

# אסטרונומיה

ביטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה



## קיוריוסיטי קארל סייגן שמי סלמנקה





קוראים יקרים,

חוברת זו, השנייה במניין החוברות לשנת 2012, נשלחת אליכם באיחור ניכר. העיכוב במשלוח החוברת נובע מאילוצים שמנעו מהעורך הנבחר להפיק את החוברת ולפיכך לקחנו על עצמנו בכוחות משותפים את הוצאת החוברת הנוכחית לשנה זו.

אף-על-פי שחל עיכוב במשלוח החוברת, החלטנו לשבח את התכנים, האיכות הגרפית ולהדפיסה בצבע ולהנפיק חוברת מורחבת המסכמת את השנה. אנו מקווים שחוברת זו תמצא חן בעיניכם.

בין שלל המאמרים תוכלו למצוא כותב חדש שהצטרף אלינו הפעם, רן לוי מ'עושים היסטוריה' אשר נידב לנו מאמר על קארל סייגן את המאמר של ד"ר יגאל פת-אל על משימתה של קיוריוסיטי, מאמרים של חיים מזר על גופים קטנים במערכת השמש - מודל של מבנה פנימי של כוכב לכת ועל טיסה לפובוס - ירחו של מאדים ואת מאמרה המיוחד של של מרים אוריאל על קבוצות סלמנקה ומאמרו של צוקראן מיכאל חבר בצוות "אור מכוון" על ההשלכות של זיהום אור.

בחוברת תמצאו גם שני מאמרים הדנים בנושא של תצפיות מפרי עיטו של ד"ר יגאל פת-אל, האחד, דן בהתכסויות כוכבים בירח, לאור המפגש של חטיבת הצופים בהתכסויות כוכבים של האגודה. השני, דן בתופעות של ירחי צד שבשלהי שנת 2012 נראה היטב בשמי הערב.

תודה מיוחדת לירון עייני, על צילומי השמיים שלו, שמאפשר לנו לפרסם אותם בביטאוננו.

וכמובן, אנו מודים לכם הקוראים ומקווים שגם תהנו...

המערכת

# אסטרונומיה

ביטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה

כרך 38, גיליון 2 דצמבר 2012

מחיר: 40 ש"ח

## מצפה הכוכבים - גן העלייה השניה

ת.ד.: 149, גבעתיים 53101

טלפון: 03-7314345

פקס: 03-5214713

עמותה מס': 6-867-004-58

### אתר הבית:

[HTTP://WWW.ASTRONOMY.ORG.IL](http://www.astronomy.org.il)

ISRAELI ASTRONOMICAL ASSOCIATION

THE GIVATAYIM OBSERVATORY

P.O.BOX 149, GIVATAYIM, 53101

### חברי המערכת

עורך בפועל: יגאל פת-אל

עורכת משנה: ענת אידלסון

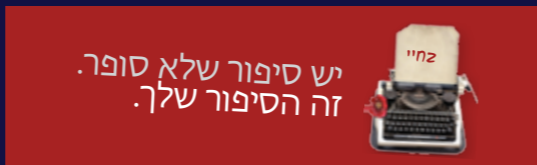
עורכת מדעית: ד"ר דיאנה לאופר

ייעוץ כללי ומדעי: ד"ר יגאל פת-אל

עורכת גרפית ומפיקה:

ענת אידלסון - 050-5446762

IDELSON7@GMAIL.COM



קדיט תמונות: NASA | ESA



## מועדון ההרצאות של ימי חמישי

מדי יום חמישי, מתקיימות במצפה הכוכבים בגבעתיים הרצאות אסטרונומיה נושאות

הרצאות אלו ניתנות ע"י טובי המומחים בתחומי האסטרופיזיקה, המדעים הפלנטריים, הנדסת החלל, החינוך המדעי ועוד. אלו הרצאות ברמה פופולרית. כל המרצים מגיעים להרצאות בהתנדבות מלאה, ולעיתים אף מחיפה, ירושלים ובאר שבע.

### אנו מחפשים מתנדב שיהיה אחראי על צילום הרצאות

שאיפתנו היא להפיץ את ההרצאות לשם הגברת חשיפת הציבור להתפתחויות בתחום האסטרונומיה והן יפורסמו אחרי עריכה מקצועית באתר האגודה, בידיעון האגודה וברשתות החברתיות.

אנו מודים לכל המרצים שמתפתים אותנו בידע שלהם ומעניקים לנו מזמנם ומרצם!



האגודה הישראלית לאסטרונומיה ואוני' ת"א  
מים על המאדים



האגודה הישראלית לאסטרונומיה  
משימות במאדים



החוג לגיאופיזיקה ומדעים פלנטריים, אוני' ת"א  
המטאוריט של אלמהטה-סיתה



פיזיקה  
תורת הקוונטים



חטיבת המטאורים של האגודה, אוני' ת"א  
מטרי מטאורים



האוני' העברית  
דינמיקה של אסטרואידים



מכון ויצמן  
לאן נעלם האנטי-חומר מהיקום?



האוניברסיטה הפתוחה  
מהחלל למטבח



המכון לננוטכנולוגיה ע"ש ראסל ברי  
ממשוואת דרייק ועד למכונות וון-ניומן



מנהל מצפה הכוכבים, מכון ויצמן למדע  
המכניזם המופלא: המונה-ליזה של הארכיאולוגיה



מנכ"ל חברת ספייסאיליסט  
אנאלוגיים - סקירת יכולות קיימות ועתידיות והנעשה בעולם



מכון ויצמן למדע  
פולריזציה של קרינה קוסמית (מיקרוגל)



# תוכן עניינים:

מה באגודה	6
קיוריוסיטי   ד"ר יגאל פת-אל	8
קארל סייגן   רן לוי	19
שמי סלמנקה   מרים אוריאל	33
לטוס לפובוס במחיר זול   חיים מזר	51
התכסויות כוכבים בירח   ד"ר יגאל פת-אל	54
זיהום אור   צוקראן מיכאל	63
מודל לבניית כוכב   חיים מזר	68

# טל אויזק ז"ל

1981-2012



## שזם חזר

חזרי האגודה וסודצי מצפה הכוכבים של גבעתיים, אזלים על אכיל של טל אויזק שנקטל בצמי ימיו לאחר מאבק ממושך ואמץ במחלה קשה אשר הכריעה אולי.

טל היה ממדריכי המצפה בגבעתיים, מפעילי האגודה הישראלית לאסטרונומיה, חבר יקר של כולם ומהזוטאים שמאמנציה. גם כאשר חלה ומאבק באופטימיות ונחישות במחלה, הוסיף להליט למצפה, לעזור בהדרכה ולהתנצץ בפעילות האגודה כפי שאהב עם יומיו האחרון.

טל המשיך להעניק ולהתנצץ, בין היתר במצפית הפרסאיזים זכית ספר שדה הר הנגב, עם רלעיו האחרונים.

הוא יחסר אכילנו  
יהי זכרו ברוך

### לידיעת חברי האגודה, ולמתעניינים

דמי המנוי לשנה - 150 ש"ח בלבד וכוללים:  
 ארבע חוברות אסטרונומיה במחיר של 40 ש"ח כל אחת  
 חוברת אלמנך שנתית במחיר של 50 ש"ח  
 ובנוסף, כ-50 הרצאות שבועיות מדעיות במצפה הכוכבים  
 גבעתיים, במשך השנה חנים לחברי האגודה ובני משפחותיהם  
 מדרגה ראשונה (מחיר הרצאה לקהל הרחב 25 ש"ח, כל אחת).  
 וכמו כן, הנחות בתצפיות, סופי שבוע, קורסים, עוד ועוד.  
 אז למה לחכות?  
**פנו עוד היום לאגודה הישראלית לאסטרונומיה  
 והיו מנויים...**



ליל המדענים בב"ש- רועי לובל



ליל המדענים באו"פ - מיכל לוינשטיין



תמנע - מיכאל פימה



ירח בינ"ל באילת - איתן שוורץ



חטיבת המטאורים לכנס המטאורים בלה פלמה - שי חלצי



כיכר רבין - מיכל לוינשטיין



ירח בינ"ל בת"א - מיכל לוינשטיין



## הרצאות ופתיחת סניף האגודה בקרית-ים

האגודה ממשיכה במסורת של הרצאות בנושאים המובילים במחקר האסטרונומי רובם מחזית המחקר בארץ. לטובת חברינו בצפון, פתחנו את סניף האגודה בפלנטריום המפואר בקרית ים. בערב בפתיחה ניתנו שתי הרצאות, והועמדו טלסקופים וניתנה הצגת פלנטריום. בתוכנית למסד את נושא ההרצאות במקום מדי יום שלישי, לפחות אחת לחודש-חודשיים והמרצים הראשונים הם פרופ' נעם סוקר מהטכניון ומר עדן אוריון מאוניברסיטת חיפה. ההרצאה הראשונה בסדרת ההרצאות של פרופ' נעם סוקר היתה מוצלחת מאוד והשתתפו בה קרוב ל-100 אנשים! את ההרצאות מרכז במקצועיות עודד אברהם.

## מאזן

בעת כתיבת שורות אלה, הסתיימה הכנתו של המאזן לשנת 2011 על ידי רואה החשבון של האגודה ואנו נציגו בפני החברים באסיפה השנתית.

## שירותי משרד

שירותי המשרד של האגודה כוללים רישום חברים, משלוח הודעות, מענה טלפוני וסיוע בארגון אירועים והוא נעשה על ידי בן קסטוריאנו.

## חוברת האגודה

השנה יצאו 2 חוברות והפורמט שונה לצבעוני. רב תודות להפקה ועריכה הגראפית וההפקה של ענת אידלסון. תודות לכותבי המאמרים ברשם מרים אוריאלי, חיים מזר ורן לוי.

## הפורום, דף הפייסבוק והידיעון

השנה נפתח פורום האסטרונומיה הישראלי - astroforum.org.il - שבו ניתנה במה לאגודה הישראלית לאסטרונומיה לפרסם את הודעותיה. את הפורום מנהל מיכאל פימה. יש להדגיש כי הפורום אינו שייך לאגודה וכי הוא מהווה אכסניה לאגודה ולהודעותיה ולפרסום פעולותיה. כמו כן, בניצוחה של מיכל לוינשטיין, דף הפורום של האגודה צובר משתתפים וכעת מונה למעלה מאלף משתתפים המקבלים דיווחים שוטפים בנושאי האגודה ובנושאי אסטרונומיה.

בנוסף, תודה לאריה מורג על הידיעון הדו-שבועי המופץ בניצוחו ובאדיקותו לכל החברים.

גבעתיים, בירושלים ועוד וכן בתצפיות בנמל תל אביב האגודה גם שיתפה פעולה בתצפית המסורתית במטר המטאורים הן עם פארק תמנע ובית ספר שדה הר הנגב בדרום והן בתצפית של הסניף במעלה הגלבוע, בניצוחו של משה קאשי. חברי האגודה גם סייעו בהצבת טלסקופים באירוע שארגנה האוניברסיטה הפתוחה בליל המדענים.

בנוסף לתצפיות, האגודה משתפת פעולה עם גופים רבים בנושאי חידונים להנצחת זכרו של אילן רמון. חידונים אלה הם החידון לחט"ב של מכון דוידזון במכון וויצמן בשיתוף משרדי החינוך והמדע וקרן רמון וכן החידון לבתי הספר היסודי בשיתוף משרד המדע, מרכז אילן רמון באוניברסיטת בן גוריון חוזה גורי מראש גדול. לכך ניתנת תודה לד"ר דיאנה לאופר שיחד עימי נושאת בעול של ניסוח השאלות והמשימות ובשיפוט.

לטובת אלה המעוניינים להשתתף בתצפיות בנושאים שונים, ניתנה הרצאה בנושא של תצפיות בהתכסויות כוכבים בירח (שעיקריה מובאים כאן) וכן בנושא התצפית במטאורים, על ידי שי חלצי ואנה לוין

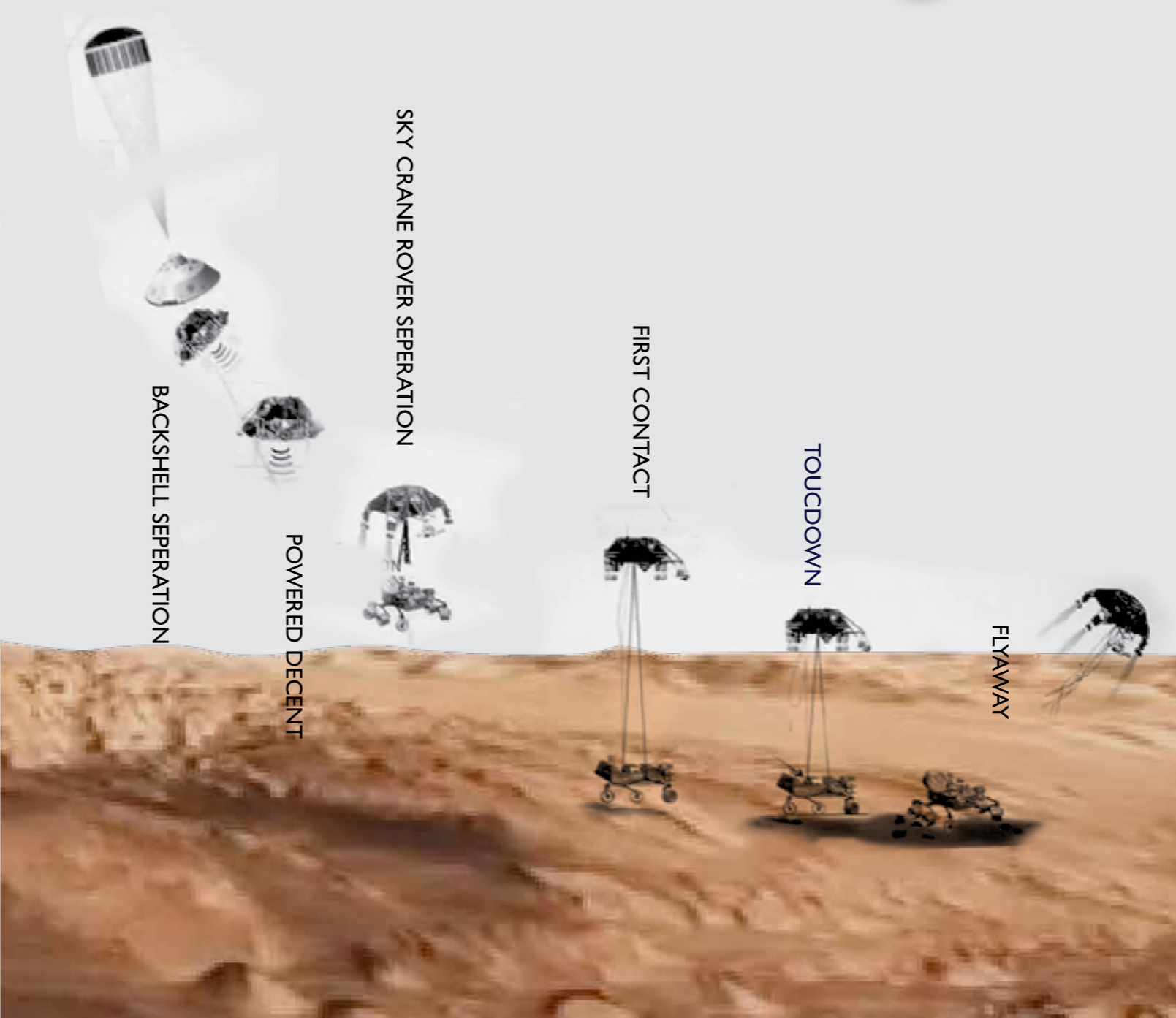
האגודה הישראלית לאסטרונומיה ביצעה מספר רב של אירועים בשנה האחרונה. האירועים כללו שיא תצפיות תחת שמי המדבר שבוצעו הן במקום המפגש המסורתי בפונדק של כושי רימון בערבה והן באזור המחנה הנטוש, מערבה ממצפה רמון.

כמו כן, ביצעה האגודה שתי תצפיות מיוחדות לשומרי שבת, שהתקיימו בפארק בריטניה בימי חמישי. תצפיות אלה נעשו בשיתוף הפורום הישראלי לאסטרונומיה - astroforum.org.il וכן בשיתוף מתנדבים מצוות הדובה הגדולה, שהעמידו טלסקופים וסיפקו הסברים למאות המשתתפים שהגיעו מדי פעם. כל הפעילויות האלה לא יכלו לצאת לפועל לולא היוזמה העזרה האדירה של המעטים הנושאים בנטל - מיכל לוינשטיין, אהרון בוך, נדב רוטנברג וכן שי חלצי, אנה לוין שסיפקו הסברי שמים, וכל המתנדבים המגיעים עם הטלסקופים שלהם לתצפיות.

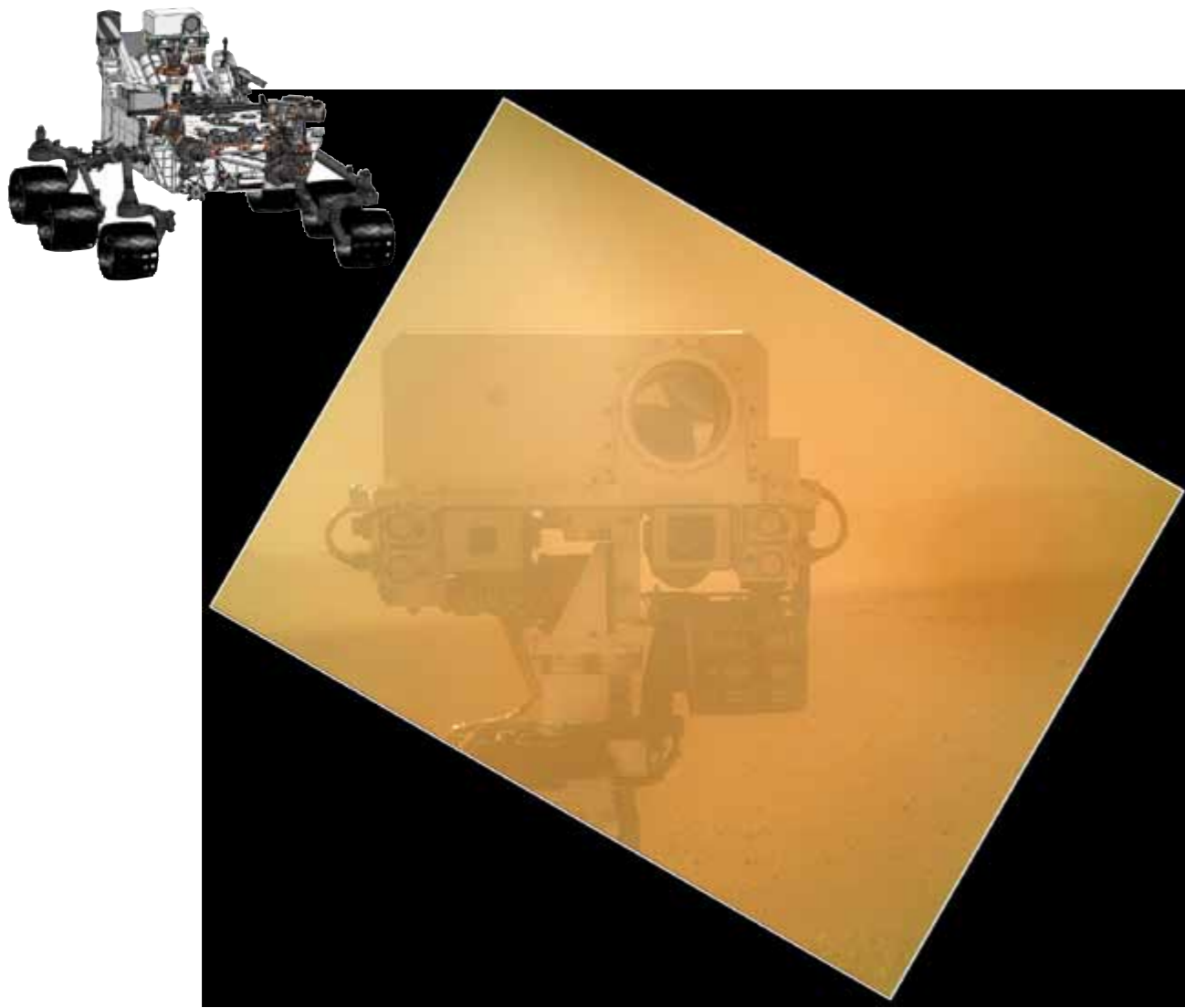
בנושא התצפיתי האגודה גם מארגנת מעת לעת תצפיות רחוב, הן לרגל אירועים שמימיים מיוחדים, כגון המעבר של נוגה, שבו התקהלו רבים במצפה



# רכב השטח Curiosity



# נחת על פני המאדים



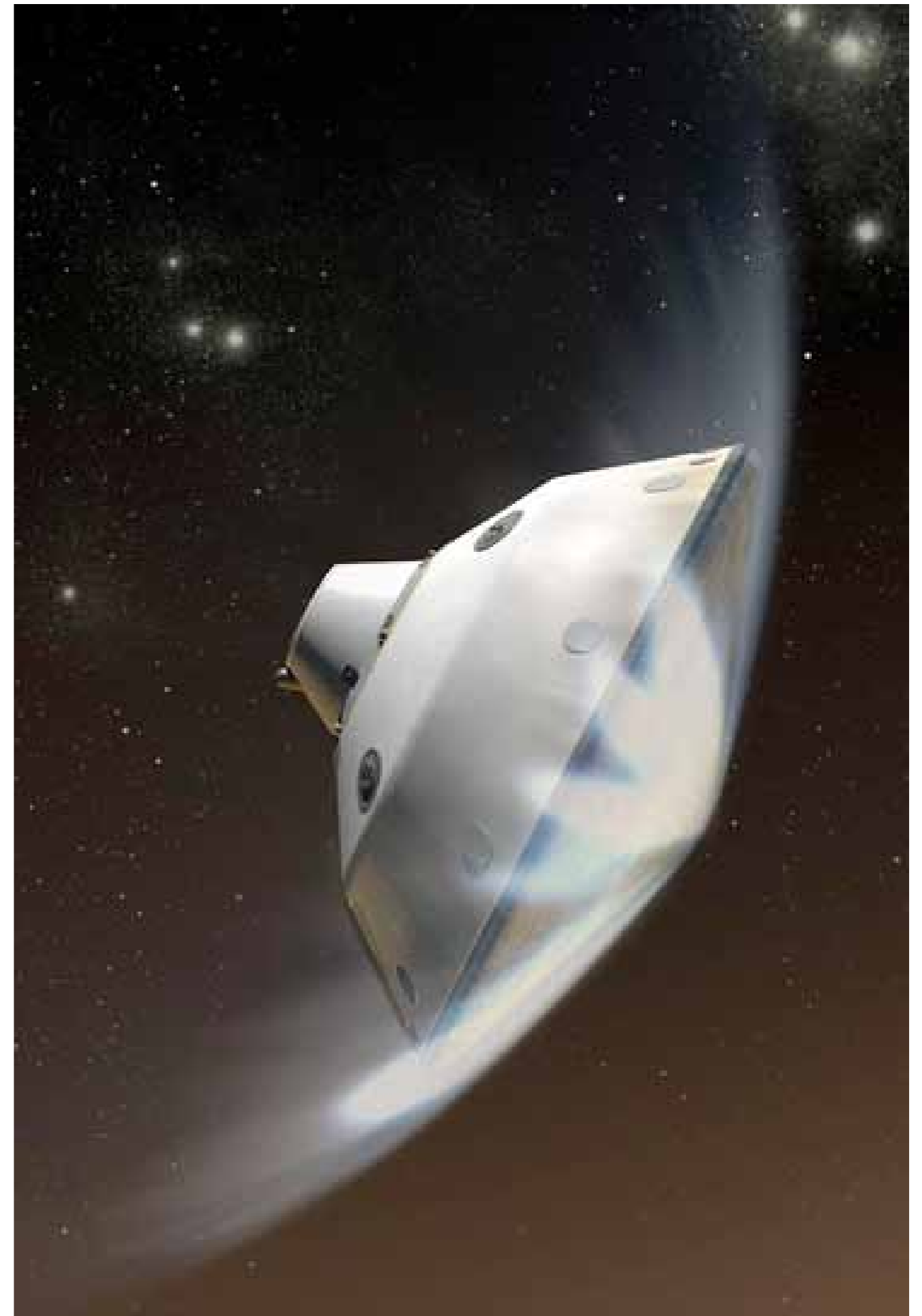
ביום שני, 6 באוגוסט, בשעה 8:31 בבוקר לפי שעון ישראל, נחת רכב השטח (סקרנות) על פני המאדים.

משמעות. מאז נחתו על פני המאדים מעבדות שונות – רכב החלל הזעיר במשימת פת'פינדר שחקר את הרכב קרקע המאדים, הפניקס שנחתה קרוב לקוטבו הצפוני וכמובן שני רכבי השטח – ספיריט ואופורטיוניטי שחקרו בעיקר התכונות של קיום מים על פני המאדים. האחרונה, אופורטיוניטי, עדיין פועלת, 7 שנים לאחר נחיתה, ורק לפני כמה ימים פורסמה תמונה פנורמית של המאדים שנשלחה ממנה.

המשימה הנוכחית היא המשוכללת מכולן, קרויה – MSL - המעבדה המדעית של המאדים. מטרתה היא לחקור במקום את קרקע המאדים, כאשר הבדיקות המעבדתיות עצמן ייערכו במעבדה על קרקע המאדים, ובראש ובראשונה – למצוא עדויות להתכונות חיים על פני המאדים. עד כה, נמצאו עדויות לקיום מים נוזליים על פני המאדים בעבר

רכב השטח שוגר אל עבר כוכב הלכת האדום ב-26 בנובמבר 2011 למסע בן למעלה מ-8 חודשים ו-560 מיליון ק"מ, אל כוכב הלכת השני במרחקו מכדור הארץ – המאדים. ככלל, שיגורים אל המאדים חלים אחת לשנתיים בקירוב, כאשר שני כוכבי הלכת – כדור הארץ והמאדים, מצויים בקרבה הגדולה ביותר ביניהם.

