

מאת: עדי ניניו



# המסע הישראלי לכיבוש הירח



## "מי בא איתי לירח?"

כתב בדף הפייסבוק שלו יריב בש לאחר שראה את הפרסומת לתחרות של Google Lunar X Prize בשנת 2010.

מטרת התחרות היא להנחית חללית על הירח, לנוע 500 מ' על פני הירח ולתעד את המשימה. משימה מאתגרת ומפתיחה, בהחלט אירוע לא שגרתי - בוודאי לא בחיי הישראלי הממוצע.

לפי כללי התחרות, יש לפתח חללית במימון פרטי (לא ממשלתי), לשגר אותה ולהנחיתה על הירח. לאחר נחיתה רכה, יש לבצע סדרת צילומים ולשדרם לכדור הארץ, להתקדם 500 מטרים על פני הירח ולבצע שוב את סדרת הצילומים ושידורם. החללית הראשונה שתבצע בהצלחה את המשימה תזכה את בעליה בפרס ראשון - 20 מיליון דולר. לפרס הראשון מצטרפים פרסי בונוס לביצוע משימות כגון הישרדות בלילה ירחי ועוד.

אל בש חברו כפיר דמרי ויהונתן וינטראוב ייחדו את עמותת Spacell - עמותה ללא מטרת רווח, המגייסת כספים מתרומות. במקביל לרישום העמותה והצטרפותה לתחרות, גיבש הצוות תכנית פעולה להשגת המשימה - רחבת היקף ומורכבת.

בנוסף למשימתה הראשית של העמותה, שהינה הזכייה בתחרות, הציבה העמותה לעצמה משימה נוספת, חשובה וראויה: להשתמש בתחרות כפלטפורמה לחינוך האהבה למדע בקרב ילדים ובני נוער.

חברי העמותה, שהציבו שתי משימות אלה לנגד עיניהם, פנו לגיוס משקיעים ומתנדבים. ובכל זאת, מדובר בפרויקט ראשון מסוגו בישראל, מורכב ומלא אתגרים. הפרויקט החל בשנת 2010 ומועד הסיום המתוכנן הוא סוף שנת 2015. נכון להיום, היו מספר דחיות בלוח הזמנים ע"י המארגנים ותיתכן דחייה נוספת.

במהלך 2013 הצטרף לפרויקט ד"ר ערן פריבמן כמנכ"ל וכמוביל בהצעת העמותה במסלול ישיר למטרה. כיום נחשבת Spacell כאחת הקבוצות הנמצאות ברביעייה המובילה, יחד עם שלוש קבוצות אמריקאיות.

לצורך הכנת הכתבה שוחחתי עם יואב לנדסמן, מהנדס המערכת הראשי של Spacell IL. יואב, מהנדס חלל וגאו-פיסיקאי, אסטרונום חובב, עבד בפיתוח והפעלה של לווייני עמוס.



מייסדי העמותה: (מימין לשמאל): יהונתן וינטראוב, כפיר דמרי, יריב בש. צלם: אלון הדר



יואב, אתם קוראים לחללית  
"מיני לוויין". מהו ההבדל  
בין חללית ללוויין?

לכאורה אין הבדל גדול, בשני המקרים מדובר על שיגור למסלולים גבוהים מחוץ לכדור הארץ. האתגר הגדול הוא ההתקרבות והנחיתה על הירח. אפשר לומר זאת בפשטות: אם לא היינו צריכים לנחות, לא היינו עושים שום דבר חדש. הנחיתה עצמה משנה את כללי המשחק. הדבר טרם נעשה בישראל. יתרה מכך, המשימה נחשבת כבלתי תיאמן בהתחשב במשקלה של החללית ובמימדיה הקטנים, שאינם עולים על אלו של כמכונת כביסה ממוצעת. לשם השוואה בלבד, משקל החללית הסינית שנחתה לאחרונה על הירח היה כ- 1.5 טון. הבחירה בחללית מסוג מיני לוויין אינה מקרית. זוהי סביבה טבעית לתעשיית החלל הישראלית, המפתחת מיני לוויינים מהטובים בעולם. עם זאת, הדרישה לביצוע המשימה בעלות סבירה ובאופן פשוט ככל האפשר הופכת את המשימה ההנדסית למאתגרת במיוחד.

