

## הכנה לחידון החלל והאסטרונמיה הארצי החמישי ע"ש אילן ואסף רמון לבתי הספר היסודיים



צוות המעבורת קולומביה, מימין לשמאל: אילן רמון, ויליאם מק'קול, מייקל אנדרסון, קלפנה צ'אולה, לאורל קלארק, ריק האסבנד, דייוויד בראון

עשר שנים מלאו לאסון המעבורת קולומביה שהתרסקה עם שובה לכדור הארץ כשחזרה ממסעה בחלל. באסון זה נספו כל אנשי צוות המעבורת, ביניהם גם אל"מ אילן רמון האסטרונאוט הישראלי הראשון. חידון זה הוא לזכרם.

**הפרוייקט מופעל בסיוע הקרן להנצחה ממלכתית לזכרו של טייס החלל (האסטרונאוט) הישראלי הראשון, אל"מ אילן רמון ז"ל**

### הכנה לנושאי החידון

**בהכנה זו שלושה פרקים: כדור הארץ, אסטרונמיה והאדם בחלל**

#### א. מידע כללי על כדור הארץ

כדור הארץ (EARTH) הוא כוכב לכת (PLANET) השלישי במרחקו מהשמש והחמישי בגודלו במערכת השמש שלנו. גילו כ-4.5 מיליארד שנים והוא מלווה בירח שהוא הלוויין הטבעי הסובב סביבו כמעט מאז היווצרותו. תאים חיים הופיעו על

פני כדור הארץ כמיליארד שנים לאחר שנוצר. נכון להיום וככל שידוע לנו, זהו כוכב הלכת היחיד ביקום שיש על פניו צורות חיים כלשהן.  
קוטרו הממוצע של כדור הארץ – כ-12,740 ק"מ והיקפו הממוצע 40,075 ק"מ.

כ-70% מפני השטח של כדור הארץ מכוסים מים וכ-30% מפני השטח הן יבשות.

כדור הארץ סובב סביב עצמו – סיבוב שנמשך יממה - כ-24 שעות. הירח מקיף את כדור הארץ במשך חודש בממוצע. ואילו כדור הארץ סובב סביב השמש במסלול אליפטי שנמשך שנה – כ-365 ימים. הנקודה הקרובה ביותר לשמש נקראת פריהליון והנקודה הרחוקה ביותר נקראת אפהליון. מהירות כדור הארץ במסלולו היא כ-29 ק"מ בשניה.

יבשות נוצרו, נפרדו והתאחדו מחדש על פני כדור הארץ ותהליך העיצוב נמשך והשתנה שוב ושוב. לפני כ-750 מיליוני שנים בערך החלה יבשת העל רודיניה שהיא הראשונה הידועה לנו להתפרק. מאוחר יותר התחברו שוב היבשות ונוצרה פנוטיה. זו התפרקה לפני כ-540 מיליוני שנים וחלקיה יצרו אחר כך את פנגיאה שהתפרקה אף היא לפני כ-180 מיליון שנים ליבשות המוכרות לנו היום: אמריקה הצפונית, אמריקה הדרומית, אירופה, אסיה, אפריקה, אוסטרליה ואנטארקטיקה.

## מושגי יסוד במדעי כדור הארץ

1. **פלנטה** – כוכב לכת הסובב סביב שמש. במערכת השמש שלנו יש 8 פלנטות.
2. מסלול אליפטי – צורת מסלולו של כדור הארץ סביב השמש היא כאליפסה כשהשמש מצויה באחד ממוקדי האליפסה.
3. **רודיניה** – יבשת העל הראשונה הידועה לנו. החלה להתפרק ליבשות בודדות לפני כ-750 מיליוני שנים ולאחר מכן במשך מיליוני שנים אוחדה מחדש.
4. **פנוטיה** – יבשת העל השניה הידועה לנו. החלה להתפרק לפני כ-540 מיליוני שנים ולאחר מכן במשך מיליוני שנים אוחדה מחדש.
5. **פנגיאה** – יבשת העל השלישית הידועה לנו. התפרקה לפני כ-180 מיליוני שנית ליבשות של היום.
6. **לוחות טקטוניים** – משטחי סלע מוצקים שמרכיבים את הליטוספירה שהיא ההשכבה העליונה שבקרום כדור הארץ. בקרום כדור הארץ יש 9 לוחות טקטוניים.
7. **שקע מריאנה** – השקע העמוק ביותר בקרום כדור הארץ. נמצא באוקיינוס השקט ועומקו קרוב ל-11 קילומטרים.
8. **אוורסט** – ההר הגבוה ביותר בקרום כדור הארץ. נמצא באסיה ברכס ההימליה ומגיע ל-8,488 מטרים.
9. **אטמוספירה** – שכבת האוויר העוטפת את כדור הארץ.
10. **טרופוספירה** – שכבת האוויר התחתונה של האטמוספירה.
11. **גלי צונמי** – גלי ענק המגיעים עד לגובה של עשרות מטרים והנוצרים באוקיינוסים בעקבות רעידת אדמה בקרקעית הים.

## ב. כוכבי הלכת - הפלנטות של מערכת השמש שלנו

הגופים הגדולים במערכת השמש שלנו, אלה שמקיפים את השמש נקראים **כוכבי לכת** - **פלנטות**. מקור השם **כוכב לכת** או **פלנטה** (Planet, מיוונית: *planasthai* שפירושו לנדוד), נעוץ בעובדה שכאשר צופים בהם מכדור הארץ הם נראים כנמצאים בתנועה ביחס לכוכבים הרחוקים שנראים על כיפת השמים. גם אלה נעים אולם הם כה רחוקים מאיתנו עד כי תנועתם ביחס אלינו איטית מאוד וכמעט אינה נראית. לפלנטות אין אור עצמי והם מחזירים לעינינו את אור השמש המאיר אותם.

שמונה כוכבי לכת נמצאים במערכת השמש שלנו. בעבר נחשב גם פלוטו ככוכב הלכת התשיעי במערכת השמש, אך מאז הכנס של האיגוד הבין-לאומי לאסטרונומיה באוגוסט 2006 שבו הוגדרו התנאים להגדרת גוף שמימי ככוכב לכת, הוצא פלוטו מהרשימה וכונה 'כוכב לכת ננסי'.

### כוכבי לכת פנימיים וחיצוניים

ארבע הפלנטות הקרובות יותר לשמש, **כוכבי הלכת הפנימיים**, הקרויים גם - כוכבי הלכת הסלעיים, הם: **חמה (מרקורי)**, **נוגה (ונוס)**, **כדור הארץ ומאדים (מרס)**.

ארבע הפלנטות הרחוקות יותר - **כוכבי הלכת החיצוניים** הקרויים גם כוכבי הלכת הגזיים, הם: **צדק (יופיטר)**, **שבתאי (סאטורן)**, **אורון (אורנוס)** ו**רהב (נפטון)**.

בין הפנימיים לחיצוניים נמצאת חגורת האסטרואידים.

**מרקורי- כוכב חמה Mercury (☿)** – הקרוב ביותר לשמש. בלועזית נקרא כוכב הלכת על שם האל הרומאי מרקורי שזוהה עם שליח האלים הרמס בגלל מהירותו בשמי הלילה. מרקורי - חמה נמצא במרחק ממוצע של כ־58,000,000 ק"מ מהשמש. המסה שלו רק 6% מהמסה של כדור הארץ, הקוטר 40% מזה של כדור-הארץ, כוח המשיכה שלו קטן פי 2.5 משלנו ואין לו ירחים. היממה השמשית בכוכב הלכת חמה היא 176 יממות שלנו, ומשך הקפתו את השמש - 87.97 ימים שלנו.

**ונוס- נוגה Venus (♀)** - כוכב הלכת השני במרחקו מהשמש והשלישי בזוהרו בשמי כדור-הארץ אחרי השמש והירח. נושא את שם האלה הרומאית – ונוס. בעברית נוגה מסמל זוהר רב. נוגה מרוחק מהשמש כ-107 מיליון קילומטרים ודומה בממדיו לכדור הארץ. פני השטח מצולקים במכתשים, בקעות, מישורים והרי געש. האטמוספירה צפופה מאוד (פי 92 מאטמוספירת הארץ) מורכבת בעיקר מפחמן דו-חמצני CO<sub>2</sub> ומעט חנקן, מה שגורם לאפקט חממה חזק - הטמפרטורה על פני השטח מגיעה לכ-400 מעלות צלזיוס. גם לנוגה, כמו לחמה, אין ירחים.

**כדור הארץ - Earth (♁)** כוכב הלכת השלישי במרחקו מהשמש - 150 מיליון קילומטרים ממנה והגדול מבין ארבעת כוכבי הלכת הפנימיים. קוטר כדור הארץ כ-12,800 ק"מ. כ-70% מפניו מכוסים באוקיינוסים והוא היחיד במערכת השמש שבוודאות יש על פניו חיים. הרכב האטמוספירה של כדור הארץ הוא כ-78% חנקן, 21% חמצן, 1% ארגון + כמויות קטנות של גזים שונים שהעיקרי שבהם הוא פחמן דו-חמצני. האטמוספירה של כדור הארץ שונתה בידי החיים שעל פניו ומתקיים בו מחזור מים. בגובה 25 קילומטרים בערך נמצאת שכבת אוזון שמגינה על כדור הארץ

מהקרינה האולטרא-סגולה שמגיעה מהשמש. לכדור הארץ יש לוויין טבעי גדול – הירח שנמצא במרחק כ-380,000 קילומטרים ממנו. הירח חסר אטמוספירה.

**מארס- מאדים Mars (♂)** כוכב הלכת הרביעי במרחקו מהשמש - כ-230 מיליון קילומטרים ממנה. בשמי הלילה הוא מוכר בצבעו האדמדם, בגלל ריבוי תחמוצת הברזל בקרקע כוכב הלכת. במיתולוגיה הוא נקרא על שם אל המלחמה ארס (היווני) ומרס (הרומאי) כי צבעו של כוכב הלכת הזכיר לקדמונים דם שנשפך בקרבות. בעברית שמו פשוט מתאר את העובדה שצבאו אדמדם. מאדים הוא שלישי בגודלו מבין כוכבי הלכת הסלעיים וקוטרו כ-6,721 ק"מ. האטמוספירה שלו דקה מאוד וכ-95% ממנה הוא פחמן דו-חמצני. כיום אין משקעים על פני מאדים, אך מצויים סימנים למים זורמים בעברו הרחוק. למאדים שני ירחים, פובוס ודימוס שמורכבים בעיקר מסלעים וסבורים שמקורם בחגורת האסטרואידים וכי הם נלכדו בכבידה של כוכב הלכת והפכו ללווייניו הקבועים.

## חגורת האסטרואידים - Asteroid Belt

האסטרואידים הם למעשה גופים קטנים במערכת השמש שמורכבים ברובם מסלעים וחומרים לא נדיפים אחרים. חגורת האסטרואידים מפרידה בין כוכבי הלכת הפנימיים והחיצוניים. היא נמצאת במסלול שבין מאדים לצדק במרחק של כ-3500-500 מיליון קילומטרים מהשמש. האסטרואידים המצויים באזור זה הם בגדלים שונים שבין כמה מטרים לכמה מאות מטרים. מצויים שם עשרות אלפי אסטרואידים ויותר, אך מספרם אינו בהכרח מעיד על מסה גדולה, שכן המסה של כדור הארץ גדולה פי אלף מהמסה של כל האסטרואידים האלה יחד. בניגוד לגופים קרובי ארץ (אסטרואידים שמשוטטים בחלל ועלולים להגיע לקרבת כדור הארץ) - אלה שבחגורת האסטרואידים אינם נחשבים כמסכנים את כדור הארץ.

**יופיטר- צדק Jupiter (♃)** כוכב הלכת החמישי מהשמש והוא ענק הגזים הראשי, הראשון מבין כוכבי הלכת הגזיים והמאסיבי ביותר במערכת השמש. מרחקו הממוצע מהשמש כ-780 מיליון ק"מ, והמסה שלו גדולה פי 318 מזו של כדור הארץ ופי 2.5 מהמסה הכוללת של שאר כוכבי הלכת. קוטרו של צדק הוא 142,990 ק"מ לעומת 12,800 ק"מ בלבד של כדור-הארץ. ממדיו זיכוי אותו בכינוי "שואב אבק קוסמי" בגלל כוח המשיכה הרב שלו. צדק קרוי על שם האל הרומאי יופיטר שהיה ראש האלים (המקביל לזאוס היווני) והממונה בין השאר על החוק והסדר. מכאן גם נגזר שמו העברי "צדק".

צדק הוא אלוף הירחים. עד עתה זוהו סביבו 100 ירחים כשארבעת הגדולים שבהם נצפו כבר על ידי גלילאו גליליי והם גם נקראים ירחי גלילאו: איו, אירופה, גנימד וקליסטו. קוטרו של גנימד גדול משל כוכב הלכת חמה – הראשון במרחקו מהשמש.

**סאטורן- שבתאי Saturn (♄)** כוכב הלכת השישי במרחקו מהשמש והשני מבין ענקי הגז, מזוהה עם אל הקציר והתבואה הרומאי- סאטורן. שבתאי נמצא במרחק ממוצע של 9.5 יחידות אסטרונומיות מהשמש (יחידה אסטרונומית אחת היא 150,000,000 ק"מ) והוא המאסיבי השני במערכת השמש אחרי צדק; מסתו גדולה פי 95 מהמסה של כדור הארץ וקוטרו 120,500 ק"מ. שבתאי מפורסם ביופי טבעותיו, המורכבות מגושי קרח וכמו צדק, מקיפים אף אותו עשרות ירחים. הירח הגדול

ביותר של שבתאי הוא טיטאן והוא אף הירח היחיד במערכת השמש בעל אטמוספירה משלו.

