

אסטרונומיה



ביטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה

כרך 37 גיליון 4 חורף 2011

חדשות

אסטרונומיה במזרח הקדום

מצפה לידן

דרכם של הסינים לחלל

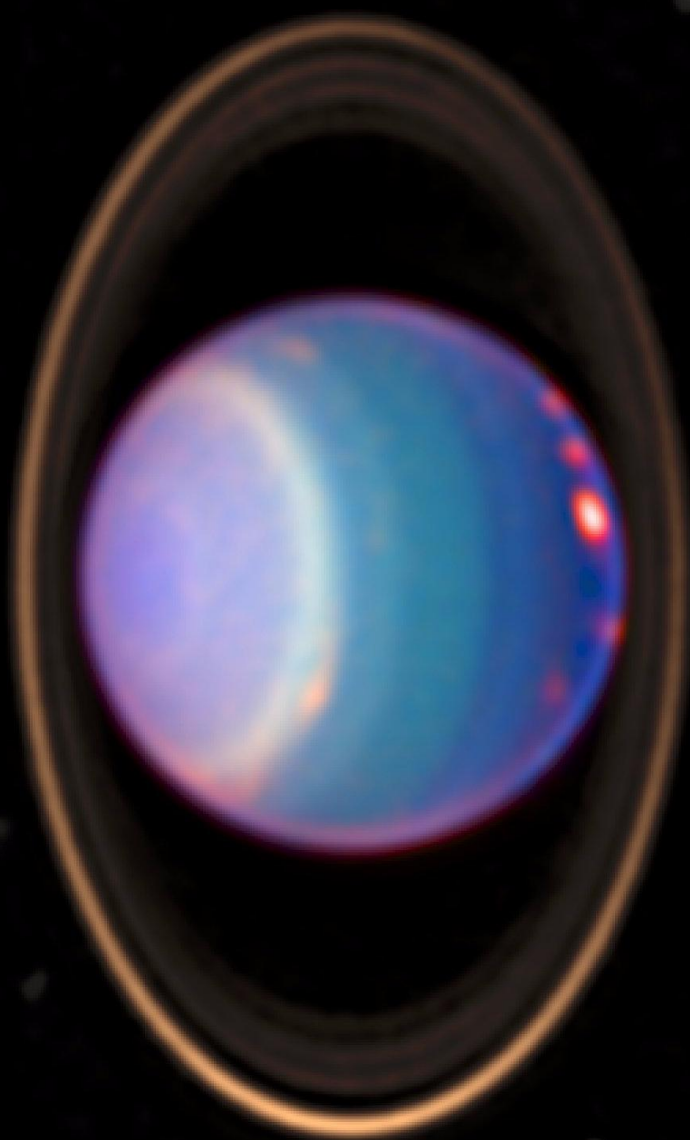
פובוס ודימוס

כוכב הלכת אוראנוס

כדור הארץ לילדים

משימת מסנג'ר למרקורי

בהירות הירח





אסטרונומיה

ביטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה

מצפה הכוכבים - גן העליה השניה

ת.ד. 149, גבעתיים 53101

טלפון: 03-7314345 TEL. פקס: 03-5214713

FAX עמותה מס': 58-004-867-6

אתר הבית: <http://www.astronomy.org.il>

ISRAELI ASTRONOMICAL
ASSOCIATION, THE GIVATAYIM
OBSERVATORY

P.O.BOX 149, GIVATAYIM, 53191

חברי המערכת

עורך
עורכת מדעית
יעוץ כללי
הגהה עימוד וסידור

יהודה סבדרמיש
ד"ר דיאנה לאופר
ד"ר יגאל פת-אל
גדי איידלהייט
רוזלינד איידלהייט

שער קדמי: אוראנוס כפי שצולם מטלסקופ החלל האבל
בשנת 2000 באור אינפרא-אדום. הירחים והטבעות
נראים היטב. קרדיט: NASA/JPL/STScI

שער אחורי: משימות במערכת השמש. עיבוד על ידי
Olaf Frohn, למשימות השונות במערכת השמש.
התמונה מותרת לשימוש תחת רשיון cc-by-nc-sa

מחבר	נושא	עמוד
	דבר העורך, דבר יו"ר האגודה	3
	הכנס השנתי של האגודה	4
	תמונות מליקוי הירח	5
יוסף פוקס – דברים לזכרו המשפחה		5
אריה מורג	מה באסטרונומיה	6
אריה מורג	המצפה האסטרונומי בליידן	8
חיים מזר	דרכם של הסינים לחלל	11
חיים מזר	פובוס ודימוס	12
בן קסטוריאנו	משימת מסנג'ר למרקורי	14
אריה מורג	שאלות ותשובות	18
חיים מזר	תמונות שדורשות הסבר	19
סטפן כהן	אסטרונומיה במזרח הקדום	20
מרים אוריאל	אוראנוס/אורון	27
דנה קוגמן	הפינה לילדים – כדור הארץ	32
גדי איידלהייט	בהירות הירח	34

לידיעת חברי האגודה, ולמתעניינים: - דמי המנוי לשנה - 150 ₪ בלבד, וכוללים: -
ארבע חוברות אסטרונומיה במחיר של 40 ₪ כל אחת חוברת אלמנך שנתית במחיר של 50 ₪
ובנוסף: - כ- 50 הרצאות שבועיות מדעיות במשך השנה חינם לחברי האגודה ובני משפחותיהם
(מחיר הרצאה לקהל הרחב 25 ₪ כל אחת)
ובנוסף: - הנחות ב: - קניית ציוד אסטרונומי, תצפיות, סופי שבוע, קורסים, ועוד ועוד.
אז למה לחכות?

פנו עוד היום לאגודה הישראלית לאסטרונומיה והיו מנויים

האגודה הישראלית לאסטרונומיה היא מלכ"ר (מוסד ללא כוונת רווח) שמטרתו להפיץ ידע אסטרונומי ברחבי הארץ. האגודה מופעלת ע"י מתנדבים. אתם מוזמנים לקחת חלק בפעילויות האגודה! מתנדבים מוזמנים לפנות לאהרון:

aron@astronomy.org.il

בעמוד המגזין באתר האגודה תמצאו קישורים ישירים ונוחים למקורות המופיעים במאמרים. כתובת העמוד: <http://goo.gl/tI6Wp> (במדויק, יש חשיבות לאותיות גדולות וקטנות), או סירקו את הקוד ישירות למכשיר שלכם:



בימי ג' (למעט בחורף) וה' בשעה 19:30 נערך במצפה הכוכבים בגבעתיים ערב קהל שכולל:

- הרצאה באסטרונומיה ברמה בסיסית
 - הדרכה בפלטורים – הדמיה של כיפת השמיים
 - תצפית בטלסקופים, במידה ומזג אוויר מאפשר זאת
- בנוסף, בימי ה' בלבד בשעה 21:30 מקיימת האגודה הרצאות של מרצים אורחים. לפרטים אודות ההרצאות יש להתעדכן באתר האגודה.

מחיר כניסה: 25 ש"ח מבוגר, 20 ש"ח ילד, 15 ש"ח חייל, סטודנט, פנסיונר. **כניסה חינם לחברי האגודה.**

דבר העורך

ובני משפחותיהם הקרובים. אני מקווה לראותכם גם באסיפה השנתית של האגודה. למרות השעה המאוחרת, ההשתתפות באסיפה חשובה מאחר וזה המקום לשמוע, להשמיע ולהשפיע על פעילות האגודה.

לקראת שנת השישים לפעולתה של האגודה אני מבקש מכל חברי האגודה לעקוב אחרי הפעילות הרבה שהאגודה מתכננת לעשות.

כאן במערכת, אנו מתכוננים להוציא ביטאון חגיגי ואני מבקש מכל מי שיש לו מה לספר ובעיקר מכל אותם הותיקים, חלוצי האסטרונומיה והאגודה, לבוא ולספר על אותם ימי הראשונים. וכמובן מאחל לכולם להיות גם בחגיגות המאה לאגודה.

אני מודה לכל אלה שעודדו אותי במלאכת העשייה ומתנצל בפני כל אותם הרבים שעזרו ולא הזכרתי אותם כאן.

כל טוב
סבדרמיש יהודה
עורך

דבר היו"ר - ד"ר יגאל פת אל

יוסף צור מקיבוץ שובל היה אחד החברים הותיקים יותר והפעילים באגודה. יוסף נפטר לאחרונה בגיל 85. יוסף צור עשה פעילויות רבות לנוער והוא זכור לותיקים כמשתתף שהיה יושב ומאייר בעיפרון את באי הכנס השנתי. בחודשים האחרונים ביקש להקים מרכז לילדים בקיבוץ שובל ופגשתי אותו לפני כחודש ימים בקשר לכך. הוא היה במלוא אוננו.

הכרתי אותו למעלה מ-30 שנה וזו אבדה גדולה.

יגאל

שנתיים חלפו מאז לקחתי על עצמי את תפקיד עריכת החוברת. אני שמח שעמדתי במשימה. ואכן, ארבע חוברות לשנה ס"ה שמונה חוברות. המלאכה לא הייתה קלה. באגודת מתנדבים כמו האגודה שלנו יש לכל אחד מה להגיד בכל נושא וכמובן גם בנושא הקרוב לליבנו- ביטאון האגודה. לכן לפעמים הייתי צריך למצוא את הדרך שתספק את כולם ולא תמיד זה היה אפשרי. לפעמים ההחלטות היו חייבות להתקבל גם אם הן לא היו מקובלות על כולם. מישהו היה צריך לחתוך וזה תפקידו של העורך, ואני מתנצל אם טעיתי בהחלטה כל שהיא. זה הזמן לנצל את הזדמנות להודות לאלה שהרבו במלאכה ואעשה זאת ולא על פי סדר החשיבות: לגדי איידלהייט שעמד על מלאכת העיצוב. למזר חיים שתמיד היה פורה ותמיד היו ברשותו שפע של מאמרים מעניינים ותמיד איתגר אותנו במדור-תמונות שדורשות הסבר.

לאריה מורג שלקח על עצמו מספר מדורים ועשה אותם על הצד הטוב ביותר. למדנו ממנו בכל חוברת על מיצפים חשובים בעולם, הוא ידע גם לספר לנו על חידושים באסטרונומיה, ובנוסף ענה לשאלות הקוראים.

למרים אוריאל שהשכילה אותנו בכל חוברת על סיפורי המיתולוגיה הקשורים לאסטרונומיה בכל העולם. לד"ר דיאנה שעמדה על משמר המדע ובחנה את המידע האסטרונומי שאועבר אליכם, הקוראים. לדנה קוגמן שהביאה לנו את מדורה הפינה הקטנה בעברית קלה לצעירים בינינו שיוכלו להיכנס ולהכיר את נפלאות האסטרונומיה. ולאלה רץ שהייתה תמיד לעזר להשלים ולכתוב. אל תשכחו שהמטלות האלה נעשו בהתנדבות ואני שמח על העזרה שהתקבלה לאורך כל השנתיים בהוצאת הביטאון.

ובחוברת זאת, בנוסף למדורים הקבועים והרגילים, אציין את מאמרו המעניין והמושקע של סטפן כהן – בין שני הנהרות שעוסק באסטרונומיה של המזרח הקדום. כמו כן את מאמרו של בן קסטריאנו על משימת מסנג'ר למרקורי. בגיליון גם מאמר פרידה מחבר אגודה יקר, יוסף פוקס, שהלך לעולמו

אני מקווה לראות את כולכם בכנס השנתי של האגודה שיהיה עם הרצאות רבות. הכניסה חינם לחברי אגודה

הכנס השנתי של האגודה הישראלית לאסטרונומיה

הכנס השנתי ה-59 יתקיים ביום שישי 20/1/2012 בין השעות 08:00-15:00 באשכול פיס אוהל-שם, רח' רוקח 118, רמת גן החניה חופשית הכנס פתוח לקהל הרחב

תוכנית הכנס

08:45 - 09:30 - התכנסות ורישום
09:30 - 09:40 - ברכות ודברי פתיחה. יו"ר האגודה, ד"ר יגאל פת-אל, יו"ר האגודה
09:40 - 10:30 - סופרנובות האנטי-חומר. פרופ' אבישי גל ים, מכון ויצמן למדע
10:30 - 11:00 - הפסקה וכיבוד קל
11:00 - 11:50 - מדוע אנו רואים את האיש בירח? פרופ' עודד אהרונסון, מכון ויצמן למדע
11:50 - 12:40 - היוצרות כוכבי לכת ענקיים. ד"ר רוית חלד, אוניברסיטת ת"א
12:50 - 13:40 - מערכות בינאריות - מעבדות קוסמיות לחוקי הכבידה. ד"ר יגאל פת-אל, יו"ר האגודה
13:40 - 14:15 - הפסקה וכיבוד קל + תצפית שמש בטלסקופ שמש (כפוף לתנאי מזג האוויר)
14:15 - 15:00 - המושב השנתי של האגודה הישראלית לאסטרונומיה, דיון בסעיפי תקנון ובחירת מוסדות האגודה

דמי השתתפות

לחברים חדשים ומצטרפים לשנת 2012	חינם
לחיילים ולילדים	30 ₪
לקהל הרחב	50 ₪
דמי חבר שנתיים לאגודה	150 ₪

מבחר תמונות מליקוי הירח המלא 10/12/2011



הירח לאחר תום השלב המלא. צילום: נדב רוטנברג



מחכים לליקוי, צילום: ד"ר דיאנה לאופר



הירח לקראת סוף הליקוי, צילום: גדי איידלהייט



ירח זורח בליקוי. צילום: נדב רוטנברג

יוסף פוקס 1899-1983 - יוזם ומקים מצפה הכוכבים בגבעתיים

כוכבים המשיכו להניע את התהליך ואת העושים לקידומו, והמייסדים תרמו לו רבות לא רק ממרצם ומזמנם אלא גם מממונם הפרטי. בתו של יוסף, אסתר, נזכרת כי כדי לחסוך בהוצאות הקמת המצפה, גם בביתם שלהם שוכנו לפעמים פועלים, עובדים ואומנים שונים שעסקו בהקמה. אחד הצוותים שהתגוררו בביתם באופן זמני היה זה שהקים את רצפת הפסיפס המתארת את 12 המזלות, ושנמצאת עד היום מתחת ל"מטוטלת פוקו" (Foucault Pendulum) בכניסה אל בניין המצפה (מטוטלת המדגימה וממחישה לצופיה הסבלניים, בעזרת אפקט קוריוליס, את עובדת היותו של כדור הארץ גוף הנמצא בתנועה סיבובית מתמדת סביב צירו). בניית מצפה הכוכבים הושלמה רשמית וחנכתו התרחשה רק בשנת 1968.

קבוצות הנוער שוחר האסטרונומיה התרבו ויוסף וחבריו הדריכו אותן ועשו עוד ועוד נפשות לנושא הזה, שהלך ותפס תאוצה. מדריכים נלהבים נוספים של החוגים הראשונים באותה תקופה כללו בין השאר את פרופ' שביב, יהודה גפן וגם בני-נוער מתנדבים, בוגרי החוגים האלה עצמם כגון ד"ר יגאל פתאל (מנהל המצפה כיום).

עם השנים, ספרייתו הפרטית של יוסף (שכללה ספרות מקצועית, כתבי-עת אסטרונומיים, ותיעוד מפורט של הכנסות והוצאות הקמת המצפה ותפעולו השוטף, כמו גם של אירועים אסטרונומיים צפויים או כאלה שכבר התרחשו) הועברה אל ארכיון המצפה ואיתה גם כל הטלסקופים שנבנו בידיו ובידי חובבים אחרים. מצפה הכוכבים הפך במרוצת השנים למקום פורח ועתיר-זכויות, הפועל במרץ לקידום הידע האסטרונומי, כמו גם קידום החיבה והמודעות בציבור לאסטרונומיה ולאסטרופיזיקה, וברמות שונות. למשפחתם של יוסף וחנה פוקס אין ספק כי הפעילות הרבה של האגודה הישראלית לאסטרונומיה ושל מצפה הכוכבים עצמו כיום הייתה ממלאת אותם גאוה רבה וסיפוק מאד גדול, אילו היו עדים לה כיום. המשפחה עצמה שמחה מאד להעלות את זכרם על הכתב, גאה עד מאד במורשתם ומקווה בכל מאודה שיהיה לה המשך שיאפיל על כל הישגיה עד היום.



יוסף פוקס ורעייתו חנה – התמונה באדיבות המשפחה

אינג' יוסף (ארנסט) פוקס נולד וגדל בעיר ברן (Brno) שבצ'כוסלובקיה. בעיר זו היה מצפה כוכבים עתיק ומסורת אסטרונומית ענפה שהעסיקה, בין השאר, גם את בני הנוער בעיר ותפסה מקום נכבד כתחביב פופולארי.

במלחמת העולם הראשונה גויס יוסף לצבא האוסטרו-הונגרי ונלחם במסגרת זו כחייל חי"ר כנגד הצבא האיטלקי, באזור הרי הדולומיטים, לחימה בה נפצע מכדור ברגלו וחולץ בעזרת חייל שנפצע בעיניו (כל אחד משניהם השלים את תפקודו הלקוי של רעהו וכך סייעו זה לזה להיחלץ בשלום). עם סיום המלחמה למד הנדסת חשמל בטכניון שבעירו ואף הועסק כמהנדס במפעל Škoda. במסגרת פעילותו כמדריך ספורט והתעמלות בתנועת הנוער הציונית Blau-Weiss ("כחול-לבן") הכיר את אשתו לעתיד, חנה (Frieda) שהייתה בין ראשוני הסטודנטים לעבודה סוציאלית בעולם וגם זכתה ללמוד בקורסים של זיגמונד פרויד בווינה בירת אוסטריה. לאחר הקמת משפחתם עלו לארץ בשנת 1934 עם בתם היחידה בת ה-5, אסתר, והשתקעו בשכונת בורוכוב (לימים, גבעתיים), בה פעלה חנה כגננת בפעוטון לילדים במהלך עשרות השנים הבאות.

במסגרת ההכנות לעליה לארץ קיבל יוסף את הרושם (המוטעה!) לפיו לא יהיה בארץ צורך במהנדסי חשמל אלא דווקא בפועלי בנין ולכן למד להיות רצף. הוא עסק במקצוע זה עם עלייתו ולאחר שבראות ברכיו נפגעה כתוצאה מכך, עבד גם כמקרין-סרטים במחנות הצבא הבריטי ולימים גם כמהנדס חשמל במכון התקנים.

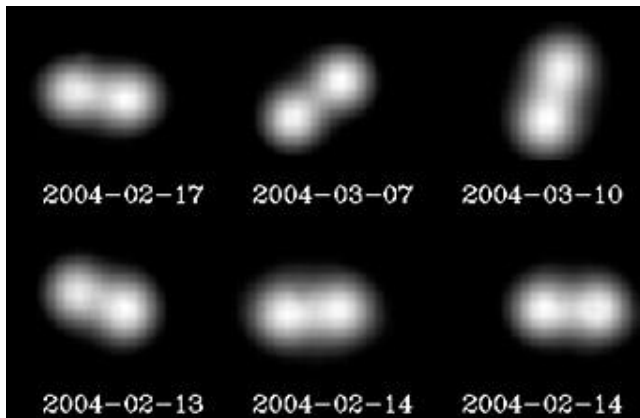
תחביב האסטרונומיה המשיך להיות רווח במשפחה ועם הקמת האגודה הישראלית לאסטרונומיה ע"י פרופסור זייצק (ידיד נעורים של יוסף עוד מצי"ה) - החלה האגודה בפעילות אינטנסיבית גם בגבעתיים. יוסף היה פעיל כמדריך בחוגי נוער ובעזרת חברים גם עסק בבניית טלסקופיים לחובבים. במקביל פעל ליצור עניין בעיריית גבעתיים בפרויקט הקמת מצפה הכוכבים הראשון בארץ, תוך ניצול אחת משתי הגבעות הנישאות של העיר (שנקראה אז על שם משפחת קוזלובסקי, משפחה שהקימה עליה את ביתה והמשק החקלאי שלה). הגבעה התאימה לצורך זה גם בגלל גובהה היחסי הרב וגם בגלל היותה מרוחקת, נכון לאותם ימים, ממקורות זיהום-אור. באותה תקופה הייתה תכנית להקים על גבעה זו מלון גדול, אולם עיריית גבעתיים (שהייתה אז עיר פועלים "אדומה") התלבטה מאד אם לתת את ידה למיזם "בורגני" כמו מלון שיזרים כספים בעיקר לידיים פרטיות. על רקע זה התאפשר לבסוף ליוסף לשכנע את העירייה לאמץ את פרויקט הקמת מצפה-הכוכבים הראשון, ונכון לאותה תקופה גם היחיד, בישראל. רק המימון הגיע במנות קטנות ובתדירות נמוכה מאד, ולכן הבניה התקדמה מאד בעצלתיים, ונמשכה מספר רב של שנים תוך הפסקות-בניה מרובות. עם זאת, שמחת העשייה והסיפוק שבהקמת פרויקט חשוב וייחודי כמו מצפה

מה באסטרונומיה

ק"מ האחד מהשני – מרכז למרכז – וסובבים האחד את השני כל 16.5 שעות. באמצע 2005 חלפו שני האסטרואידים האחד על-פני רעהו, מספר רב של פעמים, כפי שנצפה מכדור-הארץ.

אנטיופי הוא חלק ממשפחת האסטרואידים טמיס, אשר פירושו שהוא כנראה נוצר לאחר התפוררות עצם, הורה, הרבה יותר גדול. אך פיסיקאים של הפיסיקה הדינמית אינם יכולים, עדיין, להסביר מקור עצם בגודל זה, מהתנגשות כזאת.

אף לצופה אקראי, אירוע זה היה אירוע גדול – לראות כוכב נעלם באופן פתאומי ואז במפתיע מופיע שוב, שניות ספורות לאחר מכן, כאשר אסטרואיד עמום חולף לפניו, זה מראה מקפיץ אשר ייזכר לתמיד.



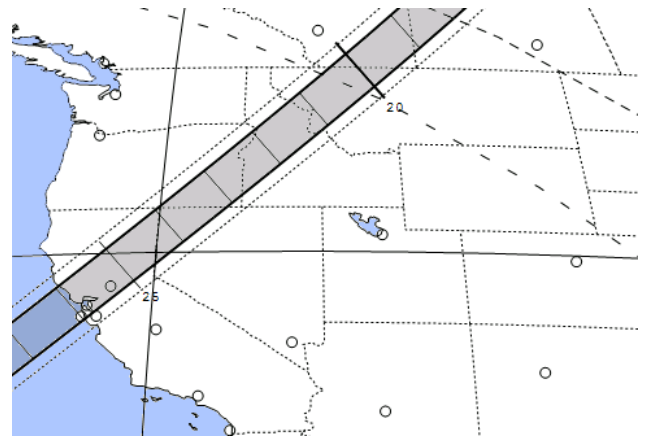
ב-2004 השתמשו אסטרונומים בטלסקופ הגדול בצ'ילה, לתעד את האסטרואיד הכפול אנטיופי 90. שני מרכיביו מרוחקים האחד מהשני 171 ק"מ וסובבים האחד את השני כל 16.5 שעות. קרדיט: המצפה האירופאי הדרומי.

מצפה הרשל (Herschel) מאתר אוקיינוסים של מים בדיסקת כוכבי-לכת חדשים

בהשתמשם בנתונים ממצפה הכוכבים הרשל, גילו אסטרונומים, לראשונה, אדי מים קרים העוטפים דיסקת אבק, סביב כוכב צעיר. הממצא מצביע על אפשרות כי דיסקה זאת, האמורה להפוך למערכת שמש, מכילה כמויות גדולות של מים, ומניח כי כוכבי-לכת המכוסים מים, דוגמת כדור-הארץ, עשויים להיות נפוצים ביקום. מצפה הרשל הוא במשימה של סוכנות החלל האירופאית ותרומה חיונית של נאס"א.

