



חברי הצוות

מנחים	חברי הקבוצה
פודבלני אלכס – מורה לפיזיקה	סגל אוריין
שורק יפה – רכזת מדעים	עבוד שיר
	עוז דניאל
	פוליאנקר ארינה
	שמו עומר
	שפירר לירון

מטרת המשימה

**תכנון משימה רובוטית
שמטרתה לכרות מתכות
נדירות מהפלנטה הננסית קרס**

3

תחילתו של סיפור

כבר היום בני אדם מרגישים מאוד בחסרונם של מתכות נדירות, כמו ניקל, טיטניום, אוסמיום, וקובלט שדרושים לאדם לטכנולוגיה מודרנית. ידוע שכל המתכות הנדירות שנמצאו על כדור הארץ הגיעו כמה מיליארדי שנים לאחר היווצרות כדור הארץ, כשלא הייתה אטמוספירה וכל המטאורים שהתקרבו לכדור הארץ נפלו על פני כדור הארץ ולא נשרפו באטמוספירה כמו היום.

4

בעתיד הדרישה למתכות נדירות תגדל עוד יותר. המקור היחיד למתכות הנדירות יכול להיות רק אסטרואידים משום שאסטרואידים מורכבים ממתכות אלה. דוגמאות למתכות נדירות: פלטינה, זהב, טיטניום, כרום, קובלט, ניקל, קדמיום, אוסמיום, ביסמוט ועוד.

5

אסטרואידים – רקע מדעי

אסטרואידים הם גופים קטנים במערכת השמש שמצויים בעיקר במרחב שבין כוכבי הלכת מאדים לצדק, במרחב הקרוי "חגורת האסטרואידים העיקרית". קוטרם של מרבית האסטרואידים הידועים, שמספרם מגיע לאלפים, אינו עולה על כמה עשרות קילומטרים, ומיעוטם הם בעלי קוטר שמגיע למאות קילומטרים.

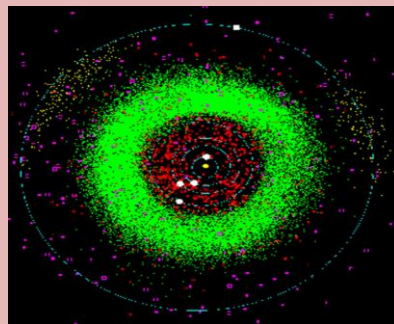
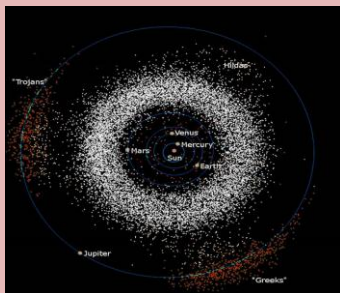
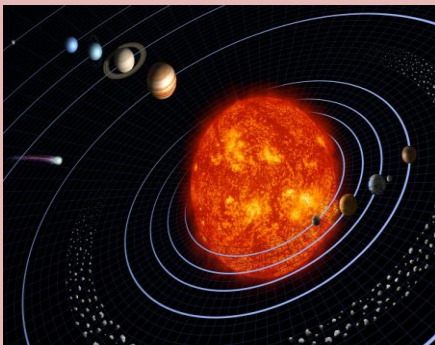
6

האסטרואידים מתחלקים על פי המבנה שלהם לכמה קבוצות

עיקריות:

- קבוצה C - כהים ומכילים בעיקר פחמן, עמם נמנים יותר מ-70% מהאסטרואידים.
- קבוצה S - אסטרואידים סלעיים, שהגוון השולט בהם הוא ירקרק ועמם נמנים כ-15% מהאסטרואידים.
- קבוצה M - אסטרואידים המכילים מתכות, שעמם נמנים יתר האסטרואידים.

7



8

למה דווקא קרס ?

קרס הוא אסטרואיד נוח לבניית אתר לכריית מתכות .

להלן הסיבות לכך:

א. קרס הוא אסטרואיד הגדול ביותר בכל חגורת האסטרואידים. המסה שלו היא שליש מכלל המסות של כלל האסטרואידים שיש בחגורה.

9

למה דווקא קרס ?

ב. כמעט כל קרס עטוף בקרח בעובי של מאה ק"מ ויש סיכוי גדול שבעומק יש מים בצורה נוזלית. המים שניתן לקבל מהקרח ישמשו בעתיד את האסטרונאוטים שיקימו שם אתר.