### במה הדבר בא לידי ביטוי בתכנון ובפיתוח החללית?

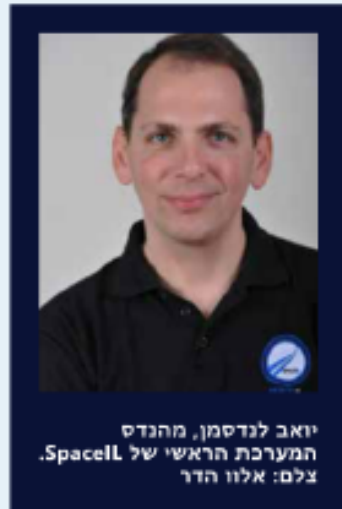
אנו מתעניינים בטכנולוגיית CubeSat, כאשר ישנה חשיבות למזעור רכיבים ולעשיית דברים בצורה שונה. לדוגמא: לוויין רגיל נדרש לפעול בחלל במשך מספר שנים ולבצע משימות ארוכות טווח, ואילו כאן הדבר שונה. המשימה היא קצרת טווח, וניתן להסתפק ברכיבים קלי משקל ובעלי אמינות סבירה בטווח הקצר. כך משיגים חסכון במשקל ההמראה ובעלות המשימה. כמו כן, ישנם רכיבים שהעמותה מפתחת ומייצרת על פי תקנים חלליים, וגם הם ייבדקו בניסויים הבוחנים תפקוד בהשפעת תנאי סביבת חלל.

### במדינת ישראל מספר גופים המתמחים בתחום החלל. אילו שיתופי פעולה ישנם לעמותה?

כבכל פרויקט, ישנו צוות גרעיני וישנם שיתופי פעולה. בין שיתופי הפעולה ניתן למצוא את מפעלי התעשייה האווירית לישראל: מפעל מבת חלל ומפעל מלמ וכן את מכון ויצמן. כל צוות ותרומתו בתחום מומחיתו - מהנדסי חלל ומדענים מובילים. מפעל מבת חלל מסייע בפיתוח ואינטגרציה של מערכת החללית, וכן מספק את המקטע הקרקעי שיאפשר ניהול המשימה בעזרת רשת עולמית של אתרי קליטה ושידור, שבהם קיימות אנטנות בגודל הנדרש לצורך תקשורת עם חללית בעומק החלל. מפעל מלמ מספק את מערכת ההנעה, ומכון ויצמן מסייע בתמיכה מדעית לפרויקט. לאחרונה רכשה SpaceIL את מערכת ההנעה של החללית, הכוללת את המנוע ומכלי הדלק ומהווה כ-80 אחוז ממסת החללית. בכך התהדק שיתוף הפעולה בין SpaceIL והתעשייה האווירית לישראל.

## כמה קבוצות מתמודדות בתחרות והאם נוצר שיתוף פעולה אתן במהלך הפרויקט?

את התחרות התחילו שלוש קבוצות, ועם הזמן חלקן פרשו. כעת נותרו שמונה קבוצות בלבד. לדוגמה, לפני מספר חודשים פרסמה אחת הקבוצות ניסוי גדול ומוצלח ומיד לאחר מכן פרשו מהמרוץ שלוש קבוצות. אין שיתופי פעולה מוצהרים, עם זאת אחת לשנה מתקיים כנס שנתי של התחרות וכל קבוצה מציגה סטטוס לפרויקט וכך ניתן להשיג מידע לגבי המתמודדים האחרים. בנוסף ישנה הערכה חיצונית לגבי סיכויי



יואב לנדמן, מהנדס  
המערכת הראשי של Spacell.  
צלם: אלון הדר

הקבוצות ו-Spacell מדורגת כבעלת סיכויים גבוהים ונמצאת לפי ההערכות ברביעייה המובילה.

