

Innovation without limits

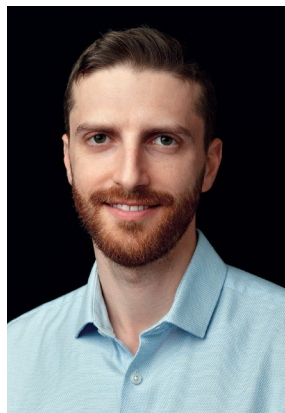
חברת הסטארט-אפ "Helios" החלה את דרכה בתחום החלל, בפיתוח טכנולוגיות להפקת חמצן מאדמת הירח (Lunar regolith). הפיתוח מבוסס על "ניצול משאבים מקומיים" ("In-Situ Resource Utilization") [ISRU], ומטרתו היא לייצר דלק מוזל למשימות חלל עתידיות, ולאפשר קיום ממושך על-פני הירח. מאמצי הפיתוח בפרויקט הביאו לגילוי תהליך פורץ-דרך להפקת ברזל ומתכות נוספות על-פני כדור הארץ. תהליך זה, שהוא יעיל אנרגטית וללא פליטת פחמן ישירה (תוצר הלוואי הוא חמצן בלבד), צפוי להיות מנוע הצמיחה העיקרי של החברה. עם זאת, הנהלת Helios החליטה, שלא לוותר על החזון להקמת מפעל על הירח, וכך היא מקדישה את מאמציה לפיתוח שני פתרונות בתחום הקיימות (Sustainability): ייצור

פלדה "ירוקה" על-פני כדור הארץ, וייצור חמצן על הירח

אלי יצחקוב ורווה כהנר

גרם לאנשים להפסיק להגיע אל הירח?". הנחיתה המאוששת הראשונה על הירח הייתה בשנת 1969 (משימת אפולו 11), והנחיתה המאוששת האחרונה הייתה בשנת 1972 (משימת אפולו 17). עשרות שנים חלפו, ורגל אדם לא דרכה יותר על הירח.

ה"ג'וק", שהיה בראשו של יונתן, לא הניח לו גם כאשר הוא החל ללמוד אווירונאוטיקה ובהמשך, הוא מילא תפקידים קרביים במערכת הביטחון. בחודש יוני 2016, הוא טס לגולדן קולורדו בארה"ב, והשתתף בכנס של "Space Resources Roundtable" (SRR), ושל "Planetary & Terrestrial Mining Sciences Symposium" (PTMSS). בכנס השתתפו כ-100 איש, ובעיקר, נציגי נאס"א (NASA) וחוקרים בתחום משאבי החלל. במהלך הכנס, יונתן הכיר את וילאם לרסון (William Larson), שניהל



יונתן גייפמן, מנכ"ל חברת Helios

"כל טכנולוגיה, המיועדת לעבוד בחלל, חייבת לפעול בתנאי סביבה קיצוניים, שבהם קיימות ואפס פליטות אינם אופציה אלא הכרח. אתגר זה חייב אותנו לחשוב 'מחוץ לקופסה' ולפתח תהליכים חדשים, המאפשרים להפיק חמצן מעפר הירח, ללא פחמן (שלא קיים על הירח) וללא חומרים מתכלים מכדור הארץ". כך אומר יונתן גייפמן, מנכ"ל חברת Helios ומייסדה, והוא מוסיף: "הטכנולוגיה החדשה, שפיתחנו לייצור חמצן בחלל, הביאה אותנו לגילוי שיטה ייחודית להפקת ברזל על-פני כדור הארץ. השיטה מאפשרת להפיק ברזל בעלות מופחתת וללא פליטות מזהמות".