מדענים מצאו, לאחרונה, אדי מים חמים בדיסקת היווצרות כוכבי-לכת, בקרבת כוכב. עדויות לכמויות גדולות של מים המתפרצים החוצה מהדיסקה אל איזוריה הקרים יותר, באזור בו נוצרים שביטים, לא נצפו עד-כה. ככל שכמות המים הזמינים בדיסקאות היווצרות שביטים המכילים קרח גדול יותר, גדל הסיכוי לכמות מים גדולה שתגיע אל כוכבי הלכת, במהלך התנגשות.

ליקוי נדיר על-ידי אסטרואיד כפול



נתיב הליקוי של אסטרואיד אנטיופי (Antiope) על כוכב, "חותך" נתח רחב על-פני מערב ומרכז קנדה.

קרדיט: David Dunham / IOTA

ב-19 ביולי השנה, הייתה אפשרות לצפות בליקוי נדיר על-ידי שני אסטרואידים בינאריים – 90 אנטיופי (Antiope). הליקוי כיסה מסלול ברוחב כ-200 ק"מ, ופילח את מרכז מדינת ססקצ'ואן (Saskatchewan) מצפון-מזרח לדרום-מערב, דרום-מזרח אלברטה (Alberta), מערב איידהו ומונטנה, צפון נבדה ומרכז קליפורניה.

הליקוי מערב כוכב בהיר, יחסית, : בהירות 6.7, L/Q/ Aquarii (המצוין במגוון מספרים SAO, ZC 3339, 165285 ו- HIP 112420). הכוכב ממוקם במרכז מזל דלי וניתן לצפייה במשקפת או טלסקופ קטן. אך, הבידוד היחסי של כוכב זה יחד עם ירח בולט, המרוחק ממנו פחות מ- 10° מצביע על הצורך במפת זיהוי טובה. עם טלסקופ בקוטר של 8" או יותר ניתן היה אף לאתר את האסטרואיד, בעל בהירות 12.

מומחי הליקויים כל-כך התלהבו מאירוע זה עד כי האגודה הבינלאומית לתיעוד ליקויים ציינו את המועד והמיקום השנתי שלו, לקביעת מפגשי צופים לאורך מסלולו. 90 תחנות תצפית תוכננו לצפות בליקוי, לאורך הנתיב המוצל הצפוי, באורך 450 ק"מ.

בהתאם להערכתו של נשיא IOTA, רוב הצופים לאורך המסלול יראו את הכוכב מכוסה רק באחד ממרכיבי צמד האסטרואידים אטיופי, אשר יימשך עד 30 שניות. עם-זאת, יוצר איזור ברוחב 30 ק"מ במרכז במסלול, בו שני האסטרואידים הבינאריים ילקו את הכוכב.

על-אף שידועים כיום יותר מ-200 אסטרואידים כפולים – עובדה מדהימה בפני עצמה, אשר בעבר לעגו לה – אנטיופי מיוחד היות ושני מרכיביו הם כמעט זהים בגודל, כ-90 ק"מ בקוטר. הם מרוחקים כ-170

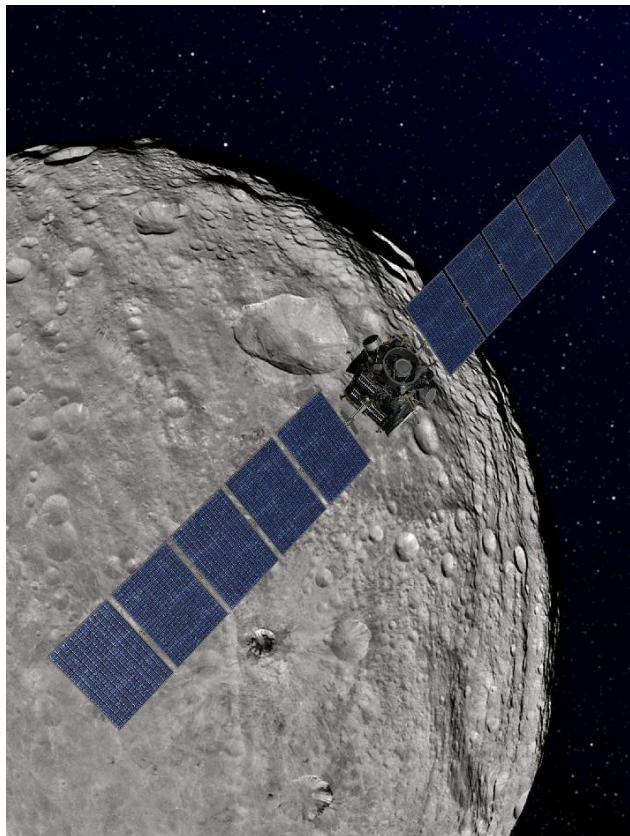
קרס (Ceres) ו-ווסטה (Vesta) ב-2011

ווסטה וקרס, שני האסטרואידים הבהירים ביותר, במצב רגיל ונורמלי, רחוקים מאד האחד מהשני בשמים. אך ווסטה המהיר, עם זמן מחזור של 3.6 שנים, מדביק את קרס, האיטי, עם זמן מחזור של 4.6 שנים. קרס הינו פלנטה ננסית בחגורת האסטרואידים.

השנה (2011), ווסטה נמצא בקבוצת גדי, כאשר קרס נמצא 11/2 מערכות כוכבים, מזרח, בגבול שבין קבוצת דלי לבין קבוצת לווייתן. ב-2012 הם יהיו זה בצד זה, בקבוצת שור.

ווסטה חלפה באזור הניגוד, ב-6 באוגוסט: קרס יעשה זאת ב-16 בספטמבר. זה קורה כאשר כל-אחד מהם נמצא בקרבה ובהירות מכסימלית, הם זורחים במהלך השקיעה ומטפסים לרום השמים באמצע הלילה.

זאת התגלות יוצאת מן הכלל של ווסטה, אשר היה בבהירות 5.6 בעת הניגוד – בהירות מרבית אליה הוא יכול להגיע. זאת גם שנה מפורסמת לווסטה היות וחללית נאס"א שחר (Dawn) הגיעה למסלול סביב ווסטה ביולי והחלה במיפוי ברזולוציה גבוהה, באוגוסט.



חללית "שחר" על רקע צילום שלה של ווסטה. מקור: NASA/JPL-Caltech

התצפיות אישרו הימצאות כמויות אדירות של אדי מים בדיסקאות היכולות למלא אלפי אוקיינוסים דוגמת אלה שעל כדור-הארץ. ממצאים אלה פורסמו ע"י האסטרונום מיכאל הוגרהייד (Michiel Hogerheijde) ממצפה לייזר (Leiden Observatory), בעיתון מדע מ-21 באוקטובר, (2011) Science 6054, 338.

הכוכב עם דיסקת המים, המכונה TW Hydrae, הוא בן 10 מיליון שנים וממוקם כ-175 שנות-אור מכדור-הארץ, בקבוצת הכוכבים הידרה. אדי המים הקרים, המעורפלים, אשר אותרו על-ידי הוגרהייד וקבוצתו, מקורם – כך העריכו – מגרעיני אבק מכוסים בקרח, בקרבת שטח הפנים החיצוני של הדיסקה. אור אולטרא-סגול מהכוכב גורם למולקולות המים לפרוץ מתוך הקרח, תוך יצירת שכבה דקה של גז עם חתימת אור בתדירויות האינפרא-אדום הארוך, המתגלה על-ידי מכשיריו של הטלסקופ הרשל. "אלה הם התצפיות הכי רגישות, כיום, ומהוות תעודת כבוד לבוני המכשירים, שאיתותים כה חלשים ניתנים לאיתור" אומר מדען נאס"א פול גולדסמידט (Paul Goldsmith).

TW Hydrae הינו כוכב מסוג ננס כתום, קטן וקר יותר מהשמש במסה $0.6 M_{\text{SUN}}$. הדיסקה הענקית של חומר הסובבת את הכוכב היא בגודל פי 200, לערך, מאשר המרחק בין כדור-הארץ לשמש. במהלך מספר מיליוני שנים – מאמינים האסטרונומים – החומר בתוך הדיסקה יתנגש לגדול וייצור פלנטות, אסטרואידים ועצמים קוסמיים נוספים. חלקיקי אבק וקרח יתקבצו ליצור שביטים. עם התפתחות מערכת השמש החדשה, שביטים קרחיים, כנראה, יעבירו את רוב המים שהם מכילים לעצמים החדשים שנוצרו, בעת התנגשויות, עד להופעת אוקיינוסים. אסטרונומים מאמינים כי TW Hydrae ודיסקתו הקרחית, מייצגים מערכות חדשות רבות של כוכבים צעירים, ומבהירים הבהרה עדכנית כיצד פלנטות עם שפע של מים יכולות להיווצר במרחבי הייקום.

הרשל הינו אבן פינה למשימה של סוכנות החלל האירופאית, אשר שוגר לחלל ב-2009, נושא מכשור מדעי שנתרם על-ידי קונסורציום של מוסדות אירופאים רבים. המעבדה המרכזית של נאס"א למשימת הרשל תרמה שניים מתוך שלושת המכשירים המדעיים של הרשל.

המצפה האסטרונומי בליידן – אריה מורג



פרדריק קייזר. מקור ויקיפדיה

קייסר הכין סדרה של שרטוטים של מאדים ב-1862 והגדיר – די במדויק – את משך ההקפה שלו. מכתשים על מאדים ועל הירח נקראים על שמו וכן, האסטרונום קייסר 1694.

כבר בשלהי המאה ה-19 ותחילתה של המאה ה-20, ליידן היה מקום עבודה מלהיב, בצד פיסיקאים ידועים רבים כמו ה.א. לורנץ (H.A. Lorentz), פ. זימן (P. Zeeman), פ. ארנפסט (P. Ehrenfest), ו-ה. קמרלינג אונס (H. Kamerlingh Onnes).

בשנת 1919 התמנה כמנהל המצפה וו. דה סיטר (W. de Sitter). הוא הוסיף חטיבה חדשה לאסטרו-פיסיקה (ספקטרוסקופיה ופוטומטריה של כוכבים) וחטיבה תיאורטית לאגף הקיים לאסטרו-מטריה. דה סיטר עצמו היה ראש החטיבה התיאורטית ובין היתר עבד עם איינשטיין על ההשלכות של תורת היחסות הכללית. ראש החטיבה לאסטרו-פיסיקה ויורשו וממשיך דרכו של דה סיטר כמנהל המצפה היה ה. הרצשפרונג (E. Hertzsprung), הידוע כממציא של דיאגרמות סיווג הכוכבים הרצשפרונג-ראסל (Hertzsprung-Russell) - כלי עבודה הנמצא בשימוש נרחב עד עצם היום הזה.

בשנת 1924 הביא דה סיטר לליידן את מי שעתיד להיות האסטרונום הידוע ביותר שניהל אותו – ג'י. ה. אורט (J.H. Oort). אורט חקר את תנועת הכוכבים בקרבת השמש וגילה את סיבוב הגלקסיה שלנו. ב-1945 ירש אורט את הרצשפרונג כמנהל המצפה ונותר בתפקיד זה עד לפרישתו, בשנת 1970. אסטרונומים מעטים תרמו

היסטוריה

אוניברסיטת ליידן הינה האוניברסיטה העתיקה ביותר בהולנד. בשנת 1574, החל הנסיך וויליאם (Prince William of Orange) בצעדים הראשונים ליסוד האוניברסיטה, גמול לעיר על עמידתה האמיצה בפני הכיתור הספרדי. האוניברסיטה נוסדה ב-8 פברואר 1575. במהלך מאות השנים מאז יסודה, תלמידים ומדענים מפורסמים רבים הביאו פרסום וכבוד לאוניברסיטת ליידן. לאסטרונומיה בליידן יש מסורת ארוכה. בשנת 1633 האוניברסיטה של ליידן ייסדה מצפה אסטרונומי לביצוע מחקרים בתחום שבירה של קרני אור. שנת יסוד זאת הופכת את המצפה באוניברסיטת ליידן למצפה העתיק ביותר בעולם, אשר עדיין פועל (בהולנדית מכונה המצפה Sterrewacht Leiden). בשתי מאות השנים הראשונות לפעילותו, שימש המצפה למטרות לימוד בלבד. הבניה של מצפה חדש ומרווח ב-1861, מציינת את תחילתו של העידן המודרני של מחקר אסטרונומי במשך למעלה ממאה שנים, אשר עדיין יש לו ערך סימבולי.



המצפה הישן בליידן. מקור: ויקיפדיה Public Domain

מנהל המצפה בליידן, משנת 1838 ועד למותו היה האסטרונום הולנדי פרדריק קייסר (Frederik Kaiser) (10 יוני 1808 – 28 יולי 1872). לזכותו נזקפת פעילות לפיתוח תחום האסטרונומיה בהולנד, באמצעות תרומתו המדעית הקשורה במדידות מיקום עצמים ביקום – נושא שהביא לו פופולריות מרובה בתחום האסטרונומיה בהולנד – ועזרתו להקמת מצפה כוכבים, ב-1861, המפותח והעדכני ביותר, באותה תקופה (כיום הוא ידוע כ"מצפה הישן").

פרסומים מדעיים אשר פורסמו לאחרונה על-ידי אסטרונומים מליידן

1. המודל התיאורטי / מתמטי של הגז בדיסקה של HD 163296.
2. GJ1214b: עולם מיימי או מיני נפטון?
3. הגברת היווצרות מים בגרגרי אבק, באמצעות כימיה של קרני X, בסביבה חשופה.
4. חקר תנועתם והמבנה הגלובלי של הילה כוכבית בעזרת סימולציה הידרו-דינמית.
5. ההשפעה של התפתחות גלקסיה ביקום, על הסביבה: פונקצית מסת הכוכבים בגלקסיה בבחינה בקרני X.
6. מדוע כה נדירים שרידי קרינת רדיו?
7. כמה שרידי קרינת רדיו ממתינים עדיין לגילוי?
8. מחקר ראשוני באינפרא-אדום של הסביבה הקרובה להתפרצות ממושכת של קרינת גמא.
9. הימצאות מים בעת היווצרות כוכב באזור טלסקופ הרשל: פליטה מולקולרית מהכוכב NGC 1333 IRAS 4B.
10. ההתפתחות של צביר כוכבים קבוע.
11. פליטה של מים מהזרימה העשירה, כימית, של L1157.
12. צבעי אינפרא-אדום קרוב ומרכז של כוכבים מפותחים במישור הגלקטי: הפרמטרים Q1 ו-Q2.
13. תצפיות על SN2011 dh: צילום סופרנובה הרדיו הצעירה ביותר.
14. יצירת מודל לתצפיות על גז חם הנפלט מכוכב-אב בעל מסה נמוכה.
15. ההשפעה של שכירות עיוותים אטמוספיריים מרחביים על מדידות תצפיתיות.
16. ההשפעה של המערך והאליפטיות על יצירת צבירי גלקסיות.

פרויקטים עיקריים ושיתופי פעולה

הרשימה הבאה מספקת סקירה של פעילויות שונות, כולל קישורים לאינפורמציה מפורטת יותר.

אלמה ALMA

המערך המילימטרי / תת-מילימטרי, אטקמה (Atacama Large Millimeter Array/Submillimeter Array) הינו שיתוף פעולה עולמי בין אירופה, צפון אמריקה ומזרח אסיה, לבניית רדיו טלסקופ אשר יפעל באורכי גל מילימטריים / תת-מילימטריים (van Dishoeck/ Hogerheijde).

אפקס APEX

אפקס ("Atacama Pathfinder Experiment") הינו רדיו טלסקופ בקוטר 12 מטרים באתר הכי זמין

כה הרבה, בתחומים רבים כל-כך, דוגמת אורט. תחום ההתעניינות הרחב שלו – משביטים- ענן אורט סביב מערכת השמש שלנו, לכוכבים, גלקסיות (הקבוע של אורט), צבירים וניתוח היקום בקנה מידה רחב.



יאן אורט. מקור: אתר מצפה ליידן

בשנת 1944 הוא עודד סטודנט מאוטרקט, ה. סי. ואן דה הולסט (H.C. van de Hulst) לחשב האם מימן ניטראלי יכול להפיק קרינה הניתנת לתצפית. ואן דה הולסט גילה את האסטרונומיה של קרינת הרדיו הספקטראלי, אשר מאוחר יותר אומתה גם בהרווארד ב-1951 וגם בסידני, על-ידי פאסיי (Pawsey).

ואן דה הולסט הפך מאוחר יותר לפרופסור בליידן, שם עבד על תחום רחב של בעיות בקשר עם אבק בין-כוכבי ותכונות מעבר של קרינה. אורט היה גם אחד מהאבות המייסדים של המצפה האירופאי הדרומי (European Southern Observatory), אשר נוסד בשנת 1962. שלושת מנהלי המצפה אשר כיהנו לאחרונה הם הפרופסורים: א. בלאו (A. Blaauw), ל. וולטייר (L. Woltjer) ו-ה. ואן דר לאאן (H. Van der Laan), והמנהל הנוכחי טים דה זאהו (Tim de Zeeuw).

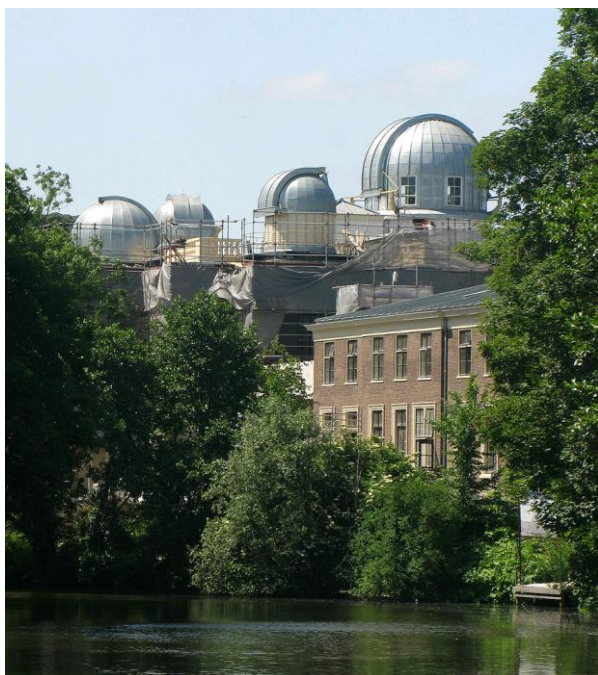
בשנת 1974, מצפה ליידן עבר מהמבנה הקיסרי הישן לבניין מעבדות הויגנס (Huygens) ולאחרונה הוא עבר למבנה החדש על-שם ג'י.ה. אורט (J.H. Ort). כעת מתנהלת האסטרונומיה באמצעים חדישים והמכון הפך גדול ומפותח מאי-פעם ועדיין עומד בחזית המחקר האסטרונומי.

שרת החינוך והמדע, זילסטר (Zijlstra) חונכת את מצפה לייזן המשוף

ב-26 באוקטובר, שרת החינוך והמדע בממשלת הולנד, חנכה, מחדש, את המצפה בן 150 שנה בלייזן, המשוף. המצפה המשוקם נפתח לסוירים מודרכים בסוף אוקטובר. ביום המדע (30 אוקטובר) היה המצפה האקדמי העתיק ביותר אשר עדיין פועל, פתוח לקהל הרחב.

המצפה המשוקם זכה השנה בפרס הארכיטקטורה בלייזן. מומחים רבים עמלו על שיחזור ושיקום המבנה, למצבו האורגינלי, תוך תשומת לב לפרטים. הכיפות והטלסקופים עובדים, שוב. המצפה ישמש גם כאולם לימוד והדרכה. במרכז המבקרים החדש, אשר נבנה במרתף המבנה, תוכן תערוכה קבועה על ההיסטוריה של המבנה וההתפתחויות האסטרונומיות, בלייזן.

ספריית האוניברסיטה תפרסם בקרוב 800 תמונות דיגיטליות, משנת 1908. אלבום תמונות זה נמסר להנדריק ואן דה סנדה בקהויזן (Hendrik van de Sande Bakhuyzen), כאשר התמנה למנהל-פרופסור של המצפה. שיקום המצפה החל בשנת 2099, נמשך שנתיים וחצי ועלה 15 מיליון יורו. הארכיטקטורה של כיפות המצפה שאבו השראה מהמצפה האסטרונומי בסנט פטרסבורג.



המצפה הישן בלייזן לאחר עבודות השחזור. באדיבות Erik Zachte (ויקיפדיה)

האוניברסיטה של לייזן חייבת את הקמת המצפה לפרופסור לאסטרונומיה האמביציוזי, פרדריק קייסר (Frederik Kaiser). האדריכל הנרי קמפ (Henri F.G.N. Camp) תכנן את המבנה בסגנון ניאו-קלאסי, בהשראת המצפה המפורסם אשר בסנט פטרסבורג. ההקמה החלה בשנת 1858 ואז אף הוקמו על הגג, שתי כיפות. יתר הכיפות הוספו לאחר מיכן.

לתצפיות באורכי-גל תת-מילימטריים, במדבר אטקמה בצ'ילה, באתר Llano de Chajnantor (Hogerheijde).

אסיסט ASSIST

ASSIST הינו מערך משני – שולחן בדיקה – למכשירים ומערכים אופטיים, ומראות.

גאיה GAIA

גאיה, הינה משימה שאפתנית של סוכנות החלל האירופאית אשר מטרתה לייצר מפה תלת-מימדית של שביל החלב, על-ידי מדידה מדויקת של המיקום, הפרלקסה והתנועה המדויקת והשלמת נתונים של פוטו-מטריה ומהירויות רדיאליות, של כלל הכוכבים בבהירות גבוהה יותר מ-20 (למידע נוסף here ו-here).

לופאר LOFAR

LOFAR הינו רדיו טלסקופ מהפכני, אשר יצפה בתדרי רדיו נמוכים מאד. הוא יכלול 40 שדות אנטנות, ממוקמות בצפונה של הולנד ובעוד 8 מדינות שכנות.

מיקדו MICADO

מיקדו הינה מצלמה לתצפיות ביקום העמוק, מיועדת לצלם - מבעד פילטרים - בתדירויות האור האינפרא-אדום הקרוב, בפס צר ורחב, שדה ברוחב של כ-30" ושבירה מוגבלת (Kuijken).

מירי MIRI

MIRI הינו מכשיר לאינפרא-אדום בינוני, המורכב על טלסקופ החלל ג'יימס ווב (James-Webb Space Telescope), היורש וממשיך דרכו של טלסקופ החלל האבל, מיועד להיות משוגר לחלל ב-2014. העבודה על החומרה הסתיימה ובקרוב היא תעבור ניסויים סופיים ואיפיון ביצועים, לפני שהיא מועברת לנאס"א.

גשש שוליים FRINGE TRACKER

תכנון אב-טיפוס (ובתקווה להיות שותפים בייצור השוטף) של גשש שוליים אשר יאפשר לטלסקופ החלל האירופאי לאתר מקורות אור עמומים פי 30 פחות לעומת כושר המכשור העכשווי. (Jaffe)

ספירה SPHERE

SPHERE הינו מכשיר ספקטרו-פולרימטר, למחקר כוכבי-לכת חיצוניים, מיועד עבור טלסקופ החלל האירופאי, ומטרתו העיקרית לאתר ולחקור כוכבי-לכת חיצוניים חדשים, ענקיים, הסובבים סביב כוכבים, על-ידי חקר סביבתם הקרובה.