**אורנוס - אורון (♅) Uranus** - כוכב הלכת השביעי במרחקו מהשמש, התגלה בעזרת טלסקופ ב-1781. אורנוס הוא ענק גזי שנמצא במרחק ממוצע של 19.6 יחידות אסטרונומיות מהשמש. מסתו גדולה פי 14 מהמסה של כדור הארץ וקוטרו עומד על 51,118 ק"מ. מעבר לגזים השונים מורכב אורנוס גם מסוגי קרח שונים והטמפרטורה על פני עולם קפוא זה היא מינוס 218 מעלות צלזיוס. כשכניו הגזיים, גם לו 11 טבעות פלנטריות ומספר ירחים רב שמהם זהו כ-27.

**נפטון - רהב Neptune (♆)** כוכב הלכת השמיני במרחקו מהשמש, התגלה לראשונה בטלסקופ ב-1612 ע"י גלילאו שטעה וחשב אותו לכוכב שבת (שמש). רק לאחר חישובים ותצפיות הוא זוהה ככוכב לכת של מערכת השמש וזאת בגלל צבעו הכחול. נפטון, ענק הקרח השני אחרי זו כדור הארץ, הקוטר כ-49,538 ק"מ ומבין ארבעת כוכבי הלכת החיצונים הוא הקטן והמרוחק ביותר מהשמש. גם בעולם הקפוא הזה עומדת הטמפרטורה הממוצעת על מינוס 218 מעלות צלזיוס. עם זאת, נושבות בו הרוחות החזקות ביותר במערכת השמש, יותר מ-2,000 קמ"ש. לנפטון 13 ירחים שהגדול ביניהם הוא טריטון.

### פלנטות ננסיות:

עד כה נתגלו 5 פלנטות ננסיות: קרס בחגורת האסטרואידים, פלוטו, האומיה מאקה-מאקה ו-ארס מעבר לנפטון בחגורת קויפר. האזור המעגלי סביב השמש שמעבר לנפטון (רהב) נקרא על שם האסטרונום ההולנדי-אמריקאי שגילה אותו ג'רד קויפר. מדובר בטווח שבין 30 ל-50 יחידות אסטרונומיות מהשמש שבו סובבים כמה אלפי גופים בגדלים משתנים אשר קוטרם בממוצע כמה מאות קילומטרים. שם נמצא גם פלוטו שקוטרו הוא כ-2300 ק"מ. שם כנראה גם מקורם של רבים מהשביטים.

## השמש

### ממה עשויה השמש?

השמש עשויה מגזים לוהטים, שמכילים את אותם החומרים שנמצאים על פני כדור הארץ. חומרים אלה נקראים יסודות. על פני השמש קיימים יסודות רבים, אבל החלק העיקרי מכיל שני סוגי גזים: מימן והליום. למעשה, אפילו גופנו מורכב מיסודות שנוצרו בכוכב שהתפוצץ וממנו נוצרה מערכת השמש שלנו. לכן ניתן להבין את דבריו של מדען מפורסם בשם קרל סאגאן שאמר שאנחנו "אבק כוכבים".

### עד כמה גדולה השמש?

השמש ענקית! למרות שהיא נראית די קטנה, היא למעשה גדולה בהרבה ממה שרובנו יכולים לשער. היא רק נראית קטנה מכיוון שהיא מרוחקת מאתנו. כדור הארץ הוא למעשה קטן מאד ביחס לשמש. קוטר השמש הוא כ-1.4 מיליון קילומטר בעוד קוטר כדור הארץ הוא רק כ-12,800 קילומטר. אם ניתן היה למלא את נפח

השמש בכדורים ככדור הארץ, ניתן היה להכניס לנפחה של השמש למעלה ממיליון כדורים בגודל כדור הארץ!

### עד כמה רחוקה השמש?

השמש מרוחקת מכדור הארץ כ-150 מיליון ק"מ. אילו היינו מתייחסים לשמש כאל כדור בקוטר של 1.4 מטר, אז בהשוואה אליה כדור הארץ היה בקוטר של 1.3 סנטימטר בערך ובמרחק של 150 מטר ממנה! ואם היינו יכולים לעמוד על פני השמש (ולא להישרף) ולהשקיף לכיוון כדור הארץ, היינו זקוקים לטלסקופ כדי להבחין בו! ואם היינו יכולים לנסוע אל השמש במכונית והיינו נוסעים במהירות של 100 קילומטרים בשעה ללא הפסקה, היינו מגיעים אל השמש כעבור למעלה מ-170 שנה! אפילו האור הבוקע מהשמש מגיע אלינו כעבור כ-8 דקות מרגע היציאה.

## הירח ומופעיו

גרם השמים הבולט ביותר בחיינו בנוסף לשמש הוא הירח, הלוויין הטבעי של כדור הארץ. גלילאו גליליי, בשנת 1610, היה מהראשונים שצפו בו מבעד לטלסקופ שהגדיל פי 16 בלבד.

### הצד ה"אפל" של הירח

כדור הארץ והירח המרותקים זה לזה בהשפעת הכבידה מתפקדים בעצם ככוכב לכת כפול. אך מכיוון שמסת כדור הארץ גדולה מזו של הירח פי 81, נמצא מרכז הכובד של המערכת המשותפת מתחת למעטה כדור הארץ. בשל השפעת הכבידה של כדור הארץ על הירח, מפנה הירח אל הארץ תמיד את אותו צד ומכאן שמשך סיבוב הירח סביב צירו זהה למשך ההקפה שלו סביב כדור הארץ - 29.5 ימים. את הצד המרוחק, המכונה "הצד הנסתר", אין אנו רואים מכדור הארץ אף פעם.

הירח, כמו כוכבי הלכת והירחים במערכת השמש, מקבל את אורו מהשמש. קרני השמש מאירות תמיד רק מחצית מפני הירח, אך אנו מסוגלים להבחין רק בחלקים המוארים של הצד הפונה כלפינו. זאת הסיבה לכך שפני הירח משתנים מיום ליום.

### זריחת הירח ומופעיו

מאחר שמהירות הסיבוב של כדור הארץ גדולה מזו של הירח, אנו מבחינים בזריחתו באיחור של 50 דקות בממוצע מלילה אחד למשנהו. בעת מולד הירח הוא מופיע במערב כשהוא הולך ומתמלא, ולאחר המילוא, הוא הולך ומחסיר ונראה במזרח. לוחות שנה רבים מושתתים על מחזור הירח; הראשיים שבהם הם העברי והמוסלמי. לירח יש 8 מופעים: ארבעה עיקריים וארבעה משניים. העיקריים הם: מולד הירח, רבע ראשון, מילוא הירח ורבע אחרון. ביניהם מצויים המופעים המשניים: סהרון מתמלא, לקראת מילוא, אחרי מילוא וסהרון מחסיר. בהמשך נתייחס לארבעת המופעים העיקריים בלבד.

**מולד הירח** - כאשר הירח מצוי על הקו שבינינו לבין השמש. אז מואר צדו הרחוק והצד הפונה לעברנו מוחשך - זהו המולד. בנקודה זו, כאילו "נולד" הירח ומתחיל מחזור חדש.



**רבע ראשון** - כשהזווית בין הירח, כדור הארץ והשמש היא  $90^\circ$ , רואה צופה על פני כדור הארץ רק חצי מפני הירח. מצב זה מתרחש כאשר הירח השלים רבע מהקפתו סביב כדור הארץ ומכאן שמו - רבע ראשון. בין המולד לרבע הראשון יראה הירח כחרמש דק ההולך ומתמלא. התקופה הטובה ביותר לצפות בירח היא בין המולד ועד לאחר הרבע הראשון, כיוון שהוא נראה בשעות נוחות. כמו כן, קרני השמש נופלות עליו בזווית קהה באופן שהצללים הארוכים, שתצורות הנוף שעל פניו מטילות, יוצרים אפקט של אור וצל, המבליט היטב את פני הקרקע.

**מילוא הירח** - כאשר הירח השלים מחצית מהקפתו סביב כדור הארץ, מואר כל צדו הקרוב (הפונה אלינו) מאחר שהוא פונה לשמש. כעת הירח במילואו, - ירח מלא. בעת מילוא הירח, השמש מצויה מול הירח ולכן לא נראים על פניו צללים.

**רבע אחרון** - לאחר כשבוע, הירח השלים שלושה רבעים מהקפתו, והזווית בין הירח, כדור הארץ והשמש היא שוב  $90^\circ$  - זהו הרבע האחרון. כעת, הירח מתמעט והולך, הופך לחרמש דק עד שהוא חוזר למצב של מולד. גם עכשיו, כמו ברבע הראשון, הירח מצוין לתצפית, אך הוא זורח בשעות הקטנות של הלילה.

## מסלול כוכבי הלכת - סובבים ומקיפים את השמש

כבר בימי קדם הבחין האדם בחמישה כוכבים\* שנדמו כנעים ביחס לאחרים הנותרים במקומם. הללו נקראו "כוכבי לכת" או בלועזית - פלנטות\* (PLANETS). היום הם מזוהים בשמות חמה, נוגה, מאדים, צדק ושבתאי. הכוכבים הקבועים נקראו "כוכבי שבת" (יושבים במקומם). מאז המאה ה-18 נתגלו שלושה כוכבי לכת נוספים - שלא ניתן היה לזהותם קודם לכן ללא אמצעי עזר (טלסקופים) - אורנוס, נפטון ופלוטו (שלאחרונה הוצא מסך כוכבי הלכת לפי החלטת איגוד האסטרונומיה הבין-לאומי ונקרא 'כוכב לכת ננסי').

### חשבו שהארץ היא מרכז העולם

תצפיות שבוצעו על ידי תוכנים (כך נקראו האסטרונומים הקדומים) בזמן העתיק הצביעו על כך שהשמש, הירח והכוכבים עולים (זורחים) במזרח ושוקעים במערב. מסקנתם הייתה ש"צבא השמים" נע מסביב לכדור הארץ שהוא מרכז היקום. מודל זה של העולם נקרא "גיאוצנטרי" (גיאוארץ, צנטרום-מרכז). אפלטון החזיק בו במאה הרביעית לפני הספירה וכך גם תלמידו אריסטו. הבנה זו, בניסוחים שונים שפותחו מאוחר יותר, התבססה על שלוש הנחות:

1. תנועת כל גרמי השמים נעשית במעגלים מושלמים.

2. כל הכוכבים עשויים מחומר מושלם אשר לא ניתן לשינוי.

3. כדור הארץ נמצא במרכז היקום.

אמנם התצפיות לא תמיד התאימו למודל וגם, למען הדיוק, היו מספר אנשים שחשבו אחרת, כמו למשל אריסטראכוס מסאמוס\* שטען שלמעשה כדור הארץ נע סביב השמש (לפני כ- 2250 שנה!). אולם דעות אלו נתפסו כמוזרות ולא השפיעו על תמונת העולם המקובלת של אז. המודל הגיאוצנטרי אומץ מאוחר יותר על ידי הכנסייה ושלט באירופה כ- 1800 שנה!



## מהפכת קופרניקוס

נקודת האל-חזור הרשמית להתפתחות האסטרונומיה המודרנית נזקפת לזכותו של אסטרונום פולני במאה ה-16, ניקולאי קופרניקוס, שהפך את התמונה בהציעו מודל "הליוצנטרי" להסבר תנועת הכוכבים (הליוס – שמש, צנטרום – מרכז). במודל הקופרניקאי מוצבת השמש במרכז מערכת כוכבי הלכת (מערכת השמש) ומכאן ש:



המודל הקופרניקאי

כדור הארץ, הייתה אדירה וזכתה לכינוי "המהפכה הקופרניקאית" – כינוי המשמש גם היום לתיאור מהפכה גדולה בכיווני חשיבה.

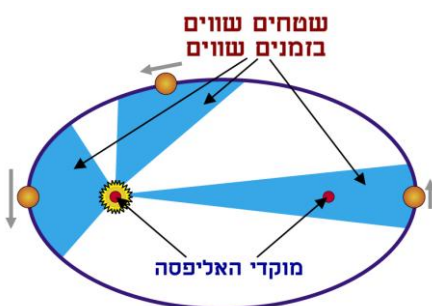
## המסלול האליפטי של קפלר והקנאה של טיכו ברהה

מי שהתמודד עם הקשיים של המודל הקופרניקאי היה מתמטיקאי ואסטרונום גרמני בשם יוהאנס קפלר שחי במאה ה-16. קפלר היה עוזרו של אסטרונום דני בשם טיכו ברהה, שעוד לפני המצאת הטלסקופ ביצע תצפיות מדויקות ביותר על תנועת כוכבי הלכת ואסף את המידע באופן מסודר. הלה חשש מתלמידו המוכשר והטיל עליו משימה מורכבת מאוד – למצוא הסבר למה שנראה כנסיגה והתקדמות בתנועתו של מאדים. ברצונו היה להעסיק את קפלר כדי שלא יפריע לו בפיתוח מודל מעגלי משלו על מערכת השמש. אולם למרבה ההפתעה, דווקא תנועת מאדים אפשרה לקפלר לגלות את מסלוליהם האליפטיים של כוכבי הלכת, לנסח את המשוואות המתארות אותם ולהיכנס להיסטוריה עם החוקים שניסח:

1. כוכבי הלכת נעים במסלול אליפטי\*, שבו השמש נמצאת באחד המוקדים. במצב זה, כשכוכב הלכת רחוק מהשמש, הוא נע לאט יותר, ואילו כאשר כוכב הלכת קרוב לשמש, הוא נע מהר יותר.

2. אם מתבוננים על הקו המחבר את כוכב הלכת אל השמש בפרקי זמן שווים, מתברר שהם מכסים שטחים שווים.

3. ככל שכוכב הלכת רחוק יותר מהשמש, זמן ההקפה שלו ארוך יותר.



