחילה בתקציב של 2.2 מיליארד (\$) דולר, אך בעקבות קיצוצים בתקציב תעמוד המשימה על 450 מיליון דולר בלבד. ל-SIRTf שלל של משימות לעמוד בהן, אפילו אחרי הקיצוץ בתקציב: נסיים חומים וכוכבי לכת ענקיים, דיסקות פרוטופלנטריות ושאריות פלנטריות (מיד עם היווצרות מערכת פלנטרית חדשה), גלקסיות סופר-בהירות, גרעיני גלקסיות פעילים והיקום המוקדם. משימת הטלסקופ אמורה לענות על מגוון רחב של שאלות מתוך מגוון רחב של נושאים ועל כן נושאים מדענים רבים את עיניהם לעבר משימה זו.

הקיצוץ בתקציב גרם לתכנון מחדש של הפרוייקט אך הוא אמור לעמוד עדיין בסטנדרטים שהציבו מתכנניו. הוא יוכל גם לענות על שאלות בתחומים של מערכת השמש החיצונית, הולדת כוכבים ומקורם של יסודות כימיים. SIRTf אמור להתחיל את דרכו בדצמבר 2001 למשך 5 שנים. משימת טלסקופ אינפרא אדום אחר בשם WIRE נכשלה אחרי שהחלה להסתחרר זמן קצר לאחר השיגור. כעבור כמה ימים החזירו מהנדסי נאסא את השליטה בחללית לידיהם אך גילו כי מלאי המימן הקפוא שהיה אמור לקרר את מכשירי הטלסקופ אולו מסיבה בלתי ברורה.

## אינטרפרומטריה

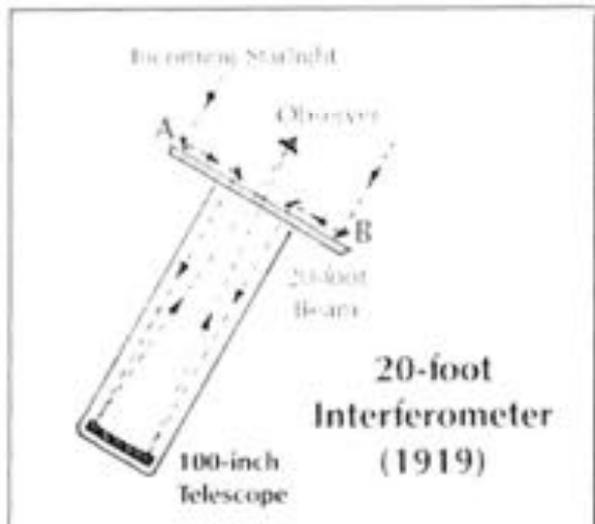
טכניקת האינטרפרומטריה הומצאה בשנת 1907 ע"י אלברט מיכאלסון. מדענים כבר משתמשים בה כמה עשרות שנים. מערכי טלסקופי רדיו ענקיים כמו "המערך הגדול מאוד" (*Very Large Array*) בנוי מקסיקו הם דוגמא אחת.

אינטרפרומטרים מאגדים שתי תופעות פיסיקליות מדהימות. אחד, הם מספקים כושר הפרדה של טלסקופ ענק אחד ע"י שימוש בשניים קטנים. אינטרפרומטר הכולל שני טלסקופים בקוטר מטר אחד, המוצבים במרחק 100 מטר אחד מהשני, יספקו לנו כושר הפרדה כמו טלסקופ אחד בקוטר 100 מטר (אך כמוכב, טלסקופ בקוטר 100 מטר יאסוף הרבה יותר אור ויראה עצמים חיוורים יותר). הרבה יותר קל וזול לייצר כמה טלסקופים קטנים, מאשר טלסקופ אחד ענק.

שנית, אינטרפרומטרים יכולים לסנוע הגעת אור לא רצוי מהכוכב, בדומה לפעולת קורנוגרף. ללא שימוש בטכניקה זו, אור מן הכוכב יאפיל על אור המגיע מכוכבי הלכת שסביבו. בעזרת טכנולוגיית ה"חסימה" אינטרפרומטר משלב בין האור שמגיע מטלסקופ אחד והטלסקופ השני. כאשר שתי התמונות מתואמות בדיוק, והאור הלא רצוי מהכוכב נחסם, נשארים האסטרונומים עם תמונת כוכב הלכת.

האינטרפרומטריה השתכללה עם השנים. ככלל, ככל שאורך הגל ארוך יותר, קל יותר להשתמש בו באינטרפרומטריה, מפני שהאסטרונומים צריכים לדעת את המרחק המדויק בין הטלסקופים במרחקים של אורך הגל הנמדד. גלי רדיו הם הגלים הארוכים ביותר בספקטרום ולכן רדיו-אינטרפרומטרים באו ראשונים. אינטרפרומטרים לגלים קצרים יותר, כמו אור נראה, הופכים כעת לחלק מארסנל המכשירים העומדים כיום בפני האסטרונומים.

זה אפשרי לחפש אח חיים בעזרת אינטרפרומטרי אור נראה, אך בנאסא מעדיפים כאלו של אינפרא אדום. באור נראה, עוצמת אור הכוכב היא פי 10 מיליארד, בעוד שבאינפרא אדום, היחס משתפר לפי 10 מיליון.



**דוגמא לאינטרפרומטר: בעזרת מראות המונחות בנקודות A ו-B, המעבירות את האור אל המראה הראשית, בקוטר 100", יכול הטלסקופ להפריד בין כוכבים כאילו היה בן 6.5 מטר בערך, כמו המרחק בין B-A.**

**SIM - משימת אינטרפרומטריה בחלל** - משימה זו באה לענות על שאלות במספר תחומים כמו גודל וגיל היקום וכוכבי לכת סביב כוכבים רחוקים. סים תמדוד מרחקים בין כוכבים בגלקסיה בדיוק גדול מתוכניות אחרות בעבר, ולחפש אחר כוכבי לכת בגודל כדור הארץ סביב הכוכבים הקרובים לנו. התכנית תבחן שימוש בטכנולוגיה חדשנית של חסימת אור הכוכב בכדי לצלם אזורים מעוינים קרוב לכוכב האם. סים תהיה משימת החלל הראשונה להשתמש באינטרפרומטריה אופטית, אותה ניתן לנצל במיטבה רק מחוץ לאטמוספירת כדור הארץ. סים אמורה להישלח לחלל ביוני 2005 מקייפ קנוורל בפלורידה, למסלול עקב ארץ. במסלול זה תסחף החללית בקצב של 0.1 י"א לשנה, עד שתגיע למקסימום של 95 מיליון ק"מ לאור חמש שנים. במסלול זה תזכה החללית להצללה מקרני השמש המזיקות למכשיריה.

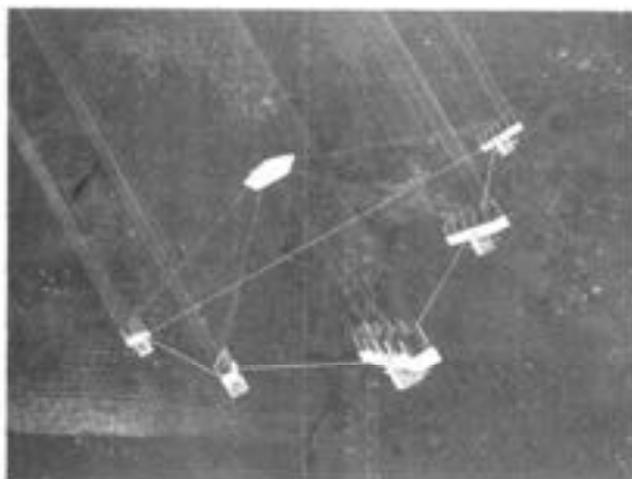


אינטרפרומטר Sim בחלל - אולי ב-2005

משימות הדור השני - משימות הדור הראשון ישמשו כסוללות דרך טכנולוגיות למשימות הדור השני. כרגע נמצאת בתכנון רק משימה אחת מהדור השני.

**אם ניקח שני טלסקופים בני 1 מ' כל אחד, ונציב אותם במרחק 100 מטר אחד מהשני, נקבל תמונה עם כושר הפרדה כאילו השתמשנו בטלסקופ אחד ענק בקוטר של 100 מ'**

**TPF גלאי פלנטות ארציות** - הוא משימה נועזת וחדשנית שעתידה לשנות את פני האסטרונומיה. גלאי הפלנטות הארציות יישלב בין טלסקופ חלל חזק ואינטרפרומטריה יוכל הטלסקופ לזהות כוכבי לכת בגודל כדור הארץ במרחק של עד 50 שנות אור. הוא יעסוק במחקר רחב היקף-מהולדת כוכבי הלכת בדיוק מסביב לכוכב ועד למציאת כוכבי לכת ארציים בודדים. הוא יוכל להפחית את ווהר כוכב האם בפקטור של 100,000, ויוכל למדוד גודל, טמפרטורה ומיקום של כוכבי לכת קטנים (כדוגמת כדה"א) בתוך האזור התומך בחיים. **המשך בעמוד הבא...**



**משימת Planet Imager - חמש חלליות הנושאות ארבעה טלסקופים ענקיים כל אחת טסים במבנה פרבולי, כשבמוקד חללית שישית בעלת טלסקופ לאיסוף האור של כולן**



**כדור הארץ ברזולוציות שונות. החל מ-10x10 ועד 400x400. התמונה למעלה מדגימה מה ידרש בכדי ליצור תמונה של 25x25 (שניה מלמטה)**

**סיכום**

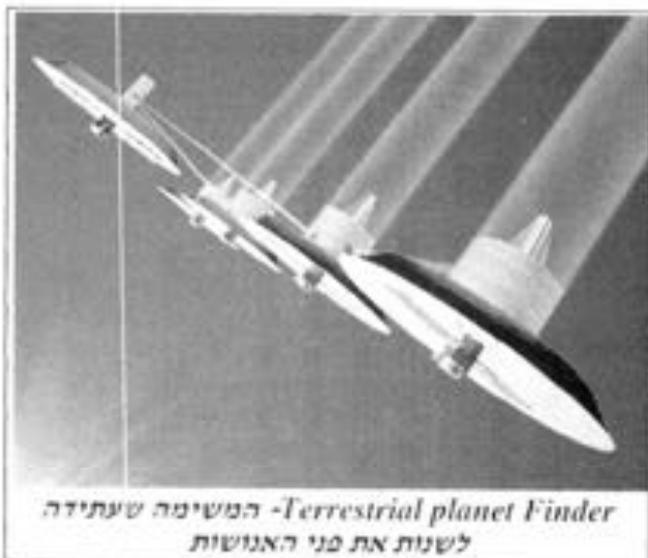
כל מה שראינו עד היום הוא כאין וכאפס לעומת מה שהעתידי צופן בחובו. ללא ספק, כל ספר אסטרונומיה הונחב בימים אלו, יהיה חסר משמעות בעוד עשור בלבד. אך אל לנו לשכוח כי ללא תקציב נאות אין זו אלא אגדה. תמיכת ציבור רחבה יכולה לקדם אותנו במהירות אל המאה ה-21.

מורן נחשוני משימש כחבר אגודה וסגל מצפה הכוכבים כ-5 שנים. בשנת 96 זכה במקום הראשון באולימפיאדה לאסטרונומיה ואסטרופיסיקה של נוער שותר מדע באוניברסיטת ת"א.

**המשך מהעמוד הקודם**

בנוסף לכך יוכל לנתח את הרכב האטמוספירה שלהם בחיפוש אחר פחמן דו חמצני, אדי מים, אוזון ומתאן ולקבוע אם כוכב לכת מסוים יוכל לתמוך בחיים. הוא יוכל להפריד בין פרטים במרחק של עשרות של י"א בתוך דיסקות פרוטופלנטריות. ל-TPF יהיה דיוק של פי 100 מזה של טלסקופ האבל. הוא יוכל גם לשמש למחקר של כוכבים גזיים, קוואזרים וחורים שחורים.

התכנית מורכבת מ-4 טלסקופים במפתח 3.5 מ', ואמורה לצאת לדרכה בשנת 2011. התכנית עוד לא קיבלה אישור ומתחרה על תקציב עם מספר תכניות אחרות.



**לשנות את פני האנושות - המשימה שעתידה**

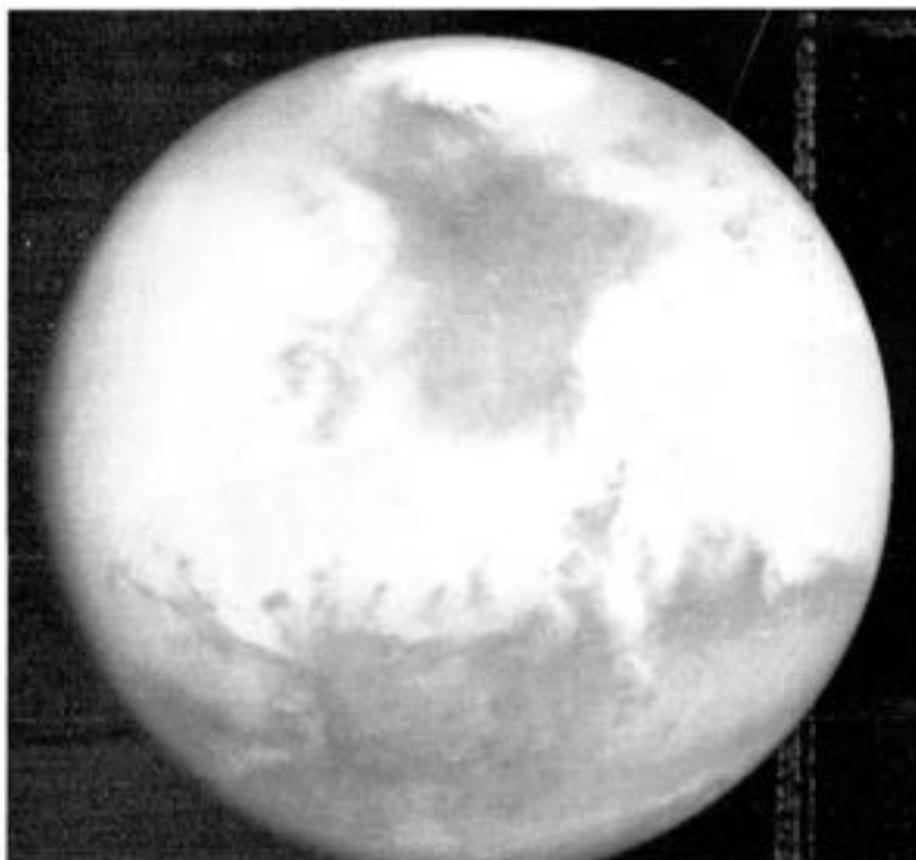
**משימות הדור השלישי - לבסוף, המשימות הנכללות בדור השלישי הן כרוצ רק בגדר חזון מפני שהטכנולוגיה הדרושה לפיתוחן לא תהיה בהישג יד בעתיד הקרוב. המשימה היחידה שמתוכננת היא "צלם כוכבי הלכת", שנשענת על ההישגים הטכנולוגיים שיתפתחו בדורות הקודמים.**

**Planet Imager - צלם כוכבי הלכת -** לאחר גילויים של כוכבי לכת קטנים ע"י משימת TPF, אמורה לבוא משימת PI ולצלם כוכבי לכת ארציים לא נקודות בודדות, אלא כמספר גדול של פיקסלים. התכנית אמורה לצלם כוכבי לכת כדוגמת כדור הארץ ולקבוע את טיבו על פי אטמוספירה, הרכב, קיום מים נוזליים וחיפוש אחר יסודות ותרכובות אורגניות.

**תכנית עתידית תצלם כוכבי לכת כמו כדור הארץ בהפרדה מצוינת, ותוכל אף לבדוק אם לפלנטה יש אטמוספירה, את הרכבה, והאם היא תומכת בחיים.**

משימה כזו תצטרך להשתמש במשך של חמישה אינטרפרומטרים מסוג TPF. כל אינטרפרומטר יכיל ארבעה טלסקופים בקוטר 8 מ' לאיסוף אור (כאשר שטח איסוף האור מכל חמשת האינטרפרומטרים יהיה 1000 מ"ר) וטלסקופ 8 מ' יחיד בכדי להעביר את האור הנאסף לחללית איסוף. אור הכוכב נחסם בכל אחד מהאינטרפרומטרים לפני שמועבר לחללית האיסוף. חמשת האינטרפרומטרים מסודרים בצורת פרבולה היוצרת מערך של 6000 ק"מ, כאשר חללית האיסוף נמצאת בנקודת המוקד של הפרבולה.

## כוכב הלכת מאדים בניגוד



כוכב הלכת האדום, על כיפות הקרח שלו, מדבריותיו ונופיו הקסומים, מגיע השנה לקרבה מינימלית לכדור הארץ. הזדמנות פז לצפות בפניו המרתקות גם בטלסקופים קטנים.

---

**יגאל פת-אל,**

**מצפה הכוכבים גבעתיים.**

---

השמש. מצב זה, שבו כוכב לכת מצוי במרחק מינימלי מכדור הארץ מכונה **ניגוד**. ומדוע? כיוון שבשנת הניגוד, כדור הארץ מצוי בין כוכב הלכת לבין השמש. בעת הניגוד, כוכב הלכת זורח בעת שקיעת החמה ולכן הוא נראה במשך כל הלילה. מסיבות אלה, הניגוד של כוכב לכת הינו התקופה הטובה ביותר לצפות בו.

כוכב הלכת מאדים הינו כוכב הלכת הרביעי במרחקו מהשמש והשני במרחקו מכדור הארץ. למרות זאת, הוא אחד מכוכב הלכת המרתקים ביותר, אולי הודות לשבדה כי ייתכנו חיים על פניו.