## המשימה בהחלט ראויה ומאתגרת מבחינה הנדסית וכלכלית. כיצד מממנת העמותה את הפעילות ואת השיגור?

התקציב הכולל של הפרויקט מוערך בכ-36 מיליון דולר. לאחרונה קיבלה העמותה תרומה בסך 16.4 מיליון ד"ר מקרן משפ"ד"ר מרים ושלדון ג. אדלסון. התרומה מצטרפת למימון מתורמים מרכזיים נוספים כגון: מוריס קאהן וקרן משפחת שוסטרמן, יחד עם תמיכה רציפה של התעשייה האווירית, סוכנות החלל הישראלית, בזק, אוניברסיטת תל אביב, מכון ויצמן ועוד, כולל תמיכה ציבורית רחבה. התרומה הנדיבה מאפשרת התקדמות משמעותית בבניית החללית והזמנת שיגור למשימה המיוחלת.

חשוב לציין, שלמרות שהתרומה של אדלסון מאפשרת את מימוש הפרויקט, גיוס התרומות נמשך באופן שיאפשר את ביצוע המשימה על הצד הטוב ביותר (יותר בדיקות וכו'), שכן ישנו צ'אנס אחד בלבד להצליח. כמו כן, תקציב של פרויקט כזה מטבעו נוטה להשתנות ככל שמתקדמים ומתקרבים למועד השיגור.

## מהי עלות שיגור לחלל וכיצד תשוגר החללית?

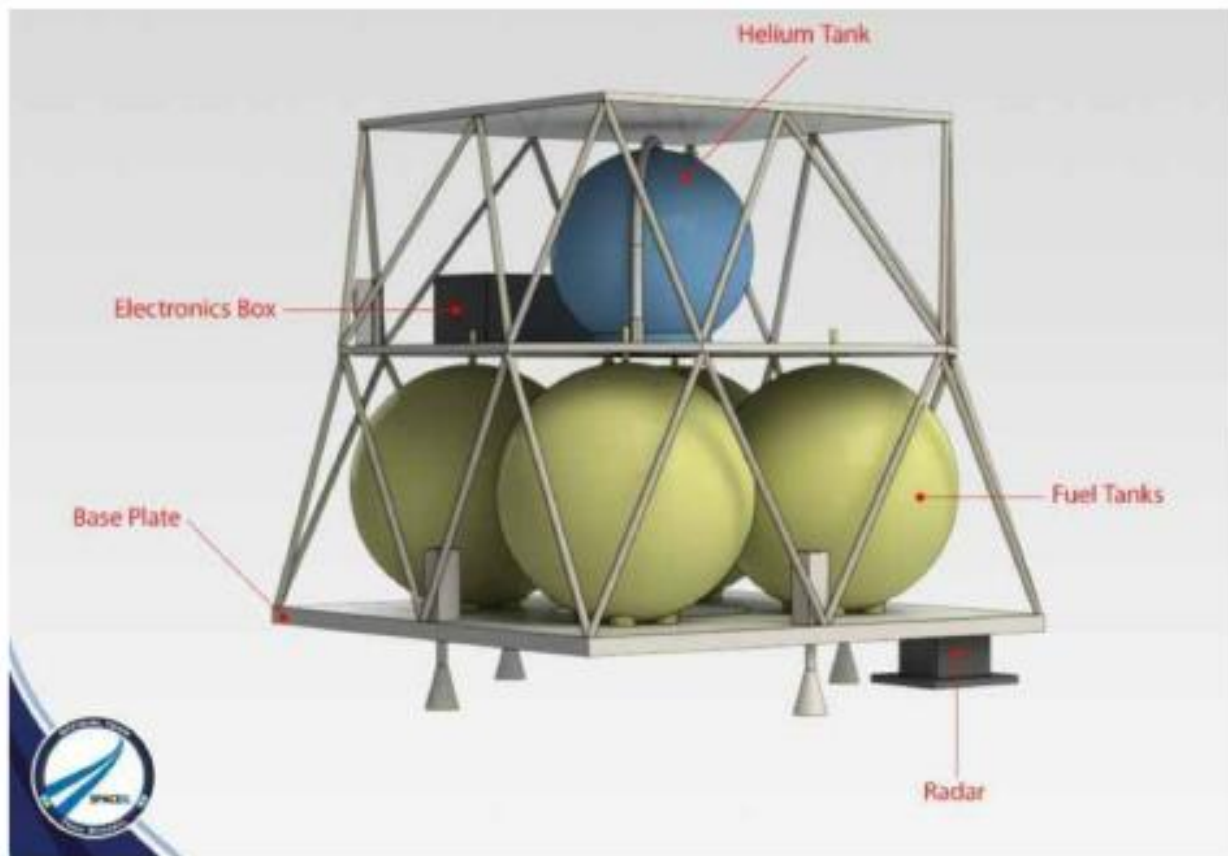
עלות שיגור למסלול LEO, או מסלול נמוך (Low Earth Orbit), עומדת על כ-25,000 ד"ר לק"ג. עלויות אלה מחייבות חסכון במשקל החללית. משקל החללית בשיגור יהיה כ-140 ק"ג וכ-40 ק"ג בנחיתה. בשל מורכבות השיגור למרחק כה רב (מרחק הירח מכדור הארץ כ-380,000 ק"מ), החללית תשוגר כ"טרמפיסטית" על משגר מסחרי.