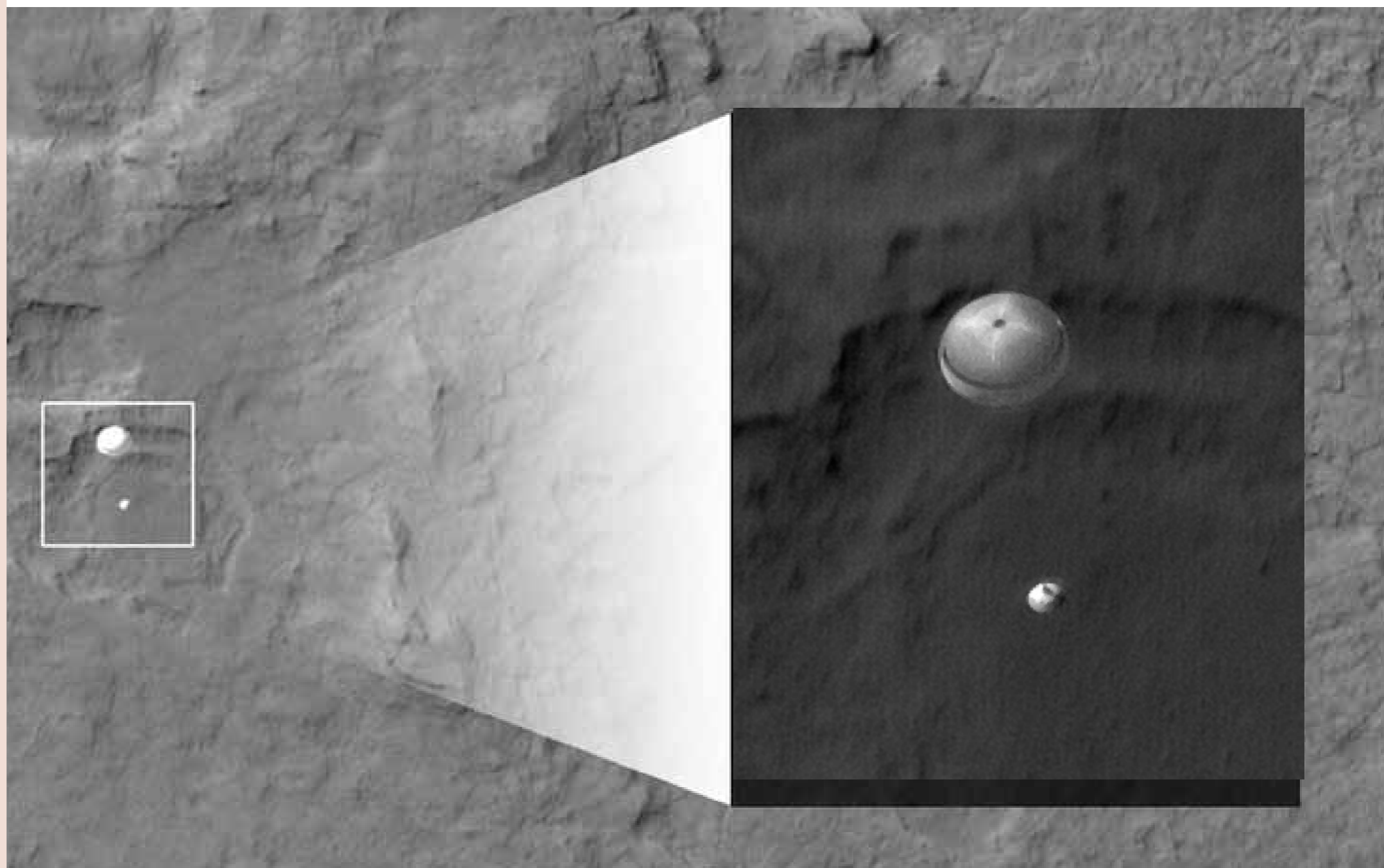
מטרת רכב השטח, שגודלו כמכונית קטנה, היא לחקור בפעם הראשונה את קרקע המאדים לבדיקת סימנים להתכונות חיים או חומרים אורגניים על פניו. בשנת 1976 בדקו שתי הנחתות מדגם וויקינג את קרקע המאדים, בין היתר בדיקות שנועדו לראות האם מתחוללים תהליכים של חילוף חומרים על פניו, אך בדיקות אלה היו ראשוניות ולא משוכללות דיו, מה גם שעד היום קשה להסיק מהן מסקנה חד



# הנחיתה

שלב הנחיתה החל 10 דקות לפני הכניסה לאטמוספירה כאשר מכלול רכב הנחיתה נפרד מהחללית שהביאה אותו את כברת הדרך העצומה הזו והוא החל בנחיתה אל עבר קרקע המאדים. בשלב זה רכב השטח מצוי במכלול הנחיתה שצורתו קונית, המגן עליו מהחום הרב והוא כולל גם מצנחים ומנועי האטה, כאשר הצד השטוח פונה לכיוון הנחיתה. כאשר המכלול חדר אל האטמוספירה הקלושה של המאדים, 120 ק"מ מעל פני הקרקע, היתה מהירותו גבוהה מאוד - כ-6 ק"מ לשנייה (21,600 ק"מ לשעה). כדי שהוא ישרוד את הנחיתה יש להאט את המהירות הפנטסטית הזו וזה אכן נעשה על ידי החיכוך עם האטמוספירה לאורך כ-110 ק"מ ובמשך כ-4 דקות, עד שהמהירות הואטה לכדי חצי ק"מ לשנייה (כ-1,500 ק"מ בשעה). כל אותה עת הגנו מגינים מיוחדים על מכלול רכב הנחיתה מהחום העז הנוצר בעת החיכוך. בשלב זה, בגובה של 11 ק"מ מעל לפני הקרקע נפתחו המצנחים להאטה נוספת של מהירות הנחיתה. כשהיה רכב הנחיתה בגובה כמה ק"מ ניפרדו מגיני החום שסיימו את עבודתם והרדאר המכוון אל פני הקרקע לסייע בהנחה הרכה החל לפעול.

6 דקות לאחר הכניסה לאטמוספירה התחיל השלב האחרון. אז נפרד המכלול של רכב הנחיתה הכולל גם את המנשא והמנועים, מהמעטה שעטף אותו ומהמצנחים ומנועי ההאטה התחילו לפעול. כל זה התרחש בגובה של מעט יותר מקילומטר אחד במהירות של 80 מטר לשנייה. דקה לאחר מכן נפרדו רכב החלל גם ממנועי העצירה ונחת על הקרקע במהירות של כמטר לשנייה. המנועים של המנשא של רכב הנחיתה, יופעלו שוב בעזרת מנוף קצר כדי להרחיק את המנשא ממקום הנחיתה של רכב השטח. הנחיתה הושלמה והחלה המשימה המדעית. כמה דקות לאחר מכן שוגרה למרכז הבקרה המונה הראשונה, בשחור לבן, של פני המאדים. בימים שלאחר מכן צילמה הקיוריוסיטי את הפני המאדים ואת הסלעים שנבחרו לתחילת המשימה.



מאדים מרוחק מאיתנו כעת 245 מיליון ק"מ. כלומר, לאור הנע במהירות 300,000 ק"מ לשנייה ידרשו כ-14 דקות להגיע מהמאדים אלינו. פירוש הדבר, שגם אם אפשר לשלוט על רכב החלל מרחוק, זמן התגובה לכל אירוע יהיה כמחצית השעה (14 דקות עד שהמידע על האירוע יגיע לכאן ו-14 דקות לתגובה שתגיע לשם). לכן, לרכבי השטח חייבת להיות אפשרות להגיב באופן עצמאי, מעין אינטליגנציה מלאכותית בכל הקשור לניהוג ושליטה על הרכב וכליו.

לייזר המסוגל לאדות סלעים וקרקע עד מרחק של כ-9 מטר, וספקטרומטר רגיש שימדוד את החומרים המשתחררים בעת האידי. מתקן מיוחד גם יאפשר גילוי של מים עד כמטר מתחת לפני הקרקע. המכשור העיקרי הוא ספקטרומטרים שנועדו לגלות נוכחות של תרכובות אורגניות על פני המאדים ובסלעיו, כל זאת בשילוב מצלמות רגישות ובאיכות גבוהה שיצלמו את סביבת הנחיתה וסביבתו של רכב החלל בסטריאו, באופן שיאפשר גם להפיק תמונות תלת מימדיות של השטח.

במידה כזו או אחרת, אולם כיום נעלמו המים מפני המאדים והם כנראה מצויים במצב קפוא מתחת לפני הקרקע. אולם, הימצאותם של מים, גם בעבר, עשויה לתמוך ביצירת חיים פרימיטיביים על המאדים. גם אטמוספירה עשירה בפחמן דו-חמצני עשויה לתמוך בקיום צורות חיים מסוימות על פני המאדים ואת המענה לתשובות אלה, בין היתר, עשויה לתת לנו המעבדה המשוכללת ביותר שנחתה על פני כוכב הלכת האדום. רכב השטח יוכל לנוע עד כ-200 מטר ביום ולעבור מכשולים שגובהם כמחצית המטר, כאשר מקור הכוח שלו הוא כור גרעיני זעיר המבוסס על פלוטוניום. בין יתר המכשירים ימצא מעין קרן



## מדוע חששו כל מהנדסי המשימה?

מי שראה את שמחת מהנדסי נאס"א יכל אולי לתמוה על פשר הקפיצות וההתרגשות שאוחזים באנשים מבוגרים. אולם, צריך לזכור שמדובר בפורקן מתח שהצטבר במשך חודשים ארוכים של מסע ושנים ארוכות של תכנון.

ה-Curiosity עבר דרך של כחצי מיליארד ק"מ אל כוכב הלכת האדום. הרבה דברים יכלו להשתבש – החל מפגיעה של אסטרואיד קטן וזעיר, סופת שמש אימתנית – והחמור מכל – הנחיתה. החללית מגיעה למאדים במהירות פנטסטית של 22 אלף ק"מ בשעה ואמורה להאט על למהירות כמעט אפסית, אחרת תתרוסק. שלב ההאטה מלווה

בחיכוך באטמוספירה המעלה את טמפרטורות המעטה החיצוני של החללית לערכים של אלפי מעלות. הבלימה גם נעזרת במצנחים שבפעולתם התקינה תלוי שלב הבלימה וכן בחידוש – מנועי בלימה עצומים שיאטו את השלב האחרון. כל זאת, כאשר המהנדסים מצויים רבע מיליארד ק"מ משם, חסרי אונים וגם כל מידע על תקלה, חלילה, מגיע רק רבע שעה לאחר שאירע, שם, במאדים.

ההיסטוריה של המשימות למאדים רצופה הצלחות וכישלונות – היפנים, האמריקאים, הסובייטים, הבריטים – כולם חוו כישלונות, שהמוזר בהם היה אי התאמה בין תכנונים שנעשו בשיטה המטריית ותכנונים של צוות אחר שנעשו באינצ'ים. לאור כל זאת, יש להבין את השמחה הגדולה, את פורקן המתח וכל זאת – כאשר עדיין לא הפעילו את המכשירים. נמשיך להחזיק להם אצבעות.

## משימות למאדים שלא צלחו

מאדים שבה את דמיון האדם מאז ומתמיד והיווה יעד למשימות חלל רבות, אולם המשימות אל המאדים חוו את הכישלונות הרבים ביותר בשיעור של 50% מתוך 38 המשימות. המאדים אמנם כוכב הלכת השני בקרבתו לכדור הארץ, ובשיא הקרבה ביננו הוא מגיע למרחק של כמה עשרות מיליוני ק"מ, אך החלליות נדרשות לעבור דרך של מאות רבות של מיליוני ק"מ. ככל שהמשימה מורכבת יותר, היא אמורה לעבור מכשולים גדולים יותר הן בשל גודלה הפיזי, הן בשל מורכבות המכשירים, קושי הנחיתה וכדומה.

בתחילת שנות ה-90 תלינו תקוות רבות במקפת Mars Observer של נאס"א, שהיתה אמורה לצלם את המאדים בפירוט הגדול ביותר עד אז, אולם ממש לפני כניסה למסלול אבד המגע עמה. כמה שנים לאחר מכן, בשנת 1996, חוו גם הרוסים כשלון עם הנחתת Mars96, כאשר השיגור נכשל. היפנים ניסו את מזלם בחללית Nozomy ששוגרה בשנת 1998 וגמאה דרך בת 5 שנים אל המאדים, אך לא הצליחה להיכנס למסלול סביבו. אולם התקלה המוזרה מכולם היתה של המקפת Mars Climate Orbiter שנועדה לבדוק את תנאי האקלים על המאדים. היא שוגרה אל המאדים ב-1998 ולאחר כשנה של מסע, התרסקה אל קרקע המאדים. הסיבה – בלבול של המנהדסים האנגלים לעומת האמריקאים בין יחידות בשיטה האינצ'ית, לשיטה המטרית. כמה חודשים לאחר מכן, התרסקה אל קרקע המאדים הנחתת Mars Polar Lander של נאס"א, שנועדה לבדוק, בין היתר, נוכחות מים בקוטב המאדים. גם התרסקה אל קרקע המאדים.

הכישלון האחרון הצורב היה של הבריטים. נאחזים בתפארת העבר נשלחה נחתת שנשאה את שמה של הביגל – הספינה שנשאה את דרווין אל תגליותיו. אולם בניגוד לדרווין, שחזר בשלום למולדתו, ניתק הקשר עם הביגל וגורלה לא נודע. הביגל היתה אמורה לחפור בקרקע המאדים

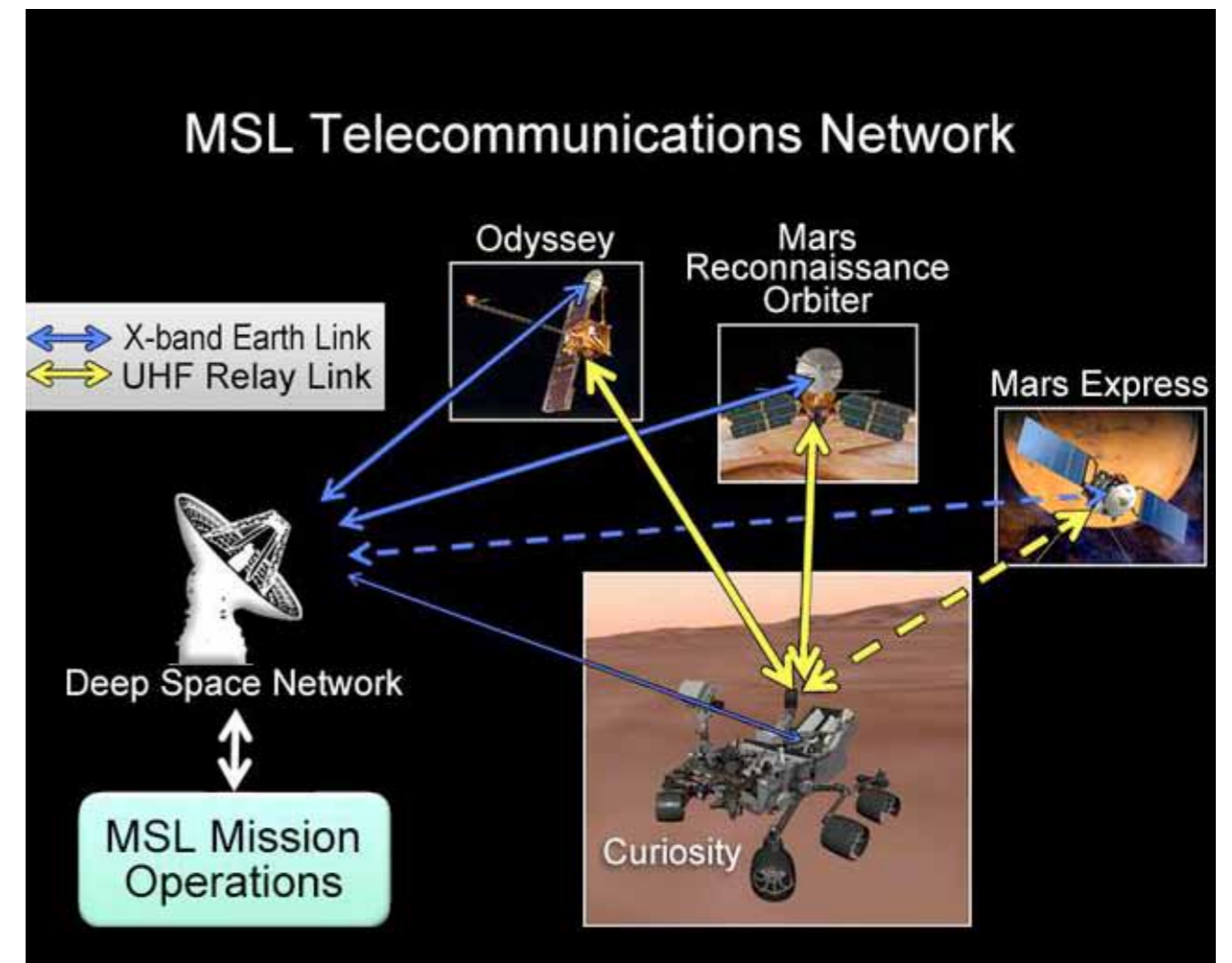
ולבדוק את תכונותיה הכימיות. יש לציין שהמקפת Mars Express שנשאה את הביגל ליעדה, נכנסה למסלול סביב המאדים ושיגרה נתונים טובים מאוד באשר לנוכחות מים על פניו ועדיין היום עוזרת לשידורי הקוריוזיטי לכדור הארץ.

כמה ימים לפני שיגור ה-Curiosity בנובמבר 2011, נעשה ניסיון לשגר את אחת מהתוכניות השאפתניות יותר של הרוסים – Phobos-Grunt – שהיתה אמורה להחזיר דגימות מירחו של המאדים, פובוס, לכדור הארץ בשנת 2014. יחד עמה הוטענה המקפת הסינית Yinghuo-1 על הטיל. השיגור הצליח, אולם המכלול נותר במסלול סביב כדור הארץ ובינואר 2012 הן התרסקו באוקיינוס.

אגב, אחת מהמשימות אל המאדים היה משימה "על הדרך", פשוטו כמשמעו, של החללית והנחתת Rosetta של סוכנות החלל האירופאית, ששוגרה בטיל אריאן צרפתי במרס 2004, בדרכה אל השביט 67P/Churyumov-Gerasimenko, אליו תגיע בשנת 2014. החללית עברה ליד המאדים באחד הניסיונות הנועזים ביותר של תמרון חללי; בפברואר 2007 היא חלפה 250 ק"מ בלבד מעל פני המאדים, כדי לקבל באמצעות הכבידה של כוכב הלכת האדום תאוצה שתגביר את מהירותה אל עבר היעד הסופי. התמרון הצליח וכעת החללית מצויה ב"שנת חורף" של דימום מכשירים, כשהיא שועטת אל עבר השביט, אליו תגיע, כאמור, בשנת 2014.

## המשימה הראשונה של ה-Curiosity

לאחר הנחיתה המושלמת של ה-Curiosity על קרקע המאדים, ולאחר תום הבדיקות העצמיות של הציוד, החל השלב המדעי במשימה של חקר פני המאדים. המשימה הראשונה החלה ביום ראשון, 19 באוגוסט והיא נועדה לבדוק את הטכניקה של מדידת הרכבם של פני סלע המצוי במרחק כמה מטרים מרכב המחקר באמצעות לייזר. כדי לבדוק את פני הסלע, ירתה ה-Curiosity במשך 10 שניות







16.2 ק"מ

10.7 ק"מ

9.3 ק"מ

6.6 ק"מ

5.5 ק"מ

3.7 ק"מ

230 מ'

125 מ'

30 מטחי לייזר, שעוצמתו של כל אחד 30 מיליון וואט אל פני השטח של סלע המטרה. כל מטח נמשך במשך 5 ביליוניות השנייה בסך הכל.

מטרת השימוש בלייזר רב העוצמה היא ליינן את האטומים המצויים בשכבה החיצונית של פני הסלע. המכשיר הבודק את הרכב פני הסלע קרוי ChemCam, שילוב של מכשיר ניתוח כימי (ספקטרוסקופ) ומצלמה. היונים שנוצרו כתוצאה מההפצצה המסיבית בקרני הלייזר פולטים קרינה, מעין "טביעות אצבע", המאפשרות למדענים לזהות את הרכבם הכימי של פני הסלעים. קרינה זו נקלטת על ידי מצלמה ושלושה ספקטרוסקופים מנתחים את הקרינה המגיעה מאותם יונים בתחום של האולטרא-סגול, האור הנראה והתת-אדום.

טכניקה זו, של יינון אטומים לשם אנליזה ספקטרלית בוצעה כבר על פני כדור הארץ בחקר של קרקעית הים או ליבות של כורים גרעיניים, היכן שהגישה והמדידה הישירה שלהם קשה מאוד עד בלתי אפשרית, אך זו הפעם הראשונה שהיא בוצעה בתולדות חקר מערכת השמש. הבדיקה הראשונה של סלע המטרה, שגודלו כמה סנטימטרים בלבד, נועדה להוות ניסוי כלים, אך המדענים הממונים על חלק זה של המכשור, מקווים להשתמש כבר במידע שנאסף בניסוי זה ולהפיק מידע ראשוני על הרכבו של הסלע שנבחר לשמש כ"שפן נסיון", בטרם יפנו להפציץ מאות ואלפי פעמים את סלעי המאדים.

אולי לא ימצאו צורות חיים, אך יתכן שיתגלו חומרים אורגניים שהם הבסיס לחיים כגון חומצות אמיניות ותרכובות חנקן.

בנוסף, הרובונאוט ימדוד את הרכב האטמוספירה במטרה לבדוק שינויים אטמוספריים כתוצאה מחילופי חומרים, גזים אצילים ואיזוטופים המעידים על שינויים באטמוספירה בעבר של מאדים.



רן לוי

כותב, מגיש ומפיק את 'עושים היסטוריה'  
<http://www.ranlevi.com>

על

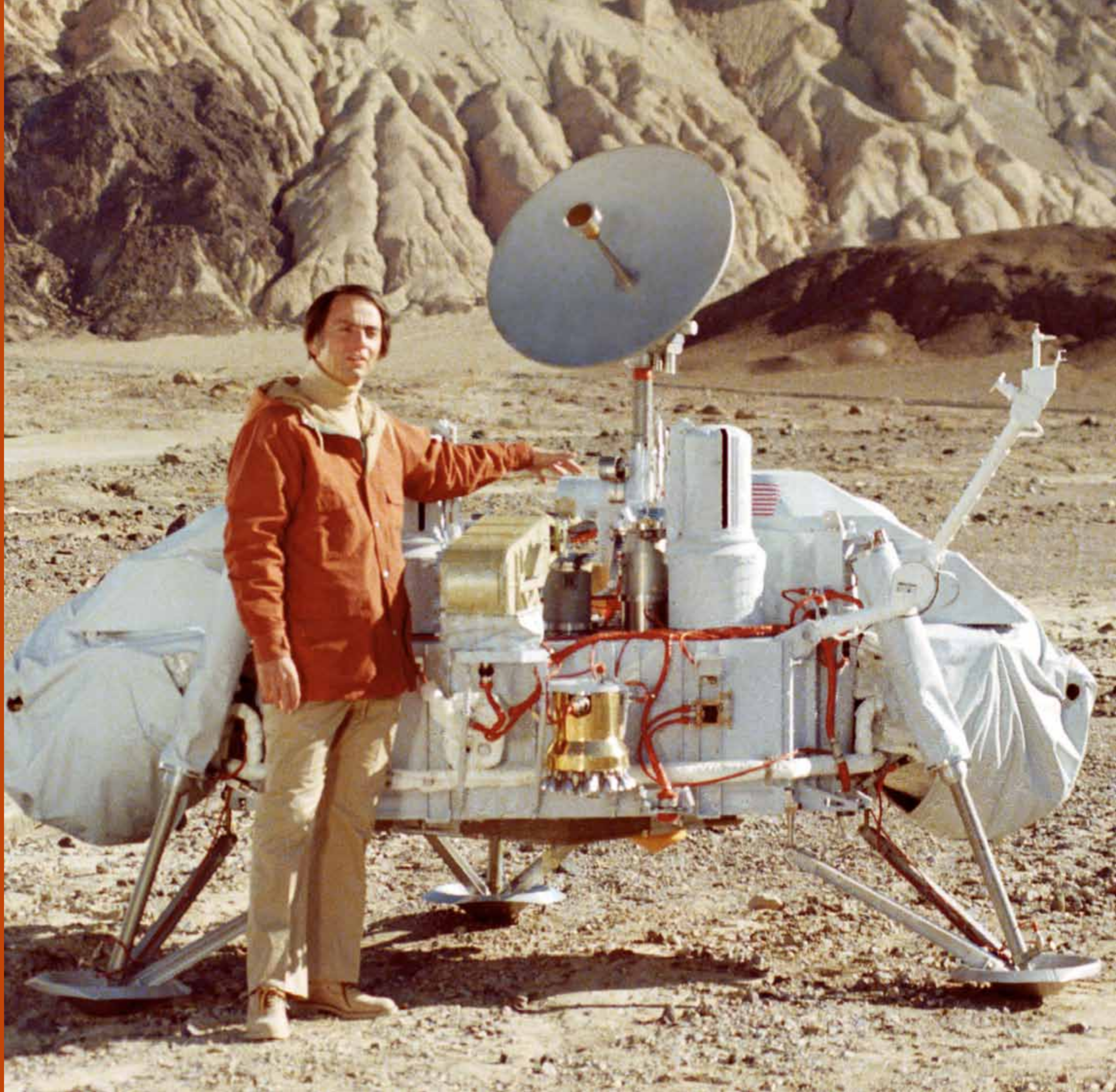
קארל סייגן

והתיישבות

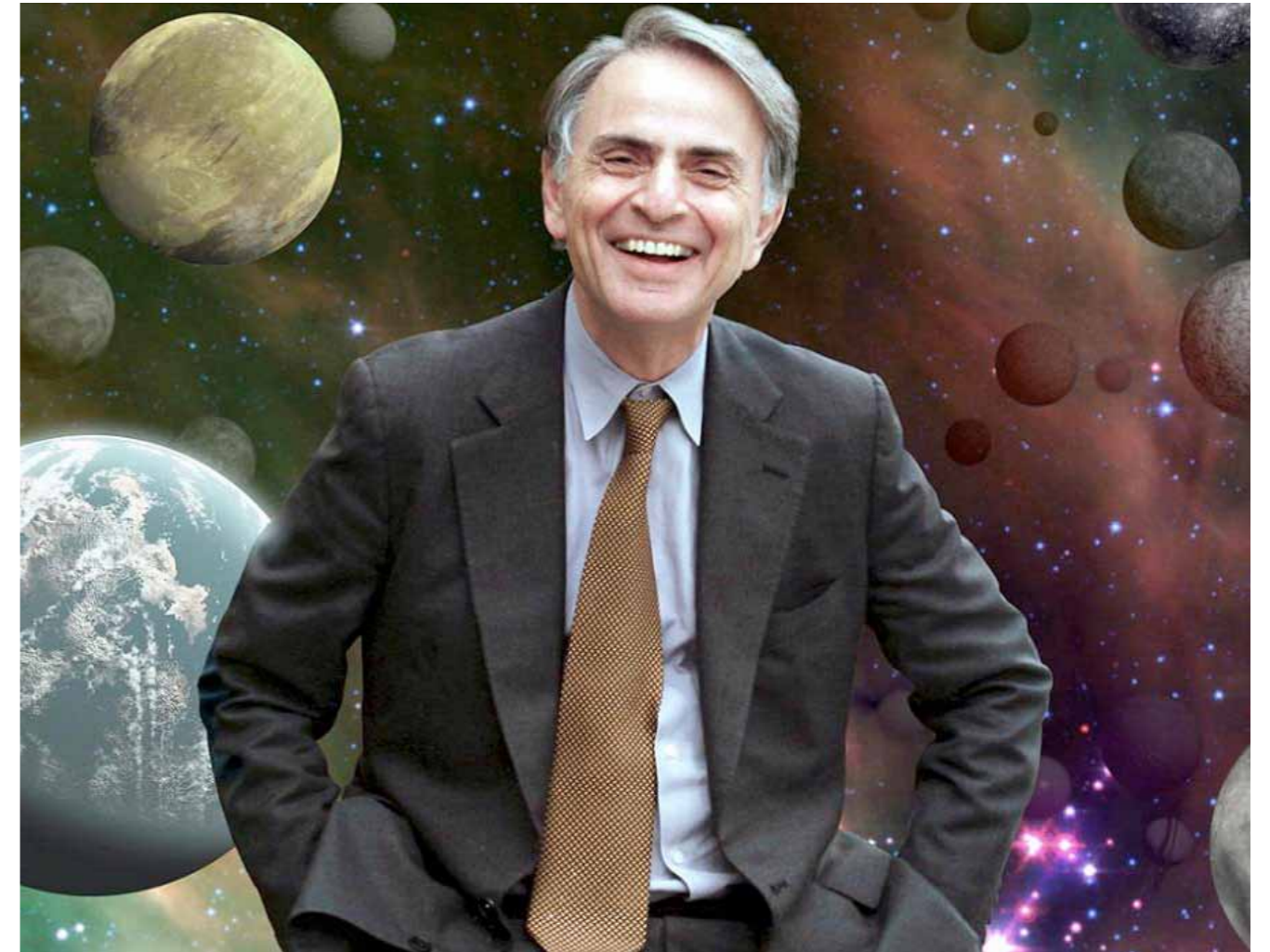
אנושית

במאדים

ונוגה







## פעם, לפני המון שנים, לפני האינטרנט, לפני הערוץ השני, אולי אפילו לפני הדינזאורים... היה הערוץ הראשון. ובימים ההם, למדע היו פנים והיה לו קול גם.

