

# לוויינים ומזעורי - לוויינים

עשרות לווייני תצפית בעלי תכונות שונות ומגוונות מוצבים היום בחלל. חלקם משמשים למעקב אחרי שינויים אקלימיים וחיזוי מזג האוויר, חלקם עוקבים אחר תופעות על פני כדור הארץ כגון מצב היערות, גידולים וצמחייה, התפרצות הרי געש, רעידות אדמה, סערות ושיטפונות ויש המכוונים למעקב אחרי התחממות כדור הארץ והמסת הקרחונים.

יש גם לווייני תצפית אסטרונומיים הצופים לעבר החלל ומנסים ללמוד על תולדות היקום והרכבו. המפורסם שבהם הוא 'האבל' עם תמונותיו המרהיבות. ומהיבט אחר וחשוב - ישנם גם לווייני תצפית ליישומים ביטחוניים, המשמשים בידי מדינות למעקב אחר ארגונים ומדינות אחרות.

קיים בשנים האחרונות גידול מתמיד בשימוש בתוצרי לוויינים לצורכי מיפוי וניתוח שינויים על הקרקע במצבי שגרה ובמצבי חירום. התמודדות עם אסון טבע מכל סוג שהוא, הכוללת התארגנות מוקדמת, היערכות ותמיכה במאמצי החילוץ וההצלה, ולבסוף השיקום בפועל, כל אלה תלויים באופן קריטי בזמינות צילומי לוויין של האזור הנפגע לפני ובעיקר אחרי האירוע. צחוק הגורל הוא שהמדינות הנפגעות מאסונות הטבע ונזקקות לסיוע הן בדרך כלל אותן מדינות נחשלות שאינן מסוגלות לרכוש ולהפעיל, ולא כל שכן לשגר לווייני תצפית. לשם כך הוקם מנגנון שנועד לספק צילומי לוויין רלוונטיים ובזמן אמת למדינות הפגועות בעת התרחשותו של אסון טבע. המנגנון נקרא Spider או בשמו הקודם The Disaster Charter.

## תקשורת באמצעות לוויינים

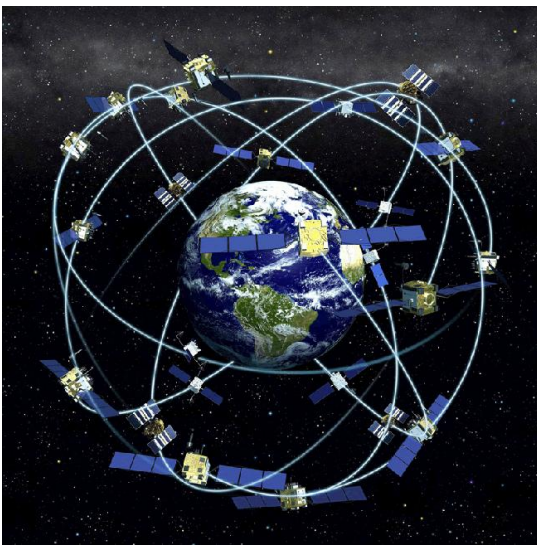
הרעיון להשתמש בלוויינים לצורך תקשורת הגה סופר המדע הבדיוני המפורסם סר ארתור סי. קלארק כשהיה מדריך מכ"ם בחיל האוויר הבריטי במלחמת העולם השנייה, שנים רבות לפני ששוגר הלוויין הראשון. קלארק פרסם מאמר בעיתון פופולרי שנקרא Wireless World ושם הציע כי הטילים הבליסטיים כדוגמת ה-V2 הגרמני יוכלו לשמש בעת שלום לשיגור לוויינים. הוא הציע לשגר את הלוויינים למסלול הקפה סביב כדור הארץ (מסלול גיאוסטציונרי) בגובה של 36,000 ק"מ מעל פני כדור הארץ ובמישור קו המשווה. לוויין המוצב במסלול זה שומר על מיקום קבוע ביחס לכדור הארץ ומאפשר תקשורת רציפה עם שטחים נרחבים. קלארק הראה כי נדרשים שלושה לוויינים בלבד על מנת להשיג כיסוי של מרבית שטח כדור הארץ למעט אולי בקטבים. חזונו התגשם רק 20 שנה מאוחר יותר כששוגר לוויין התקשורת המסחרי הראשון Intelsat-1. כיום פועלים למעלה מ-170 לוויינים במסלול הגיאוסטציונרי, מרביתם לווייני תקשורת, מיעוטם כוללים יישומים אחרים כגון מערכות לאיתור חילוץ והצלה, מערכות תצפית מזג אוויר ויכולות צבאיות כגון תקשורת צבאית וגילוי שיגורים. יש גם לווייני תקשורת הנמצאים במסלולים קרובים יותר לכדור הארץ, ביניהם אירידיום, Orbcomm ובעתיד הקרוב O3B, אשר שמו להם למטרה לקשר לאינטרנט את אותן אוכלוסיות באזורים שאינם מחוברים היום עקב אילוצי מרחק ותשתית – מכאן נובע גם השם Other 3 Billion.