מודל המסלול האליפטי של קפלר



## גלילאו גליליי

תפיסתו של קפלר חוזקה בתחילת המאה ה-17 על ידי גלילאו גליליי, שערך תצפיות שיטתיות בטלסקופ ונתן בכך תנופה לידע האסטרונומי שהלך וגדל מאז. היום אנו יודעים לחזות את מיקומם ומהירותם של כוכבי הלכת ברמת דיוק כה גבוהה, עד כי חלליות (לא מאוישות עד כה) הנשלחות לחקור את צדק, שבתאי, אורנוס ונפטון, משוגרות במסלולים המנצלים את כבידת כוכבי הלכת שנמצאים בדרכן, להאצת המהירות ולהכוונתן ליעדן. וזו רק ההתחלה. . .

## מושגים באסטרונומיה

**אבק בין-כוכבי** – חלקיקים זעירים שנמצאים בתווך הבין-כוכבי.

**אסטרואידיים** – גופים קטנים במערכת השמש שמצויים בעיקר במרחב שבין מאדים (מארס) לצדק (יופיטר). מקורם הוא בענן האבק והגז שממנו נוצרה השמש והם לא נלכדו בכבידה של צדק או מאדים.

**אפהליון** – נקודה על פני מסלול כוכב לכת שבה הוא מצוי במרחק הגדול ביותר מהשמש (ראו גם פריהליון).

**בהירות כוכבים** – ביטוי לעוצמת האור של כוכב ושל כל גרם שמימי.

**גיאוצנטרי** – מודל שעל פיו מערכת השמש וכל צבא השמים סובבים סביב כדור הארץ, המונח ללא תנועה במרכז היקום. מודל זה שבסיוו בתרבות יוון העתיקה היה תקף גם בימי הביניים עד למהפכה הקופרניקאית (ראה קופרניקוס).

**גלקסיה** – גלקסיות הן גרמי השמים הגדולים ביותר המוכרים לנו (למעט צבירי גלקסיות), המכילות כוכבים, מערכות שמש, צבירי כוכבים, ערפיליות, גז אבק וכו'.

**גרגוריאני (לוח)** – הלוח הגרגוריאני הוא לוח השנה האזרחית הנהוג עד היום. הוכנס לשימוש בידי האפיפיור גרגוריוס ה-13 בשנת 1582.

**דופלר (תוצא דופלר)** – שינוי בתדירות של אורך גל (גל קול או גל אלקטרומגנטי), כתוצאה מתנועת מקור הגל יחסית לצופה. כאשר מקור הגל נע מהצופה והלאה, תדירותו יורדת ואורך הגל גדל (הסחה לאדום). כאשר מקור הגל מתקרב לצופה, תדירות הגל עולה ואורך הגל קטן (הסחה לכחול).

**האבל (חוק האבל)** – חוק יסוד בקוסמולוגיה המודרנית שנוסח בידי האסטרונום אדווין האבל בשנת 1929. החוק קובע שככל שגלקסיה או עצם קוסמולוגי כלשהו רחוק יותר מהצופה – מהירות התרחקותו מאותו צופה תהיה גדולה יותר. שיעור השינוי במהירות ההתרחקות יחסית לשינוי המרחק מהצופה הוא "קבוע האבל".

**הליוצנטרי (מודל הליוצנטרי)** – המודל המנוגד למודל הגיאוצנטרי שלפיו כדור הארץ נמצא במרכז היקום והשמש סובבת סביבו. על פי המודל ההליוצנטרי נמצאת השמש במרכז וכדור הארץ ושאר כוכבי הלכת סובבים סביבה. היה זה קופרניקוס שכתב על כך בתחילת המאה ה-16 בספרו "על הסיבובים", מודל שקיבל חיזוק מגלילאו גליליי שתמך במודל זה על סמך תצפיותיו בכוכבי הלכת.

**זניט** – זניט אסטרונומית היא נקודה דמיונית בכיפת השמים שמצויה בדיוק מעל ראשו של הצופה.

**חודש** – פרק הזמן שבו מקיף הירח את כדור הארץ.

**טלסקופ** – מכשיר המשמש באסטרונומיה לשם צפייה בגרמי שמים רחוקים. שימוש זה מתאפשר הודות ליכולתם של הטלסקופים לאסוף אור, איסוף שתלוי בקוטר העדשה או במראה הראשית של הטלסקופ. קיימים טלסקופים שונים לשימוש חובבני ומקצועי, בגדלים שונים שבהם משתמשים הן על פני כדור הארץ והן בחלל.

**יחידה אסטרונומית** - יחידת מידה למדידת מרחקים קצרים בחלל כגון מרחקים במערכת השמש. גודל יחידה אסטרונומית אחת הוא כמרחק הממוצע של כדור הארץ מהשמש, כ-150 מיליון ק"מ.

**יממה כוכבית** – פרק הזמן שבו משלים כדור הארץ הקפה אחת סביב צירו. אורכה של יממה זו הוא 23 שעות, 56 דקות ו-4 שניות.

**יקום** – באנגלית Universe, שמה של תבל ומלואה. אי אפשר למדוד את גודלו של היקום, רק את גילו ואת האופק שלו, כלומר, הנקודה הרחוקה ביותר הנראית לעינינו (באמצעים תצפיתיים כמובן) שהיא כמובן פונקציה של הזמן (בשנות אור) שחלף מאז המפץ הגדול.

**ירח** – לוויין טבעי של כוכב לכת. זהו גם שמו של הלוויין של כדור הארץ שבאנגלית כותבים את שמו באות גדולה – Moon, בעוד שירח של כוכב לכת אחר ייקרא moon. לכדור הארץ יש ירח אחד בעוד שלשאר כוכבי הלכת, חוץ מחמה ונוגה, יש מספר ירחים. בשנת 1994 התגלה שגם למספר אסטרואידיים גדולים יש ירחים. מרחקו הממוצע של הירח שלנו מכדור הארץ הוא 384,400 קילומטרים.

**כוכב Star** – גרם שמים מאיר. כדור גז שהמסה שלו גדולה מספיק ושמתקיימות בו ריאקציות תרמו-גרעיניות המהוות מערכת כבידה עצמית. עוצמת הקרינה של כוכב מותנית במסה שלו.

**ליקוי** – מצב שבו עוצמת ההארה של גוף שמימי מסוים יורדת בגלל הסתרה על ידי גוף אחר. מכדור הארץ אנו צופים לעיתים בליקוי חמה, או בליקוי ירח.

**מטאור** – בשמה העממי מוכרת התופעה בשם 'כוכב נופל'. המטאור הוא מטאוריד (ראה להלן) שנמשך על ידי כוח הכבידה של כדור הארץ, מתלהט ונשרף באטמוספירה ומותיר אחריו שובל בהיר.

**מטאוריד** – אבן, סלע או חלקיק שמשייט בחלל במערכת השמש ועשוי להפוך למטאור.

**מטאוריט** – מטאוריד שהצליח להגיע לפני כדור הארץ מבלי להישרף כליל. מטאוריטים שהמסה שלהם קטנה (פחות מכמה עשרות קילוגרמים) יתלהטו בדרך כלל וישרפו באטמוספירה ואז רק חלקיקים קטנים, אם בכלל, יגיעו לפני הקרקע. לעיתים רחוקות קורה שמגיעים מטאוריטים בעלי משקל גבוה ואף כמה טון, ואלה יוצרים מכתש גדול באדמה. כזהו המכתש באריזונה שבארה"ב שעומקו 180 מטרים, קוטרו 1.2 ק"מ וגילו מוערך בכ-50,000 שנים. גם הכחדת הדינוזאורים לפני 65 מיליון שנים מיוחסת לפגיעה קשה של מטאוריט בכדור הארץ.

**מטר מטאורים** – כשכדור הארץ עובר במסלולו סביב השמש באזור עשיר באבק קוסמי או חומר אחר שנגרם בגלל מעבר של כוכב שביט, 'ניתך' על כדור הארץ מטר מטאורים.

**מישור המילקה** – מישור סיבוב כדור הארץ סביב השמש.

**סופרנובה** – התפוצצות שמתרחשת בכוכבים מסיביים. כמות האנרגיה שמשחררת באירוע כזה שווה לאנרגיה הנפלטת ממאות מיליוני שמשות בו זמנית.

**ספקטרום** – ספקטרום מתקבל כתוצאה משבירת קרניים אלקטרו-מגנטיות על ידי תווך מסוים שפועל כמנסרה. הספקטרום של גרם שמים כלשהו מושג באמצעות שבירת הקרינה המגיעה ממנו (אור, למשל) דרך הטלסקופ. על ידי מערכת מנסרות וסריגים השוברת את הקרינה ניתן לנתן למדוד אותה ברמה של אורכי-גל בודדים.

**ספקטרוסקופ** – מכשיר שמיועד לשבור את קרני האור שמגיעות ממקור אור ולמדוד את אורכי הגל השונים, כך שניתן יהיה למדוד את אורכי הגל שנבלעים או נפלטים מאותו מקור אור.

**פלסמה** – מצב הצבירה ה"רביעי" שבו החומר מיונן ומכיל אטומים מיוננים או גרעיני אטומים חשופים ואלקטרונים. מצב זה מתקיים בעיקר בתווך בעל סמפרטורה גבוהה, כמו בתוך כוכבים.

**פריהליון** – הנקודה על מסלולו של כוכב לכת שבה הוא מצוי במרחק הקרוב ביותר לשמש (ראו לעיל אפהליון).

**צביר גלקסיות** – קבוצות גלקסיות אשר קשורות זו לזו בכוחות הכבידה ההדדיים שלהן.

**קוסמולוגיה** – תחום באסטרונומיה העוסק במודלים של היווצרות היקום, מבנהו ותכונותיו.

**קפלר, חוקים** – שלושת חוקי התנועה של כוכבי לכת נוסחו ע"י האסטרונום יוהאן קפלר בתחילת המאה ה-17 (לפירוט ראה עמ' 5).

**שביט Comet** – גרם שמימי קטן שמורכב בדרך כלל מקרח ואבק, שמגיע לגודל של עד כמה עשרות (ולעיתים רחוקות, מאות) קילומטרים, אשר סובב מסביב לשמש. בהתקרבו לשמש מתנדף חלק מהקרח המצוי על פני השביט ונוצרת סביבו מעין הילה. כאשר השביט מתקרב לשמש דוחפת רוח השמש את את הגז והאבק שבשביט ממנה והלאה ואז נוצר השובל המכונה 'זנב השביט'. בשביטים גדולים עשוי זנב זה להגיע לאורך של עשרות ואף מיליוני קילומטרים.

**שביל החלב** – כינוי לגלקסיה שבה מצויה מערכת השמש שלנו. השם ניתן לה הודות לצורתה המזכירה מעין פס חלבי מאורך.

**שמש** – כוכב שמצוי במרכז מערכת השמש שלנו. גיל השמש שלנו מוערך בכ-5 מיליארד שנים וקוטרה כ-1.4 מיליון קילומטרים.

**שנת אור** – יחידת מרחק המציינת מרחקים אסטרונומיים והיא מבטאת את המרחק שעוברת קרן אור בריק במשך שנה אחת.

## ג. אדם בחלל - חלליות, מעבורות, לוויינים וטלסקופים

עידן המעבורות בסוכנות החלל האמריקאית – נאס"א, הסתיים לאחר 30 שנות שירות שהחלו בשנת 1981 עם המעבורת הראשונה קולומביה. המעבורת האחרונה שביצעה את משימתה בטיסת STS-135 היתה אטלנטיס אשר שוגרה לחלל ב-8 ליולי 2011 ונחתה בשלום ב-21 בו. המעבורות שלקחו חלק כה גדול בחקר החלל ובבניית תחנת החלל – יצאו ל"פנסיה". נזכיר בחוברת זו נקודות מפתח במאמץ האנושי של מחקר היקום על הטכנולוגיות המתקדמות שסייעו במאמץ זה.

### אדם בחלל

למעשה החל המירוץ לחלל בין ארצות הברית לברית המועצות ב-4 לאוקטובר 1957 - עם שיגורו של הלוויין המלאכותי הראשון של רוסיה - ספוטניק-1. שיגור זה היה אתגר לאמריקאים שהשיבו תוך פחות משנה בשיגור הלוויין האמריקאי הראשון - אקספלורר-1. הרוסים הקדימו את האמריקאים גם בשיגור אדם להקפה סביב כדור הארץ. היה זה יורי גגרין - הקוסמונאוט הרוסי הראשון ששוגר לחלל על גבי החללית ווסטוק-1 באפריל 1961 ונחת בשלום לאחר שהקיף את כדור הארץ.

היה ברור שהאמריקאים לא ישלימו עם הפיגור בתחום החלל והיה זה הנשיא ג'ון קנדי שהכריז על ההתקדמות בחקר החלל כמשימה לאומית והבטיח שעד לסוף העשור (שנות השישים של המאה העשרים) ינחת אמריקאי על הירח. אולם לשאלה מי הגיע ראשון לירח יש שתי תשובות נכונות:

הרוסים הנחיתו גישושת לא מאוישת על הירח - לונה-2 בינואר 1959.

האמריקאים היו הראשונים ועדיין היחידים שהנחיתו אסטרונאוטים על הירח. ביולי 1969 הגיעה החללית אפולו 11 להקפה סביב הירח ושיגרה רכב נחיתה מאויש בשם 'נשר' אל פני הירח. על כך ביתר פירוט בהמשך.

ובאשר להקפה סביב כדור הארץ - האמריקאים התחילו לסגור את הפער. במאי 1961 שוגר אלן שפרד לחלל, אולם לא השלים הקפה מלאה סביב כדור הארץ. האמריקאי הראשון שהשלים שלוש הקפות סביב כדור הארץ בפברואר 1962 היה ג'ון גלן.

