



טכנודע
מרכז לחינוך מדע וטכנולוגיה



חלל בטוח לכל

S.D.S – Space Debris Solution

נבחרת הטכנודע

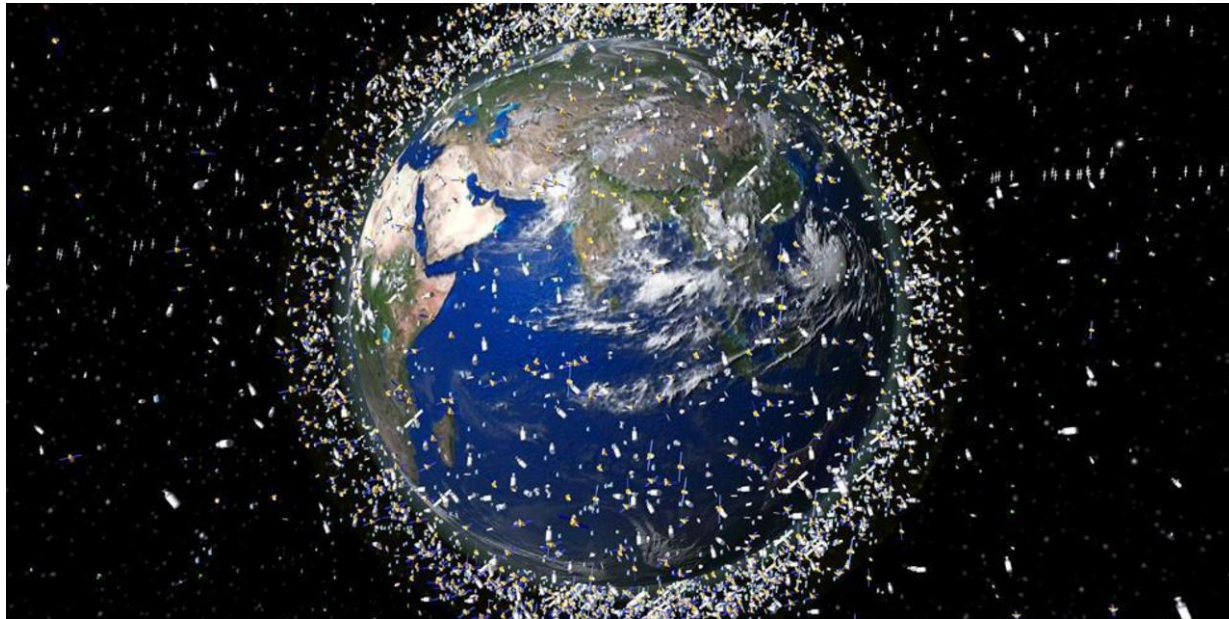
בהנחיית ד"ר ורד טל

S.D.S

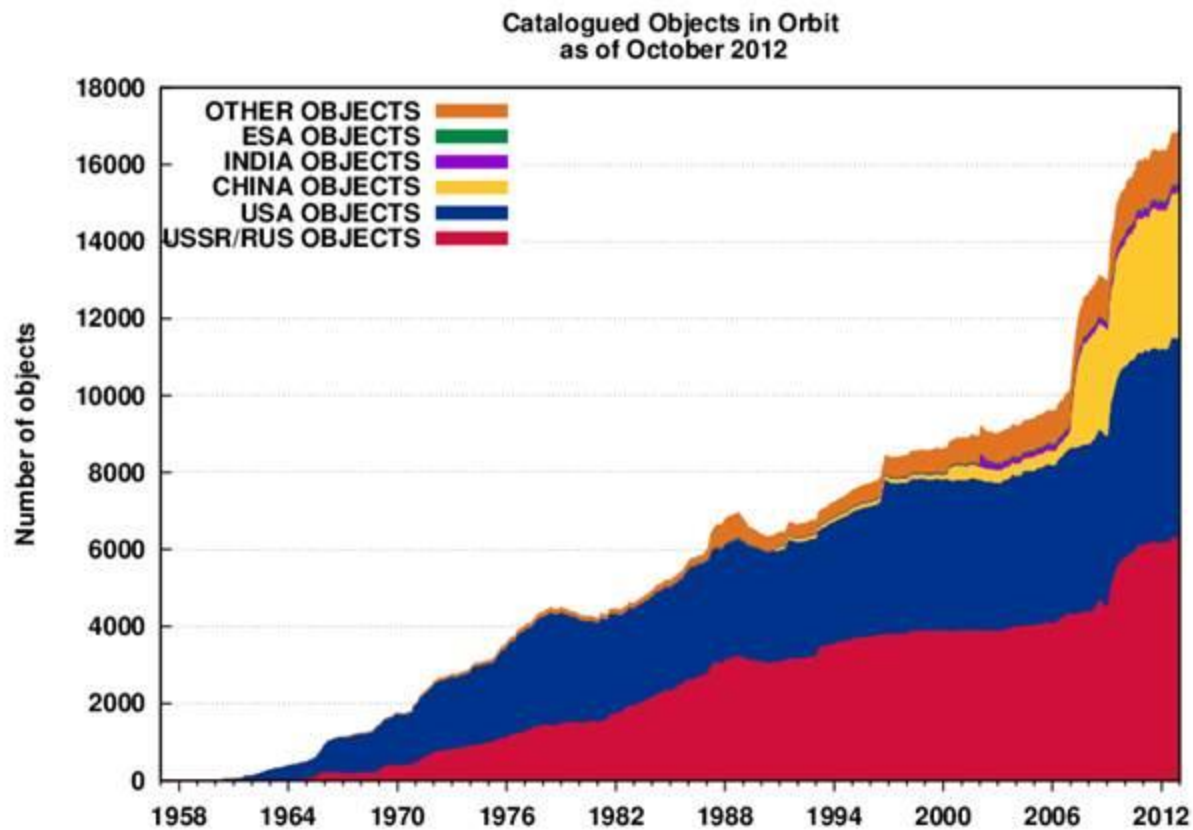


המשימה

ניקוי החלל הקרוב לכדור הארץ מפסולת חלל



חשיבות המשימה



חשיבות המשימה



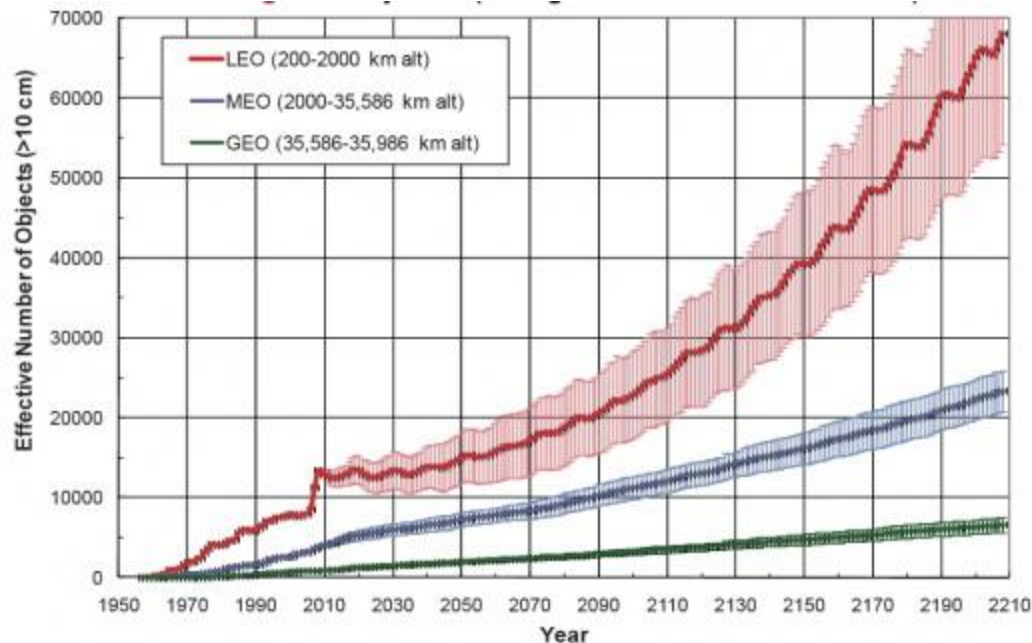
הסכנות שגורמת פסולת החלל

- פגיעה בלוויינים במסלולם בחלל
- פגיעה בתחנת החלל הבינלאומית
- פגיעה בכדור הארץ