האנושות חוזרת לירח

כאשר יונתן היה נער צעיר, הוא הוטרד מן המחשבה: "מה

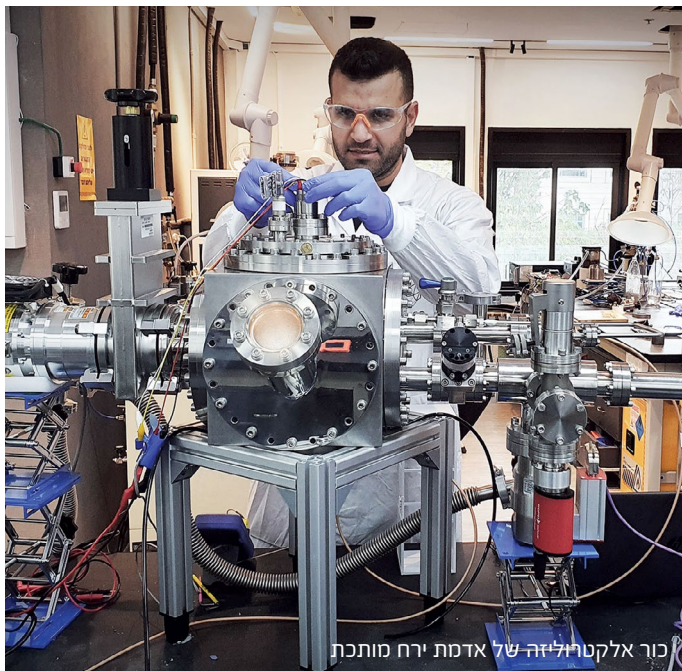


כוח לתפעול בסיס הירח (הדמיה)

חברת Helios מפתחת טכנולוגיות להפקת חמצן מאדמת הירח (כ-45% ממסת הקרקע של הירח עשויה חמצן). היא מתכננת לספק מחמצן דלק (Fuel oxidizer) טילים חיוני, וכן להפחית את עלותן של משימות חלל עתידיות. טכנולוגיית הליבה של Helios היא כור אלקטרוליזה* של אדמת ירח מותכת (Molten Regolith Electrolysis Reactor) [MRE Reactor]. בטכנולוגיה זו מחממים את אדמת הירח עד טמפרטורות התכה, ולאחר מכן משתמשים באלקטרוליזה להפרדת התחמוצות, באדמת הירח, לחמצן ולמתכות שונות, כגון: ברזל (Fe), אלומיניום (Al), טיטניום (Ti), וכו'.

החמצן, שיופק על הירח, יסופק ללקוחות במסלול נמוך של כדור הארץ (Low Earth Orbit) [LEO], על-פני הירח ובכל מקום שביניהם. תדלוק בחלל (Refueling in space) יאפשר לחלליות, הנוחתות על הירח, להרחיב את משימותיהן; לדוג

* אלקטרוליזה היא שיטה של פירוק תרכובת יונית ליסודותיה באמצעות זרם חשמלי, המועבר בתוך מערכת נוזלים סגורה. היונים עוברים תהליכי חמצון-חיזור (Redox) בהתאם למטענם: היון החיובי עובר "חיזור", והיון השלילי עובר "חמצון".



כור אלקטרוליזה של אדמת ירח מותכת



שיגור רקטה באמצעות חמצן, המופק מאדמת הירח (הדמיה)

את פרויקט ISRU בנאס"א, ועמד לפרוש לגמלאות. וילאם, שהיה אחד מן המומחים המובילים בעולם, בתחומו, ובהמשך התמנה לחבר בוועדה המייעצת (Advisory Board) של Helios, והוא פתח דלתות רבות בפניה.

החזרה לירח הפכה להיות עובדה קיימת. בשנת 2019, דונלד טראמפ, נשיא ארה"ב, חתם על צו נשיאותי, המורה לנאס"א לשוב ולהנחית בני-אדם על הירח. ראש נאס"א הכריז על "תכנית ארטמיס" ("Artemis Program"), שמטרתה להנחית בני-אדם על הירח, להקים עליו מושבה אנושית, ולהפוך אותו לתחנת מעבר למשימות מאוישות לכוכב הלכת מאדים ולחלל העמוק (Deep space). בשנת 2021 כבר שוגרה משימת ארטמיס 1 (משימה לא מאוישת להקפת הירח). בשנת 2024 מתוכננת לצאת לפועל משימת ארטמיס 2 (שיגור ארבעה אסטרונאוטים למסע סביב הירח), ובשנת 2025 מתוכננת להתבצע משימת ארטמיס 3 (שיגור ארבעה אסטרונאוטים למסלול סביב הירח, כאשר שניים מהם, אסטרונאוטית ואסטרונאוט, ינחתו על-פני הירח וישהו על אדמתו במשך שבוע).