### המסע הראשון אל הירח - ההרפתקה הגדולה של האנושות

#### קנדי פותח במירוץ

ב-25 במאי 1961 הכריז ג'ון פ. קנדי, אז נשיא ארה"ב, כי המשימה להנחית אדם על הירח ולהחזירו בבטחה לכדור הארץ, היא מטרה לאומית אמריקאית. "נעשה זאת לפני תום העשור" אמר. הפרויקט מוקם בראש סדרי העדיפויות כדי להקדים את ברית המועצות, שהייתה אז המעצמה המתחרה בנושא חקר החלל.

#### הולדת תוכנית אפולו

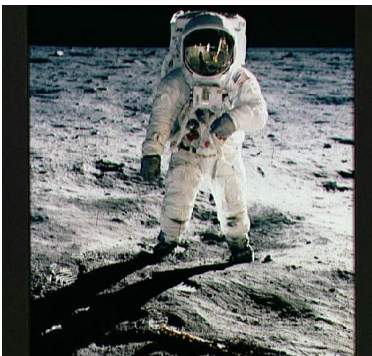
המדענים החלו בבחינת חלופות שונות להגיע לירח והתמקדו באחד הרעיונות שנראה כבעל הסיכויים הגבוהים ביותר לעמידה בלוח הזמנים. מדובר היה בחללית

שתיכנס למסלול סביב הירח, וממנה תשוגר יחידת נחיתה (נחתת), הכוללת שני אסטרונאוטים, שתיפרד מחללית האם ותנחת על פני הירח. האסטרונאוט השלישי ימשיך בהקפה עד לחזרת יחידת הנחיתה והיצמדותה אל חללית האם. לאחר המפגש המחודש יתחילו השלושה את דרכם חזרה לכדור הארץ. הפרוייקט כונה 'תוכנית אפולו', והטיל אשר שימש לשיגור החלליות נקרא 'סאטורן'. טיסות אפולו הראשונות יועדו להקפות כדור הארץ והירח לבדיקת תקינות תפקוד מערכות החללית, והמאוחרות – לנחיתה על פני הירח.

### 1, 2, 3... המראה!

ב- 16.7.1969 שוגרה 'אפולו 11' ממרכז קנדי שבפלורידה עם שלושה אנשי צוות: ניל ארמסטרונג - מפקד, אדווין (באז) אלדרין - טייס יחידת הנחיתה ומייקל קולינס - טייס ראשי. אלפי אנשים צפו בהמראה ועוד מיליונים עקבו אחר המסע דרך מסכי הטלוויזיה. תוך 11 דקות הגיעה החללית למסלול המקיף את כדור הארץ ולאחר הקפה וחצי יצאה בדרכה לירח. ב-19 ביולי נכנסה החללית למסלול סביב הירח ולאחר 24 שעות, ברגע המתוכנן, ניתק רכב הנחיתה (שכונה 'הנשר' - Eagle) מיחידת הפיקוד של החללית, והחל בירידה לעבר הירח. המבצע חייב לוח זמנים מדויק כדי שהנחיתה תתבצע ב'בסיס השלווה' - האתר שסומן לכך מראש.

### נחיתת הנשר



באז אלדרין על הירח כפי שצולם בידי ניל ארמסטרונג

ב- 20.7.1969 נעתקה נשימתם של מיליוני אנשים ברחבי העולם כשבמרכז הבקרה נשמעו המילים שכולם חיכו להן: "יוסטון, הנשר נחת." לאחר מכן ירד ניל ארמסטרונג מהסולם, עשה צעד ראשון על קרקע הירח. המשפט "צעד קטן לאדם – צעד גדול לאנושות" נכנס להיסטוריה. מספר דקות לאחר מכן הצטרף אליו אלדרין, וארמסטרונג הנציח את הרגע במצלמתו.

בנוסף לאיסוף דגימות קרקע מהירח הציבו שם אלדרין וארמסטרונג את הדגל האמריקאי ולוח מתכת שעליו נכתב: "כאן בני אדם מכוכב הלכת ארץ מניחים רגלם לראשונה על הירח. יולי 1969. באנו לשלום לכלל האנושות." בטיילם על פני הירח הרגישו האסטרונאוטים את השפעת הכבידה הנמוכה. הם ריחפו בהליכתם ועברו בכל צעד שלושה מטרים כמעט. אולם החוויה שאותה לא ישכחו לעולם הייתה זריחת כדור הארץ באופק הירח.

### החזרה הביתה



ב- 24.7.1969 חזר לכדור הארץ תא הפיקוד של 'אפולו', עם שלושת האסטרונאוטים. הנחיתה התבצעה באוקיינוס השקט, דרומית מערבית לאיי הוואי, משם נאספו האסטרונאוטים על ידי מסוק שהוביל אותם לספינת האיסוף 'הורנט'. שלושה שבועות שהו 'כובשי' הירח בבידוד כדי לוודא שלא הביאו עימם גורמים מזהמים לכדור הארץ. היום כבר לא מבודדים את הצוותים החוזרים מהחלל.

## חליפת השכבות של טייס החלל

הבגד המתוחכם והיקר בעולם

בחורף הקר אנו מתעטפים בבגדי צמר חמים להגנה על גופנו מהקור. בחלל החיצון לא מספיק מעיל. הטמפרטורה שם הרבה יותר נמוכה ויש צורך בבגד עבודה מיוחד



לתנאים הקיצוניים השוררים שם ואכן, תוכננו 'מדים' כאלה לאסטרונואוטים. אלה מותאמים לגופו של טייס החלל להגנה לא רק מקור, אלא גם מסכנות רבות אחרות האורבות לו ובעיקר החימום הנגרם כאשר נחשפים לקרינת השמש. לא רק חמימות אין בחלל החיצון. גם האטמוספירה השומרת על כדור הארץ, נעדרת משם. כלומר, אין חמצן, אין מסנן נגד קרינת השמש ואין אמצעי בלימה נגד חלקיקי אבק וסלע קטנים. הפרשי הטמפרטורה בין הצד המואר והאפל הם עצומים:  $120^{\circ}\text{C}$  בשמש ומינוס  $100^{\circ}\text{C}$  בצד החשוך, והמחשבה על טיול חללי בתנאים אלה – מפחידה למדי.

### בגד מגן

חליפות החלל נוצרו בתחילה כדי לאפשר לצוותי החלל שהייה בטוחה בחללית במקרה של תקלה ובשלב מתקדם יותר לאפשר פעילות בטוחה מחוץ לחללית. לצוות מעבורת החלל פותחו שני סוגי חליפות: הכתומות - להגנה במקרה של תקלה בלחץ בעת המראות ונחיתות, והלבנות - לעבודה ושהייה מחוץ למעבורת. החליפות הכתומות מצוידות בקסדות עם ממסרי תקשורת, מגפיים, כפפות, מצנח ומתקן הצלה מתנפח.

### חליפה בשנים-עשר מיליון דולר

חליפת החלל היא הבגד הכי יקר בעולם! היא עשויה 13 שכבות ומשקלה על כדור הארץ כ - 127 ק"ג. למעשה מדובר ביחידת רכב חלל עצמאית המספקת הגנה מרבית ונוחות תנועה יחסית. בשתי השכבות הפנימיות יש צינורות עם נוזל קירור, מעליהן - שתי שכבות לחץ וארבעתן עטופות בשמונה שכבות בידוד לשמירת החום. השכבה האחרונה והחיצונית מצופה חומר מחזיר אור. חליפה זו מגוננת על האסטרונוט מחלקיקי אבק, אבל נותנת רק מענה חלקי לקרינת השמש ואינה יעילה נגד התפרצות סולרית. לכן מתכננים את 'הליכות החלל' למועדים שבהם נמדדת פעילות סולרית נמוכה.

### קסדה ותיק גב

קסדת החליפה עשויה פלסטיק שקוף עם ציפוי המחזיר קרני אור וקבועים בה אורות המאפשרים לעבוד גם בחשכה. קבועה בה גם קשית שתייה בקרבת הפה המחוברת למיכל מים שבמתקן הגב. בנוסף למים, מצויים במתקן הגב מכלי חמצן, מסנני פחמן דו-חמצני, סוללות חשמל, מאוורר ומערכת אזעקה אלקטרונית המנטרת את קצב הלב, הטמפרטורה וההזעה של האסטרונוט ומאפשרת לו קשר רדיו. בנוסף, מצוידת המערכת במנוע דחף קטן הפועל על גז חנקן ומאפשרת לאסטרונוט לתמרן בעצמו בסביבת המעבורת.



באחת עשרה השנים האחרונות נבנתה תחנת החלל על ידי אסטרונוטים שהרכיבו את החלקים שהביאו עמם במעבורות החלל. למעשה מהבחינה הזו המעבורות שימשו כמשאיות חלל ובלעדיהן לא הייתה יכולה תחנת החלל לקום. על התחנה בהמשך.

## החלליות המאוישות שלפני המעבורות

לפני טיסות המעבורות שהחלו בשנות ה-80 של המאה העשרים טסו האסטרונוטים לחלל בחלליות שהמריאו בראשי טילים, נפרדו מהם בעת מסען בחלל ונחתו באוקיינוסים בתא החלל ששימש להם כ'בית' וכמעבדה גם יחד. באתר הנחיתה חיכו להם צוותי החילוץ שסייעו בהוצאתם מהתא. משימות אלה היו בשלושה טיפוסים חלליות – מרקורי, ג'מיני ואפולו. סידור דומה קיים בחלליות סויוז הרוסיות עד היום אלא שהן נוחתות ביבשה ולא בים.



שישת המשימות המאוישות שבוצעו באמצעות חלליות מרקורי

**תוכנית מרקורי** - מרקורי הייתה תוכנית החלל המאוישת הראשונה של נאס"א שהחלה בשנת 1958 והסתיימה ב-1963. מטרתה הייתה לשגר אדם למסלול סביב כדור הארץ.

תא החללית היה גדול דיו כדי להכיל בתוכו אדם אחד בלבד. בשלב ההמראה של המשימה, היו החללית והאסטרונוט שבתוכה מוגנים מתקלות שונות בטיל השיגור, על ידי מערכת המילוט שכללה רקטת מילוט המונעת בדלק מוצק. במקרה חירום הם היו מורחקים מטיל השיגור. החללית תוכננה לפתוח מצנח ולהחזיר את האסטרונוט לפני האדמה בשלום. אף מקרה חירום שכזה לא קרה בתוכנית כולה. ג'ון גלן האמריקאי הראשון שהקיף את כדור הארץ, עשה זאת בחללית מרקורי בתאריך 20/2/1962, ששוגרה על גבי טיל אטלס.



ג'מיני בחלל



חילוץ צוות ג'מיני-8 לאחר הנחיתה באוקיינוס

### תוכנית ג'מיני

**ג'מיני** - היא תוכנית החלל המאוישת השנייה של נאס"א שבאה אחרי תוכנית מרקורי והיוותה בסיס לתוכנית אפולו שפותחה בעקבותיה. החללית ג'מיני פותחה ושוגרה לראשונה ב-1965. יעדי התוכנית היו פיתוח כושר נהיגה עצמי בחלל ותמרון ידני של החלליות, פיתוח טכניקות למסע ארוך בחלל, ובייחוד לתוכנית אפולו, שנועדה להנחית אדם על הירח. משימות ג'מיני כללו פעילויות מחוץ לחללית ותרגילי תמרון כולל עגינה לעצם כלשהו בחלל. ג'מיני היוותה קפיצה קדימה בתוכניות החלל בנאס"א, כשמטרתיה היו בעיקר:

1. העלאה למסלול של שני אנשים בחללית אחת בנוסף לציוד לטיסות ארוכות. דרישה זו חיונית למסעות לירח ואף רחוק יותר.
2. התחברות עם רכב אחר שנמצא במסלול בחלל. לשם כך דרושה מערכת תמרון ידני.
3. שיכלול שיטות חזרה לאטמוספירה ושיטות נחיתה.

4. איסוף מידע על השפעות חוסר הכבידה בחלל על אנשי הצוות מבחינה פיזית וניתוח השפעות טיסה ארוכה בחלל מבחינה פסיכולוגית. לאחר 10 משימות מוצלחות בתוכנית ג'מיני תפסה ארצות הברית מקום ראשון במרוץ לחלל בטיסות מאוישות. משימת ג'מיני-8 כללה יציאה מוצלחת ממצב חירום, בו הקפסולה החלה לאבד גובה; טייס המשימה היה אז ניל ארמסטרונג שהמשיך אחר כך לתוכנית אפולו והיה האדם הראשון שצעד על הירח בטיסת אפולו 11 ב-1969.

### תוכנית אפולו

אפולו הייתה תוכנית שאפתנית להנחתת אדם על הירח והשבתו בשלום. נכתב עליה בחוברת זאת בהקשר עם הנחיתה על הירח. החללית אפולו כבר נבנתה להכיל שלושה אסטרונאוטים והורכבה משלושה חלקים עיקריים:

1. תא הפיקוד, שהכיל את מגורי הצוות ובקרת הטיסה.
2. תא השירות, שהכיל את מערכות ההנעה ומערכות התמיכה בחללית.
3. רכב הנחיתה על הירח, שנשא שניים מאנשי הצוות אל פני הירח, שימש אותם שם, והחזיר אותם אל חללית אפולו שהמתינה לו בהקפה נמשכת של הירח. חלליות אפולו הראשונות שוגרו על גבי טילי סטורן B1 ואלה שהיו מיועדות לירח - על גבי סטורן 5. בהכללה היו מטרות התוכנית: לפתח את הטכנולוגיה להשגת מטרות ארצות הברית בחלל, להשיג עליונות בחלל, לבצע מחקרים מדעיים על הירח ולפתח יכולת לעבוד בסביבה הירחית.