ב- 24 באפריל השנה, מגיע מאדים למרחק הקרוב ביותר בינו לבין כדור הארץ במחזור זה של ההקפה סביב

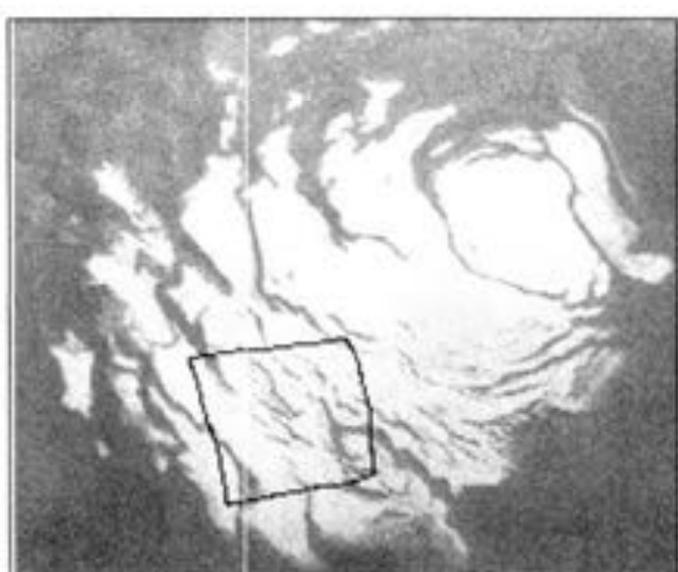
מרחקו, הקרוב יחסית, אל כדור הארץ בעת הניגוד, היתה התצפית במאדים קשה ביותר. סמוך להתקבצותו עם השמש, כאשר מאדים מצוי בצד המרוחק מכדור הארץ של מסלולו, גודלו הזוויתי שווה לגודלם הזוויתי של אורנוס ומטון, כוכבי הלכת החיצוניים, ואז קשה ביותר לראות עליו פרטים בעזרת הטלסקופ. מאדים משלים הקפה אחת סביב השמש כל 686.98 יום (1.88 שנים שלנו), במהירות השווה ל- 24.13 ק"מ בשנייה.

מאדים משלים סיבוב אחד סביב צירו אחת ל- 24 שעות ו- 15 דקות, מעט יותר מהגדרש מכדור הארץ להשלים סיבוב סביב צירו הוא. האורך הממוצע של היממה השמשית, על פני מאדים, כמעט זהה לאורך היממה הכוכבית שלו. אולם, ההבדלים באורך של היממות השמשיות על פניו (משוואת הזמן שלו), גדולים יותר מאשר על פני כדור הארץ, עקב האקסנטריות הגדולה, יחסית, של מסלולו האליפטי של מאדים סביב השמש.

עם המצאת הטלסקופ, נצפו לראשונה כימות הקרח על מאדים וכן כתמים כהים על פניו, ששינו את צורתם במשך הזמן. שובדה זו הביאה את האסטרונומים להאמין כי מאדים הוא כוכב לכת, המיושב על ידי יצורים חיים בעלי בונה. אחד האסטרונומים שחקרו על התצפית במאדים בשלהי המאה הקודמת - איטלקי בשם ג'ובאני שקיפארלי - אף הגדיל לעשות, ושירת את מפת מאדים כשהיא מלאה תעלות לאורך ולרוחב. לדעתו של שקיפארלי, ולדעת רבים וטובים שחקרו את מאדים בשנים שלאחריו, כדוגמת פרסיוול לואל האמריקאי, נעזו התעלות להשקות את שדותיהם הצחיחים של בני מאדים.



עם השתכללות הטלסקופים הגדולים התחזר כי אותן תעלות מפורסמות מקורן באשליה אופטית - הכתמים הכהים, שכוננו מדבריות, היו אכן כאלה, מהסיבה הפשוטה, שכל פני מאדים הן מדבר צחיח גדול. קטבי מאדים הכילו אמנם מים, אך רק בכמות מזערית. מרבית הקרח בקטבים הוא קרח יבש, הנוצר מקפיאת זו תחמוצת הפחמן, שהוא הגו השכיח ביותר באטמוספירת מאדים. הסתבר, כי השינוי בגודלם ובצורתם של המדבריות נעוץ במשטר הרוחות השורר על פני מאדים: רוחות עזות מזיזות ענני חול גדולים ממקום למקום וגורמות לשינויים בתצורות הנוף על פני כוכב הלכת הצחיח.



קוטב הקרח של מאדים. ניתן לתצפית בקלות גם בטלסקופים קטנים

בשל שנתו הקצרה, יחסית, של המאדים, הוא מגיע לניגוד רק אחת ל- 26 חודשים. זהו פרק הזמן בו שני כוכבי הלכת, כדור הארץ והמאדים, מגיעים לנקודה בה הם מצויים לאורך קו אחד עם השמש. כתוצאה מכך, מאדים הוא כוכב הלכת שפרק הזמן בין שני ניגודים עוקבים שלו הוא הארוך ביותר. הוסף על כך את העובדה כי המאדים הינו כוכב לכת קטן מאוד ואזי מתבררת הסיבה לצחלה של הקהילה האסטרונומית לניגודים של המאדים: זהו פרק הזמן שבו ניתן לראות פרטים על פני המאדים גם בטלסקופים קטנים. כאשר מאדים מצוי בנקודות אחרות של מסלולו, הוא כה זעיר, וגודלו הזוויתי אינו עולה בהרבה על גודלו הזוויתי של אורנוס המרוחק:

בעת הניגוד הנוכחי יגיע מרחקו של המאדים ל- 87 מיליון ק"מ, גודלו הזוויתי ל- 16.8" ובהירותו ל- 1.5. מרחק זה גדול בכ- 35% מהמרחק המינימלי שייתכן בין כדור הארץ והמאדים. שני כוכבי הלכת הגיעו למרחק כזה, 59 מיליון ק"מ, בשנת 1988 וישבו לקרבה אינטימית כזו רק בשנת 2003. אי סדירות כזו של מרחק בין הארץ והמאדים בעת הניגוד נובעת מהמסלול האליפטי מאוד של המאדים (ראה איור).

**אם כן, מה ניתן לראות על המאדים בעת הניגוד!**

מאדים הוא כוכב הלכת החיצוני הקרוב ביותר אלינו - מסלולו סביב השמש רחוק יותר ממסלול כדור הארץ סביבה. למאדים צבע כתום עז וצבע זה שבה את לב הקדמונים. הללו האמינו כי כוכב הלכת בעל הענן הדומה לנוף הדם, מסמל מוות ומלחמות ולפיכך קראו לו על שם אל המלחמה הרומי - מארס.

מאדים הוא אחד מכוכבי הלכת הקטנים ביותר: קוטרו שווה ל- 6,720 ק"מ (0.532 מקוטר כדור הארץ). אלמלא

האחת: נחתה באתר **צ'ריסה פלאניטיה** (Chryse Planitia) והשנייה באתר **אוטופיה פלאניטיה** (Utopia Planitia).

שתי הנחתות מדדו, ונזק כדו הנחיתה, את שכבות האטמוספירה השונות של מאדים וכן אספו דגימות של מי הקרקע, לצורך בחינת הרכבו הכימי והאורגני. בדיקת הקרקע לא איששה כל נוכחות של חומר ביולוגי כלשהו בקרקע מאדים.

ב-4 ביולי 1997, נחתה על מאדים החללית **מאריס מאתי'פינדר**, החללית, שנחתה בדיוק ביום העצמאות האמריקני, נועדה לסמול את החזרה לכוכב הלכת האדום.

היא שחררה רכב בלתי מאויש, שנקרא - **סוז'ורנר**, שבדק את הרכב סלעי מאדים. הממצאים ששיגרה הנחתת סיפקו מידע על האטמוספירה הדלילה על פני מאדים, שחלף שלה היו 7 אלפיות בר<sup>2</sup>. מדידות של טמפרטורות פני מאדים הראו שבשעות הצהריים, הטמפרטורה שילה עד ל-3°C בלבד מתחת לנקודת הקיפאון, יחס יתר ממה ששיערו טרם הנחת הנחתות למאדים. בדיקות של סלעי מאדים גילו נוכחות של סיליקה (קווארץ), כיוון שסיליקה נוצרת בתהליכים חומניים בהם משורבים מים, הימצאות הסיליקה עשויה לאשש את ההשערה כי על פני מאדים ורמו בעבר מים.

מרבית החוקרים נוטים להאמין כי מתחת לפני השטח של מאדים מצויים כיום מים קפואים. בחודש ספטמבר 1997 נכנסה המקפת - **מאריס גלובל סורביור** - למסלול סביב מאדים. המקפת מצלמת את מאדים בצילומי תקריב בהפרדה הטובה ביותר עד כה (יכולת הפרדה של מטרים ספורים).

ציר הסיבוב של מאדים סביב צירו נטוי ב-25° יחסית למישור ההקפה שלו סביב השמש. כמו כן, המסלול של מאדים סביב השמש אליפטי יותר מאשר מסלול כדור הארץ. כעת, שורר קיץ בחציו הדרומי של מאדים בעת הפריהליון ואילו בצידו הצפוני שורר חורף, אך בשל המסלול האליפטי מאוד, הקיץ בחצי הכדור הדרומי חם וקצר יותר מאשר הקיץ בחצי הכדור הצפוני, שחל סמוך לאפחלוון. אורכו של הקיץ הוא 178 יממות מאדים ואילו אורכו של החורף הוא 154 יממות מאדים. העונה הארוכה ביותר על

בשנת 1964 שוגרה החללית **מארינר 4** לעבר מאדים. היא שיגרה לעבר כדור הארץ, לראשונה, תמונות של פני השטח של מאדים המצולקות במכתשים. בשנת 1967 שוגרו לעבר גם החלליות **מארינר 6** ו**מארינר 7** החללית המצלמת ביותר מסדרת מארינר היתה התשיעית בסדרה, והיא הוכנסה למסלול סביב מאדים בשנת 1971.

7000 הצילומים המפורטים ששיגרה מארינר 9 אל כדור הארץ משמשים את החוקרים עד היום - בצילומים אלה נראים היטב כיפות הקרח של מאדים, אוויר דיונות המקיפים את כיפת הקוטב הצפוני, לעת של הרי געש

כבויים ובהם הר הגעש הגדול ביותר במערכת השמש - **הר אולימפוס** (Olympus Mons). הר עק זה מתנשא לגובה 25 ק"מ, רוחב בסיסו 700 ק"מ ורוחב הלוע הכבוי שלו 90 ק"מ. מסביב ללוע מתנשאת שרשרת צוקים שגובהה 4 ק"מ. הר אולימפוס נראה היטב בתצלומים שנעשו מכדור הארץ באמצעות טלסקופים. מלבדו, מופו למעלה מ-400 הרי געש על מאדים.



**סופת אבק על מאדים באזור נחיתה חללית וויקינג 1 (מלבן).**  
**סופת האבק יכולת להמושך חודשים ולכסות כליל את מאדים**

פני מאדים מלאות במכתשים. צדו הדרומי של מאדים עתיק יותר מאשר צדו הצפוני. מספר המכתשים במחצית הדרומית של מאדים גדול ממספרם בצדו הצפוני. שלושה מכתשים גדולים

מאוד כולטים בצדו הדרומי של מאדים: **הלס, איסידיס וארגינה** (Hellas, Isidis, Argyre). הגובה הממוצע של הצד הדרומי גבוה בכ-2 ק"מ מאשר הגובה של הצד הצפוני.

מארינר 9 גם סיפקה תצלומים מפורטים של אזור הקניון הגדול ביותר במערכת השמש - **וולס מארינריס** (Valles Marineris) - שמשתרע לאורך של 5000 ק"מ. בתצלומים ששיגרה מארינר 9 גם נראות עדויות רבות, למה שנראה כיוכלים חרבים, שבעבר הרחוק ורמו בהם מים יובלים אלה וכן אווירי סחף וזרדרת, גרמו לחוקרים לחשוב שוב, כי על מאדים קיימים חיים או שלמות היו קיימים חיים בעבר. כדי לבדוק את פני השטח של מאדים בדיקת מדוקדקת, וכן לבדוק את האפשרות לקיום חיים על מאדים, שוגרו בשנת 1975 לעבר מאדים שתי חלליות מסדרת וויקינג: **וויקינג 1** ו**וויקינג 2**, שהגיעו ליעדן בקיץ 1976. משימתן היתה לבצע הקפות סביב מאדים, לצלם אותו ואת שני ירחיו וכן להנחית שתי נחתות על פניו.

<sup>1</sup> בר אחד הוא הלף האטמוספירי הממוצע על פני כדור הארץ, בגובה פני הים.

למרות שמאדים הוא כוכב לכת חיצוני, הודות למרחקו הקטן, יחסית מכדור הארץ בעת הניגוד, ניתן לעתים לראות חלק קטן מפני מאדים המופנים מהשמש והלאה. מסיבה זו, מאדים נראה מוגם (דומה למופע הירח יום לפני שהוא מלא לחלוטין) בחודשים לפני ואחרי הניגוד. את התופעה הזו ניתן לראות גם בטלסקופים קטנים יחסית. מאדים עשיר בתצורות נוף מגוונות הנראות, בקלות יחסית, בטלסקופ. איזורים כהים (מדבריות), קטבים, סופות חול ועוד. לכן, כדי להפיק את המרב מהתצפית, רצוי מאוד להשתמש במסננים צבעוניים.

פני מאדים היא האביב, שאורכה 199 יממות מאדים, כיוון שהיא חלה כשמאדים מצוי סמוך לנקודת האפהליון של מסלולו. השנה הקצרה ביותר היא הסתיו, שאורכה 143 יממות מאדים. שילוב של אליפטיות המסלול וכן מחזור תנועת הנקיפה של מאדים, הנגרמת מסרטורבציות של כוכבי הלכת, מביא לכך, שמדי עשרות אלפי שנים, החורף בצדו הצפוני של מאדים מתרחש בעת הפריהליון. אז, החורף קצר וחם יותר בחצי הצפוני, והתוצאה: איזוי חלק מכיפת הקרח בקוטב הצפוני ואולי, עליה של הטמפרטורה הממוצעת על פני מאדים מגול ל- $0^{\circ}$  שתאפשר זרימת מים נוזלים על פניו.

### מדוע מאדים אדום?

מאדים הוא כוכב לכת בעל אטמוספירה דלילה מאוד, יחסית לאטמוספירות של כדור הארץ ונוגה, גם כמות המים באטמוספירה שלו נמוכה מאוד, יחסית לכמות המים באטמוספירת כדור הארץ בזמנים קדומים יותר, היתה כמות אדי המים באטמוספירת מאדים גדולה יותר, אלא שעקב מחסור באוקיינוסים וצורות חיים שיקלטו את אדי המים והחמצן, נקלטו אדי המים שבאטמוספירות מאדים בקרקע מאדים, העשירה בברזל. התוצאה - הברזל, שבקרקע מאדים, התחבר אל החמצן, שבאדי המים, והתחמצן. במילים אחרות, הברזל החליד צבעה הכתום-אדום של החלודה, הוא המעניק למאדים את הנון הכתום אדום שלו.

### איך צופים על מאדים?

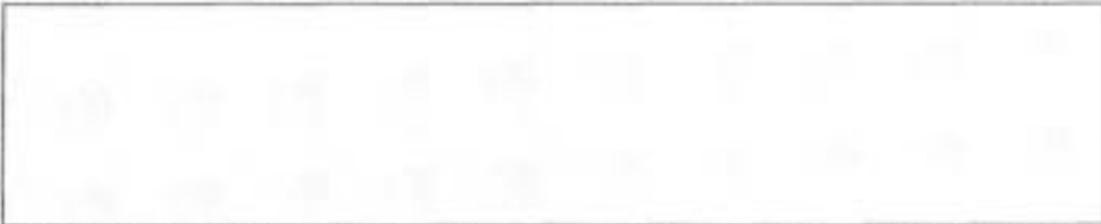
מאדים הוא כוכב לכת קטן, שמרחקו מכדור הארץ נע בין 80 מיליון ל-380 מיליון ק"מ ותלוי במיקומם של שני כוכבי הלכת זה יחסית לזה, ובמסלוליהם סביב השמש. כאשר מאדים מצוי במרחק הגדול ביותר מכדור הארץ, הוא נראה בקושי רב גם בטלסקופים גדולים. הזמן הטוב ביותר לתצפית במאדים הוא בעת שכדור הארץ ומאדים מצויים זה לצד זה במסלולם סביב השמש. בעת כזו, מאדים מצוי בניגוד והוא זורח בדיוק בעת שקיעת החמה. אז, הודות לגודלו הזוויתי הוא נוח לתצפית וניתן להבחין גם בכימות הקרח שלו ובמדבריותיו הכהים, גם בטלסקופים קטנים. מרק, הזמן בין שני ניגודים שקבים של מאדים הוא 779.94 יום. אחת ל-15 שנה בקירוב, מאדים מצוי בניגוד, כאשר הוא קרוב לפריהליון של מסלולו ואילו כדור הארץ קרוב לאפהליון של מסלולו. אז, המרחק בין שני כוכבי הלכת הוא הקטן ביותר, כ-60 מיליון ק"מ בלבד, ומאדים נראה בשיא גודלו הזוויתי - כ-25 שניות קשת. הפעם האחרונה בה היו שני כוכבי הלכת קרובים במידה כזו, היתה בשנת 1988 ואילו הפעם הבאה תתרחש בשנת 2003.



**הניגודים בין כדור הארץ ומאדים בשנים האחרונות. המספרים בסוגריים מביטאים את המרחק בין כוכבי הלכת בזמן הניגוד**

הואיל ומאדים סובב סביב צירו אחת ל-24 שעות ו-15 דקות, אם נצפה בשעה מסוימת על פני המאדים, נוכל לראות בדיוק את אותם פרטי נוף למחרת היום ובאותה שעה. לכן, כדי לראות את מרבית פני המאדים, נצטרך לצפות עליו במשך חודשיים שלושה. אנו נרשום את קו האורך המרכזי של המאדים הפונה אל כדור הארץ באתר האינטרנט [www.cosmos.co.il](http://www.cosmos.co.il) וכן באתר האגודה [www.astronomy.org.il](http://www.astronomy.org.il).

יגאל פת אל הוא יושב ראש האגודה הישראלית לאסטרונומיה ומנהל מופה הכוכבים בגבעתיים. המאמר לקוח מתוך הספר "אסטרונומיה-מדריך להכרת השמיים", פרי עטו. הספר עוסק בתצפית בשמים: הקואורדינטות השמימיות, מערכת השמש ותצפיות שמים עמוקים.