חברת Helios מפתחת טכנולוגיות להפקת חמצן מאדמת הירח (כ-45% ממסת הקרקע של הירח עשויה חמצן). היא מתכננת לספק מחמצן דלק (Fuel oxidizer) טילים חיוני, וכן להפחית את עלותן של משימות חלל עתידיות

מדינות רבות החלו להתעניין בבניית "בסיס ירח" (Moonbase), שיאפשר פעילות אנושית (או רובוטית) מתמשכת על הירח. בשנת 2015 הוצג קונספט "כפר הירח" (Moon Village), המקדם שיתוף פעולה בין-לאומי של משקיעים ציבוריים ומסחריים. נוסף על-כך, נאס"א ושותפותיה, סוכנויות החלל: האירופית (ESA), היפנית (JAXA) והקנדית (CSA) מתכננות תחנת חלל ירחית בשם "שער הירח" (Lunar Gateway), שתחליף את תחנת החלל הבין-לאומית המקיפה את כדור הארץ, ותשמש פלטפורמה לחקר הירח. בשנת 2021, רוסיה וסין חתמו על מזכר הבנות לבנייה משותפת של "תחנה בין-לאומית לחקר הירח" (International Lunar Research Station) [ILRS] בשנת 2035 בקירוב.

הפקת חמצן על הירח

המכשול העיקרי למאמץ המדהים של החזרה לירח הוא העלות העצומה להובלת מסה מכדור הארץ אל פני הירח (מאות רבות של אלפי דולרים לק"ג). עלות זו הופכת כל משימה ארוכת טווח ללא כדאית כלכלית. רוב משקלה של רקטה הוא חומר ההנעה שלה, שמורכב מדלק (מתאן/מימן) ומחמצן, המהווה כ-75% ממשקל החומר.



חמצן באדמת המאדים (הדמיה)

ניסויים, כדי להוכיח הייתכנות טכנולוגית, ובטווח-הארץ להגיע לייצור של אלפי טונות חמצן מאדמת הירח.

הפקת ברזל ירוק

"לפני כשנתיים וחצי גילינו, שאחד מן התהליכים שפיתחנו לייצור חמצן הוא יעיל מאוד להפקת ברזל על-פני כדור הארץ (חוסך כ-50% מן האנרגיה)", אומר יונתן. והוא ממשיך: "ראינו שהתהליך 'עובד' בתנאי מעבדה, אבל התגלית שלנו הייתה המצאה מרעישה, וחששנו שאנו 'מפספסים' משהו. הרי האדם גילה את הברזל ואת תכונותיו לפני כ-3,000 שנה, ושיטות הייצור הנוכחיות כבר מיושמות במשך שנים רבות".

כיום מפיקים ברזל באמצעות חימום עפרת ברזל (Iron ore) עם פחמן (פחם) עד לטמפרטורה של 2,000 מעלות צלזיוס. לכבשן מכניסים אוויר חם ברציפות, ומן התגובה (Reaction) נוצר הברזל. הטכנולוגיה של Helios משתמשת בנתרן (Sodium), במקום פחמן. תהליך הייצור כולל שני שלבים: בשלב הראשון, משתמשים בנתרן לחיזור הברזל (תהליך הפוך מחמצון). בשלב השני, תוצרי הלואאי של תחמוצת הנתרן (Sodium oxide) מתנתקים, והנתרן מושב בלולאה



תחנות תדלוק בחלל (הדמיה)

סביב הירח; ולטוס הלוך ושוב ל-Lunar Gateway. התדלוק בחלל גם יאפשר לחלליות להמשיך לכוכב מאדים ומעבר לו, או לחזור לכדור הארץ. נוסף על-כך, רקטות לשימוש חוזר מהיר (Rapidly reusable rockets) לא יצטרכו לשאת חמצן לצורך "כניסה, ירידה ונחיתה" (Entry, Descent and Landing) [EDL], והן יוכלו להרים מטענים גדולים יותר ל-LEO.

תדלוק בחלל (Refueling in space) יאפשר לחלליות, הנוחתות על הירח, להרחיב את משימותיהן; לדלג סביב הירח; ולטוס הלוך ושוב ל-Lunar Gateway. התדלוק בחלל גם יאפשר לחלליות להמשיך לכוכב מאדים ומעבר לו, או לחזור לכדור הארץ

ו-Helios ו-"ispace" (חברה יפנית, המקדמת מערכת אקו-סיסטם בין הירח לבין כדור הארץ) חתמו על הסכם להטסת ציוד הניסוי של Helios לאדמת הירח. בחודש אוגוסט 2022, הנהלת Helios חתמה על הסכם שיתוף פעולה עם חברת ETA Space לאגירת חמצן נוזלי בחלל [ETA Space]. החברה ממוקמת ב"חוף החלל", בפלורידה, בארה"ב, והיא מומחית בייצור חומרי הנעה קריוגניים (Cryogenic propellants), לאחסוןם ולהעברתם]. הנהלת Helios מתכננת לבצע