מה יש בפנים!" לא הבנתי למה הוא פותח את המגירות. את הקונספט של 'תפאורה' עוד לא הכרתי, בזמנו. קארל אדוארד סייגן נולד בארצות הברית בשנת 1934, למשפחה יהודית רפורמית. הוא התאהב בכל מה שקשור לחלל ולכוכבים עוד כשהיה בבית הספר היסודי, והסקרנות שלו לגבי היקום שסביבנו לא ידעה שובע. כשהתבגר למד פיסיקה ואסטרונומיה, והשלים את הדוקטורט שלו ב-1960.

הפנים והקול היו שייכים לקארל סייגן שסדרת הטלוויזיה שלו, 'קוסמוס', שודרה בערוץ הראשון. כילד קטן, ישבתי מהופנט מול המסך כשסייגן לקח אותי למסעות במרחבי היקום ובתוך הגוף האנושי. אני עדיין זוכר את הפרק שעסק במוח האדם: סייגן עמד בתוך מסדרון ארוך שקירותיו מכוסים במגירות, והסביר שכל מגירה היא תא שמכיל זכרונות מהעבר. סייגן דיבר, וכל מה שאני יכולתי לחשוב עליו היה - "תפתח אחת! בוא נראה

באותם הימים, שנות החמישים והשישים, כוכב הלכת נוגה עמד במוקד התעניינותם של האסטרונומים. נוגה היה תעלומה מסקרנת. פניו היו מכוסות בשכבה תמידית של עננים אשר הסתירו את פני השטח, ואיש לא ידע לומר מה נמצא מתחתם. כבר במאה התשע עשרה היו אסטרונומים ששיערו שענניו העבים של נוגה מורידים גשם תמידי, ושאלו התפתחו עליו חיים. סופרי המדע הבדיוני דימינו ג'ונגל טרופי חובק-עולם וביצות שוקקות חיים וחיזריים...

סייגן היה משוכנע, עוד כשהיה ילד, שישנם חיים אחרים ביקום. אין זה מפתיע, עם כן, שהמחקר המדעי החשוב הראשון שלו עסק בכוכב לכת זה.

אך כשבחן סייגן את תוצאות מדידות גלי רדיו שנתקבלו מנוגה, הוא החל לחשוד שהתנאים על פני השטח שונים מאד מכפי שחשבו כולם. מדידות אסטרונומיות נוספות, הפעם של שיעור הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה של נוגה, חיזקה אצלו תחושה זו.

סביר להניח שרובכם שמעתם על המונח 'אפקט החממה' בהקשר לסכנת ההתחממות הגלובלית של כדור הארץ. גם אם לא שמעתם עליו, ודאי חוויתם אותו על בשרכם בכל פעם שהשארית את המכונית בשמש למספר שעות: הטמפרטורה במכונית הסגורה עשויה להגיע לשישים ואף לשבעים מעלות צלזיוס, בעוד שהטמפרטורה מחוץ לרכב - אפילו ביום קיץ לוהט - נמוכה בהרבה. מדוע?

השמש פולטת קרינה מסוגים שונים, וביניהם גם האור שאנחנו יכולים לראות. האור הנראה עובר דרך הזכוכית השקופה של המכונית ללא קושי, ומחמם את את לוח המכוונים והריפודים שבפנים. חימום זה גורם למשטחים לפלוט בעצמם קרינה, אבל בתחום תדרים נמוך יותר מזה של האור הנראה: קרינה תת-אדומה, או בשמה הלועזי 'אינפרא אדומה'. הזכוכית שקופה לאור נראה אבל אטומה לקרינה התת-אדומה, ולכן היא 'כולאת' את הקרינה התת-אדומה בתוך הרכב, ומאפשרת לה לחמם עוד יותר את המשטחים הפנימיים. החימום גורם לפליטה מוגברת של קרינה תת-אדומה, אשר בתורה מחממת את המשטחים עוד

יותר - וכן הלאה וכן הלאה. תהליך מחזורי זה הוא 'אפקט החממה', שם השאול מהשימוש המקובל לתופעה זו בחממות חקלאיות.

אותה התופעה מתרחשת גם באטמוספירה של כדור הארץ. גזים מסוימים, ובכללם גם המים והפחמן הדו-חמצני, מתפקדים כמו הזכוכית בדוגמה הקודמת: האור הנראה עובר דרכם ללא קושי ומחמם את הקרקע והיא פולטת קרינה תת-אדומה. הפחמן הדו-חמצני לוכד את הקרינה התת-אדומה ואינו מאפשר לה לברוח בחזרה אל החלל החיצון, ובכך גורם לחימום האטמוספירה - כאילו פרש מישהו שמיכה סביב כדור הארץ כולו.

קארל סייגן ידע שכאן, על כדור הארץ, אפקט החממה מסייע לשמור על טמפרטורה נוחה של עשר עד עשרים מעלות צלזיוס בממוצע. מצד שני, שיעור הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה שלנו הוא פחות מאחוז, בעוד שעל נוגה, הראו המדידות, מדובר בלמעלה מתשעים אחוזים. חישוביו של סייגן העלו כי אפקט החממה על נוגה יעלה את הטמפרטורה על פניו ליותר מ-300 מעלות צלזיוס, או במילים אחרות - פניו של נוגה אינם מכוסים בביצות, אלא במדבר לוהט ויבש.

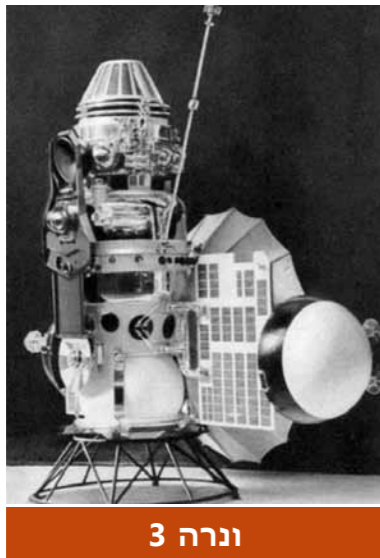
סייגן פרסם את התיאוריה שלו ב-1961, במגזין Science: המאמר עורר עניין רב וזכה למחמאות. אך השערות וחישובים תאורטיים הם דבר אחד, ועובדות בשטח הם דבר אחר. לסייגן לא היו הוכחות של ממש להשערותיו, והוא הבין היטב שאם יסתבר שהטמפרטורה על פניו של נוגה נמוכה בהרבה מששער - המחמאות יהפכו חיש מהר ללעג ולמבוכה.

סייגן לא נאלץ לסבול את חוסר הוודאות זמן רב.

המסתורין שאפף את נוגה היה אחד הסיבות לכך שגם האמריקנים וגם הרוסים החליטו לשלוח אליו את חלליות המחקר הראשונות שלהם, בשנות השישים. כמו בכל מה שנוגע לתכנית החלל, גם כאן הייתה תחרות עזה בין שתי המעצמות.

הרוסים היו הראשונים לשגר חללית אל נוגה, בשנת 1961. החללית ונרה 1VA צויידה במגוון של מכשירי מדידה, וגם במזכרת קטנה מכדור הארץ:





ונרה 3

ברית המועצות כשלה בניסיון להיות הראשונה להגיע לנוגה, אבל המרוץ טרם נסתיים.

בשנת 1965 יצאה לדרכה החללית ונרה 3 שנועדה להיות החללית הראשונה שתחדור בפועל לאטמוספירה של נוגה, ולמעשה הראשונה שתגיע לאטמוספירה של כוכב לכת זר כלשהו. ונרה 3 בילתה כמעט שנתיים בחלל, הגיעה אל נוגה - החלה בצלילה אל תוך האטמוספירה... אבל אז ארעה תקלה במערכת התקשורת של החללית. החללית המשיכה לאסוף נתונים, אבל הפסיקה לשדר אותם אל כדור הארץ! אפשר לשער עד כמה היו אנשי תכנית החלל הסובייטית מתוסכלים: כל כך קרוב, ועם זאת כל כך רחוק...

כל העיניים היו נשואות כעת אל ונרה 4, שעזבה את כדור הארץ ביוני 1967. ונרה 4 הייתה גרסה משופרת של החלליות הכושלות שקדמו לה, וחלק מהמערכות הבעייתיות תוכננו מחדש. עם זאת, המהנדסים הרוסים עדיין לא ידעו למה לצפות כשתגיע החללית לנוגה: האם תמצא שם ביצות ואגמים, כפי שהיה מקובל לחשוב בעבר, או שאולי מדבר לוחט ויבש, כפי שעלה מהמדידות של מרינר 2? היה סביר יותר להניח שהטמפרטורה תהיה גבוהה, ולכן החללית צוידה במערכת קירור חדשנית. אבל רק כדי להיות בטוחים, הסובייטים פיתחו מנעול מיוחד, עשוי מסוכר: אם תנחת ונרה 4 בתוך אגם מים, המים ימיס את הסוכר, המנעול יפתח ואנטנות התקשורת יוכלו להפרש כראוי.

אין זה סוד שהאוכלוסייה העולמית הולכת וגדלה משנה לשנה, וכדור הארץ נעשה צפוף יותר בבני אדם. עם זאת, מטרת ההארכה אינה להקל על הצפיפות הזו באמצעות העברת חלק ניכר מהאוכלוסייה הקיימת לכוכב לכת אחר. קל הרבה יותר, מבחינה מעשית, לפתח אזורים בלתי מיושבים על פני כדור הארץ כמו סיביר או מדבר סהרה, מאשר לשנות תכונות של כוכב אחר. המוטיבציה שביסוד רעיון ההארכה היא יצירת 'עותק גיבוי' למין האנושי. פיצוץ האוכלוסין מטיל עומס כבד על משאבי כדור הארץ, ואם לא נמצא דרך להתפשט לכוכבים אחרים ביקום, זו תהיה רק שאלה של זמן עד שנגיע לקצה גבול יכולת עולמנו לכלכל כמות גדולה כל כך של בני אדם. ואם זיהום משאבים וניצולם לא יפגעו בנו, אזי תמיד קיים הסיכוי שאסטרואיד טועה יפגע בכדור הארץ ויעשה לנו את מה שעשה קודמו לדינוזאורים.

רובנו שקועים מדי בצרות היום יום מכדי להקדיש מחשבה רבה לאירועים שיתרחשו, אם בכלל, בעוד אלפי שנים אבל המדענים, ובעיקר מתחום האסטרונומיה והאסטרופיסיקה, רגילים לחשוב במונחים של מיליוני ואף מיליארדי שנים. הם מבינים שהאיום על עתיד האנושות, בטווח הרחוק, הוא מוחשי יותר מכפי שנדמה לנו.

ב-1961, באותו המאמר שבו חשף את התיאוריה שלו לגבי הטמפרטורה על פניו של נוגה, סייגן הציע לפזר חיידקים באטמוספירה של נוגה כדי שימירו את הפחמן הדו-חמצני לתרכובות אורגניות מוצקות ובכך 'יסלקו' אותו מהאטמוספירה. כשאחוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה יקטן, ייחלש גם אפקט החממה והטמפרטורה על פני כוכב הלכת תרד לרמה שתאפשר קיום מים נוזליים בפרט, וחיים בכלל. סייגן ידע, כמובן, שמדובר בתהליך שיימשך אלפי ואולי מאות אלפי שנים - אבל כבר באותם הימים הוא היה מעורב באופן אינטימי בתוכנית החלל האמריקנית כיועץ מדעי, וידע שהדבר נמצא בהישג ידה של הטכנולוגיה הקיימת.

אך לפני שניתן היה לשקול ברצינות פיזור חיידקים באטמוספירה של נוגה, היה על המדענים לדעת במדויק את הרכב הגזים שבה. סייגן נאלץ להמתין שש שנים נוספות עד שזכה לתשובות גם בעניין זה.

המזוהה ביותר עם סייגן היא 'מיליארדי על גבי מיליארדים', שבה השתמש כדי להמחיש כמה כוכבים יש ביקום. הוא נטה לחזור עליה מדי פעם...

קארל סייגן, כאמור, האמין בכל ליבו שישנם יצורים חיים אחרים ביקום. לא רבים יודעים, עם זאת, שסייגן גם היה המדען הראשון ששקל ברצינות את האפשרות של 'הארכה' (ב-'א') של כוכב לכת אחר.

'הארכה' (Terraforming, באנגלית) היא שינוי כוכב לכת או ירח כלשהו, במטרה שיווצרו עליו תנאים דומים יותר לאלה שבכדור הארץ שיאפשרו ליישב עליו בני אדם ביום מן הימים. הרעיון הופיע בספרות המדע הבדיוני שנים רבות לפני סייגן, אך אף פעם לא נשקל ברצינות: אחרי הכל, אלו היו הימים שלפני לוויינים וחלליות מאוישות. אך סייגן, ומדענים אחרים אחריו, ידעו שהתיישבות על כוכב לכת אחר היא מטרה שחובה עלינו לשאוף אליה.



מרינר 1



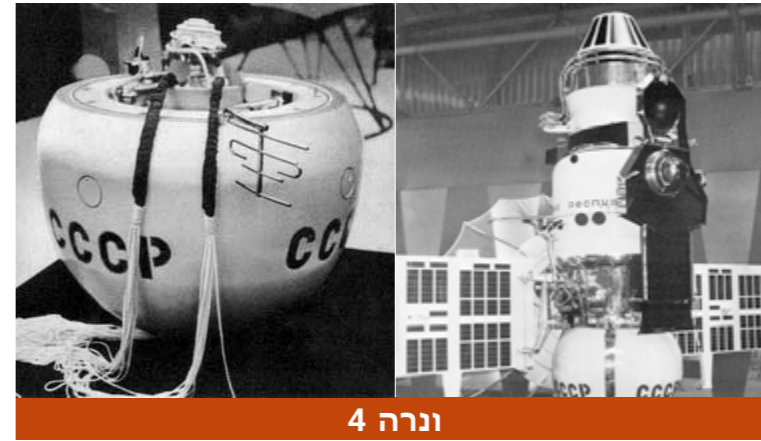
ונרה 1

כדור מתכת בצורת גלובוס, ועליו סימלה של ברית המועצות. לרוע המזל, תקלה טכנית ברקטה שנשאה את ונרה 1VA הכשילה את השיגור, והחללית התרסקה בחזרה אל כדור הארץ. המהנדסים הסובייטים היו משוכנעים שונרה 1VA נפלה לתוך האוקיינוס השקט. שנתיים מאוחר יותר שחה ילד מקומי בנהר במזרח סיביר, ודרך על פיסת מתכת. הוא הרים אותה, וראה שמדובר בכדור מתכת ועליו סימונים משונים. אביו של הילד העביר את כדור המתכת אל הקג"ב, ומשם מצאה המזכרת את דרכה אל סוכנות החלל הסובייטית. רק אז גילו המהנדסים, בפעם הראשונה, שהחללית שלהם התרסקה בסיביר, ולא באוקיינוס השקט. סיפור משונה זה מעלה תהייה מעניינת: מי עמיד יותר - כדור מתכת ששרד התרסקות מגובה רב, או ילד שמוכן לשחות בנהרות הקפואים של מזרח סיביר.

גם החללית השניה ששיגרה ברית המועצות לנוגה כשלה במשימתה: היא הגיעה עד קרוב מאד לנוגה, אך לא הצליחה להחזיר נתונים ומדידות. כישלון זה איפשר לאמריקנים לקחת את ההובלה: החללית שלהם, מרינר 2, חלפה ליד נוגה ושלחה נתונים ראשונים. המדידות היו חד-משמעיות: טמפרטורת האטמוספירה של נוגה נעה בין 420 ו-500 מעלות צלזיוס, חם מספיק כדי להפוך גוש עופרת לשלולית מתכתית...

ממצאים אלה איששו את השערותיו של סייגן, והניבו המוצלח - בשילוב הכריזמה הטבעית שבה ניחן - הזניקו אותו לתודעת הציבור הרחב, והיו הצעד הראשון בדרך לקריירה מוצלחת מאוד. הוא כתב ספרי מדע פופולארי ומדע בדיוני, וסדרות הטלוויזיה שהנחה זכו לשבחים רבים. האימרה





ונרה 4

להנחת חלליות נוספות על פניו של נוגה, ואלה הצליחו אפילו לשלוח מספר תמונות לפני שנמעכו תחת הלחץ הכבד.

ונרה 4 הייתה הצלחה מסחררת אשר סיפקה למדענים נתונים יקרים מפז לגבי התנאים השוררים על נוגה. בה בעת, היא גם סתמה את הגולל על חלומות ההארצה של כוכב לכת זה. אף חיידק לא יוכל לשרוד יותר מכמה שניות באטמוספירה שכזו, ובלאו הכי כמעט ואין בה אדי מים שהכרחיים לקיום חיים ארציים. בנוסף, לנוגה כמעט ואין שדה מגנטי, ומכאן שפניו חשופים לקרינה קוסמית מזיקה ברמות גבוהות בהרבה מאלו שעל פני כדור הארץ.

אין משמעות הדבר שהארצת נוגה בלתי אפשרית. ארכימדס אמר פעם: "תנו לי נקודת משען מתאימה, ואניף את העולם כולו". באותו האופן, אם נשקיע משאבים בלתי מוגבלים ותקציבים בלתי נדלים, סביר להניח שנוכל להתגבר על כל הקשיים בדרך זו או אחרת. למשל, יש מי שהציע להפיץ את נוגה באסטרואידים ענקיים כדי להעיף חלק ניכר מהאטמוספירה לחלל, או לפרוש בינו לבין השמש אלפי קילומטרים של יריעות מחזירות אור כדי לחסום את קרינת השמש ולעצור את אפקט החממה.

ברור למדי, עם זאת, שרעיונות שכאלה אינם עומדים להתגשם בעשרות או אולי אפילו במאות השנים הקרובות: הטכנולוגיה שנדרשת כדי ליישם אינה נראית באופק, וקשה לדמיין מצב שבו ממשלה כלשהי תסכים להפנות 'משאבים בלתי מוגבלים' לפרוייקט כה שאפתני. במילים אחרות, חלום הארצת נוגה התפוגג כמעט לחלוטין.

ונרה 4 הגיעה אל נוגה כעבור חמישה חודשים, והחלה בכניסה אל האטמוספירה. כל המערכות עבדו כהלכה, ומכשירי המדידה שעליה החלו משדרים נתונים בחזרה אל כדור הארץ בקצב "מסחרר" של ביט אחד בכל שניה.

ההפתעות לא איחרו לבוא. הסתבר כי העננים הלבנים והכמעט פסטורליים של נוגה אינם ענני מים: למעשה, באטמוספירה של נוגה כמעט ואין בכלל אדי מים. העננים הלבנים עשויים מטיפות זעירות של חומצה גופרתית, המוכרת לחלקנו בשמה הנפוץ - 'חומצת מצברים'.

ההפתעה הגדולה השנייה הייתה צפיפות האוויר. המצנחים של ונרה 4 היו אמורים להיפתח בגובה של כעשרים ושישה קילומטרים, שם ציפו המהנדסים למצוא לחץ אטמוספרי גבוה מספיק כדי להאט את נפילת החללית. בפועל, עם זאת, הלחץ האטמוספרי על נוגה היה גבוה בהרבה מכפי ששיערו: פי מאה מזה על כדור הארץ. האטמוספירה של נוגה כה צפופה, עד שבגובה פני הקרקע לחץ האוויר מקביל ללחץ ששורר בעומק של קילומטר מתחת לפני הים אצלנו.

הלחץ הגבוה הביא לכך שמצנחיה של ונרה 4 נפרשו כבר בגובה של חמישים ושניים קילומטרים, במקום עשרים ושישה. החללית ריחפה באטמוספירה זמן ארוך בהרבה מהצפוי, והסוללות שלה התרוקנו זמן רב לפני שהגיעה לפני השטח. לא שזה שינה הרבה: סביר להניח שוונרה 4 נמחצה תחת הלחץ העצום קילומטרים רבים לפני שהגיעה אל הקרקע. בהמשך הצליחה ברית המועצות

מעניין לציין שהנתונים שהחזירה ונרה 4 השאירו בכל זאת פתח קטן להגשמת חלום ההתיישבות על נוגה. ישנה אזור מסוים באטמוספירה, רצועה דקה בגובה של כחמישים קילומטרים מעל הקרקע, שבה לחץ האוויר הוא אטמוספירה אחת - כמו על כדור הארץ - והטמפרטורה היא רק כמה עשרות מעלות מעל האפס. בסביבה כזו, בני אדם יכולים להתקיים בעזרת הגנה מינימלית בלבד: אספקת אוויר, וחליפה נגד הגשם החומצי. זאת ועוד, האוויר שאנו נושמים הוא קל יותר מהאטמוספירה הרגילה של נוגה - כך שבלון מלא באוויר שלנו יצוף באטמוספירה של נוגה כמו בלון מלא בהליום כאן על כדור הארץ. עובדה זו עשויה לאפשר לנו, אולי, יום אחד, להקים 'מושבות מרחפות' בנוגה: מבנים גדולים ומלאים באוויר שירחפו באטמוספירה הדחוסה. אני לא חושב שהייתי רוצה לחיות במושבה כזו, באופן אישי, אבל אני בטוח שהנוף משגע.

נוגה, שכולם ראו בו כוכב לכת טרופי ושופע מים, היה המועמד הטבעי להתיישבות אנושית. מאדים, לעומתו, נחשב בדרך כלל לאפשרות המושכת פחות: תצפיות אסטרונומיות במאה ה-19 הראו שמדובר בכוכב מדברי, יבש ולא מסביר פנים במיוחד. אך בבד בבד עם התגליות שהפכו את חלום ההתיישבות על נוגה לבלתי אפשרי, נעשו תגליות חדשות שהפכו את מאדים למועמד המוביל בתחום זה.

האי דבון (Devon Island) הוא אי רחב ידיים: על פי ויקיפדיה, דבון משתרע על חמישים וחמישה אלף קילומטרים רבועים, והוא האי העשירי ושבעה בגודלו בעולם. אוכלוסיית האי הגדול הזה מונה בדיוק... אפס בני אדם. הסיבה לכך היא העובדה שדבון שוכן בצפון הרחוק של קנדה, קצת יותר מאלף קילומטר מהקוטב הצפוני, באזור אקלימי המכונה 'מדבר הקוטב': למרות שהטמפרטורה בדבון נמצאת מתחת לאפס ברוב ימות השנה, כמעט ולא יורד בו גשם או שלג.

אך אם תגיעו לדבון בתקופת הקיץ, תוכלו לחזות במראה בלתי שגורתי. במרכז האי, לא הרחק משפת מכתש גדול ועתיק, עומד מבנה קטן, עגול ולבן - ועליו מתנוסס דגל שאינו שייך לאף מדינה: שלושה פסים אנכיים - אדום, ירוק וכחול. אם

תמתינו בסבלנות, תוכלו לראות את דלת המבנה נפתחת וממנה יוצא אדם... לבוש בחליפת חלל. ברוכים הבאים ל-FMARS: ראשי תיבות של Flashline Mars Arctic Research Station, או בכינוי הלא רשמי שלה - ההתיישבות האנושית הראשונה על מאדים.

התנאים השוררים על מאדים הם במידה רבה היפוכם המוחלט של התנאים על נוגה: במקום אטמוספירה דחוסה ורותחת, האטמוספירה המאדימית דלילה וקרה.

מאדים הוא כוכב לכת קטן יחסית - מאסתו היא רק כעשירית מזו של כדור הארץ ולכן כוח המשיכה שלו הוא רק שליש מזה שקיים כאן. עובדה זו, בצירוף השדה המגנטי החלש מאוד שלו, הביאה לכך שכמעט כל האטמוספירה המקורית של מאדים התנדפה לחלל ברבות השנים: הלחץ האטמוספרי על פני השטח הוא שישה עד עשרה מיליבאר, בהשוואה ליותר מאלף מיליבאר בגובה פני הים על כדור הארץ. לחץ האוויר המינימלי ביותר הדרוש לבני אדם הוא 61.8 מיליבאר: מתחת ללחץ זה, נוזלי גוף כגון מים בריאות ורוק בפה רותחים כבר בטמפרטורת הגוף, היינו 37 מעלות צלסיוס.

בדומה לנוגה, גם האטמוספירה של מאדים מורכבת ברובה מפחמן דו-חמצני, אך הגז כה דליל עד שאפקט החממה כמעט ואינו מורגש. כתוצאה מכך, שינויי הטמפרטורה על מאדים בין אזור קו המשווה והקטבים, בין שעות היום והלילה ובין עונות השנה חריפים בהרבה מאלו שבכדור הארץ. למשל, הטמפרטורה על קו המשווה המאדימי עשויה להגיע ל-15 מעלות בצהרי היום, ואילו בקטבים היא יורדת עד ל-143 מתחת לאפס. הטמפרטורה הממוצעת על פניו של מאדים היא מינוס 55 מעלות, בהשוואה ל-14 מעלות אצלנו.

זו גם הסיבה שבגללה הוקמה תחנת המחקר FMARS בשנת 2000 על האי השומם דבון, קרוב כל כך לקוטב הצפוני. התנאים השוררים בדבון, ובמיוחד האזור המכונה 'מכתש הוטון' (Haughton Crater), הם ככל הנראה הקרובים ביותר שאליהם ניתן להגיע בכדור הארץ, לתנאים השוררים על מאדים. פרט לקור העז, הקרקע



הטרשית והיבשה של דבון גם מזכירה מאוד את התמונות שצילמו הרובוטים שתרים את פני השטח של מאדים.