## מהיכן ומתי יתבצע השיגור?

אתר השיגור טרם נקבע, ולכן גם מועד השיגור אינו סגור. זוהי אבן דרך משמעותית מאד ממנה ייגזרו מיקום ומועד ניסויי הנחיתה, ניסויים לדימוי כבידה שונה (כוח הכבידה על הירח קטן פי 6 מזה שעל כדור הארץ ואין לו אטמוספירה) ופרטים נוספים.

## האם נדרש טיל שטס לירח כדי להביא חללית לירח?

כמובן שעדיף, אבל זו לא חובה. החללית נוסעת כמטען משנה ולאחר השלב העליון הטיל מפריד את החללית ומזריק אותה למסלול במהירות ובכיוון הרצוי - אל הירח. מרגע עזיבת הטיל, החללית נעשית עצמאית, מערכת ההנעה נכנסת לפעולה ומתחילה טיסה ישירה אל הירח.



וישנם אתרים משניים אך נוכל לדעת מי מהם ייבחרו רק לאחר שייקבע אתר ומועד השיגור. זו אחת הסיבות לכך שאבן דרך זו היא קריטית בפרויקט.

### מה מאפיין אתר נחיתה על הירח?

על אתר הנחיתה להיות בשיפוע נוח, המאפשר הגעה ללא התנגשות בהרים בדרך, נדרשת התאמה גם מבחינה תרמית - מומלץ לנחות באתר בעל טמפרטורות נוחות לשהייה של מספר ימים בשטח. לדוגמא, בנחיתה על הקו המשווה הירחי בצהרי היום הטמפרטורה יכולה להגיע ל- $200^{\circ}\text{C}$ . כמעט כל חללית שהגיעה אל הירח נחתה בבוקר הירחי, מאחר ובבוקר

כמה זמן תימשך הטיסה לירח? באפולו עשו את זה בשלושה ימים כי המשימה הייתה מאוישת. בחלל נדרש דלק רב כדי להגיע במהירות ליעד המבוקש. החללית הישראלית תטוס כחודש ימים לכל היותר. הזמן שבו החללית נמצאת בחלל הוא הזמן הנדרש לה כדי להגיע לירח, וזה גם הזמן שלוקח לירח להגיע לנקודה שבה נוכל "לתפוס" אותו.

**האם ישנם אתרי נחיתה מיוחדים?**  
אתרי נחיתה נבחרים על פי המקומות הנוחים והבטוחים לנחיתה. ישנו צוות מדענים ממכון ויצמן המתמחה באתרי נחיתה נוחים ומתאימים ומסייע לצוות העמותה בנושא זה. ישנו אתר ראשי



#### הדמייה של החללית בדרך לירח

במצלמה הממפה את פני השטח, באמצעות אלגוריתם לזיהוי פרטים ידועים. השיטה מוכרת מתחום הרובוטיקה על הקרקע ותנוסה לראשונה בחלל במשימה זו. החלק המסובך ביותר הוא הנחיתה, והדבר הכי חשוב בשלב זה הוא להעריך במדויק את המרחק מהירח כדי לנחות עליו בבטחה.

חלק מהמשימה הוא התקדמות של 500 מ' על פני הירח. כיצד החללית תבצע את ההתקדמות? במשימות קודמות לנחיתה והתקדמות על הירח, תוכננה חללית (נחתת) אשר נחתת על הירח, וממנה יצא רובוט

הירחי השמש עדיין נמוכה והטמפרטורה לא מאד גבוהה.