צוות Helios: חדשנות ללא גבולות



מוט ברזל ירוק

"ראינו שהתהליך 'עובד' בתנאי מעבדה, אבל התגלית שלנו הייתה המצאה מרעישה, וחששנו שאנו 'מפספסים' משהו. הרי האדם גילה את הברזל ואת תכונותיו לפני כ-3,000 שנה, ושיטות הייצור הנוכחיות כבר מיושמות במשך שנים רבות"

האנרגיה), והוא חוסך 20% לפחות מעלות הייצור.

- **תואם עפרות ברמה נמוכה (Compatible with low grade ores):** התהליך יכול להתבצע עם עפרות בדרגה נמוכה, שהיום לרוב הן אינן שמישות. תהליך זה מאפשר לפתוח את השוק לעפרה זולה יותר, שמפחיתה עוד יותר את העלות הסופית של הברזל המיוצר.
- **ללא מימן (No Hydrogen):** התהליך אינו דורש מימן, שהשימוש בו מצריך בניית תשתית מיוחדת סביב המפעל, והפקתו דורשת אנרגיה רבה. כך נמנעות השקעות ועלויות, שהיו גורמות להעלאת מחירו של ייצור הברזל.
- **ללא אלקטרוליזה (No electrolysis):** התהליך מתבצע באנרגיה תרמית בלבד, ולכן צריכת האנרגיה הכוללת שלו היא נמוכה יותר משיטות ירוקות אחרות.

Helios בחרה להתמקד בתעשיית הברזל, בשל כמות האנרגיה, שבה תעשייה זו משתמשת, ובשל השפעתן השלילית של שיטות הייצור הנוכחיות על הסביבה (כ-8% מהיקף פליטות הפחמן העולמי). אחד מן היתרונות החשובים בטכנולוגיה של Helios, הוא השימוש בתשתיות הקיימות, במפעלי הפלדה. עובדה זו מפחיתה עלויות, והיא מקילה את האימוץ המהיר של הטכנולוגיה החדשה. ■

התמונות בכתבה הן באדיבות חברת Helios. לפרטים נוספים, צפו באתר: <https://project-helios.space>



ניסוי לייצור ברזל ירוק

סגורה, כדי לחזר את הברזל (Helios Cycle). כך, נותר חמצן, שאפשר לאגור אותו בנפרד לשימושים ארציים.

"כאשר סיפרתי לאחד מן המומחים הטכנולוגיים בחברת 'ThyssenKrupp' (תאגיד רב-לאומי שמטהו בגרמניה, והוא אחד מיצרני הפלדה הגדולים בעולם) על הגילוי שלנו, הוא הגיב ואמר, כי 'רק חוקרים נאיביים כמוכם יכלו להעז להשתמש בנתרן, בתהליך החיזור'. זאת, מן הסיבה, שהוא נתפש כ'אויב מושבע', הגורם להרס החומרים הקרמיים, המגינים על התנורים".

"הטכנולוגיה החדשה, שפיתחנו לייצור חמצן בחלל, הביאה אותנו לגילוי שיטה ייחודית להפקת ברזל על-פני כדור הארץ. השיטה מאפשרת להפיק ברזל בעלות מופחתת וללא פליטות מזהמות