בכל שנה בתקופת הקיץ מגיעה קבוצת מתנדבים אל תחנת המחקר, ושוהה בה במשך חודש עד שלושה חודשים. מטרתם היא לדמות, עד כמה שרק ניתן, את החיים במושבה אנושית על המאדים: הם מקפידים על משמעת מים, עורכים ניסויים מדעיים, ועוזבים את מבנה התחנה אך ורק עטויים חליפת חלל לגופם. לוח הזמנים היומי שלהם מתואם ליממה באורך 24 שעות וארבעים דקות, בדומה לאורך היממה המאדימית. אפילו חלק מתקשורת הרדיו עם 'העולם החיצון' נעשית בעיכוב מלאכותי של עשרים דקות בין שאלה ותשובה, כדי לדמות את ההשהייה בתקשורת שבין כדור הארץ ומאדים. 'ההנחות' היחידות שמקבלים אנשי הצוות הם בעניינים הנוגעים לבטיחות: למשל, בזמן יציאה לשטח, אחד מהצוות רשאי להסתובב ללא חליפת חלל, ותפקידו לוודא שדובי קוטב אינם מתקיפים את החוקרים.

תחנת FMARS הוקמה ומתוחזקת על ידי ארגון Mars Society בשם Mars Society. ב-50 חברים כ-4000 מדענים, יזמים וחובבי חלל מכ-50 מדינות ברחבי העולם, אשר שמו לעצמם למטרה לקדם את רעיון הארצת מאדים וההתיישבות האנושית בו. הם מארגנים כנסים מדעיים בנושא, מגייסים תרומות וחסינות למחקרים רלוונטיים וגם משתפים פעולה עם נאס"א. הדגל האדום-ירוק-כחול שמתנוסס על גג תחנת המחקר הוא דגלה הבלתי רשמי של מדינת מאדים, לכשתוקם. הצבעים מסמלים את התקדמות תהליך ההארצה: מקרקע אדומה וחלודה לנוף ירוק ופורח.

החיים בתחנת FMARS אינם קלים. אמנם יש למתנדבים ספריית DVD עשירה ולוח דארטס, אבל האוכל מגיע בקופסאות שימורים, מקלחות מותרות רק לעיתים רחוקות ועל פרטיות אמיתית אין מה לדבר, כמובן. אלו חיים שמזכירים מאד הפלגה ארוכה בספינה קטנה, צפופה...ומוקפת דובים.

ועדיין, כל מי שמשתתף בפרוייקט עושה זאת בשמחה. למעשה, לא הרחק מתחנת



FMARS ישנה תחנת מחקר נוספת בשם HMP (Houghton Mars Project) ובה מתנדבים שמבצעים פעילות דומה. ישנה גם תחנת מחקר מדברית ביוטה, שבארצות הברית.

מה מביא את חברי Mars Society ואת המתנדבים שמבלים שבועות ארוכים ומפרכים בתחנות מחקר מבודדות להשקיע זמן, כסף ומאמץ כדי לקדם את הארצת מאדים? קל לפטור את השאלה הזו בכך שמדובר בחבורה של משוגעים לדבר בעלי זמן פנוי רב - אבל זו אינה יכולה להיות הסיבה היחידה, במיוחד אם ניקח בחשבון שאין ולו ארגון אחד דומה שדוחף את היוזמה להארצת נוגה.

הסיבה לכך קשורה לממצאים ולתגליות שנעשו לגבי הגאולוגיה וההיסטוריה של הכוכב האדום בארבעים השנים האחרונות. הנתונים שהחזירו החלליות וכלי הרכב הרובוטיים שביקרו במאדים מעידים על כך שהתנאים על מאדים היו פעם דומים למדי שאלו שעל כדור הארץ: הטמפרטורות היו נוחות ומים זרמו על פני השטח. התנדפות האטמוספירה של מאדים הביאה לצניחה המשמעותית בטמפרטורת פני השטח שלו, אך באופן פרדוקסלי, דווקא הקור העז עשוי להיות המפתח ליכולתנו להפוך את מאדים, ביום מן הימים, ל'תואם כדור הארץ'.

המים הנוזליים, כמו גם חלק מהגזים שנותרו באטמוספירה, קפאו - וכיום המדענים מעריכים כי בקטבים ומתחת לפני השטח קיימים מרבצים אדירים של קרח וקרח יבש: מיליוני טונות של מים ופחמן-דו-חמצני. אם נמצא דרך להפשיר אותם, פני מאדים יכוסו באגמים בעומק של עשרות מטרים, והלחץ האטמוספרי יעלה עד לכשליש מזה שעל כדור הארץ. ברור שבטווח הארוך כוח המשיכה של מאדים לא יאפשר לו להחזיק באטמוספירה חדשה זו, וגם היא תתנדף אל החלל - אבל סביר להניח שיחלפו כמה מאות אלפי שנים עד שזה יקרה.

הפרשת הקרחונים, כצעד ראשון בדרך להארצה מלאה של מאדים, לא תהיה עניין פשוט או זול - אבל בניגוד להצעות שהועלו לגבי הארצת נוגה, מדובר בפרוייקט שנמצא, באופן עקרוני, בהשג ידינו. סביר להניח שניתן לממש אותו בכלים



החמצן באטמוספירה במידה נאותה, נוכל להביא למאדים בעלי חיים מורכבים יותר: בתחילה אצות שיגדלו באגמים ובשלוליות, ואז צמחים פשוטים ועמידים ולבסוף שיחים, עצים וחיות גדולות שיהיו החלק האחרון בפאזל המורכב של הארצת מאדים.

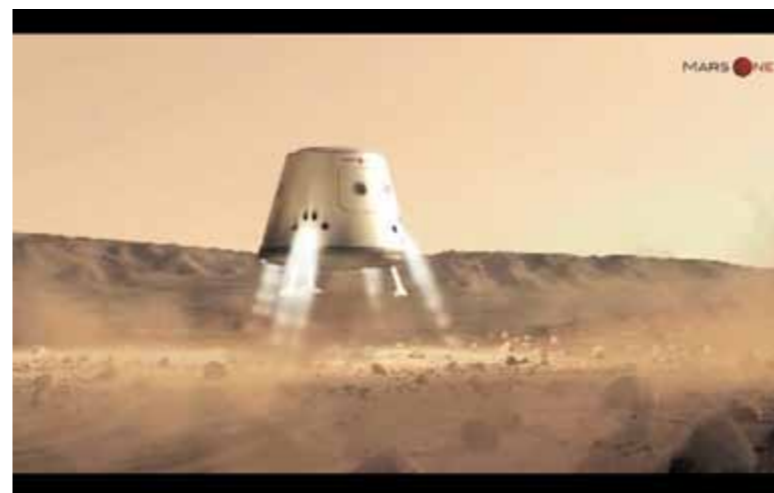
אך אליה וקוץ בה... תהליך חימצון האטמוספירה על ידי הכחוליות יהיה, ככל הנראה, תהליך אטי שיימשך עשרות או מאות אלפי שנים. עד שהסביבה תתאים את עצמה לבני האדם, בני האדם יהיו אלה שייאלצו להתאים את עצמם אל הסביבה. למעשה, גם אם נצליח ביום מן הימים להפוך את מאדים לתואם כדור הארץ, יש דברים שכנראה לעולם לא נוכל לשנות ונצטרך ללמוד לחיות עמם. של, כוח הכבידה. כוח המשיכה של מאדים קטן בשני שליש מזה שעל כדור הארץ. כיצד תשפיע עובדה זו על בני אדם עתידיים שיוולדו, יחיו וימותו על פניו של מאדים? אפשר רק לנחש. ניסיון טיסות החלל מלמד אותנו שלהעדר כוח משיכה יש השפעות מהותיות על הגוף בטווח הארוך - החל מאיבוד מסת שריר, דרך ירידה בצפיפות העצמות ועד בעיות לב. אף אחד אינו יודע איזו השפעה תהיה לכוח משיכה חלקי: מי יודע, יכול להיות שהם יתנשאו לגובה רב יותר ויגמדו גם את שחקני הכדורסל הגבוהים ביותר על כדור הארץ.

כך או כך, קרוב לוודאי שבני המאדים לא יוכלו לשהות בכדור הארץ תקופות ארוכות: גופם לא יעמוד במעמסה... מאדים יהיה ביתם האמתי, לטוב ולרע. גם עם הקרינה האולטרא סגולה המסוכנת מהשמש נצטרך ללמוד לחיות, לפחות עד שכמויות האוזון באטמוספירה יעלו לרמה מספקת כדי לספק הגנה דומה לזו שעל כדור הארץ. קיימות שתי אסטרטגיות התמודדות אפשריות עם הקרינה, ולשתיהן תהיה השפעה ניכרת על הפיזיולוגיה או הפסיכולוגיה האנושית.

האפשרות הראשונה היא חיים בתוך מבנים סגורים ומוגנים על פני הקרקע, או בתוך מערות תת-קרקעיות. סופרי המדע הבדיוני הרבו לדמיין את המבנים הסגורים ככיפות רחבות ידיים, אך בפועל צורת הכיפה אינה הכרחית: אפשר לחיות באותה המידה במבנים שטוחים, נמוכים ורחבי ידיים בדומה למרכזי קניות ולקניונים על כדור הארץ.



מאדים עני מאוד בחנקן, וכנראה שנצטרך לייבא כמויות גדולות של חנקן ממקומות אחרים במערכת השמש - אם נצליח לעשות זאת סביר להניח שהכחוליות יוכלו להעשיר את האטמוספירה של מאדים בכמויות גדולות של חמצן. ניסויים שנערכו על פני כדור הארץ ובחלל מלמדים שיש זנים מסוימים של כחוליות שעמידים בפני קור עז ותנאי סביבה קשים אחרים שישררו על מאדים בעשורים הראשונים לתקופת ההאצה. כשיעלה שיעור



התיישבות במאדים NASA

הכחוליות מסוגלות לפרק מולקולות מים ולשחרר אטומי החמצן לאוויר, תוך ניצול אנרגיית שמש בתהליך פוטוסינתזה. הן נפוצות מאוד על פני כדור הארץ, והן חוליה חיונית בשרשרת המזון: שלא כמו צמחים, למשל, הכחוליות מסוגלות לקלוט חנקן ישר מהאוויר, ולהשתמש בו ליצירת תרכובות אורגניות. את אטומי החנקן האלה אנו מוצאים, מאוחר יותר, בכל בעלי החיים האחרים במולקולות כמו הדנ"א, בחלבונים חיוניים וכו'.

הטכנולוגיים הקיימים, ובהשקעה כספית ניכרת אך לא בלתי מתקבלת על הדעת. מספר רעיונות להפשרת הקרחונים הועלו לאורך השנים, והמוצלח שבהם הוא ככל הנראה ייצור מלאכותי של גזי חממה על פני המאדים.

כאן, בכדור הארץ, אנחנו כבר יודעים לייצר גזי חממה כמו פחמן דו-חמצני, אמוניה ופריאון. הייצור התעשייתי של גזים אלה הוא, כנראה, אחד הסיבות להתחממות הגלובלית אצלנו: הגזים סופחים קרינה תת-אדומה הנפלטת מהקרקע, ומחממים את הסביבה. תופעה זו נחשבת לבלתי רצויה בכדור הארץ, אבל היא רצויה מאוד על מאדים. על פי חישובים שונים, אם נקים במאדים כמה מפעלים אשר יפיקו גזי חממה מלאכותיים יומם וליל, נוכל להעלות את טמפרטורת פני השטח של מאדים לרמה מספיקה כדי לאפשר המסת הקרחונים בתוך חמישים שנה בלבד. אין ספק שהקמת מפעל גדול על כוכב לכת אחר היא אתגר הנדסי עצום, אבל הוא אינו בלתי מציאותי: שילוב מוצלח של תכנון נכון, אסטרונאוטים אנושיים ורובוטים מתקדמים עשוי להספיק כדי לעשות את העבודה.

נוסף על כך, תהליך החימום הגלובלי שיתניעו גזי החממה הוא מטבעו תהליך בעל משוב חיובי, או במילים אחרות - תהליך שמחזק את עצמו. ככל שיפשירו קרחונים רבים יותר, האטמוספירה המאדימית תקבל יותר אדי מים ומולקולות פחמן דו-חמצני. השניים האלה הם בעצמם גזי חממה מעולים, ולכן יגבירו עוד יותר את תהליך ההתחממות שבתורו ימיס את הקרחונים מהר יותר, וכן הלאה וכן הלאה. ככל שיעלה לחץ האוויר והטמפרטורות על פני השטח יהפכו לנוחות יותר, יהיה קל יותר לאסטרונאוטים לעבוד בחוץ: הם כבר לא יזדקקו לחליפות חלל כבדות, אלא רק למסכות חמצן ולבגדים חמים. יעילות העבודה תגבר ותפוקת המפעלים תעלה.

השלב הבא בתכנית ההאצה יהיה, כנראה, אטי הרבה יותר. כאמור, האטמוספירה המאדימית עשירה בפחמן דו-חמצני אך דלה בחמצן החיוני לקיומם של חיים על פני כדור הארץ. מי שיוכלו לספק את החמצן הם, ככל הנראה, חיידקים המכונים 'כחוליות' (Cyanobacteria).





לתמיד. ככל שיהיו לנו יותר אנשים שם, כך נוכל ליצור סביבה תומכת יותר. פרט למקרים נדירים ביותר, האנשים שטסים למאדים אינם אמורים לחזור ארצה. אם אתה במאדים, אתה נשאר שם."

אין כמעט ספק שמבין כל המיליארדים שחיים על כדור הארץ, ימצאו אלפי מתנדבים שיהיו מוכנים לקחת את הסיכון ולקנות 'כרטיס בכיוון אחד' אל מאדים. הניסיון מלמד אותנו שחלוצים, בכל תחום, הם אנשים מיוחדים שאינם נרתעים בקלות מסכנות ומקשיים. יכול להיות גם שהחברה האנושית שתקום על מאדים תהיה בבואה של ערכי מייסדיה, באותו האופן שבו האבות המייסדים של ארצות הברית הקימו אותה על בסיס ערכים חדשניים של חופש, שיוויון וצדק שהיו שונים מהערכים המקובלים במרבית מדינות אירופה באותה התקופה. במילים אחרות, ייתכן וההתיישבות במאדים תביא לא רק לשינויים ברמת האדם הבודד, אלא גם לחברה אנושית חדשה בעלת ערכים שונים באופן מהותי מהערכים שלנו.

לסיכום, התחלנו את הפרק בניסיון להבין כיצד יוכלו בני האדם לשנות כוכבי לכת אחרים כדי להתאים אותם לצרכיהם וגילינו שההאצה, אם ניישם אותה בפועל, עשויה לשנות אותנו במידה לא פחותה, אם כבודדים ואם כחברה. יש בכך מידה מסוימת של צדק פואטי, אם תרצו.

החללית למיליארדרים, כפי שנעשה כבר עכשיו בתחנת החלל.

לתומכים בהאצת מאדים יש הצעה נוספת, שתזיל מאוד את עלות ההתיישבות האנושית על מאדים. התכניות הקיימות של נאס"א לשליחת אסטרונאוטים למאדים מניחות שהמסע לכוכב הלכת האדום יהיה דו-כיווני: נביא את האסטרונאוטים למאדים, ואז נחזיר אותם לכדור הארץ, כמו האסטרונאוטים ששלחנו לירח. יש מי שחושבים שהנחה בסיסית זו של מסע דו-כיווני, שגויה: הכורח לשלח את האסטרונאוטים לדרום עם ציוד מספיק גם לחזרה ארצה הופך את עלות המסע כולו לגבוהה כל כך, עד שהיא מונעת ממנו לצאת לדרך מלכתחילה. על פי כמה הערכות, מסע חד-כיווני יעלה רק עשרה אחוזים מעלותו של מסע הלך ושוב. המתנגדים לרעיון טוענים, כצפוי, שסיכויי ההשרדות על המאדים הם כה נמוכים, עד שמדובר למעשה במשימת התאבדות.

הטענה הזו אינה מרשימה במיוחד את באז אלדרין, אחד משני האסטרונאוטים הראשונים שהגיעו לירח ותומך נלהב של רעיון Mars to Stay, מסע חד-כיווני למאדים. בריאיון שנתן בשנת 2010 הישווה אלדרין את הנוסעים למאדים למתיישבים הראשונים ביבשת אמריקה לאחר גילויה: "אם אתה מתכוון לטוס למאדים, אתה צריך לקבל את ההחלטה שאתה נשאר שם

מנגנוני תיקון הדנ"א בתאים כדי לתקן בזריזות את הנזקים שתגרום הקרינה. שינויים גופניים שכאלה נראים לנו, אולי, מרחיקי לכת אבל סביר להניח שלפחות חלק מבני המאדים יקבלו אותם בשמחה, בתמורה לחיים שטופי שמש על פני השטח, ובנוסף, שינויים שכאלה עדיפים מבחינה כלכלית על הקמת מבנים גדולים ויקרים.

המשפט האחרון מוביל אותנו, באופן טבעי, למה שככל הנראה הוא המכשול הגדול ביותר בדרך להאצת מאדים: כסף. קשה לראות מדינה כלשהי מסכימה לשים את טובת האנושות כולה על פני טובת תושביה שלה, ולממן את פרויקט הארצת מאדים. זאת ועוד, על פי החוק הבינלאומי, אף מדינה אינה יכולה לטעון לריבונות על הקרקע המאדימית.

נקודה זו מעסיקה מאד את חברי ה-Mars Society, וכמה מהם העלו מספר רעיונות יצירתיים למימון הפרויקט. למשל: מכירת שטחי קרקע נרחבים לספקולנטים שיהמרו על עליית ערך הקרקע לאחר סיום תהליך ההאצה. על פי חישובים שונים, שיווק שישה אחוזים וחצי משטח מאדים בעלות של עשרה דולרים בלבד לדונם עשוי להכניס למעלה מעשרים מיליארד דולר. פרויקט ההאצה יהיה יקר בהרבה, כמובן, אבל המימון הראשוני ייתן דחיפה חשובה למאמצים הראשוניים. מימון נוסף ניתן להשיג באמצעות פרסומות, חסויות ומכירת מקומות על

שוב, מבחינה הנדסית זהו אתגר שאפשר בהחלט לעמוד בו: קניון Mall Of America שבמדינת מינסוטה שבארצות הברית, למשל, משתרע על פני למעלה מ-700 אלף מטרים רבועים, ומבודד היטב מסביבתו. הוא יכול לאכלס אלפי בני אדם ללא קושי. למעשה, למרות שמינסוטה היא אחת המדינות הקרות ביותר בארצות הברית, אין צורך להפעיל חימום בחללים הציבוריים של Mall of America: חום גופם של בני האדם והחום שנפלט מהתאורה מספיק והותר לצורך זה.

בני המאדים יבלו את מרבית חייהם בתוך המבנים הגדולים האלה, וייצאו אל פני השטח לעתים נדירות ולתקופות קצרות בלבד, כדי שלא להיחשף לקרינה המסרטנת. כיצד תושפע הפסיכולוגיה שלהם מאורח חיים זה? האם יהפכו לאומה של אגרופובים, המפחדים ממרחבים פתוחים? האם יתפתחו מבנים חברתיים חדשים שיותאמו למציאות החדשה? לא נדע, עד שלא ננסה.

האפשרות השנייה להתמודדות עם הקרינה היא לשנות באופן יזום את הגוף האנושי. איננו יודעים לעשות זאת היום, אבל מדענים רבים משוכנעים שבעוד כמה עשרות שנים ספורות יהיו בידינו הכלים לשנות את גופנו באופן דרסטי אם נבחר בכך. אולי נוכל לשתול חלקיקי מתכת ננומטריים בשכבת האפידרמיס כדי שיהדפו את הקרינה המסוכנת, או אולי לשכלל את





# שמי של סלמנקה

## מרים אוראל

בשנת 1473 הוחלט לחצות לשנים את גובה אולם בית התפילה, של אוניברסיטת סלמנקה, להנמיך בכך את גובה אולם התפילה וליצור מעליו קומה שניה עבור ספריית מחקה.

הצייר פרננדו גייגו, שצייר בעבר עבור האוניברסיטה את הטריפטיכון (יצירת אמנות המורכבת משלושה לוחות) "הבתולה של הוורד", החזמן לכסות את התקרה הקמורה בציורים. מהתקרה, שצייר על פני 400 מ"ר, נותר כיום פחות משליש. משערים, שגייגו צייר תקרה אסטרונומית/אסטרוולוגית המתאימה לתאריך שבין ה־14 וה־29 באוגוסט, 1475. כנראה, תחילת העבודה על הספרייה.

הרשתי לעצמי, שלפתי מצלמה ולמרות החושך המוחלט צילמתי את הקמרון מכל צד, ככל שיכולתי. כשנרגעתי קצת, התפנה בינתיים מקום וישבתי עם שרון, נכדתי הבכורה. זיהינו את קבוצות הכוכבים המצוירות על הקמרון. התפעלנו מהשמש ומרקורי (כוכב חמה) הנוסעים במרכבות. כיוון, שלא ראינו אף שומה, הרשתי לעצמי ללכת סביב מתחת לקמרון הגבוה ואף להצטלם לידו. כאשר יצאנו, לאחר זמן די ניכר, ראינו את האחראית מדברת עם חברה בחוץ. מזל היה לנו, החתול היה עסוק והעכברים חגגו.

אין פלא, שלא רבים שמעו על הקמרון המצויה לאור התלאות שעבר, זהו נס, שיש בכלל מה לראות.

נכנסנו לחדר המוזיאון בו נמצאת היצירה. החדר חשוך לחלוטין, ממש "וַיִּמַשׁ, חֹשֶׁךְ" (שמות י', כ"א). הרצפה מוגבהת בצורה אלכסונית. רגלינו גיששו במעלה הדרך לאט, לאט ופתאום... הנשימה נעתקה - שמי שלמנקה מוארים לפנינו בחדר החשוך. עצרתי במקומי סופגת את המראה המרהיב ולא יכולתי לזוז. עמדתי ועיני דבוקות בקמרון המצויה, בולעות את קבוצות הכוכבים, השמש וכוכב הלכת חמה ולא שבעתי מהמראה. בהדרגה, התרגלו עיני לחשכה וראיתי אנשים יושבים על מעט המושבים, שהיו במעלה הדרך. בכניסה היה שלט שאסר לצלם, אבל ראיתי, שהיושבים מצלמים בכל זאת. לכן,

לא כולם שמעו על "שמי שלמנקה" (El Cielo de Salamanca), קמרון מצויר של חלק מכיפת השמיים. אני בטוחה, שרבים אינם יודעים כלל על קיומו. רק לקראת נסיעה משפחתית לספרד קראתי לראשונה על הקמרון המצויה, המיוחס לצייר הספרדי בן סלמנקה - פרננדו גייגו (-1440 Fernando Gallego 1507). הקמרון נמצא באוניברסיטה העתיקה של סלמנקה, אשר נוסדה בשנת 1218 והייתה אחת העתיקות והטובות באירופה. האוניברסיטה שימשה כמודל לאוניברסיטאות בארצות דוברות ספרדית בדרום אמריקה.



ההנחה היא שגייגו צייר את התקרה בין השנים 1483 עד 1486. בציור אנו רואים את הידע העדכני והמסורת באסטרונומיה ואסטרוולוגיה של התקופה בה צויה. בציורים לא נשמר קנה מידה אחיד לקבוצות הכוכבים השונות. מאחר והתקרה צוירה עוד לפני שקבעו סופית את קבוצות כוכבי השמים, אפשר למצוא בה קבוצת כוכבים של עץ אלון ענק נושא פירות המצויר אחרי ההידרה.

אדמונד האלי אימץ את קבוצת האלון וקרא אותה בשנת 1679 האלון של צ'רלס (Robur Carolinum) על שם המלך צ'רלס השני. השם מרמז על עץ האלון, שבו, כך נאמה, הסתתר צ'רלס השני מאימת קרומוול לאחר קרב רצ'סטה. קבוצה זו לא קיימת היום.

תודות לארבעה תיאורים מתועדים, שניים מהמאה ה-15 ושניים מהמאה ה-16, שתיעדו את תקרת הספרייה אנו יכולים לדעת מה צויר ולדמיין את העושר שאבד.

ראשון המתעדים הוא לוצ'יו מרינו (Lucio Marineo), הומניסט איטלקי מסיציליה, פרופסור לרטוריקה (אמנות הנאום) ושירה, לימד באוניברסיטת סלמנקה בין השנים 1484 ו-1496 והיה עד לביצוע העבודה. הוא כתב בספרו "בשבחי ספרד" את אשר ראו עיניו: "השמים זרועי כוכבים, כוכבי לכת, קמרון שמימי עם כל קבוצות הכוכבים של גלגל המזלות".

תיאור נוסף הוא של נוסע גרמני בשם מינצר (Münzer), אשר ראה את הציורים ב-4 בינואר, 1495. הוא מספר, כי נוסף על הקבוצות של גלגל המזלות ישנם גם שבעה כוכבי לכת המתוארים כאלים. כיום נותרו רק שניים מהם: הליוס אל השמש, שנחשב אז ככוכב לכת הסובב את כדור הארץ ומרקורי, שליח האלים. בתיאורים שנעשו במאה השש עשרה, מספר פדרו דה מדינה (Pedro de Medina) על הציור בספרו Libro de Grandezas y cosas memorables de España, "ספר פאר הדברים הבלתי נשכחים של ספרד", או בתרגום חופשי: "הגדולות והנצורות של ספרד". כאשר כתב דה מדינה את ספרו, היה זה לאחר שרצפת הספרייה הוסרה והתקרה המצוירת הפכה לתקרת הכנסיה. בספר, שהיה מדריך טיולים לספרד ולפורטוגל ויצא לאור

בשנת 1549, כתב דה מדינה: "קמרון הכנסייה עשיר מאוד: בחלקו העליון מצוירת בשמים כל האסטרוולוגיה".

את הספר ערך והרכיב דייגו פרז דה מסה (Diego Perez de Mesa), אשר שימש פרופסור למתמטיקה ואסטרוולוגיה בשנים 1591-1600 באוניברסיטת סלמנקה. מתוך נסיונו האישי, הרכיב את התיאור של דה מדינה וכתב: "בחלקו העליון של הקמרון הצבוע בכחול יפה מאוד, צבועים ומגולפים בזהב ארבעים ושמונה דמויות של הספירה השמינית, רוחות השמים וכמעט כל מה שדרוש לאסטרוולוגיה".

**הערה:** "הרקיע השמיני", או "הספירה השמינית", היה מקומם של כוכבי השבת וכל גלגל המזלות, לפי השיטה של תלמי, שהיתה נהוגה בימיהם של פדרו דה מדינה ודייגו פרז דה מסה.