דרכם של הסינים לירח – חיים מזר

צ'אנג 1

צ'אנג 1 היא החללית הראשונה ששוגרה לירח. הסינים לא פיתחו קונצפט חדש השונה מלוויינים ששיגרו עד כה לפעילות בסביבת כדור הארץ. חללית הירח מבוססת על לוויין התקשורת שלהם דונגפנגהונג 3 והתאימו אותו למשימה הירחית. משקלו 2350 ק"ג ומשקל הציוד המדעי 130 ק"ג אשר כלל מצלמת טלוויזיה, גלאי חלקיקים עתירי אנרגיה, מד גובה מבוסס לייזר וגלאי גלי מיקרו(4). החללית שוגרה ב-24.10.2007 ונכנסה למסלול ירחי ב-5.11. לשם השוואה חלליות רוסיות ואמריקאיות הגיעו לירח תוך יומיים וחצי. פער זה נובע מכך שלסינים אין עדיין רכבי שיגור רבי עוצמה המאפשרים שיגור ישיר לעבר הירח. מה שהסינים עשו הוא הכנסת החללית למסלול סביב כדור הארץ והגבהת האפוגאה של מסלול הטיסה בצורה תוספתית, כך שבנקודת האפוגאה המקסימלית היא נכנסת למסלול סביב הירח. זה מסביר את משקלה הגדול של החללית. לחללית הייתה דרושה כמות גדולה של דלק לביצוע תיקוני המסלול הרבים בדרכה לירח. החללית סיימה את משימתה ב-1.3.2008 עם ריסוקה על קרקע הירח. גם כאן במהלך טיסתה סביב הירח בוצעו תמרונים שונים שהביאו אותה עד למרחק של 100 ק"מ מהקרקע.

מטרות הטיסה כללו מיפוי מלא ותלת מימדי של הירח ברזולוציה של 3 קילומטר לפיקסל. מיפוי זה יישמש לנחיתות עתידיות. על פיו יבחרו אתרי נחיתה(5). בנוסף לכך החללית בדקה נפיצות של יסודות שיכול להיות להם שימוש עתידי והכוונה לכריית מחצבים חיוניים להקמת בסיס ירחי, בדיקת גלי מיקרו של הירח, להעריך את עובי הקרקע וניטור הסביבה שבין הירח לכדור הארץ(6). תוכנית העבודה הייתה שנה אחת. מכיוון שהשיגור היה מוצלח, נחסך דלק רב ואפשר היה להאריך את משך הפעולה ב-4 חודשים נוספים.

צ'אנג 2

צ'אנג 2 היתה במקורה חללית גיבוי לצ'אנג 1. לאור הצלחתה של צ'אנג 1 היא עברה שדרוג לקראת שיגורה. כך למשל המצלמה המוצבת בה היא בעלת רזולוציה גדולה יותר מזו של קודמתה. החללית שוגרה ב-1.10.2010 והגיעה לירח ב-5.10, מה שאומר שהיא ביצעה פחות תמרוני מסלול מאשר צ'אנג 1. לחללית תוכננו ניסויים החיוניים לנחיתה עתידית על הירח. החללית הוכנסה למסלול ירחי שמרחקו מהקרקע 100 ק"מ ולאחר מכן המסלול הוקטן עד למרחק של 15 ק"מ מהקרקע(7). לשם השוואה החללית אפולו 10 שהייתה השלב האחרון לפני נחיתה אפולו 11 על הירח, במהלך פעילותה הירחית נעה כל הזמן סביבו. באחד השלבים הנחתת ניתקה עצמה מהחללית, ירדה עד לגובה של 15 ק"מ מהקרקע ושבה לחללית האם.

בשנת 2000 החלו מדענים סיניים בדיונים ראשוניים לקראת שיגור חלליות לירח. אלה היו דיונים תיאורטיים ללא שום מימון כל שהוא שנועדו להציב מטרות ארוכות טווח אשר יעדן הסופי הוא הקמת בסיס מאויש על הירח. במסגרת דיונים אלה הוצג גם לוח זמנים ועל פיו בשנת 2005 אסטרונאוטים סיניים יתחילו לנחות על הירח. יוקם בסיס ראשוני שיבנה על בסיס תפישה מודולרית אשר יכלול גם רכבי שטח. בשנת 2010 תושלם הקמתו של הבסיס והוא יאפשר שהייה של מספר שבועות במקום. בשנת 2015 יוחל בהקמת בסיס קטן לפעילות קבע ובשנת 2020 תושלם הקמת הבסיס. אחת המטרות השאפתניות של הסינים הייתה שבסיס זה יישמש ראש גשר להקמת תחנת כוח לייצור חשמל על בסיס סולרי וכי אנרגיה זו תשוגר לכדור הארץ באמצעות גלי מיקרו. בבסיס זה יעבדו את קרקע הירח לייצור מתכות לצריכה מקומית על הירח(1).

במבט לאחור תוכנית כזו נראית יומרנית מאוד מכיוון שלא היו עדיין ברשותם רכבי שיגור חזקים המאפשרים שיגור מטענים במשקל עשרות טונות לחלל, לא נעשה שום שיגור מאויש ולא שוגר שום רכב לא מאויש לירח. נראה שתוכנית זו הייתה ביסודה הצהרת כוונות שבאה להראות להיכן חותרת מדיניות החלל הסינית. ואמנם בכתב עת סיני לנושאי תעופה וחלל ב-2001 הוצגה תוכנית צנועה יותר ועם זאת ברת ביצוע בטווח השנים הקרוב. תוכנית זו בנויה על 4 שלבים. על פי תוכנית זו, עד 2005 תשוגרנה חלליות שתחלופנה ליד הירח או שתיכנסנה למסלול סביבו. בשלב השני עד 2010 תבוצענה נחיתות לא מאוישות על קרקע הירח. בשלב השלישי עד 2020 יונחתו על קרקע הירח רכבי שטח לא מאוישים. בשלב הרביעי עד 2030 יובאו ארצה מדגמי קרקע באמצעות חלליות לא מאוישות ורק לאחר 2030 יתחילו בטיסות מאוישות והקמת בסיס על פניו(1).

מאחר שהסינים נכנסו לתוכנית חלל ירחית עשרות שנים לאחר פעילויות נמרצות של האמריקאים והרוסים בתחום זה, הם נזקקו לשיתוף פעולה עם הרוסים, שהיה בעיקרו במסגרת מה שאפשר לכנות כעזרה וייעוץ לאור ניסיונם הרב של הרוסים, אם כי היו גם דיונים לגבי שיתוף פעולה עמוק יותר כדוגמת השיגור שנעשה בשבועות האחרונים, הגם שהוא נכשל, למאדים אשר כלל חללית סינית שאמורה הייתה להיכנס למסלול סביב כוכב הלכת (2,3).

אותה תוכנית צנועה עברה לא מעט שינויים, כנראה בהתחשב ביעוץ הרוסי שקיבלו וההתקדמות המהירה בתוכנית העבודה שלהם, עד 2017 מיועדות לפעול בסביבת הירח ועל קרקעיתו 5 חלליות. חלליות אלו קיבלו את השם צ'אנג על שמה של נסיכה מיתולוגית שטסה לירח. עד היום שוגרו שתי חלליות ושתייהן הוכנסו למסלול סביב הירח והן צ'אנג 1 וצ'אנג 2.

היא לחקור את הגיאולוגיה של הירח ובדיקת הרכב הקרקע כדי למצוא מחצבים שניתן יהיה לעשות בהם שימוש(10,11), מה שאומר שהרכב יהיה מצויד בזרוע עם מחפר שתאסוף דוגמאות ותכניס אותם לבדיקה בתוך מעבדה ברכב עצמו. דומים להם היו רכביים שהיו בנחתות האמריקאיות וויקינג 1, וויקינג 2 והפניקס שפעלו על המאדים. כן מצויד הרכב במה שהסינים מגדירים כ"רדאר לחקר הירח" המסוגל לחדור לתוך הקרקע ולקבל מידע ביחס לצפיפות הרגולית(12).

צ'אנג 4, צ'אנג 5

צ'אנג 4 מיועדת גם היא לנחיתה ומצוידת גם כן ברכב בשטח. תאריך שיגור לא לפני 2014. צ'אנג 5 מיועדת להחזיר ארצה מדגמי קרקע ומועד השיגור 2017 (12).

לשם השוואה בשנות ה-60 של המאה ה-20 בזמן המירוץ לירח בין ארה"ב ובריה"מ, השיגורים לירח היו צפופים מאוד. מספר שיגורים בשנה. הסינים עובדים בקצב איטי יותר. שיגור אחד, אחת למספר שנים. אין לשכוח שהסינים אינם נמצאים בתחרות עם מדינות אחרות, מי תהיה ראשונה על הירח. הם יכולים על כן לעבוד בלי לחץ של זמן ולהגיע בצורה אופטימלית למטרות אליהן הם חותרים. אין גם לשכוח שנחיתה מאוישת על הירח לא נראית באופק והם אומרים זאת בצורה מפורשת.

הרזולוציה של המצלמה שלה היא 7 מטר לפיקסל ובמרחק המינימלי מהקרקע הרזולוציה גדולה יותר, 1 מטר לפיקסל. צילומים ברזולוציות כה גדולות חיוניים לבחירת אתר נחיתה מתאים. חיוני שהקרקע תהיה מישורית או כמעט מישורית. מטרה חשובה נוספת היא מיפוי הליום 3 בקרקע הירח. איזוטופ זה חיוני מאוד כמקור אנרגיה והרושם המתקבל הוא שהסינים מתכוונים בטווח הארוך לכרות אותו מהקרקע, לאחסנו, להביאו לכדור הארץ ולהשתמש בו. סביר על כן להניח שהכוונה היא להשתמש בו גם בבסיס מאויש שיוקם על הירח(8).

תוכנית העבודה של החללית הייתה לחצי שנה. מכיוון שנשאר במיכליה מספיק דלק הוטלו עליה משימות נוספות. שתיים מהן קשורות לירח. משימה אחת הייתה צילום הקטבים של הירח והשנייה ירידה נוספת למרחק של 15 ק"מ מהקרקע כדי לבצע סדרת צילומים נוספת ברזולוציה גדולה של סינוס אירידוס, מקום המיועד לנחיתות עתידיות. המשימה השלישית היא יעד חדש לחלוטין. החללית הוצאה ממסלולה הירחי והוכנסה למסלול סביב כדור הארץ שמרחקו מהקרקע 1.5 מיליון ק"מ. אתגר לא קטן שמחייב מבחן בקרת ומדידת מסלול, טלקומוניקציה והעברת מידע(9).

צ'אנג 3

חללית שמיועדת לנחות על הירח ב-2013 וכוללת גם רכב שטח. מקום הנחיתה הוא סינוס אירידוס. הכוונה

פובוס ודימוס סיכום ממצאים – חיים מזר

חללית זו חלפה במרחק 100 ק"מ ממנו, היא שידרה ארצה צילומים ברזולוציה של 3.7 מטר לפיקסל(1).

מדידות שנעשו על ידי המרס אקספרס הראו שהצפיפות שלו היא 1.86 גרם/סמ"ק, צפיפות הנמוכה מזו של מטאורים והמשמעות היא שהירח הוא ספוגי עם חללים בשיעור של 40%-25% מנפחו הכולל (2). בהקשר זה ראוי לציין שכבר ב-1960 האסטרונאוטים שקולובסקי וקרל סגן העלו סברה שפובוס הוא גוף חלול(3).

פובוס מחזיר 5-7% מאור השמש הפוגע בו וצבעו הוא אדום(4). המכתש הגדול של הירח, סטיקני, זרוע במכתשים רבים, רובם בסדר גודל של עשרות ומאות מטרים. קטע מהשפה שלו הוא כחול(5). מספר המכתשים שקוטרם גדול מ-1 ק"מ הוא 15 והגדול שבהם, סטיקני, קוטרו 9 ק"מ(6). בהתחשב במימדיו של פובוס מדובר במכתש גדול מאוד. בדפנותיו של המכתש אפשר להבחין בפסים כהים ובהירים, מה שמעיד על מפולות סלעים. בקרקעית המכתש נראים סלעים הקבורים חלקית(7). תופעה נוספת היא מכתש השוכן על אחת הדפנות של מכתש סטיקני וגם בו פסים כהים ובהירים. פני השטח של הירח מכוסים בשכבת אבק בעומק מטר, כנראה בשל הפצצה בלתי פוסקת של מטאורים(8). את עובייה של שכבה זו אפשר

למאדים שני ירחים קטנים מאוד. אין מדובר בגופים ספריים. אלו גופים שקוטרם קטן מ-30 ק"מ כל אחד ואם לנקוט בלשון ציורית הם בבחינת הרים מעופפים. מבחינה זו הם מזכירים אסטרואידים וירחים בסדר גודל זה המקיפים את כוכבי הלכת הגזיים.

פובוס

מימדיו של פובוס הם 19 X 22 X 27 ק"מ, מרחקו ממאדים 5989 ק"מ והוא מקיף אותו פעם ב-8 שעות. תופעה זו חריגה ביותר מאחר שמשך ההקפה שלו את מאדים קטן ממשך הזמן בו מאדים סובב סביב צירו(24 שעות ו-37 דקות). הירח צולם על ידי חלליות ששוגרו למאדים. צילומים אלה נעשו על ידי ניצול הנקודה האקסצנטרית הגבוהה של מסלולן סביב המאדים, אם כי לא פעם בוצעו תמרונים מיוחדים לביצוע תצלומים אלה. החלליות שצילמו את המאדים הן מרינר 7, מרינר 9, הוויקינגים, ה-Mars Global Surveyor, המרס אקספרס, ה-MRO והחללית הרוסית פובוס 2. מכלול צילומים אלה איפשר הפקת מפות של הירח. לשם השוואה האסטרואיד הראשון שמופה הוא ארוס שצולם על ידי החללית NEAR שנכנסה למסלול סביבו. אסטרואיד זה גדול במקצת מפובוס. אורכו 33 ק"מ. לרזולוציה גבוהה במיוחד הגיעו התצלומים שנעשו על ידי המרס אקספרס ב-9.1.2011. כאשר

חללית רוסית לעבר פובוס. חללית זו נקראת פובוס גרונט. מדובר בשיתוף פעולה רוסי סיני אירופי. לחללית הרוסית צורפה גם חללית סינית Yinghuo-1. שיגור החללית נכשל, החללית נשארה במסלול סביב כדור הארץ והיא תתרוסק על כדור הארץ ב-9 בינואר 2012.

דימוס

דימוס הוא הירח הקטן של המאדים. מידותיו הם 12 X ק"מ 16 צפיפותו 1.47 גרם סמ"ק והוא מקיף את מאדים פעם ב-30 שעות ו-17.9 דקות. אין לו אפיונים בולטים וחריגים כמו החריצים של פובוס. מספר המכתשים על פניו הוא קטן מאוד וקוטרו של הגדול בהם הוא מכתש וולטר שקוטרו 1.9 ק"מ. כמו פובוס גם הוא אדום ומכוסה באבק רב. פני השטח שלו חלקים יותר מאלה של פובוס ומוצאו לא ברור (15). התצלום בעל הרזולוציה הגבוהה ביותר שלו נעשה על ידי חללית הוויקינג כ-15.10.1977. החללית חלפה במרחק 48 ק"מ ממנו ושידרה ארצה תצלומים ברזולוציה של 3.3 מטר לפיקסל. נדרשה לכך סדרה מורכבת של תמונות (16).



Phobos, imaged by Mars Express (Credit: ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum))

קישורים ישירים ונוחים למקורות המופיעים במאמרים ניתן למצוא בעמוד המגזין באתר האגודה
<http://goo.gl/tI6Wp> (במדויק, יש חשיבות לאותיות גדולות וקטנות).

לראות בצורה ברורה במספר מכתשים הסמוכים למכתש סטיקני.

על פובוס מצויים חריצים (grooves) רבים מאוד ביחס לגודלו. מקבילים להם לא נמצאו על שום אסטרואיד שצולם ולא על ירחים קטנים של שבתאי וצדק. בשל מימדיו של פובוס קשה להאמין שמדובר בתהליכים טקטוניים. באורכם החריצים יכולים להגיע למאות מטרים וגם לקילומטרים. חלקם מקבילים זה לזה וחלקם נכנסים ויוצאים מתוך מכתשים. מרכזו של אחד מהחריצים מלא בשכבת אבק (9). רוחבם מגיע למאות מטרים (3).

מדידות חום שנעשו על ידי ה-Mars Global Surveyor מראות שהטמפרטורות תלויות במדרונות ובגודל החלקיקים והן נעות בין 4°C - ל- 112°C באזורים המוצלים (10).

צפונית מזרחית למכתש סטיקני התגלו מינרלים פילוסיליקטיים. נוכחות מינרלים זו מעלה שאלה מרכזית. מינרלים אלה מקיימים אינטראקציה עם מים ועל פובוס לא יכולים להיות מים נוזליים. המסקנה המתבקשת היא שבגוף האם שממנו ניתק פובוס היו מים. אפשרות סבירה פחות היא שליבתו של פובוס חמה דיה כדי לאפשר נוכחות ארוכת זמן ויציבה של מים נוזליים (2). אם כך איך נוצר מינרל זה על פובוס?

הועלו 3 אפשרויות להסברת מוצאו של פובוס. על פי אפשרות אחת הוא היה במקורו אסטרואיד שנלכד על ידי כוח המשיכה של מאדים. על פי האפשרות השנייה פובוס נוצר במקביל להיווצרותו של מאדים. על פי האפשרות השלישית פובוס הוא תוצר לפגיעת מטאוריט ענק במאדים. שברי סלעים הועפו לחלל ונדבקו זה לזה (11).

ב-1988 שיגרו הרוסים שתי חלליות למאדים פובוס 1 ופובוס 2. באפריל 1989 פובוס 2 היתה אמורה להגיע למרחק 80-30 מטר מהירח ולבצע איתו טיסת מבנה במשך 15-20 דקות. הרזולוציה של המצלמות היו 6 ס"מ לפיקסל. בהמשך אמורות היו להשתחרר שתי נחתות. נחת אחת היתה סטטית ונועדה לבצע בדיקות קרקע. הנחת השנייה היתה דלגנית (hooper). היא נועדה לעבור ממקום למקום באמצעות קפיצות תוך כדי דיגום הקרקע. המשימות של שתי החלליות כשלו. פובוס 1 הספיקה, לשדר ארצה מספר תצלומים של המאדים ושל פובוס (12, 13) לפני שנותק איתה הקשר.

במשך תקופה ארוכה זנחו הרוסים את חקר המאדים. השנה לאחר מספר דחיות, יצאה בנובמבר לדרכה

משימת מסנג'ר למרקורי- בן קסטוריאנו

כדור הארץ. כדי שנבין את המשימה ויעדיה, עלינו לעבור קודם על מה שידוע לנו עד כה על מרקורי.

למרקורי יש את הקרום הזקן ביותר במערכת השמש. לפני 4.6 מיליארד שנים הוא היה נתון להפצצות של מטאורים וכוכבי-שביט צעירים במשך קרוב ל-800 מיליון שנים. 100% מפני השטח של הכוכב נפגעו. מרקורי מאופיין בפעילות גיאולוגית שיצרה על פני השטח עמקים וגאיות עקב זרימת לבה על פני הקרום. בדומה לפני השטח של הירח, הקרום היה חשוף לבליית חלל דרך רוחות סולאריות ומיקרומטאוריטים. יחד עם כל זאת, ההרכב של פני השטח שלו הוא הצפוף במערכת השמש (לאחר קיזוז דחיסה עצמית).

ריכוז של יותר מ-60% מתכת בהרכב שלו הופך את מרקורי לבעל צפיפות הגדולה פי 2 מזו של כדור הארץ. המדידות מראות שלמרקורי יש על פני השטח את ריכוז הברזל הגדול ביותר על פלנטה במערכת השמש.

המדידות של מארינר חשפו גם תכונה שלא נצפתה מחוץ לכדור הארץ בכוכבי הלכת הפנימיים - שדה מגנטי פנימי בקנה מידה גלובלי (חרף קוטרו הקטן ואיטיות הסיבוב העצמי שלו), ובעוצמה של 1.1% מזו של כדור הארץ (300 נאנו-טסלה בקו המשווה). כמו בכדור הארץ, השדה המגנטי דו-קוטבי וכנראה נוצר באפקט-דינמו של סיבוב ליבת הברזל של הפלנטה. בשונה מכדה"א, הקטבים כמעט מיושרים עם ציר הסיבוב שלו. השדה המגנטי פועל להסתה של הרוחות הסולאריות מסביב לכוכב הלכת ויוצר מגנטוספירה. המגנטוספירה של מרקורי מסוגלת ללכוד פלסמה מהרוחות הסולאריות. מדידות ממארינר 10 מראות מראות פלסמת-אנרגיה בצד הלילה של מרקורי ופרץ חלקיקי-אנרגיה בשובר המגנטי, עדות שהמגנטוספירה דינמית.

טמפרטורת פני השטח בצד המואר היא 427°C אבל הטמפרטורה יורדת בצד הלילה עד -184°C . עקב היעדר אטמוספירה ושינוי תלול בין קו המשווה והקטבים. עוצמת האור על פני השטח גבוהה פי 4 עד 10.6 בהשוואה לכדור הארץ. על אף הטמפרטורה ביום מרקורי טיפוסית, יש סימנים לנוכחות אפשרית של מרבצי קרח על פני השטח. הקרקעיות של המכתשים אינן חשופות לאור ישיר והטמפרטורה יציבה סביב -170°C . קרח ידוע בהחזר הגבוה שלו של קרינת מכ"ם: ב-1991 טלסקופ רדיו בגולדסטון ו-"המערך הגדול מאוד" בניו מקסיקו גילו אזורים עם החזר גבוה ליד הקטבים ולמרות שקיימים הסברים אחרים לתופעה, קיום מרבצי קרח הוא התרחיש הסביר ביותר. ע"פ הערכות, מסת הקרח במרקורי נאמדת בכ- 10^{14} עד 10^{15} ק"ג (הקרח באנטארקטיקה מגיע למסה של $4 \cdot 10^{18}$ ק"ג, והקרח בכיפות הקטבים של מאדים מגיע ל- 10^{16} ק"ג).

לעיתים, עם קצת מאמץ וללא צורך במכשור מיוחד, תוכלו לראות אותו על קו האופק אחרי השקיעה, כאילו שיש לו זכות מיוחדת להיות שם בעוד ההילה המתפוגגת מהשמש מאפילה עדיין על יתר הכוכבים בשמיים מלבד הבהקים ביותר. בתחילה אפשר לחשוב שאין סיבה מיוחדת לשים לב לכוכב-חמה, פלנטה שקוטרה חצי מזה של כדור הארץ, בעלת קרום חום וזרוע מכתשים וחסר מאפיינים בולטים (כמו כסוי העננים של נוגה או הברזל בקרקע של מאדים, המבליטים אותם בשמי הלילה). ניתן לחשוב שבין כוכבי הלכת הפנימיים במערכת השמש, כוכב חמה אינו מרגש בהשוואה לאחרים אך מתברר שמרקורי הוא אחד מהמקומות האקזוטיים במערכת השמש בכלל.

כוכב חמה הופיע לראשונה בטבלאות הבבליות MUL.APIN, או המחרשה [ע"ש הקונסטלציה הראשונה של השנה, המורכבת מקבוצת הכוכבים משולש (טריאנגולום) והכוכב אלמך (גמא-אנדרומדה)]. הפלנטה מופיעה ברישומים בבלים של האלף האחרון לפנה"ס וכנראה התגלה ע"י אסטרונום אשורי במאה ה-14 לפנה"ס. הוא מופיע תחת הכינוי "הכוכב המקפץ" וכונה בידי הבבלים נאבו (Nabu) ע"ש שליח האלים במיתולוגיה שלהם.

היוונים העתיקים מתקופתו של הסיודוס קראו לפלנטה Stillbon (הבוהק) ו-Hermaon (שם נרדף להרמס). יוונים מודרניים יותר כינו אותו אפולו כשהופיע בשמי הבוקר והרמס כאשר הופיע בשמי הלילה. אסטרונומים יוונים במאה הרביעית לספירה הבינו שלמעשה מדובר באותו גוף שמימי.

הרומאים כינו אותו מרקורי (שליח ומבשר האלים הזריז, נוסף על היותו אל הסחר, הכתיבה היצירתית, הכישרון והגניבה במיתולוגיה הרומית. מקור השם בשם העצם Mercurius, כלומר סחורה) על שום מהירותו האדירה. סיבה נוספת היא אי העקביות במחזורו.

קלאודיוס תלמי, האסטרונום הרומי-מצרי, שיער שלא נצפו מעברים של הכוכב על פני השמש כיוון שהיו קטנים מדי, או לא סדירים.