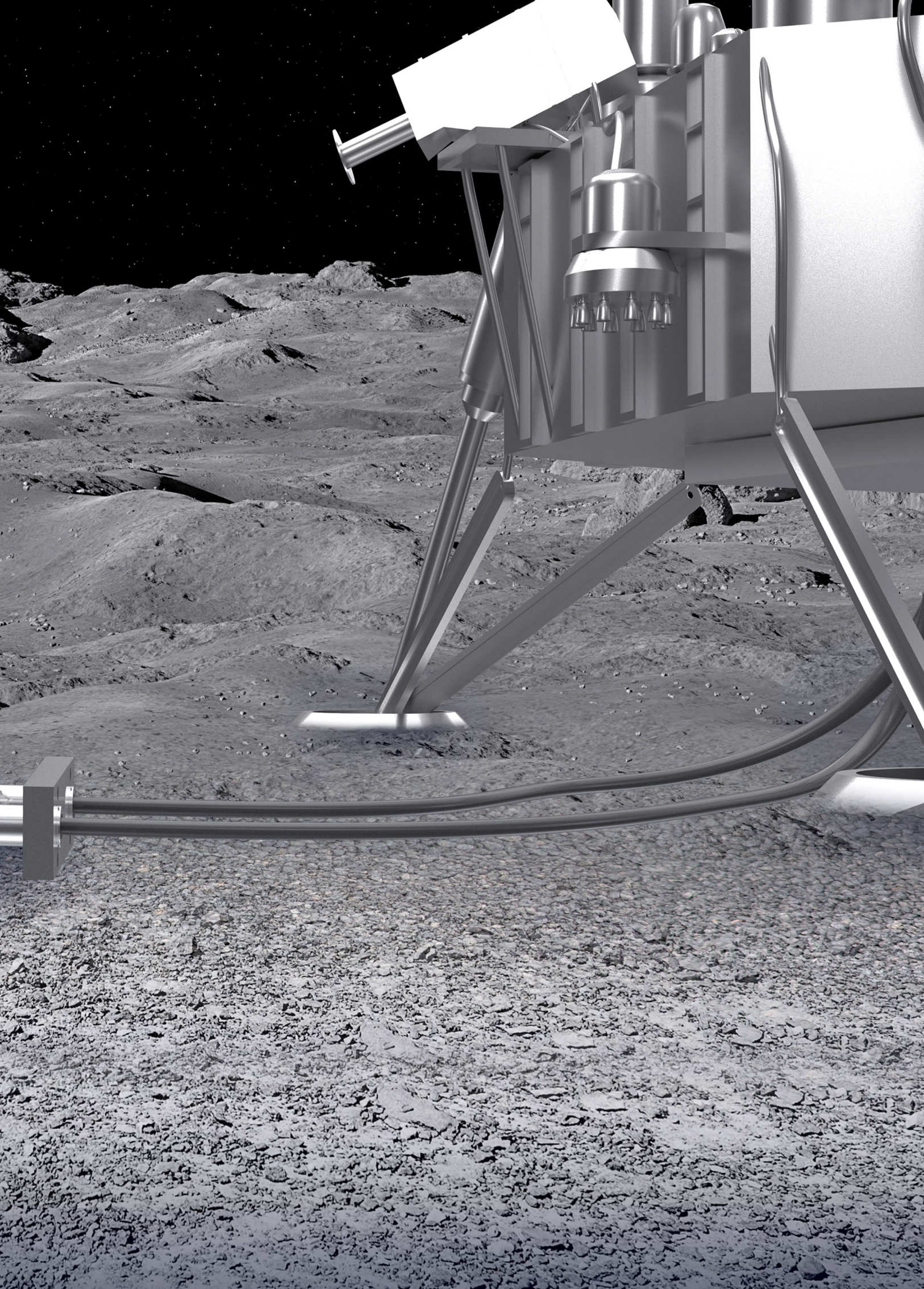
צוות Helios מצא, שהשיטה להפקת הברזל מתקיימת גם במתכות נוספות, והוא הבין שיש לו טכנולוגיה מנצחת. הצוות ממשיך במאמצי הפיתוח ועד לסוף שנת 2023, הוא צפוי להקים "ניסויי פיילוט" במפעלי יצרני פלדה גדולים בעולם.