תודות לתיאורים אלו אנו יכולים להסיק, שהקמרון היה, למעשה, מפה אסטרוולוגית, לפי שיטתו של תלמי שטענה כי כדור הארץ נמצא במרכז היקום (הגישה הגיאוצנטרית) ושבעת כוכבי הלכת הנראים לעין, ביניהם השמש, סובבים סביבו. התקרה המצוירת הכילה את שבעה כוכבי הלכת, את קבוצות הכוכבים הקבועים, הנראים בשמי המקום, את שנים-עשר הקבוצות של גלגל המזלות וגם את רוחות השמים.

באוניברסיטה, שהיתה נוצרית קתולית באופיה, היתה קתדרה ללימודי אסטרונומיה ועודדו את התלמידים לצפות בתקרה המצוירת, כי "התבוננות מדעית בשמים על כל פלאיהם, מהווה אמצעי יעיל להתקרב אל הבורא". בזמן הזה, לא העסיקה אותם ההבחנה המדויקת בין אסטרונומיה ואסטרוולוגיה; עד מות קופרניקוס בשנת 1543 זה היה אותו דבר. לאחר מכן, המשיכו ללמד באוניברסיטאות זה בצד זה את השיטה הגיאוצנטרית ואת השיטה ההליוצנטרית, שבה השמש היא מרכז העולם.

טובי המוחות בעולם, שעסקו במתמטיקה ובאסטרונומיה, עסקו באותה רצינות גם באסטרוולוגיה. ניוטון, שכתביו הסודיים המוכיחים כי עסק באסטרוולוגיה התגלו באוניברסיטה העברית בירושלים, לאחר שנתקבלו כתרומה בשנות השלושים. קפלה, שהיה מדען עני, נעזר באסטרוולוגיה,

נוסף על עבודתו אצל טיכו ברהה, כדי לפרנס את משפחתו והיה כותב מפות אסטרוולוגיות לאנשים.

ב-1503 החליטה האוניברסיטה לשפץ את חדר התפילה ולהזמין תמונת מזבח גבוהה. לשם כך, היה צורך לפרק את התקרה, שהיתה רצפת הספרייה וב-1506 הפכה התקרה המצוירת של גייגו לתקרת בית התפילה. אולם, הציורים היו פאגניים ובוטים מדי לטעם חברי הסנט של האוניברסיטה ולדעתם לא התאימו לתקרת בית התפילה. לכן, הוחלט לכסותם.

חודשיים לאחר סילוק רצפת הספרייה החלה הידרדרות במצב הציורים. התקרה סבלה מלחות רבה ולכלוך. נעשה נסיון לשפץ את התקרה ולשחזר את הציורים. הוזמן צייר לבצע את העבודה, אך הוא עשה את מלאכתו בלי הקפדה יתרה ומרח שכבת שמן על התקרה, בלי להבין, שהתקרה הלחה לא מקבלת חומר שומני. הדבר גרם נזק גדול לתמונות שנמרחו בשמן. דמויות שתוקנו ושוחזרו נדבקו יחד, כוכבים רבים גדלו ודחקו את הכוכבים האחרים. "השיפוץ" השפיע לרעה על הציור המקורי.

הלחות, שפשטה בתקרה דרדרה את מצב התקרה והוסיפה לפגוע קשות בציורים. בסופו של דבר, בשנת 1664 שקעו שני שליש מהתקרה והתמוטטו. המקום היחיד שלא התמוטט היה הקמרון שמעל למזבח התפילה. כמאה שנה לאחר מכן, בשנת 1761 נשכר האדריכל סיימון גאבילאן (Simón Gavilán) לשפץ את המבנה. סיימון גאבילאן רחש כבוד לציורים שנתרו, כיסה את השליש הנותר ובנה קמרון חדש שמאחוריו היה מוסתר הקמרון המצויר. כאשר הסתיימה המלאכה בשנת 1767, כל מה שנותר מעבודתו של פרננדו גייגו נעלם מהעין, נשכח מהלב ואבד.

כאשר הוחלט על שיפוץ כללי בבנייני האוניברסיטה, כהכנה לקראת החגיגות במלאת שבע מאות שנה לקיומה, התגלה הקמרון המצויר מחדש. הציורים היו מלוכלכים מאוד והיה קשה לראות מה מצוייה, אולם תודות למנואל גומז-מורנו (Manuel Gómez-Moreno), שהיה ארכיאולוג והיסטוריון גם של האמנות ניצל הקמרון של גייגו, כי גומז-מורנו התנגד להשמדת יצירות לטובת הקידמה. למרות מצבו העלוב של הקמרון דרש

אנטוניו גרציה בויזה (Antonio García Boiza), שכתב ספר על אוצרות סלמנקה, להציל את הקמרון. רקטור האוניברסיטה אנטוניו טובאר (Antonio Tovar Llorente) קידם את הפרוייקט וב-1950 הזמין את שני האחים רמון וחוזה גודיול ריכרד (Ramon and Jose Gudiol Ricart), אמנים מברצלונה, לעבוד על הקמרון. אך לא היה טעם להשאיר את היצירה במקומה המקורי, בגלל הלחות הרבה וקשיי הגישה למקום. לו היתה נשאת במקומה, אי אפשר היה לטפל ביצירה כפי שצריך. לכן, הוזמן האדריכל לארדט (Eduardo Lozano Lardet) להכין מקום אליו יעבירו את מה שנותר מ"שמי סלמנקה". אחד החדרים בחלק הדרומי של חצר האוניברסיטה נבחר להיות המזיאון אליו תעבור היצירה. האדריכל בנה קמרון בחדר וציפה אותו ואת רצפת החדר בעץ.

בינתיים, פרקו האחים את הפרסקו (תמשיח) ל-11 מקטעים, אותם קילפו מהקיר. מצב הציורים היה מזעזע. הם היו מזוהמים בעפר והלחות נתנה בהם את אותותיה. במשך למעלה משנתיים עבדו האחים על הפרסקו: ניקו את החלקים, מיקמו אותם והדביקו אותם על יריעות בד. הם נעזרו בעבודתם בסינופיות (sinopias) מקוריות, שהכין גייגו (סינופיה - סקיצה, רישום הדמות בקווים כלליים). הצייר נעזר במתווה הזה בציור פרסקו, כאשר הוא מניח אותו על הטיח הרך, מסמן באמצעותו את הקווים של הדמות ואז מסיר את הנייר ומציר לפי הקווים. את הבד עם הציור הנקי והמשוחזר הדביקו על קמרון העץ, שהכין האדריכל. על קשת העץ של הקמרון העוטף את "שמי סלמנקה" כתוב פסוק בלטינית הלוקח מתהילים פרק ח' פסוק 7 "כִּי אֶרְאֶה שָׁמַיךָ מַעֲשֵׂי אֲצַבְעֹתֶיךָ, יָרַח וְכּוֹכָבִים אֲשֶׁר כּוֹנְנֹתֶה".



בשנת 2002 נבחרו סלמנקה והעיר ברוז' (Brugge) בבליה כערים היפות ביותר באירופה וגם כבירות התרבות האירופית. הלוגו שבחרה העיר סלמנקה לכבוד הכתרתה בתארים אלו הוא בהשראת "שמי סלמנקה".



## ההשראה לשמי סלמנקה

פיניגוארה (Finiguerra Tommaso - 1426-1464), אשר הושפע בעיקר מציוריו של בוטיצ'לי.

פיניגוארה חרט סידרה הנקראת "כוכבי הלכת של פיניגוארה" ("Planets Finiguerra") ויתכן שגם סידרה זו נתנה את השראתה לגייגו בציירו את כוכבי הלכת. במיוחד, את צורת לבושם.

את השראה לקבוצות הכוכבים ולסידורם על פני השמים קיבל, כנראה, מהספר "החיבור הגדול" שכתב הרב אברהם זכות ובו תיאר את מערכת השמש. הרב אברהם זכות (1452-1515), בן זמנו של לאונרדו דה וינצ'י (1452-1519), למד אסטרונומיה באוניברסיטת סלמנקה ואף לימד בה באותו הזמן שבו צייר גייגו את התקרה. הוא אף כתב "מסה קצרה על ההשפעה של השמים", שבה הוא מדבר בשבח התקרה המצוירת, שתודות לה יהיו יותר אסטרונומים מבין הסטודנטים הלומדים באוניברסיטה.

פרננדו גייגו, יליד סלמנקה, היה צייר ספרדי שהושפע מאוד מהציור הפלמי והדבר ניכר בציוריו. הדמויות שצייר על תקרת הספרייה לבושות בסגנון גותי ומורגשת השפעה פלורנטינית של המחצית השנייה של המאה ה-15.

את השראתו בציור כוכבי הלכת וקבוצות הכוכבים קיבל ממספר מקורות. הבולט מביניהם הוא הספר "אסטרונומיה פואטית" ("Poetical Astronomy") הספר מיוחס לגאיוס יוליוס היגיניוס (Gaius Julius Hyginus - c. 64 BC-AD 17) סופר יליד ספרד, או אלכסנדריה. הספר מכיל סיפורי מיתולוגיה על קבוצות כוכבים שונות וכמו-כן איורים המייצגים את כוכבי הלכת, שניתן לראותם בעין, כולל השמש וקבוצות כוכבים.

מקור השראה נוסף, היה מיוחס לסידרה שחרט הצורף, השרטט והחרט הפלורנטיני - מאס (טומאסו)

## קמרון שמי סלמנקה כיום

### כוכבי הלכת

הליוס הטיטאן הרוכב במרכבה הרתומה לסוסים מכונפים ולראשו כתר זוהר של השמש ומרקורי - כוכב חמה.

### שמש

השמש נחשב לכוכב החשוב ביותר באסטרונומיה. יש לו השפעה רבה על ההורוסקופ ולפי מיקום השמש בעת הלידה משייכים לאדם את מזלו.

כוכבי הלכת צוירו, כאשר הם יושבים במרכבות רתומות לבעלי חיים השייכים להם. על גלגלי המרכבה שלהם מצוירים המזלות עליהם הם שולטים, לפי האסטרונומיה. מבין כוכבי הלכת המזוהים עם אלי האולימפוס, נותרו, לצערנו, רק שניים: השמש המיוצגת במיתולוגיה על-ידי אפולו, אחד מתריסר האלים האולימפיים, או



מרקורי בקמרון שמי סלמנקה

מרקורי בספר פואטיקה אסטרונומית

### מרקורי - כוכב חמה

מרקורי, כוכב הלכת הקרוב ביותר לשמש, נמצא לימינה במפה האסטרונומית/ אסטרונומית המצוירת. כלומר, הוא בתקופה בה הוא כוכב בוקר המקדים לזרוח לפני השמש, בזמן שאליו מתייחסת המפה. הוא יושב רכוב על עגלה רתומה לשני נשרים. לבוש בבגדים גותיים בצבעים בוהקים וכוכב גדול מקשט את חזהו. בידו הימנית הוא מחזיק את השרביט המיוחד לו עליו כרוכים שני נחשים ואילו ידו השנייה מונחת על ברכו. ארשת פניו השלווה מעידה כי שליח האלים נוסע, כנראה, בשליחות פיוס ושלום. על גלגלי עגלתו מופיעים שני המזלות עליהם הוא מושל: בתולה ותאומים.

קשה לצפות במרקורי, הקטן מבין כוכבי הלכת, בשל קרבתו הרבה לשמש. מרחקו מהשמש נע בין 18.5° ל-28.3°. ניתן לראותו לזמן קצר בבוקר בטרם השמש מאירה ומעלימה אותו מן העין, או בערב לאחר שקיעת החמה. הקדמונים שמו לב לכך, שכוכב הלכת מופיע בבוקר, או בערב ותחילה חשבו שאלו שני כוכבי לכת שונים. אחר-כך, כאשר הבינו שמדובר באותו כוכב לכת, הם כינו אותו טריקסטר - חמקן, להטוטן. היוונים כינו אותו פרומתאוס, או אפולו כאשר הופיע בבוקר ואפימתאוס, או הרמס כאשר הופיע בערב לאחר שקיעת החמה.

השמש מוצג כצעיר החובש קסדה עטורת קרני שמש ולבוש בתלבושת גותית, כמו שאר הדמויות בכיפת השמים. את מרכבתו מושכים שלושה סוסים לבנים וסוס אחד שחור. אובידיוס כתב בספרו "מטמורפוזות" את שמותיהם של הסוסים. שם מעיד על ארבעת השלבים של משך היום: הראשון בפי היוונים: איאוס (Eous) - שחר, על שם אלת השחר היוונית אחותו של הליוס. (בפי הרומאים היא נקראת - אורורה); השני: איטון (Aethon) - צהרים; השלישי: פיירוים (Pyrois) - יום והרביעי: פילוגיאוס (Filogeus) - שקיעה.

מכאן אפשר להבין מדוע שלושה סוסים הם בצבע לבן ואילו הסוס המייצג את השקיעה הוא בצבע שחור. עובדה זו מעידה על הידע הרב של גייגו, שהתייחס בציורו לאשר כתוב בספרו של אובידיוס. כי, בספר ששימש לו השראה (פואטיקה אסטרונומית) יש רק שלושה סוסים לבנים במרכבת השמש ולא רואים את הסוס השחור.

השמש יושב במרכבה, נושא שרביט בידו הימנית ואילו בידו השמאלית הוא מחזיק את המושכות. גייגו קבע את מיקומו של השמש ליד ביתו האסטרונומי עליו הוא שולט - אריה. ניתן לראות את מזל אריה, במלוא תפארתו, גם על גלגל המרכבה של השמש.



השמש בקמרון שמי סלמנקה

בספר פואטיקה אסטרונומית



## שאר כוכבי הלכת

מאחר ואנו יודעים מנין שאב גייגו את השראתו, הרי שנוכל להציץ לפחות, אל אותם כוכבי לכת שהושמדו. אולם לבושם, אינו כפי שמופיע בתחריט, כי גייגו הליביש אותם בלבוש גותי לפי הסגנון, שסיגל לעצמו בהתאם להשפעות שספג. כאמור לעיל, כוכבי הלכת יושבים במרכבות הרתומות לבעלי חיים, שיש להם קשר אליהם ועל גלגלי המרכבה מופיעים המזלות עליהם הם שולטים.

### נוגה - ונוס

נוגה שולטת על מזלות שור ומאזניים. איתה במרכבה נוסע קופידון עם קשתו ובידה של ונוס יש חץ עבירו. עיניו של קופידון מכוסות, כי "האהבה היא עיוורת". המרכבה רתומה לצמד יונים, שהם והברבורים אלו העופות המקודשים לאלה. הצוואר הקצר ואצבעות הרגלים ללא קרום שחיה, מוכיחים כי יונים גוררים את המרכבה.

### ירח - לונה

לפי האסטרונומיה התלמאית, היה מקום של כבוד גם לירח שלנו שנחשב לאחד משבעת גרמי השמים, שניתן לראותם בעין: כוכב חמה, נוגה, הירח, השמש, מאדים, צדק ושבתאי.

הירח, לונה בלטינית, מזוהה עם סלנה (Selene) אלת הירח הטיטאנית. כמו-כן, עם ארטמיס היוונית ודיאנה הרומית, אלת הצייד, אחותו התאומה של אפולו, אשר מזוהה עם השמש.

התחריט מתאים למיתולוגיה של סלנה הטיטאנית. אנו רואים את סלנה יושבת, במרכבה, על גבה של המפלצת טיפון (Typhon), שהיתה סוג של דרקון אש. טיפון נלחם באלים ונוצח בידי זאוס/יופיטר. אחד הצאצאים של טיפון היה האריה הנמאי, אך יש האומרים, שהוא בנם של סלנה וזאוס. בכל אופן, סלנה העריצה את האריה הנמאי ושמרה עליו מכל רע על הירח. עד שיום אחד נמאס לו, הוא רצה להרחיב את אופקיו ועזב את הירח. סופו, שהרקולס פשט את עורו במשימה הראשונה שלו. על גלגל המרכבה מצויר סרטן, שהוא המזל הנשלט על ידי הירח.

סלנה נושאת קרניים לראשה, לעיתים אלו קרני פה. היא מחזיקה בחץ וקשת, דבר המרמז על דיאנה



נוגה - ונוס



ירח - לונה

אלת הצייד. שתי הנשים הגוררות את המרכבה הן נשותיהם של התאומים פולוקס וקסטור, שהועלו לדרגת אלוהות והפכו לקבוצת כוכבים בשמים - תאומים. שתי האחיות הנסיכות, פיבי (Phoibe) - זוהר הירח (Lunar Bright), היתה אשתו של פולוקס; והילריה (Hilaeira) - בוהק רך (Softly Shining), היתה אשתו של קסטור. השתיים היו בנותיהם של ליוקיפוס (Leukippos) ומסניה (Messenia). השמות הירח ופיבי הם גם כינויים לסלנה אלת הירח. השתיים הועלו אף הן לדרגת אלוהות ונקראו עלמות הסוס הלבן. הן נושאות את מרכבתה של סלנה בדרכה בשמים.

### מאדים - מרס

מרס, אל המלחמה, חבוש בקסדה ומחזיק חרב בידו. על גלגלי מרכבתו מצוירים טלה ועקרב, המזלות בהם הוא שולט.

### צדק - יופיטר

יופיטר יושב במרכבתו ולפניו כורע על ברך - גנימד, יפה התואר, בנו של מלך טרויה, אשר יופיטר חטף והפך אותו לאל הנעורים.

גנימד, מגיש ליופיטר צלוחית ובה אמברוסיה, מזון האלים. המרכבה רתומה לשני נשרים, למעשה, אלו עיטים, העוף המקודש ליופיטר, שבטעות תורגם בעברית לנשר וכך הונצחה הטעות.

על גלגלי המרכבה מצוירים קשת ודגים, שהם המזלות בהם שולט יופיטר.

### שבתאי - סטורן

כרונוס הטיטאן, בנו של אורנוס, סרס את אביו בעזרת מגל, שנתנה לו אמו גאיה, ותפס את השלטון על הטיטאנים. זאוס, בנו, הוריד אותו מגדולתו, ניצח את הטיטאנים והפך לשליט. כרונוס, התגלמות הזמן, נמלט לאיטליה ואוחד שם עם סטורן, שהיה אל החקלאות הרומי. הוא נראה יושב במרכבתו העגולה ונושא ביד את החרמש. כלי הקשור מצד אחד לחקלאות אך גם לזמן.

בחקלאות קוצרים איתו את התבואה ובזמן - קוצרים את נשמות בני האדם. החרמש המשמש לקציר מזכיר את המגל המשמש לכך גם כן ובעזרתו הפך כרונוס לשליט. את מרכבתו העגולה, כמו דיסק העולם, מסיעים שני דרקונים, שאחד מהם מחזיק את זנבו בפיו.

הזמן הוא לינארי, מתמשך בקו ישר, אולם העגול, כמו המרכבה, הוא אינ-סופי. הדרקון המחזיק את זנבו בפיו הוא סמל האינ-סופי המתבטאת בצורת ה-8 הנראית בפיתולי הזנב הנצמד לגוף. אם נכתוב את 8 במאוזן - נקבל את סמל האינ-סופי ∞. פרט לסמלי הזמן, מצוירים גדי ודלי - נושא המים על גלגלי המרכבה, אלו המזלות אשר סטורן שולט עליהם.



מאדים - מאדים



צדק - יופיטר



שבתאי - סאטורן



## גלגל המזלות

מתריסר מזלות הזודיאק נותרו רק חמישה. המזלות מתאימים למחצית השניה של השנה החל מ-22 ביולי עד ה-21 בדצמבר. הם מתחילים ממרכז הקמרון למעלה ויורדים באלכסון ימינה ותוך כדי כך - תוחמים את קבוצות הכוכבים הצפוניות מהקבוצות הדרומיות.

לראות באולם, שהוא יצירת מופת של מייקלאנג'לו (The Sagrestia Nuova - כלי הקודש החדש) בבזיליקה של סן לורנצו (Basilica of San Lorenzo), שם קבורים אחדים מבני משפחת מדיצ'י (Medicee). המפה (שלא צוירה בידי מייקלאנג'לו) מרמזת על תאריך כניסתו של רנה ד'אנז'ו (Rene d'Anjou), מלך נפולי, לפירנצה כדי לשכנע את קוזימו דה מדיצ'י (Cosimo de' Medici) לפתוח את הספרייה הציבורית הראשונה באירופה וללמד יוונית באוניברסיטה, כדי שהציבור יוכל להכיר את תפיסת העולם היוונית.



אריה - 23 ביולי - 22 באוגוסט

המזל הראשון בקמרון הוא אריה. הוא עומד בצורה מתגרה ושחצנית, כשפיו פעור ורעמתו מתנפנפת. 15 כוכבים פזורים על גופו, רובם בחלקו הקדמי - ראש וכפות, אחד ברגל אחורית ואחד בכפתור הזנב. רואים יפה את צורת המגל בראש ובצוואר של האריה. יש הבדלים בגודל הכוכבים ורגולוס זכה לכוכב הגדול ביותר.

מיקומו של האריה במרכז הקמרון מעל לשמש העולה. מכאן ברור לנו שהמפה מתייחסת למאורע, שארע בימים האלו של מזל אריה, כנראה בין ה-14 וה-29 באוגוסט, 1475. ההשערה היא שהמפה מרמזת על תאריך תחילת העבודה על הספרייה, או אולי על ביקור מלכותי שנערך בזמן זה.

ציורי מפות לכבוד מאורע זה או אחר היו דבר מקובל ויש לנו דוגמה יפה בפירנצה. בקפלת פאצי (Pazzi Chapel) הצמודה לבזיליקת סנטה קרוצ'ה (Basilica di Santa Croce di Firenze) נמצאת מפת שמים פגומה, אמנם, המתאימה לתאריך ה-4 ביולי שנת 1442. אותה מפה, במצב מעולה, ניתן



בתולה - 23 באוגוסט - 22 בספטמבר

הבתולה נחשבת כציור היפה ביותר מבין קבוצות הכוכבים ודוגמה הולמת לציור הספרדי במאה ה-15. אנו רואים דמות מכונפת לבושה בגלימה מעוצבת עם קפלים הנאספים בחגורה הקשורה למותניה. הבתולה פורשת ידיה לצדדים וביד ימין היא מחזיקה בשושן. היא נראית כתערובת של מלאך גותי ואשת הרנסנס.

שושן, בנצרות, מתחבר עם בשורת המלאך גבריאל למרים הבתולה על התעברותה ולידת בן האלוהים. השושן הצחור, שמחזיק בדרך כלל המלאך המבשר בידו, מסמל את בתוליה. גם מרים אם ישו מופיעה בציורים רבים, כשהיא מחזיקה שושן צחור בידה - רמז לבתוליה.

מאחר וזה מזל בתולה, מה מתאים יותר מאשר לתת בידה, במקום צרור שבליים, את השושן המסמל זאת? גייגו, קתולי מאמין, חיבר את הסמל הדתי עם המזל וצייר דמות, שהיא ספק המלאך המבשר וספק מרים הבתולה.

25 הכוכבים של מזל בתולה מסודרים בקבוצה בצורה חופשית, לאו דווקא במיקומם הנכון. את הכוכב הגדול ביותר בבתולה, שצריך לסמל את ספיקה (שיבולת), קבע הצייר ואולי המשחזרים על כתפה הימנית של הבתולה. על הכנף השמאלית כתוב שם הקבוצה בלטינית.



מאזניים - 23 בספטמבר - 23 באוקטובר

מתחת לרגלי הבתולה מבחינים במזל מאזניים המונח במהופך, סמל של איזון, הגינות ושיוויון. כאשר נמצאת השמש בתחילת מזל זה, חל יום השיוויון הסתוי, בו שווים שעות היום והלילה. באחת מכפות מאזניים רשום שם המזל בלטינית.



עקרב - 24 באוקטובר - 21 בנובמבר

אחרי המאזניים עוקב המזל השמיני - עקרב. הוא מצויר עם הצבתות משני צידי ראשו ועם זנבו המתפתל, שעוקץ בקצהו. ראשו חנו מעוטרים בכוכבים.



קשת - 22 בנובמבר - 21 בדצמבר

מזל קשת הוא המזל האחרון בסדרת המזלות בקמרון. הקשת הוא קנטאור: חצי אדם וחצי סוס. הוא מצויר באלכסון כשהוא מחזיק חץ וקשת, אולי, כדי לירות חץ בהידרה.

מאחורי ראשו של הקשת מתבדה, כנראה, עור אריה. כי כך מצויר הקשת בספרו של היגנס.

לרגלי הקשת נמצאת קבוצת הכוכבים "כתר דרומי".







## קבוצות הכוכבים

קבוצות הכוכבים של חצי הכדור הצפוני, כמו אלו של חצי הכדור הדרומי הם אוסף של כוכבים הנראים סמוכים זה לזה. בעזרת הדמיון, ראו בהם היוונים צורות שונות הקשורות בעיקר למיתולוגיה שלהם. השמות שקיבלו קבוצות אלו נשארו מאז ועד היום. לא כל קבוצות הכוכבים, שצריכות היו להימצא באותו חלק שנות, באות לידי ביטוי. האמן הרשה לעצמו חופש מוחלט בבחירת הקבוצות אותן יצייר והיכן למקם אותן על פני כפת השמים. גם פיזור הכוכבים בקבוצות ובשמים בכלל, הוא יותר אמנותי ממדעי.



נושא הנחש

לאוקון ובניו

### Ophiuchus – נושא הנחש

ההידרה, קבוצת הכוכבים הגדולה ביותר בשמים, זרועה בכוכבים בעיקר בחלקה התחתון. בין פיתולי זנבה נמצאים קבוצות העורב (corvus) והגביע (Crater) הנראה כאן ככד גדול עם שתי ידידות.

ההידרה מונחת, מאמצע גופה, על ענפי עץ אלון הנמצא בינה לבין מסגרת הקמרון מצד ימין.



נושא הנחש מצויר כגבר עירום, השוכב כמעט במאוזן, בתחתית הקמרון בין הרקולס לקשת. סביב מותניו כרוך נחש הנראה כמאיים לחונקו, אולם, אין זה הגבר משיר מבט אל הנחש, מחזיק ותומך בו בשתי ידיו משני צידי גופו, במקום לנסות ולסלק את ראש הנחש הרחק ממנו. המצב רחוק מאד מהמתואר בפסל "לאוקון ובניו". שם, נלחמים האב ושני בניו על חייהם בנחשים, שנשלחו להמיתם. כאן, נראה, שיש יותר הבנה בין השניים, כמעט דו-שיח. מייחסים את הגבר לרופא המהולל אסקלפיוס (Asclepius), בנו של אפולו, שלמד את סוד החיים מהנחשים ויכול היה להחזיר אדם מת חזרה לחיים, כמו במקרה של אוריון. אם-כך, הנחש והרופא לא שנוא זה את זה. אמנם אסקלפיוס הומת על ידי זאוס/יופיטר כי הרחיק לכת במעשיו. אולם, כאות תודה על היותו אדם ראוי וטוב הועלה לדרגת אל הרפואה והונצח כקבוצת כוכבים בשמים, יחד עם הנחש המשמש כסמל הרפואה עד היום. למעשה, השמש עוברת בקבוצת כוכבים זו ושוהה בה שלושה שבועות, לעומת שבוע אחד במזל עקרב. הדבר הופך את קבוצת נושא הנחש למזל ה-13 בגלגל המזלות. במזרח, התקבלה הקבוצה כמזל, אולם במערב הסולד מהמספר 13 לא הסכימו לקבלה כמזל נוסף.