| Debris size | Mass (g) aluminum sphere | Kinetic Energy (J) | Equivalent TNT (kg) | Energy similar to |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1 mm | 0.0014 | 71 | 0.0003 | Baseball |
| 3 mm | 0.038 | 1910 | 0.008 | Bullets |
| 1 cm | 1.41 | 70,700 | 0.3 | Falling anvil |
| 5 cm | 176.7 | 8,840,000 | 37 | Hit by bus |
| 10 cm | 1413.7 | 70,700,000 | 300 | Large bomb |

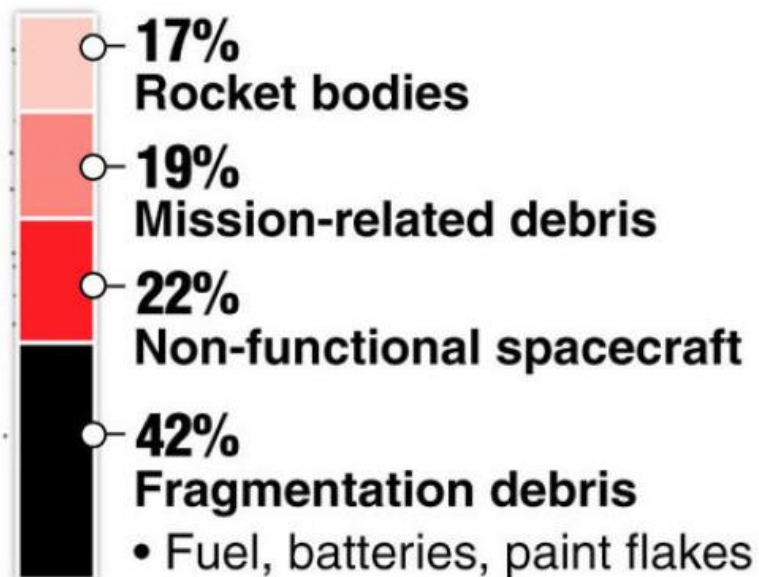
חשיבות המשימה - סינדרום קסלר