הסקר הראשון של מרקורי בידי חללית מחקר נעשה ע"י גשושית המחקר מארינר-10 ב-1974. הגשושית ערכה סקר בן שנה וביצעה שלושה יעפים מולו. מאותם נתונים החלו האסטרונומים לצייר תמונה מסקרנת מאוד של הפלנטה.

מסנג'ר (MESSENGER), או "פני השטח, סביבת-חלל, גיאוכימיה וטיווח של מרקורי) תוכננה על בסיס התופעות והתצפיות שנעשו ע"י מארינר וטלסקופים על

לצורך המשימה הגשושית נושאת ציוד-מחקר חשמלי מגוון:

MDIS (Mercury Dual-Imaging System)

מערכת הדמאה כפולה מרקורי: זוג מצלמות, CCD אחת עם זווית חדה ואחת עם קהה, על פלטפורמת ציר. נועדו לספק מיפוי מלא של פני השטח בהפרדה של 250 מ' לפיקסל שנועדה למיפוי של אזורים בעלי עניין גיאולוגי. רק המצלמה בעלת הזווית הקהה מסוגלת לספק צילום בצבע.

GRS (Gamma-Ray Spectrometer)

ספקטרומטר קרינת גמא: מודד פליטה של קרינת גמא מפני השטח. משמש לזיהוי יסודות בעומק של עד 10 מטר.

NS (Neutron Spectrometer)

ספקטרומטר נייטרונים: מודד הרכב מינרלי של מימן בעומק עד 40 ס"מ ע"י זיהוי נייטרונים שנפלטו מפגיעות של קרניים קוסמיות במינרלים.

XRS (X-Ray Spectrometer)

אינס: מזהה קווי-ספקטרום של קרני אינס המוחזרות מפגיעה במשטח, משמש לניתוח ההרכב המינרלי של המ"מ העליון של הקרום של מרקורי.

MAGnetometer

מגנטומטר: מודד בפירוט את עוצמת השדה המגנטי סביב מרקורי. משמש לקביעת מיקום וחוזק השדה המגנטי.

MLA (Mercury Laser Altimeter)

בלייזר: מודד גובה בעזרת החזרים של קרניים אינפרא אדומות. יוצר מפה מפורטת של פני השטח.

MASCS (Mercury Atmospheric and Surface

Composition Spectrometer)

שטח ואטמוספירה: קובע את המאפיינים של האקסוספירה ע"י מדידת קרניים אולטרא-סגולות, נוכחות ברזל וטיטניום בקרקע ע"י מדידת החזר קרניים אינפרא-אדומות.

EPPS (Energetic Particles & Plasma

Spectrometer)

ספקטרומטר פלסמה וחלקיקים אנרגטיים: מודד חלקיקים במגנטוספירה עם הספקטרומטר לחלקיקים אנרגטיים וחלקיקים הבוקעים מפני השטח עם ספקטרומטר-פלסמה בהדמאה מהירה.

RS (Radio Sciences)

מדעי-רדיו: מערכת המודדת את שדה הכבידה ומצב הליבה של מרקורי ע"י ניתוח מידע האיכוך של הגשושית.

עכשיו אפשר לדון במשימה עצמה ומידע שנאסף במהלכה.

מקור הקרח לא ידוע, אבל פליטת אדי מים עקב פעילות גיאולוגית ושקיעה מרסיסי שביטים הן צורות אפשריות. גודלו הקטן והטמפרטורות הגבוהות מונעות ממרקורי מלקיים אטמוספירה משלו, אבל יש לו אקסוספירה חלשה שממוקמת קרוב לפני השטח ההרכב כולל בין היתר: מימן, חמצן, סידן, נתרן, אשלגן והליום. האקסוספירה אינה יציבה וחומר מתנדף ומתחדש ממקורות מגוונים: מימן והליום נישאים על רוחות סולאריות ונספחים בדיפוזיה אל המגנטוספירה, הליום נוצר מדעיכה רדיואקטיבית של יסודות על פני השטח.

זהו המידע שהיה בידי האסטרונמים בטרם מסג'ר החלה בסקר שלה. עתה נתמקד בגשושית וביעדי המשימה שלה.

מאז מארינר 10 הוגשו הצעות רבות לביקור חוזר בשליחו של יופיטר, אבל כולן נדחו משתי סיבות:

- כמות מסת הדלק הדרושה למסע בקו ישר גדולה מאוד ויקרה בהתאם.
- לצורך השיגור של חללית כבדה כל-כך יהיה צורך ברכב לשיגור מטענים כבדים להביאה למרקורי, שוב מאוד יקר.

מדען ממעבדת ההינע הסילוני (נאס"א) בשם צ'ן-וואן ין שינה את התמונה כאשר הגיש ב-1985 תוכנית-משימה שמשתמשת בנתיב שאינו דורש רכב למטען כבד אלא משתמשת בתמרון לולאה מסביב לנוגה ומרקורי וניצול מעט דלק להיגוי (בקרת-תנועה). בעזרת התוכנית החדשה אפשר היה עתה לשגר את הגשושית במסגרת משימות "דיסקברי" (תוכנית למשימות מדעיות לחקר ממוקד בפלנטות בהוצאה נמוכה שנוסדה ב-1992).

הגשושית תוכננה במעבדה לפיסיקה יישומית באוניברסיטת ג'ונס-הופקינס Johns Hopkins (מרילנד), שגם אחראית להרכבתה. השם MESSENGER שליח (באנגלית) נבחר גם בשל ההיקש למיתולוגיה הרומית.

יעדי המשימה שנקבעו הם:

- קביעת הרכב פני השטח של מרקורי
- הרכב וההיסטוריה הגיאולוגית
- מדידת השדה המגנטי והשינויים
- מבנה פנימי של כוכב חמה הא קיים גלעין נוזלי
- קיום קרח מים בקטבים.
- הרכב חומרים נדיפים

מסנג'ר שוגרה על סיפון רקטת "דלתא 2" מקייפ קנברל, פלורידה ב-3 באוגוסט 2004 בשעה 6:16 בבוקר. המהירות הסופית של הגשושית הייתה 10.7 ק"מ לשנייה ועמד בפניה מסע של 7.9 מיליארד ק"מ, שיימשך 6 שנים, 7 חודשים ו-16 יום.

באר הכבידה של השמש שבה נמצא מסלולו של מרקורי חייבה שינוי גדול במהירות הטיסה. אם תטוס בנתיב ישיר, הגשושית תאיץ בהתמדה ככל שתתקרב לבאר הכבידה של השמש, וכניסה למסלול מרקורי לא תתאפשר ללא שימוש בכמות אדירה של דלק (לתיקוני מסלול ובלימה).

בכוכבים בעלי אטמוספירה היה ניתן להשתמש בה לצורך האטה (בלימה בחיכוך עם האוויר, Aerobreaking), אבל האקסוספירה הדלילה של מרקורי לא תאפשר זאת. לכן מסנג'ר שוגרה במסלול אליפטי, שהשיב אותה לכדור הארץ ב-2 באוגוסט 2005 ליעף שאיפשר לה לבצע תיקון בעזרת שדה הכבידה של כדור הארץ. במהלך היעף הצוות ביצע הדמאה של כדור הארץ והירח ובחן את מכשירי דיגום הרכב האטמוספירה, הקרקע והמגנטוספירה לזיהוי תקינותם וכיולם. שני יעפים מול נוגה ותיקוני מסלול התבצעו ב-24 באוקטובר 2006 ב-34:08 וב-5 ביוני 2007 ב-08:23.

במהלך היעף השני, הגשושית ערכה סקרים של הפלנטה בעזרת המכשירים שעל סיפונה.

התיקון הראשון דרש מהגשושית לחלוף בסמוך לנוגה בזמן שכדור הארץ היה בצד המנוגד בדיוק של מערכת השמש (יישור עם השמש, Superior Conjunction), כשהשמש חוסמת את קשר הרדיו.

במהלך היעף השני היא ערכה סקר אור נראה ואינפרא-אדום לאטמוספירה העליונה של נוגה. היעף הראשון מול מרקורי התבצע ב-14 בינואר 2008 המרחק הקרוב ביותר שעברה היה בגובה של כ-200 ק"מ מעל פני השטח. שני יעפים נופים התבצעו ב-6 באוקטובר 2008 וב-29 בספטמבר 2009.

ביעף האחרון החללית נכנסה ל"מצב בטוח". כל המכשור שאינו הכרחי להמשך הטיסה הושבת ולמרות שהנתיב לא דרש תיקון, כל הצילומים והמיפוי שתוכננו לעזיבת המסלול לא נעשו. תיקון-מסלול אחרון שנועד להציב את הגשושית במסלול מרקורי ("חדירה מסלולית") נעשה ב-24 בנובמבר 2009 והגשושית התמקמה במסלול ב-18 במרץ 2011.

היא תישאר במסלול במשך שנה. המסלול של מסנג'ר סביב מרקורי הוא מסלול אליפטי;

הגשושית חולפת קרוב לפני השטח בגובה 200 ק"מ ואז היא מתרחקת עד 15,000 ק"מ באפהליון (הנקודה הרחוקה ביותר). הגשושית נחשפת לצד המואר מעט ככל האפשר.

עוד לפני גמר המסע הספיקה הגשושית לחשוף מידע חדש. ב-3 ביולי 2008 הודיע תומאס זורבוכן, חבר בצוות המשימה, שהגשושית זיהתה אדי מים באקסוספירה. לאחר ההתמקמות במסלול הצילומים והמדידות הראו על סימנים לפעילות וולקנית עתיקה על פני השטח ושלמרקורי אכן יש ליבה נוזלית. נוכחות אדי המים באקסוספירה העלתה הסברים שונים: שביטים הפוגעים בפני השטח ומשחררים אדי-מים, חלקיקים אנרגטיים פולטים מימן מהרוחות הסולאריות אל סלעים שקיים חמצן בהרכב הכימי שלהם, או המראה של קרח ממאגרים בקרקעיות המכתשים. במהלך היעף השני, המדידות מהמגנטומטר הראו שהשדה המגנטי של מרקורי "דולף" מאוד. הגשושית חצתה "טורנדו" מגנטי - צמדים מסוחררים של שדות קטנים שנפרדו מהשדה הראשי לחלל הבין-פלנטרי. הקוטר שלהם נאמד בכ-800 ק"מ, שליש מרדיוס הכוכב. הטורנדו נוצר כאשר שדות מגנטיים מרוחות השמש נקשרים לשדה המגנטי והרוח החולפת על פני השדה מסחררת אותם.

המערבולות הללו - המוכרות בפיסיקה כ-"שפופרות" אירועי העברת שטף (מגנטי) יוצרות פערים בשדה המגנטי שהרוחות הסולאריות עוברות דרכן אל פני השטח. התופעה מוכרת ברחבי החלל (חיבור מגנטי חוזר, Magnetic Reconnection) ומתרחשת גם בשדה המגנטי של כדור הארץ, אבל היקף התופעה במרקורי גדול פי עשרה והמרחק של כדור הארץ מהשמש אומר שהיקף התופעה הוא שליש מההיקף שעל מרקורי. המגנטוספירה של מרקורי מלאה ביונים הנלכדים מהרוחות הסולאריות או נפלטות מיסודות הנחשפים לרוחות סולאריות המגיעות לפני השטח, בעיקר בסמוך לקטבים. מתכות שהושקעו בהשפעת יונים (Ion Sputtering) והפכו למרבצים ליד הקטבים, חוזרות והופכות ליונים הנותרים בשדה המגנטי מעל הפלנטה. בכדור הארץ היונים נוצרים כשרוח סולארית מתחככת באטמוספירה סמוך לקטבים והם נראים מהקרקע כאורורה.

היה ידוע בעבר שקיימים באקסוספירה אטומים של מימן, הליום, חמצן, אשלגן, מגנזיום, נתרן וסידן ושכנראה הם נפלטו לאקס' בשל פגיעות מיקרומטאוריטים. בעקבות תצפיות גילו המכשירים של מסנג'ר שנתרן לעיתים נפלט באזורים שתואמים את הקטבים המגנטיים. מכאן שניתן להסיק שקיימת אינטראקציה בין המגנטוספירה ופני השטח של כוכב חמה.

עוד תגלית על קרקעיות המכתשים הייתה טלאים בגדלים של מאות מטרים עד מספר ק"מ של חומר בעל החזר-אור גבוה. התופעה לא נצפתה בעבר על מרקורי או על הירח אך ההשערה היא שגילה צעיר ושהיא עדות לחומר לא-יציב בקרום.

עדות נוספת היא ריכוזים של איזוטופים שקיימים בכוכבים דמויי-ארץ, שמרמזים על מוצא שונה של הפלנטה משחשבו בתחילה.

היא שמדובר בתוצאה של קריסת מאגרי-מאגמה תת-קרקעיים (שנותרו חסרי-תמיכה לאחר שהמגמה נוקזה למקום אחר וקרוסו מעוצמת הפגיעה).

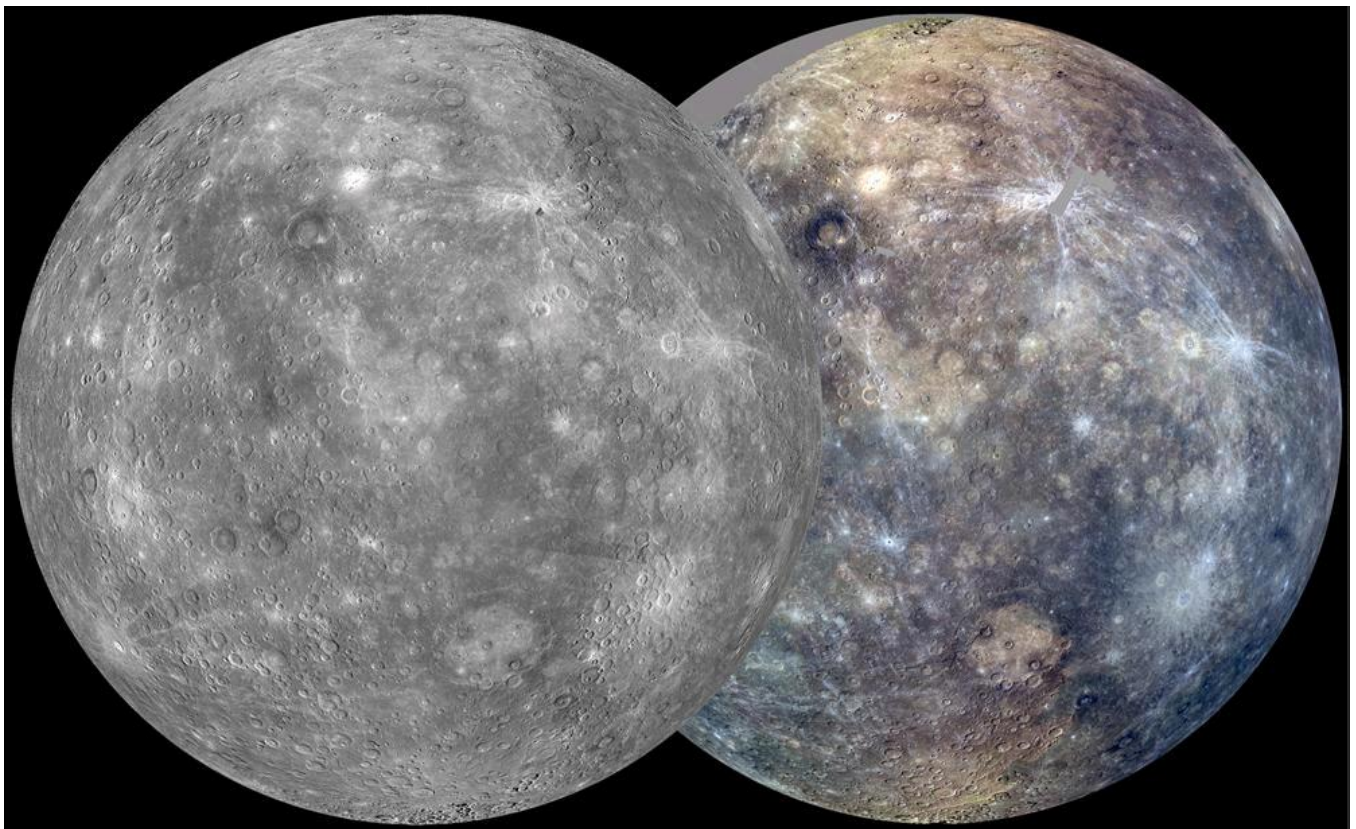
בעבר, הדעה הרווחת הייתה שמרקורי דומה מאוד לירח שלנו וחולק איתו את רוב התכונות שלו. התגליות של מסנג'ר -מהתפרצויות געשיות בגודל של הרים ועד חללים בקרום הכוכב שנוצרו לאחרונה- הוכיחו של לנו עוד הרבה מה ללמוד על הפלנטות שיש ביקום בכלל, ועל כוכב הלכת החמקמק מכולם במערכת השמש בפרט. בנובמבר פורסמה הודעה לפיה נאס"א מאריכה את משך המשימה של מסנג'ר בשנה,

מה שגם יאפשר לה לצפות בשיא המחזור הסולארי של השמש (Solar Maximum) ב-2012.

ניתוח פני השטח של XRS הראה שפני השטח עמוסים בסלעים גופרתיים, שמהם ניתן להסיק מסקנות אודות הפעילות וההיסטוריה הגעשית של הפלנטה, כולל חמצון מופחת מזה שנוכח בסלעים על פלנטות דמויות-ארץ.

ניתוח נוסף בהמשך הראה זרמי-לבה שהתקשו על פני השטח כחלק מפעילות וולקנית אינטנסיבית שכללה גושי לבה בגובה של עד 2 ק"מ והתפרצויות אדירות מפתחים בקוטר של 25 ק"מ, ששחקו את הקרקע ויצרו עמקים ורכסים דמויי-דמעה על פני השטח. הפעילות פסקה עד 800 מיליון שנים אחרי היווצרות הפלנטה, כאשר המעטפת שלה התכווצה מספיק בכדי למנוע התפרצויות על פני השטח.

בנוסף, חלק מקרקעיות המכתשים כוללות שקעים או בורות שאינם מעגליים. ההשערה בקרב הצוות



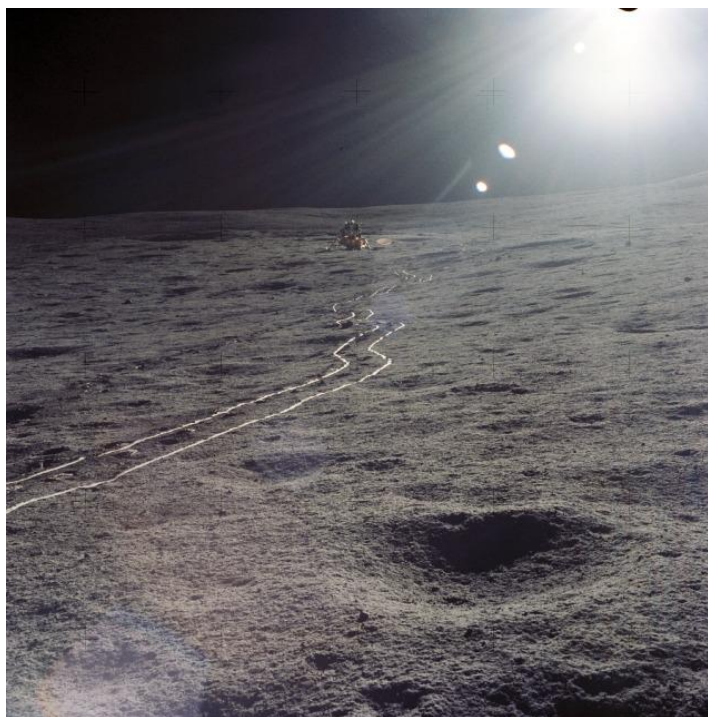
צילום של כוכב הלכת מרקורי באפור ובצבע מחללית מסנג'ר. החללית השלימה מיפוי כמעט מלא ברזולוציה גבוהה של כוכב הלכת. מקור : NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

שאלות ותשובות – אריה מורג

1. **שאלה:** כיצד רואה האבל עצמים במרחק 13 מיליארד שנות-אור?
תשובה: טלסקופ החלל האבל הוא בעל מראה גדולה – בקוטר 2.4 מטרים – האוספת כמות גדולה מאד של אור. מסלול הטלסקופ – 559 ק"מ מעל פני הקרקע – משמעו שהוא מעל זיהום אור והבהקים אטמוספריים. כדי לצפות עמוק אל תוך היקום, הטלסקופ מכוון אל פיסת חלל באזור בו יש מעט אובייקטים בהירים - כמו כוכבים - היכולים להפריע לתצפית. בשנים 2003, 2004, האבל היה מסוגל לקלוט תמונה של גלקסיה אשר הייתה מרוחקת 13.2 מיליארד שנות-אור, כאשר האור עזב אותה. הזמן שארך לאור מהגלקסיה להגיע להאבל, בתוספת התפשטות היקום, משמעו שהעצם הינו כעת מעל 30 מיליארד שנות-אור, מאתנו.
2. **שאלה:** למה נוגה ומאדים כה שונים מכדור-הארץ?
תשובה: נוגה קרוב לשמש ומאדים מרוחק יותר אך המרחק בלבד אינו מספיק כדי להעריך את השוני בתנאים על פלנטות אלה. הטמפרטורה על פניו של נוגה, למשל, גבוהה יותר מאשר על כוכב חמה, על-אף זאת, הוא מקבל רק 25% אנרגיה מהשמש. ההסבר יכול להימצא באטמוספירה של כל-אחת מהפלנטות. לפני מיליארדי שנים, בנוגה האטמוספירה של כ-92 אטמוספירות של פחמן דו-חמצני (CO_2) מגבירה את אפקט החממה והטמפרטורה מסתחררת מעלה. מסת מאדים היא רק עשירית ממסת כדור-הארץ, מרוחק יותר מהשמש, והוא נאבק לשמור על אטמוספירה עבה ומים קפואים. ללא גזי החממה הטמפרטורה יורדת, דו-תחמוצת הפחמן מתעבה ומתרכזת בצורת קרח יבש בקטבים, תוך קירור נוסף של הפלנטה.
3. **שאלה:** האם חורים שחורים הם חמים או קרים?
תשובה: בהיותו שחור, היינו מצפים שחור יהיה קר. אך, בהתאם לתיאוריות של פרופ' סטפן הוקינג (Prof. Stephen Hawking), הטמפרטורה של חור שחור תלויה בגודלו. ככל שהחור השחור קטן יותר, אפקט הכבידה שלו על הסביבה יותר מרוכז והוא מופיע חם יותר. חורים שחורים מיקרוסקופיים אמורים להיות חמים יותר מאשר ליבת השמש שלנו.
4. **שאלה:** ממה מורכבת "רוח השמש"?
תשובה: "רוח השמש" הינה זרם של חלקיקים אנרגטיים הנפלטים מהשמש. חלקיקים אלה כוללים אלקטרונים ופרוטונים של מימן יחד עם גרעיני אטומים של הליום, הידועים גם כחלקיקי אלפא (α). כמו-כן, נמצא שם עקבות של יונים כבדים וגרעינים אטומיים של פחמן, חנקן, חמצן, ניאון ומגנזיום. במשימות המחקר האחרונות התגלו אף כמויות זעירות של אשלגן, טיטניום ברזל וניקל. "רוח השמש" אקזוטית יותר ממה שתיארנו לעצמנו.
5. **שאלה:** למה שקיעות שמש הן אדומות?
תשובה: תרחיף של חלקיקים זעירים ומולקולות הגז עצמן, גורמים לאור השמש להתפצל לאורכי הגל המרכיבים אותו (תופעה זאת מכונה פיזור גלי-אור). הגוון הכחול, בעל אורך הגל הקצר, מתפזר יותר, כך שכלל שמתרחקים מהשמש, השמים מופיעים כחולים יותר. בשקיעה, השמים מעל האופק מופיעים בגוון אדום, היות והאור שם פחות מפוזר.
6. **שאלה:** האם קיימת הוכחה לחלקיקים המהירים ממהירות התפשטות האור?
תשובה: להפתעתנו, לתיאוריית היחסות של איינשטיין, אין בעיה עם חלקיקים הנעים מהר יותר ממהירות התפשטות האור – חלקיקים אלה ידועים בכינוי טאכיונים (Tachyons). אך, לחלקיקים אלה יש תכונות מאד מוזרות: כמו מסה דמיונית וכושר לנוע בזמן. אכן, טאכיונים הם כה מוזרים עד-כי פיסיקאים נבוכים כאשר הם מופיעים בתיאוריות שלהם. למרבה המזל, הטיעון היחיד על גילוי טאכיון נטען בשנת 1974 על-ידי פיסיקאים באוסטרליה. טיעון זה לא נשנה ונחשב כיום, לזיוף.
7. **שאלה:** האם קיים מצב בו כוכבי הלכת מסתדרים בשורה ישירה?
תשובה: עקב הנטייה והאוריינטציה של מסלוליהם, שמונת כוכבי הלכת הראשיים לא יכולים אף פעם להגיע למצב בו יהיו בשורה ישרה. הפעם הראשונה בו נראו כוכבי הלכת באותו חלק של השמים היה לפני 1000 שנים, בשנת 949 והם לא יגיעו לאותו מצב לפני ה-6 במאי 2492. למרבה המזל, בכל מחצית מאה שנים, לערך, כוכבי הלכת הבהירים מגיעים למצב היוצר רושם כאילו הם – פחות או יותר – בקו ישר. התצוגה האחרונה הייתה באפריל 2002, כאשר צדק, שבתאי, מאדים, נוגה וכוכב חמה התייצבו מעל האופק המערבי ודמו לענק יהלומים שמימי, עם חרמש הירח כאבן-חן, מרכזית. הערכות דומה תתקיים בעוד 29 שנים, 8-8 ספטמבר 2040.
- אם מי מאתנו מודאג מאפקט הכבידה, במקרה של הערכות מיושרת זאת, אין צורך להיות – ההשפעה הנוספת של הכבידה על כדור-הארץ, זניחה. במהלך שנות ה-70, נאס"א בחנה היערכות דומה של כוכבי הלכת לצורך תכנון שיגור גישושים וויאג'ר 1, ו-2 ל"טיול הגדול" של צדק, שבתאי, אוראנוס ונפטון, בהשקעת אנרגיה מינימלית.