### הידרה – עורב וגביע

ההידרה הענקית, שאורכה למעלה מ-7 מ', מתפתלת במאונך בצד הימני של הקמרון ומשמשת כחוצץ בין קבוצות הכוכבים הצפוניים לדרומיים.

### Boötes - רועה הדובים



שתצמח, יקצור אחר כך במגל. לחילופין, קבוצות הדובה הגדולה והדוב הקטן היו שוורים, שהיו קשורים לכוכב הצפון. תפקידו של רועה הדובים היה לשמור, שהשוורים ינועו במסלולם סביב כוכב הצפון ותנועה זו סובבה את השמים על צירם.

### הרקולס



הרקולס אינו עומד בצורה סטטית, אלא מצויר כגבר עירום הרץ ומסתער על אויב. תנועת הריצה יוצרת ברגל כיפוף קל המספיק לתיאור הקבוצה כ"איש הכורע". בידו הימנית, המונפת מעל לראשו, הוא מחזיק באלה ועל זרועו השמאלית מקופל עור האריה הנמאי המשמש לו כמגן.

לשווא תחפשו את ענף תפוחי ההספרידות, או את צרור ראשי ההידרה, שהוא מחזיק בידו – הם אינם.

לקבוצות הכוכבים של הכתר הצפוני הנמצא מאחורי גבו ולפחות לקבוצת הנבל, מתוך משולש הקיץ הגדול, הנמצאת לפני רגלו, אין שום זכר.

מצד שמאל של הקמרון, מתחת למרכבתו של מרקורי, עומדת דמות ענקית במהופך - רועה הדובים. הוא חובש מגבעת לראשו, ומחזיק מגל בידו השמאלית המורמת. בידו הימנית הוא מחזיק חנית. ממותניו ומטה הצבע פגום ולכן הוא נראה יחף. יתכן, שכך צויר מלכתחילה, אך יתכן, שצויר עם נעלים, שכיום אין להן זכר. אין הקפדה על מיקום הכוכבים ולשווא תחפשו שם את צורת העפיפון. מעל לברך השמאלית יש כתם גדול. קרוב לוודאי, שהיה צבוע ככוכב גדול - ארקטורוס, אך היום זהו כתם. מי שאינו מכיר את קבוצות הכוכבים, לא יחשוב כלל, שכתם זה הוא הכוכב הגדול ביותר של הקבוצה, וגם הכוכב הרביעי בבהירותו בשמים.

המגל ביד רועה הדובים בא לרמז על כך, שבשעתו ראו בקבוצת הדובה הגדולה מחרשה. רועה הדובים חרש בה את האדמה וזרז את השוורים בעזרת המקל המחודד - החנית, שבידו. את התבואה



פרומתאוס מהנשר, שבא יום-יום לאכול את כבדו. אמנם הרקולס שיחרר אותו מהנשר, אך לא יכול היה לשחרר אותו מכבליו. פרומתאוס ישוחרר רק אם בן אלמוות יהיה מוכן למות עבורו. כאשר נודע הדבר לכירון, הוא הסכים למות תמורת שחרורו של פרומתאוס. כך יינצלו שניהם מיסוריהם. על מעשה זה קבע אותו זאוס כקבוצת כוכבים בשמים.

קנטאור ידיד ולמרות אזהרותיו, פתח חבית יין השייכת לקנטאורים. כאשר ראו זאת, התנפלו עליו בחמת זעם ובעת שניסה להגן על עצמו ירה בהם חץ המורעל בדמה של ההידרה. החץ פגע, בטעות, ברגלו של כירון וגרם לו יסורי תופת. כיוון, שהיה בן אלמוות לא יכול היה למות ולהיגאל מיסוריו. אולם, נפתחה לפניו הזדמנות בעת שהרקולס שחרר את

זאוס ואחיו להילחם עד חורמה בקרונוס אביהם ובטיטאנים.

הימאים היוונים ראו בקבוצה זו סימן לסערות בים. אם הקבוצה היתה גלויה לעין ואילו כוכבים אחרים היו מכוסים בעננים – ציפו יורדי הים לסערות דרומיות. גייגו צייר מזבח בעיצוב גותי, העומד על בסיס ומקושט בקשתות עיוורות בעלות 3 אונות דמויות תלתן בראשן. (קשת עיוורת היא קשת המונחת על קיר מוצק ואינה נמצאת מעל לחלון, או פתח).



עץ אלון - Robur

עץ אלון ענק ודק הנושא עלים ופירות גדולים, משתרע בין ההידרה למסגרת הקמרון. קבוצה זו לא קיימת היום.



קנטאור

קבוצת הכוכבים האחרונה היא קנטאור, יצור מיתולוגי המוכר לנו כשילוב פלג גוף עליון של אדם עם פלג גוף תחתון של סוס. כמו, שרואים בקבוצת קשת. גייגו, שהיה ספרדי, צייר את קבוצת הקנטאור עם גוף מוצק של שור, כמובן, במקום של סוס.



מזבח - Ara

למרות היותה קבוצה דרומית, נכללת קבוצת "מזבח" בין 48 הקבוצות הנמצאות בספרו של תלמי: זו קבוצה קטנה שזכתה לייצוג נכבד ויפהפה על הקמרון. מקומה בקמרון הוא מתחת להידרה ולפני קבוצת הקשת. שלרגליו נמצאת עוד קבוצה דרומית – כתר דרומי.

בשמינו, תופסת הקבוצה כרבע מגודלה של קבוצת קשת. אולם, בקמרון של "שמי סלמנקה" שוות כמעט שתי הקבוצות בגודלן. הקבוצה שוכנת בחלקה על שביל החלב והקדמונים ראו בכך את העשן של אש המזבח.

המזבח היה פריט חשוב במיתולוגיה היוונית. הקבוצה הזו מיוחסת לקנטאור כירון, הנמצא לימינה ומחזיק בידו קרבן להניח על המזבח. לכן, קראו לקבוצה: "המזבח של כירון" (Ara Centaur). לחילופין, רואים בה את המזבח עליו נשבעו אמונים

## רוחות השמים

רוחות השמים, בצורת ראש אדם עם לחיים מנופחות באוויר, נמצאות בחלקו התחתון של הקמרון. סדר הרוחות מימין לשמאל הוא: צפון, מזרח, דרום, מערב. במפת העולם של תלמי מהמאה השנייה לספירה ישנם תריסר ראשים, אך גייגו הסתפק בארבעה, כמניין עונות השנה, ארבעת היסודות (אש, מים, אוויר ואדמה) ועוד רביעיות נוספות.

לרוחות השמים יש תפקיד כפול. מצד אחד, הן מראות את הכיוונים. מצד שני, נשיפת האוויר מסמלת בריאה. כמו, שכתוב בבראשית פרק ב' פסוק 7 "וַיִּצְרָא יְהוָה אֱלֹהִים אֶת-הָאָדָם, עֶפְרָא מִן-הָאֲדָמָה, וַיִּפַּח בְּאָפָיו, נְשֵׁמַת חַיִּים; וַיְהִי הָאָדָם, לְנֶפֶשׁ חַיָּה".

הרוחות מסמלות את מעשה הבריאה של אלוהים, שברא את השמים וכל צבאם. אנו יכולים לזהות את הרוחות, כי לכל רוח יש במיתולוגיה היוונית/רומית שם ואיפיון משלה:

### רוח המערב Zephyrus

הרוח מסמלת גם את האביב. היא מתוארת כבחור צעיר, נטול זקן ויפה תואר.



### רוח הדרום Notos

הרוח מסמלת גם את הקיץ. היא מתוארת כאיש צעיר, חזק ובריא.

### רוח הצפון Boreas

הרוח מסמלת גם את החורף. מתוארת לעיתים קרובות כאדם זקן עם שער חקן פרועים. מאחר והרוח



### רוח המזרח Euros

הרוח מסמלת גם את הסתיו. יש לרוח מראה של אדם צעיר, נטול זקן ובעל תווי פנים עדינים ואציליים.

היחידה המופיעה עם זקן נמצאת ראשונה מימין. היא מקלה עלינו לזהות גם את שאר הרוחות. הסיידור הוא בכיוון השעון ועל פני מפת השמים מימין לשמאל.







## נקודת זכות



**כריסטופר קולומבוס מבקר בחדר עבודתו של אברהם זכות**

כמו וסקו דה גמה, אשר עסקו במסעות כיבוש וגילוי ברחבי העולם. בנוסף, הרב אברהם זכות היה הראשון, אשר שיכלל והתקין אצטרולב מנחושת במקום מעץ ותידרך ספנים בשימוש בו. תודות לכך, יכלו הספנים לקבוע את מעמד השמש בדיוק רב יותר. כאשר מת מלך פורטוגל, הוא המשיך להיות מועסק אצל היורש "מנואל הראשון, מלך פורטוגל" מנואל הראשון. המלך החשיב מאוד את הרב אברהם זכות והתייעץ עמו בכל הקשור למסעות ימיים.

גרש יהודי ספרד החל בשנת 1492 ממלכות קסטיליה וארגון. אחר-כך בשנת 1497 גורשו יהודי פורטוגל. מי שרצה להישאר בספרד, או בפורטוגל נאלץ להתנצר. בפורטוגל, לא הרשו ליהודים לעזוב את המדינה וטבלו אותם לנצרות בכפיה. הרב אברהם זכות הצליח להימלט מפורטוגל מבלי שהמיר את דתו והגיע לתוניס. שם פרסם את חיבורו הידוע "ספר היוחסין" בו תאר את קורות העם וחכמיו לאורך ההיסטוריה עד ימיו.

בשנת 1513 עלה הרב אברהם זכות לירושלים ובה נפטר. אוניברסיטת סלמנקה חלקה לו כבוד וקראה את ספרית מדעי הטבע שלה על שמו. כמו-כן, קראו על שמו מכתש על הירח - Zagut.

מקור עיקרי: El Cielo de Salamanca/José María Martínez Frías בהוצאת אוניברסיטת סלמנקה מקורות נוספים: אינטרנט וידע עצמי

לא אוכל לסיים את המאמר בלי להתייחס לדמות, שהיתה לה קשר ל"שמי סלמנקה" - הרב אברהם זכות 1452 - 1515 אסטרונום, מתמטיקאי והיסטוריון יהודי. הרב אברהם זכות למד אסטרונומיה, אסטרוולוגיה ומתמטיקה באוניברסיטת סלמנקה ובו בזמן למד תלמוד, פוסקים וקבלה אצל הרב יצחק אבוהב. הוא הצטיין בלימודי הקודש וגם באסטרונומיה ומתמטיקה. כאשר סיים את האוניברסיטה, פרש עליו הגמון סלמנקה את חסותו והעסיק אותו בעבודות אסטרונומיות ומדעיות. בין השאר, לימד הרב אברהם זכות אסטרונומיה ומתמטיקה באוניברסיטה, כנראה באותו זמן שגייגו צייר את התקרה בספרייה. הוא נחשב לבכיר האסטרונומים בסלמנקה, למרות היותו יהודי. את ספרו הראשון, "החיבור הגדול", בו תיאר את מערכת השמש, חיבר בין השנים 1473 - 1478. קרוב לוודאי, שגייגו נעזר בספר בעבודתו. הספר זכה להצלחה רבה ותורגם למספר שפות.

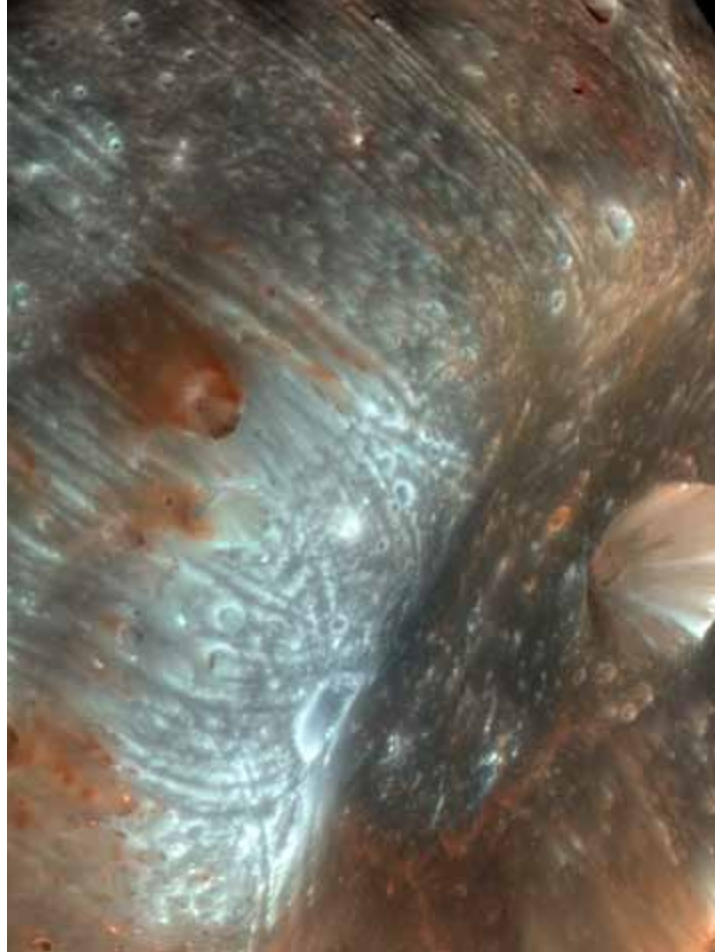
בעת שקולומבוס 1451 - 1506 השתדל אצל המלך פרננדו השני מאראגון והמלכה איזבלה מקסטיליה, כדי להשיג את חסותם למסעו בחיפוש נתיב ימי להודו, הוא הופיע בפני מועצת הגיאוגרפים של אוניברסיטת סלמנקה, שדנו בכדאיות של הפרויקט. כאשר יצא קולומבוס לדרכו בשנת 1492, לקח איתו שני ספרים המכילים טבלאות אסטרונומיות: האחד - "האלמנך הנצחי" שניכתב על ידי הרב אברהם זכות והכיל למעלה מ-300 עמודים של טבלאות אסטרונומיות. השני - ספר של האסטרונום והמתמטיקאי הגרמני יוהן מילר (Johann Müller), שתצפיותיו היו עבור נירנברג, גרמניה. קולומבוס שם לב להבדלים בין שני הספרים וכאשר נתקע על החוף הצפוני של ג'מייקה עם אוכלוסיה עויינת, שלא רצתה לספק לו מזון, איים עליהם, שייקח להם את הירח אם לא ייענו לבקשותיו. ליקוי ירח מלא יראה בזמנים שונים במקומות שונים וב-29 בפברואר 1504 הימר קולומבוס על הרשומות של הרב אברהם זכות והדבר צלח בידיו.

לאחר מות ההגמון, עזב הרב אברהם זכות את סלמנקה ועבד תחת חסות אחרת, עד ש'זואו השני (Dom João II de Portugal), מלך פורטוגל, צרף אותו לצוות מחקק, אשר עסק בהכנת לוחות אסטרונומיים וימיים לטובת הימאים הפורטוגזים,



# לטוס לפובוס במחיר נמוך יחסית

חיים מזר



ב-1988. השיגור נעשה לא מכדור הארץ, אלא ממעבורת החלל. החללית היתה נתונה במארז בתא המטען של המעבורת. בהינתן האות, דלתות תא המטען נפתחו והמארז של המגלן הזדקר בזווית של  $90^{\circ}$  ביחס למעבורת. המגלן ישבה על מערך של קפיצים. עם היפתחו של המארז, מערך הקפיצים השתחרר והעיף את המגלן תוך כדי כך שהוא העניק לה תנועה סיבובית. עם התרחקותה של המעבורת למרחק בטוח, מנועיה של המגלן הופעלו והיא יצאה בדרכה לנוגה.

בטכניקה דומה אפשר גם לטוס לפובוס. נחתת כזו לא תשוגר ממסלול ארצי, אלא מחללית המיועדת להיכנס למסלול סביב המאדים. על חללית זו תהיה פלטפורמה שעליה יושבת נחתת הפובוס. בהקפותיה את המאדים, המקפת ויקינג 1 הגיע עד למרחק של 48 ק"מ מפובוס וצילמה אותו ברזולוציה של 3 מטר לפיקסל. חללית עתידית שתימצא במסלול סביב המאדים, בהגיעה למרחק מעבר כה קטן תשחרר נחתת כזו. הנחתת תשחרר מהמארז וכאשר המקפת תהיה במרחק בטוח יופעלו מנועי הניווט של הנחתת לקראת נחיתה על הירח. בשל המרחק

בחלוקה גסה באשר לחקר המאדים ונוגה האמריקאים נחלו לא מעט הצלחות במחקרו של כוכב הלכת מאדים, בחלקן מזהירות ואילו הרוסים לא הצליחו בכך אם לנקוט בלשון המעטה. לעומת זאת, הרוסים הצליחו בחקר כוכב הלכת נוגה לרבות שיגור נחתות והורדתן אל פני השטח. האם זאת מקריות או שמדובר במה שהוא בסיסי הקשור למדיניות ותכנון חלליות שיועדו לחקר כוכבי לכת, קשה לדעת. הכישלון האחרון של הרוסים בחקר המאדים היה השנה, כאשר שיגרו חללית לעבר הירח שלו - פובוס מתוך מטרה לנחות עליו. הכישלון היה במהלך השיגור והרוסים נאלצו להביא לכך שרכב השיגור על מטענו היקר ייפול לתוך האוקיינוס. היה זה כישלון מהדהד. ניסיון ראשון של הרוסים להנחית חללית על פובוס היה כאשר חללית ששמה פובוס 1 הגיעה אמנם ליעדה ואמורה היתה לנחות עליו, אבל מסיבות לא ברורות הקשר עימה נותק ולא ברור מה עלה בגורלה.

האם קיימת אפשרות לשגר חללית לפובוס בשיטה אחרת? התשובה היא כן. דוגמה לכך היא חללית המגלן האמריקאית ששוגרה לנוגה



# קריאה למתנדבים!!

## לקראת תנופת עשייה

מטרת העל של האגודה הישראלית לאסטרונומיה היא: קידום והפצת הידע בנושאי אסטרונומיה בקרב הציבור הרחב

להשגת מטרה זו, מתכננת האגודה הרחבה ניכרת של פעילותה: תצפיות, ציון ארועים שמימיים, קורסים, סדנאות, הדרכות שטח, כנסים, ארועים ברמה כלל ארצית או אזורית.

ארגון והפעלת כל ארוע דורשים שעות עבודה של חברים, מתנדבים, חובבים וכל מי שיכול לתרום משהו מזמנו, מנסיונו ומידע שברשותו

## כל מתנדב יקבל הדרכה, הכנה וליווי של הפעילים!

### מתבקש סיוע בתחומים הבאים:

- סיוע באירגון תצפיות: רשימות, טלסקופים/משקפות, ניירת, הסעות ונקודות איסוף.
- בעלי ידע בסיסי/מתקדם בהכרת השמיים: לסיוע בהדרכה.
- סיוע בהפקת חוברות האגודה: עריכה וכתביה/איסוף חומר (גם מאתרים - בינלאומיים).
- אחריות מינהלית לפעילות ספציפית: הרצאה, תצפית רחוב, תצפית אזורית, סדנא, מסיבות וארועים.
- איסוף חומר לאתר האגודה/לכרטיס בפייסבוק.
- מתכנתים בעלי נסיון ב־Joomla או PHP לצורך שיפור ותחזוקה של אתר האגודה
- סיוע באיסוף רשימות לקוחות פוטנציאליים - ארגונים, חבורות פרטיות, מקומות עבודה.
- ביצוע תצפיות רחוב על-יד מקום מגורכם
- ביצוע מחקרים (הצעת נושאים, צילום בפועל וניתוח של נתונים - בסיוע מומחים) בעזרת מכשור אופטי מתקדם הקיים במצפי כוכבים במקומות שונים ברחבי הארץ
- בניית חומר חינוכי בנושאי אסטרונומיה לצרכי הדרכה בפועל ובאינטרנט
- הקמת "מוזיאון האגודה" במצפה הכוכבים בגבעתיים

## פתוחים לרעיונות וצמאים לעזרה!!!

astronomy@astronomy.org.il 03-7314345

הרכב סמוך לשפת grooves. כזה תוך כדי תנועה יצלם ויבחן את הדפנות שלו. עם הגיע הרכב לקצה ה-grooves הוא יועבר לצד השני ויצלם את הדופן השנייה. אפשר לצייד רכב זה בזרוע רובוטית זעירה שתאסוף מדגמי קרקע בגודל גרגרי שיבחנו על-ידי ציוד ספקטרוסקופי היכול לזהות מרכיבים מינרליים שלהם לרבות היסודות מהם הם עשויים. אפשרות אחרת היא ציוד רכב השטח בכדורונים קטנים בקוטר 5-10 ס"מ כל אחד אשר יצוידו במצלמות כדוגמת אלה המצויים בטלפונים הניידים. כדורונים אלה יזרקו לגובה של מטרים ספורים ויכוונו לפגיעה בקרקע משני צידי רכב השטח. בהתחשב בגודלו הזעיר של הירח ובכוח במשיכה הקטן למאוד, מרחק הטיסה של הכדורונים יהיה עשרות ואולי מאות בודדות של מטרים. במהלך מעופם הכדורונים יצלמו את הקרקע עד לפגיעה בה. הצילומים ישודרו לרכב השטח ומכאן דרך מקפת המאדים יגיעו לכדור הארץ. אפשרות קצת מורכבת יותר היא ציוד אחד מכדורונים אלה או יותר במנועי ניווט שאפשר יהיה להעפיפם לגובה רב יותר של עשרות מטרים ולהכניס אותם ולהכניסם למסלול סביב הירח. אם ישוגרו שני כדורונים כאלה, אחד יוכנס למסלול משווני והשני למסלול קוטבי. סביר להניח שהיקף כזה של צילומים יהיה גלובלי.

בטכניקה כזו אפשר לחקור גם את דמוס, ירחו השני של המאדים. על פי מידת הצלחתו של רכב שטח זה אפשר יהיה לתכנן רכבי שטח לחקירתם של אסטרואידיים או ירחים בסדר גודל זה המקיפים את כוכבי הלכת הגזיים. נפתח כאן שדה מחקר חדש בחקר מערכת השמש. מחקר כזה הוא זול יחסית מאחר והוא לא דורש השקעות מסיביות בפיתוח רכבי שיגור גדולים או חלליות במשקל מאות או טונות של קילוגרמים. אין שום מניעה שרכבי שטח כאלה לרבות הכדורונים לא יפותחו בארץ. מחקר ופיתוח בתחום מרתק זה יכול להיעשות בחברות שעוסקות בננו-מכונות. כדאי אפילו לחשוב על שיתוף פעולה עם מדינות אחרות. זהו ענף מחקר היכול להוסיף למדינה יוקרה רבה.

הקצר בזמן זה של המקפת מהירח, משך הטיסה לעבר הקרקע יהיה דקות ספורות.

חלליות המשוגרות לעבר מאדים שוקלות מאות קילוגרמים. נחתת המאדים האמריקאית Pathfinder שקלה 10 ק"ג בלבד. לא נבנה עבורה ציוד מחקר חדיש. השיטה בה בחרו היא Out of the shelf, דרך שעל פיה לוקחים מכשור שכבר קיים ותופרים אותו ביחד והתוצאה נחתת בעלות נמוכה יחסית. על כן אין שום מניעה שמקפת מאדימית לא תוכל לשאת איתה מטען קטן בסדר גודל כזה. יכול להיות אפילו שניתן יהיה לצרף למקפת נחתת במשקל קצת יותר גדול למשל 40-50 ק"ג. הנחתת תהיה רכב שטח אשר לו 4 גלגלים כל אחד מהם עם הנעה עצמית משלו. אתר הנחתה יבחר על סמך מפות שכבר קיימות. אתרים אפשריים הם מכתש סטיקני הגדול שבין מכתשי הירח או נסיעה במקביל לאחד ה-grooves. לקראת סיום משימתו אפשר יהיה להכניס את הרכב לתוך אחד מה-grooves מתוך מטרה לבחון את קרקעיתו ואת הדפנות שלו. אפשרות אחרת היא הסעת





## בהירות הכוכב

לעובדה זו חשיבות גדולה מאוד כאשר אנו מבקשים לדעת מה מועד ההתכסות ואופיה וכן האם נוכל לראותה. הראות של התכסות תלויה בהירות היחסית של הכוכב ביחס לירח. לכן, שני פרמטרים אלה הם העוזרים לנו לראות התכסותהם בהירות הכוכב ומופע ירח קטן (תחילת החודש העברי). אולם, כמעט תמיד (למעט מקרים יוצאים מן הכלל), לא תראה התכסות מאחורי השולים המאירים של הירח אלא רק מאחורי שוליו האפלים.

## מהלך ההתכסות

כאמור, הירח נע תמיד ממערב למזרח ביחס לכוכבי השבת, שאינם משנים את מיקומם ביחס לכיפת השמים. לכן, להתכסות כוכב הירח יכולים להיות שני מהלכים: התכסות והתגלות

בעת ההתכסות, הכוכב נעלם מאחורי שולים המזרחיים של הירח. לאור האמור לעיל, שאנו נראה התכסויות (או התגלויות) רק מאחורי השולים הכהים של הירח, הרי שאנו נראה את תהליך ההתכסויות של כוכבים בירח רק בחציו הראשון של החודש העברי או של מופע הירח, מהמולד עד למילוא, כאשר שוליו האפלים של הירח פונים מזרחה.

בעת התגלות, הכוכב מתגלה מאחורי שולי הירח. לכן, במחצית השנייה של החודש העברי (מהמילוא עד למולד), אנו נצפה רק בהתגלויות של כוכבים מאחורי שוליו האפלים, המערביים של הירח. יוצא מן הכלל הוא ליקוי ירח מלא, שאז כל דיסקת הירח ממילא כמעט וחשוכה לחלוטין, ואז אפשר לראות הן התגלויות והן התכסויות של גרמי שמים בעת הליקוי המלא.

## בהירות הכוכב

ככל שהכוכב חיוור יותר, כך קטנים סיכוינו לראות את ההתכסות. בחישובי ההתכסויות לאלמנך של האגודה, אני מחשב התכסויות הנראות בטלסקופ קטן של כ-70 מ"מ, שהוא המפתח הקטן ביותר המצוי כיום בידי חובבים.

התכסויות כוכבים הירח נגרמות בשל העובדות הבאות: הירח נע על פני כיפת השמים ולירח יש גודל זוויתי שאינו נקודה. הסיכוי שכוכב שבת יתכסה בירח הוא גדול כיוון שגודלו הזוויתי של הירח, כחצי מעלת קשת, וכן מהירותו הזוויתית הגדולה על פני כיפת השמים, יוצרת הזדמנויות רבות לצפייה בתופעה זו. כדי לצפות בהתכסות של גוף מסוים בירח, הצופה צריך להימצא ב"צל" שמטיל הירח.