NEOs, אך במאמץ הכולל מעורבים פחות מ-100 איש ואישה. מחקרי חיפוש ה-NEOs המוריים ביותר ב-1997-98 הם: תוכנית החיפוש LINEAR (Lincoln Near-Earth Asteroid Survey של MIT Lincoln Lab), המבוצעת במדינת ניו-מקסיקו בארז'יב בתמיכת חיל-האוויר האמריקאי; תוכנית החיפוש NEAT (Near Earth Asteroid Tracking) בהוואי, המבוצעת במשותף על-ידי המעבדה להינע סילוני (JPL) של NASA וחיל האוויר האמריקאי; וסקר Spacewatch באוניברסיטת אריזונה, הממומן על-ידי NASA ומגוון מענקים פרטיים. (בקרוב ייחנך מצפה נוסף LONEOS, Lowell Observatory Near-Earth-Objects Survey) באריזונה, אשר יקדש אף הוא לחיפוש NEOs). מחקרי חיפוש אחרים בארז'יב, צרפת, יפן וסין תורמים אף הם לגילוי NEOs, בעוד אסטרונומים נוספים מבצעים תצפיות מעקב בעזרת מצגי עזר.

**5. האם ידועים NEOs הצמייים למנוע בכדור-הארץ?**

התרחשו מגיעות בכדור-הארץ במהלך ההיסטוריה שלו, וללא ספק יתרחשו מגיעות בעתיד. אך אף אחד מן ה-NEOs הידועים אינו במסלול התנגשות עם כדור-הארץ. כל ה-NEOs הידועים ומיקומם העתידי הצמיי נגזרים באופן חופשי לכל מי שבידיו גישה לאינטרנט. הבעיה היא שהאסטרונומים גילו עד כה כ-10% בלבד אף מן ה-NEOs הגדולים יותר (קוטר גדול מ-1 ק"מ). כך ש-90% מהם נותרים בלתי ידועים, ואין בידו כל דרך לחזות את המגיעה הבאה של גוף בלתי-ידוע.

**6. האם אסטרואיד 1997XF<sub>11</sub> יפגע בכדור-הארץ בשנת 2028 כפי שנחזה?**

לא: מעולם לא הייתה תחזית שהאסטרואיד 1997XF<sub>11</sub> לא כל אסטרואיד אחר) יפגע בכדור-הארץ. בחודש מרץ 1998 מסר אסטרונום אחד לעיתונות ש-1997XF<sub>11</sub> יגיע קרוב לכדור-הארץ בשנת 2028 וכי לא ניתן לשלול התנגשות, אך למרבה המזל חישובים מדויקים ותצפיות נוספות גילו במהרה שסכנת התנגשות אינה קיימת.

**7. מהו הסיכוי להתנגשויות?**

איננו יודעים מתי יתרחש ההתנגשות הבאה של NEO, אך אנו כן מסוגלים לחשב את הסיכויים לכך. באופן סטטיסטי, הסכנה הגדולה ביותר הנה מ-NEO בעל אנרגיה של 1 מיליון טונות TNT (קוטר של בערך 2 ק"מ). בממוצע, אחד מאלו מתנגש בכדור-הארץ פעם או פעמיים במיליון שנה, בגורמו קטסטרופה גלובלית אשר תהרוג חלק ניכר (אך בלתי-ידוע) של אוכלוסיית האנושות על פני כדור-הארץ. באם נצמצם זאת למונחים אישיים, פירוש הדבר שלכל אחד מאתנו יש סיכוי של אחד ל-20,000 למות כתוצאה מהתנגשות. סטטיסטיקה מעין זו הנה מעניינת, אך אין

לאור העניין הרב בנושא ה-NEOs, אשר אף התגבר לאחרונה עם צאתם של הסרטים Deep Impact ו-Armageddon לאקרנים, אנו נתקלים במספר רב של שאלות בנושא. לאור התעניינות זו, ועל-מנת לאפשר מתן תשובות קולטות ומדויקות מבחינה מדעית, ריכזנו במדורט הפעם את 10 השאלות הנפוצות ביותר (Frequently Asked Questions – FAQs) בנושא ה-NEOs (ועוד אחת...) וענינו עליהן באופן ממצה ועדכני. נשמח לספק תשובות לשאלות נוספות אשר יופנו אלינו למדור זה. השאלות הטובות והתשובות עליהן יורסמו במדור מפעם לפעם.

**1. מהו INEO?**

(Near-Earth-Objects) NEOs, או בעברית עצמים קרובי ארץ, הנם גופים קטנים במערכת השמש (אסטרואידים ושביטים קצרי מסלול) בעלי מסלול המביא אותם בקביעות לקרבת כדור-הארץ ואשר, על-כן, מסוגלים ביום מן הימים לפגוע בפלנטה שלנו. לפעמים המונח NEO משמש גם באופן כוללני ומכיל את כל השביטים (לא רק את אלו בעלי המסלול הקצר) אשר מסלולם חוצה את זה של כדור-הארץ. אותם NEOs אשר מסלולם מצטלב למעשה במסלול כדור-הארץ נקראים ECO's (Earth Crossing Objects), או בעברית עצמים חוצי ארץ.

**2. באיזה גודל ה-NEOs מסוכנים?**

אטמוספירת כדור-הארץ מגינה עליו מרוב ה-NEOs הקטנים מגודלו של בניין משרדים צנוע, היינו קוטר של כ-50 מטר, או אנרגיית התנגשות של בערך 5 מנהטון (1 מנהטון = 1 מיליון טון TNT). מגודל זה ומעלה ועד לקוטר של בערך 1 ק"מ, NEO המתנגש בכדור-הארץ עלול לגרום לנזק עצום בקנה מידה מקומי. מעבר לאנרגיה של מיליון טונות TNT (קוטר של כ-2 ק"מ), התנגשות תגרום נזק סביבתי חמור בקנה מידה עולמי. מגיעות גדולות אף מכך עלולות לגרום להכחדות המוניות, כמו זו אשר סיימה את עידן הדינוזאורים לפני 65 מיליון שנה (קוטר של 15 ק"מ ואנרגיה של בערך 100 מיליון מנהטון).

**3. כמה NEOs קיימים?**

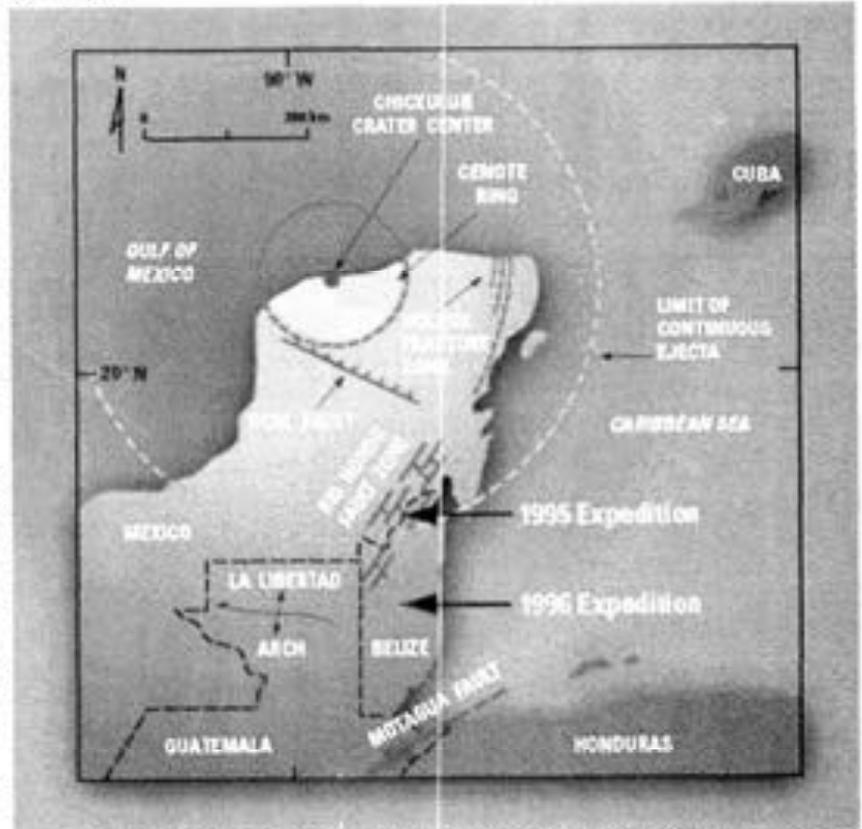
קיימים הרבה יותר NEOs קטנים מאשר גדולים. האסטרונומים מעריכים שקיימים בערך 2000 NEOs אשר קוטרם גדול מ-1 ק"מ, ויותר ממיליון אשר קוטרם גדול מ-50 מטר (שהוא הסף לחדירה מבעד לאטמוספירת כדור-הארץ). ה-NEOs הגדולים ביותר קוטרם קטן מ-25 ק"מ.

**4. מי מחפש INEOs?**

מספר צוותים של אסטרונומים ברחבי העולם סורקים את השמיים בעזרת מצלמות אלקטרוניות על-מנת לגלות

בידה לומר לנו, כמובן, מתי תתרחש הפגיעה הקטסטרופית הבאה – בשנה הבאה או בעוד מיליון שנה מתקופתנו.

הקונגרס האמריקאי ערך שימועים על-מנת ללמוד את סכנת ההתנגשות (ב-1993 וב-1998), והן NASA וחיל האוויר האמריקאי תומכים בסקרים לגילויים של NEOs. בשנת 1997 אימצה NASA את המטרה של גילוי 90% מן ה-NEOs אשר קוטרים גדול מ-1 ק"מ בעשור הקרוב. בשנת 1998 קבעה NASA את המשרד לתוכנית NEO Program (NEO Office), וניתן לצפות כי לפחות 3 מיליון דולר לשנה יוקדשו לתוכנית חיפוש של NEOs וחישובי מסלוליהם, הנתמכות על-ידי NASA. אולם בקצב הגילויים הנוכחי (1998), יידרשו לסקרי גילויי הקיימים מאה שנה, לא עשור, על-מנת להשיג השלמה של 90%. בנוסף, משרד ההגנה האמריקאי בוחן משימות חלל המכונה Clementine 2, לבחינת הטכנולוגיה הדרושה לזירוז NEOs.



אזור פגיעת אסטרואיד לפני 65 מיליון שנה באזור מפרץ מקסיקו. התנגשות זו, מאמינים, השמידה את הדינוזאורים

ממשלות אחרות הביעו דאגה בקשר לסכנת ה-NEOs, אך אף לא אחת מימנה עד עתה סקרי גילוי נרחבים או מחקרים ביטחוניים השייכים לנושא. ארגון פרטי אשר מקום מושבו באירופה, מוסד הגנת החלל (Spaceguard Foundation), מקדם אף הוא מחקר בנושא NEOs על בסיס שיתוף פעולה בין-לאומי. למותר לציין שממשלת ישראל אינה עושה דבר וחצי דבר בנושא.

נתקלנו לאחרונה גם בשאלה הבאה:

11. האם לא ייתכן כי כל נושא ה-NEOs נופח מעבר לכל פרופורציה מסיבות מוליטיות או על-ידי ביטאי קולנוע

טמולחים!

כלל וכלל לא. נהפוך הוא, רק לאחרונה התחלנו להבין את גודל הסכנה הכרוכה בפגיעה של NEOs בכדור-הארץ. יתרה מזו, רק במאה שלנו אירעו שתי התרחשויות המדגישות כי הסכנה אכן הנה אמיתית – התמוצות של טף קטן, בסדר גודל של כ-50 מטר, בגובה של כ-8 ק"מ מעל ערבות הטונדרה של סיביר באזור טונגוסקה ב-30 ליוני 1908, והתנגשות השביט (SL9) Shoemaker-Levy 9 בכוכב הלכת זדק בחודש יולי 1994.

שאלות אלו תודגמו ברשיון והוחלטו להדפסה במדור זה באדיבותו של ד"ר דיוויד מוריסון (David Morrison), עורך ה-NEO News ומרכז הנושא מטעם NASA. סוכנות החלל LONEOS האמריקאית, ספטמבר 1998.

הערה: ניתן למצוא חומר רב נוסף בנושא זה באתר הבא באינטרנט: <http://impact.arc.nasa.gov>

בברכת שמיים צלולים לכולם, אילן מנליס

אילן מנליס מכהן כראש חטיבת ה-NEO באגודה הוא הישראלי השני, שגילה אסטרואיד, באמצעות טלסקופ וויז במצפה רמון. עם הגעת המיכשור החדש למצפה בנבעתיים ינסה גלות ולקבוע אתר אסטרואידים ושביטים חדשים. חברים המעוניינים להשתתף בחכנית מוזמנים לכתוב לאגודה.

8. כמה זמן התראה יהיה בידינו!

במצב ש-90% מן ה-NEOs הגדולים יותר כיום תהיה אכס – הרמו הראשון להתנגשות יהיה ברק אור ורעידת האדמה כשהחפץ פוגע בניגוד לכך, אם מחקר גילוי מתבצע ומסלולי ה-NEOs מחושבים, אנו מצפים לשורות שנים רבות של התראה מוקדמת. זוהי מטרתו של מחקר משמר החלל (Spaceguard Survey) המוצע, כמעט בכל המקרים, או שיהיה בידינו זמן התראה ארוך או כלל לא.

9. כיצד יכולים אנו להגן על עצמנו!

פגיעת NEOs הנה הסכנה הטבעית היחידה אשר ביכולתנו להתגונן מפניה באופן יעיל, על-ידי הסטה (או השמדה) של ה-NEO לפני שהוא פוגע בכדור-הארץ. הצעד הראשון בכל תוכנית של הגנה פלנטרית הנו איתור ה-NEOs; אינו יכולים להתגונן מפני דבר אשר אינו יודעים כי הוא קיים, אנו זקוקים גם לזמן התראה ארוך, לפחות של עשור, על-מנת לשלוח חללית לזירוז את הגוף ולהסיטו ממסלולו. תוכניות מתאר רבות להגנה נבחנו באופן ראשוני, אך אף לא אחת נבחנה בפרוטרוט. בהעדר הגנה פעילה, אוהרה לגבי מועד ומקום הפגיעה יאפשרו לנו לפחות לאגור מזון ומצרכים ולפנות אזורים ליד מקום הפגיעה המשוער (ground zero), היכן שהנזק יהיה מירבי.

10. מה עושות ממשלות העולם בנושא! אסטרונמייה כרך 25 גליון 3

# בית קברות לכוכבי ניוטרונים

מאת ערן אופק



שאריות סופרנובה 1987A בענן המגלני הגדול (במרכז). הסופרנובה הייתה מסוג II - כזו היוצרת כוכב ניוטרונים

נחזו. הגילוי של פולסארים בערפילית הסרטן ע"י Staelin & Reifenstein נתן תמיכה עצומה לרעיון של Baade & Zwicky. כאמור, עוד בטרם התגלו כוכבי הניוטרונים נחזה כי יהיו להם מהירויות גבוהות, שדות מגנטיים חזקים וכן שכוכב ניוטרונים סופח במערכת זוגית יכול להיות מקור קרינת X, רב עוצמה.

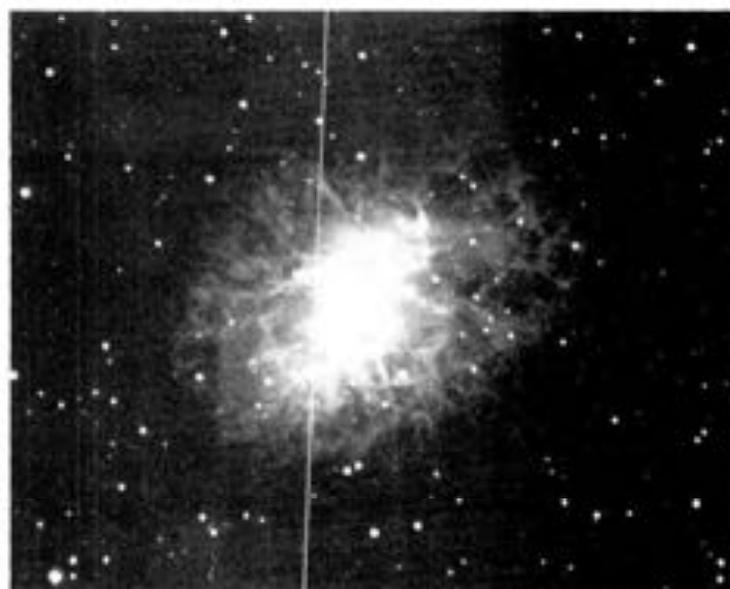
כוכב ניוטרונים טיפוסי, נוצר בהתפוצצות סופרנובה

## מבוא

קיומם של כוכבי הניוטרונים נחזה עוד ב 1934 ע"י Baade & Zwicky זמן לא רב לאחר גילוי הניוטרון. "With all reserve we" כתבו Baade & Zwicky advance the view that supernovae represent the transitions from ordinary stars into "neutron stars". אמנם חלפו יותר מ 30 שנה עד לגילוי כוכבי הניוטרונים, אבל תכונות רבות שלהם

אסטרונומיה, כרך 25 גיליון 3

מטיפוס II. כוכב שנסחף ההתחלתית למעלה מ-8 מסות שמש מסיים את חייו בקריסת הליבה המרכזית (Core Collapse). בתהליך זה משתחררת אנרגיה בשעור  $10^{44}$  erg. רוב האנרגיה הנייל יוצאת בצורת נייטרונים. לאחר קריסת הליבה המרכזית נוצר כוכב נייטרונים המסתובב במהירות סביב צירו - פולסאר. כוכב הנייטרונים האופייני הנוצר בתהליך הנייל מסתובב סביב צירו כשער פעמים בשניה והינו בעל שדה מגנטי של כ-  $10^{12} - 10^{13}$  G. ב-1967 גילו Bell ו Hewish את הפולסארים הראשונים כיום, כשלושים שנה מאוחר יותר, ידועים בגלאקסיה שלנו כ-700 פולסארים.



ערימילית הסרטן בקבוצת שור. הערימילית נוצרה בשנת 1054 במיצוץ סופרנובה אדיר שנראה גם באור יום בעין בלתי מזוינת. בתוכה התגלה הפולסר הראשון (ראה בהמשך).