10

למה דווקא קרס?

ג. בעתיד רחוק יותר כשעל כדור הארץ יהיה מחסור גדול במים מתוקים, ניתן יהיה להביא מים מקרס לכדור הארץ. הסיבה לכך היא שבקרס יש כ- 200 מיליון ק"מ מעוקב של מים מתוקים. כמות זו גדולה יותר מכל כמות המים המתוקים על כדור הארץ.

ד. קרס עצמו יכול להיות מקור מתכות נדירות שדרושים לבני אדם. את הנתון הזה אנו מתכוונים לחקור.

11

רקע מדעי – קרס Ceres

קרס הוא האסטרואיד הראשון שהתגלה ובעבר נחשב לאסטרואיד הגדול ביותר. בשנת 2006 שונה מעמדו של קרס והוא כיום שייך לכוכבי הלכת הננסיים. קרס הוא האסטרואיד היחיד שצורתו היא כמעט כדורית. הוא מורכב כנראה מליבת סלע, שכבה של קרח מים ופני שטח המכילים קרח ותרבות של פחמן. קרס קרוי על שמה של אלת התבואה הסיציליאנית קרס.

12

נתוני האסטרואיז קרס

שם	קרס
מספר אסטרואיז	1
שנת גילוי	1801
מגלה	ג'יוספה פיאצי
משך הקפה סביב השמש בשנים	4.6
יממה (משך הקפה עצמית בשעות)	9
קוטר (ק"מ)	950
מסה (גרמים)	<u>מסת כדור הארץ</u> 6000
צפיפות (גר' לס"מ מעוקב)	2.078
תאוצת הכובד (מטר/שניה בריבוע)	0.28
אלבדו גיאומטרי (אחוז החזר האור בתחום הנראה)	9%

13

ציוד וממדים של החללית ינאור

- החללית שלנו דומה בנתונים שלה לחללית Dawn. החללית כוללת בתוכה:
- רדאר לייזר, שמאפשר לדעת את צורת פני קרס.
- ספקטרומטר סוג XGRS שחוקר את הרכב פני הקרקע בעזרת קרני רנטגן וקרני גמא ואינפרא אדום.
- על החללית יש 8 מיכלים ריקים.
- גובה החללית 5 מטר וקוטר החללית 3 מטר.

14

מקורות אנרגיה למשימה שלנו

- דלק למנועים (מנוע כימי ומנוע יונים)

- אור השמש (לוחות סולריים)

- גנרטור פלוטוניום

15

אנרגיה מלוחות סולאריים

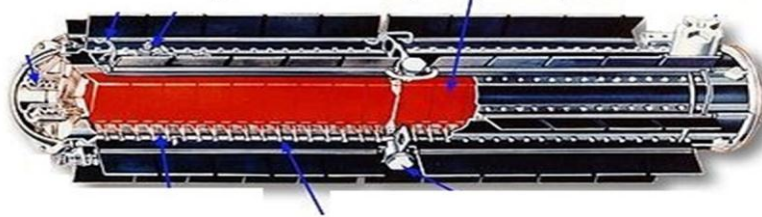


המרת אנרגיית אור השמש לאנרגיה חשמלית. זוהי אנרגיה נקיה שאינה פוגעת בסביבה והיא אינה מתכלה. חסרונה הוא בכך שהיא נפגעת בתנאי עננות, לא קיימת בלילה ותלויה בחשיפה לשמש.

16

גנרטור פלוטוניום

מקור חום (פלוטוניום)



צמד תרמי: גרמניום-סיליקון

יסודות הפולטים קרינה באופן טבעי יכולים לשמש כמקור אנרגיה. יסודות מסוימים פולטים חלקיקים (אלפא ביתא או גמא) ומתפרקים לאט לאט ליסודות אחרים. פליטת החלקיקים מייצרת חום, וחום אפשר להפוך לחשמל. כך פועל הפלוטוניום בגנרטור פלוטוניום.