תמונות שדורשות הסבר – חיים מזר

והפעם במדור מבחר תמונות ממשימות אפולו השונות ובהם כתמי אור והבהקים משונים הדורשים הסבר. קישורים לתמונות מופיעים בדף המגזין באתר האגודה בכתובת: <http://goo.gl/tI6Wp> (במדויק, יש חשיבות לאותיות גדולות וקטנות). כל התמונות מקורן בנאסא.



תמונה מאפולו 14



באז אולדרין מרכיב ניסוי סולארי במשימת אפולו 11



תמונה מאפולו 17



תמונה מאפולו 16

"בין שני הנהרות": היסטוריה, קוסמוגוניה ואסטרונומיה במזרח הקדום – סטפן כהן

אלפי שנים. במאתיים השנים האחרונות, לאחר שחוקרים החלו לבצע חפירות ארכיאולוגיות, נחשפו יצירות ומבנים השייכים להיסטוריה העתיקה של האזור.⁴

ההקשר ההיסטורי

בשנת 1786, בוטנאי צרפתי בשם מישו נסע למזרח התיכון כדי לחקור את הצמחייה. הוא הביא איתו חזרה לאירופה אבן חרות סמנים וציורים. לדבריו מצא אותה בחורבות ארמון מדרום לבגד. האבן, הידועה בשם "אבן מישו" "Caillou Michaux", הייתה אבן גבול - "קודורו", והטקסטים נכתבו באכדית, שפה שמית עתיקה שנעלמה, אשר הייתה מדוברת במסופוטמיה בין האלף השלישי לראשון לפנה"ס.⁵ משחזר כתב היתדות לשמש ממלכת בבל, נשכח זכרם של השומרים. גם המקורות המקראיים והקלאסיים ששימרו ידיעות מרובות על תושביה הקדומים של מצרים, בבל ואשור, לא מסרו שום ידיעה ישירה על קיומם של השומרים. בראשית המחקר המודרני בתחילת המאה ה-19 היה מוסכם על הכול שהתושבים השמיים של בבל ואשור הם אלה שהמציאו את כתב היתדות.⁶



שור מכונף בעל ראש אדם - אבן גבול מישו (Public domain). קורסבד (מאה ה-8 לפנה"ס).. צילום: סטפן כהן, מוזיאון הלובר - פריס.



"יצר בשמים מעמד לאלים הגדולים,

הציב כוכבים בדמותם, מזלות.

הודיע שנה, הגביל גבולות,

הציב לשנים-עשר הירחים שלושה כוכבים לאחד..."

(ציטוט מלוח החמישי של "אנומה אליש" - סיפור הבריאה הבבלית).¹

מבוא

מסופוטמיה (מהיוונית - "ארץ בין הנהרות", הנהרות הם הפרת והחידקל), ערש הציוויליזציה המערבית, הייתה טריטוריה בה ממלכות רבות ותרבויות עשירות פרחו. אזור זה היה עד להמצאת הגלגל הראשון, התפתחות החקלאות המודרנית וככל הנראה גם הוליד את הכתב. עצוב לומר היום כי מה שהיה אז אזור פורה ועשיר מאוד (חלק המזרחי של הסהר הפורה) הינו היום לא יותר ממדבר בו סופות נושאות חולות מוכתמים בדם הסכסוכים של עיראק. מאז הפלישה לעיראק ב-2003, מתקיים שוד אכזרי של מורשת תרבותית עשירה זו.

מלבד העובדה שאלפי טבליות עם כתב היתדות, חותמות גליל ופסלים עשו את דרכם באופן לא חוקי אל השווקים הפיראטיים באירופה וארה"ב: אתר העיר הקדומה בבל הפך למחנה צבאי אמריקאי (מחנה אלפא) בשנים 2003 ו-2004. במקום נגרם נזק חמור (דחפורים רבים פילסו גבעות ותלים עשירים בפריטים ארכיאולוגיים השייכים לעיר בבל).²

אני מקדיש מאמר זה לשומרים (Sumerians), תושבי ארץ שומר, בקעת שנער המקראית, ארץ מולדתו של אברהם. הגיע הזמן להחזיר לתרבות השומרית את המקום המגיע לה בתרבותנו. העולם וסמליו כפי שהם מוכרים לנו היום, ובין השאר המושגים המיתולוגיים האסטרונומיים, המוצאים את שורשיהם בתרבויות מסופוטמיה, במיוחד בתרבויות השומרית והאכדית. יוון הקלאסית ורומא ספגו אותן תרבויות והעבירו אותן לעולם המערבי. בכונתי להגיש לכם טעימה על מה שנדמה לי כשורשי האסטרונומיה במזרח הקדום (מסופוטמיה), באמצעות מקורות ראשוניים ומשניים כגון שירה, ציורים מפרטים ארכיאולוגיים ופרשנויות חוקרים. הגיע העת לתת מקום של כבוד לשומרים ולהבליט את תרומתם האדירה לתרבות (המערבית) שלנו. לפני 150 שנה בלבד, העולם לא ידע עדיין דבר ושמץ דבר על קיומם של השומרים הללו בקדמת הימים. אז, הארכיאולוגים חיפשו באותו אזור (מסופוטמיה) הבבלים והאשורים. לא חסר ידע על עליהם בזכות מקורות יוונים וערבים. היום, השומרים מוכרים והיצירות של תרבותם נמצאים במוזיאונים החשובים בעולם, בארה"ב, בצרפת, בגרמניה, בבריטניה ואפילו בארץ - במוזיאון ישראל ומוזיאון ארצות המקרא בירושלים.³

התרבויות הקדומות במסופוטמיה התפתחו לפני מעל 6000 שנים. חלק מהערים הראשונות נוסדו, הכתב התפתח, אימפריות נבנו ומבנים גדולים הוקמו. רוב היסטוריית מסופוטמיה שכבה מתחת לחול ועפר במשך

התיאורים העתיקים ביותר של הקוסמוס לא נודעו עד שנות 1800 כאשר בוצעו חפירות ארכיאולוגיות בקורסבד, נימרוד ונינווה, ערים שומריות הנמצאות לאורך הפרת והחידקל, עיראק של היום. המילה "שומרית" ניתנה לכתב היתדות שהייתה שונה מהשפה האכדית והבבלית על ידי המלומד הצרפתי אופרט (Oppert). בעצם, אופרט היה הראשון שהעלה את המוצא השומרי של כתב היתדות. הוא הוכיח שאת העם הלא-שמי שקדם את השמים יש לכנותו "שומרים". התגלית של אופרט אושרה מאוחר יותר כאשר בחפירות ארכיאולוגיות שבוצעו בלאגש נמצאו יותר מ-100,000 טבליות חרס, אלה הדגישו את השוני בתפישת עולמם מתפישות המיתולוגיה בתרבויות הפרסים, בבלים, יוונים ורומאים.⁷ היסטורית, פענוח השפה הפרסית אפשר את פענוח האכדית, ופענוח האכדית אפשרה פענוח השומרית.⁸

מסופוטמיה הייתה מיושבת בתקופה קדומה מאוד על ידי אנשי התרבות העובידית (תל עוביד) ועל ידי שבטים שמיים. השומרים, שהגיעו ככל הנראה ב-3500 לפנה"ס בערך, יצאו ככל הנראה מאזור הים הכספי. התרבות השומרית נוצרה ממיזוגם האתני והתרבותי של העבידים, השמיים והשומרים.⁹ ב-3000 לפנה"ס שני עמים שונים שלטו במסופוטמיה: בדרום השומרים, ובצפון האכדים, עם שמי. לשני העמים תרבות ושפה שונה. ב-3000 לפנה"ס, השומרים בדרום פיתחו את הערים ארידו (על שפת הים), אור (בגבול המדבר), ארך (או אורוכ), לגש, ניפור ועוד רבים. במשך מאות שנים, הם החזיקו בציוויליזציה המפותחת ביותר באזור כאשר תמיד הייתה לאחת מערי המדינות הגמוניה. השמים בערי הצפון כגון אגד (אכד), סיפר, בורסיפה, בבל הפכו עם הזמן לעם השולט במסופוטמיה, זאת בעקבות גלי הגירה של עמים שמיים.¹⁰

השומרים קראו עצמם "סאג גיגה" (Sag gigga), כלומר "העם בעל ראש שחור", אך נקראו על פי שם זה על ידי הכינוי שנתנו שכיניהם מצפון, האכדים. במהלך האלף השלישי לפנה"ס, חיו השומרים לצד שכיניהם האכדים ועם הזמן נטמעו האוכלוסיות זו בזו. כתוצאה מכך, נודעו אלי מסופוטמיה גם בשם השומרי וגם בשם האכדי. **(השם השומרי תמיד יופיע לפני השם האכדי).**¹¹

הקוסמוגוניה השומרית במסופוטמיה

השומרים האמינו כי מקור העולם ניצב בכאוס בראשיתו שהורכב מ"זוג", מצד אחד ה"אבסו" (Abzu), הים המיטיב, ישות זכרית בעל מים מתוקים, המייצרת את מיי החיים ומצד שני "טיאמת", הים השלילי, בעל מים מלוחים אשר הוליד מפלצות. אבסו וטיאמת ביחד היו בעצם את הים הקדמון.¹² עבור השומרים, הים הקדמון היה האם אשר הוליד את השמים והארץ, משמע שנבראו שמים והארץ מן הים.¹³ באלף הרביעי לפנה"ס, גם אם החל תהליך עיור ובניית מקדשים, רוב רובה של האוכלוסייה התקיימה ישירות מעבודות האדמה והשדה, מהחקלאות והמרעה. בני האדם הכירו היטב את סכנות הרעב, הבצורת והמחלות ולכן, חדורי אמונות, הם הקפידו לשמור על קשר בינם לבין הכוחות העליונים, האלים, המגנים עליהם.¹⁴

עולם הדימויים העתיק היה לרוב מבוסס על הסביבה הטבעית. צורות של גרמי השמיים, בעלי חיים וצמחים שימשו בפולחן ובמאגיה כסמלים אלוהיים. לדוגמה, סמלים קדושים מן השכיחים במזרח הקדום שנמצאו על יצירות היו העץ והפר. העץ, בייחוד עץ התמר, סימל בעיקר אלוהויות פריון. תפקידו של הפר בעבודת האדמה ובעדר עשה אותו לסמל חשוב של גבריות ואון. מן האלף השלישי לפנה"ס ואילך סימל הפר אלוהויות גבריות שזיקתן לפוריות, כגון אל הירח "סין".¹⁵ העם הראשון שהפך את השמיים לנושא בספרות כתובה היה העם השומרי. עבורו, העולם היה מה שאז ראו סביבם, כלומר כיפת השמיים מעליהם - "אן" (An) (לפי האמונה הרווחת, עשוית בדיל יקרה) והעולם תחת רגליהם, מסתורין וקודר, האדמה - "קי" (Ki), מין "דיסק שטוח". "קי" ו"אן" נולדו מ-"אבסו", הים הבראשית.¹⁶

הופעת קבוצות הכוכבים.

כמו עמים פרה-היסטוריים אחרים, השומרים עבדו את הטבע והשמיים. השומרים עבדו את האל "אן", אל העיקרי המייצג את השמיים. כל אל שומרי (Dingir) היה פטרון של עיר בממלכת שומר. האמונה דיברה על כך שהאלים יצרו בני אדם מחרס במטרה לשרת אותם. ייתכן והדת השומרית היא זו שגרמה להתעניינותם בשמיים וגרמי שמיים. האסטרונומיה השומרית הבחינה וקטלגה את הכוכבים הבוהקים ביותר וציירה באופן ראשוני קבוצות כוכבים של הזודיאק ורשמה תנועתם של חמשת כוכבי הלכת: כוכב חמה, נוגה, מאדים, צדק ושבתאי ובנוסף השמש והירח. הם למדו את השמיים למטרות חקלאיות ודתיות וייסדו לוח ירחי המבוסס על פאזות הירח.¹⁷ הייתה תשומת לב מיוחדת על קבוצות הכוכבים של הזודיאק שבהם מסלול השמש היה עובר לאורך השנה. הבבלים ראו בכוכבים אלים וסגדו אותם על פי אמונה זו.¹⁸

יצירות אומנות רבות ראו אור במסופוטמיה העתיקה: יושבי המקום יצרו כדים רבים, פסלים, פסלונים ו"חותמות" ששימשו לסימון מבנים או שטחים פרטיים. על רבים מהם נראו ציורים של בעלי חיים. לחלק מן המוטיבים האומנותיים הנפוצים היו ככל הנראה משמעויות דתיות או מיסטיות, כגון אריה התוקף פר או שתי יעלים עם עץ. מבין המוטיבים שוורים, אריות ולפעמים עקרבים היו בולטים במיוחד. ככל הנראה, אותם בעלי חיים צוירו בשמיים כראשונים מבין קבוצות הכוכבים של הזודיאק. מעריכים כי הופעת מוטיבים אלה התרחש בסוף האלף הרביעי לפנה"ס. כשהשור והאריה סימלו בוודאי 'עוצמה', חלק מהמוטיבים צוירו יחד עם כוכבים, דבר המחזק את הטענה כי הם היו מייצגים קבוצות כוכבים. ביצירות מאוחרות יותר, צוירו בעלי חיים ואלים רבים - חלקם ניתן לקשור בבירור עם גרמי שמיים, כגון השמש, הירח ונוגה שהופיעו לא פעם ביחד כטריו.

האלים הראשים

בפנתיאון האלים השומרים (מכונים גם "אנונקי"), ארבעת האלים העיקריים היו: אן - אל השמיים, אנליל - אל האוויר, ניןחורסג - אלה-האם הגדולה ואנקי - אל המים. אלה היו האלוהויות הבכירות ביותר להן סגדו

גדול.²⁴ לדוגמה, ניתן לזהות סמלי האלים על פני אבני גבול או חותמות גליל: האלים **אן** ו**אנליל** סומנו על ידי אסטלות בעלי שש שורות קרניים, כפי שמופיע על אבן גבול (קודורו) של מלך מאלשיפק השני (מוצג במוזיאון הלובר).²⁵ הסמלים שביטאו גרמי שמיים ככל הנראה נושאים עימם מספר משמעויות: הם יכולים לציין את התמיכה הניתנת למלך או גושפנקא אלוהית לניצחון בקרב מסוים. ניתן לערוך הקבלה עם המיתולוגיה היוונית כאשר המגן של אכילס נשא סמלים שמיים כגון הפליאדות ועוצב על ידי האל הפאסטוס (איליאדה 18, 483-489).²⁶

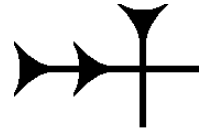
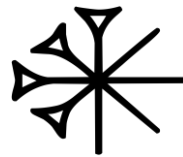
הפריט שמוצג לעיל הינו חותם גלילי של עדה מאבן ירוקה (Greenstone seal of Adda) ומוערך לשנת 2300 לפנה"ס בקירוב. זהו אחד מחותמות גליל מני רבים שנוצרו כאשר רוב מסופוטמיה הייתה מאוחדת תחת שליטה הצבאית של מלכי אכד (Agade). הכתובת בכתב היתדות מציין את בעל החותם כ"עדה", מתואר כסופר "Dubsar". ניתן לזהות את הדמויות כאלים מאחר והם לובשים כובעים בעלי קרניים מרובות. הדמות עם זרמי המים והדגים הינו **אנקי/אאה** ומימינו איסימוד (Isimud) או אוסימו, אחד משריו, בעל שני פנים. במרכז הסצנה הוא אל השמש **אותו/שמש** עם קרניים העולים מן כתפיו. הוא חותך את דרכו דרך ההרים כדי לעלות עם השחר. לשמאלו עומדת אלה עם כנפיים והיא **איננה/אישתר**, אלה המלחמה והאהבה. היא מחזיקה גם באשכול תמרים. בשמאל, האל עם חץ וקשת לא זוהה בוודאות, ייתכן והוא מייצג את **נוקסו** (Nuksu).²⁷



אבן גבול (קודורו) המלך מלישיפק השני (Melishipak II - 1186 עד 1172 לפנה"ס). צילום: סטפן כהן.

השומרים כולם. הבבלים חילקו אז את כיפת השמיים לשלושה אזורים ע"פ שמם של אלים ראשים: השמיים הצפוניים היו ה"דרך אנליל", בנו של אן. קו המשווה ורוב מזלות הזודיאק היו על "דרך אן" והשמיים הדרומיים היו ה"דרך אנקי/אאה".

בפנתיאון השומרי, מלך האלים נקרא "אן" (An) או "אנו" (Anu) בטקסטים בבלים ואשורים (בשפת אכד), אף כי במקורות מסוימים (חלקם המגיעים עד לשנת 2500 לפנה"ס בקירוב), נראה כי **אנליל** היה זה ששלט בפנתיאון.¹⁹ עיר המדינה שהייתה מושבו של **אן** נקראה אורוכ, היא ארך המקראית. בכתב הפיקטוגרפי של השומרים סימן **אן** גם כוכב, גם שמיים וגם ישות שמימית או אל. מן הזמנים הקדומים ביותר ועד שנעלם כתב היתדות, מהאלף הרביעי ועד לזמנו של ישו הנוצרי, הסמל הזה היה לקידומת עבור שמות אלים בטקסטים.²⁰ עם הזמן, אן איבד מכוחו בפנתיאון ופינה את מיקומו ל**אנליל**.



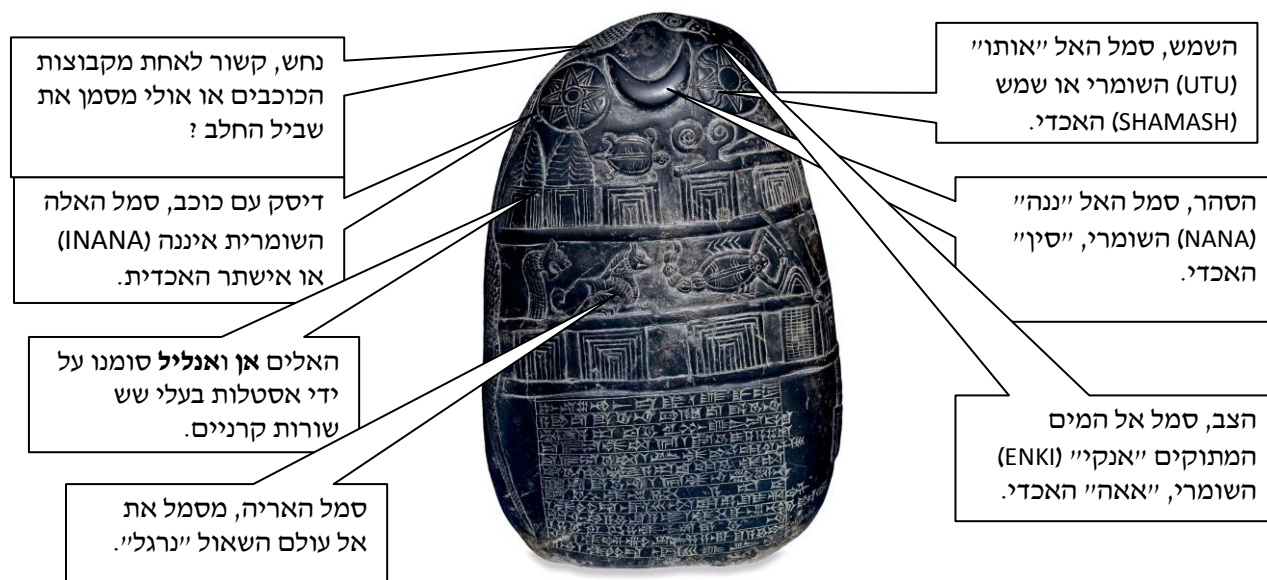
בכתב הפיקטוגרפי של השומרים (משמאל), סימל אן (AN) גם כוכב, גם שמיים וגם ישות שמימית או אל ("דינגיר" - Dingir). התפתחות הכתב במשך הדורות הוביל לכתב היתדות האכדי (מימין).

אל האוויר **אנליל** הפך עם הזמן לאל החשוב ביותר בפנתיאון השומרי וטפס מעמד נכבד ביותר בפולחן, במיתוס ובתפילה. לא ידוע את המאורעות שהובילו את **אנליל** בראש הפנתיאון השומרי במקום **אן** אך הוא נודע בעזרת כתובים קדומים בתוך "אבי האלים", "מלך שמים וארץ", "מלך כל הארצות". **אנליל** היה ידוע כאל טוב ומיטיב, מלא רחמים כלפי בני האדם. **אנליל**, כמי שהצמיח את כל הצמחים והעצים מן האדמה היה האל שהעניק עושר ושפע לארץ.²¹

האלה **נינחורסג** הייתה "גבירת ההר", ה"מעתירה", ומניקת המלכים. היא ידועה גם בשם נינטו "הגבירה היולדת". כל השליטים השומריים הקדומים הרבו לתאר עצמם כ"יונקי חלב-האמונים של נינחורסג". היא נחשבה גם לאם כל חי.