אפקט דומינו – חלקיקים פוגעים אחד בשני עד שהחלל הקרוב אלינו מלא בפסולת ולא ניתן יהיה לצאת מכ"א.



פסולת חלל

Breakdown of debris



- **11,000 objects** greater than 4 in. (10 cm)
- **100,000 objects** between 0.4-4 in. (1-10 cm)

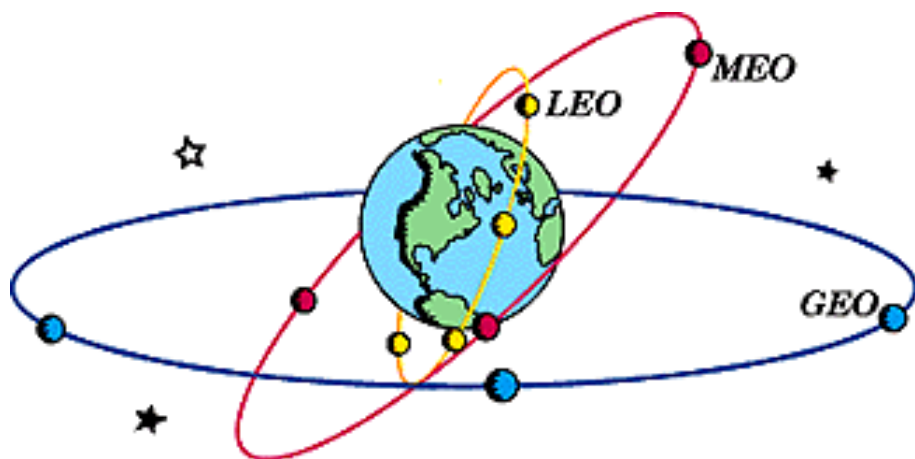
- לוויינים וחלקי לוויינים
- טילים וחלקי טילים
- שברים מהתנגשויות
- פסולת חלל מורכבת מ:
 - אלומיניום
 - תחמוצת ברזל
 - דבק אפוקסי
 - שאריות הידרזין ובריליום