דיאגרמת  $\dot{P}$  P. פולסאר אופייני נולד בחלק הימני עליון של הדיאגרמה ומתקדם ימינה (זמן מחזור מתארך) ויורד למטה (השינוי בזמן המחזור קטן). כאשר חוצה הפולסאר את הקו המסומן בקו המוות (death line) הוא נכנס לאזור "בית הקברות" של כוכבי הנייטרונים (grave yard). עוצמת הקרינה שהוא פולט קטנה והפולסאר חודל לקרוץ בתחום הרדיו. הזמן האופייני שבו כוכב נייטרונים מגיע לבית הקברות הינו כ-  $10^7$  שנים. מאחר וגיל הגלאקסיה שלנו הינו כ-10 מיליארד שנה ומאחר ומערכים כי יש בגלאקסיה שלנו כ-  $2 \times 10^7$  פולסארים, תחת ההנחה האופטימית כי קצב יצירת הכוכבים בגלאקסיה לא ירד מערכו הנוכחי, צפויים לחיות בגלאקסיה שלנו לפחות כ-  $10^7$  כוכבי נייטרונים מבודדים וזקנים (פולסארים בבית הקברות) שאינם פולטים עוד כפולסארים. הערכות זהירות יותר יתנו מספר של כ-  $10^6 - 10^7$  כוכבי נייטרונים.

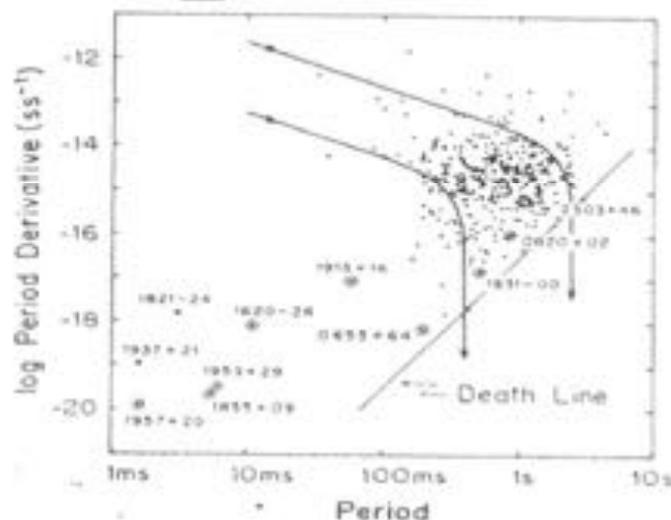
Blais & Madam (1993) מעריכים את צפיפות כוכבי הנייטרונים בגלאקסיה בכ:

$$n_{n,gal} = 7.5 \times 10^{-4} N_{gal} pc^{-3}$$

כאשר  $N_{gal}$  הינו מספר כוכבי הנייטרונים בגלאקסיה ביחידות של  $10^4$  כוכבי נייטרונים.

רוב הפולסארים בדיאגרמה זו (למעט ה millisecond pulsars) מרוכזים בזמני מחזור של 0.1 עד 4 שניות והאטה בזמני המחזור של כחלק אחד ל-  $10^{12}$  בכל סיבוב. אותם פולסארים המרוכזים בצד שמאל בתחית הינם פולסארי אלפיות שניה (millisecond pulsars) פולסארים אלו ככל הנראה הינם זקנים מאוד ויתכן כי "ננבר" תנע זוויתי מבין זוג שהיה להם וכתוצאה מכך האיצו את קצב הסיבוב סביב צירם. אחד הפולסארים נמצא במערכת בינארית שבה בן הזוג הינו כוכב בעל כ-0.1 מסות שמש שכלל הנראה "אודה" עיי קרינת הפולסאר. המערכת הגיל נקראת האלמנה השחורה (Black Widow).

איור (1) - דיאגרמת  $\dot{P}$  P



מאחר וסופרנובות מטיפוס II שכיחות כדיסקה וכזרועות הגלאקסיה, ומאחר וגילם של פולסארים הינו נמוך יחסית כפי שהוסבר, אזי הפולסארים מרוכזים בעיקר במישור הגלאקסיה, והגובה האופייני (Height Scale) האופייני הינו כ-300pc. רוב הפולסארים הידועים נמצאים במרחקים של עד כמה kpc מהשמש.

כשנתיים לאחר גילוי הפולסאר הראשון הציע Osinkar,

פולסארים הינם בקרוב דימול מגנטי מסתובב, שהציר המגנטי שלו נטוי לציר הסיבוב, במצב כזה הפולסאר יאבד אנרגיה עיי פליטת קרינת דימול מגנטי בשיעור:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} I \omega^2 \right) = L = -\frac{2}{3c^3} B^2 R^6 \sin^2 \alpha \cdot \omega^4$$

כאשר I, הינו מומנט ההתמד, L ההארה, R הרדיוס, B השדה המגנטי על שפת כוכב הנייטרונים,  $\alpha$  זווית הנטייה בין ציר הסיבוב לציר המגנטי, c מהירות האור ו  $\omega$  הינה התדירות הזוויתית.

עבור כוכב נייטרונים טיפוסי ברדיוס 10 ק"מ, עד כדי הפקטור הזוויתי של משוואה (1), ניתן לרשום את האטה בזמן המחזור כך:

$$\dot{P} \approx 10^{-15} B_{12}^2 P^{-1} s \cdot yr^{-1} \quad (2)$$

כאשר  $B_{12}$  הינו השדה המגנטי על שפת כוכב הנייטרונים ביחידות של  $10^{12}$  G.

משוואות (1) ו (2) אנו מקבלים כי מחזור הסיבוב של הפולסאר הולך ומתארך וכתוצאה מכך הפולסאר קורץ פחות, ועל כן ה  $\dot{P}$  שלו קטן. באמצעות הפרמטרים הללו  $\dot{P}$  ניתן אם כן לקבל אינפורמציה אבולוציונית חשובה מאין כמוה על פולסארים. לדוגמא, ברור כי גיל הפולסארים הינו יחסי ליחס בין שני הגדלים הללו. על כן דיאגרמת  $\dot{P}$  P הינה כלי חשוב בחקר פולסארים. באיור (1) מופיעה

הביטוי לאנרגיה פוטנציאלית. (עד כדי פקטור יעילות).

עבור המסה האופיינית לכוכב ניוטרונים שלקחנו קודם, ורדיוס אופייני של כ 10 ק"מ, הארה תיתן ע"י:

$$L = 1.9 \times 10^{30} \dot{M}_{10} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$$

6)

כאשר  $\dot{M}_{10}$  הינו קצב הספיחה ביחידות של  $10^{10} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

על מנת להעריך את הטמפרטורה האופיינית נניח כי הכוכב ניוטרונים יקרן כמו גוף שחור נאי.

$$T = \left( \frac{L}{4\pi\sigma \cdot R^2} \right)^{1/4}$$

7)

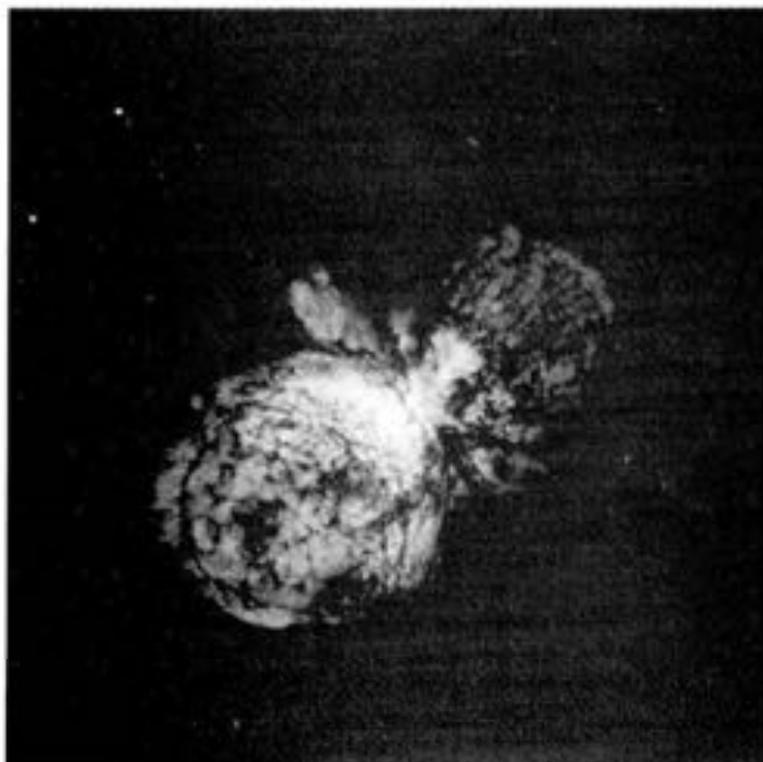
כשאר  $\sigma$  הינו קבוע סטפן בולצמן. את הביטוי האחרון ניתן גם לרשום כך:

$$T \approx 1.09 \times 10^7 \cdot \left( \frac{L_{26}}{R_{10}^2} \right)^{1/4}$$

8)

כאשר  $L_{26}$  הינו הארה ביחידות של  $10^{26} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$  ואילו  $R_{10}$  הינו רדיוס כוכב הניוטרונים ביחידות של 10 ק"מ. אם כן אנו מקבלים טמפרטורות אופייניות שבהן תיפלט רוב קרינת הנוף בתחום קרינת ה X הרכה (Soft X-Ray) או בתחום האולטרא סגול הקיצוני (EUV).

הדיון שביצענו עד כה הינו פשטני ביותר, לכוכבי ניוטרונים שדות מגנטיים חזקים ביותר, שדות מגנטיים אלו יכולים למשל לתעל את הספיחה דרך עמודי ספיחה. עתה נדון בסיבוכים אפשריים באופי הספיחה שהצגנו עד כה.



הכוכב הסופר מאסיבי אטה קרינה. בעל מאסה של 100 מאסות שמש רוח הכוכב החזקה שלו יוצרת סביבו ערפילית.

Rees & Silk כי כוכבי ניוטרונים מבודדים וזקנים יכולים לפלוט קרינה כתוצאה מספיחת חומר מהחלל הכין כוכבי  $\dot{M}_{10}$ .

ההשלכות העיקריות של מציאת כוכבי ניוטרונים בודדים וזקנים הינם:

- הערכת גודל אוכלוסית כוכבי הניוטרונים הבודדים בגלאקסיה, תלמד אותנו רבות על כמות הסופרנובות בגלאקסיה, ועל קצב יצור הכוכבים בעלי מסה גבוהה בגלאקסיה.
- הקרינה הנפלטת מכוכבי ניוטרונים כאלו אולי תאפשר לימוד (או לפחות הצבת הסמים) על משוואת המצב של כוכבי ניוטרונים.

### תהליכי ספיחה מהחומר הבין כוכבי

כאמור ב 1970 הציע Ostriker, Rees & Silk כי כוכבי ניוטרונים בודדים בגלאקסיה יספחו חומר מהתווך הבין כוכבי. כל תהליכי הספיחה שנדבר עליהם בעבודה הנ"ל יניבו הארות

הנמוכות מבהירות אדינגטון. מאחר וצפיפותו האופיינית של התווך הבין כוכבי בגלאקסיה הינה כבריון לסטיק, חומר זה יכול להיספח לעבר כוכב הניוטרונים בתהליך המכונה *Bondi-Hoyle accretion*, התהליך הנ"ל נלמד לראשונה ע"י Bondi & Hoyle ב 1944. במצב זה קצב הספיחה מתואר ע"י

$$\dot{M} = \frac{4\pi\lambda \cdot G^2 M^2 \cdot \rho}{(v^2 + c_s^2)^{1/2}}$$

4)

כאשר M הינה מסת הכוכב הסופת, v מהירותו ביחס לתווך שאותו הוא סופת,  $\rho$  הינה צפיפות התווך הנספח, ו  $c_s$  הינה מהירות הקול (ערך אופייני הינו כ 10 ק"מ לשנייה,

ערך אופייני לנו מינון ב 10000K).  $\lambda$  הינו מעין פרמטר יעילות, מסדר גודל של יחידה, שתלוי בעיקר במהירות ביחס למהירות הקול. במהירויות נמוכות  $v \ll c_s$  יש צורך לקחת תהליכים המתרחשים בגו הפרמטר הינו כ 0.25, עבור מהירויות גבוהות טאד ביחס למהירות הקול הפרמטר הנ"ל שואף ל 1 (Hunt 1971). סימולציות מחשב בשלושה מיסדים שביצעו Livio et al. (1986), הראו כי הנוסחה הנ"ל הינה קרוב טוב למציאות, גם כאשר נלקח בחשבון הלחץ של הגז הנספח.

אם נניח מסה של 1.4 מסות שמש לכוכב הניוטרונים, נקבל את קצב הספיחה:

$$\dot{M} = 7.3 \times 10^{14} \frac{h}{(v^2 + c_s^2)^{1/2}} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

4)

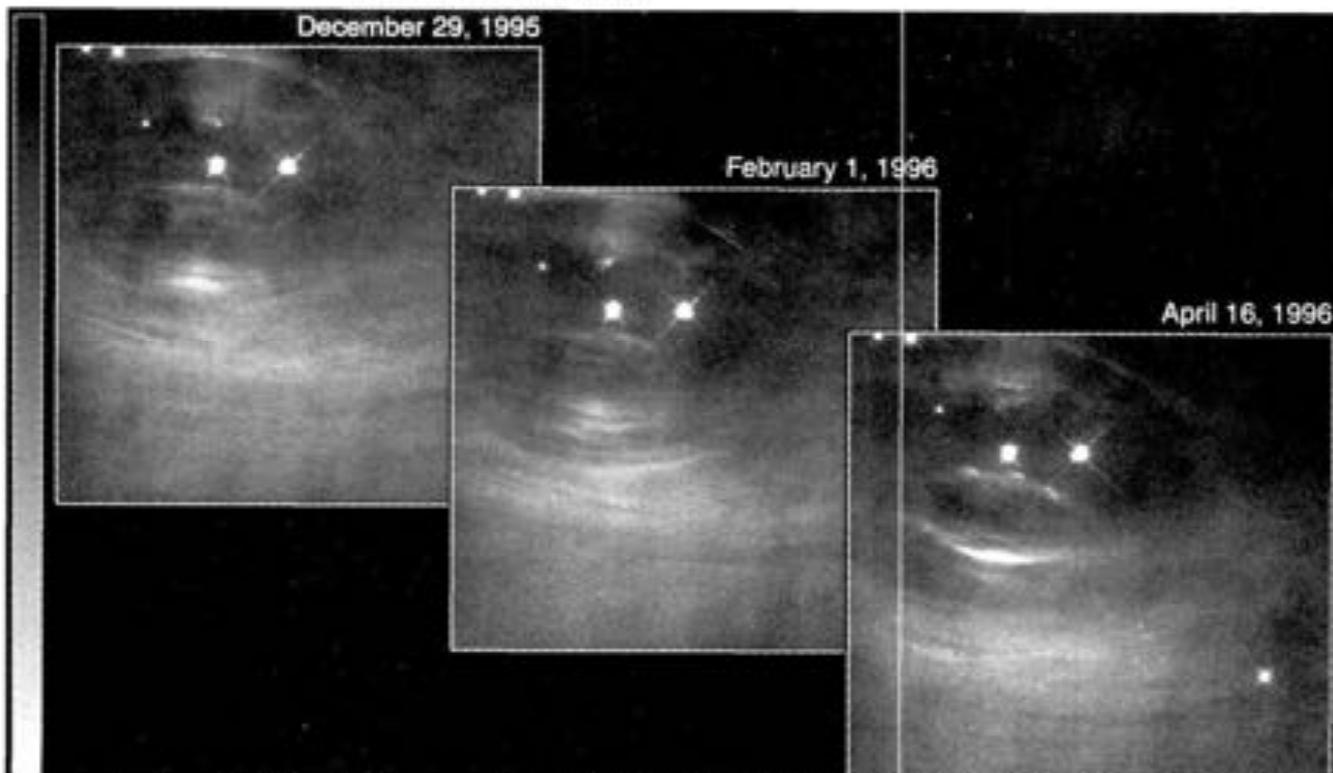
כאשר h הינה הצפיפות הבריונית ב  $\text{cm}^{-3}$ .

$$L = \frac{GM\dot{M}}{R}$$

5)

בתהליך תשתחרר כמוכב אנרגיה גרויטציונית שתחמם את כוכב הניוטרונים. בהירות הספיחה תיתן ע"י

אסטרונומיה, כרך 25 גיליון 3



שינויים סביב המולטר PN 0532 שבערפילית הסרטן, בתקופה של 4 חודשים. המולטר התגלה בשנת 67 ע"י הסטודנטית ג'וסלין בל במקרה. בזמן מחקר על כוכבים הפולטים קרינת רדיו היא גילתה שאחד מהם פולט רדיו במעימות קבועות 30 פעמים בשניה. המולטר גם פועם באור נראה וקרינת X. מאז התגלו עוד 700 כוכבי נייטרונים

כמוכן שאם מהירות סיבוב של כוכב נייטרונים בלידתו גדולה מהערך שניתן ע"י P, אזי המכניזם שתואר כאן לא ימנע ספיחה, אבל ככל הנראה אין עדויות תצפיתיות לכך שפולסארים נילדים עם מחזורי סיבוב ארוכים כאלו.

המחסום הבא שחומר נספח יתקל בו יהיה (!!) ברדיוס רדיוס זה מוגדר כמרחק שבו צפיפות האנרגיה המגנטית משתווה לצפיפות האנרגיה הקינטית:

$$\frac{B^2}{8\pi} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

כאשר  $\rho$  הינה צפיפות החומר הנספח ו  $v$  מהירותו. כמו כן יש לזכור כי עסקינו בדיפול מגנטי ועל כן:

$$B \propto r^{-2}$$

וכן אם נניח כי החומר הנספח נופל בקרוב במהירות נמילה חופשית. אזי לבסוף ניתן לקבל ביטוי עבור  $r_{\text{Alfvén}}$  (radius

$$R_A \approx 1.7 \times 10^{10} B_{12}^{-4} n^{-1} v_{10}^{-2} \text{ cm}$$

המחסום הבא שירגיש חומר הנספח לעבר כוכב הנייטרונים מעוף פשוט בכוחות צנטריפוגליים. אם קצב הסיבוב של כוכב הנייטרונים סביב צירו, יהיה גדול ממהירות הסיבוב הקפלרית באותו רדיוס, חומר הנפל לכוכב הנייטרונים פשוט לא יצליח לעבור את המחסום הנ"ל. האפקט הנ"ל ידוע בשם אפקט הפרופלור (*Propeller effect*) והמחזור הקריטי עבורו ניתן ע"י (Blaes et al. (1992), והוא:

תחזיות תאורטיות לגבי השדה המגנטי של כוכבי נייטרונים אינן בהסכמה. רק לדוגמה: (1996) מירי חוזה דעיכה אקסמונציאלית בעוצמת השדה המגנטי של כוכבי נייטרונים ואילו (1990) רומני חוזה שהשדה המגנטי כמעט ולא ישתנה בסקלת זמן של גיל הגלאקסיה.