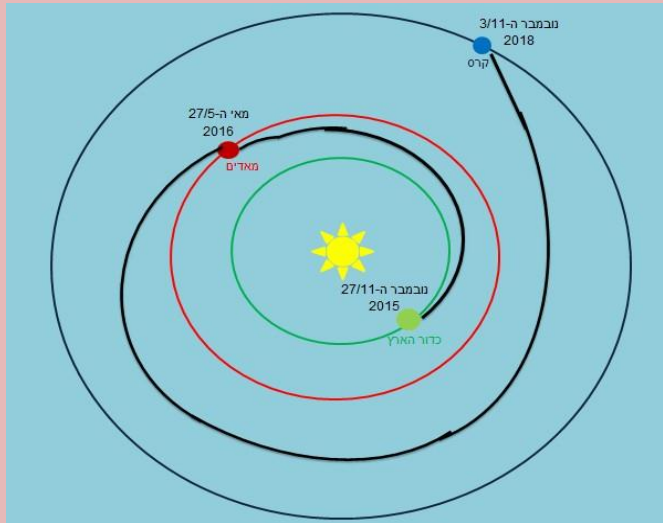
17

שיגור החללית "ינאור" לקרס

- תקופת המחקר על קרס תמשך כשנה.
- בתאריך 27.11.2015 שיגור מכדור הארץ.
- בתאריך 27.05.2016 החללית מתקרבת למאדים
- בתאריך 03.11.2018 החללית מתקרבת לקרס והיא נכנסת למסלול לוויין של קרס.

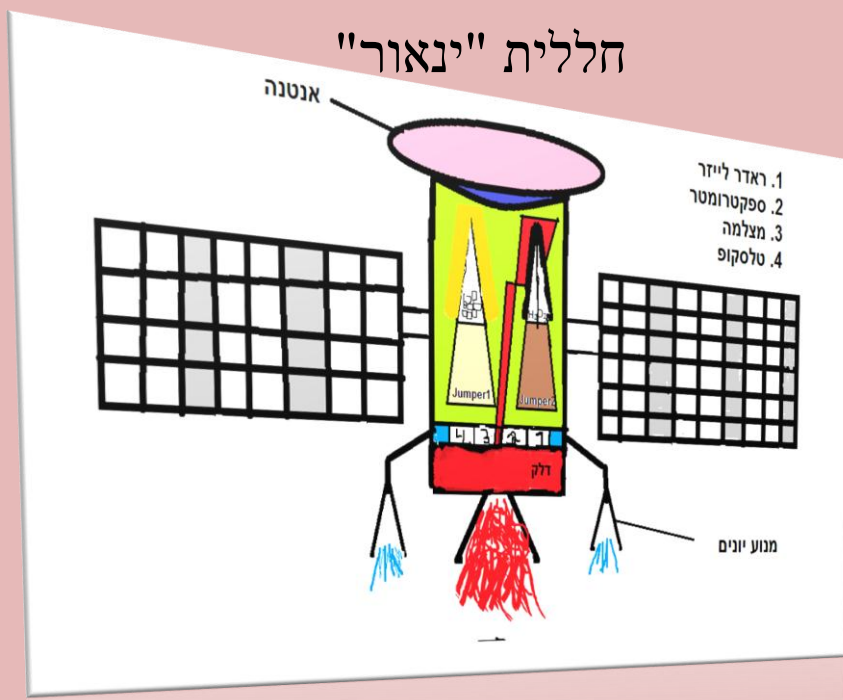
18

מסלול החללית ינאור מכדור הארץ לקרס

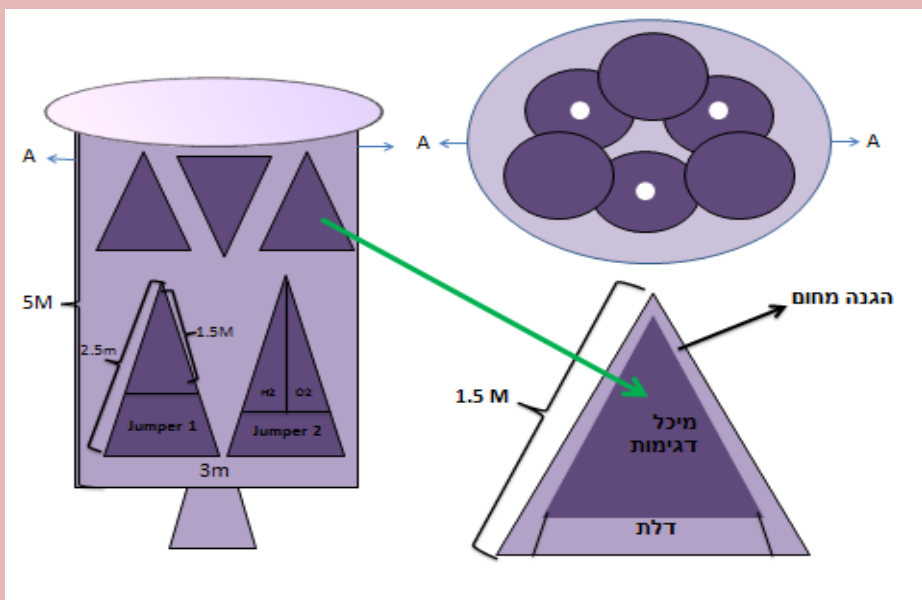


19

חללית "ינאור"