גודל פסולת חלל

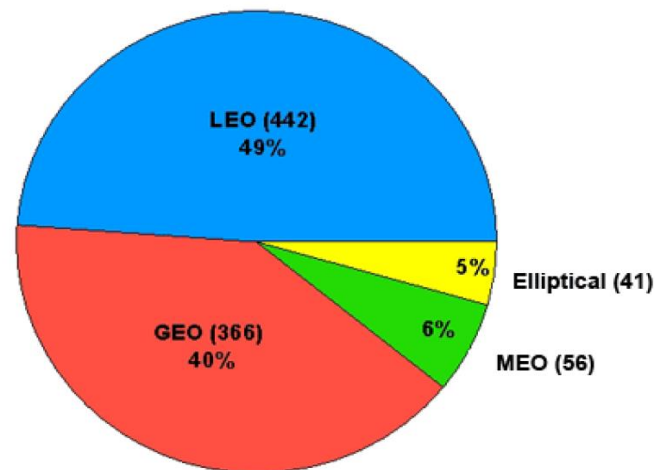
| Debris size | Quantity | Impact |
|-----------------|------------------------------|---|
| 1 mm to 3 mm | Millions | <ul style="list-style-type: none">• Cannot be tracked• Localized damage |
| 3 mm to 1 cm | Millions | <ul style="list-style-type: none">• Cannot be tracked• Localized damage• Upper limit of shielding |
| 1 cm to 5 cm | 500,000 (estimated) | <ul style="list-style-type: none">• Most cannot be tracked• Major damage |
| 5 cm to 10 cm | Thousands | <ul style="list-style-type: none">• Lower limit of tracking• Catastrophic damage |
| 10 cm or larger | Hundreds to low thousands | <ul style="list-style-type: none">• Tracked and cataloged by space surveillance network• Catastrophic damage |

מיקום פסולת החלל

- LEO- Low Earth Orbit
- MEO- Medium Earth Orbit
- GEO- Geostationary Earth Orbit