## ניווט

הלוויינים החלו לשמש לניווט החל בשנות השישים עם מערכת שנקראה Transit שפותחה עבור משרד ההגנה האמריקאי. מערכת זו סיפקה לאוניות בים הגדול דיוקי ניווט של כארבע מאות מטרים, פריצת דרך בהשוואה לניווט הימי עד לאותה עת. מערכת ה-GPS, אף היא פיתוח של משרד ההגנה האמריקאי, הפכה מבצעית משנת 1978, אך בגלל הצורך בשיגור 24 לוויינים להשגת כיסוי מלא הגיעה המערכת לפריסה מלאה רק ב-1994. לווייני ה-GPS טסים בגובה של כ-20,000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. המערכת נבנתה לספק דיוקי ניווט של

כעשרה מטרים ולספק יכולות ידיעת זמן מדויק. מתכנני המערכת לא צפו בשנות השבעים כי בעתיד יופיעו טלפונים חכמים הכוללים מקלט GPS שלם על שבב בגודל ציפורן. כיום ה-GPS משולב בחיינו באופן כה נרחב עד כי המעצמות החליטו לא להיות תלויות באופן מוחלט בארה"ב לצורכיהן. רוסיה פיתחה לעצמה את מערכת "גלונאס" שהייתה מבצעית לראשונה בשנת 1995, אך עקב נפילת ברית המועצות נפגעה תקינותה ורק לאחרונה, בשנת 2011, הוחזרה המערכת ליכולת מלאה. סין מקימה את מערכת "באידו" המתחרה, שנמצאת בשלב הקמה וצפויה להיות מבצעית בשנת 2020. באותה שנה צפויה גם מערכת הניווט "גלילאו" האירופית להיות מבצעית. כל מערך ניווט לווייני מחייב השקעה אדירה של עשרות מיליארדי דולרים, אך הצורך בהשגת אי-תלות והציפיה להחזר השקעה בדמות יישומים קרקעיים מגוונים על בסיס המערכת ממריצים את המעצמות להשקיע סכומי עתק אלו.

## קצת פרופורציות/הגודל כן קובע?



גודלו של לוויין נע בין סנטימטרים וגרמים בודדים (ואז הוא נקרא פיקו-לוויין) ועד למספר טונות וממדים של מגרש טניס כמו במקרה של תחנת החלל הבינלאומית. כולם מצייתים לאותם חוקי פיזיקה קלאסית הנקראים חוקי ניוטון וחוקי קפלר המסבירים את תנועתם במסלול סביב כדור הארץ. גודלם של הלוויינים קשור לפונקציה אותה עליהם לשרת ולדרישות השונות כגון כמות הדלק ומערכות האנרגיה הנדרשות. היות שמחיר ההגעה למסלול נקבע לפי ממדי הלוויין ומחיר זה מאוד גבוה כיום, ניתן להניח שהלוויינים ממומשים בגודל המינימלי עבור הפונקציונליות הנדרשת. כיום רואים גידול משמעותי בכמות הפרויקטים המבוססים על לוויינות זעירה, המתאפיינת בפשטות ונגישות לשיגור זול כטרמפיסטים לצד לוויינים גדולים. הלוויינות הזעירה מתאימה ליישומים טיפופים לווייני לבחינת יכולות חדשות בעלויות נמוכות ואף ליישום מערכים (קונסטלציות) של לוויינים, כמובן לצרכים הניתנים למימוש בממדים הזעירים.

## לוויינים - ישראל בחלל

שיגור הלוויין הישראלי הראשון (אופק) התבצע ב-19 בספטמבר 1988 ומיקם את ישראל כמדינה השמינית ברשימת מדינות החלל. לימים נבנו ושוגרו בהצלחה מספר לווייני אופק, ארוס וטקסאר, המשמשים למשימות תצפית שונות, ולווייני התקשורת מסידרת עמוס. בישראל יש שילוב של תעשיית חלל משגשגת בעלת יכולות מהמתקדמות בעולם, אקדמיה מובילה ברמה בינלאומית וגישה יחודית לנו, שאפשרה להשיג בזמן קצר יחסית את מגוון היכולות והעצמאות הטכנולוגית הנדרשות כדי לבנות, לשגר ולהפעיל מגוון כה רחב של משימות בחלל. ישראל שותפה במשימות חלל מדעיות בינלאומיות עם מספר מדינות, ביניהן צרפת, ארה"ב ואיטליה, ויש לה הסכמי שיתוף פעולה נוספים לשיגורים הצפויים בקרוב.