שבע משימות מאוישות שוגרו לעבר הירח. שש מהן נחתו על פניו בשלום כשהראשונה הייתה אפולו 11. אפולו 13 נתקלה בבעיות טכניות חמורות לאחר פיצוץ שאירע במיכל חמצן כשאפולו כבר הייתה במסלול הקפה של הירח. החזרתה בשלום לכדור הארץ הייתה אתגר אנושי, טכנולוגי ומדעי שלא היה כמוהו. הפרויקט תועד בסרט אפולו-13 והוא מומלץ ביותר לצפייה. אפולו-15



חילוץ צוות אפולו-17

התאפיינה בהיותה הראשונה שעשתה שימוש ברכב ירח לסריקת שטחים גדולים על פניו. האחרונה הייתה משימת אפולו 17 שבצוות שלה נכלל הגיאולוג הריסון שמיט והיא גם היחידה ששוגרה בלילה.

הריסון שמיט שהיה גם טייס נחתת הירח בנוסף להיותו גיאולוג, עבד לפני הצטרפותו לנאס"א במרכז לאסטרו-גיאולוגיה של המכון

הגיאולוגי של ארצות הברית (U.S. Geological Survey). שם הוא

פיתח שיטות גיאולוגיות שמאוחר יותר שימשו את הצוותים בתוכנית

אפולו. לאחר בחירתו לנאס"א, הוא אימן את צוותי אפולו לזהות משטחים

גיאולוגיים בזמן שהותם במסלול סביב הירח ובזמן נחיתתם על פני הירח. לאחר כל

משימה שנחתה על הירח הוא השתתף בבחינת הממצאים שצולמו ונאספו על ידי

האסטרונאוטים.

עם סיום תוכנית אפולו החלו בבניית המעבורות – הדור הבא של רכבי החלל בנאס"א.

לפני שנגיע למעבורות החלל של נאסא, נציין כי רעיון המעבורות טופח גם אצל הסובייטים שתחנת החלל שלהם מיר, הקדימה את תחנת החלל הבינלאומית של נאסא. ניחוד תקציר של התקדמות הרוסים בתחום זה:



תחנת החלל מיר

## תחנת החלל מיר

לפני הקמת תחנת החלל הבינלאומית של נאס"א שהחלה בשנת 1998, ריחפה בחלל תחנת החלל הרוסית מיר שהחלה כתחנה של ברית המועצות ולאחר מכן של רוסיה. התחנה הקיפה את כדור הארץ במסלול לווייני נמוך בין השנים 1986-2001. הרכבתה הסתיימה בשנת 1996 ורוב הזמן היא היתה מאוישת בקביעות. בשנותיה האחרונות, לאחר שברית המועצות התפרקה, הפכה התחנה לבינלאומית והייתה נגישה לקוסמונאוטים ולאסטרונאוטים כאחד. עם הצבתה של תחנת החלל הבינלאומית ו'הזדקנות' מערכותיה של מיר, היא ננטשה, הוסטה ממסלולה בשלט רחוק למסלול התרסקות מבוקר עם האטמוספירה של כדור הארץ ב-23 למרץ 2001 מעל דרום האוקיינוס השקט.

## מעבורות חלל רוסיות

### הבוראן

ברית המועצות, שהובילה בשנים הראשונות של המירוץ לחלל, החלה משתרכת מאחור ככל שהאמריקאים רצו קדימה, פער שהוסיף לגדול עם פיתוח תוכנית המעבורות של נאס"א. עם זאת, ברית המועצות פיתחה גם היא מעבורת חלל שנקראה 'בוראן' (שמשמעה – סופת שלג). פרויקט זה הוגדר הגדול והיקר ביותר בהיסטוריה הסובייטית של חקר החלל. דמיונה של הבוראן למעבורת קולומביה האמריקאית שבנייתה הושלמה זמן קצר לפני הבוראן, העלה חשד של ריגול תעשייתי. אולם הסובייטים ייעדו לבוראן מטרות צבאיות במסגרת המלחמה הקרה שהתנהלה בין שתי המעצמות.



הבוראן על גב מטוס התובלה הרוסי אנטונוב

כיום ידוע שהחיצוניות האווירודינמית של הבוראן אכן הייתה העתק של מעבורת החלל האמריקאית, אך מערכות האוויוניקה היו פיתוח עצמאי. הבוראן תוכננה למשימות מאוישות ולא מאוישות, כאחד וניחנה ביכולות אוטומטיות, שלא היו למעבורת האמריקאית. לבוראן הייתה יכולת נחיתה אוטונומית, ללא טייס שאותה הפגינה בטיסת הניסוי היחידה שלה,

שנערכה בשנת 1988. למרות רוחות צד בלתי צפויות, הצליחה הבוראן לנחות על המסלול. אולם, בגלל עלויות השיגור הגבוהות ומסיבות אחרות, בוטל הפרויקט לאחר שיגור לא מאויש אחד.

## סויוז



הסויוז

סויוז הוא שם לסדרת חלליות מאוישות שפותחו בתוכנית החלל הסובייטית והרוסית. טיסתה הראשונה של הסויוז היתה בלתי מאוישת בשנת 1966 ובתוך חצי שנה בשנת 1967 כבר נערכה הטיסה השנייה - המאוישת. חלליות הסויוז עברו שינויים ופיתוחים רבים והן עדיין פעילות ומשמשות כיום להעברת ציוד ואסטרונאוטים לתחנת החלל הבינלאומית. שתי חלליות סויוז עוגנות בתחנה באופן קבוע ומשמשות כמעין 'סירות הצלה' לעת חירום.

## פרוגרס

הפרוגרס היא מעין 'משאית' חלל, טיסתה הראשונה היתה בינואר 1978 כשמטרתה המוגדרת רכב חלל בלתי מאויש המשמש בעיקר לציוד. היא עדיין משמשת במסלול קבוע של הובלת מזון, מים, דלק, חומרי וכלי ניסוי ועוד אספקה מסוגים שונים לתחנת החלל הבינלאומית. הפרוגרס מבקרת בתחנה בתדירות של 3-4 פעמים בשנה בהובלה דו-סטטית. הן הסויוז והן הפרוגרס, משתמשות באותו מעגן בתחנה כך שרק אחת מהן יכולה לשהות באותו זמן במעגן התחנה.

## מעבורות החלל של נאס"א

מעבורות חלל, בניגוד לחלליות שקדמו להן, הן כלי טיס רב פעמיים המסוגלים להמריא מכדור הארץ לחלל, להקיף את כדור הארץ מספר פעמים רב ולחזור בנחיתה לכדור הארץ לשימושים חוזרים ונשנים. נושא בניית המעבורות החל לצבור תאוצה מתחילת שנות ה-70. הראשונה שבהן הקולומביה שבנייתה החלה בשנת 1975, שוגרה לחלל בטיסת STS-1 ב-12 באפריל 1981 כשבה 2 אנשי צוות. המעבורת השנייה שנבנתה הייתה צ'אלנג'ר ששוגרה לראשונה לחלל ב-4 לאפריל 1983. לאחריה נבנתה הדיסקברי שטיסתה הראשונה לחלל הייתה ב-30 לאוגוסט 1984. המעבורת הרביעית הייתה אטלנטיס ששוגרה לראשונה ב-3 לאוקטובר 1985 והחמישית, המעבורת אנדוור, ששיגורה הראשון התרחש ב-7 למאי 1992. המעבורות בכללן ביצעו 135 משימות כשהשיאנית היא המעבורת דיסקברי שבמרץ 2011 השלימה 39 משימות חלל.

## מעבורת החלל מורכבת משלושה חלקים עיקריים:

1. המעבורת עצמה, מכילה את תא אנשי הצוות שמספרם יכול להגיע עד לשבעה (במשימות רגילות), תא מטען גדול שניתן לשאת בו מטענים באורך של עד 18 מ' ורוחב של עד 5 מ', כמו לוויינים המיועדים לשיגור או חלקים לתחנת החלל, זרוע רובוטית לשליפת המטענים והחזרתם לתא המטען וכן שלושה מנועי דלק נוזלי.

2. מיכל דלק נוזלי, המכיל מכל מימן נוזלי ומכל חמצן נוזלי, המספק דלק לשלושת המנועים. שניהם בטמפרטורה נמוכה מאוד. מכל זה מוצמד לגחונה של המעבורת, ומתנתק ממנה עם הגיעה למסלול. מיכל הדלק הזה נשרף בכניסתו לאטמוספירה והוא למעשה החלק המתכלה היחיד במערכת המעבורת.

3. שני מנועי דלק מוצק, המאיצים, המוצמדים לשני צדדיו של מכל הדלק הנוזלי, מתנתקים לאחר כשתיים וחצי דקות, נופלים לאוקיינוס בעזרת מצנחים ונאספים לשימוש חוזר.

תא הצוות מחולק לשני סיפונים - סיפון הטיסה, המכיל את מושב הטייס ומושב המפקד בחזית, ומושב מהנדס הטיסה מאחוריהם, וסיפון הצוות, המכיל את מושבי שאר אנשי הצוות בזמן ההמראה והנחיתה, וכן את תאי השינה, שירותים, מזון, וכדומה. בחלק האחורי של תא הצוות קיים תא לחץ, המאפשר יציאה וכניסה (בחליפת חלל) למעבורת בחלל.

### **האדיר במנועים**

המנוע הראשי של מעבורת חלל (SSME) הוא המנוע הרקטי האמין והמשוכלל ביותר שנבנה אי-פעם. בעזרת חמצן נוזלי ומימן נוזלי המסופקים ממיכל הדלק הראשי הוא מפתח כוח דחף חסר תקדים השקול ל-12,000,000 כוחות סוס. שלושה מנועים כאלה פועלים בעת שיגור המעבורת. בנוסף אליהם מופעלות גם שתי יחידות האצה נתיקות המונעות בדלק מוצק. יחידות אלה נפרדות בגמר בעירת הדלק שלהן, צונחות לאוקיינוס ונאספות לשימוש חוזר. מיכל הדלק הראשי מיועד לשימוש חד-פעמי וניתק עם כיבוי המנועים, כשהמעבורת כבר מחוץ לאטמוספירה.

## **תחנת החלל הבין-לאומית**

עם תחילת יישום חזון תחנת החלל הבינלאומית הפכו המעבורות לספינות תובלה חלליות הנושאות על סיפונן את חלקיה המודולריים של התחנה ואת אנשי צוותה המתחלפים מדי חמישה חודשים בערך. הרכבת תחנת החלל הבינלאומית היא הפרויקט ההנדסי הגדול ביותר בחלל. מדובר בחיבור מאות טון של חלקי מתכת ורכיבים המגיעים מיותר מ-16 ארצות על גבי המעבורות ואנשי הצוות, בשעות רבות של "הליכת חלל", מרכיבים את המתקנים השונים, כמו בלגו, למבנה ענק אחד.

בנוסף לנאס"א – יוזמת הפרוייקט – שותפות לו גם סוכנות החלל של רוסיה, הסוכנות האירופית, הקנדית, היפנית ועוד. מטרת התחנה היא לעסוק במחקר מדעי בתנאי מיקרו-כבידה ובמיוחד במדעי החיים - השפעת השהות בחלל לזמן ארוך על גוף האדם ומערכתיו. כן משמשת התחנה כמעבדה לניסויים שונים ונותנת בכך שירות לתעשיות רבות על פני כדור הארץ. בניית התחנה החלה בשנת 1998 עם שיגור החלק הראשון שלה "זריה" Zarya למסלול סביב כדור הארץ ומאז שוגרו החלקים על מעבורות החלל של נאס"א והורכבו בידי האסטרונאוטים על שלד של קורות מתכת שאורכו כ-109 מטרים.





התחנה מאוישת, החל מנובמבר 2000 ולרוב שהו בה 3 אסטרונאוטים. בנייתה הסתיימה בשנת 2011 עם השלמת הרכבתן של 12 היחידות ומאז שוהים בתחנה צוותים של ששה אנשים. להלן כמה עובדות על התחנה:

- התחנה חגה סביב כדור הארץ במסלול נמוך (LEO) בגובה של עד כ-400 ק"מ והיא משלימה סיבוב מדי 92 דקות בערך, במהירות של כ-27,000-28,000 קמ"ש.
- האנרגיה לתחנה מסופקת על ידי קולטי-שמש ענקיים ובנוסף, קיים מערך מצברים הנכנס לשימוש כאשר השמש מוסתרת על ידי כדור הארץ.
- הלחץ האטמוספרי בתוך התחנה דומה לזה שעל פני כדור הארץ.
- נפח יחידות התחנה מגיע למשהו הדומה לזה של שני מטוסי בואינג 747, כלומר למעלה מ-13,000 מטרים מעוקבים.
- התחנה מיועדת לשרוד כ-15 שנים, אך יכולה להמשיך לפעול הרבה יותר בכפוף לעבודות תחזוקה ושיפוץ של חלקים שיתבלו או ייזקו.
- התחנה משמשת כאמור כמעבדת מחקר בתחומי המדע השונים כמו: פיזיקה, כימיה, הנדסת חומרים, ביולוגיה ומדעי החיים, חקלאות חלל, רפואה ופיזיולוגיה וכן מתקיימות בה תצפיות אסטרונומיות ומטאורולוגיות. הודות לתנאים המיוחדים המצויים בתחנה היא מהווה סביבה ייחודית לניסויים במערכות חלל הנדרשות לטיסות לירח ולמסעות ארוכים יותר בחלל כמו למאדים, למשל. הממצאים והתגליות המדעיות של התחנה מפורסמים מדי חודש.
- התחנה גם מאפשרת ביצוע ניסויים במערכות קיום חיים במערכות תחזוקה - מערכות הנדרשות למסעות ממושכים בחלל. ניסויים אלה מאפשרים שיפור והגדלת היכולות של חלליות העתיד המתוכננות עתה. חלק משימות הצוותים מיועדות למטרות חינוך ושיתוף פעולה בינלאומי. הצוות נותן הזדמנויות לסטודנטים בכדור הארץ לבנות ניסויים ולבצעם בתחנת החלל, ובכך התחנה מעודדת שיתוף פעולה בחלל בקרב אומות שונות.