## צל הירח

הירח הוא לזוויין הטבעי הקרוב לכדור הארץ. לכן, בתנועתו על כיפת השמים הוא יימצא במיקום שונה על פני כיפת השמים בהתאם למיקומו של הצופה על כדור הארץ. תופעה זו קרויה "פרלקסה" (העתקה) והיא עשויה להשתנות עד כמי מעלה. הדוגמה הטובה ביותר היא ליקויי חמה, בהם נראה הליקוי רק באזור שבו נופל פיזית צלו של הירח המסתיר את השמש. כאשר הירח מכסה כוכב שבת, כמובן שאין צל ממשי, אך רק צופים המצויים באזור מסוים יכולים לראות את ההתכסות. צופים אלה יהיו הצופים הממוקמים בקו שיוצר הירח והגוף המכוסה. לאיזור מכדור הארץ שבו תיראה כתסות אנו קוראים איזור ה"צל". כיוון שלירח גודל זוויתי, גודלו של האזור על כדור הארץ אינו נקודתי וכיוון שהירח נע על כיפת השמים, צורתו של איזור ה"צל" אינה עגולה.

צופה המצוי במרכז הצל בעת שיא ההתכסות יראה את הירח מכסה את הכוכב כאשר הכוכב מצוי מאחורי מרכז הירח. ככל שאנו מתקרבים לשולי הצל" הכוכב יכוסה קרוב יותר לאזורי הקטבים של הירח ומשך ההתכסות יקטן. לכן, בעת התכסויות כוכבים בירח יש תופעה ייחודית לצופה מסוים והיא התכסות נגיסה (Grazing).

התכסויות נגיסה. בהתכסויות אלה, עבור צופים המצויים בקו המשיק לשולים העליונים או התחתונים של איזור הצל, הגוף יעבור במשיק לשולי הירח. תופעה זו תיראה לאורך רצועה של עשרות או מאות מטרים לכל היותר מהסיבה שפני הירח אינן חלקות וכי הן מחורצות במכתשים והרים. לכן, הכוכב עשוי להיעלם מאחורי הר או להתגלות מאחורי מכתש.



השנה התקיים מפגש ראשון של חטיבת הצופים בהתכסויות כוכבים בירח של האגודה הישראלית לאסטרונומיה. אחת התופעות שקל לחובבים לבצע אותה, גם באמצעי תצפית פשוטים – משקפת וטלסקופ קטן, וכן מאיזורים עירוניים, היא התכסויות כוכבים בירח. ככלל, נושא ההתכסויות בכוכבים הוא אחת התרומות של אסטרונומים חובבים למדע. התכסויות גרמי שמים מתרחשות כאשר גוף נע במהירות זוויתית גדולה מכסה גוף שנע במהירות זוויתית קטנה יותר. יש כמה וכמה סוגי התכסויות, כאשר תמיד הגוף המכסה הוא הגוף הנע מהר יותר: התכסויות כוכבי שבת בירח, התכסויות כוכבי לכת הירח, התכסויות אסטרואידיים הירח התכסויות כוכבי שבת בכוכבי הלכת או בירחיהם, התכסויות כוכבים באסטרואידיים וכן התכסויות גרמי שמים בלזוויינים מלאכותיים. בפרק זה, נעסוק בהתכסויות כוכבים בירח.



## מחזורי התכסויות

משך הסדרה יכול להגיע עד לכדי 6 שנים (6 שנים עבור אלה שמרחקם 4 מעלות ממישור המילקה ושנתיים עבור אלה שמרחקה 6 מעלות). לפליאדות, המרוחקות 4 מעלות מהמילקה, תהיה סדרה אחת בלבד כל מחזור קשרים שתארך 6 שנים.

כמובן שהתכסות של כוכב בהיר היא מאורע מרשים, אך ככל שהכוכבים בהירים יותר, מספרם על פני כיפת השמים קטנה יותר. בעיקרון, יש מחזור התכסויות הנובע מתנועתו של הירח על כיפת השמים הקשורה למסלולו סביב כדור הארץ.

הירח נע סביב כדור הארץ במסלול שנוטה 5 מעלות ממישור המילקה. לכן, הירח יכסה רק כוכבים המצויים ברצועה הנמתחת כמה מעלות מעל ומתחת למישור המילקה בשמים. כמו כן, מסלולו של הירח נע במחזוריות סביב כדור הארץ ומשלים מחזור אחד שבו הירח, השמש וכדור הארץ חוזרים לאותו מצב אחת ל-19 שנים. קו הקשרים (הקו המחבר את הנקודות שבהן הירח חוצה את מישור המילקה) נע במחזוריות של 18.6 שנים מערבה (בניגוד לתנועת הירח ומכאן שמה של תופעה – נסיגת קו הקשרים). מכאן, שנקודת הקשרים של הירח נעה מערבה כ-19 מעלות בשנה. לכן, אם הירח מכסה כוכב מסוים בשנה מסוימת, הרי שהוא יכסה אותו רק בתקופה שבה מסלולו מצוי בסמיכות למיקומו של הכוכב על כיפת השמים.

נניח, למשל, שהאזור שבו מצוי הקשר של הירח (חצייתו את מישור המילקה) מצויה בקבוצת שור. הרי שבשנה מסוימת הוא ינוע כ-19 מעלות לכיוון קבוצת טלה. לכן, אם הירח יתיחל לכסות את אלדברן, הרי שהוא יכסה אותו רק בעת שבה מסלולו מצוי סמוך אליו. להתכסויות של כוכב מסוים יש תקופה הקשורה הן למרחקו של הכוכב ממישור המילקה והן לגודלו הזוויתי של הירח (ההגיון של מחזור התכסויות של כוכבים בירח דומה למחזור הליקויים – סארוס). חישוב משך הסדרה של התכסויות עבור כוכבים אינו כה פשוט. עבור כוכבים המצויים בדיוק על מישור המילקה, משך המחזור (מהתכסות הראשונה בסרה עד לאחרונה) הוא כ-1.4 שנים. לכוכבים אלה תהיינה שתי סדרות של התכסויות במשך 18.6 שנים. למשל, רגולוס המצוי במרחק של כחצי מעלה ממישור המילקה, תהיינה שתי סדרות של התכסויות: המרחק בין שיאי הסדרות יהיה 8.7 ו-9.9 שנים (סך הכל 18.6 שנים). כוכבים המצויים במרחק שבין 4 ל-6 מעלות ממישור המילקה,

אולם, יש לזכור שלא ניתן לראות את כל ההתכסויות מישראל, בגלל הפרלקסה. לדוגמה, מתוך 20 ההתכסויות של  $\mu$  ספיקה במחזור שהראינו לעיל, נראה בישראל רק את ההתכסות שתתרחש ב-8 בספטמבר 2013. בסדרת ההתכסויות של הכוכב הכפול  $\mu$  בעקרב, לא נראה ולו התכסות אחת. בסדרת ההתכסויות של הכוכב  $\epsilon$  שור נראתה מישראל ההתכסות ב-19 ביוני 2012. בסדרת ההתכסויות של הכוכב  $\Omega$  מאזניים נראה התכסות נגיסה מדרום לאילת ב-7 באוקטובר 2013 והתכסות מלאה ב-1 בדצמבר 2013 – אולם, בקרבה גדולה לשמש (אזורי הצל בהתכסויות בסדרה זו נעות מדרום לצפון ביחס לכדור הארץ).

### רשימת כוכבים בהירים המתכסים בירח בשנים 2012 ו-2013

$\epsilon$  שור

מחזור התכסויות המתחיל בפברואר 2012 ומסתיים ביולי 2013.

$\mu$  בתולה (ספיקה)

מחזור התכסויות המתחיל ביולי 2012 ומסתיים בדצמבר 2013.

$\Omega$  מאזניים

מחזור התכסויות המתחיל בינואר 2013 ומסתיים במאי 2014.

$\mu$  עקרב

מחזור התכסויות המתחיל באפריל 2012 ומסתיים בדצמבר 2013.

## כיצד צופים בהתכסות

ראשית, חשוב מאוד להצטייד בשעון עצר מדויק מאוד המראה את השעה בדיוק רב. כיום, אפשר לסנכרן שעוני מחשב בדיוק גבוה ביותר ויש כמה אתרים המספקים שירות זה. דבר שני, יש להיעזר בטבלה המחושבת עבור אופק ישראל המצויה בספר השנה של אירועים אסטרונומיים לשמי ישראל, שמתפרסם מדי שנה ויש לו קישור מאתר האגודה.

המידע המופיע בעמודות הטבלה הוא:

\* **המועד המדויק של התופעה לשמי ישראל**

\* **מהות התופעה – התכסות או התגלות**

\* **שם הכוכב ובהירותו**

כל אלה אינם מצריכים ניסיון או הסבר נוסף ויש להתחיל לעקוב אחר הירח כשעתיים לפני התופעה כדי לראות את הכוכב (לפני התכסות), או להמתין בדריכות להתגלות. אולם, יש מידע חשוב נוסף המנחה אותנו באשר למיקום התופעה ביחס לדיסקת הירח.

תמצית המידע בטבלאות ההתכסויות בירח

זמני ההתכסויות מחושבות לגבי אופק מצפה הכוכבים בגבעתיים. מצויים כאן רק הנתונים לגבי כוכבים שבהירותם גבוהה מבהירות 7 ולגבי התכסויות שנראות כשהירח מצוי, לפחות 20 מעלות מעל האופק. במקרים מיוחדים, עבור כוכבים בהירים במיוחד, נתנו נתונים לשעות היום.

הסבר לעמודות הטבלה:

**תאריך:** יום וחודש ושעה, כאשר השעה מחושבת לפי אופק גבעתיים. עשויות להיות סטיות לכאן ולכאן בהתאם למיקום הצופה – קואורדינטה וגובה. לכן, יש להתחיל את התצפית לפני המועד הנקוב. הזמנים מחושבים לפי שעון מקומי. הזמן נתון בשעות – דקות ושניות.

**מהלך:** אופי ההתכסות. ההתכסויות מחושבות תמיד לגבי השפה האפלה של הירח. התכסות מאחורי שפה מוארת לא מאפשרת לראות את הכוכב, למעט מקרים של כוכב לכת או כוכבים בהירים במיוחד:

**D כניסה (Disappearance)** - מצוין תחילת התכסות. הכוכב מתכסה על ידי השפה המזרחית של הירח. בדרך כלל, התכסויות כניסה נראות במחצית הראשונה של החודש העברי.

**d** - ההפרש בין בהירותו של הכוכב לגבול התחתון של בהירות הכוכב עבורו חושבו נתונים אלה קטן מ-1.

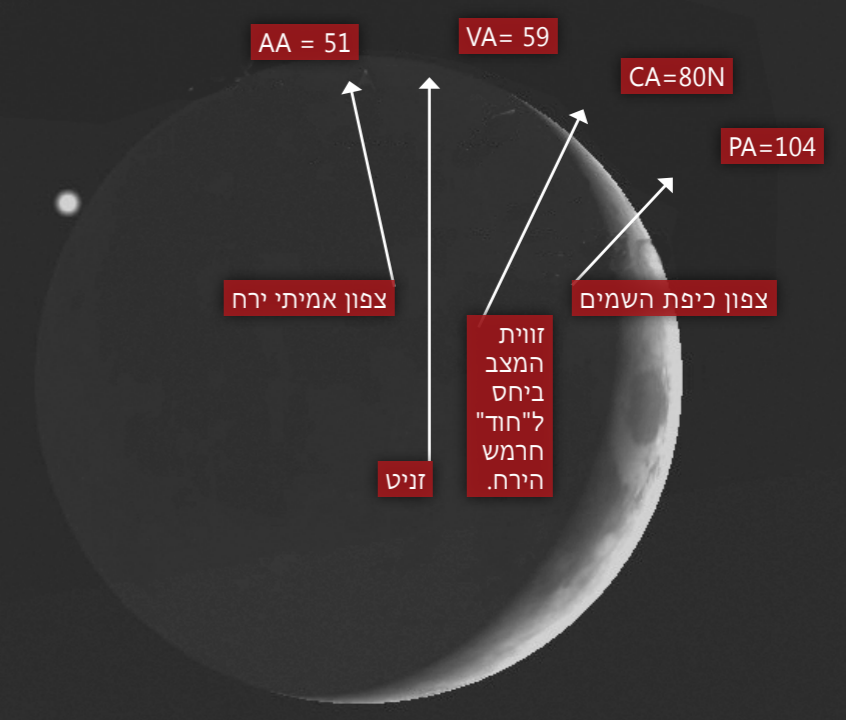
**R יציאה (Reappearance)** - מצוין סוף התכסות. הכוכב מתגלה מאחורי השפה המערבית של הירח. בדרך כלל, התכסויות יציאה נראות במחצית השנייה של החודש העברי.

**r** - ההפרש בין בהירותו של הכוכב לגבול התחתון של בהירות הכוכב עבורו חושבו נתונים אלה קטן מ-1.

**G התכסות (Grazing)** - התכסות נגישה. הכוכב משיק לשפת הירח. ההבדל בין התכסות של כוכב לבין אי התכסותו כלל עשוי להיות בשל הבדל של מאות מטרים במיקום הצופה. הואיל והנתונים מחושבים לאופק מצפה גבעתיים, יש לבדוק קודם לכן את נתוני האירוע.

**m** - כמעט התכסות. הכוכב נושק לשולי הירח





## החלק המואר של הירח.

ערכים חיוביים פירושים שהירח מצוי לפני המילוא. אז צידו המזרחי הוא החשוך ותופעות של נגיסה (d) תראנה טוב יותר. ערכים שליליים פירושים שהירח אחר המולד – מתמעט, ואז צידו המערבי הוא החשוך וקל יותר לראות תופעות של התגלות (R)

**דוגמה:** התכסות של ספיקה, 13 בתולה, שתיראה ב-8 בספטמבר 2013. (זו התכסות יוצאת דופן, כי הנתונים נמסרים להתכסות, אף על פי שהשמש עדיין מעל האופק).

### תחילת ההתכסות שעה 17:11:14 שעות חורף

**CA=80N PA=104 VA= 59 AA = 51**

באיור נראה הפרמטר הראשון שבו מצוין CA, שהוא המרחק במעלות מהחוד של חרמש הירח. במקרה זה, מהחוד הצפוני של הירח לכיוון הלא מואר. שימו לב שהחץ המראה את הכיוון לזניט מצביע על הנקודה הגבוהה ביותר בדיסקת הירח ביחס לאופק של הצופה, בעוד שהחץ המצביע לצפון מראה את הכיוון ביחס למערכת הקואורדינטות המשוונת השמימית (באופן כללי, מצביע לכיוון הקוטב השמימי הצפוני). הצפון הגיאוגרפי של הירח אינו מתלכד עם הצפון של כיפת השמים שלנו והוא מצוי מעט שמאלה לזניט. כל המספרים מצביעים על המאחר הזוויתי, על שולי הירח, של ספיקה מהנקודות האמורות.

### נתוני הכוכב המכוסה

**בהירות הכוכב.** במקרה של כוכב כפול, הבהירות היא הבהירות הכללית של המערכת. במקרה של כוכב משתנה. הבהירות היא הבהירות המירבית.

**הדרג הספקטרי של הכוכב.**

**שם הכוכב** (לפי מספר פלמסטיד או אותיות באייר)

**CA** - זווית המצב ביחס ל"חוד" חרמש הירח. נמדדת במעלות מהחוד הקרוב כאשר N מצוין צפון ו-S דרום. במקרה של ירח מלא או כמעט מלא יצינו הכיוונים E כמזרח ו-W כמערב.

**PA** - זווית המצב של התופעה, נמדדת במעלות מהצפון האמיתי, כיפת השמים.

**VA** - הזווית של התופעה, נמדדת נגד כיוון השעון מהנקודה ה"גבוהה" ביותר בירח (זו שמרחקה מהאופק הוא הגבוה ביותר במערכת קואורדינטות אזימוטלית)

**AA** - זווית המצב של התופעה נמדדת מהקוטב הצפוני של הירח מזרחה. נתון זה חשוב במקרה שההתכסות או ההתגלות הם בשולים המוארים של הירח. על ידי שימוש במפת ירח אפשר למדוד את זווית המצב ולהשוות עם מאפייני נוף של הירח המצויים בזווית מצב זו כדי להעריך היכן לצפות להתכסות או להתגלות.

α	Alpha	ι	Iota	ρ	Rho
β	Beta	κ	Kappa	σ	Sigma
γ	Gamma	λ	Lambda	τ	Tau
δ	Delta	μ	Mu	υ	Upsilon
ε	Epsilon	ν	Nu	φ	Phi
ζ	Zeta	ξ	Xi	χ	Chi
η	Eta	ο	Omicron	ψ	Psi
θ	Theta	π	Pi	ω	Omega

**זוויות.** פרמטרים אלה מקלים עלינו למצוא היכן מצויה נקודת המפגש בין שולי הירח לכוכב.



# תופעות ירחי צדק

של צדק אינו מאפשר להבחין בירח הנע על פניו, אלא רק בשימוש עם טלסקופים גדולים. תופעת המעבר מלווה תמיד בצל שמטיל הירח על פני צדק, אך בשל מיקום כדור הארץ יחסית לצדק, הצל מקדים או מאחר אחר המעבר של הירח. בעת הניגוד של צדק, המעבר והצל מתרחשים בו זמנית (כיוון שכדור הארץ מצוי בין צדק והשמש). לפני הניגוד, הצל מקדים את המעבר ולאחר הניגוד נראה את הירח נעלם על רקע פניו של צדק, ורק לאחר מכן את הצל נשרך אחריו.

ליקוי (eclipse) - תופעה המתרחשת כאשר ירח נכנס לאזור הצל שמטיל צדק. התופעה נראית מכדור הארץ רק לאחר, או לפני, הניגוד של צדק, כיוון שבעת ניגוד (או מאוד סמוך אליו), עבור צופה המצוי בכדור הארץ, הירח מצוי בדיוק מאחורי צדק בעת ליקוי. לפני או אחרי הניגוד, הירח ייעלם בהדרגתיות סמוך לפניו של צדק. ככל שהירח מרוחק יותר מצדק ופרק הזמן מרגע הניגוד גדול יותר, המרחק מפני צדק בו הירח ייעלם יהיה גדול יותר.

בליקויים של שני הירחים המרוחקים וכן במקרים קיצוניים של ליקויי הירחים הקרובים יותר, נראה את הירח יוצא או נכנס מהליקוי באותו הצד של צדק. לפני הניגוד נראה רק את כניסת הירחים הקרובים לאזור הצל ואחרי הניגוד נראה רק את יציאתם.

התכסות (occultation) - מעבר של ירח מאחורי הדיסקה של צדק. אופי התופעה תלוי במרחקו של הירח מצדק: לפני הניגוד, נראים שני הירחים הרחוקים יותר, כשהם יוצאים מליקוי ולאחר מכן נעלמים מאחורי דיסקת צדק. לאחר הניגוד, בתחילה, הירח יוצא מההתכסות ורק לאחר מכן הוא נכנס לאזור הצל ולוקה. לפני הניגוד, ייראו שני הירחים הקרובים יותר, כשהם נכנסים לצל ולוקים, ולפיכך לא נראה את תחילת ההתכסות אלא רק את סופה. לאחר הניגוד, נראה רק את תחילת ההתכסות, כיוון שבמהלכה הירח לוקה על ידי צדק.

בחודשי הסתיו והחורף של שנת 2012, ייככב כוכב הלכת הענק צדק בשמי הלילה. אחת המתופעות היותר מעניינות והקלות לצפייה בשמים, גם מבעד לטלסקופ קטן ולמשקפת שדה, הם ירחיו של כוכב הלכת צדק. אולם, מעבר לשינויי המקום של ארבעת הירחים הגדולים של צדק, הקרויים הירחים הגליליאניים, סביבו, אפשר לראות גם תופעות במערכת של צדק וירחיו גם בטלסקופים קטנים.

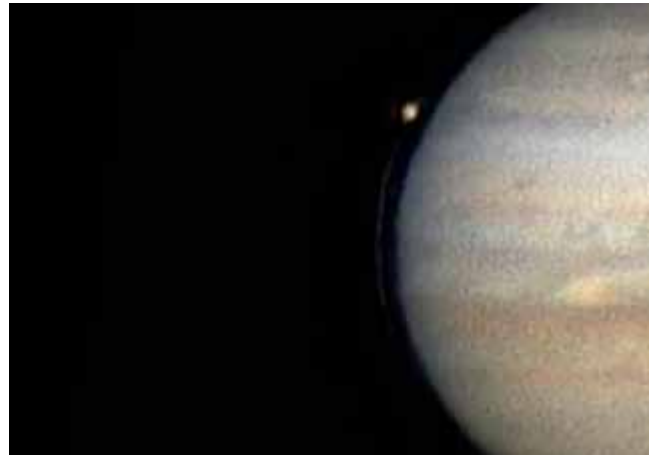
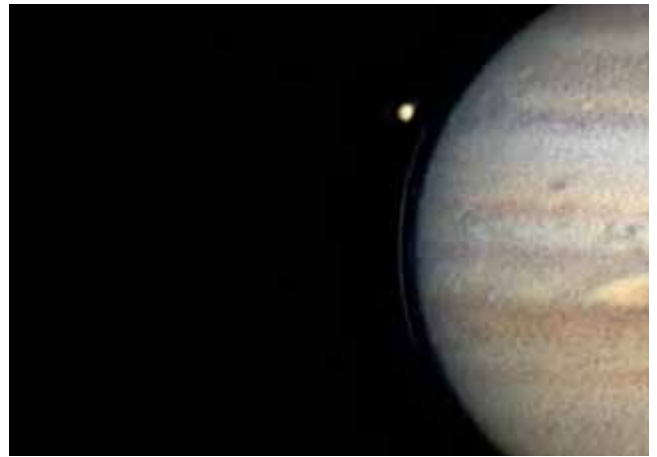
ארבעת ירחי צדק הגדולים ניתנים לתצפית גם במשקפת שדה הפשוטה ביותר. גילוי ירחים, המקיפים כוכב לכת אחר, על ידי גלילאו, הביא אותו ואת קפלו להאמין במשנתו המהפכנית של קופרניקוס, שהוציאה את כדור הארץ ממעמדו המיוחד במרכז היקום. החובב המבקש לצפות בירחים הגליליאניים עשוי למצוא עניין רב בתופעות שבין צדק והירחים הגליליאניים: אלה נובעות כולן מהעובדה, שהן צדק והן ירחיו מקבלים את אורם מהשמש. להלן ארבעת התופעות הניתנות לתצפית על ידי חובב המצויד בטלסקופ.

צל (shadow) - התופעה הקלה ביותר לתצפית, גם בעזרת טלסקופים קטנים בקוטר 60 מ"מ. הצל נראה כאשר אחד הירחים עובר בין השמש לבין צדק ומטיל, עקב כך, צל על פני צדק. לצופה מכדור הארץ נראה הצל ככתם עגול, קטנטן, הנע על פני צדק. כיוון שגודלם של הירחים הגליליאניים כה קטן יחסית לצדק, הם מטילים צל על פני צדק מדי הקפה והקפה שלהם סביבו. למעט בעת הניגוד של צדק, כדור הארץ, צדק והשמש אינם מצויים בקו אחד. לכן, הירח ייראה סמוך לצדק בעת הצל - לפני הניגוד, הירח ייראה ממזרח לצדק לפני תחילת הטלת הצל, ולאחר הניגוד, הירח ייראה ממערב לצדק, לאחר תחילת הטלת הצל.

מעבר (transit) - מעבר של ירח על פני צדק. תופעה זו היא הקשה ביותר לתצפית, משום שאורו









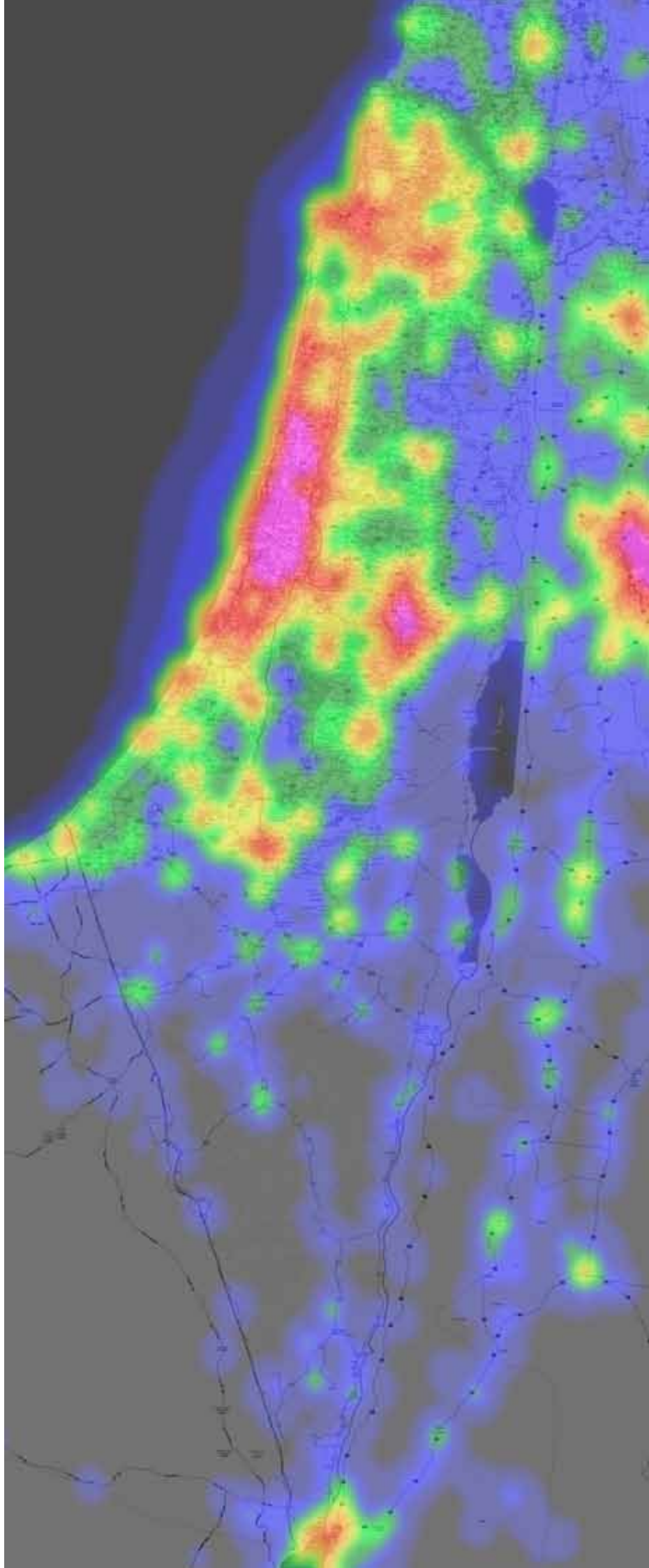
# השאלכות זיהום האור על הסביבה

צוקראן מיכאל  
חבר בצוות "אור מכוון"

המפה נבנתה בעזרת נתונים מלוויין אמריקאי DMSP, השייך לקבוצת NOAA. הנתונים עדכניים לשנת 2009. רמת זיהום האור, או ליתר דיוק בהירות השמיים בזנית, מקודדת בעזרת צבעים: אדום = שמיים מוארים, ירוק = רמה בינונית אפור = שמיים חשוכים.