אנקי (מהשומרית: "אדון הארץ", באכדית מכונה **אאה** - Ea) נחשב לאל החכמה ובורא האנושות. הוא הופקד על הסדר הקוסמי ושלט על המים המתוקים הזורמים בתהומות ובנהרות, לפי כך התגורר באבסו (המקווה האגדתי של מי התהום) בארדו, עיר השומרית הראשונה. **אנקי** העניק את כישרונות האומנות והכישוף לבני האדם. אם באלף השלישי לפנה"ס, תוארה דמותו של **אנקי** בדמות אדם עם זרמי מים היוצאים מידיו או כתפיו, באלף השני לפנה"ס תואר אנכי בעזרת סמליו הידועים: הצב, דג-העז (גדי) והמטה בעל ראש האייל.²² סביר להניח כי **אנקי**, מעבר לגדי, הפך למזל דלי, וסמליו היו גם ה"שדה" (מרובע של פגאסוס) ואולי המזל טלה ומזל דגים.²³

ביצירות אומנותיות, דמויות בעלי טבע אלוהי, כגון האלים שציינו לעיל, סומנו או צוירו על ידי כתר קרניים



המקדש ומגדלו ה"זיגורת"

ובעל הדין נם את שנתו.
שופט האמת, אבי היתומים,
שמש – נאסף אל חדריו.
אלי הלילה הגדולים,
גיביל הזוהר,
ארה הגיבור, קשת, עיש,
כסיל, נחש-עקלתון:
הדובה, העז,
(מזל) גדי ופתן – הכונו.
ובזבח-הנחש אשר אערך,
בשה אשר אקריב, אות אמת תנו נא!"

שירה זו חוברת בתקופה הבבלית העתיקה, במחצית הראשונה של האלף השני לפנה"ס. בשמו של איש במצוקה שהגיע למקדש לבקש את עזרת האלים, הכוהן מקריב את זבח-הנחש ויבצע את פעולות הניחוש בכבד של בהמה. הכהן פונה במזמור לכוכבי הלילה בתפילה בשעות הלילה המאוחרות. במזמור מוזכרים שלישית האלים המבטאים את ארבעת התופעות השמימיות החזקות: השמש על ידי האל **שמש** (Shamash) - אל האורקל והמשפט, הירח על ידי האל **סין**, סופות הרעמים על ידי האל **אדד** (Adad) ונוגה על ידי **אישתר**, אלת האהבה, הפריון והמלחמה. מעבר לכך, מוזכרים גם שמות של גרמי שמיים ומזלות כגון קשת, הדובה, גדי, עיש וכסיל.³⁰

השלישייה הסימבולית (שמש, ירח, נוגה) וגרמי שמיים אחרים

לאחר אן, אנקי, אנליל ונינוחסרג, האלים הבאים בחשיבותם היו הכוחות המתגלים בגרמי שמיים: הירח, סופות הרעמים, השמש וכוכבי הבוקר והערב. אלים אלה נחשבו לנכדיו וניניו של אן. המבוגר מבין "הדור הצעיר" הזה היה אל הירח - **ננה/סין**, בנו הבכור של **אנליל/ננה**. סין שלט בלילה, בחודש ובלוח השנה הירחי וכן נתן חסותו לבקר ולתושבי הביצות. אור (Ur) הייתה עיר

המקומות המרכזיים ביותר בערי מסופוטמיה, מבחינה דתית וכלכלית כאחד, היו המקדשים. לדוגמה, בעיר לרסה (על נהר הפרת), מקדש אל השמש "אותו" התנשא מעל שאר הבניינים בעיר והיווה מקום מפגש בין האלים לאדם. שם הקדישו הכוהנים את מתנותיהם לאלים. בראש כל מקדש עמד כוהן-האן, אשר תוארו נטבע עוד מימיה הקדומים של התרבות השומרית, בטרם נקבעו תוארי המנהיגים המדיניים. מינו נקבע לפי מין האל אותו שירת: כוהנת-אן שירתה את האל, ואילו כוהן-אן שירת את האלה. על ידי כך נוצרה זיקה מינית בין האלוהות לכוהנים המשרתים אותם. כוהני-האן נבחרו בידי הרואים בכבד ועברו טקס הסמכה מיוחד שבמהלכו קיבלו שם חדש.²⁸ במסגרת הקמת המקדש, נבנה מגדל "הזיגורת" (או זיקורת באכדית) אשר סימל את הקשר ההדוק שבין העולם השמימי לעולם הארצי.

מאוחר יותר, ייתכן מאוד והזיגורת שימש כמצפה כוכבים, אך כפי שראינו לא היה זה ייעודו המקורי. ידוע כי הערים בבל וארך היו מרכזי ידע אסטרונומי חשובים בין המאה הרביעית למאה הראשונה לפנה"ס.²⁹ אם תחילה המקדשים לא שימשו כמצפים, הכוהנים היו בכל זאת פונים באופן תדיר אל השמיים והכוכבים בבקשות אל האלים. השירה הבאה, "תפילת כוהן הנחש", היא דוגמה לכך:

"נרדמו האדירים (האלים הגדולים),
חוזקו הבריחים, המנעולים ננעלו,
המולת בני-אדם נדמה;
השערים הפתוחים הוגפו
אלי הארץ ואלות הארץ,
שמש, סין, אדד ואישתר,
נאספו (לישון) בחיק השמים.
דין לא ידונו, משפט לא יחרצו,
עולפה הוא הלילה -
שקט ההיכל, נדם השדה,
הולך על-דרך קורא לאלוהיו,

משכנו. אל הירח. בתרבות המסופוטמית, השמש כפוף לירח. אל השמש ומלכת השמיים **איננה** הם שניהם ילדיו של הירח. **ננה/ סין** הוליד שלושה ילדים: **אותו/שמש**, **איננה/אישתר ואישקור/אדד**. **אישקור**, אל הסערה, היה התגלמות הגשמים וסופות הרעמים, הגורמים להרס ופוריות גם יחד. סמלו היה מטה הברק המסועף.³¹

אותו/ שמש היה אל המשפט המתגלה בשמש, אויב החשכה, בנה של ננה ואח תאום של איננה. מעונותיו היו בלרסה ובסיפר. סמלו היה סכין משונן, חדות האמת. **איננה/ אישתר** הייתה האלוהות הנשית הנערצת ביותר במסופוטמיה הקדומה. שמה נגזר ככל הנראה מהמילים השומריות נין-אננ, שפירושו "גבירת השמיים". משכנה העתיק ביותר היה בארך (אורוכ). היא הייתה אלת האהבה, החושניות והמלחמה, מלכת השמיים והפרוצה של בבילון - הוצגה עם כלי נשק, אריה ותוצרי קציר, מאוחר יותר הסמל האסטרטלי הייתה לכוכב הלכת נוגה. ייתכן והייתה המקור לקבוצות כוכבים של (כלי הנשק) הקשת (כלב הגדול של היום), אריה ובתולה.³² היא גלמה את יצר החיים.

קבוצות הכוכבים הדלי, הגדי, קטוס, דולפין, ארידנוס, הידרה והדגים נמצאים באותו אזור בשמיים: בתרבות המסופוטמית, אזור זה של השמיים נקרא אז "הים", אותו אזור נחשב אז תחת שליטת מזל דלי.³³ נדמה שאנדרומדה, בתה של קפאוס וקסיופיאה, לא נולדה בתרבות יוון הקלאסית אלא הרבה לפני כן במסופוטמיה: באגדות הבריאה הבבלית, בקשר לסיפור של מרדוק ומפלצת הים טיאמת, סיפור זה הינו ללא ספק הבסיס לסיפור של פרסאוס ואנדרומדה. סיפור זה היה מוכר גם בפיניקיה, תרבות אשר הושפעה מתרבותם של הכסדים - כלדה.³⁴ השומרים, כמו היוונים, העריצו את כוכבי הלכת כאל אלים. לכל כוכב לכת היה שם אך גם נקשר לאחד האלים הראשיים. כוכב חמה (מרקור) היה הכוכב של נבו. כוכב נוגה היה מוקדש לאיננה. אישתר. מאדים נקשר לנירגל, אל המלחמה. שבתאי לנינורתה.³⁵



ראש שור. מוזיאון הלובר. צילום: סטפן כהן. 2011.

בעלי הקרניים: השור והגדי

בעלי חיים עם קרניים היוו סמלים אשר בני אדם סגדו להם במזרח הקרוב הפרהיסטורי, כפי שמעידים כלי חרס

מתקופות המגיעות אחורה בזמן לכ 5500 שנים לפנה"ס. לעתים קרובות בעלי חיים אלה הופיעו עם ציוריים של "עץ החיים" וסמלים של הירח וכוכבים. כלומר במשך אלפי שנים - כפי שמעידים כלי חרס וחומות גליל, חיות בעלי קרניים מילאו תפקיד מרכזי במיתולוגיות שכללו את השמים. תהליך זה הגיע לשיאו ככל הנראה בסביבות 2000 לפנה"ס.³⁶ עם התפתחות האדם נדמה שהשור היה בעל חיים עם משמעות עוצמתית: הוא היה הבעל חיים החשוב ביותר בתקופות קדומות. במסופוטמיה, השור היווה חלק מקבוצות הכוכבים הראשונות בגלגל המזלות של זודיאק (נהוג באקדמיה להאמין כי במקור, הזודיאק מנה שש קבוצות עיקריות - שור, סרטן, בתולה, עקרב, גדי ודגים) וכנראה השור היה הראשון מביניהן בין האלף הרביעי לאלף השני לפנה"ס. ³⁷ קיימת סברה כי ראשי השור אשר צוירו על פרטי קדרות עתיקים סימלו את אל הסופות. בתקופה הבבלית הקדומה, השור נקשר לאל הברקים, דבר שחזק את זהותו כאל סופות - **אדד** (Adad). באותה תקופה, השור היווה גם את אחד הסמלים המבטאים את אל הירח **ננה/ סין**. מקורות אחרים מציינים כי בשומר, קבוצת השור נקראה על שמו של האל **אנקי** - "השור האלוהי", מאחר והיה האל שהמציא את המחרשה. ³⁸ "השור השמימי" (מוזכר בשם השומרי גות-אנ-נה) הייתה חיה מיסטית שהאלה **איננה** ביקשה מאביה **אן** כדי להרוס את העיר ארך ולהרוג את הגיבור גילגמש, לאחר שהאחרון סירב לחיזוריה. השור גרם להרס רב אך נהרג לבסוף על ידי גילגמש וחברו אנכידו. (הסיפור נמצא בלוח שש בסיפורי גילגמש הבבלית). כקבוצת כוכבים, השור השמימי הינו סמל הזודיאק הטאורוס "השור".³⁹

בתקופות הכשית (Kassite), בבליה והאשורית, החיה הקשורה לאל **אנקי** הייתה דג-העז. היצור בעל ראש ורגליים קדמיות של עז וגוף של דג הוצג מהתקופה הניאו-שומרית דרך התקופה ההלניסטית, אף קם לתחייה על ידי הרומאים באמצעות הגדי, במיוחד באומנות האוגוסטינית כאשר הגדי היה סמל הזודיאק של הקיסר.

סיכום

החפירות הארכיאולוגיות ופענוח הממצאים חשפו את תרבותם המפוארת של השומרים, שוכני מסופוטמיה לפני כ-6000 שנים. השומרים היו ממציאי תרבות מפותחת, מורכבת, מקורית ואינטליגנטית. הם אלה שכלל הנראה פיתחו לראשונה את הכתב, דבר שאפשר להם להנציח את זיכרונם, מחשבותיהם ותפיסות עולמם במהלך 3000 שנים, עד לתחילת העידן של יוון העתיקה.

בתקופתם, דת ואסטרונומיה לא ניתנו להפרדה. האסטרונומיה לא החלה כמדע אלא כניסיון להבין את הבריאה המסתורית של האלים⁴⁰, ודרך הכתיבה הסופרים השומרים היו מראשוני המדענים, יוזמי האסטרונומיה, הגיאומטריה והקרטוגרפיה. השומרים השפיעו במישרין או בעקיפין על המזרח הקדום כולו: תושביה השמיים של מסופוטמיה - האכדים ויורשיהם הבבלים והאשורים - קלטו את הדת השומרית וזיהו את אלוהיהם השמיים עם האלים השומרים, כפי שהתרחש ברומא עם האלים היוונים.⁴¹ כמו ברוב התרבויות הקדומות, האסטרונומיה הייתה בעצם עיסוק באסטרולוגיה. לאירועים האסטרונומיים היו משמעות דתית עמוקה לבני התקופה.

אחרים הומצאו על ידי השומרים והבבלים בין 3000 ל-2000 לפנה"ס.

ככלל ובעזרת דמיונם, היוונים פירשו מחדש את הקבוצות הכוכבים המסופוטמיים ואימצו את שמותיהם וצורתם המקוריים.⁴² האסטרונומיה כפי שהיא מוכרת לנו היום נולדה מהחיבור בין החישובים והתצפיות של **הבבלים** לבין התפיסה הגיאומטרית של **היוונים**.⁴³ עתה, עלינו להוקיר את תרומתם של השומרים בתפיסה האסטרונומית שלנו היום, תרומה שכמעט נשכחה לאורך השנים.

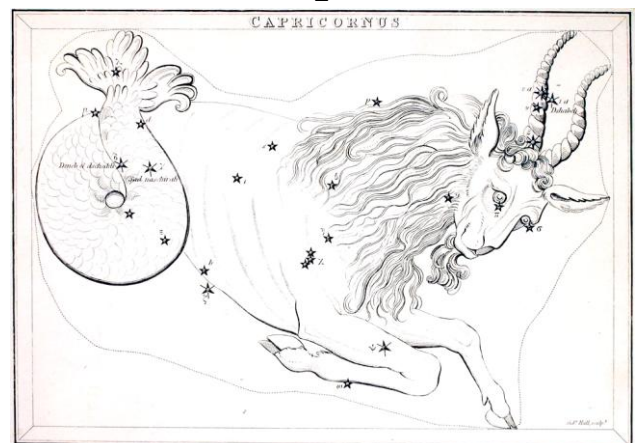
בעולם המערבי, יוון העתיקה מוצגת בבתי הספר ככזו שהולידה את הציוויליזציה האנושית המוכרת לנו היום: מאז מחצית השנייה של המאה ה-19, חקר התגליות הקדומות במזרח הקרוב שינו לדעתי את הפרדיגמה. לא ידוע בדיוק אם דרך אסיה או דרך מצריים, אך היוונים קיבלו מהבבלים את שמות של קבוצות כוכבים רבות (לפחות 24, כולל קבוצות של הזדיאק). חלק נכבד מהמיתולוגיה הקשורה לשמיים הגיע עד הלום מהשומרים: לא מעט קבוצות כוכבים שאנחנו מכירים היום, כגון האריה, השור, העקרב, הגדי, הקשת ועוד



א
הגדי



ב



ג

- א. ממסופוטמיה - אשור (בין המאה ה-9 ל-7 לפנה"ס).
(צילום – סטפן כהן)
- ב. דרך מצרים - גלגל המזלות של דנדרה (ממלכת תלמי 323 עד 30 לפנה"ס). (צילום : סטפן כהן)
- ג. ועד קבוצת הכוכבים המוכרת לנו היום. (Public domain)

מקורות

- ¹ ש. שפרה ויעקוב קליין, "אנומה אליש, לוח חמישי" ב- **ימים הרחוקים ההם, אנתולוגיה משירת המזרח הקדום** (תל אביב, הוצאות ספרים עם עובד : 1996), ע 33.
- ² Diane Tucker, "Brutal Destruction Of Iraq's Archaeological Sites Continues", 21 September 2009, **The Huffington Post online**, retrieved on 4/11/2011 from - http://www.huffingtonpost.com/diane-tucker/brutal-destruction-of-ira_b_290667.html
- ³ שמואל נח קרמר, "ההיסטוריה מתחילה בשומר" (מרחביה : הוצאת הקיבוץ הארצי השומר הצעיר, 1960), ע"ע 50-51.
- ⁴ "Time", **The British Museum Website**, retrieved on 20/08/2011 from http://www.mesopotamia.co.uk/time/home_set.html
- ⁵ "Caillou Michaux", **The British Museum Online**, retrieved on 5/11/2011 from http://www.britishmuseum.org/research/search_the_collection_database/search_object_details.aspx?objectId=1489411&partid=1&searchText=kudurru&numpages=10&orig=%2Fresearch%2Fsearch_the_collection_database.aspx¤tPage=2
- ⁶ יהושע פראוור (עורך), "שומר" בתוך **האנציקלופדיה העברית**, כרך 31, (ירושלים : חברה להוצאת אנציקלופדיות בע"מ, תשל"ט), ע"ע 628.
- ⁷ Anna Makolkin, **The Dawn of Cosmology: Sumerian, Egyptian and Phoenician Concepts of the Universe**, pp 34-35
- ⁸ Samuel Noah Kramer, **Sumerian Mythology - A Study of Spiritual and Literary Achievement in the Third Millennium B.C.**, p.2
- ⁹ יהושע פראוור, **שם**, ע"ע 620.
- ¹⁰ Anton Pannekoek, **A history of astronomy**, (Mineola: Dover publication, 1989), p 28
- ¹¹ "המקדש השומרי", **מוזיאון ארצות המקרא**, גלריה מס' 6 ע"ש זאב ראובן בורובסקי, ירושלים.
- ¹² Alexandre Moret, **Histoire Ancienne Tome I**, (Paris: Les Presses Universitaires de France, 1936), p.318.

- ¹³ שמואל נח קרמר, **שם**, ע' 136.
- ¹⁴ "המקדש השומרי", **שם**.
- ¹⁵ "סמלים קדושים", **מוזיאון ישראל**, אגף המזרח הקדום - ארכיאולוגיה, ירושלים.
- ¹⁶ Michael Judge, "The Dance of Time: the origin of the calendar", (New York, Arcade Publishing: 2004), p. 15.
- ¹⁷ Igor Ushakov, "History of Scientific Insight", (2007), pp 159-160.
- ¹⁸ Ernst Ertisch, **The Hebrew vowels and consonants as symbols of ancient astronomic concepts**, (Brookline: Branden Publishing Company, 1987), p. 62.
- ¹⁹ שמואל נח קרמר, **שם**, ע' 146.
- ²⁰ זכריה סיטשין, "כוכב הנפילים", (הרצלייה: הוצאות לאור בן-עמי, 2007), ע' 78.
- ²¹ שמואל נח קרמר, **שם**, ע' 147.
- ²² ג'ון גודניק ווסטנהולץ, **הפולחן היומי במקדשי לרסה**, (ירושלים: מוזיאון ארצות המכרא, 2006), ע"ע 26-27.
- ²³ John H. Rogers, "Origins of the ancient constellations: The Mesopotamian traditions", **Journal of the British Astronomical Association**, Vol. 108, January 1998, p. 11.
- ²⁴ Julia M. Asher-Greve, "The Gaze of Goddesses: On Divinity, Gender, and Frontality in the Late Early Dynastic, Akkadian and Neo-Sumerian Periods", **Journal of Genders Studies in Antiquities**, Brill Academic Publishers, 2006.
- ²⁵ Philippe Mattmann, **Découvrir le Louvre avec La Bible**, (Paris: Connaissances et Savoirs, 2010), p.44.
- ²⁶ Joan Westenholz, "The King, the Emperor, and the Empire: Continuity and Discontinuity of Royal Representation in Text and Image" in Sanno Aro and R. M. Whiting (eds.), **The Heirs of Assyria. Proceedings of the Opening Symposium of the Assyrian and Babylonian Intellectual Heritage Project**. Held in Tvärminne, Finland, October 8-11, 1998 (Helsinki: The Neo-Assyrian Text Corpus Project 2000), pp. 99-125.
- ²⁷ "Greenstone seal of Adda", **The British Museum Online**, retrieved on 21/11/2011 from http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/me/g/greenstone_seal_of_adda.aspx
- ²⁸ ג'ון גודניק ווסטנהולץ, **הפולחן היומי במקדשי לרסה**, (ירושלים: מוזיאון ארצות המכרא, 2006), ע"ע 12-15.
- ²⁹ Jeremy Black and Anthony Green, **Gods, Demons and Symbols of Ancient Mesopotamia**, (London: The British Museum Press, 1992), p. 37.
- ³⁰ ש. שפרה ויעקוב קליין, **שם**, ע"ע 508-509.
- ³¹ "המקדש השומרי", **שם**.
- ³² John H. Rogers, "Origins of the ancient constellations: The Mesopotamian traditions", **Journal of the British Astronomical Association**, Vol. 108, January 1998, p. 11.
- ³³ Richard Hinckley Allen, **Star names: their lore and meaning**, (New York, Dover Edition, 1963), p. 45.
- ³⁴ Ibid, pp 31-32.
- ³⁵ Duchesne-Guillemin Jacques, "Origines iraniennes et babyloniennes de la nomenclature astrale". In: **Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres**, 130e année, N. 2, 1986. pp. 234-250.
- ³⁶ "The Earliest History of the Constellations in the Near East and the Motif of the Lion-Bull Combat", **Journal of Near Eastern Studies**, Volume 24 (1965), pp 1-16.
- ³⁷ Richard Hinckley Allen, **Op. Cit.**, pp 1.
- ³⁸ יגאל פת-אל, **האנציקלופדיה של קבוצות הכוכבים**, כרך ב' (תל אביב: ספריית מעריב, 2008), ע' 697.
- ³⁹ Jeremy Black and Anthony Green, **Gods - Demons and Symbols of Ancient Mesopotamia**, (London: The British Museum Press, 1992), p. 49.
- ⁴⁰ Russel M. Lawson, **Science in the ancient world: an encyclopedia**, (Santa Barbara: Library of Congress: 2004) p. xv.
- ⁴¹ יהושע פראוור, **שם**, ע' 626.
- ⁴² Duchesne-Guillemin Jacques, **Op. Cit.**
- ⁴³ Ibid.



חותם גילי של עדה (Adda). The British Museum © Trustees of the British Museum.

אוראנוס / אורון - מרים אוריאל

וכאשר צפה בו ב-13 במרץ 1781 הוא חשב, שאוראנוס הוא כוכב ערפילי, או שביט. הוא המשיך בתצפיותיו ואפילו הגדיל את עוצמת הטלסקופ. התצפיות בלבד אותו, כי הגוף בו צפה שינה את מקומו ולכן נטה לחשוב שזה שביט. אולם, לשביט הזה לא היתה הילה (coma) העוטפת שביטים מלפנים ולא זנב מאחור. מסלולו היה מעוגל כשל כוכב לכת ולא אליפטי כמסלולם של שביטים. בכל הגדלה "השביט" הראה הגדלה פרופורציונלית, כמו שמראה כוכב לכת ולא כמו שביט, או כוכב רגיל.

כאשר דיווח על ממצאיו לאסטרונום המלכותי נוויל מסקלין (Nevil Maskelyne) השיב לו זה, כי לפי התצפיות אין הגוף מתנהג כשביט, אלא ככוכב לכת. הרשל המשיך להיות זהיר בהגדרותיו, אולם גם אסטרונומים נוספים החלו לחשוד, שמדובר בכוכב לכת ולא בשביט. האסטרונום הרוסי אנדרס יוהן לקסל (Anders Johan Lexell) היה הראשון אשר חישב את מסלולו של הגוף ומצא, שהמסלול עגול כמעט. הדבר הביא אותו למסקנה, שמדובר בכוכב לכת. יוהן בודה (Johann Elert Bode) הגרמני הסכים עם דעתו של הרוסי וכך גם אסטרונומים נוספים. לבסוף, שנתיים לאחר מכן, התרצה גם הרשל וקיבל עליו את דעתה של קהילת האסטרונומים, שהגוף אחריו עקב בשמים אינו שביט, אלא כוכב לכת חדש המצטרף למערכת השמש ולמעשה, מכפיל את גודלה.

כ-238 שנים עברו מאז פרסם ניקולאוס קופרניקוס (טרם מותו בשנת 1543) את ספרו "על תנועתם של גרמי השמים" ושם נקבעה מערכת השמש עם ששת כוכבי הלכת, שניתן היה לראותם בעין: כוכב חמה, נוגה, כדור הארץ, מאדים, צדק ושבתאי. ב-1781 נוסף למערכת השמש כוכב הלכת השביעי – אוראנוס = אורון שהוא שם עברי חדש של שנבחר ע"י האקדמיה ללשון העברית בשנת 2010.