## המעבורות - המראה, הקפה ונחיתה – סיום עידן

30 שנה שירתו המעבורות את חקר החלל: בהצבת הטלסקופ האבל בחלל ותיקונים שנערכו בו במהלך הזמן בחלל, בשיגור לווייני מחקר, בניסויים מדעיים ובמיוחד ובעיקר בהקמת תחנת החלל. 135 טיסות חלל ביצעו המעבורות: החל מהטיסה הראשונה של מעבורת קולומביה בשנת 1981 ועד להמראתה האחרונה של אטלנטיס בשנת 2011. שני אסונות ליוו את עידן המעבורת כשהצ'אלנג'ר התפוצצה באוויר כשתי דקות לאחר שיגורה וכשהקולומביה התרסקה עם כניסתה לאטמוספירה של כדור הארץ עם שובה ממסעה בחלל.

חקר החלל יימשך מעתה ללא המעבורות אולם בני האדם ימשיכו להוקיר את חלקן המשמעותי בהיסטוריה שהזניקה את האדם אל מעבר לגבולותיו של כדור הארץ.

נזכור את העובדות הבאות: המעבורת משוגרת מכן השיגור אנכית מכוח הדחף של שלושת המנועים ושתי יחידות ההאצה. כשתי דקות לאחר השיגור ניתקים המאיצים לאחר שתם בהם הדלק ונוחתים בים במקום קבוע, משם הם נמשו לשימוש מחדש. המנועים העיקריים ממשיכים לפעול כשמונה דקות ומכובים ממש לפני כניסת המעבורת למסלולה המיועד. אז נפרד המכל החיצוני מהמעבורת וחודר לאטמוספירה במסלול בליסטי שמפיל אותו אל תוך הים. המעבורת נכנסת למסלול הקפה סביב כדור הארץ בגובה 180-560 ק"מ מעל פני כדור הארץ ובמהירות ממוצעת של 27,000 קמ"ש. בשימוש רגיל, יכלה המעבורת לשאת עד שמונה אנשי צוות, ובעת חירום עד עשרה. הטמפרטורה ולחץ האוויר בתוכה היו מקבילים לאלה של יום אביבי על פני האדמה. משימה טיפוסית נמשכה כשבוע, ובמשימות מיוחדות התארכה השהות כשבועיים ויותר.

למעבורת, בעת הקפתה את כדור הארץ, היו מנועים רקטיים קטנים אשר שימשו לשינויי כיוון, מסלול וגובה ככל שאלה נדרשו במהלך הטיסה. מנועים אלה גם שימשו להאטת המעבורת לקראת כניסתה לאטמוספירה.

### מגן החום של המעבורת

גופים שונים החודרים מהחלל במהירות לאטמוספירה של כדור הארץ מתחככים בה ומתלהטים עד לחום של כ-1,300 מעלות צלסיוס. כדי להגן על המעבורות בשובן מהחלל מהטמפרטורה הגבוהה, פותחו עבורן אריחים מיוחדים שמצפים את המעבורת מבחוץ. אריחים אלה עשויים מצורן דו-חמצני (אריחי קרמיקה) שמסוגלים לספוג חום של כ-1,500 מעלות צלסיוס. האריחים, למעלה מ-30,000 במספרם, נחתכים, מותאמים, ממוספרים ומודבקים לגוף המעבורת ממש בעבודת יד מדויקת.

בהמראתה האחרונה של המעבורת קולומביה, ניתקה פיסת קצף מהמגן של טנק הדלק המרכזי, פגעה בכנף של המעבורת, יצרה חור במגן החום וכך, בכניסה חזרה לאטמוספירה בתום המשימה, חדר אוויר לוהט דרך החור לתוך המעבורת וגרם להתרסקותה.

## אוריון בחלל

### תכנון החללית בכל זאת מתקדם...

'אוריון' היא קבוצת כוכבים הקרובה ל"קו המשווה" השמימי הנראית כמעט מכל מקום על פני כדור הארץ. 'אוריון' הוא גם שמה של חללית שתכננה החל בנאס"א

לאחר אסון הקולומביה כדי שתחליף את מעבורות החלל. החללית שולבה בתוכנית המחקר העתידית של נאס"א שכללה גם הקמת בסיס קבע אנושי על הירח שממנו תשוגרנה חלליות למרחבי מערכת השמש. בתכנון של 'אוריון' היתה משום חזרה מתוכנית המעבורות שנחתו כמו מטוס על מסלול בשדה תעופה. חלליות 'אוריון' היו מתוכננות כקפסולות שינחתו על כדור הארץ בעזרת מצנחים.

התוכנית בוטלה מטעמי תקציב, אולם במאי 2011 הודיעה נאס"א על המשך פיתוחה של חללית מאוישת שיתבסס על כל העבודה שנעשתה במהלך הפיתוח של 'אוריון'. חללית זו תיבנה אף היא על ידי חברת "לוקהייד מרטיין" כרכב חלל מאויש רב שימושי Multi-Purpose Crew Vehicle - MPCV.

חללית 'אוריון' המחודשת מיועדת להגיע גם מעבר למסלול הקפה נמוך. היא אמורה לשמש כרכב למחקר בחלל, להסעת צוותים, כרכב למילוט חירום ולהבטחת החזרה מהחלל העמוק והנחיתה על פני כדור הארץ. כמו כן היא מתעתדת לכלול סידורי התחברות עם חלליות אחרות, התקני עגינה בתחנת החלל, יציאה וכניסה של אנשי צוות עם חליפות החלל ועוד. ב-21 בדצמבר 2011 קיימה נאס"א ניסוי הנחתה של 'אוריון' בעזרת מצנחים שנפתחו מעל בסיס צבאי במדבר אריזונה. בניסוי שוחררה החללית ממטוס בגובה של כ-8 ק"מ כשמצנחיה נפתחו בגובה שבין 6 ל-4.5 ק"מ. המצנחים תוכננו להיפתח בשלבים ולא בבת אחת כדי לבדוק בין היתר איך פועלות מערכות הגיבוי בין המצנחים להאטת המהירות. בניסוי נפתחו שניים משלושת המצנחים ו'אוריון' נחתה על אדמת המדבר במהירות של 11 מטרים בשנייה – שזו המהירות המקסימלית שתוכננה למגע עם הקרקע.

## מעבורת החלל קולומביה

קולומביה הייתה המעבורת הראשונה של נאס"א. בנייתה החלה ב-מרץ 1975 והסתיימה בפברואר 1981. באפריל 1981 הפכה קולומביה למעבורת הראשונה שטסה לחלל בטיסה STS-1. האסטרונאוט הישראלי הראשון, אילן רמון, טס בה בטיסתה האחרונה לחלל – STS-107 – המשימה ה-28 של המעבורת.

פעמים רבות עמדה קולומביה על כן השיגור A39 במרכז החלל ע"ש קנדי (פלורידה) מאז שוגרה לראשונה באפריל 1981. הטיסה ההיא, שנקראה STS-1 סימלה עידן חדש בטיסות החלל המאוישות ופתחה אפשרויות מחקר מגוונות ביותר עבור המדענים בחלל. שנים של תכנון ופיתוח הגיעו לשיאן כשחברת בואינג הגישה לנאס"א את הכלי החדש. זהו שילוב של טיל, חללית, מטוס ודאון, שבעזרתו ניתן להגיע לחלל ולחזור בחזרה אל פני כדור הארץ בנחיתה רכה ובטוחה.

ב-16 בינואר 2003 היא ניצבה שם שוב על שבעת אנשי הצוות שלה וביניהם אילן רמון שלנו בטיסה STS-107 וכל מדינת ישראל עקבה אחר השיגור בטלוויזיה.

## אילן רמון - האיש שנגע בחלל ולא שב



מימין לשמאל:

אילן רמון, וויליאם מק-קול, מייקל אנדרסון, קלפנה צ'אלה, לורל קלארק, ריק האזבנד, דייב בראון

### ואלה הם חברי הצוות במעבורת הקולומביה בטיסתה האחרונה:

**אילן רמון** – טיסה ראשונה לחלל. טייס קרב בחיל האוויר הישראלי ובוגר אוניברסיטת תל אביב באלקטרוניקה והנדסת מחשבים. נבחר למשימה ב-1997 והחל את אימוניו בנאס"א בשנת 1998.

**ריק האזבנד** - מפקד המעבורת – טיסה שנייה לחלל. טייס ניסוי בחיל האוויר האמריקאי, בוגר טכניון טקסס בהנדסת מכונות ובעל תואר שני בהנדסת מכונות מאוניברסיטת קליפורניה. הצטרף לנאס"א בשנת 1994.

**וויליאם מק-קול** – טיסה ראשונה לחלל. מפקד בצי האמריקאי וטייס ניסוי לשעבר. בוגר מדעים באקדמיה של הצי, תואר שני במדעי המחשב מהאוניברסיטה של מרילנד ותואר שני בהנדסת אווירונאוטיקה. הצטרף לנאס"א בשנת 1996.

**דייב בראון** – טיסה ראשונה לחלל. מפקד ורופא בצוות אוויר של הצי האמריקאי. בעל תואר ראשון ביולוגיה ותואר שלישי ברפואה מביה"ס לרפואה במזרח וירג'יניה. הצטרף לנאס"א בשנת 1996.

**מייקל אנדרסון** – טיסה שנייה לחלל. איש חיל האוויר האמריקאי. בעל תואר ראשון באסטרופיזיקה מאוניברסיטת וושינגטון, ותואר שני בפיזיקה מאוניברסיטת קרייגטון. הצטרף לנאס"א בשנת 1994.

**לורל קלארק** – טיסה ראשונה לחלל. קצינה ורופאה בצוות אוויר של הצי האמריקאי. בעלת תואר ראשון בזואולוגיה ותואר שלישי ברפואה מאוניברסיטת מדיסון-ויסקונסין. הצטרפה לנאס"א בשנת 1996.

**קלפנה צ'אלה** – טיסה שנייה לחלל. מהנדסת חלל ומדריכת טיס מוסמכת. בעלת תואר ראשון במדעים ואווירונאוטיקה מקולג' טכני בפונג'אב שבהודו, תואר שני בהנדסת חלל מאוניברסיטת ארלינגטון שבטקסס ותואר שלישי בהנדסת חלל מאוניברסיטת בולדר בקולורדו. הצטרפה לנאס"א בשנת 1994.

## ניסויים על הקולומביה

ארבע שנים התאמן טייס חיל האוויר אל"מ אילן רמון, הישראלי הראשון בחלל, לקראת משימתו והגשמת חלומו. באמצעותו למדנו להכיר את חבריו לצוות, שהפכו עבורו לחלק מהמשפחה ככל שהתחזק הקשר האישי. נפגשנו עמו באחד מביקוריו האחרונים בארץ. "מסרו לנוער שיבוא בעקבותיי", אמר בתום השיחה שבה הדגיש את נכונותו לתרום למען החינוך למדעי החלל. אילן זכה להיות הישראלי הראשון בחלל. אך לא זכה לשוב בשלום.

הניסוי הישראלי המרכזי היה ניסוי האבק המדברי MEIDEX שתוכנן באוניברסיטת תל אביב. היוזם הראשי של הניסוי, פרופ' יהויכין יוסף כתב עליו לקראת המראתה של הקולומביה בירחון "ראש גדול" (גיליון 31) בחוברת המיוחדת שיצאה לקראת ההמראה. פרופ' יוסף נפטר בשנת 2008 ואנו מביאים את הכתבה כפי שהופיעה אז עם המשכה בסרט "גוילים של תקווה".

### חוקרים את סופות האבק המדבריות

תרומת הניסוי הישראלי שנערך על ידי אילן רמון במעבורת הקולומביה בחלל לחקר האקלים באזור ובעולם כולו

פרופסור יהויכין יוסף\*

**"שוב בחלל אחרי התנ"ך"**

אלפי שנים לאחר הרפתקאות חלליות שעברו על הנביאים אליהו ויחזקאל כמסופר, יש לנו שוב אסטרונאוט ישראלי ושמו אילן רמון. לאחר ההמראה הוא ירחף מעלינו בחלל עם ששת חבריו האסטרונאוטים בגובה 250 ק"מ. הם יקיפו את כדור הארץ פעם בתשעים דקות במשך 16 יום.

לכל טיסת מעבורת יש שם וזו שלנו נקראת STS-107. הטיסה כולה מיועדת לניסויים מדעיים בנושאים מגוונים, שבעה מתוכם הנערכים בחסות נאס"א –

סוכנות החלל של ארה"ב – וביניהם גם MEIDEX " – הניסוי הישראלי לחקר האבק המדברי מעל לים התיכון, אשר כשמו, עוסק באבק מדברי.

### מה יש בו באבק המדברי?

תשומת הלב מכוונת לאבק המדברי בשל היותו גורם סביבתי פעיל. כך למשל, הוא משמש כגורם הפועל נגד התחממות האטמוספירה ונגד שינויים באקלים ובמזג האוויר שנובעים מעליית גזים מסוימים באטמוספירה, הקרויים "גזי החממה". גזים אלה, אדי מים, פחמן דו-חמצני, אוזון ואחרים, נפלטים באופן טבעי מהרי געש ומשרפות יער. אולם, מאז המהפכה הטכנולוגית הם נפלטים לאטמוספירה גם על ידי פעילות האדם בתעשייה ובתחבורה.