Distribution of Satellites in Orbits

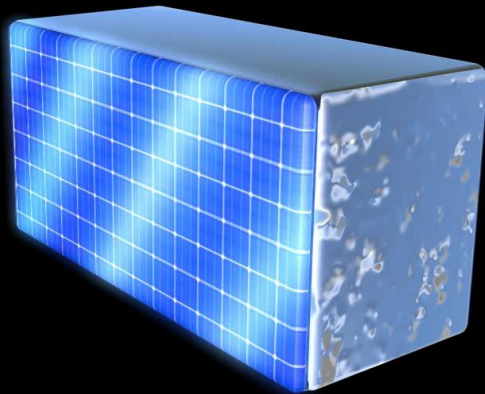


איסוף פסולת החלל

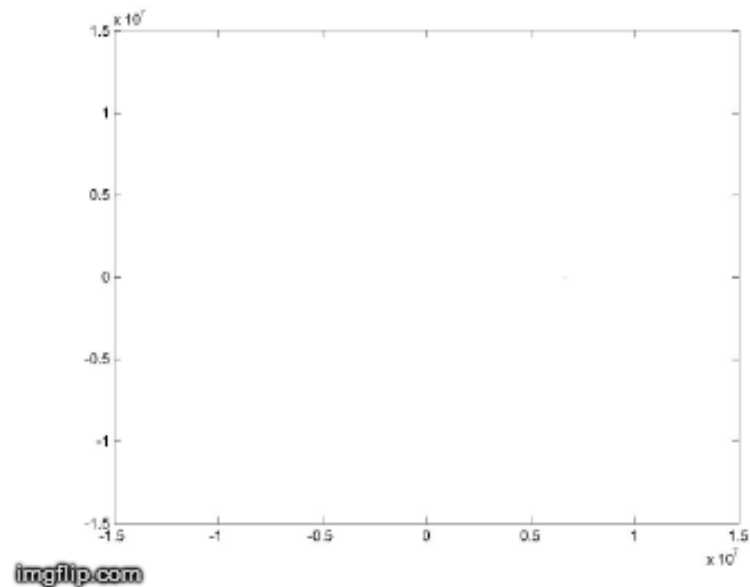
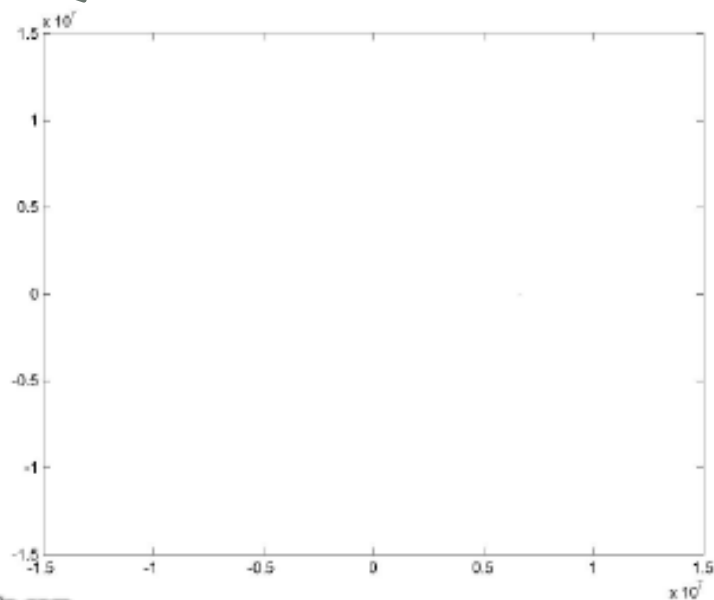
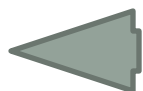
- הפתרון שלנו מתחלק לשני חלקים
- איסוף פסולת הקטנה מחצי מטר ואיסוף פסולת הגדולה ממטר

פסולת הקטנה מחצי מטר

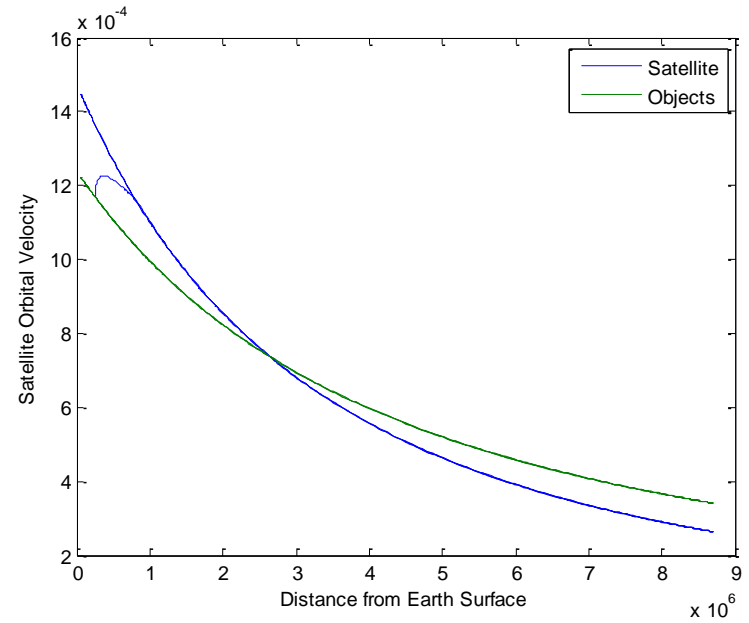
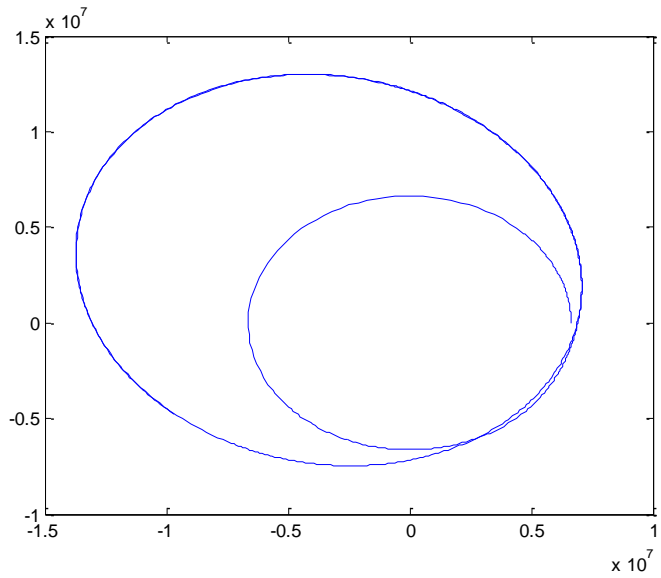
- תיבה של 4x4x6 מטר
- שיגור על-ידי טיל פלקון 9 למסלול LEO
- החללית תהיה מצוידת ב:
 - מחשב
 - לוחות מרוחים ב Areogel
 - מערכת תקשורת
 - פנלים סולרים
 - מנוע יונים