לבסוף, כאשר גם סר ויליאם הרשל הסכים, שהגוף המדובר הוא כוכב לכת, צריך היה לתת לו שם. מסקלין (Maskelyne) ביקש מהרשל לעשות טובה לעולם האסטרונומיה ולהעניק לכוכב הלכת שם. הרשל קרא לו בשם "כוכב הלכת הגיאורגיני" (Georgium Sidus), "הכוכב של ג'ורג' לכוודו של ג'ורג' השלישי מלך אנגליה, שהעניק מחסדו ומכספו להרשל. אולם, השם לא זכה להסכמה עולמית ושמות חדשים צצו ועלו, אפילו הוצע לקרוא לו על שמו של המגלה – הרשל. שוב בודה בא לעזרה והציע את השם "אוראנוס" בגלל הקירבה המשפחתית בין יופיטר, סטורן ואוראנוס – הנכד, הבן והאב. כדי לתמוך בהצעתו של בודה הגרמני, קרא הכימאי הגרמני מרטין קלפרוט (Martin Heinrich Klaproth) ליסוד החדש שגילה בשם "אורניום". השם שהציע בודה התקבל באופן רשמי בשנת 1850. חברו של בודה, שעבד אתו יחד, יוהן קוהלר (Johann Gottfried Koehler) יצר את הסמל האסטרונומי עבור כוכב הלכת החדש ובודה שיפץ אותו. הסמל  (מעגל עם נקודה במרכז), שהוא גם סמל הזהב. בתוספת החנית של מרס, שהוא גם סמל הברזל.

כוכב הלכת השביעי מן השמש והשלישי ברביעיית כוכבי הלכת החיצוניים: ענקי הגז והקרר. נמצא, בערך, באמצע המרחק בין השמש לקצה מערכת השמש.

הרכבו הכימי של אוראנוס (Uranus) דומה לזה של נפטון (Neptune). האטמוספירה שלהם מורכבת בעיקרה ממימן והליום, מים, אמוניה, ומתאן. צבעו התכלכל של אוראנוס נגרם בגלל המתאן באטמוספירה. שילוב של תוספות אלו ומרחקם מן השמש (אוראנוס - כ-19 AU ונפטון - כ-30 AU) הופכת אותם לענקי קרח בגלל הטמפרטורה הנמוכה: כ-214 °C באוראנוס ו-223 °C בנפטון.

אוראנוס יוצא דופן בכך, שהוא נע על צירו בזווית של 97.86° לגבי מישור המילקה. השמש זורחת במערב ושוקעת במזרח. כתוצאה מזווית הנטיה שלו, הוא מראה את קטביו לשמש במקום את קו המשווה. מתוך כ-84 השנים, שהוא מקיף את השמש, יהיה קוטב אחד מואר ברציפות במשך 42 שנים ואילו השני יהיה חשוך. מתוך זה, 21 שנים יהיה נתון בחשכה מוחלטת ללא שמץ של אור וללא שום חום מהשמש. לאחר מכן, יתחלפו הקטבים ל-42 השנים הבאות. הטיה הזו היא, כנראה, כתוצאות מהתנגשות עם גוף גדול כלשהו. אפשר לראות תוצאות התנגשות נוספת במירנדה, הירח שלו. יתכן, כי הטבעות הכהות של אוראנוס הן תוצאה מהתנגשות זו.

גילוי אוראנוס

עד המצאת הטלסקופ, לא ידעו אנשים, שאפשר למצוא בשמים יותר ממה שהעין רואה. כוכב הלכת שבתאי סימל את קצה גבולה של מערכת השמש הנראית לעין. עם המצאת הטלסקופ הפכה האסטרונומיה למדע מעשי. אסטרונומים צפו בשמים בעזרת המכשיר וזיהו כוכבים, כוכבי שביט וערפיליות. ידוע לכל, שסר ויליאם הרשל גילה את אוראנוס, אולם דרך הגילוי מעניינת ביותר. לאמיתו של דבר, ג'ון פלמסטייד (John Flamsteed), אסטרונום אנגלי, שקיטלג למעלה מ-3000 כוכבים, צפה 6 פעמים באוראנוס באמצעות טלסקופ כבר בשנת 1690. אולם, הטלסקופים לא היו טובים וחדים מספיק והוא התייחס לאוראנוס כאל כוכב וקיטלג אותו כשור 34 (Tau 34).

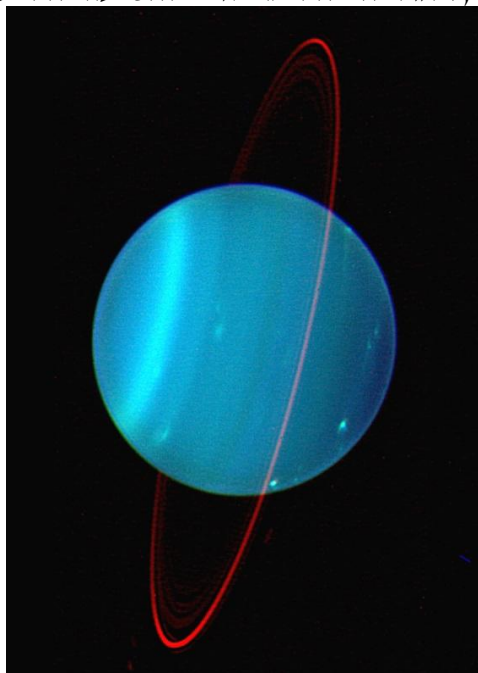
לעומתו, האסטרונום הצרפתי פייר למוניר (Pierre Lemonnier) צפה בו למעלה מתריסר פעמים בין השנים 1750 ו-1769 מהם ארבעה לילות ברציפות. אולם, הוא לא הבחין בתנועה, מאחר ואוראנוס מקיף את השמש במשך 84 שנה ותנועתו איטית מאוד לגבי הצופה מן הארץ. לכן, גם פייר למוניר התייחס אליו כאל כוכב.

סר ויליאם הרשל היה מוסיקאי, אסטרונום ומומחה בבניית טלסקופים ובמיוחד בליטוש עדשות. הוא הכין טלסקופ לאחותו, שאף היא הייתה אסטרונומית והכין טלסקופים לעצמו, כפי שיכין בבוא היום טלסקופ גם לבנו ג'ון, שיהיה למדען דגול וממשיך דרכו. הטלסקופ של סר ויליאם הרשל (William Herschel) היה טוב משל האחרים

אות מאותיות הא'-ב' היווני. שם זה נותר עד היום: α , β , γ , δ ו- ϵ . מאוחר יותר הם גילו עוד ארבע טבעות נוספות. בשנת 1986 גילתה החללית וויאג'ר 2 (Voyager 2) עוד שתי טבעות עמומות נוספות והמספר גדל ל-11. בין השנים 2003-2005 גילה טלסקופ החלל האבל עוד שתי טבעות נוספות וגם שני ירחים נוספים. אחד מהם – מֶב (Mab) שקטרו 20 ק"מ, חולק את מסלולו עם הטבעת הקיצונית ביותר, שנגלתה על-ידי האבל וכנראה גם מספק לה חומר חדש מהאבק הניתז מפגיעות מטאוריטים על פניו. טבעת זו מכפילה את הרדיוס הידוע של מערכת הטבעות של אוראנוס. נכון להיום יש לאוראנוס 13 טבעות.

ב-22 בפברואר 1789 רשם ויליאם הרשל הערה בניירותיו, שהוא חושב, שראה טבעת סביב אוראנוס בתצפית אותו לילה. הוא צרף אפילו תרשים קטן של הטבעת עם ההערה: שהיא נוטה לאדום. הדבר פורסם ביומן החוברת המלכותית רק ב-1797. למרות שטענה זו אינה מתקבלת על הדעת, כיוון שהטלסקופ בו צפה אינו מספיק כדי לראות את הטבעות העמומות, אישר טלסקופ קאק (Keck) אשר בהוואי שהתיאור מתאים לטבעת v. במשך קרוב למאתיים שנה, בין השנים 1797-1797 לא התייחסו כמעט למערכת הטבעות של אוראנוס. מאות אסטרונומים, שצפו באוראנוס בשנים אלו לא ראו דבר. אולם, נטען שהרשל נתן תיאורים מדויקים של גודל טבעת v ביחס לאוראנוס, צבעה והשינויים החלים בה בעת, שאוראנוס עושה את הקפתו סביב השמש.

מערכת טבעות אוראנוס נחשבת צעירה באופן יחסי, רק בת 600 מיליון שנים. קיימת השערה נוספת על הקודמת (שרידי גוף שפגע באוראנוס) כי יתכן והמערכת נוצרה מהתנגשות של ירחים, שהיו קיימים בעבר סביב אוראנוס, ושרידיהם יצרו טבעות דחוסות וצרות באזור בעל יציבות מרבית. כמו במערכת הטבעות של שבתאי, כך גם במערכת הטבעות של אוראנוס ישנם ירחים הנקראים "רועים", העוזרים לשמור את החלקיקים שבטבעות במקומם, אחרת הם היו מתפזרים והטבעות היו נעלמות.



אוראנוס באור אינפרא אדום המדגיש את הטבעות החיוורות שלו. Credit: Lawrence Sromovsky, Keck Observatory.

הסמל הוא גם סמלה של הפלטינה הנקראת "הזהב הלבן". כי הפלטינה, שהם הכירו, היתה סגסוגת של זהב מעורב עם ברזל, לכן הסמל מורכב מסמלי הזהב והברזל.

את הסמל האסטרונומי ♅ הציע ג'רום ללנדה (Jérôme Lalande), אסטרונום צרפתי: גלובוס, שעליו מולבשת האות הראשונה משם משפחתו של הרשל (H) שגילה את כוכב הלכת.

אוראנוס במספרים

מסה	86.8×10^{24} ק"ג
קוטר	51,118 ק"מ (פי 4 מזה של כדור"א)
צפיפות	1270 ק"ג/מ ³
אורך היממה	17.2 ש'
מרחק מהשמש	2876×10^6 ק"מ; 19.229 י"א
משך ההקפה סביב השמש	84 שנים, 3 ימים ו-15.66 ש'
מהירות ההקפה	6.8 ק"מ/שניה
זווית נטית הציר	97.86°
טמפרטורה העננים	בין 205°C ל- 214°C
רוחות	עד 160 מ"מ/שניה
הרכב האטמוספירה	83% מימן, 15% הליום, 2% מתאן וכמויות קטנות של אצטילן ופחמימנים אחרים.
ירחים	27

טבעות אוראנוס

לכל כוכבי הלכת הגזיים יש טבעות. מאחר ואוראנוס נמנה על קבוצת כוכבי לכת זו גם לו יש טבעות דקות, שאינן משתוות, כמובן, לאלו של שבתאי. הטבעות מורכבות מאלפי גושי קרח וסלע, אולי רסיסים מאותו גוף שפגע באוראנוס. צבע הטבעות כהה, אורן קלוש מאוד וחיוור והן ניתנות לצפייה רק באמצעות מכשור מדעי מיוחד. 5 טבעות התגלו ב-10 במרץ 1977 במקרה. קבוצת חוקרים רצתה לחקור כוכב שנראה סמוך לאוראנוס, כדי ללמוד על האטמוספירה של כוכב הלכת. כאשר ניתחו את הממצאים הסתבר, שהכוכב נעלם לזמן קצר חמש פעמים לפני שכוסה על ידי כוכב הלכת וחמש פעמים אחרי שכוסה על ידי כוכב הלכת. הם הסיקו מכך שיש מערכת טבעות צרות סביב אוראנוס. כל טבעת קיבלה שם של

(Desdemona – אשתו של אותלו, שמתה בידי בעלה). מתוך "רומיאו ויוליה": **יוליה** (Juliet – צעירה ממשפחת קפולט, שאהבה את רומיאו ממשפחת מונטגיו היריבה), **מב** (Mab – מלכה מיתולוגית, המוזכרת במחזה כדמות זעירה העוזרת לאנשים לחלום ומשמשת גם בתפקיד מיילדת). מתוך "'הסוחר מוונציה": **פורשיה** (Portia – יורשת עשירה ויפה, או אשתו של ברוטוס מתוך "יוליוס קיסר"). מתוך "כטוב בעיניכם": **רוזלינד** (Rosalind – בתו של דוכס גולה, שהתחפשה לבחור). מתוך "מהומה רבה על לא דבר": **מרגרט** (Margaret – בת לווייה של הרו (Hero) גיבורת העלילה). מתוך "אגדת חורף": **פרדיטה** (Perdita – בתם האבודה של לאונטס מלך סיציליה ואשתו הרמיון). מתוך "טימון איש אתונה": **קופידון** (Cupid – אל האהבה במיתולוגיה היוונית-רומית).

ניתן לחלק את הירחים לשלוש קבוצות:

1. 13 ירחים פנימיים קטנים וכהים בעלי תכונות משותפות לטבעות כוכב הלכת וכמותם הם מורכבים מקרח וסלע. יש סבירות גבוהה, שהטבעות ביניהם מפוזרים ירחים אלו, נוצרו כתוצאה מהתנגשות בין ירחים כאלו. לירחים הפנימיים יש מסלולים מצטלבים העלולים לגרום להתנגשויות נוספות בעתיד. כמו אוראנוס, הם נוטים על צידם וסובבים סביב כוכב הלכת בשכיבה.
2. 5 ירחים מרכזיים הגדולים דיים כדי להגיע לשיווי משקל הידרוסטטי ולקבל צורה מעוגלת. בארבעה מהם רואים תהליכים על פני השטח.
3. 9 ירחים אי-סדירים בעלי מסלולים אליפטיים ארוכים ורובם במסלול נסיגה לגבי כוכב הלכת. הרכבם של ירחים חיצוניים אלו אינו ידוע. יש הסוברים, כי הם אסטרואידים, שנתפשו בכוח הכבידה של אוראנוס.

ירחים נבחרים לפי סדר מרחקם מכוכב הלכת

מירנדה

הירח הקרוב ביותר לאוראנוס מבין חמשת הירחים הגדולים והקטן ביותר מביניהם. התגלה ב-16 לפברואר שנת 1948 על ידי ג'רארד קוויפר (Gerard Kuiper). זהו גוף קטן (בקוטר של כ- 470 ק"מ) המורכב מקרח, בעל תצורות גיאולוגיות מעניינות השונות מכל ירח אחר במערכת השמש. יש בו קניונים עמוקים עד פי 12 מה"גראנד קניון" שבאריונה וסלעי קרח המתנשאים לגובה של כ-20 ק"מ.

יש החושבים, שהירח נפגע ורוסק לרסיסים, שהתאחו מחדש בכוח הכבידה. יש מדענים הטוענים, שהירח עבר 5 פעמים שבירה וניתוך והתאחה מחדש בכל פעם. למרות זאת, חסרה לו חתיכה והוא נראה כמו פאקמן. הם מבססים את השערתם זו בכך, שיש בירח משטחים מתקופות שונות, משטחים עתיקים ומשטחים צעירים, יחסית.

השערה נוספת היא, שהירח נתון לכוחות משיכה של אוראנוס והירחים האחרים, אשר גורמים לפעילות טקטונית על פניו ולהתרוממות קרח מומס חלקית מתוך הירח כתוצאה של גאות ושפל.

בדרך כלל שמות כוכבי הלכת הם שמות מן המיתולוגיה הרומית ולא היוונית. לעומת זאת, שמות הירחים הם מן המיתולוגיה היוונית. אולם אוראנוס שונה בכל: שמו הוא מן המיתולוגיה היוונית, ואין סיפורי מיתולוגיה, אשר אפשר מהם לקחת שמות של דמויות כדי להעניק אותם לירחיו. ילדיו: הטיטאנים, הקיקלופים הענקיים בעלי העין האחת וההקאטונקירס (Hekatonkheires) הענקיים בעלי מאה ידיים וחמישים ראשים.

הוא לא סבל את המפלצות שנולדו והחביא אותם עמוק באדמה, בטרטרוס (Tartarus). לכן, אין פלא, שהעדיפו להתעלם מבני המשפחה כאשר הוחלט להעניק שמות ל-27 הירחים הידועים כיום.

הירחים נקראים על שם דמויות מיצירות ספרותיות אנגליות כמחווה לויליאם הרשל האנגלי, אשר גילה את אוראנוס. ג'ון הרשל, בנו המדען, נתן את השמות לאריאל, אומבריאל, טיטאניה ואוברון.

שמותיהם של שלושה ירחים לקוחים מ"חטיפת התלתל" ("Rape of the Lock"), פואמה שכתב אלכסנדר פופ (Alexander Pope; 21.5.1688 – 30.5.1744) אחד מגדולי המשוררים האנגליים, אשר כתב יצירות שונות וסטיריות ותרגם לאנגלית את האיליאדה והאודיסיאה של הומרוס. הירחים הם: **אריאל** (Ariel – יצור במיתולוגיה המערבית הנקרא סילפיד, שהוא דמות אוורירית, שמיימית. אחד מיסודות האוויר), **אומבריאל** (Umbriel – שדון מרושע ואפלולי. בלטינית: אומברה פרושו - צל) ו**בלינדה** (Belinda – גיבורת הפואמה).

כל שאר 24 הירחים האחרים נקראים על שם דמויות מיצירותיו של ויליאם שקספיר (William Shakespeare). מתוך "חלום ליל קיץ": **טיטאניה** (Titania – מלכת הפיות), **אוברון** (Oberon – מלך הפיות) ו**פוק** (Puck – שדון שובב המשרת את אוברון).

מתוך "הסערה": **(אריאל** – דמות המופיעה גם ב"הסערה". שדון המשרת את פרוספרו המכשף), **מירנדה** (Miranda – בתו התמימה וטובת הלב של פרוספרו), **קאליבן** (Caliban – דמות גרוטסקית, בן של מכשפה, המשמש כעבד לפרוספרו), **סיקורקס** (Sycorax – מכשפה רבת כוח, אמו של קאליבן), **פרוספרו** (Prospero – דוכס מילאנו, בעל כוחות כישוף), **סטבוס** (Setebos – ישות אלוהית אכזרית שסיקורקס וקאליבן עבדו לה), **סטפאנו** (Stephano – מוזג שיכור, שהופך לאדונו של קאליבן), **טרינקולו** (Trinculo – ליצן החצר), **פרנצ'סקו** (Francisco – אחד האצילים שבאו עם פרדיננד לאי), **פרדיננד** (Ferdinand – בן מלך נאפולי, שהגיע לאי והתאהב במירנדה). מתוך "המלך ליר": **קורדיליה** (Cordelia – בתו הצעירה של המלך). מתוך "המלט": **אופליה** (Ophelia – בת אצולה דנית, שהיתה אמורה להינשא לנסיך המלט, אך יצאה מדעתה עם מות אביה וטבעה). מתוך "אילוף הסוררת": **ביאנקה** (Bianca – אחותה של קתרינה הסוררת). מתוך "טרוילוס וקריסידה": **קריסידה** (Cressida – בתו של כהן טרויאני שעבר לצד היוונים, האוהבת את הנסיך הטרויאני טרוילוס). מתוך "אותלו": **דסדמונה**

תצורות גיאולוגיות על פני מירנדה: באופן כללי כל השמות הם על שם דמויות ומקומות ממחזות שקספיר

מכתשים: על שם דמויות מתוך היצירה "הסערה" של שקספיר.

קורונה (פנקייס): תצורות גיאולוגיות אובליות המופיעות רק בכוכב הלכת נוגה ובירח של אוראנוס – מירנדה. התצורות במירנדה גדולות מאוד ביחס לגודל הירח. הן נוצרו כנראה על ידי התפרצות של חומר חם (קרח), שנבע החוצה מתחת לפני השטח.

התצורות הללו נקראות על שם מקומות במחזות של שקספיר: קורונה ארדן על שם יער ארדן ב"כטוב בעיניכם"; קורונה אלסינור על שם אלסינור ב"המלט" וקורונה אינברנס על שם העיר אינברנס בסקוטלנד המופיעה ב"מקבת".

אזורים: אזורים גיאולוגיים במירנדה נקראים על שם אתרים במחזותיו של שקספיר.

צוקים, מדרונות ובקיעים: נקראים על שם מקומות בהם התרחשו מחזות של שקספיר.

אריאל

הירח הבהיר ביותר מכל ירחיו של אוראנוס. התגלה ב-24 באוקטובר שנת 1851 על ידי ויליאם לאסל (William Lassell). קוטרו כ-1157.8 ק"מ והוא מורכב בחציו מקרח, שליש מסלע צורני והשאר - מתאן בצורה מוצקת. אף הוא מקיף את אוראנוס כמעט על צידו. המכתשים הפזורים על פניו הם עדות לפעילות וולקנית. שטחי קרח טרי יחסית מביאים את החוקרים לחשוב שפעילות גיאולוגית יצרה קווי שבר רבים מהם נבעו מים שקפאו על פני הירח. על פני השטח של אריאל יש מערכת של קניונים עמוקים כ-10 ק"מ, רכסים, צוקים, מדרונות, עמקים ומישורים.

תצורות גיאולוגיות על פני אריאל: באופן כללי כל השמות הם על שם רוחות, או יצורים חיוביים העוזרים לבני אדם.

עמקים: על שם הלפריקון (Leprechaun) האירי וספרייט (Sprite) הקלטי שתי דמויות מיתולוגיות עליונות.

קניונים: על שם רוחות חיוביות מהמיתולוגיה האנגלית, קצינה (Kachina) מהמיתולוגיה של שבט ההופי האינדיאני וקרא (Kra), נשמת האדם, שניתנה לו מאלוהי הקבוצה האתנית אקאן (Akan) החיים בגאנה ובחוף השנהב.

מכתשים: על שם שדונים, פיות ודמויות אלוהיות חיוביות מהמיתולוגיות של עמים שונים בעולם.

אומבריאל

ירח כהה מאוד, הכהה ביותר במערכת ירחי אוראנוס והשלישי בגודלו, קוטרו כ-1170 ק"מ. התגלה, כמו אריאל, ב-24 באוקטובר שנת 1851 על ידי ויליאם לאסל. הוא מורכב כשאר הירחים מ-50% קרח מים ו-50% סלע. כל הידוע לנו על הירח הוא מהביקור של וויאג'ר 2. החוקרים אינם יודעים עדיין מה הגורם לצבעו הכהה של הירח.

פני הירח זרועים מכתשים, אך לא ניכרת על פניו פעילות וולקנית מאוחרת, בשונה משכניו. אמנם יש בו כמה

קניונים אך, הוא חסר מאפיינים מיוחדים, דבר המצביע על יציבות מבחינה גיאולוגית.

תופעה מסקרנת באומבריאל הוא המכתש וונדה (Wunda), שנראה כטבעת בהירה מאוד ברוחב של כ-10 ק"מ ליד קו המשווה, סמוך לראש הירח, קוטר המכתש כולו - 131 ק"מ. הוא נקרא על שם רוח אפלה מהמיתולוגיה האבוריגינית של ילידי אוסטרליה. חושבים, שבעת הפגיעה אשר יצרה את המכתש נחשף חומר בהיר יותר ממעמקי קרום הירח, השונה מהחומר הכהה שמסביב. ישנם עוד מכתשים הבהירים מסביבתם הכהה וחושבים, שגם בהם הסיבה היא חומר בהיר, שהתגלה בעת הפגיעה. לאומבריאל אין אטמוספירה ולא שדה מגנטי.

תצורות גיאולוגיות על פני אומבריאל: המכתשים נקראים על שם רוחות רעות, או אפלות מהמיתולוגיות של עמים שונים בעולם.

טיטניה

הגדול מבין ירחי אוראנוס, קוטרו כ-1578 ק"מ והוא הירח השמיני בגודלו במערכת השמש. התגלה על ידי ויליאם הרשל ב-11 בינואר שנת 1787.

הירח מורכב מקרח וסלע שווה בשווה. כנראה, שהסלע נמצא בליבת הירח והקרח עוטף אותו מבחוץ. ברווח בין הסלע לקרח תתכן שכבה של מים נוזלים. הוא נוצר, כנראה, מהדיסקה שהקיפה את כוכב הלכת לאחר היווצרותו. צבעו כהה יחסית ונוטה לגוון אדמדם. בסולם הצבעים נמצא הירח בין הצבע הכהה של של אוברון ואומבריאל לבין הצבע הבהיר של אריאל ומירנדה.