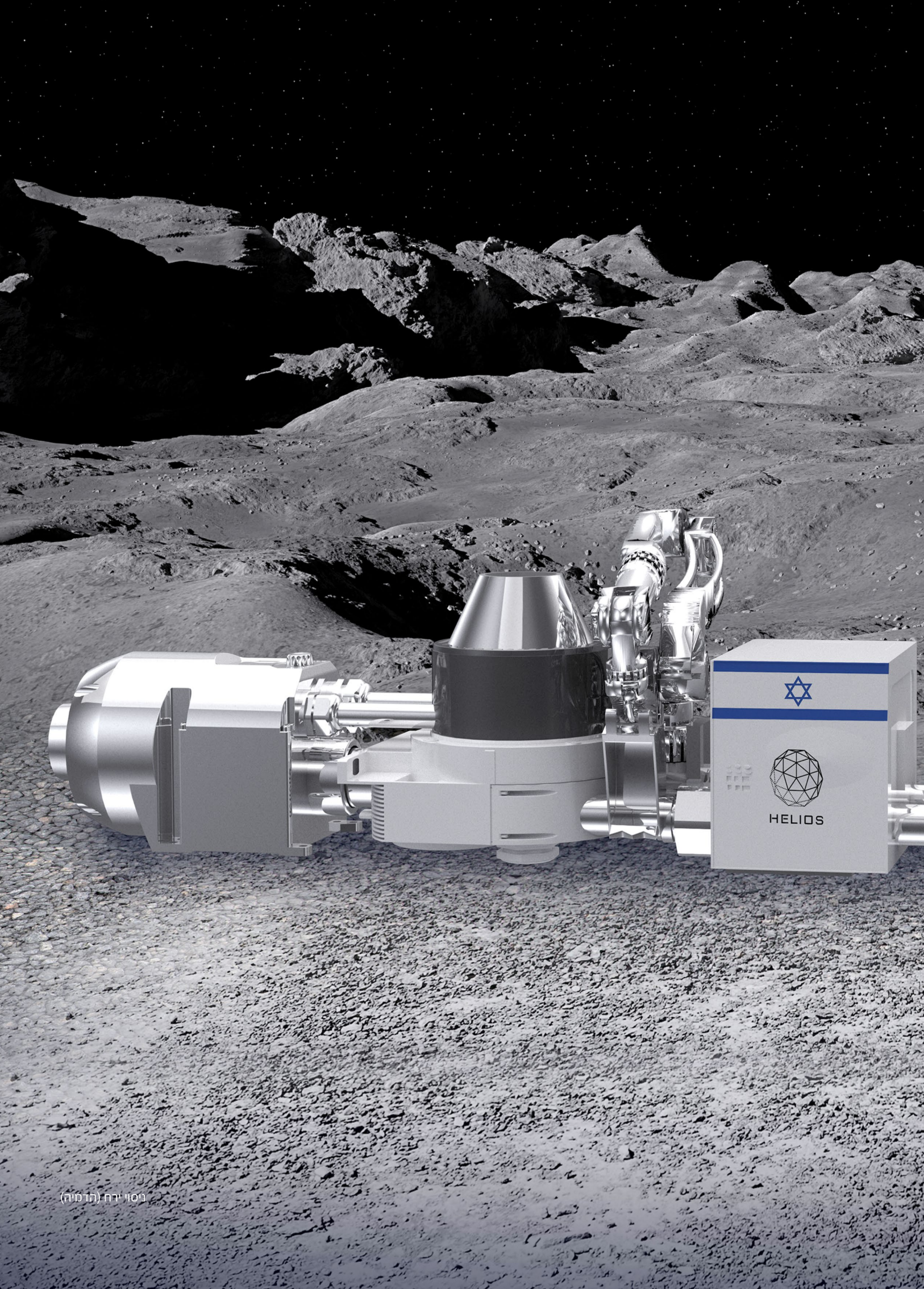
להלן היתרונות בטכנולוגיית Helios לייצור ברזל:

- **אין פליטת פחמן ישירה (No direct carbon emissions):** התהליך פולט חמצן בלבד כתוצר לוואי. כאשר משתמשים במקור אנרגיה מתחדשת (Renewable energy), אז כל התהליך הוא נטול פליטת פחמן ב-100%.
- **צריכת אנרגיה נמוכה (Lower energy consumption):** שיטות ייצור הברזל הנוכחיות מתבצעות בטמפרטורות של 1,200-2,000 מעלות צלזיוס. התהליך של חברת Helios מתבצע בטמפרטורות של 400-700 מעלות צלזיוס. תהליך זה הוא בעל יעילות אנרגטית גבוהה (הפחתת 50% מצריכת

מי היא חברת Helios?

חברת Helios הוקמה בשנת 2018. מייסדי החברה הם: יונתן גייפמן (CEO), אוהד חלק (COO/COO), ד"ר לינועם אליעד (CTO), ד"ר נעמי לוי (מנהלת מעבדה), ג'ון האוזנר (מוביל חדשנות), ואלעד גפן (מוביל עיצוב). חזון החברה הוא לאפשר קיום בר-קיימא על כדור הארץ ומעבר לו. לחברה יש משרדים בצור יגאל, בישראל. Helios מעסיקה כ-30 עובדים (כ-40% מהם נשים, וכ-15 עובדים הם בעלי תואר דוקטור). העובדים מועסקים, בעיקר, במחקר, בפיתוח ובהנדסה, בתחומים הבאים: תעופה וחלל, הנדסת מכונות, אלקטרוניקה ומדעי החומר. צוותי הפרויקטים עובדים





ניסוי ירח (הדמיה)