הרשימה הבאה מראה, בצורה גסה, את ההתפלגות של בהירות השמיים בהתאם לצבעים במפה או במילים אחרות, בהירות מינימלית של כוכבים שניתן יהיה לראות בזנית, בליל ללא ירח, על נקודה מסויימת במפה. מספר גדול = שמיים חשוכים ורואים יותר כוכבים. כלל החישובים והערכות שבוצעו - מבוססים על ניסיון אישי שלי בלבד, חה לא בהכרח מדוייק עבור כל מיקום וכל צופה:

Gray: < 6.8 magn. sky	(2-3 in Bortle scale)
Dark blue: 6.7 magnitude sky	(4 in Bortle scale)
Bright blue: 6.5 magnitude sky	(4 in Bortle scale)
Dark green: 6.0 magnitude sky	(5 in Bortle scale)
Bright green: 5.5 magnitude sky	(6 in Bortle scale)
Yellow: 5.0 magnitude sky	(7 in Bortle scale)
Orange: 4.5 magnitude sky	(8 in Bortle scale)
Red, Pink: < 4 magnitude sky	(9 in Bortle scale)





## סיבות לביצוע שינוי

### למה על הרשויות המקומיות לשקול לאמץ אליהן תקנות וחוקים בנוגע לתאורה החיצונית?

תכנון תאורה לקוי מוביל להעלאת מקרי גניבות. כך למשל, כאשר מרבית מהאוכלוסייה מתקינה פרוז'קטורים בשטח הפרטי, לרוב בזווית של 45 מעלות, הרי שמתקבל סנוור מגוף התאורה והאור מתפזר לכל כיוון, דבר אשר יכול לגרום לצללים שבהם ניתן להתחבא, הפרוז'קטורים אף יסנוורו את בעלי השטח עצמם וימנעו מהם לראות את מה שקורה בשטחם. מחד, התקנת הפרוז'קטור גורמת לתחושת ביטחון, אך מאידך, בפועל קורה דבר הפוך שממנו חוששים - הצללה שבה ניתן להתחבא כתוצאה מהארה לקויה.

#### בריאות החי והצומח

הארה באור מלאכותי בשעות הלילה משבשת לחיות לילות את הישרדותם בטבע, כאשר החיות חשופות לתאורה כלל כיוונית, הן עלולות להיטרף ע"י טורפים והפעילות הלילית שלהן בסכנה, כך גם חשיפה לאור בוקר משבשת לציפורים נודדות את מסלול הנדידה שלהן, מאחר והן נמשכות לאורות הבוהקים מתוך העיר אשר מתפזרים לעבר הרקיע המשבש להן את חוש הניווט ובכך הן אינן מצליחות להגיע ליעד הטבעי שלהן כדי לשרוד.

דוגמא נוספת לפגיעה בחי הנה העובדה שזיהום אור הינו הגורם מספר אחד להכחדת צבי הים בעולמנו. באופן טבעי ובמטרה לשרוד, צאצאיי צבי ים שזה עתה בקעו על החוף, מנווטים מיד את דרכם לעבר הים, שפני השטח שלו מואר יותר מהקרקע ע"י אור הכוכבים והירח, תהליך שמתקיים כבר מיליוני שנים. זיהום האור משבש דפוסים עתיקים אלה, כאשר גחלי צבי הים נמשכים לאורות העיר הבוהקים, מצב שפוגע ביכולת האוריינטציה שלהם ובכך הם עלולים למצוא את מותם כתוצאה מהתייבשות או כתוצאה מדריסת מכונית בעקבות הגיעם לאזור מיושב.

#### בריאות האדם

לבני אדם מחזור יום-לילה, אנחנו פעילים במהלך היום והולכים לישון בלילה. אנחנו מאמנים את עצמנו לעבוד במשמרות לילה או לצפות בטלוויזיה בשעת לילה מאוחרת אבל העובדה היא שהחשיפה לאור משבשת את השעון הביולוגי בגוף האדם.

ההורמון האחראי על השינה שלנו ה"מלטונין" המכונה "הורמון החושך" הינו הורמון טבעי ממשפחת האינדולומיניים, אשר מיוצר ומופרש מבלוטת האיצטרובל שבמוחנו במחזור קבוע בשעות היממה ומשפיע על תהליכים רבים בגוף.

גירוי של קרני אור מלאכותיים החל משעות הערב מפחית את הפרשת המלטונין בגוף האדם ובכך פוגע באיכות השינה, מעלה את לחץ הדם ואף עלול לתרום להתפתחות מחלת הסרטן.

#### ביטחון ובטיחות

פנסי רחוב מסנוורים עלולים להפוך למטרד בטיחותי. סנוור משלטי חוצות ופנסי רחוב בוהקים עלול להוות סכנה לנהגים בדרכים. ישנה נטייה לחשוב ולהרגיש שעוצמת הארה גבוהה מעלה את רמת הבטיחות הנהג בדרך, אך חשוב להבין שעוצמת הארה גבוהה וגם לא מנותבת כנדרש - עלולה לגרום לסנוור. במצב כזה אישוני העיניים שלנו מצטמצמים ובכך פחות אור נכנס לעיניים שלנו ובנוסף מפחית את הניגודיות, בכך, אנחנו מאבדים מידע חזותי במרחב (בכביש או סתם בטיול על שביל בפארק).

**"תאורה נכונה תמנע סנוור נהגים והולכי רגל. תאורה נכונה פירושה כיוון נכון של גוף התאורה כלפי מטה וניתוב האור אל הקרקע, לשם אנחנו צריכים הארה ולא לפיזור ברקיע".**

### הפחתת זיהום האור יכולה לתרום לבריאות, ביטחון, וחיסכון באנרגיה

בערים רבות בישראל האור הכתום של פנסי הרחוב, זרקורים ושלטי חוצות גדולים מסתירים את שמיי הלילה. כשהחשיכה יורדת אנו עוטפים את עירנו באור מלאכותי וזוהר ובכך מאריכים את היום לתוך הלילה.

הסיבות לכך הן פשוטות: ביטחון ובטיחות. אורות העיר עוזרים לנו לראות לאן אנו נוהגים, הולכים או רוכבים. אנו פעמים רבות חושבים שאורות מרתיעים בפני גנבים או מפני כל מי שמנסה לפגוע בנו או ברכושנו. כאשר לא מאירים נכון, התאורה הקיימת יוצרת בוהק הגורם לראייה מעומעמת של המרחב ויוצרת צללים. במקרה זה נגרם בזבח אנרגיה ומשאבים ואף לנזק בתהליכים ביולוגים פנימיים המתרחשים בצמחים, בעלי חיים ובני אדם.

תאורת חוצות מהווה חלק בלתי נפרד מחיינו, יחד עם זאת, עוצמת הארה גבוהה מדי או סוג תאורה לא נכון עלול להוביל לחסרונות שאף עלולות לעלות על היתרונות שבהארה הנדרשת באזור מסוים.

באמצעות מסמכי תקנות וחוקים לתאורה נכונה תוכלנה הרשויות המקומיות לספק לתושביהן תאורה מספקת ופחות מסנוורת וכתוצאה גם צריכת אנרגיה פחותה (חיסכון כלכלי) והשפעה חיובית על בריאות ואיכות הסביבה.

יש משהו מסקרן ומרתק מאוד כשאנו מביטים לשמיים זרועי כוכבים, בין אם אנו מבקשים משאלה כאשר כוכב נופל, או בין אם אנו מסתכלים דרך טלסקופ, הניגוד בין החושך לאור שובה את דמיוננו.





## ישנם פתרונות:

בשלב השני נסרקו מקורות האור השונים, עלותם, נצילותם, אורך חייהם, והשלכות אורכי הגל שהם פולטים על הסביבה ועל שמי הלילה. בהמשך נסרקו מגוון גופי תאורה שמתאימים למקורות האור האפשריים, נצילותם האורית, עלות אחזקתן, אופיין פיזור האור שלהם ויכולת ההתאמה לצרכים השונים. נבדקו גם התקנים המנחים את תאורת החוצות בארץ ובח"ל.

בהמשך הקבוצה ניסחה מסמך המלצות והנחיות במטרה שיאומצו ע"י הרשויות בכדי להבטיח את היעדים. המסמך תואם במלואו את התקן הישראלי EN 13201 ומוסיף עליו שני חידושים חשובים. האחד הוא קביעת עוצמת הארה מכסימלית לכל סוג תאורה (בנוסף לעצמה המינימלית שהתקן קובע). השני הוא החלת תקנות התאורה גם על האזרחים ולא רק על הרשויות.

הקבוצה עוסקת באיתור בעלי עניין בארץ, גופי הגנת הטבע, ארגונים ומוסדות.

יש לציין כי עבודות שנעשו בנושא וגם פעילותה הערה של הממשלה והכנסת מנסות להביא את ישראל לסטנדרטים המקובלים בעולם.

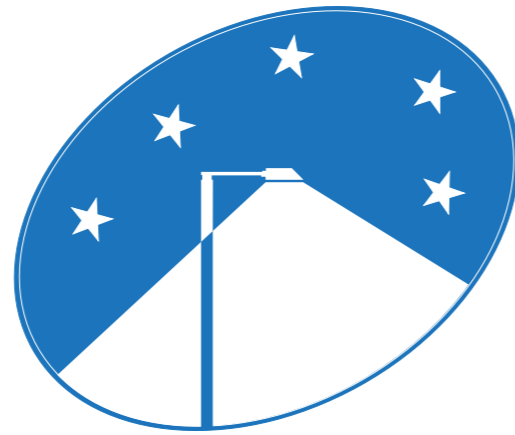
הצוות ההתנדבותי שהוקם, פועל לשיפור המודעות הארצית ולאיווץ דרכי פיתרון. נכון להיום הקבוצה מעורבת בעשרות פרויקטים בישובים שונים בארץ לאורכה ולרוחבה. הצוות פועל בהתנדבות ומשתדל להתפנות לכל בעל עניין. מהלכים דומים מתקיימים מספר שנים ברחבי העולם ולזכותם נזקפות הצלחות רבות. למידע נוסף, העלאת המודעות ולהזמנת פגישות והרצאות ניתן לפנות לאתר הבית של הצוות

[www.israel-darksky.com](http://www.israel-darksky.com)

כבר היום כל אחד יכול להביא לשינוי וליצור קשר כדי לקדם ביחד לעתיד טוב יותר, עתיד מאיר.

כבר היום ניתן למצוא בישראל רשויות מקומיות הפועלות לאזן בין האור והחושך ע"י אימוץ תקנים וחוקים שהתגבשו על ידי קבוצה בשם "אור מכוון".

קבוצת "אור מכוון" הנה קבוצת מתנדבים מרחבי הארץ ששמה למטרה לקדם התייעלות אנרגטית בתאורת חוצות, לשפר את איכותה ולהקטין את הפגיעה באזרחים ובטבע כתוצאה מזיהום אור. חברי הקבוצה מתמקדים בשלושה תחומים: הסברה, תקנים ופתרונות.



## פעילות הקבוצה:

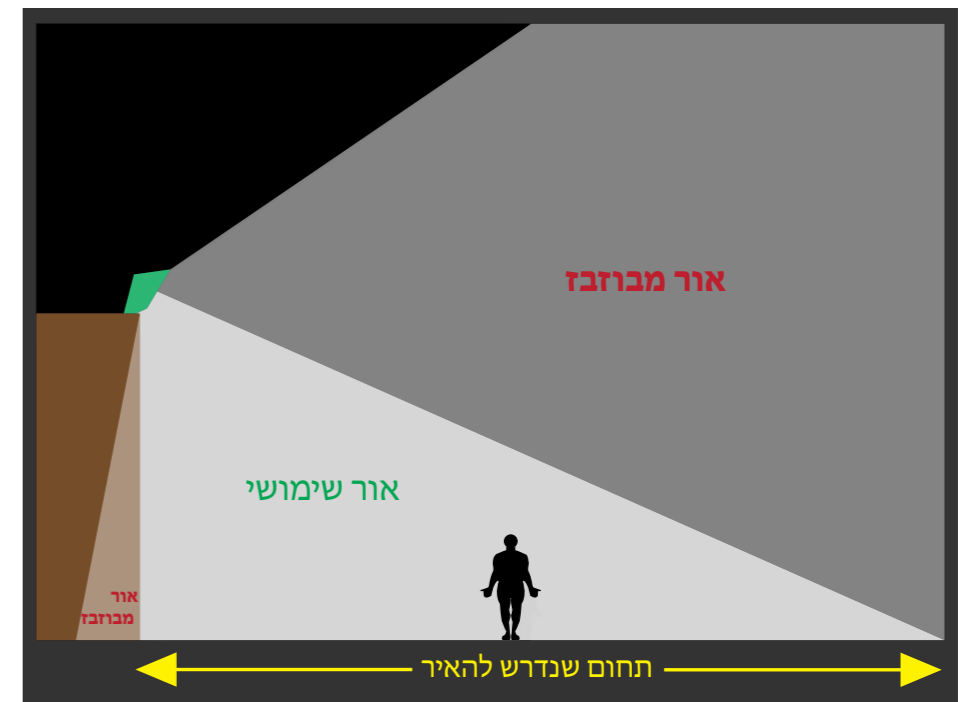
בשלב הראשון מינתה הקבוצה צוות טכני שביצע סקירה של מצב התאורה הקיים וסימן/זיהה את המטרות המהוות את הקווים המנחים לכל תכנון עתידי:

- + הפסקת פליטת אור לכיוון האופק ומעליו
- + מניעת האור הפולש
- + מניעת הסינוור
- + שימוש בגופי תאורה שיספקו תאורה אחידה ככל האפשר
- + מניעת הארת יתר וכיבוי אוטומטי של תאורת חוצות כשאינה נחוצה
- + שימוש באורכי גל שאינם פוגעים בטבע

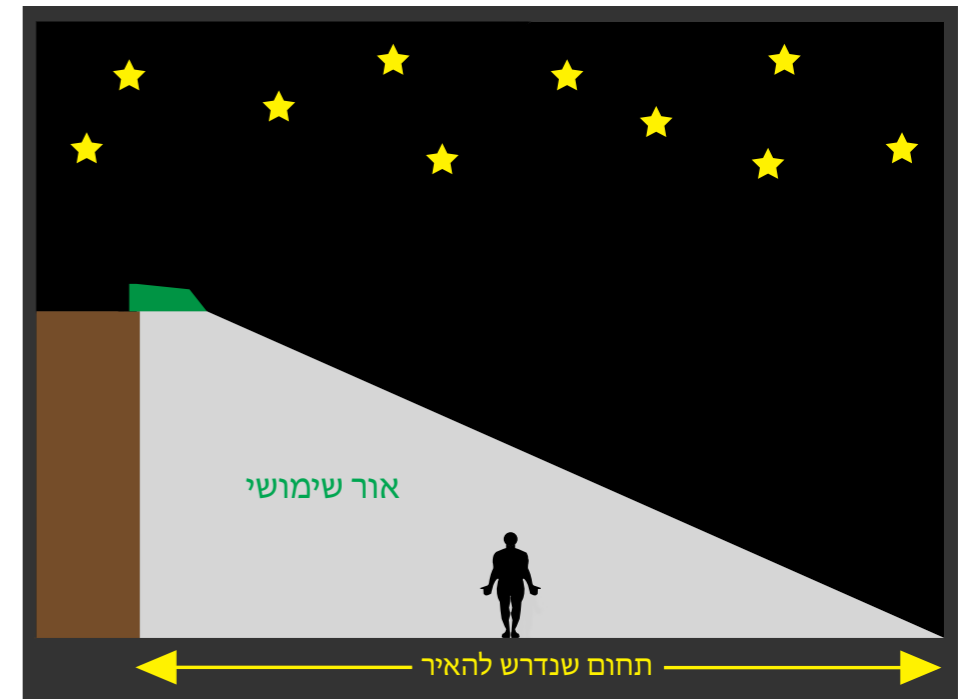
זכרו את הממצאים של קופרניקוס, גלילאו גליליי ואיינשטיין. תארו לעצמכם גילוי כדור ארץ דומה לשלנו מחוץ למערכת השמש ואת המשמעות לכך... ובכלל מבט אל תוך נפש האדם להביט אל השמיים זרועי הכוכבים וללכת לאיבוד במרחב האינסופי לשאול שאלות ולהסתקרן. כל זה ימחק אם לא ינקטו צעדים נדרשים להפחתת זיהום האור.

בימים אלה גופים רבים באירופה ומחוצה לה ברחבי העולם, משקיעים הון עתק מכספי הציבור לטובת פיתוח ותחזוקת מתקני אסטרונומיה, כדי לצפות ולחקור את העצמים החיוורים ביותר ביקום. על פני כדור הארץ יש מעט מאוד אתרים המקיימים את כל הקריטריונים התובעניים לציוד הרגיש והמשוכלל, קריטריונים כגון רמה נמוכה של זיהום אור. עקב צמיחה לא מבוקרת של גופי תאורה, אתרי

המחקר האסטרונומי נמצאים תחת סכנת סגירה, מה שמרחיק את האנושות מחקר המדע המתקדם. אור הכוכבים עושה מסע בחלל אלינו ממרחק מיליוני שנות אור ולבסוף נחסם בכיפות האור והבוהק שנוצר מעל הערים שלנו, מפנסי רחוב בוהקים ובכך מסתירים את אוצרות היקום הן למדענים והן לאזרחים.



דוגמא של אור שימשי זיהום אויר שנוצר בעקבות פנס שהותקן בזיית



דוגמא של אור שימשי בלבד בעקבות התקנה של פנס בזיית אופקית

## פיתוח המדע

כיום נעשים מאמצים רבים והשקעה של מיליארדי דולרים בבניית טלסקופים רבי עוצמה במטרה לענות לאנושות על שאלות במדע הקוסמולוגיה והאסטרופיסיקה. וכל אלו נכללים תחת שאלה אחת – האם אנחנו לבד? האסטרונומיה הינו המדע העתיק ביותר בעולם והוא מושרש בהיסטוריה ובתרבות האנושות.



פלנטה מחוץ למערכת השמש  
מוצקה המכונה E-CANCRI 55  
אשר התגלתה בשנת 2004.  
מרחקה 40 שנות אור מאיתנו.  
מכילה שיכבה של פחמן בצורה  
גיבוש של יהלום וגרפיט.  
בנוסף נמדדו בחלל סיליקטים  
וסיליקון קרביד SiC.

# כוכב

## דוגמה לבניית מודל של

חיים מזר

הלכת משמעות רבה ביחס לעוצמת הרוחות.  
כדוגמה נכניס למודל נתון נוסף. מהירות רוחות  
המגיעה עד ל- 300 קמ"ש. מה ההשפעה  
שלהן על התפתחות הוריקנים וכו'? איך כוחות  
קוריוליס מושפעים מכך ובאיזו עוצמה?

האם קיימים עליו מים נחליים? בהתחשב  
בצפיפות האטמוספירה יכול להיות שכן. נכניס  
עתה נתון נוסף לכוכב לכת זה, שני אוקיינוסים.  
עומקו של אחד מהם 2 ק"מ ושל השני 3 ק"מ  
ומספר נהרות באורך עשרות ומאות קילומטרים  
ורוחבם עשרות מטרים. באוקיינוסים יכולים  
להתפתח הוריקנים וטייפונים. אם לכוכב הלכת  
הרי טקטוניקה פעילה, מה הסיכוי שיתפתחו  
עליו גלי צונאמי?

בהתחשב בהבדלי הגודל היחסיים שלהם,  
ברור שהירח מפעיל על כוכב הלכת כוחות  
גיאיות כמו הירח שלנו על כדור הארץ.

כוכב לכת כה קטן עם צפיפות גדולה יכול  
להחזיק אטמוספירה. למודל מכניסים שני  
נתונים נוספים. צפיפות האטמוספירה היא 0.8  
מזו של כדור הארץ והלחץ האטמוספרי הוא 0.6  
בר. סביר להניח שיהיו עליו, כפי שאמרנו  
קודם לכן גם שינויים אקלימיים ורוחות.  
לשם השוואה צפיפות האטמוספירה של  
המאדים היא 1% מזו של כדור הארץ,  
הלחץ האטמוספרי הוא 7 מיליבר ונושבות  
עליו רוחות חזקות המגיעות למהירות של  
480 קמ"ש. סביר על כן שגם שעל כוכב לכת  
זה נושבות רוחות. יכול להיות שלגודל כוכב

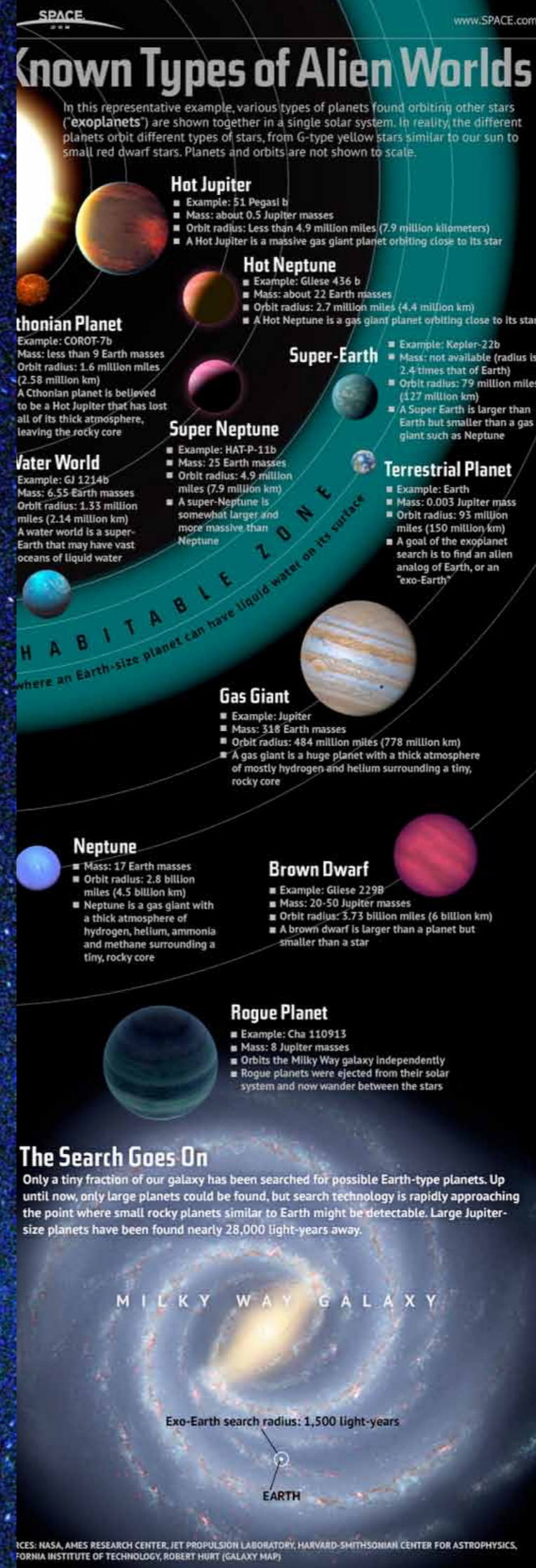
שני נתוני יסוד אלה יכולים לשמש בסיס  
לבניית מודל של כוכב לכת. על פי מודל זה  
כוכב לכת בקוטר 1,000 ק"מ מקיף את השמש  
במרחק 1.8 יחידות אסטרונומיות וכי השמש  
לו זהה לזו שלנו. הצפיפות שלו היא 6.6, לשם  
השוואה צפיפות כדור הארץ היא 5.5. הוא  
מסתובב סביב עצמו פעם ב-15 שעות וזווית  
הנטייה שלו 12°. לכוכב לכת זה ירח אחד  
בקוטר 300 ק"מ המקיף אותו פעם ב-30 שעות  
ובמרחק 30,000 ק"מ ממנו.

המסקנה המיידית הראשונה היא שירח זה  
מראה לכוכב לכת זה רק צד אחד שלו. שתי  
יממות של כוכב הלכת שוות ליממה אחת של  
הירח. לכוכב לכת זה יש ליקוי חמה וליקוי ירח  
בדומה לאלה של כדור הארץ.

גילויים של כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש  
והשוונות הרבה שלהם זה מזה וממה שאנו  
מכירים, יוצרים בהשאלה מטאפורית גן חיות  
של כוכבי לכת. במקביל לכך גובר יותר ויותר  
העניין בחיים מחוץ לכדור הארץ. עצם גילויים  
של מאות כוכבי לכת, מעלה את הסבירות  
ואפילו מעודד יותר באשר למציאת חיים מחוץ  
לכדור הארץ.

חללית הקסיני המקיפה את שבתאי גילתה  
כי לדיון יש אטמוספירה משלו. בגלל דלילותה  
הרבה של אטמוספירה זו, המונח המתאים  
לה יותר הוא אקוספירה. מה שמיוחד בגילוי  
זה שקוטרו של דיון הוא 1,120 ק"מ. זאת  
אטמוספירה שלא יכולה לשאת עננים ובוודאי  
שאינן בה תופעות אקלימיות.





http://www.space.com/13828-alien-planets-kepler-telescope-infographic.html

מכיון שכוכב לכת זה מרוחק יותר מאשר כדור ארץ מהשמש, קבוע השמש קטן יותר ועוצמת ההארה של השמש קטנה יותר. מכיון שהוא נטוי על צידו, יש עליו תופעות מחזוריות אקלימיות. מכיון שזווית הנטייה שלו קטנה יותר, קווי הרוחב הגבוהים, גבוהים יותר מאלה של כדור הארץ, ימצאו לכל אורך היממה או בחשכה מוחלטת בחורף או באור יום מלא בקיץ. תחום הזניט, מה שמוכר על כדור הארץ כחוג הגדי וחוג הסרטן, הוא 12°. צפון ודרום. ביום הארוך ביותר השמש תהיה בזניט בקווי רוחב אלה. על כדור הארץ קרני השמש חודרות עד לעומק של 200 מטר בגופי המים. מכיון שכוכב לכת זה רחוק יותר מהשמש עומק חדירתם של קרני הוא לגופי המים, קטן יותר.

מכלול זה של היקשים הוא רק דוגמה באשר למסקנות אותן ניתן לגזור ממספר נתוני יסוד בכל מודל של כוכב לכת. מגוון האפשרויות הוא אינסופי. חשיבותה של צורת חשיבה הזו בכך שהיא נותנת בידי החוקרים כלי מתודולוגי באשר לגילויים של כוכבי לכת נוספים ולאפשרויות עתידיות לטוס אליהם. לומדים בגבולות מסוימים למה לצפות.

פרסאדיס 2012 בקילומטר ה-101 | צילום: רון עיני | yaroneni.com