האבק המדברי נוטה לקרר את האטמוספירה ופני השטח היות שהוא מחזיר חלק מקרינת השמש בחזרה אל החלל. בנוסף לכך, הוא משפיע גם על העננות ועל המשקעים, ולזה יש חשיבות רבה לכולנו על פני כדור הארץ. לאבק עוד תפקידים במערכת כדור הארץ / אטמוספירה. גרגירי האבק נישאים ברוחות מאזורי מקור מדבריים למרחקים גדולים באטמוספירה. הם שוקעים כמעט בכל העולם על פני השטח, כשכמויות הגרגירים מגיעות למאות מגה-טון (מגה-טון = מיליון טון) לשנה.



סופת אבק מדברי מעל  
אזורנו

לעומת זאת, האבק גורם נזקים שונים לעולם החי. גרגירי האבק סופחים נבגים וחיידקים, יש אומרים שגם את וירוס השפעת, ומובילים אותם מיבשת ליבשת. כמויות אבק גדולות מהסהרה למשל, עלולות לפגוע גם בשוניות אלמוגים במפרץ מקסיקו וגם במזגנים בפלורידה. אבק ממדבר גובי במונגוליה מגיע ליבשת אמריקה, לאיי הוואי ואף לאירופה. ולבסוף, אבק מפריע ללוויינים להסתכל על פני כדור הארץ. יש, אם כן, סיבות רבות לחקור אותו.

### מה יתרום הניסוי הישראלי?

בניסוי אנו מודדים את האבק המרחף בסביבות מדבר סהרה מעל לים התיכון ומעל לאוקיינוס האטלנטי המזרחי מול אפריקה. אנו עושים זאת במספר אמצעים. מהחלל אנו מודדים את כמות האבק בעזרת מצלמה מיוחדת. מצלמה זו רגישה לאור השמש המוחזר אליה מהאבק באורכי גל שונים של קרינת השמש – מהאולטרה-סגול ועד האינפרא-אדום. בכך יש לה יתרון על לוויינים אחרים החוקרים את הנושא, אשר מכסים תחומים צרים יותר.

במערך הניסוי משתתף גם מטוס ובו צוות מצויד במכשירים המודדים את תכונות האבק שהמטוס טס בתוכו. מטוס זה טס מתחת למסלול המעבורת, כך שנוכל להשוות את כמות האבק ותכונותיו הנמדדות על ידי המעבורת עם אלה שבמטוס. בנוסף, יש לנו גם 22 תחנות קרקע, מפוזרות על כל אזור הים התיכון והאוקיינוס האטלנטי, המודדות אף הן אבק ומאפשרות לנו למפות את פלומות האבק..."

\* כתבה זו נכתבה עבור 'ראש גדול' בידי פרופ' יהויכין יוסף לקראת שיגור הקולומביה לחלל. הבאנו כאן את עיקרה של הכתבה.

## ישראל בחלל

המדענים בארץ עוסקים בתחומים שונים של מחקר החלל: מחקר אסטרונאוטיקה, מחקר במדעי כדור הארץ – אוקיינוגרפיה, גיאופיזיקה, מטאורולוגיה וכן מחקר אסטרונאוטיקה, העוסק בבניית תורה הנדסית כבסיס לניצול החלל – שיגור ו/או נסיקה, תנועה בחלל ושהייה ארוכת טווח בו. מתוך אלה התפתח ניצול החלל בתחומי התקשורת, העברת שידורי טלוויזיה וחיזוי מטאורולוגי וכמובן אין לשכוח את מצבה הביטחוני של ישראל שחייבת לשמור על יתרונה מול שכנותיה, יתרון שחייב להישמר גם בתחום החלל.

החברה, הכלכלה והביטחון בישראל נשענים בעיקר על המשאב האנושי - רמת ההשכלה והיכולת העיונית. בזכות המשאבים שהושקעו בתשתיות הידע שותפה היום ישראל בפיתוח המדעי והתעשייתי של העולם המערבי.

סוכנות החלל הישראלית (סל"ה) הוקמה בשנת 1983 בידי פרופ' יובל נאמן ז"ל ומיד עם ההקמה נכנסה הסוכנות לתכניות חלל מעשיות. ב-1988 שוגר לוויין ראשון מטיפוס "אופק", ובהמשך פותחו, נבנו ושוגרו דגמים נוספים למטרות תצפית, חישה מרחוק ותקשורת (לוויני עמוס), שחלקם שוגרו בטילי "שביט" שפותחו בישראל. בנוסף, מתקיימת בארץ פעילות מחקרית מגוונת בתחומי המדע והטכנולוגיה הקשורים בחלל בקשת רחבה של תחומים. כיום עומד בראש הסוכנות פרופ' יצחק בן ישראל.

## חץ במרומים - מערכת הגנה על שמי ישראל

בשנת 1988 נחנך פרויקט החץ ובשנתה ה-60 של המדינה הוא חגג 20 שנה כשהמערכת כוללת: מכ"ם התראה וגילוי "אורן ירוק", מרכז ניהול יירוטים "אתרוג זהב", מרכז בקרת משגרים "אגוז חום" ומשגר מבצעי.

כשהוחל בפיתוח החץ היה צורך להגן על המדינה מפני איום טילי הסקאד. מאז גדל טווח האיום והתגוון לנוכח האיומים מכיוון אירן והגדלת יכולת המענה נעשית באמצעות שיתוף פעולה בין-מערכת.

עד כה הושקעו בפיתוח המערכת 2.4 מיליארד דולר. ארצות הברית, שותפה מלאה בפרויקט, השקיעה בו כמחצית הסכום.

מתחילת שנות ה-90 נערכו ניסויים במערכת ובשנת 1998 נמסר הטיל המבצעי הראשון לחיל האוויר. בשנת 2000, הפכה המערכת למבצעית והועברה ליחידת "חרב מגן" של מערך הנ"מ בצה"ל.

מאז נמשך הפיתוח והמערכת עברה סדרת ניסויים לבחינת הביצועים המערכתיים כשכל ניסוי נערך תוך דימוי מקסימלי של מצב אמיתי: שיגור המטרה מדמה תרחיש מבצעי של ניסיון פגיעה בישראל וכל מרכיבי המערכת מתפקדים בתצורתם המבצעית. מדי שנה משופרת המערכת בכפוף לסכנות המאיימות על ישראל ונערכים ניסויים לבחינת כושר תגובתה. הניסויים האחרונים הוכתרו בהצלחה יתרה. הצלחת הניסויים מהווה מדורגה חשובה בהתפתחות היכולת המבצעית ובמתן מענה לאיום עתידי של הטילים הבליסטיים בזירה.



## לוויינים בחלל

הירח, הוא הלוויין הטבעי של כדור הארץ, אולם, קיימים גם לוויינים מלאכותיים, מעשה ידי אדם, שמיוצרים למגוון רחב של מטרות. לוויינים כאלה נושאים בתוכם מכשור המיועד לצילום, תקשורת, מחקר מדעי, ריגול, וכן גם על תהליכים והתרחשויות על פני כדור הארץ ועל גרמי שמיים רחוקים. יש לוויינים שקולטים ומשדרים נתוני מזג אוויר. הנתונים מועברים למחשבים המעבדים את הנתונים ומאפשרים למדענים לצפות את מזג האוויר. לוויין מסוגל לשאת מצלמות ולצלם את כל כדור-הארץ בזמן שהוא מקיף במסלולו את כדור-הארץ. התצלומים משוגרים אל מרכזי מידע מדעיים שעוקבים ומנתחים נתונים ושינויים בנושאי מזג אוויר חקלאות, מים, תנועות צבא ועוד.

אנשי מיפוי עוסקים בעדכון מפות כדור הארץ על סמך צילומי לוויינים. תצלומים הנעשים מלוויינים עשויים לעזור בחיזוי מזג האוויר, ולהתריע על התרחשויות ושינויים המתקרבים לאזור מסוים. כאשר אנו צופים בתחזית מזג האוויר בטלוויזיה, אנו רואים תצלומים שנעשו באמצעות מצלמות המותקנות בלוויינים.

קיימים שלושה סוגים של מסלולי לוויינים סביב כדור הארץ:

**Low Earth Orbit - LEO** - מסלול הקפה נמוך, שנמצא בגובה 160-480 ק"מ מפני כדור הארץ. לוויינים במסלול כזה נעים מהר בגלל כוחות המשיכה של כדור הארץ. הם מגיעים למהירות של כ- 28,000 קמ"ש ומשלימים הקפה אחת של כדור הארץ תוך כשעה וחצי.

**Medium Earth Orbit - MEO** – מסלול בגובה בינוני (9,000-18,000) שבו נמצאים לווייני תקשורת שמכסים את הקוטב הצפוני והדרומי. מסלולם הוא סגלגל (אובלי) ומקלטים שנמצאים על פני כדור הארץ זקוקים למערכת עקיבה כדי לקלוט את שידורי הלוויינים האלה. הודות לגובה שלהם מפני כדור הארץ, הם נמצאים בנקודת ראייה ממושכת יותר של תחנות הקליטה שלהם.

**Geostationary Earth Orbit - GEO** - מסלול זה שנמצא במרחק כ- 35,35.786 ק"מ מפני כדור הארץ סובבים לוויינים המספקים שירותי תקשורת מתמשכים או נתוני מזג אוויר ונתונים אחרים. במרחק זה הם נעים יחד עם כדור הארץ וסובבים אותו 24 שעות ביממה במהירות זהה לזו של כדור הארץ. אם הם ממוקמים מעל לקו המשווה של כדור הארץ הם כאילו "קבועים" בחלל ביחס למיקומם מול כדור הארץ. במיקומם במרחק זה מסוגלים, למעשה, שלושה לוויינים לכסות את כל פני כדור הארץ, פרט לקטבים.

## הצבת לוויין בחלל

לוויין מגיע לחלל באמצעות כלי שיגור (משגר) שמצויד ברקטות המניעות אותו מאתר השיגור. הרקטות של המשגר מרימות אותו יחד עם הלוויין אל החלל, שם הוא סובב את כדור הארץ במסלול זמני נמוך. אחר כך, הרקטות הכבדות והמשגר נפרדים מהלוויין עצמו ומנוע דחיפה מיוחד הצמוד ללוויין עצמו דוחף את הלוויין למסלול מעבר אליפטי. משם, באמצעות מנוע עזר נוסף, הוא מגיע למסלולו הקבוע.

## לווייני הביון

בחודש אוקטובר של שנת 1962 ניצב העולם על סף מלחמת עולם שלישית ואולי אף מלחמה גרעינית בין ארצות-הברית לברית-המועצות. המתיחות בין שתי המעצמות גאתה בעקבות הצבת טילים בליסטיים סובייטיים בקובה. איך זה נודע לאמריקאים?

מעטים יודעים, כי נשיא ארצות-הברית דאז, קנדי, נהנה מפירות לווייני הביון האמריקניים בני הדור הראשון, לווייני "קורונה", אשר צילמו החל משנת 1960 את ברית-המועצות מהחלל. אך מאחר שהסיווג של לווייני הביון היה גבוה ביותר, לא יכול היה קנדי לספר על יכולותיהם, או לאשר את הימצאותם בידי ארצות-הברית. ואולם, התוצרים המודיעיניים שלהם אפשרו לו להפגין קשיחות מול יריבו חרושצ'וב, אז נשיא ברית המועצות ואכן, ברית-המועצות התקפלה והסיגה את טייליה.

## צילומים מהחלל בכל בית

עשרות שנים לאחר משבר הטילים בקובה, עם תחילת פעילותו של לוויין הצילום המסחרי הראשון בעולם בעל רזולוציה של מטר אחד ("איקונוס"), חדרו תצלומי הלויין לתודעת הציבור והיום כל אדם המצויד במחשב ובחיבור לאינטרנט יכול לצפות באמצעות התוכנה Google Earth בצילומי לוויינים, שהיה עד לא מכבר נחלתן של מעצמות בלבד. לתוכנה זו השלכות בנושאי ביטחון לאומי, ומדינות רבות דרשו לצנזר שטחים מסוימים או מתקנים שברשותן, מחשש למתקפות טרור.

## לווייני תקשורת

לווייני תקשורת קולטים ומשדרים שיחות טלפון, הודעות פקס ותקשורת מחשבים ושידורי רדיו וטלוויזיה. באמצעותם אנו מסוגלים ליצור קשר מהיר לכל מקום על פני כדור הארץ. בעזרת לווייני תקשורת ניתן לצפות בתוכנית טלוויזיה, המשודרת במקום אחד בעולם, בכל מקום אחר על פני כל כדור הארץ.

הצעירים, שנולדו לעידן של טלוויזיה רב-ערוצית, רדיו לווייני ואלפי תחנות טלוויזיה ורדיו שנקלטים באמצעות צלחת לוויין ביתית, לא מבינים כיצד התנהלה התקשורת העולמית בעידן שלפני לווייני התקשורת.

כיום זוכים לווייני תקשורת בחלק ניכר מהתקציבים המוזרמים לתעשיות החלל בעולם. הצרכנים דורשים רוחב פס גדול יותר ויצרני הלוויינים נתקלים באתגרים טכנולוגיים גדלים והולכים בנסותם לספק תקשורת מהירה ואיכותית על ידי הגדלת רוחב הפס. יש להניח שבעתיד נראה שלווייני תקשורת יובילו למהפכות בתחום הרפואה-מרחוק - ניתוחים בידי רובוטים ומערכות ממוחשבות המצוידות בתוכנות מציאות מדומה ועוד.

## ישראל ולוויינות תקשורת

בישראל פועלת חברת "חלל תקשורת" מפעילת לווייני "עמוס" אשר נבנים ע"י התעשייה האווירית. לקראת שנת ה-60 למדינה (2008) שוגר בהצלחה "עמוס-3" ועתה נבנים "עמוס-4" ו"עמוס-5" וכן נחתם חוזה לבניית "עמוס-6". הלוויין קולט שידורים שונים כמו טלפון, רדיו, טלוויזיה ואינטרנט מכל מקום באזור הכיסוי שלו, מגביר את האותות החלשים המתקבלים במערכותיו ומשדר אותם בחזרה לאזור השירות שלו על כדור-הארץ.