מסלולי החללית

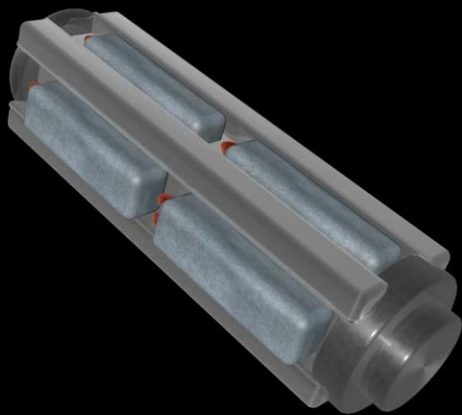


מהירות החללית והאובייקטים

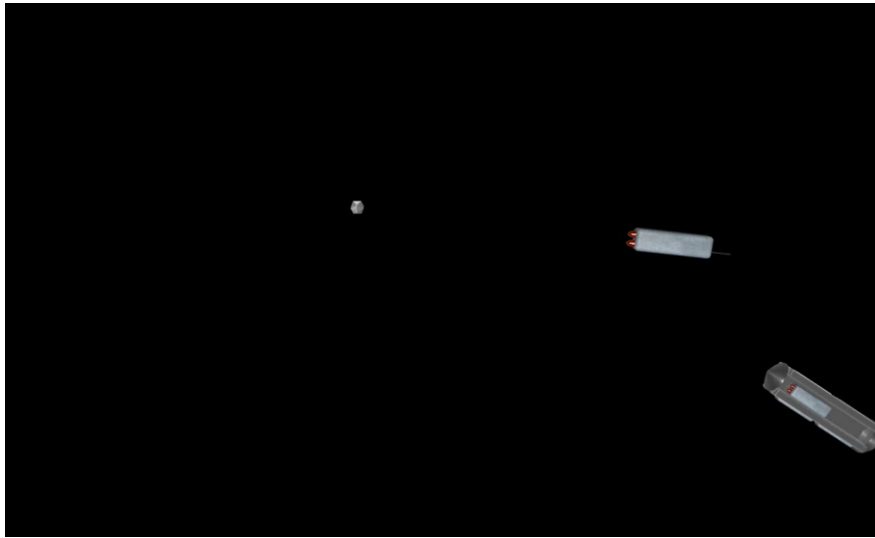


פסולת מעל מטר - קמיקזה

- ארבע חלליות של $4 \times 2 \times 2$ מטר
- שיגור ע"י טיל פלקון 9
- מסלולים LEO ומסלול גיאו-סינכרוני.
- כוללת 16 חלליות "מיני קמיקזה".
- החללית תכלול:
 - מנוע לתיקון מסלול והנעה
 - מערכת לאיתור המטרות הרלוונטיות
 - מחשב לחישוב המיקום לשיגור החלליות הקטנות
 - מד מרחק ליזר
 - מכ"ם