בעת ספיחת חומר במטנציאל של כוכב הנייטרונים, עליו לזכור כי כוכב הנייטרונים הינו דיפול מגנטי מסתובב. כתוצאה מכך פולט כוכב הנייטרונים מה שלעיתים קרוי "רוח הפולסאר" (*Pulsar Wind*). זהו למעשה שטף של תנע

זויתי הנפלט מכוכב הנייטרונים. (Blaes et al. (1992) הראו כי הלחץ שסופעיל החומר הנספח לא מסוגל לחדור מבעד לרוח הפולסאר כל עוד הפולסאר לא האיט את מהירות סיבובו ל:

$$P \approx 4.5 \cdot n^{-1/4} v_{10}^{1/2} B_{12}^{1/2} \text{ s}$$

יש לזכור כי ככל ש  $v_{10}$  קטן יותר, כך הספיחה גדולה יותר וכך הלחץ של החומר הנספח גדול יותר ויש צורך בזמן מחזור קצר יותר על מנת להגיע לשוויון).

מאחר שאנו יודעים את קצב איבוד התנע של דיפול מגנטי מסתובב (נוסחה 1), קל לקבל ביטוי לזמן שלוקח לכוכב נייטרונים להגיע למצב שמהירות סיבובו תואט לגודל הניתן ע"י הביטוי האחרון, פרק הזמן הדרוש במיליארדי שנים הינו:

$$t \approx 1.25 \cdot B_{12}^{-1} n^{-1/4} v_{10} \text{ Gyr}$$

כאשר  $v_{10}$  הינה מהירות הפולסאר ביחס לתווך הבין כוכבי

### כוכב נייטרונים שנע בחלל סופח אליו חומר מהתווך הבין כוכבי. הספיחה מחממת את פניו וגורמת לו להאיר בספקטרום מסויים. כך ניתן לגלות כוכבי נייטרונים בודדים.

$$P \approx 1.78 \times 10^4 \cdot B_{12}^{67} n^{-37} v_{10}^{97} s$$

זמן המחזור הדרוש על מנת להתגבר על אפקט הפרופלור הינו ארוך מדי, על מנת להגיע אבולוציונית לזמני מחזור כאלו יש צורך בזמן גדול בהרבה מזמן האבל.

מוצא אפשרי מהבעיה הנ"ל הינו כי החומר הנופל על כוכב הניוטרונים יכול להפעיל מומנט על כוכב הניוטרונים ולהאיט את קצב סיבובו, הפיזיקה של התהליך הנ"ל איננה מובנת היטב. Illarionov & Sunyaev (1975) בחנו את המקרה הפסימי שבו החומר הנספח מתקרר ומאריך את זמן המחזור שלו עד למחזור הקפלרי ואז מסולק מסביבת כוכב הניוטרונים. במקרה הנ"ל איבוד התנע הזויתי של כוכב הניוטרונים הינו מהיר מספיק, ופרק הזמן הדרוש לזמן המחזור של כוכב הניוטרונים על מנת להאיט למחזור סיבוב איטי כזה הינו:

$$t \approx 14.1 \cdot B_{12}^{-1/14} n^{-17/28} v_{10}^{29/14} \text{ Gyr}$$

זהו זמן מסדר גודל של זמן האבל וכן יש לזכור כי מהירויות טיפוסיות של כוכבי ניוטרונים יהיו ככל הנראה כשל אוכלוסיה זקנה יותר (ראה דיון בהמשך), קרי גבוהות יותר. ובמידה ואכן עוצמת השדה המגנטי של כוכב ניוטרונים איננה דועכת בזמן,  $v$  יהיה הגורם החשוב ביותר בביטוי האחרון, והוא רק מרע את המצב. בכל מקרה קימות אפשרויות תאורטיות להפוך את הספיחה למנגנון יעיל הרבה יותר להאטת קצב הסיבוב של כוכב ניוטרונים ועל כן יש להתייחס לביטויים האחרונים בזהירות. אם לשומת זאת שדות מגנטיים של כוכבי ניוטרונים דועכים במהירות מאז לידתם. אזי מנגנון איבוד התנע הזויתי הנ"ל יעיל פחות ולא סביר שנמצא כמות גדולה של כוכבי ניוטרונים הסופחים חומר מהתווך הבין כוכבי.

לסיכום נראה שבמידה והשדה המגנטי של כוכבי ניוטרונים אכן דועך בזמן, אזי רק אלו שנעים במהירויות אופייניות של כ-10 ק"מ לשנייה ופחות ביחס לתווך הבין כוכבי יצליחו להתגבר על אפקט הפרופלור. אבל יש לזכור כי הפיזיקה של האפקט איננה מובנת דיו, והתסריט שלקחנו כאן הינו הפסימי ביותר ועל כן יתכן עקרונית שגם כוכבי ניוטרונים שנעים במהירות של 100 ק"מ לשנייה ביחס לתווך הבין כוכבי יצליחו להתגבר על אפקט הפרופלור ולספוח חומר מהתווך הבין כוכבי.

גם אם כוכב ניוטרונים בעל שדה מגנטי גדול יצליח לספוח חומר, הספיחה הנ"ל עשויה להיות מתועלת דרך עמודות ספיחה (accretion columns). במקרה הנ"ל שטח הספיחה האפקטיבי יהיה קטן יותר ועל כן הטמפרטורה האופיינית של הקרינה (בהנחת קרינת גוף שחור) תיטן ע"י:

$$T = \left( \frac{L}{2A\sigma} \right)^{1/4}$$

כאשר השטח של עמוד הספיחה שסימנו ב- $A$ , הוערך ע"י Davidson & Ostriker (1973) כ:

$$A \sim 10^8 \cdot B_{12}^{-4/7} \dot{M}_{10}^{2/7} \text{ cm}^2$$

### התפלגות המהירויות של כוכבי ניוטרונים

לתחום זה קימת נגיעה לתחום מתפרצי קרינת הגמא GRB. מאחר שבעבר כוכבי ניוטרונים נחשבו למועמדים טובים

למתפרצי קרינת הגמא, ועל מנת להבין את האיזוטרופיות של מתפרצי קרינת הגמא, התחום נלמד ע"י רבים.

על מנת להגדיר התפלגות מהירויות או זקוקים למערכת יחוס, מערכת יחוס שכזו הינה מערכת סדנטרס המנוחה המקומי (LSR) Local Standard or Rest. ה LSR הינה גם מערכת היחוס שרלוונטית לענינו מאחר והיא מגדירה גם את התווך הבין כוכבי, ענני גז וכי שלא עברו התחממות דינמית.

בנספח א' הגדרנו את רכיבי המהירויות ביחס ל LSR. בכל רכיב מהירות ניתן כמובן למדוד את דיספרצית המהירות באותו רכיב.

כאשר מתבוננים על דיספרצית המהירויות של אוכלוסיית כוכבים כפונקציה של הגיל שלה רואים בדיכ עליה בדיספרציה שפרופורציונית ל  $t^{1/3}$ . תופעה זו ניתנת להסבר על ידי תופעות: הראשונה הינה פיזור כוכבים ע"י עננים מולקולרים. הרעיון הנ"ל הוצע לראשונה ע"י מרטין שורצשילד ב 1953. שורצשילד הציע שמפגשים בין כוכבי הדיסקה לבין ענני גז מסיביים אחראים להתפלגות המהירויות של כוכבי דיסקה זקנים. לעננים כאלו מסה של למעלה מ- $10^5$  מסות שמש והם נוטים להתאגד במבנים גדולים יותר של כ- $10^6$  מסות שמש וגודל אופייני של פחות מ-200pc. הן חישובים אנליטיים והן סימולציות מחשב מביאים לידי תוצאות מעניינות. למשל סימולציה שנעשתה ע"י Villumsen (1985) מצאה כי:

$$\sigma_v \propto t^{0.25 \pm 0.02}$$

$$\sigma_w \propto t^{0.31 \pm 0.02}$$

תופעה נוספת שכלל הנראה תורמת להגדלת הדיספרסיה הינה פיזור כוכבים ע"י הזרועות הספירליות, הרעיון הוצע לראשונה ע"י Barbanis & Woltjer ב 1967 והוא נתמך ע"י סימולציות מחשב.

להתפרצויות סופרנובה לא סימטריות וכן להתפרצויות סופרנובות במערכות בינאריות יש ככל הנראה השפעה חשובה על התפלגות המהירויות של כוכבי ניוטרונים. כוכבי הניוטרונים נולדים עם מהירויות התחלתיות גדולות (Kick) Velocity שנגרמות כתוצאה מסיבות אלו. הדבר מאושש תצפיתית למשל ע"י ההבדל הניכר בגובה האופיני מעל מישור הגלאקסיה של מילסארים לעומת הגובה האופיני של שרידי סופרנובות (SNR).

(Madau & Blaes (1994) העריכו את מהירות ה R.M.S של אוכלוסיית כוכבי הניוטרונים בכ 110 ק"מ לשנייה לאחר  $5 \times 10^9$  שנה ובכ 120 ק"מ לשנייה לאחר  $10^{10}$  שנה.

### תחזיות לגבי הספקטרום של כוכבי ניוטרונים מבודדים וזקנים

(Nelson, Salpeter & Wasserman (1993) הראו כי עבור כוכב ניוטרונים זקן בעל שדה מגנטי של  $10^{11} - 10^{10} G$  הסופח חומר, חלק ניכר מההארה צריכה להגיע בקו רחב של קרינת ציקלוטרון באנרגיה של כ- $11.6 \cdot B_{12} \text{ keV}$ . קו ספקטרלי זה נובע כתוצאה מכך שספיחת פרוטונים בעלי

(EUVE). על גבי לויין זה מספר טלסקופים הרגישים בתחום ה-740-58 אנגסטרם. כושר הפרדה שלו דומה לזה של ה-ROSAT WFC.

Madau & Blaes (1994) חזו כי במקרה של ספיחה ספרית סימטרית לכוכב הניוטרוני יתגלו  $7000N_0 - 700N_0$  כוכבי ניוטרונים בודדים וזקנים ב-ROSAT PSPC all sky survey. 1.  $40N_0 - 500N_0$  כוכבי ניוטרונים בסקרי השמיים של ה-ROSAT WFC וה-EUVE. לעומת זאת במידה והספיחה תהיה מתועלת לקטבים המגנטיים של כוכב הניוטרוני יתגלו  $40,000N_0 - 5000N_0$  כוכבי ניוטרונים ב-ROSAT PSPC all sky survey ואילו פחות מכ- $40N_0$  כוכבי ניוטרונים בסקרי השמיים של ה-ROSAT WFC וה-EUVE. הערכות האופטימיות שנתנו על-ידיהם התבדו.

Manning, Jeffries & Willmore (1996) ניסו להעריך עיי סימולצית מונטה קרלו את מספר כוכבי הניוטרוני שיתגלו בסקר השמיים של ה-ROSAT WFC, יותר בזהירות. המחברים האחרונים לקחו בחשבון את האפקטים שיכולים למנוע ספיחה לכוכב ניוטרונים שהזכרנו קודם וקיבלו תוצאות של כמה עשרות  $N_0$  כוכבי ניוטרונים, המספרים כמונן תלויים בפרטי המודל.

מאחר בקטלוג המקורות של ה-ROSAT WFC נותרו פחות מ-30 מקורות ללא זיהוי אופטי, המחברים העלו את האפשרויות הבאות:

- יש בגלאקסיה פחות ממיליארד כוכבי ניוטרונים. אפשרות זאת יש לציין קונסיסטנטית אם קצב יצירת הפולסארים הנצפה כיום. אבל לא נמצא בהתאמה עם דרישות מיצירת הגרעינים הכבדים בגלאקסיה.
- קימים מכניזמים נוספים או המכניזמים שהוזכרו קודם שמונעים ספיחה של חומר עיי כוכב הניוטרוני. ומאחר והאפקטים שמונעים ספיחה הינם משמעותיים יותר בעיקר בכוכבי הניוטרוני בעלי המהירויות הגבוהות ביחס ל-ISM. כך שכוכב הניוטרוני בעלי המהירויות הנמוכות כן יספחו חומר, כוכבי ניוטרונים אלו יספחו פחות ועל כן הארתם תהיה נמוכה יותר ובאנרגיות נמוכות יותר (EUVE).

## כוכב הניוטרוני מתחיל עם תנע זייתי גדול מאות.

את זה ניתן לדעת מזמני המחזור הקצרים של כוכבי ניוטרונים צעירים. אך אנו רואים כי כוכבי הניוטרוני מאיטים את קצב הסיבוב שלהם עם הזמן. מה גורם לכך? כוכב הניוטרוני פולט אנרגיה מהקטבים המגנטיים שלו בשעור השווה לאיבוד האנרגיה הזוויתית.

אנרגיה גבוהה יכולה להוביל לערור אלקטרונים במעברי לנדאו (Landau transitions). התהליך מתבצע דרך התנגשויות קולמביות. התהליך היעיל ביותר לחזרה מערור הינו קרינת דיפול. Nelson et al. (1995) הראה כי החלק של התארה הנפלט בקו הזה לא יכול לעלות על כ-5% מסהייכ הארה.

Zampieri et al. (1995) הסיקו כי עבור כוכב ניוטרונים לא מגנטי בעל הארה של אלפית או פחות מבהירות אדינגטון (Eddington Luminosity), הספקטרום הסופי יהיה קשה יותר מזה של קרינת גוף שחור עם הטמפרטורה האפקטיבית של כוכב הניוטרוני. מאחר והארות האופייניות לקצבי הספיחה מהתווך הבין כוכבי שדיברנו עליהן בסעיפים הקודמים הינם בכשמונה סדרי גודל קטנות יותר מהארת אדינגטון, התוצאה עיי Zampieri et al. (1995) הינה שסהייכ הקרינה מעל  $0.1keV$  תהיה גדולה בכ-40% ביחס לגוף שחור בעל אותה טמפרטורה אפקטיבית.

Miller (1992) הראה כי שדה מגנטי חזק יגדיל את האטימות, מה שיגרום לקרינה להיות דומה יותר לקרינת גוף שחור.

מהנוסחא עבור שטח עמוד הספיחה ומנוסחאת סטנ-בולצמן נקבל כי הטמפרטורה האופיינית של הקרינה שתפלט מכוכב ניוטרונים הסופח דרך עקומת ספיחה תלך כמו:  $T \propto B^{1/2}$ .

הדבר החשוב ביותר אולי שניתן לאמר על הספקטרום של הקרינה שתפלט מכוכב ניוטרון בודד הסופח חומר מהתווך הבין כוכבי הינו שיחס השטף בין קרינת X לבין אור נראה יהיה גדול מאד.

הצפיפויות הקיצוניות של כוכבי ניוטרונים הופכים אותם לכלים יעילים לחקירת משוואת המצב של חומר בצפיפויות גרעיניות.

## חיפוש אחר כוכבי ניוטרונים מבודדים זקנים

במידה וההערכות לגבי מספר כוכבי הניוטרוני אינו רחוק מהמציאות, אזי ממשואה (3) ניתן לראות כי כוכב הניוטרוני הקרוב אלינו ביותר נמצא במרחק של כ-10 פרסק. ברדיוס של כ-100 פרסק מאיתנו צפויים להיות כ- $3.1 \cdot 10^3 N_0$  כוכבי ניוטרונים. למרות המספר הגדול של כוכבי ניוטרונים הצפויים להימצא, יש לזכור כי האנרגיה שגוף כזה אמור לשחרר הינה מסדר גודל של כאלפית הארת שמש או פחות, וכן רוב האנרגיה תיפלט בתחום קרינת ה-X הרכה. מסיבות אלו נושא זה הינו צעיר יחסית והחל בראשית העשור הנוכחי לאחר שיגורם של שני לוינים בעלי מכשירים רגישים בתחום ה-Soft X-ray ו ה-EUV. הלויין הראשון הינו ROSAT. על גבי לויין זה מספר מכשירים בתחום האנרגיות הגבוהות, הראשון הינו ה-Position Sensitive Proportional Counter (PSPC), מכשיר זה רגיש לקרינה בתחום  $0.1 - 2.4 keV$ , בנוסף על יכולת המכשיר לקבוע כיוון גס, יש לו יכולות ספקטרוסקופיות גסות  $\Delta E/E = 0.42$  ב- $1 keV$ .

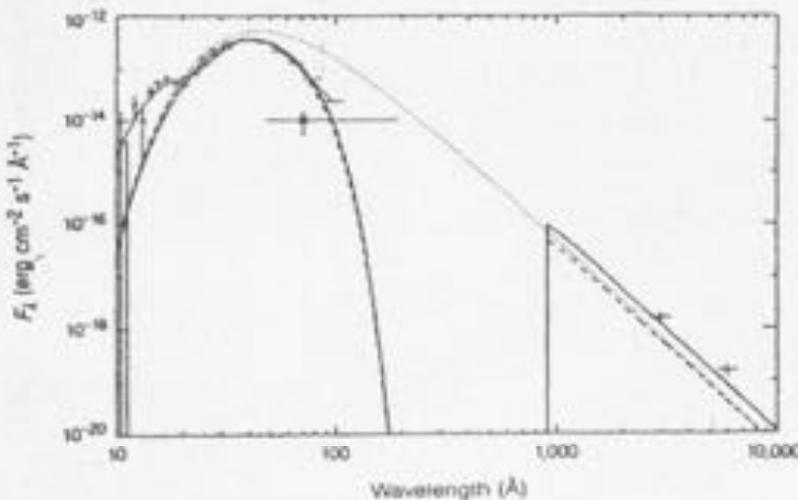
מכשיר נוסף על גבי ROSAT הינו ה-Wide Field Camera (WFC). מכשיר זה רגיש בתחום ה-100-200 אנגסטרם. כושר הפרדה שלו קצת רע יותר ועומד על כ-40 שניות קשת מה שמקשה על מציאת זיהויים אופטיים בקלות.

הלויין השני הינו ה-Extreme Ultra Violet Explorer



כוכב נייטרונים זקן מבודד כפי שצולם ע"י טלסקופ האבל ב-1997. קוטר הכוכב הוא 28 ק"מ לכל היותר. הוא זוהר בגודל 26 ובמרחק קטן מ-400 שנות אור.