אנחנו מתכננים נחיתה בצד המואר, משיקולי אנרגיה. כך נוכל להפיק חשמל באמצעות פנלים סולאריים הפועלים בעת חשיפה לשמש.

**מהם השלבים המורכבים ביותר וכיצד אתם נערכים אליהם?**

ישנם שני שלבים קריטיים במשימה: לכידה במסלול ונחיתה. אחד הדברים החשובים בנחיתה הוא לדעת מהי מידת הקרבה לקרקע בכל רגע נתון. לשם כך אנו נעזרים, בין היתר, ב-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), מערכת המשתמשת



למעלה  
מ-50,000  
ילדים שמעו  
את ההרצאה  
על המשימה.

אנחנו מאמינים שדרך הסיפור הזה של  
Spacell הילדים מתמלאים בהשראה  
ובאהבה חו המטרה  
החינוכית שלנו.

**במידה והעמותה תזכה בתחרות, מה  
תעשו עם כספי הזכייה?**  
העמותה היא ללא מטרת רווח. כספי  
הזכייה יוקדשו לקידום המדע והחינוך  
המדעי והטכנולוגי בישראל.

**לסיום, מה עתיד החללית לאחר  
השלמת המשימה, האם היא תחזור  
לכדור הארץ?**  
החללית תישאר על הירח ותמתין לדור  
המדענים הבא אשר יפתח חללית  
שתחזיר את Spacell הביתה.

**על הכוונת**  
עדי ניניו גרינברג - חוקרת במעבדה  
לחקר שביטים בחוג למדעי כדור הארץ  
באוניברסיטת תל אביב.  
מובילה מיזם "מצוינות בחלל" - לעידוד  
מצוינות באמצעות לימוד חקר החלל ועולם  
הלוויינות בבתי ספר ותיכונים.  
מרצה לנושאי חקר החלל, שימוש בתווך  
החללי לצרכי חישה מרחוק וניטור כדור  
הארץ. לשעבר ראש מדור טכנולוגיות כענף  
חלל ולוויינות בחיל האוויר

על גלגלים ('רובר') המבצע את משימת  
ההתקדמות. כשמדובר בחללית קטנה,  
תכנון רכב חללי נוסף הוא מורכב  
ולכן אנו נוקטים בגישה הרב תכליתית  
ומשתמשים במנועי החללית, אשר  
למעשה יבצעו קפיצה שמרחקה  
מנקודת הנחיתה הראשונה הוא  
500 מ'. זוהי למעשה נחיתה שנייה של  
החללית במרחק הרצוי.

**זה ללא ספק פתרון יצירתי ומעודד  
חשיבה מחוץ לקופסה. ידוע כי  
העמותה שמה לה למטרה לקדם את  
תחום המדעים והטכנולוגיה בחינוך.  
כיצד אתם פועלים בנושא?**

נכון, העמותה שמה לה למטרה לקדם  
מדע וטכנולוגיה ולהשתמש במשימה  
מיוחדת וראשונית זו לשם יצירת  
"**אפקט אפולו**" מחודש. הכוונה היא  
לשמר ולעודד דור של מדענים.

**אנו מאמינים שחובתנו לשתף  
אחרים בידע הייחודי, המסקרן  
והמלהיב העומד לרשותנו, וכך למנף  
באופן מיטבי את יכולת ההשפעה  
האדירה של העמותה ושל אפקט  
המשימה.**

לעמותה כ-250 מתנדבים אשר  
מעבירים הרצאות על המשימה ועל  
תחומי המדע והטכנולוגיה בבתי ספר  
ברחבי הארץ. המסר שלנו לילדים הוא  
שכל אחד יכול לעשות דברים גדולים,  
לשאוף למעלה ולא להסס לחלום  
ולהגשים חלומות גם בתחום כמו  
החלל - **גם ילד במדינת ישראל יכול  
לחלום להיות אסטרונאוט, ללמוד  
ולהתפתח בתחום החלל.**

אנשי העמותה אינם מחכים ליום  
הנחיתה כדי ליצור אפקט חינוכי  
ולעודד את ילדי ישראל לאהבת ולחקר  
החלל. בזכות עבודת השטח המבורכת  
והמאומצת של מתנדבי העמותה,