המדענים מבחינים בשלוש תצורות קרקע עיקריות על פני הירח: מכתשים, שנוצרו כנראה מהתפרצות וולקנית מאוחרת. מכתשי פגיעה המגיעים עד ל-326 ק"מ בקוטר ומערכת של קניונים ענקיים ומדרונות.

תצורות גיאולוגיות על פני טיטניה: תצורות הקרקע השונות נקראות על שמות דמויות נשיות מיצירותיו של שקספיר ושמות של מקומות מהיצירות.

אוברון

ירח עתיק כמעט תאום לטיטניה בגודלו, שניהם התגלו באותו יום ב-11 בינואר שנת 1787 על ידי ויליאם הרשל. אוברון קטן מטיטניה (כ-1578 ק"מ) וקוטרו כ-1522.8 ק"מ.

הוא נוצר, כנראה, כמו טיטניה, מהדיסקה שהקיפה את כוכב הלכת לאחר היווצרותו. לכן, הוא דומה לה בהרכבו: קרח וסלע בכמות שווה. תתכן שכבת מים נוזלים בין הסלע לקרח העוטף אותו, ממש כמו בטיטניה. צבעו של אוברון כהה מזה של טיטניה ומעט אדמדם. פני הירח עוצבו, כנראה, על ידי פגיעות של אסטרואידים ושבטים. הוא מכוסה במכתשים רבים יותר מכל הירחים במערכת אוראנוס. הדבר מצביע על כך שפני השטח שלו הם העתיקים ביותר מבין הירחים. הגדול במכתשים, המלט, קוטרו מגיע ל-206 ק"מ. אם כי, בצילומים שצילמה וויאג'ר רואים בקצה הדרום-מזרחי של הירח, פסגה במרכז מכתש פגיעה, המתנשאת לגובה של כ-11 ק"מ וסוברים שקוטר המכתש עצמו הוא כ-375 ק"מ.

מכתשים גדולים רבים מוקפים ב"קרניים" בהירות של קרח טרי, שהושלך סביב בעת הפגיעה. רצפת המכתשים

ונפטון/רהב (פוסידון). לפני שפלוטו הפך לפלנטה ננסית ממערכת השמש הקלאסית מנתה המערכת עוד נכד נוסף לאוראנוס/אורון.

היוונים דימו את השמים לכיפת נחושת מוצקה המקושטת בכוכבים ונשענת על שולי האדמה השטוחה. אוראנוס היה השמים וגאיה היתה האדמה. נולדו להם 12 בנים ו-6 בנות. תחילה נולדו 3 הקיקלופים (Kyklopes) הענקיים בעלי עין אחת כל אחד ו-3 הֶקָאטוֹנְקֵיֶס (Hekatonkheires) מפלצות ענק בעלי מאה ידיים וחמישים ראשים כל אחד. מזועזע מהמפלצות שנולדו, החביא אותם בעמקי האדמה בטרטרוס, למורת רוחה של גאיה. היא שכנעה את בניה הטיטאנים למרוד באביהם וארבעה מהם יצאו לארבע פינות העולם, מוכנים לתפוס את אביהם כאשר יירד להשתרע על פני האדמה. כרונוס התייצב במרכז, חמוש במגל שנתנה לו גאיה, כאשר אביהם ירד לגהור על האדמה, החזיקו אותו ארבעת האחים הטיטאנים בחוזקה בידיו וברגליו וכרונוס סרס אותו. דמו של אוראנוס נספג באדמה וממנו יצאו אלות הנקס והגיאנטים (Gigantes), ענקים בעלי רגלי נחשים המכוסים בקשקשים. את איבר המין הכרות השליך כרונוס לים ושם התערבב הדם בקצף הגלים ומהם נולדה ונוס אלת היופי.

אוראנוס ניבא לתוקפיו שהם יסבלו עונש קשה על מעשיהם. נבואה זו מולאה לאחר מכן על ידי זאוס/יופיטר, שמרד באביו כרונוס/סטורן וניצח בקרב את האחים הטיטאנים ושלח אותם גם-כן לעמקי טרטרוס.

באמנות היוונית הקדומה, אין זכר לאוראנוס. בתיאור המצרי של נוט אלת השמים, רואים אותה כדמות ארוכת ידיים ורגלים. גופה הזרוע בכוכבים גוהר מעל לאדמה. כך נוכל לדמיין את אוראנוס. בתקופה הרומית האל איון, אל הנצח ייצג את אוראנוס. בוילה בסנטיום שבאיטליה התגלתה רצפת פסיפס (250-200 לספירה) הנמצאת כיום במינכן שבגרמניה. שם, הוא מתואר כאדם העומד בתוך כיפת השמים ומחזיק את גלגל המזלות. לפניו שוכבת גאיה ולידה ארבעה ילדים המייצגים מימין לשמאל את ארבע עונות השנה: חורף הלבושה לבוש חם ומחזיקה בידה עץ חסר עלים. סתיו, שפירות אשר בשלו בקיץ ונאספו בסתיו עוטרם את ראשו. קיץ, שראשו מעוטר בשיבולים הנקצרים בעונה זו ואביב, שראשו מעוטר בפרחים ועלים.

לא ברור בדיוק מה קרה לאוראנוס לאחר שילדיו תקפו אותו והורידו אותו מגדולתו. יתכן והוא עדיין צופה על הארץ ממקום סתר.

הגדולים ביותר: המלט, אותלו ומקבת מכוסה בחומר לא מזוהה בעל צבע כהה מאוד, אשר שקע בהם אחרי שנוצרו. אלו הם מכתשים קדומים יותר. במכתשים היותר צעירים יש משקע בהיר.

פני הירח חתוכים במערכת קניונים עמוקים, אם כי פחות מאשר בטיטניה.

הוא המרוחק ביותר מאוראנוס מבין הירחים הגדולים. תצורות גיאולוגיות על פני אוברון: המכתשים נקראים על שם גיבורים מתוך הטרגדיות של שקספיר ושאר תצורות הקרקע השונות נקראות על שמות מקומות המוזכרים ביצירותיו.

פוק

ירח אפרפר כמעט כדורי (בקוטר של כ-150 ק"מ), הנמצא בין טבעות אוראנוס לבין מירנדה, הירח הראשון מבין הירחים הגדולים. התגלה ב-30 בדצמבר שנת 1985 על ידי סטפן פ. סינוט (Stephen P. Synnott), מדען בתוכנית וויאג'ר 2, מתצלום שצילמה החללית. השם שניתן לו לקוח מהמיתולוגיה הקלטית ומהפולקלור האנגלי. זהו גם שמו של שדון קונדס המופיע ב"חלום ליל קיץ" כעושה דברו של אוברון, מלך הפיות.

פוק, הוא הגדול מבין הירחים הפנימיים של כוכב הלכת והוא מכוסה במכתשים רבים. רק שלושה מכתשים זכו לשם (בשנת 1988) והגדול מכולם הוא בקוטר של 45 ק"מ. שלושת המכתשים קרויים על שמות שדונים שובבים, דמויי פוק, במיתולוגיות אירופיות: בוגל (Bogle) מהמיתולוגיה הקלטית; בוץ (Butz) מהמיתולוגיה הגרמנית ולוב (Lob) מהמיתולוגיה האנגלית.

מיתולוגיה

אוראנוס הוא הראשון בשושלת שליטי השמים. פרוש שמו ביוונית - שמים (שמה של מוזת האסטרונומיה הוא: "אורניה" (Urania) = שמיימית). זהו כוכב הלכת היחיד במערכת השמש הנקרא בשמו היווני ולא הרומאי. האל הרומאי המזוהה עם אוראנוס היווני הוא איון (Aion) שייצג את הנצח וסימל גם את השמים. בת זוגו היתה טֶרָה, או בשמה האחר - טֶלוּס (Terra or Tellus) טרה סימלה את האדמה והיתה מזוהה עם גאיה. יתכן, ששמה הכפול בא מהביטוי "טֶרָסָה טֶלוּס" (tersa tellus), שפרושו: אדמה יבשה.

אוראנוס נולד (ללא אב) להורתו/אשתו גאיה (Gaia), שפרוש שמה המילולי הוא: כדור הארץ, אשר היתה, למעשה, אם היקום. לאוראנוס וגאיה נולדו בנים ובנות חלק מהם ידועים כטיטאנים. מהם בלט במיוחד קרונוס (סטורן=שבתאי), שרצה להחליף את אביו בשליטה על העולם והשמים.

במערכת השמש נמצאים: האב - אוראנוס/אורון, הבן - סטורן/שבתאי (קרונוס) והנכדים - יופיטר/צדק (זאוס)



ירחי אוראנוס בתמונה משפחתית כפי שצולמו מחללית וויאג'ר 2 בשנת 1986. מסודרים לפי מרחקים מכוכב הלכת (משמאל לימין): פוק, מירנדה, אריאל, אומבריאל, טיטאניה ואוברון. גודלם של אוברון וטיטאניה כמחצית מהירח. מקור NASA.

כדור הארץ - דנה קוג'מן

מבוא

מהי משמעות סיבובו של כדור הארץ?

כדור הארץ מסתובב סביב צירו במהירות של כ-0.5 ק"מ לשנייה. יממה היא משך הזמן שלוקח לכדור הארץ להשלים סיבוב סביב עצמו, סיבוב שנמשך כ-24 שעות. כמו כן, הוא נע סביב השמש במהירות של כ-29 ק"מ לשנייה. שנה היא משך הזמן שלוקח לכדור הארץ להשלים את סיבובו סביב השמש. כדור הארץ נוסה על צירו ב-23.44 מעלות. כאשר הוא סובב סביב השמש, נטייתו גורמת לכך שבחצי המסלול של סיבוב הארץ סביב השמש, חצי הכדור הצפוני מקבל יותר שמש מחצי הכדור הדרומי, ובחצי השני של סיבוב הארץ סביב השמש המצב הפוך. לכן אין קיץ וחורף באותו הזמן בחצי הצפוני של כדור הארץ ובחצי הדרומי.

מהי האטמוספירה של כדור הארץ?

האטמוספירה של כדור הארץ היא מעטפת של אוויר מסביב כדור הארץ. האטמוספירה מורכבת מכ-78% חנקן, 21% חמצן, 0.934% ארגון, 0.035% פחמן דו-חמצני, וכמויות מזעריות של גזים נוספים, כמו מימן, מתאן, הליום ועוד. כמו כן קיימת כמות כלשהי של מים באטמוספירה, בין 0 ל-7 אחוזים, בהתאם לאזור הגיאוגרפי ולאקלים. ככל שעולים ומתרחקים מכדור הארץ, הולכת צפיפות האוויר ונעשית דלילה יותר.

מהו תפקידה של שכבת האוזון באטמוספירה?

בגובה של כ-20 קילומטרים שוכנת שכבת האוזון, המגנה עלינו מפני הקרינה האולטרה סגולה המגיעה מהשמש. ראשיתה של שכבת האוזון הוא בתהליך הפוטוסינתזה שעשו צמחים עד שנוצרו מולקולות רבות של אוזון. פוטוסינתזה היא תהליך שבו צמחים יוצרים חומרים אורגניים (מן החי והצומח) מחומרים אנאורגניים (מן הדומם) באמצעות אנרגיית האור. החומרים האנאורגניים בתהליך זה הם פחמן דו-חמצני ומים, והחומרים האורגניים שנוצרים הם סוכר וחמצן שנפלט אל הסביבה. לשכבת האוזון נודעה חשיבות רבה בשל העובדה שהיא "מסננת" את הקרינה האולטרה סגולה המגיעה

כדור הארץ הוא כוכב לכת במערכת השמש. הוא השלישי במרחקו מן השמש והחמישי בגודלו במערכת. כדור הארץ נוצר לפני ארבעה וחצי מיליארד שנים. כ-20 עד 30 מיליון שנה לאחר מכן נוצר סביבו הלווין הטבעי - הירח. כמיליארד שנים לאחר שנוצר כדור הארץ החלו להיווצר בו התאים החיים הראשונים.



הירח: הלווין הטבעי של כדור הארץ: צולם על ידי שחר בן ורון

מהו המבנה של כדור הארץ?

כדור הארץ הוא אליפטי ופחוס (שטוח) בקטבים. הקוטר (רוחב הכדור) הממוצע שלו הינו 12,742 ק"מ בקירוב. פחות משליש מפני כדור הארץ הם יבשה והשאר מכוסים מים. בנוסף למי האוקיינוסים יש גם אחוז קטן של מים ביבשה, בימות, אגמים, נהרות, נחלים ומי תהום.

בכדור הארץ 3 שכבות עיקריות: קרום, מעטפת וליבה (גרעין). השכבה העליונה היא הקרום. עובי הקרום הוא כ-5 ק"מ מתחת לאוקיינוסים ועד 70 ק"מ מתחת לרכסי הרים. השכבה הבאה היא מעטפת סלעים שעוביה כ-2,800 ק"מ. הליבה היא השכבה הפנימית ביותר. קוטר הליבה הוא בערך 7,000 ק"מ.

מהשמש ולא מאפשרת לכמות גדולה של קרינה לעבור
ובכך מאפשרת את החיים על פני האדמה.

כיצד פועל כוח הכבידה על כדור הארץ?

האנשים מעברו האחר של כדור הארץ נמצאים במצב
מהופך ביחס אלינו, אך הם אינם נופלים ממנו אל החלל.
הם צמודים אל כדור הארץ בדיוק כמונו, בגלל שכוח
הכבידה (כוח המשיכה) מושך כל דבר אל מרכז כדור
הארץ. הכיוון למטה הוא תמיד לעבר מרכז כדור הארץ.

כוח הכבידה של כדור הארץ גורם להאצה ולהגדלת
המהירות של גופים נופלים, המהירות אינה תלויה

במשקל. גוף קל ייפול באותה מהירות כמו גוף כבד אלא
אם כן האוויר יאט את מהירותו. המדען האיטלקי גלילאו
גליליי היה הראשון שהבחין בזאת לפני 400 שנה.

כוח הכבידה גורם לירח להמשיך לנוע סביב כדור הארץ.
גם לכוח הכבידה של הירח יש השפעה על כדור הארץ.
השפעה זו מתבטאת כאשר הירח נמצא מעל האוקיינוס.
אז כוח הכבידה שלו מושך את מי האוקיינוס לעברו
ונוצרת תופעת גאות בים. השפל מתרחש כאשר כדור
הארץ ממשיך להסתובב וכוח הכבידה של הירח פונה
לכיוון אחר.



הכדור הכחול - אולי התמונה המפורסמת ביותר של כדור הארץ. התמונה צולמה על ידי החללית אפולו 17 והיא הראשונה בה
רואים חצי מכדור הארץ. יבשת אנטארקטיקה נראית למטה וישראל נראית למעלה. מקור: נאסא

בהירות הירח – גדי איידלהייט

הסברים על מדידת בהירויות של כוכבים. בהירות כוכבים נמדדת בסולם לוגריתמי. כל שינוי של 5 יחידות בבהירות הוא שינוי של פי 100 בבהירות. ככל שהמספר המציין את הבהירות נמוך יותר, כך הכוכב בהיר יותר. יחידת בהירות אחת מייצגת הבדל של בערך פי 2.5. כנקודת ייחוס משתמשים בכוכב וגה שבהירותו נקבעה לאפס. בהירות השמש היא 26-. בהירות הירח המלא היא 12.7-, הרבה פחות מהשמש אבל עדיין העצם השני בבהירותו בשמים.

ירח מלא הוא מאד בהיר. כל כך בהיר שאפשר לקרוא ספר לאורו. הירח, יום לפני או אחרי המילוא הוא בהיר כמעט באותה מידה, בכל זאת לעין הירח נראה עיגול מושלם ורק שבריר אחוז אינו מואר. אבל בדיקה מקיפה תראה שהירח הרבה פחות בהיר כבר יום אחד לפני או אחרי המולד. באותו אופן, חצי ירח, ברבע החודש אינו בהיר במחצית מירח מלא אלא הרבה הרבה פחות. נציג קודם כל את הגרף ואחר כך ננסה להבין את הסיבה לתופעה משונה זו, הנראית מנוגדת להגיון. קודם כל כמה



הגרף מציג את השתנות בהירות הירח. רואים שכבר ימים ספורים לפני או אחרי המולד, בהירות הירח יורדת בצורה דרמטית.

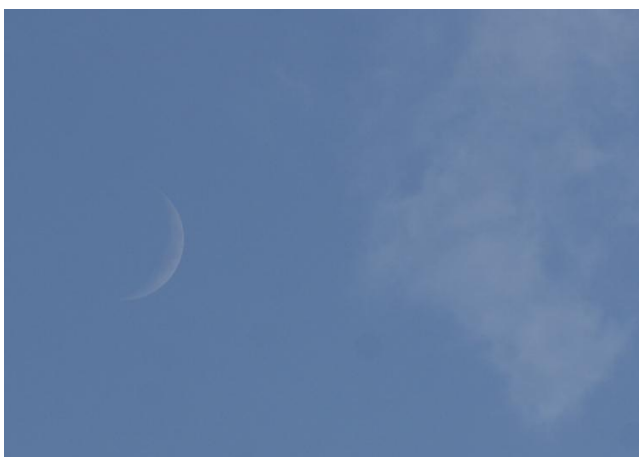
מוארים). בהירותו של חצי ירח היא שמונה אחוזים בלבד מירח מלא, והבהירות בתחילת חודש ירחי נמדדת בשברי אחוזים ומסבירה מדוע כל כך קשה לראות בתחילת החודש את הירח החדש, כאשר עוד יש אור בשמים! דרך אגב, באופן אירוני, הירח יהיה בשיא בהירותו כאשר הוא בדיוק מאחורי כדור הארץ (מאחר ואז המקסימום משטחו פונה אלינו), אולם במצב זה הוא נמצא בשיאו של ליקוי ירח וכמובן אינו נראה כלל!

הגרף למעלה מראה את בהירות הירח כפי שנראה מכדור הארץ, באחוזים לעומת השיא, שמיוצג בראש הגרף כ-100%. שימו לב, לא בכל חודש מגיעים לשיא האפשרי, מאחר והוא תלוי גם במרחק של הירח מכדור הארץ (הירח קצת בהיר יותר כשהוא קרוב), אבל ההפתעה היא העקמומיות של הגרף. אפילו יום אחד בלבד, לפני ירח מלא, הבהירות היא רק 75% מהשיא, שלושה ימים לפני המילוא הבהירות היא מחצית (בעוד שלעין יראה עיגול ירח כמעט מושלם מאחר ולמעלה מ-90% משטח הירח

שימו לב לירח באור יום ולאור ירח בלילה. הירח הבהיר מאוד של הלילה נראה כל כך חיוור באור יום ובקושי בולט יותר מענן. בהירות הירח כמו כן לא השתנתה כלל (למעט השינוי הקל מאוד בגלל הפרש של כמה שעות) אלא שהרקע של השמים ביום בהיר מאוד לעומת הרקע של השמים בלילה והירח הרבה פחות בולט ממנו. גורם נוסף, הוא שבהירות הירח אמנם גבוהה מבהירות השמים (ואף מבהירות כוכב הלכת נוגה), אולם הבהירות, היא הבהירות הכללית, המתחלקת על שטח גדול יחסית (קוטר הירח כחצי מעלה), לעומת בהירות של כוכבים שהיא נקודתית (ושל נוגה, דיסקה הקטנה מאוד מהירח). הסבר זה יבהיר למה כוכב הלכת נוגה בצילום למטה נראה בהיר הרבה יותר מהירח, למרות שבהירות הירח גדולה יותר.



הירח בהיר יותר מנוגה, אולם בהירותו מפורזת על פני שטח גדול, מה שגורם לנו לראות את נוגה (ששטחו קטן בהרבה) כבהיר יותר. צולם במהלך ההתכנסות של נוגה בירח על ידי המחבר



הירח ביום, נראה בקושי על רקע השמים הכחולים, ולא שונה בהרבה מהעננים. ככל שהירח מלא יותר קל לראותו בשעות היום. צולם על ידי המחבר

למה בהירות הירח משתנה כל כך? להפרש הבהירות כמה סיבות. האחת היא הסיבה הפשוטה והברורה. ככל שפחות משטח פני הירח הפונה אלינו מואר, בהירותו יורדת. זו אכן השפעה ביחס ישיר והיא תורמת את תרומתה (הקטנה) להפרש הבהירות. למשל בחצי ירח, סיבה זו מסבירה חצי מהירידה (אבל לא את הירידה ב-85% נוספים) וצריך לחפש את הסיבה העיקרית

לירח, כמו לכל דבר אחר בכלל ולגוף שמיימי בפרט, יש מקדם החזרה, הנקרא אלבידו. אלבידו פירוש כמות האור באחוזים המוחזר מהאובייקט. האלבידו של הירח בממוצע הוא 0.12 כלומר הוא מחזיר 12% מהאור הפוגע בו בלבד (זהו אלבידו נמוך יחסית לכוכבי לכת אחרים). האלבידו של כדור הארץ גבוה הרבה יותר בעיקר בגלל ההחזרה הגבוהה של העננים הלבנים והמים שעל פניו). אבל החזר זה מתבצע רק כאשר הירח מואר באור ישיר, מה שקורה רק באמצע החודש. באמצע החודש האור פוגע בירח בזווית וחלקו כלל לא מגיע אלינו, בנוסף פני הירח אינם חלקים אלא מחוספסים מאוד. כאשר האור מהשמש מגיע לירח בזווית (קטנה ככל שתהיה), חלקים רבים מפני הירח כלל לא מחזירים אור מאחר והם נמצאים בצל וכלל לא מקבלים אור. כאשר הזווית גדלה, אחוז החלקים האלו הולך וגדל, והירח מחזיר פחות ופחות אור, וכתוצאה מכך בהירותו הכללית יורדת.

גם כאשר הירח מלא, בהירותו אינה מגיעה לשיא (אפילו בקרבה מקסימלית לכדור הארץ). תמיד יש זווית כלשהי ביננו לבין הירח (הירח אינו על אותו מישור של השמש והארץ). אם ברשותכם מצלמה המאפשרת שליטה על הכיוונונים תוכלו להיווכח בקלות בשינוי הבהירות. צריך לכוון את המצלמה למדידת אור נקודתית (Spot). בצורה זו המצלמה מודדת אור רק ממרכז הצילום (שכמובן יהיה על הירח). יש לקבע את מפתח הצמצם (על 5.6 למשל) ואת ISO על ערך קבוע ולתת למצלמה לכוון את מהירות החשיפה לפי כמות האור. צלמו והשוו את נתוני החשיפה בלילות של חצי ירח והלאה עד למילוא ותראו את ההבדלים. בליל הירח המלא זמן החשיפה יהיה כמו כן הקצר ביותר. שימו לב שמדידת האור לא תהיה נקודתית מדי. גם על הירח עצמו יש איזורים בהירים יותר ופחות והדבר נראה בקלות בעין. נסו למדוד מאותו איזור תמיד.

למרות כל זאת, הירח, החל מהיום השני בחודש, הוא העצם הבהיר ביותר בשמים (פרט לשמש כמובן). כבר אז הוא מטיל צל (חייבים להיות במקום חשוך בשביל לראות צל חיוור זה, ככל שהירח מתמלא ונהיה יותר בהיר, קל יותר לשים לב לצל שלו. בתור תרגיל נסו לעמוד במקומות חשוכים בימים שונים בחודש ולראות אם אתה מזהים צל ירח. כמו כן הירח בהיר וניתן לראותו גם באור יום. אולם

מה קורה במערכת השמש – What's up in the solar system - מעודכן לחודש ינואר 2012. התרשים מראה את מיקומן של כל החלליות במסלול סביב כוכבי לכת או בדרך לשם כולל עדכונים לשנים הקרובות. חלק מהמשימות מתוארות במגזין. התרשים מתעדכן מפעם לפעם וניתן לראותו באתר www.planetary.org. ביצוע על ידי אולף פרוהן Olaf Frohn ומופץ בהתאם לתנאי רישיון CC-BY-NC-SA.