משמש  $\dot{P}$  גדול יותר. קרי במידה וחלק מכוכבי הנייטרונים נולדים עם שדות מגנטיים גבוהים מאד (זמני מחזור רגילים) אזי תוך פרק זמן קצר יחסית



איור (2) - התפלגות האנרגיה של RX J185635-3754

(Maoz, Ofek & Shemi (1997) חיפשו מועמדים לזיהוי אופטי למקורות EUVE ו ROSAT WFC והראו כי קיימים למחות מספר מקורות EUV שאין להם זיהויים אופטיים עד לבחירות B=20. מאחר ומקורות כאלו הינם בעלי יחס קרינת X לאור נראה גבוה, הם יכולים להיות מועמדים טובים לכוכבי נייטרונים בודדים בגלאקסיה.

בהנחה וכוכב הנייטרונים יתן קרינת גוף שחור והוא מצוי בסביבה שבה:  $n = 1 \text{ cm}^{-3}$  במרחק של 100pc מאיתנו בחירותו ב B תיחיה קטנה מ 25.6.

כיום קיימים שני מועמדים לכוכבי נייטרונים בודדים וזקנים. הראשון הינו RX J185635-3754, מקור זה התגלה ע"י ROSAT PSPC (Walter & Matthews (1997). מוצא מועמד אופטי למקור זה באמצעות טלסקופ החלל HST. המועמד הינו בבחירות 25.9 בפילטר  $f_{max}$ . היחס בין השטף בקרינת X לשטף האופטי הינו:

$$\frac{f_x}{f_v} = 75,000$$

יחס גבוה מדי עבור כוכב נייטרונים במערכת זוגית.

התפלגות האנרגיה של האוביקט מוצגת באיור (2), הנקודות בגרף לקוחות מ ROSAT PSPC, EUVE ו HST. העוצמה באור נראה גבוהה מדי בפקטור 3 ממה שמצופה מקרינת גוף שחור. החסמים שנתנים המחברים לגבי רדיוס כוכב הנייטרונים מתבססים על מגוון רחב של הנחות ובחירתי לא להביא אותם כאן.

מועמד נוסף לכוכב נייטרונים בודד הינו RX J0720.4-3125. מקור זה מראה מחזוריות של 8.39 שניות בעוצמת קרינת ה X. כמו המועמד הקודם גם מקור זה התגלה ע"י ROSAT PSPC. מוצא מועמד אופטי אפשרי למקור ה X. המועמד הינו בבחירות 26.2 בפילטר B. הספקטרום של ה PSPC עבור מקור זה מתאים לקרינת גוף שחור בטמפרטורה של  $79 \pm 4 \text{ keV}$  עם בליעה כתוצאה מצפיפות עמוד של  $N_H = (13 \pm 0.3) \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$  מתצפיות על פרק זמן של שלוש שנים (Haberl et al. (1997) מוצא:

$$\dot{P} = (-2.6 \pm 3.4) \cdot 10^{-12} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$$

קרי זמן המחזור הינו יציב עד כדי שגיאת המדידה.

באם הקרינה היא אכן של גוף שחור אזי משטף הקרינה ב X ניתן לשים חסם על המרחק לכוכב הנייטרונים בשער של:  $450 \cdot R_{10} \text{ pc}$ .

- נזכיר בקצרה מספר אפשרויות כנוגע לטיבו של מקור זה:
  - יתכן כי המקור הינו כוכב נייטרונים צעיר. כוכב נייטרונים צעיר צפוי להגיע לטמפרטורה של  $kT = 80 \text{ keV}$  לאחר  $4 \cdot 10^3$  שנים. בכל מקרה רעיון כזה הינו בעייתי לאור זמן המחזור הארוך.
  - יתכן כי כוכב המקור הינו כוכב נייטרונים הסופח חומר מהתווך הבין כוכבי. מחזור ארוך צפוי במידה והמקור איננו פולסאר צעיר נורמלי אלא מגנטר (Magnetar). מאחר ו  $\dot{P} \propto B^2$  אזי שדה מגנטי חזק

ערן אופק הוא סטודנט לתואר שני במחלקה לאסטרונומיה ואסטרופיזיקה באוניברסיטת תל אביב. הוא חבר אגודה משנת 83 ובסגל מצפה הכוכבים מ-86. לשאלות: [eran@wise.tau.ac.il](mailto:eran@wise.tau.ac.il)

# תנאי יסוד להתפתחותה של יכולת טכנולוגית

## מזר חיים

אם נסקור את כלל התרבויות לאורך ההיסטוריה נראה שכל אחת מהן מאופיינת ברמה טכנולוגית מסוימת, החל מהטכנולוגיה הבסיסית ביותר, בין שמדובר בתקופה הפרה-היסטורית ובין שמדובר בשבטים נידחים בימינו וכלה בתרבות עתירת טכנולוגיה.

האוניברסליות של עקרון זה מעלה את הסבירות לתקפותה גם בקרב תרבויות חוץ ארציות. מכאן בעצם עולה שאלת מפתח, מה הם תנאי יסוד שבלעדיהם לא תיתכן שום התפתחות טכנולוגית. במילים אחרות, מה הם אותם אלמנטים ששימשו את החיים התבוניים, במקרה של כדור הארץ הכוונה היא לאדם, בראשית התפתחותם ואשר היוו את התשתית להתפתחות הטכנולוגית לעתיד לבוא. לצורך זה נבחן מה עושים בעלי חיים להשגת מזון ומה עשה האדם הפרה-היסטורי לייצור כלים ששימשו אותו לצרכיו השונים.

תצפיות אחר התנהגותם של בעלי חיים הראו כי ישנם כאלה מביניהם המסוגלים להשתמש בעצמים שבסביבתם להשגת מזון. כך למשל ישנם במזרח אפריקה נשרים הנעזרים באבנים להשגת מזון. "את האבנים הם מחזיקים במקורם בצורה כזאת המאפשרת להם לפצח במהלומות חוזרות ונשנות את קליפתן העבה והקשה של ביצי יענים" פרושים החיים באיי גלפגוס נוקטים בדרך אחרת. הם מחזירים "זרד דק בעל קצה מחודד...לסדקים צרים ונעצמים אותם בבשרם של חרקים המסתתרים שם". בדרך דומה נוקטים שימפנזים בגמביה ובטנזניה. הם נעזרים בזרדים לשליית טרמטים מקנים חבויים בגזעים של עצים ולרדיית דבש".

למרות שמדובר בבעלי חיים שונים שבתי הגידול שלהם מרוחקים זה מזה, הם נוקטים



בעקרון פעולה זהה. העזרות בחפץ כל שהוא להשגת מזון. הנשר והפרוש משתמשים במקורם והשימפנזה משתמש בידיו. בעלי חיים אלה, מתוך מטרה להשיג את רעבונם (שאם לא כן לא ישרדו) עושים שימוש בחפצים שונים הניטלים מסביבתם כדי להתמודד עם בעיה קריטית מבחינתם. לסוג זה של פעולה יש הסברים שונים. על פי הסבר אחד, פעולה זו מוטבעת בבעלי החיים נגטיבית ועל פי ההסבר השני פעולה זו מעידה על איזון שהיא תבונה בכל הסבר שלא נשתמש, התמונה המצטיירת של בעלי חיים אלה, היא שבהפעלת איברי גופם הם לא יצליחו להשיג את מזונם. הנשר קרוב לוודאי לא ישתמש בכל אבן כדי לפצח את ביצת היען. אבן קטנה מדי לא תשיג את יעדה. הפרוש והשימפנזה יחפשו זרד מתאים כדי להשיג את מזונם. נדרשת כאן פעולת חימוש כדי למצוא את העצם המתאים. עצם החימוש והאמידה של גודל החפץ, המתבקשת מהחימוש מעידים על איזון שהיא תובנה, גם אם היא מינימלית. אפשר להגדיר פעולה זו כראשיתה של אבולוציה טכנולוגית. לפיכך, בכל כוכב בו מתקיימים חיים ואשר קיימים בו חיים תבוניים בעלי רמה טכנולוגית כל שהיא, צעד מסוג זה היה השלב הראשון בהתפתחותה של הטכנולוגיה. כדי שבעל חיים יוכל לעשות צעד ראשון זה צריכים להיות בגופו איברים שיאפשרו לו

לאחוז חפצים אלה. אם אפשרות זו איננה קיימת, שום התפתחות טכנולוגית לא תיתכן. בעלי חיים שיכולים להמחיש עובדה זו הם הדולפינים. הדולפינים מוכרים כבעלי חיים אינטלגנטיים במיוחד, אבל אין להם שום מתאימים איברים המאפשרים לאחוז בחפצים.

אם נקפוץ מספר שלבים קדימה ונגיע לאדם הקדמון, נראה שהוא מבצע פעולות מורכבות. הוא יודע להכין לעצמו כלים שמשמשים אותו לציד כמו החנית, הוא מסתת אבנים והוא יודע להצית אש. בהשוואה לשימפנזה ולנשר הוא מבצע פעולות מורכבות ביותר שדורשות לא מעט תחכום. אם ניקח לדוגמה את החנית הרי שהוא צריך למצוא עצים מתאימים שמהם יכין אותה. עץ כבד לא יוכל לעוף למרחקים ארוכים וצריך גם כוח רב להטיל אותה. כאשר האדם הקדמון החליט להשתמש בחצים, הוא צריך היה להימצא במרחק מינימלי מבעלי החיים הניצודים בלי שאלה ירגישו בו ובה בעת מרחק זה יאפשר לו לברוח כאשר הם מגלים אותו. כאשר האדם נזקק היה לאש, הוא היה משפשף שתי אבנים אחת בשניה. מה שבעצם קרה כאן הוא שבפעולה שביצע על שני חומרים הוא קיבל מה שהוא חדש. האש בוודאי היתה מוכרת לו משריפות יער, אבל במקרה זה היא פרי עמלו ויש לו שליטה עליה. בשני המקרים נדרשים תכנון ואיברים המאפשרים לבצע פעולות עדינות. בשונה מהנשר ומהשימפנזה המבצעים פעולה טכנית אחת, האדם הקדמון ביצע סדרה של פעולות. האיברים שהוא השתמש בהם לצורך זה הם כף היד והאצבעות. מבנה כף היד הוא כזה המאפשר לאחוז עצמים שונים בתנוחות שונות ובדרגות חוזק שונות. לפעמים האחיזה תהיה חזקה ולפעמים האחיזה תהיה רטויה. לכל פעולה שהוא מבצע הוא חייב להשתמש בשתי הידיים. ביד אחת הוא מחזיק את העצם שעליו הוא רוצה לבצע פעולה כל

שהיא וביד השנייה הוא מבצע את הפעולה. לעתים הוא יעשה את הפעולה תוך אחיזה העצם בשתי הידיים. פעולות מורכבות בעצם אי אפשר לבצע עם יד אחת. חייבים אם כן להשתמש בשתי הידיים. אם למשל היו בעלמנו בעלי חיים הולכי על ארבע בעלי אינטלגנציה גבוהה כדוגמת הדולפינים, במידה והיו רוצים לבצע איזו שהיא פעולה טכנית מייגמלית כמו זו של השימפנזה, היו צריכים לעשות זאת עם רגל אחת וגם זאת לזמן קצר כדי שלא יאבדו את היציבה שלהם וימנעו מפילה. לכן, טכנולוגיה גם זו שנמצאה ברשותו של האדם הקדמון, יכולה היתה להתבצע רק משעה שאבות אבותיו במהלך האבולוציה שלהם עברו תהליך של הזדקמות שבסיומו גפי ההליכה הקדמיות הפכו לידיים.



**שימפנזה מחזיק זרד ומשתמש בו לתמיכת מזון**

מבחינת התהליך הטכנולוגי יש לנו כאן מפגש בין קוגניציה, איברים מתאימים לביצוע פעולה טכנולוגית וצורך. כאשר הגשר או השימפנזה משתמשים בורד הם חייבים לעשות זאת מכיוון שהם חייבים למצוא מזון. ישנה כאן תובנה (ולו מייגמלית) שהם יכולים למצוא פתרון לתחושת החסך על ידי שימוש בחפץ הלקוח מבית הגידול שלהם ואשר בו צריך לאחוז באחד מגפיהם. מכאן מתבקשת המסקנה שהצורך הוא בעצם המניע הראשון לשימוש בחפצים. ואמנם, האריס עמד על כך שעה שעקב אחר התנהגותם של שימפנזים. התברר לו שבעלי חיים אלה מגלים מיומנות גבוהה ביצירת כלים ושימוש בהם. באופן ספונטני הם יוצרים כלים ומשתמשים בהם בכוחות עצמם. ייתוך שימוש בחפצים שנמצאו להם בכוונה או באקראי, למשל אם מספקים להם ארגנים לעמוד עליהם, מקלות שאפשר לחברם זה לזה ובננות המצויות מחוץ להישג יד, הם לומדים להציב במהירות את הארגו תחת הבננות, לחבר את המקלות יחדיו, לעלות על הארגו ולהפיל את הבננות. בדומה

לכן, הם לומדים להשתמש במקלות קטנים כדי למשוך אליהם מקלות גדולים, ובמקלות הגדולים הם מושכים אליהם מזון שהונח מחוץ ללזבזבים. מכאן, שבכל כוכב שהוא, בו ישנם חיים תבוניים המשתמשים בטכנולוגיה בין שמדובר בחברה בעלת טכנולוגיה נמוכה או בחברה עתירת טכנולוגיה, ראשיתה של הטכנולוגיה היא בבעלי חיים שהרגישו צורך להשתמש בחפצים שונים להשגת מזון.

לגבי האדם הקדמון ידוע שהוא יצר כלים שאינם בטבע ואשר עשויים הן מעץ, הן מעצמות והן מאבן. זהו כבר שלב חדש בו האדם לוקח עצמים מהטבע ומעבדם לצרכיו. בכך הוא בעצם יוצר כלים לשימוש. אלה הן פעולות מורכבות ועדינות שחורגות מעבר לצורך הנדרש מהשימפנזה לאחוז בורד. לפעולות המורכבות והעדינות יש צורך ביכולת מוטורית מפותחת. יכולת זו היא פונקציה למבנה כף היד. כף היד צריכה להיות רחבה דיה כדי שאפשר יהיה לאחוז בעורתה בעצמים שונים. המבנה המוכר לנו הוא כף יד "מרובעת" בעלת 5 אצבעות, כאשר אצבע אחת, האגודל, מוסטת לצד וכל אצבע עשויה ממספר פרקים. מבנה זה של כף היד מאפשר גם להחזיק וללמס עצמים בדרגות חוזק שונות. בזכות מבנה המפרקי של האצבעות אפשר לבצע מניפולציות שונות החיוניות לביצוע מטלות בעצמים אותם מחזיקים ומעבדים. בנוסף לכך החיבור של כף היד לאמה הוא כזה המאפשר סיבוב שלה ב-180°. בחינה מדוקדקת של כף היד מראה שיכולים להיות מבנים אחרים שלה ואשר יאפשרו תפקוד זהה, כמו כף יד שבה 3 אצבעות ואגודל או כף יד שלה 3 אצבעות בלבד אלא שהפריסה שלהן היא רחבה יותר מזו של האדם, כדי להתגבר על אי התפתחות של האגודל, גם במקרים אלה האצבעות צריכות להיות בנויות מפרקים פרקים.

חלוקה מקובלת של העת העתיקה היא על פי חומרי הגלם ששימשו את האדם בייצור כליו. על פי גישה זו מבחינים בין 3 תקופות והן תקופת האבן, תקופת הברונזה ותקופת הברזל. הברונזה היא למעשה נתך של נחושת עם עץ בדיל או אנטימון. על פי התפישה המקובלת השימוש הראשוני בנחושת בא

להחליף את האבן. ההערכה היא שהמשתמשים בנחושת מצאו בצורה מקרית כי "אבני נחושת נמסות באש חזקה ומהוות חומר חדש, שבדומה לטיין אפשר לצקת אותו בצורות שונות, ואילו לאחר שנתקרר הוא נעשה קשה כאבן. בהשוואה לשימוש שנעשה באבן, בעצמות ובעץ, הרי את הנחושת אפשר להתוך ולצקת בה כל צורה שרוצים ובכך היא נעשית יותר פונקציונלית. אבל כדי לקבל את הנחושת הטזולית, היה צורך להתקין מנגנון מיוחד והוא כור ההיתוך. כאן האדם פיתח לראשונה מנגנון עזר שאפשר לו לעצב כלים חיוניים שונים לצרכים שלו. זהו כבר הבדל משמעותי בין תקופת האבן לתקופת הברונזה. עקרון זה חל גם על תקופת הברזל שבה לאחר תקופת הברונזה, אלא שהטכניקה כאן משוכללת יותר. בדרך של ניסוי וטעייה התברר "שעל ידי ריקוע של הברזל בפניו וחיסומו לסירוגין וכן על ידי טבילתו במים קרים, אפשר ליצור כלי ברזל חזקים יותר מכלי הנחושת". מה שתרגם רבות להעדפת השימוש בברזל על פני הברונזה הוא זמינותו ועלות ייצור קטנה מזו של הברונזה. סביר להניח כי התפתחות טכנולוגית מתמדת זו למרות איטיותה, לאורך הדורות תרמה את חלקה בשיפור היכולת הפונקציונלית של כף היד, להגמשת השימוש באצבעות ולהעצמת היכולת לבצע פעולות נסות ועדינות כאחד.

התשתית למטוציאל טכנולוגי של חיים תבוניים באשר הם, טמונה אם כן בחמישה שלבים והם: צורך בהשגת מזון, שימוש בעצמים מבית הגידול להשגתה של מטרה זו, מעבר מהליכה על ארבעה גפיים להליכה של שני גפיים תוך שחרור הגפיים הקדמיות לביצוע פעולות שונות, ההכרה כי כף היד יכולה לשמש לייצור עצמים שאינם קיימים בטבע, חיפוש חומרי גלם להפקתם של עצמים אלה, תוך בניית מנגנוני עזר להפקתם וניסיון מתמיד לשפר עצמים אלה. A.

חיים מזר הוא חבר אגודה ותיק וכתב מאמרים רבים בנושא ניאולוגיה של מערכת השמש.