## ננו-לוויינים

מתברר שלמשימות שונות יש יתרון ללוויינים קטנים. נסקור איפה את הרקע ואת החדשות האחרונות בתחום. ראשית, נבחין בין סוגי הלוויינים השונים על פי משקלם:

שם הקבוצה	משקל	שימושים עיקריים
מגה לוויינים	מעל 10 טון	לווייני תקשורת גדולים לאלפי ערוצי טלוויזיה
לוויינים גדולים	בין 5-10 טון	לווייני תקשורת למאות ערוצי טלוויזיה
לוויינים בינוניים	1-5 טון	לווייני תקשורת קטנים ולווייני מזג אוויר
מיני-לוויינים	100-1000 קילוגרם	לווייני תצפית חזותית ותצפית מכ"ם ברזולוציה גבוהה
מיקרו-לוויינים	10-100 קילוגרם	לווייני תצפית קטנים ברזולוציה נמוכה
ננו-לוויינים	1-10 קילוגרם	לווייני מחקר טכנולוגי, משימות תקשורת צרת סרט, משימות בקרה אווירית, טיסות מבנה
פיקו-לוויינים	עד קילוגרם	לווייני סטודנטים, ו"אכסן והעבר"
פמטו-לוויינים	עד 100 גרם	בדיקת יכולת עבור נחילים

## הגדרת מושגים בלוויינות

### לוויין קובייה (CubeSat) – מודל T של תעשיית החלל

בשנת 1999 החליטו פרופ' רוברט (בוב) טוויגס מאוניברסיטת סטנפורד ופרופ' ג'ורדי פיו סאורי מהמכון הפוליטכני בקליפורניה, להציע לסטודנטים להנדסה לבנות לוויין במקום לכתוב עבודת גמר שתסתכם בספר עב כרס של עבודה תיאורטית.

כארבע שנים פיתחו בוב וג'ורדי עם הסטודנטים סטנדרט ללוויין קטן וקל משקל שעלות ייצורו והבדיקות שלו יהיו כמה עשרות אלפי דולרים. לשם הפשטות הם החליטו שהלוויין יהיה בצורת קובייה, וקראו לסטנדרט החדש CubeSat לווין קובייה.



יחידה אחת של לווין הקובייה שמכילה כמעט את כל מערכות הלוויין הגדול: מחשב משימה, מערכת תקשורת, מערכת חשמל ושמיות תרמיות להגנה על הלוויין מסביבת החלל הקיצונית. יחידה כזו שוגרה לראשונה בשנת 2003. מאז נוספו לסטנדרט עוד לוויינים בגדלים שונים – כולם מכפלות של הלוויין הבסיסי.

עלותו הנמוכה של הלוויין והיתרון העצום שהפיקו הסטודנטים מעבודה מעשית על פרויקט חלל, הפכה את הרעיון לסיפור הצלחה. העובדה שפרויקט בניית לווין מחייבת ידע נרחב בפיזיקה, אלקטרוניקה, תוכנה, מכניקה, תרמודינמיקה ותקשורת, הפכה את הלוויינים הקטנים למקור משיכה לסטודנטים מכל מגמות ההנדסה והמדעים ולמקור גאווה לא מבוטל לאוניברסיטאות ומכוני המחקר. הבשורה פשטה ברחבי העולם והיום יש כבר כ-300 פרויקטים של ננו-לוויינים, מהם כמה בישראל.

העובדה שמרבית הפרויקטים עבדו באותו תקן, אפשרה לפתח שוק של כמה מאות לקוחות. משקל הלוויינים הקטן מאפשר שיגור כמה עשרות בפעם אחת, כך שמשימת החלל יכולה להתחלק בין כמה לוויינים שטסים בטיסת מבנה. ננו-לוויינים משמשים כמעבדות מעופפות להוכחת טכנולוגיות ובדיקת רכיבים חדשים. השילוב של קרינה חזקה, הפרשי טמפרטורה קיצוניים וריק מוחלט, מקשה על רכיבים אלקטרוניים לעבוד היטב בחלל. ללא תכנון מתאים, רכיבים אלו עלולים להינזק, להתקלקל ואפילו להישרף. בדיקת הרכיבים במעבדות הקיימות על כדור הארץ עולה הון ורק חלק מתנאי החלל משוחזרים בהן, לכן הן לא מדמות את סביבת החלל באמת. היכולת לבנות ולשגר לווין קטן וזול, מאפשרת הרכבת חלק מהרכיבים החדשים על ננו-לוויין וביצוע ניסויים בחלל.

ננו-לוויינים קטנים מלהכיל עדשות ומצלמות לצילום צבאי אך הם יכולים לספק תמונות איכותיות של כדור הארץ בצבע וברזולוציה של כמה מטרים. תמונות אלה מצוינות ליישומים הקשורים לניטור כדור הארץ ואיכות הסביבה כזיהוי זיהומי מים, כתמי שמן ונפט בים, מקורות שריפה ואפילו חקלאות חכמה.

חומרים על הלוויינות הזעירה מתוך 'ראש גדול' 136 – גיליון שהוקדש ללוויינים זעירים. הטקסטים המובאים בכאן באדיבות עופר לפיד ומידד פריאנטה מתוך גיליון הלוויינות הזעירה