פסולת מעל מטר – מיני קמיקזה



- איתור מטרה על-ידי משדר
- הצמדות באמצעות קרסים
- מסלול דעיכה
- החללית מצוידת
 - מנועים
 - מצנחים
 - מחשב
- מיחזור החלקים ו /או תצוגה

איתור מטרות

• space-track.org איתור מטרות באמצעות בסיס נתונים
[Stuff in space](#)

| NORAD CAT ID | SATNAME | INTLDES | TYPE | COUNTRY | LAUNCH | SITE | DECAY | PERIOD | INCL | APOGEE | PERIGEE | RCS | TLE |
|--------------|-----------------|-------------|--------|---------|------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|-----------|
| 36711 | FENGYUN 1C DEB | 1999-025EAH | DEBRIS | PRC | 1999-05-10 | TSC | | 102.09 | 100.82 | 971 | 744 | SMALL | TLE OMM |
| 31426 | FENGYUN 1C DEB | 1999-025BTN | DEBRIS | PRC | 1999-05-10 | TSC | | 104.48 | 98.59 | 1234 | 707 | SMALL | TLE OMM |
| 35612 | COSMOS 2251 DEB | 1993-036ANF | DEBRIS | CIS | 1993-06-16 | PKMTR | | 95.51 | 74.00 | 556 | 530 | SMALL | TLE OMM |
| 30089 | FENGYUN 1C DEB | 1999-025QS | DEBRIS | PRC | 1999-05-10 | TSC | | 100.91 | 98.92 | 857 | 747 | SMALL | TLE OMM |
| 31429 | FENGYUN 1C DEB | 1999-025BTR | DEBRIS | PRC | 1999-05-10 | TSC | | 101.90 | 99.01 | 861 | 836 | SMALL | TLE OMM |
| 35614 | COSMOS 2251 DEB | 1993-036ANH | DEBRIS | CIS | 1993-06-16 | PKMTR | | 99.42 | 73.97 | 805 | 657 | SMALL | TLE OMM |
| 32977 | COSMOS 1109 DEB | 1979-058S | DEBRIS | CIS | 1979-06-27 | PKMTR | | 726.51 | 68.89 | 37855 | 2930 | MEDIUM | TLE OMM |
| 28548 | DELTA 2 DEB | 2000-017D | DEBRIS | US | 2000-03-25 | AFWTR | | 853.68 | 93.00 | 45127 | 1736 | MEDIUM | TLE OMM |
| 28549 | DELTA 2 DEB | 2000-017E | DEBRIS | US | 2000-03-25 | AFWTR | | 851.66 | 92.19 | 46138 | 631 | MEDIUM | TLE OMM |
| 31436 | FENGYUN 1C DEB | 1999-025BTY | DEBRIS | PRC | 1999-05-10 | TSC | | 101.05 | 98.89 | 908 | 708 | SMALL | TLE OMM |

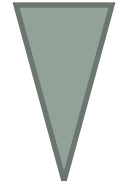
החידוש במשימה

- החלטנו לתכנן שני פתרונות על מנת לפתור את הבעיה באופן מיטבי.
- הפתרון שלנו יאפשר להשיב לכדור הארץ חלק מהפסולת, לשימושים שונים.
- בתפיסת חלקים מעל למטר:
 - החזרת לווינים לא פעילים
- בתפיסת חלקים מתחת ל 50 ס"מ.
- השימוש בלוחות מתקפלים על מנת לנצל את המקום בצורה המיטבית.

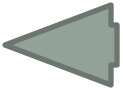
רשימת מקורות

- http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris/About_space_debris
- <http://talkingpointsmemo.com/idealab/satellites-earth-orbit>
- <http://www.geosats.com/spacedebris.html>
- http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/04/Object_catalogue
<https://www.scientificamerican.com/article/how-space-debris-spinning-out-of-control/>

תודה על ההקשבה



מסלול החלליות



- תנועה מעגלית – כוח הכובד שווה לכוח צנטריפוגלי
- שימור תנע זווית $L = mR \times V$
- שימוש בתוכנת Matlab
- שינוי מסלול על-ידי הפעלת מנועים לזמן קצר בזווית למסלול
- התוכנה מספקת את מיקום הלוויין והמהירות שלו