וכד"א ארעה באותה עת ואופיינו באותם תהליכים. כדי להוסיף חטא על פשע, אנאקסאגוראס טען כי היקום מורכב מאותם חומרים כמו כד"א. (מה זה, מבוא לקוסמולוגיה מודרנית !). מהסבריו בתחום הביולוגיה, ביצע חיתוכים ודיסקציות וע"י כך גילה את החדריים הלטרליים במח. (מחקרי אנטומיה שקרוב לאלפיים שנה מאוחר יותר יהיו חלק מלימודי רפואה ומחקר סטנדרטיים בתחום). אנאקסאגוראס היה בעל כושר הסקת מסקנות מדחיים והראשון שהסביר את גאות הנילוס בהפשרת שלגים הנמצאים במוצא הנילוס. רעיונותיו של אנאקסאגוראס, הנמצאים כל כך בתחום הביולוגיה והאסטרונומיה מוכרים את התיאוריות הביולוגיות והאסטרונומיות המודרניות. צריך לזכור, מבחינה כרונולוגית הקדים אנאקסאגוראס את דמוקריטוס (אטומיסט) בקרוב לארבעים שנה. לדעתי פיתוח רעיונותיו של אנאקסאגוראס ע"י דמוקריטוס הולידו את התיאוריה האטומית הראשונה.

במהלך שהותו של אנאקסאגוראס בכלא, הוא ניסה לרבע את המעגל. זהו התיעד ההיסטורי הראשון של התמודדות גיאומטרית עם בעיה זו. (אם כל האסירים היו כמו אנאקסאגוראס - אזי הגיש ימות המשיח). אנאקסאגוראס שוחרר מכלאו ע"י פריקסס והוכרח לעזוב את אתונה. הוא חזר לאיוניה ושם ייסד ביה"ס. יום השנה למותו הפך להיות יום חג לתלמידי ביה"ס (יחסי מורים לתלמידים לא השתנו רבות במשך 2500 שנה). חיבורו המפורסם של אנאקסאגוראס "על הטבע" לא שרד את תלאות הזמן ורק חלקים מועטים ממנו שרדו.

בבליוגרפיה :

שקולינקוב שמואל, תולדות הפילוסופיה היוונית- הפילוסופים הקדם סוקרטיים (1981). הוצאת יחדיו : תל-אביב.

1. Dictionary of Scientific Biography
2. Biography in Encyclopaedia Britannica
3. F M Cleve, The philosophy of Anaxagoras (New York, 1949).
4. J Zafiropulo, Anaxagore de Clazomène (1948).
5. T. Williams Biographical Dictionary of Scientists. (1994). Collins : New-York.

כפי שפתחתי במדורים הקודמים, התחלתי בהצגת אנשים שהותירו את חותמם בהיסטוריה של המדע בכלל והאסטרונומיה במרט. אולם עלינו לנקוט משנה זהירות, העברת הידע ועיבודו בין אנשים הוא שהביא בסופו של דבר להוספת והרחבת הידע שנרכש. אף מדען או פילוסוף לא צמח ללא ידיעות קודמות, בסיס ידע מינימלי שקיים באותה דיספלינה או כישלוטת בתרונות מהותיים של תיאוריות או תפיסות קודמות. ניסיונות כושלים, בספרי לימוד כפי שנלמדים בביה"ס להציג את המדענים כ "TABULA RASA" בתחומם נידון לכישלון. איך ניתן לראות ולהבין את הישגו הגדול ביותר של אלברט איינשטיין במנותק ממשוואות מקסוול ? הרי אינשטיין, לא החליט לקום יום אחד בבוקר ולומר "היום אבצע מהפכה במיזיקה". במהלך התקופה ההלניסטית, אנו נפגש אנשים כמו אנקסימנס ואנאקסאגוראס המטפטים רעיונות המחלחלים עד עצם ימינו אלה והנם חלק מאושיות המדע המודרני. עלינו לזכור שידיעות היוונים ההלניים את העולם הסתכמו בגישה שכלתנית- תיאורטית השמה דגש על השכל ולא על המחקר והניסוי. לכן, שומא עלינו להבין שרעיונות שהועלו בתקופה זו והקדימו את זמנם באלפיים שנה או יותר, הינם בחלקם דעות, הרהורי לב, מחשבות ואמונות שלא באו לידי משנה מדעית סדורה וכוללת הניתנת להצגה כמבנה לוגי בחין וקביל מבחינה מדעית.

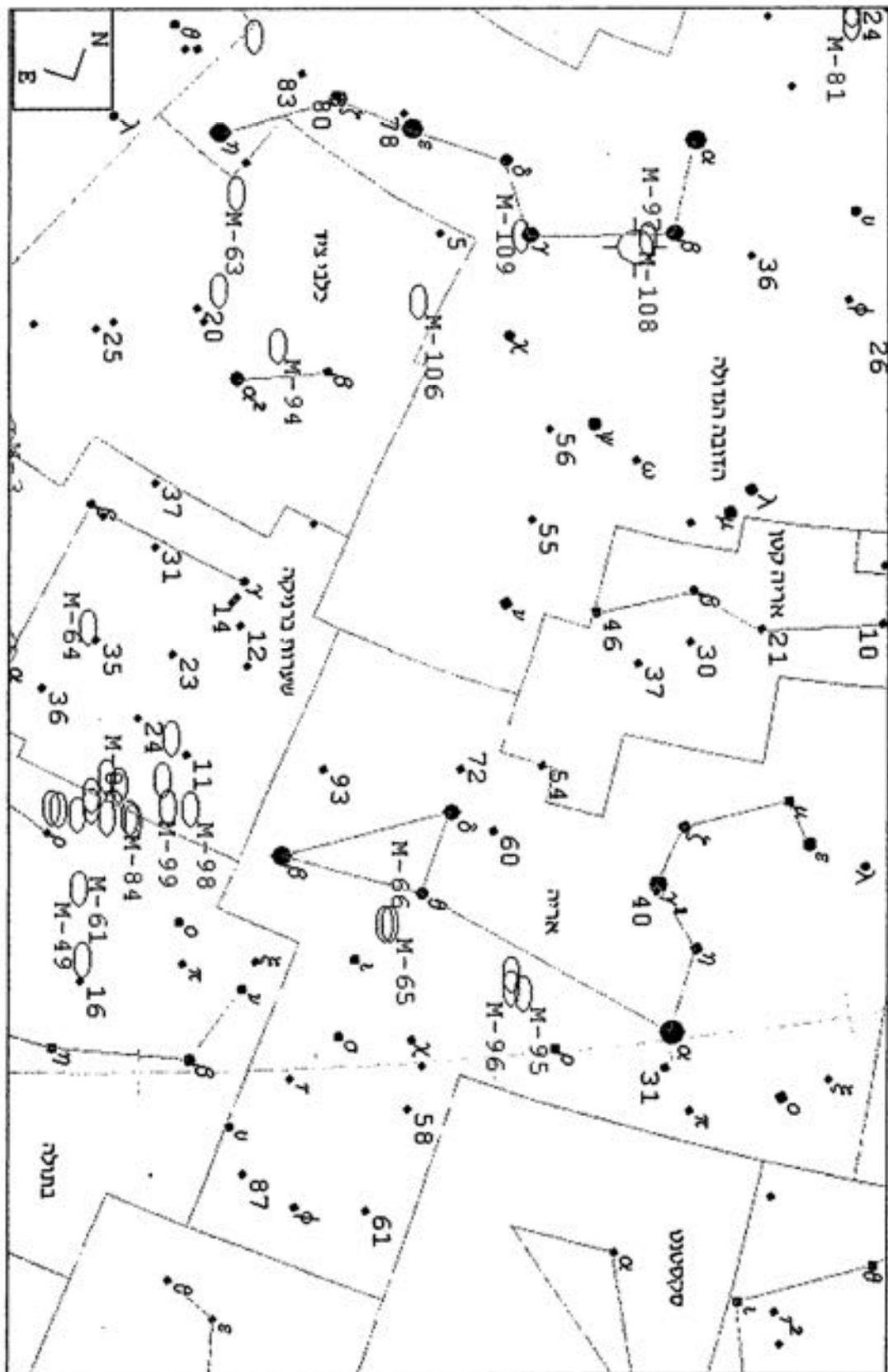
אנאקסימנס ממילטוס 570-500 לפנה"ס.

אנאקסימנס היה תלמידו של אנאקסימנדר והראשון ששהבחין בין כוכבים לפלנטות. ניתן להגיע להבחנה זאת בשתי שיטות : הראשונה, לצפות במשך כמה חודשים בשמיים ולהבחין בתנועות כוכבי הלכת אשר לעיתים נעים כאילו "לאחור" וע"י כך, משנים את מיקומם ביחס לקבוצות השמיים ושאר הכוכבים. שיטה שנייה מתבססת על ההנחה שהכוכבים מרוחקים מאוד מכד"א ולכן נתייחס אליהם כמקור אור נקודתי. לכן, כוכב מנוצץ עקב שבירת האור באטמוספירה ואילו כוכב לכת נראה כדיסקה יראה תמיד לעין ולא ינוצץ. שיטות אלו דורשות התמדה, צפייה מרוכזת בשמיים והבנה בסיסית ביותר באסטרונומיה שהייתה קיימת כבר בעת העתיקה.

אנאקסימנס האמין כי היסוד הקמאי שממנו נוצר היקום הוא האוויר וממנו ניתן להפיק את שאר היסודות. כמו-כן, אנאקסימנס היה הראשון שהציג הסבר רציונלי-מדעי ולא הסבר מיתולוגי בהתייחסו לתופעת הקשת בענן, כשבירה של קרני אור באוויר דחוס (מים).

אנאקסאגוראס מקלאוזמינאי 499-428 לפנה"ס

אנאקסאגוראס היה הראשון שהציג את הפילוסופיה לאתונאים ובכך פתח את "תור הזהב" באתונה. הוא השתקע באתונה בערך בשנת 480 לפנה"ס. בשנת 450 לפנה"ס הוא נכלא בגלל טענותיו הכופרות. אנאקסאגוראס טען כי השמש איננה אל ואילו הירח, הוא גוף ארצי המחזיר את אור השמש. (המאנאטים הדתיים וצרי האופקים לא משתנים במהלך הדורות, הם רק משנים נשא או דת. ראוי לציין, כי תופעה זו היתה נדירה באופן יחסי ביוון היות והדת המיתולוגית הייתה יותר דת ספרותית. דת זו, לא הטילה מגבלות רבות על החיים וחופש המחשבה). הסבריו הנכונים בדבר מופעי הירח וליקויי החמה והלבנה במונחים של תנועותיהם הינם הישג אינטלקטואלי מרשים של תפיסה מרחבית והבנה עמוקה של הגיאומטריה והאסטרונומיה באותה עת. לדעת אנאקסאגוראס, היווצרות השמיים



שמי האביב והקיץ בישראל - חלק 1

# שמי האביב

יצירת כוכבים מהיר ביותר בתוכה. גלקסיה כזו מכונה גלקסיה מתמוצת. לחובבי האתגר-הערפילית הפלנטרית M97 "ערפילית הינשוף". שמה ניתן לה על שם הכתמים המופיעים על מניה, המזכירים פני ינשוף. בהירותה 11.2 וגודלה הוא 3X3.

ליד העגלה נמצאת הקבוצה הקטנה **כלבי ציד** (Canes Venatici). עצם מעניין בקבוצה זו היא הגלקסיה הבהירה והגדולה עד מאוד - M51 "גלקסיית המערבולת". שמה ניתן לה על פי צורתה הספירלית הקלאסית-מערבולת. ניתן לראותה בתנאים טובים גם בטלסקופים קטנים והיא מהווה מראה מרהיב בטלסקופים גדולים.

מאוחר יותר ניתן לצפות בקבוצת **הרקולס** (Hercules), הניבור המיתולוגי. עצמים בולטים בקבוצת הרקולס הם הכוכב  $\alpha$  הרקולס, שהוא כוכב משתנה לא סדיר בבהירות של 3.1 עד 3.9. הוא גם כוכב כפול אשר אחד הרכיבים הוא כוכב כחול בבהירות 5.4, והכוכב הראשי הוא ענק אדום ולמעשה אחד הכוכבים הגדולים ביותר המוכרים לאדם. בקבוצת הרקולס נמצא צביר כוכבים מפורסם - M13. הוא מכיל עשרות אלפי כוכבים ונמצא במרחק של 34,000 שנות אור מאתנו ומסווג כצביר היפה ביותר בשמי הצפון.

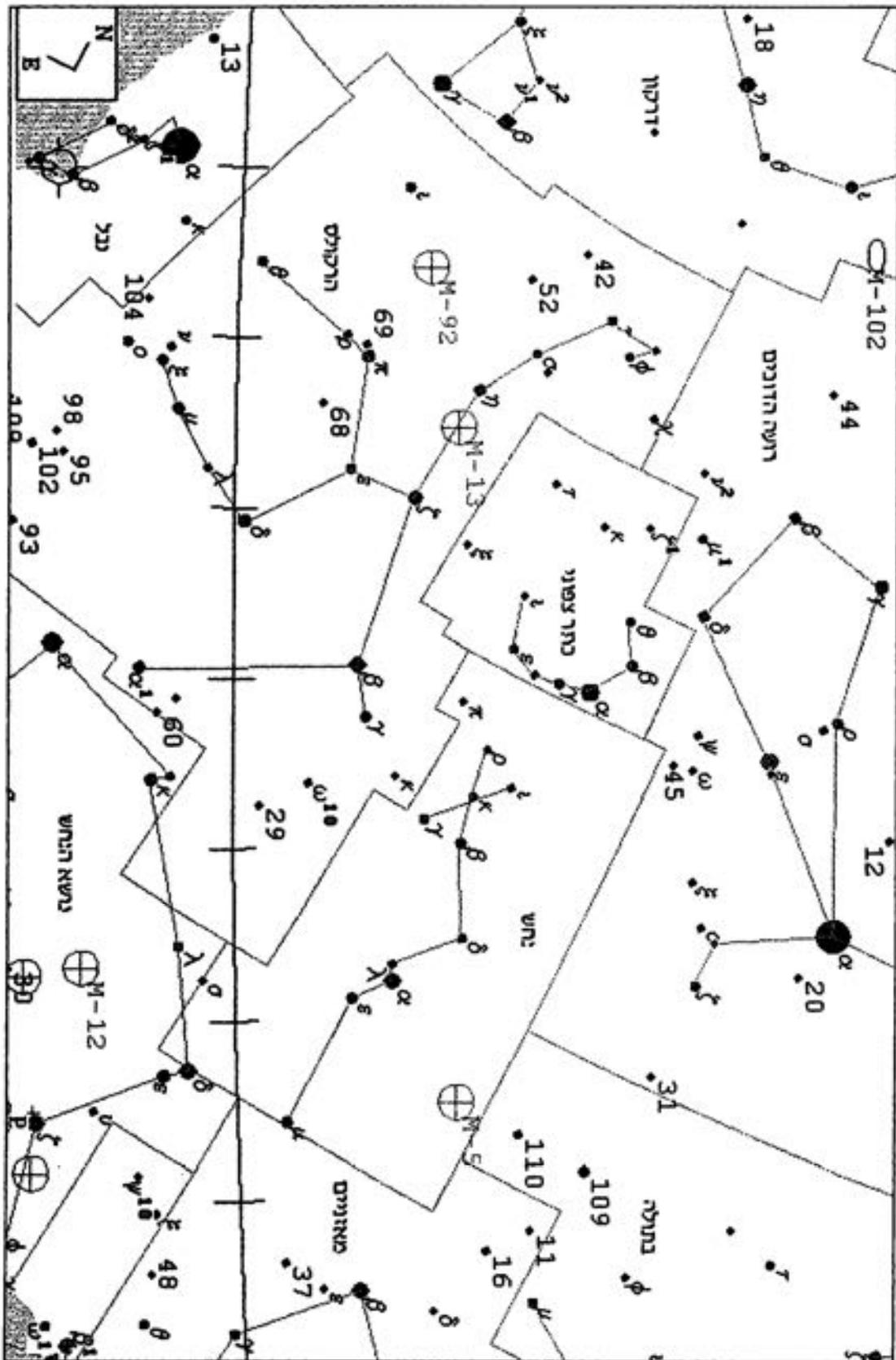
בדרום ניתן לראות, בשעות המאוחרות, את קבוצת **עקרב** (Scorpius). הכוכב הראשי, אנטארס, הוא ענק אדום הגדול פי 330 בקוטר מהשמש. למרות שהטמפי היא רק  $3300^{\circ}$  שטף הקרינה שלו גדול פי 1900 מהשמש. כמה דקות קשת מערבה ממנו נמצא הצביר הכדורי היפה M4. יותר מאוחר עולות קבוצות הקיץ נשר, נבל וברבור ביחד עם קבוצות קשת, נחש, מגן וקפאוס.

**בדומה לשינוי שעובר על אקלים כדור הארץ עם חלוף עונות השנה, עובר שינוי נוסף גם בשמים. קבוצות החורף, שאותן ניתן לראות בשעות הערב המוקדמות, מפנות את מקומן לקבוצות האביב, ומאוחר יותר לקבוצות הקיץ. לפניכם סקירה של הקבוצות הבולטות והעצמים המעניינים בשמי האביב.**

בשעות הנוחות לצפייה ניתן לראות את קבוצת **אריה** (Leo). בקבוצת אריה מספר אובייקטים מעניינים כמו הכוכב הכפול נאמה אריה הנקרא אלגייבה, שפירושו בערבית הוא מצח האריה. זהו כוכב כפול נהדר שמורכב מכוכב כתום בבהירות 2.6 וכוכב צהוב בבהירות 3.8. בקבוצת אריה מספר גלקסיות בהירות. M95 היא גלקסיית מוט בבהירות 9.8 וצמודה לה הגלקסיה M96 הבהירה והגדולה ממנה. צמד שני של גלקסיות הן M65 ו-M66 הנראות באותו שדה ראייה. לצפייה אופטימלית בגלקסיות יש להשתמש בטלסקופים במפתחים גדולים בלילות חשוכים.