לדוגמה, חברת yes משדרת מאנטנה אחת את כל שידוריה באזור ישראל. ללקוחות yes יש אנטנת קליטה בביתם, הקולטת את כל השידורים וממירה אותם לתמונת טלוויזיה על המסך באמצעות הממיר שבביתם. תקופת השירות של עמוס 3 מתוכננת ל-12 שנה, אך הודות לצורת שיגור ייחודית שבה שוגר הוא צפוי לפעול 18 שנה ואף יותר.

## לווייני ניווט ומערכות GPS

זה התחיל בפרוייקט של חיל הים האמריקני והפך לשגרת חיים של רבים מתושבי כדור-הארץ. העולם הפך כה תלוי במערכות הניווט הלווייניות, עד שהשבתתן מסיבות שונות תיצור שיבושים במערכות בקנה מידה עולמי ותגרום נזקים של טריליוני דולרים לכלכלות העולם. ברור לכן למה כה חשוב להגן על מערכות אלה מפני פעולות טרור (חסימה ושיבוש) ומפני מערכות נשק חלליות, בעת עימותים צבאיים.

למעשה מדובר במערכת מיקום גלובלית הנקראת (Global Positioning System), בקיצור GPS, שבה מכבים 24 לוויינים אמריקניים, המרחפים בחלל בגובה של כ-20,000 ק"מ מעל כדור הארץ. כל לוויין מכיל שעון מדויק, מקלט ומשדר רדיו וכל אחד על כדור הארץ שמחזיק בידו מקלט מיוחד, יכול בעזרתו לדעת היכן הוא נמצא (בדיוק של מטרים ספורים). יותר מכך, לווייני ה-GPS יכולים לכוון אותנו איך להגיע ליעדים שאנו בדרכנו אליהם. שירותי חירום כמו אמבולנסים, מכבי אש ומשטרה משתמשים במערכת זו שהצילה כבר חיים רבים בכל העולם.

איך זה עובד?

ניווט באמצעות לוויינים פועל לפי העקרונות העתיקים של ניווט על פי הכוכבים, אולם במקום למדוד את הזווית שלנו ביחס למספר כוכבים ולערוך חישובים מסובכים, משדרים הלוויינים כל הזמן אותות, והמקלט שבידנו כבר עושה את העבודה. כדי לדעת את המיקום המדויק שלנו צריך לשלושה מתוך עשרים וארבעה לווייני ה-GPS יהיו מעלינו. אם יש ארבעה או יותר, ניתן גם לדעת באיזה גובה אנו ואפילו באיזו מהירות אנו נעים. המערכת פועלת 24 שעות ביממה ואינה מושפעת כלל ממזג האוויר.

## ניווט ושימושים אחרים

כיום מנווטים באמצעות GPS כל מטוסי הנוסעים בעולם וכן מצוידים במערכת מרבית כלי השיט בים. גם מערכות צבאיות רבות כמו צוללות, מטוסים ומסוקים, טנקים וכלי רכב, ואפילו פצצות וטילים – מונחים אל מטרותם באמצעות לווייני GPS. הדור הבא של ה-GPS, המפותח עכשיו, יהיה משוכלל, מדויק וחסין יותר מפני שיבושים. המערכת אף חודרת למכוניות פרטיות, טלפונים ניידים וכבר יש מכשיר GPS בגודל של שעון יד. הלוויינים גם משמשים במחקרים שונים על כדור הארץ כמו תנועת היבשות, מעקב אחר נדידת בעלי חיים שונים, גידולים חקלאיים ועוד.

## ניסוי הגן הכימי שביצע אילן רמון בחלל

חלקה של ישראל בטיסת הקולומביה כלל, בנוסף לניסוי האבק המדברי וחקר התפרקות הברקים, גם ניסוי לימודי בשם "גן כימי", שתוכנן על ידי צוות קריית החינוך אורט מוצקין בראשות ד"ר אמירה בירנבאום. הניסוי, שהופעל בחלל על ידי



אילן עם התא בעת הניסוי במעבורת

אילן רמון כלל את אופן הגידול הכימי של מוצקים בנוזל "מי-זכוכית". שני חומרים נבחרו לניסוי: הראשון, תרכובת של קובלט שצבעה ההתחלתי אדום, ולאחר שהיה במי-זכוכית, משתנה לכחול. השני, תרכובת סידן בצבע לבן שאינו משתנה במהלך הפעילות הכימית. שני החומרים, מיד לאחר שהוטלו לתוך הנוזל, מתחילים "להצמיח" מעין ענפים, דמויי חוטי-צמר, כלפי מעלה. כך הם נוהגים על פני כדור הארץ בתנאי כבידה. מה יקרה בחלל?

### מה קורה שם בשונה מפה?

ניסוי זה שעדיין לא בוצע בחלל, נועד לספק מידע לגבי אופן ה"גידול" של התרכובות בסביבה של כבידה זעירה. עורכי הניסוי ביקשו לדעת, מה הכוח המניע לגידול ומה כיוון הצמיחה? השערתם היא כי בחלל יתפתחו המוצקים לכל הכיוונים. אולי בדומה לערמת ספגטי ואולי בדומה לכדור דמוי אלמוג קיפודי. בעת עריכת הניסוי בחלל, צולם התהליך במצלמת וידאו שעקבו אחריו. לא במקרה נבחרו החומרים, סידן וקובלט, צבעי הכחול-לבן של הצמיחה יסמלו את צבעי הדגל ואת שותפותה של ישראל בתוכניות חקר החלל של הקהילה המדעית בעולם.

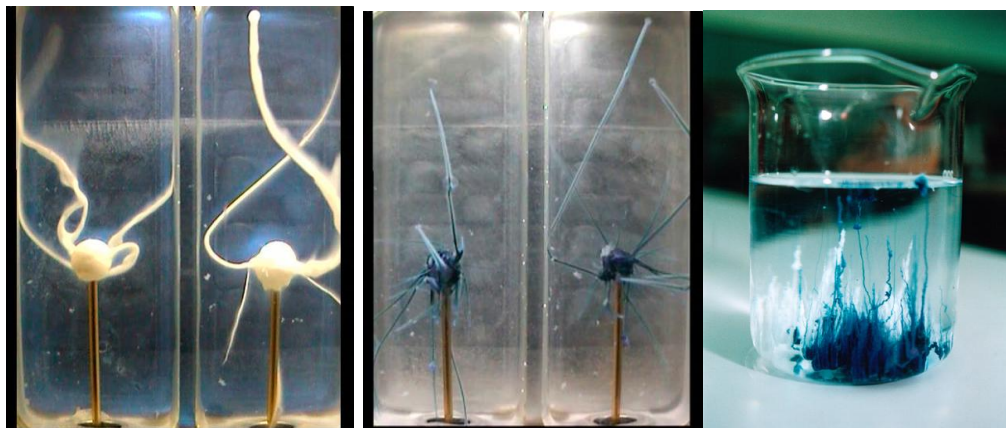
### התוצאות מהחלל הגיעו אך הניסוי לא הושלם

במהלך טיסתה של המעבורת 'קולומביה', הצליח אילן רמון להשלים את שתי ההפעלות של הניסוי לצמיחת מוצקים בחלל. התוצאות הגיעו בזמן אמת למרכז הבקרה שעקב אחר הניסוי במהלך הטיסה. תלמידי 'אורט קריית מוצקין' שתכננו את הניסוי וד"ר אמירה בירנבאום, היו שותפים יחד עם הטכניון לתכנון התא המיוחד שנשלח עם המעבורת לשם ביצוע הניסוי ושהו במרכז החלל בעת טיסת המעבורת. למעשה הכינו התלמידים שלושה תאים. אחד נשלח לחלל, השני שימש לביצוע הבקרה בזמן אמת על כדור הארץ והשלישי נשמר כגיבוי.

### תוצאות חלקיות לניסוי

על פני כדור הארץ נמשך גידול הזרועות של מלחי המתכות (קובלט בכחול וסידן בלבן) בין 20 ל-30 דקות בכיוון ברור בניגוד לכבידה. מן הניסוי שביצע אילן ניתן ללמוד כי בחלל הצמיחה איטית יותר. היא נמשכה מספר ימים, התגלתה כאקראית ותאמה את ההשערות המוקדמות. אקראיות זו נובעת מהיעדר כיוון מועדף בחלל. בכל זאת ניתן לראות הבדל מסוים בין הקובלט לסידן. הסידן החל את הצמיחה בצורה סימטרית כדורית, אך המשיך בזרועות חסרות כיוון מועדף. הקובלט צמח באקראיות מההתחלה.

החלק האחרון של הניסוי לא יצא אל הפועל בגלל האסון. המוצקים היו אמורים להגיע עם נחיתת המעבורת למעבדות 'אורט' בישראל, ובשיתוף הטכניון היה נבחן המבנה שלהם במיקרוסקופ אלקטרוני.



מימין: צמיחת תרכובת קובלט (כחול) וסידן (לבן) בבי"ס אורט קרית מוצקין. משמאל: צמיחת תרכובות הסידן והקובלט בחלל

**ניסוי זה שוחזר, ביוזמת משרד המדע בשנת 2011 בהיקף ארצי של העברת שיעור כימיה המוני לכמות משתתפים הגדולה ביותר אי-פעם. הניסוי בוצע במסגרת ליל המדענים ב-13 מוקדים בארץ בהשתתפות למעלה מ-4000 משתתפים ונכנס לספר השיאים של גינס.**

### מושגים בחקר החלל

1. **אטלנטיס** - מעבורת חלל אמריקאית
2. **אלן שפרד** - האמריקאי הראשון בחלל (לא השלים הקפה מלאה).
3. **אסטרוביולוגיה** – מדע העוסק בחקר אפשרות החיים מחוץ לכדור הארץ.
4. **אסטרונאוט (ברוסית – קוסמונאוט)** - אדם שהוכשר לעבודה מחוץ לכדור הארץ.
5. **אסטרונאוטיקה** – חקר מאויש של החלל.
6. **אפולו** – תוכנית חלליות שפותחו בנאסא לשיגור אדם לירח. אפולו 11 - השיגור המאויש הראשון שהנחית אדם על הירח.
7. **באז אולדרין (אדווין באז אולדרין)** – האדם השני שצעד על הירח – בן זוגו של **ניל ארמסטרונג** באפולו-11 לנחיתה הראשונה על הירח.

8. **גגארין יורי** – הקוסמונאוט הרוסי הראשון בחלל (1961).
9. **ג'ון גלן** – האמריקאי הראשון שהקיף את כדור הארץ בחלל (3 הקפות).
10. **ג'מיני** - תוכנית ג'מיני - התוכנית השנייה של הסוכנות שעסקה באימון טייסים לשהייה ארוכה לקראת משימה מאוישת לירח.
11. **גשושית** – חללית קטנה בלתי מאוישת
12. **חללית** – כלי תחבורה להעברת עצמים ו/או אנשים מכדור הארץ לחלל.
13. **לווין** – גוף המקיף כוכב או כוכב לכת.
14. **לונה** – חללית רוסית לא מאוישת שנחתה על הירח.
15. **מיקל קולינס** איש הצוות השלישי במשימת אפולו-11 שהמשיך להטיס את החללית במסלול סביב הירח עד לחזרתם של חבריו אולדרין וארמסטרונג מהירח.
16. **מיר** – תחנת חלל רוסית שהיתה מאוישת תקופה ארוכה באופן קבוע בחלל. רוסקה במתכוון בחלל כשיצאה משימוש.
17. **מנוע רקטי** - מנוע שכל החומרים הנחוצים לפעולתו נמצאים בתוכו, בניגוד למשל, למנוע סילון הצורך חמצן מהאטמוספירה בעת פעולתו. תכונה זו של המנוע הרקטי הופכת אותו למתאים למשימות הכרוכות ביציאה מהאטמוספירה של כדור הארץ. מנוע רקטי מופעל באמצעות דלק מוצק או באמצעות דלק נוזלי. המנוע מייצר גזים בלחץ גבוה בתוך גוף המנוע באמצעות שריפה או תהליכים כימיים אחרים. פתח היציאה היחיד לגזים אלו נמצא בעורף המנוע הרקטי - כלומר הכלי שבו מותקן המנוע (רקטה, רכב חלל או טיל, למשל) נדחף קדימה בעת פעולת המנוע (על-פי חוק שימור התנע).
18. **מעבורות חלל** – המעבורות תוכננו ככלי טיס לשימוש חוזר רב-פעמי, מכדור הארץ וחזרה לנחיתה על מסלול תעופה. **מרקורי** – תוכנית מרקורי - התוכנית הראשונה של הסוכנות לשיגור טייסים לחלל. במסגרתה נבחרו הטייסים הראשונים לאימון לשם טיסה לחלל.
19. **משגר** – משמש לשיגור לוויינים למסלול סביב כדור הארץ.
20. **נאס"א** – סוכנות החלל האמריקאית. הוקמה ב-1 באוקטובר 1958.
21. **ניל ארמסטרונג** – האדם הראשון שדרך על הירח (אפולו-11).
22. **סויוז** – טיל שיגור וחללית מתוצרת רוסיה.
23. **ספוטניק** – הלווין הראשון (הרוסי) ששוגר לחלל.
24. **פלנטה** – כוכב לכת הסובב סביב שמש.
25. **פרוגרס** – חללית מתוצרת רוסיה.
26. **רקטה** – עצם גלילי חסר מערכת הנחיה שטס בעזרת מנוע רקטי.

התמונות באדיבות נאסא, התעשייה האווירית וחברת חלל תקשורת



**יועצים מדעיים לחומר:**

פרופ' יצחק בן ישראל

פרופ' יואב יאיר

ד"ר יגאל פת אל

ד"ר דיאנה לאופר

פרופ' דן בלומברג

יצחק מאיו