דרומית ומזרחית לקבוצת אריה ניצבת קבוצת **בתולה** (Virgo), השישית בגודלה בגלגל המזלות. כוכב הקבוצה הראשי "ספיקה" (שיבולת) הוא אחד הכוכבים הבהירים בשמים. הטמפי על שפתו של ספיקה היא 20,000 מעלות (פי יותר מ-3 מהשמש) ומרחקו מאתנו הוא 200 שנות אור. קבוצת בתולה היא ביתו של צביר הבתולה המכיל גלקסיות רבות. המעניינות היותר הן הגלקסיות M104 - גלקסיית הסומבררו. שמה ניתן לה על שם פס האבק החוצה את צורת הדיסק שלה, ויוצר צורה של כובע סומבררו. במרכזו של הצביר נמצאת הגלקסיה האליפטית הענקית M87, שבגרעינה שוכן חור שחור עצום-מאסתו כמה מיליוני מסות שמש. בצילומים ניתן להבחין בסילון הנפלט מהחור השחור אל מחוץ לגלקסיה.

קבוצת **העגלה הגדולה** (או **הדובה הגדולה**) (Ursa Major) שייכת לקבוצות הסיורקום-פולאריות-כלומר מקיפות את כוכב הצפון מבלי לשקוע. דבר זה נובע מקו הרוחב בו נמצאת ישראל  $+32^{\circ}$ , כלומר שכל כוכב נמצא מעל נטייה של 58 לא ישקע לעולם. בעזרת כוכבי העגלה ניתן למצוא את כוכב הצפון. יש לקחת את המרחק בין שני הכוכבים אלפא וביטא (הכוכבים הקיצוניים בעגלה) ולהכפילו בחמש. הכוכבים מיזאר ואלקור מהווים את הכפול העתיק ביותר שנצפה. עוד לפני אלפי שנים צפו בו והצליחו להפריד בעין את שני מרכיביו. הצמד נמצא באמצע היצול של העגלה. עצמים אחרים בעגלה הם הגלקסיות M81 ו-M82 - הראשונה היא גלקסיה ספירלית בעלת גרעין בהיר והשניה היא גלקסיה לא סדורה, כתוצאה מתהליך



## שמי האביב והקיץ בישראל - חלק 2

(המפות נוצרו בעזרת התוכנה Guide7)

# הגלריה

זוהי הפינה שלכם בתור קוראים, חובבי אסטרונומיה וחברים באגודה הישראלית לאסטרונומיה, לקחת חלק פעיל ולספר לנו על כך. כל תצפית שערכתם, בכל אירוע שצפיתם וכל רעיון חדש שאותו אתם רוצים לשתף עם חבריכם מהאגודה יתקבלו בברכה. תצפיות שערכתם מחלון ביתכם, מהגן הקרוב אליכם או ממקום מבודד וחשוך יכולות להעשיר את הידע של כולנו. אם יש לכם רעיונות חדשים אל תשמרו אותם לעצמכם! שלחו אלינו דוחות תצפית, תמונות ורעיונות בדואר אלקטרוני ל: [magazine@astronomy.org.il](mailto:magazine@astronomy.org.il), או בדואר לת.ד. 149 גבעתיים 53101, עדיף מודפס ובצירוף דיסקט.

לפנינו פרי עטו של יוסי חורי, חובב אסטרונומיה ותיק, המבלה שעות רבות בתצפית ובצילום השמים. הוא מתעסק רבות גם בפיתוח והמצאה של מכשירים חדשים, לתצפית אסטרונומית. הוא בנה לבדו מסי' טלסקופים, שהגדול מביניהם בקוטר "16, החל מליטוש המראה וציפוייה, ועד לבניית גוף הטלסקופ והחצובה. בחוברות הבאות יפרט יוסי על מכשיריו כך שכל אחד מכם יוכל להבין ולבנות בעצמו מכשירים כאלו. הפעם, כתב לנו יוסי על תצפית שביצע ביחד עם עוד שני מחברים-עודד אברהם ואריה בלומן. המסר ברור: אין צורך בציוד מקצועי, ואין צורך לסוע שעות בכדי ליהנות מתצפית. כל מה שצריך זה זוג עיניים!

## יש לי כוכבים בעיניים יוסי חורי



גרמילית הסרטן (M1) בקבוצת שור  
"5" Celestron ומצלמת CCD ST6 זמן חשיפה 80 שניות, ממצפה  
הכוכבים בגבעתיים



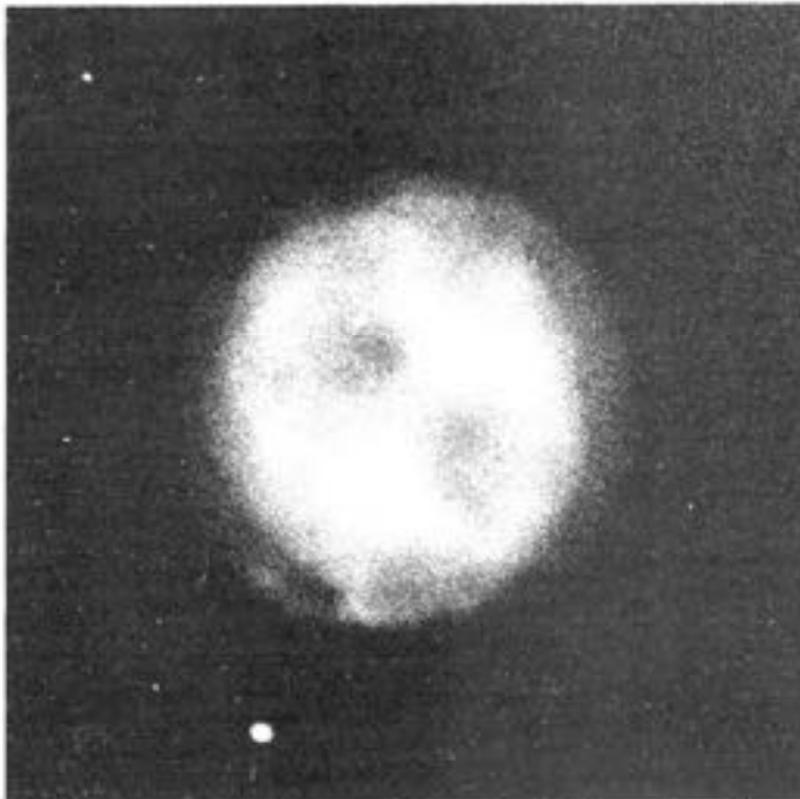
גלקסיית הסומברו M104  
עודד אברהם אסף ברולד ומורן נחשוני  
טלסקופ "12 LX200 ומצלמת CCD ST6 זמן חשיפה 10  
דקות, ממצפה הכוכבים בגבעתיים

פעם הוזמנתי לבקר אצל משפחה אמידה במקסיקו סיטי. כשהגעתי לביתם ונכנסתי פנימה, לא יכולתי שלא להתרשם ולהתפעל מכל העושר והפאר שמילאו את הסלון. בין כל חפצי האמנות גיליתי גם גיטרה אקוסטית. כשהתעניינתי אם מישהו בבית פורט על הגיטרה אז הביט בי המארח בחיוך ואמר: "לא, אבל אצלנו במקסיקו יש פתגם ידוע שאומר: 'הגיטרה תמיד תלויה על הקיר'". ואתם, קוראים יקרים, שמתעניינים באסטרונומיה, ודאי מרימים גבה ושואלים: מה הקשר? ומדוע אני תופר לכם את הסיפור הזה? תשובתי תהיה כדלקמן: אני בטוח שלכל אחד מכם יש בבית איון משקפת קטנה או שובר אור ישן שקיבל מסבא. ואולי אף טלסקופ יותר רציני שהעלה אבק במשך השנים, ושאלתי תהיה: מתי בפעם האחרונה יצאתם לתצפית עם המכשירים האלו? ומה תהיה תשובתכם, כמו למקסיקני? שהמשקפת אצלנו תמיד שוכבת בארון! ושהתעניויותכם בנושא זה מסתכמת רק בקריאה מספרים, בהרצאות או בתוכנות מחשבים! תודו שאתם לא רציניים, כי בחוץ מחכים לכם שמיים כחולים וצלולים המעוטרים ביהלומים ופנינים בכל הצבעים. ואפילו למי שאין עדשה מקרבת, יוכל לראות בעין בלתי מזוינת כמה התקהלויות של כוכבים נוצצים מפוזרים פה ושם. במיוחד בתקופה זו, בין חורף



**השביט הייל בופ**

אסף ברוולד מורן נחשוני ועודד אברהם  
טלסקופ 12" LX200 f/6.3 ומצלמת ST6 CCD זמן חשיפה 120 שניות,  
מוצפה הכוכבים בנבעתיים



**גרמילית מלנטרית M97-פני הינשוף**  
טלסקופ וויז 40" במוצפה רמון

לאביב בה אנו נפרדים  
מקבוצות של כמה ידידים  
ותיקים וביניהם אוריון, כלב  
גדול עגלון, שור ותאומים.  
ושאותם לא נוכל לראות יותר  
עד תחילת החורף הבא.  
קבוצות אלו עשירות בכמה  
כוכבים בהירים במיוחד כמו:  
קפלה, אלדברן, ביטלגוס,  
ריגל, סיריוס, קסטור, פולוקס  
ועוד... כמו כן בכמה  
אובייקטים מעניינים שאותם  
חוצה שביל החלב ועליהם  
אספר בהמשך.

לבושים היטב, ומצוידים  
במכשירים שונים לתצפית,  
כמו כן בהרבה קפה, מיצוחים  
ועוד כמה מאכלים ערבים  
לחץ, יצאנו למקום די חשוך  
בין ת"א לירושלים, ליד ישוב  
קטן הנקרא נוה-שלום. קבוצה  
קטנה היינו- בסך הכל שלושה.  
זה היה בליל שישי ה-12.3.  
הגענו לשטח על צלע ההר עוד  
לפני שקיעת השמש, הן כדי  
להספיק להכין את הציוד  
לתצפית והן כדי לראות את  
כדור האש שזה עתה הכריז על  
סיומו של עוד יום. הציוד  
הכיל: טלסקופ 3.5" מסוג  
"מקסוטוב", שיום אחד לפני  
כן קיבל עודד אברהם  
מארה"ב, ואיתו התכוון לצלם  
את השמים. אריה בלוטץ הגיע  
עם שובר אור 3.5" תוצרת  
MEADE, ואני הגעתי עם  
שתי משקפות. האחת 11x80,  
גם כן מתוצרת MEADE,  
והשניה תוצרת בית של 6"  
המשקפת השניה כוללת שתי  
מראות שאותן ליטשתי לפני  
שלוש שנים, ואותן הכנסתי  
לתוך מכנה שתכנתי עבורם  
הכולל גם כסא שעלה ויורד  
לפי הצורך, כך שהתצפית  
נעשית בישיבה כל הזמן. מאוד  
נוח. הרבה תכנון ועבודה  
שנמשכו כחצי שנה. אולם  
מילים לבד לא יכולות לתאר  
את התוצאות וההנאה שאני  
מפיק ממשקפת זו, שבעתיד  
ארחיב את הדיבור עליה.

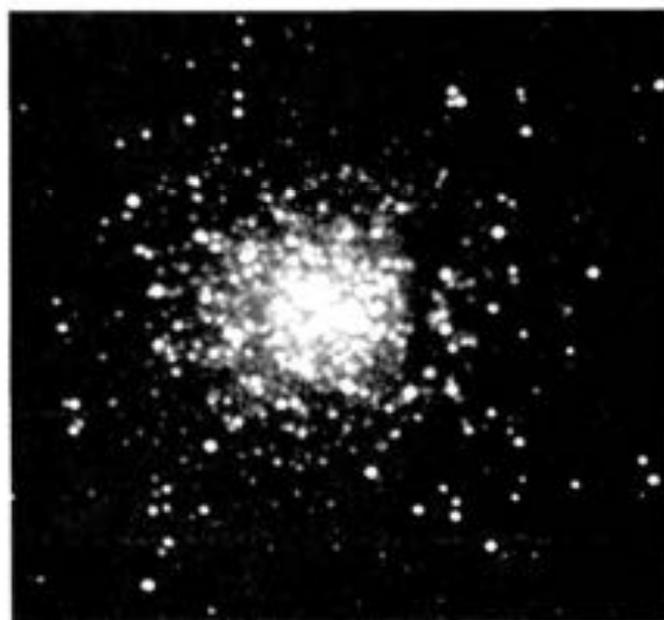
לאחר כוס קפה מהביל,  
כאשר ממערב השמיים עדיין  
בצבע אש דועכת וכמזרח כבר  
חושך מוחלט, התחלנו את  
התצפית. עודד החל לצלם  
בחשיפות של 10-20 דקות את  
הפליאדות. המצלמה עם  
הטלסקופ היו מונחים על  
מתקן ממונע גם כן מתוצרת  
בית ושניהם חוברו אל חצובה  
מעץ... ניחשתם נכון, גם היא



**גלקסיית הפנס M64**  
 מורן נחשוני אסף ברוולד ועודד אברהם  
 טלסקופ 12" LX200 ומצלמת ST6 CCD זמן חשיפה 16 דקות,  
 ממצפה הכוכבים בגבעתיים



**כוכב הלכת שבתאי**  
 יובל בן חיים  
 טלסקופ 8" LX200 ומצלמת CCD Pictor  
 216



**הצבד הכדורי M13**  
 עודד אברהם מורן נחשוני ואסף ברוולד  
 טלסקופ 12" LX200 ומצלמת ST6 CCD ממצפה  
 הכוכבים בגבעתיים

מתוצרת בית בלומן ואני החלטנו לצפות באותם אובייקטים. בהתחלה השתרע בלומן על מזרון דקיק וצפה במשקפת 11x80 כדי לסרוק כללית את השמים. לאחר מכן עברנו לתצפיות יותר ממוקדות.

האובייקט הראשון היה ערפילית M-42 שבקבוצת אוריון. כמה עשרות פעמים, ואפילו מאות, צפינו בה בעבר, והיא אף פעם לא נמאסת. מעניין שהיא תמיד נוגבת את ההצגה לאחור. M-43 שנמצאת בסמוך אליה, לאחר מכן חרשנו את קבוצת עגלון, שמכילה כמה צבירים פתוחים, והבוטים ביניהם הם M-36, M-38 והיפה משלושתם M-37. יש לציין כי השובר אור של בלומן מפריד כוכבים (כולל כוכבי לכת) יותר טוב מהמשקפת שלי, אך המשקפת אוספת יותר אור בגלל המפתח הגדול שלה, במיוחד באובייקטים חיוורים כמו ערפיליות וגלקסיות. ניסינו לצפות בערפילית ראש הסוס ליד זטה אוריון, אך ניסיון זה היה יומרני מידי מצדנו, למרות שבעבר צפיתי בו בטלסקופ של 16" גם הפעם ניחשתם (נכון) תחת שטיה השחורים של מוצפה רמון, ותוך דקה או שתיים הוא צץ לי בתוך העינית. ראש סוס שחור על רקע של אפולונית חיוורת, פשוט מדהים. לאחר מכן עברנו לכמה צבירים פתוחים כמו M-41 מתחת לסיריוס, וגם הוא תועד במצלמתו של עודד, שהיה מרוכז בעקיבה כל הזמן, וחיוך גדול הקיף את ראשו, ממש כמו קו המשורה.

ככל שהזמן עבר, הקור החל לחדור לעצמות, ואז עוד כוס תה, ממתק או פרי. גם מוסיקה בקעה מהטרנזיסטור, ועודד ידע את המילים של כל השירים בעל פה, אך השירה שלו הייתה על הפנים. קבוצת תאומים מעל ראשו, וממערב לה עוד צביר יפה וחשוב, הלא הוא M-35, M-44, המכונה גם "מרספה" כל כך ענק, שהעינית לא יכולה להכיל את כולו. לאחר עוד כמה צבירים כמו M-46, עם הערפילית הפלנטרית שבתוכו, M-47, M-48, החלטנו לגוון בכמה



**הגלקסיה הספירלית NGC 7479**  
 אסף ברנולד מורן נחשוני ועודד אברהם  
 טלסקופ Celestron 5" ומצלמת CCD ST6, ממצפה  
 הכוכבים בגבעתיים



**גלקסיית המערבולת M51 בכלבים ציידים**  
 אסף ברנולד ועודד אברהם ומורן נחשוני  
 טלסקופ 12" LX200 ומצלמת ST6 CCD ממצפה הכוכבים בגבעתיים

גלקסיות. הראשונות שזכו לתשומת ליבנו היו M-65,66 בקבוצת אריה. הן קטנות יחסית לגלקסיות אחרות אך מספיק בהירות. NGC 3628 הקרובה אליהן ויוצרת איתן צורת משולש, בדומה לקבוצת משולש, הייתה זו חיוורת לעומתן.

השעה כבר חצות והעיניים החלו להתעייף. מתאוס, מתוך השקט הלילי, יללת תן פילחה את האוויר הקריר, ובעקבותיה מטר של יללות משאר התנים שהסתובבו בשטח ממש קרוב אלינו, אולי כמחאה על שפלשנו אל תוך הטריטוריה שלהם ולכן החליטו לעשות שריר. מכל מקום, בשמים הצפוניים התקדמה לה בעצלתיים העגלה הגדולה, ואיתה שלל של גלקסיות יפהפיות. את M-81,82 ראינו יחד בתוך העינית, ואילו את M-51 ו-NGC 5195 רואים בתחילה כשתי נקודות אור נפרדות, זו בצד זו, וככל שממשיכים להסתכל הן מתחברות להן יחדיו עיי הזרועות. M-101 הגדולה מכולן נראית כעננה חיוורת עגולה, וקשה לחדור אל תוך זרועותיה. ערפילית מגי הינשוף (M-97) קטנה יותר, וקשה להבחין בפרטים שבתוכה.

השעה כבר שתיים אחרי חצות, והעיניים משתלטות עלינו אט אט. עודד עדין מצלם, והפעם את גלקסיות M-104, המכונה גם "הסומבררו", בשל צורת הדומה לכובע מקסיקני. שירתו הפכה כבר לטון אחד ארוך וצרוד, אך לפחות זה השאיר אותנו ערים. משמאלי נשמע רשרוש של שקית נפתחת. היה זה בלומן עם הממתקים שלו. כנראה שהגיע הזמן לקפה אחרון לפני שאנחנו מתמוטטים, אך לא לפני שצפינו בשני צבירים סגורים גדולים, ואולי אף הגדולים מכולם. M-13 ואומגה סנטאורי, שגם כן צולמו.

השעה 3:30, מחליטים להתקפל. בתצפית הבאה בעוד חודש יהיה ודאי יותר חם ונעים. אמנם חזרנו עייפים-אך הסיפוק הרב והחיך הקפוא לא משו מעל פנינו.

כמעט בוקר טוב.