סקיצה של החללית ינאור



המעבר לקרס

בזמן המעבר לקרס נשתמש במנוע יונים של יוני קסנון. יהיו לנו 3 מנועי יונים כאלה. לשם תאוצה נוספת אנו מתכוונים להשתמש בכוכב לכת היחיד שנמצא בין כדור הארץ וחגורת האסטרואידים והוא מאדים.



בחירת האתרים ללקיחת דגימות

אנו מניחים שאתרים המתאימים ללקיחת דגימות הם שני אתרים על פני קרס שמצא טלסקופ הרשל. שני אתרים אלה נראים כהים יותר משאר פני השטח. חושבים שבאתרים אלה יש קרקע שיוצאת מהקרח כלומר האתרים חשופים ואין עליהם קרח. לכן דווקא כאן יותר נוח לקחת דגימות.

25

בחירת האתרים ללקיחת דגימות

החוקרים שחקרו את התמונות של טלסקופ החלל הרשל, הגיעו למסקנה, כי שני האתרים הכהים הם אזורים שפולטים אדי מים והם כהים יותר בכ-5% מהממוצע בקרס. החוקרים משערים שהם נוצרו כתוצאה מהמראה יעילה יותר של מאגרים קטנים של קרח מים. הקרח מתחמם, הופך ישירות לגז, ומעלה יחד איתו את אבק פני השטח.

26

נחיתה על קרס

על מנת לבחור את שיטת התנועה על קרס, צריך להתחשב בצורת פני השטח שלו וההרכב שלו. את הנתונים האלה קיבלנו בעזרת המכשירים שנמצאים על החללית, בבדיקות שביצענו לפני הנחיתה.

27

נחיתה על קרס

אנו חושבים שבגלל שכוח המשיכה על קרס קטן ויש שם מיעוט אטמוספירה, השטח לא יהיה חלק כמו על המאדים או על הירח והוא כולל הרים, גבעות, סדקים, סלעים גדולים וקטנים. לכן לא כדאי להשתמש בגשושיות רובוטיות שהם כלי רכב כמו קיוריוסיטי ואופורטיוניטי.

אנו בחרנו צורת רובוט אחרת – רובוט ג'מפר.

28

רובוט Jumper 1

בחרנו את צורת הרובוט בהתאם לפני השטח של קרס. לרובוט הזה קוראים "קפצן" Jumper. יש לנו שני רובוטים כאלה.

Jumper 1 יורד על הקרקע באתר הכהה. לרובוט הראשי יש עוד 10 רובוטים קטנים שנקראים עכביש. העכבישים מכוונים לקחת דגימות מפני קרס עד למרחק של קילומטר וחצי מ-Jumper 1.

29

ממדים של ג'מפר 1 וג'מפר 2

שני הרובוטים בעלי אותם ממדים:

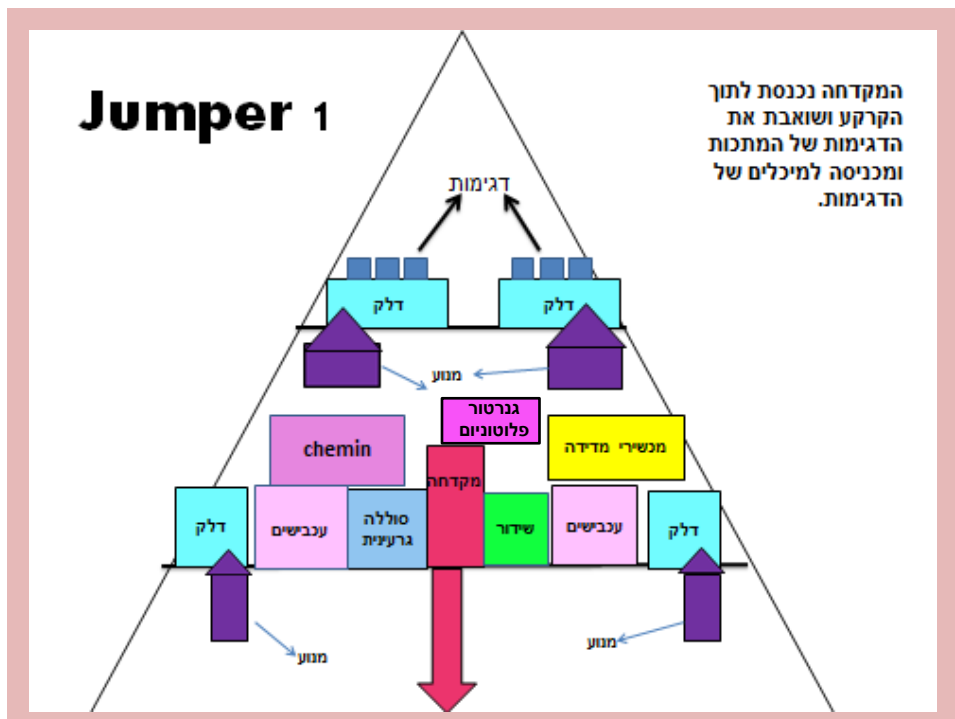
- גובה הרובוט 250 ס"מ.
- קוטר הבסיס 140 ס"מ.
- גובה החלק העליון 150 ס"מ.
- קוטר הבסיס 100 ס"מ.

30

ג'מפר 1

ג'מפר 1 מורכב משני חלקים: חלק עליון לשמירת הדגימות. החלק הזה חוזר אל החללית בעזרת מנוע ריאקטיבי. חלק תחתון כולל את כל הציוד והעכבישים. החלק הזה נשאר על קרס וימשיך לקחת דגימות וישלח אותן לכדור הארץ. כך החלק התחתון ימשיך לפעול עד שתיגמר הסוללה הגרעינית. התהליך יכול להמשך אפילו 100 שנים.

31



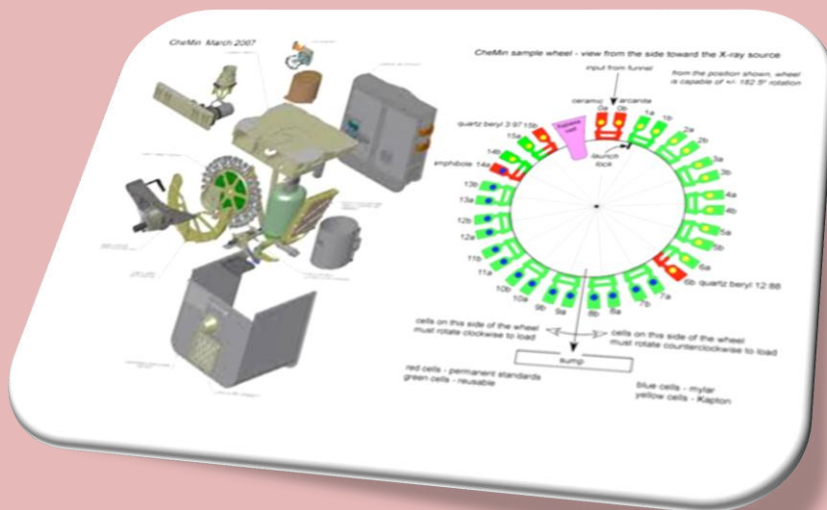
ג'מפר 1

את הדגימות העכבישים מביאים אל Jumper 1 והוא עושה בדיקה ראשונית בעזרת מכשיר שנקרא CheMin (כימיה ומינרולוגיה).

בנוסף יש ב- Jumper 1 מקדחת פטיש שיכולה חפור לעומק כמה מטרים ולקחת משם דגימות. אחרי חקירת מקום אחד, הרובוט עולה בעזרת מנוע ריאקטיבי כמה ק"מ למעלה וקופץ למקום אחר, למרחק כמה ק"מ וגם משם הוא לוקח דגימות.

33

מכשיר CheMin



34

Jumper 1

- בעזרת CheMin עושים בדיקה ראשונית של דגימות. המכשיר מסוגל לזהות את סוג המינרלים ואת הכמויות שלהם בדגימת הקרקע שמוצגת בפניו. לפי תוצאות הדגימות, נבחר אתר לבניית המחצבה בהתאם למיקום עשיר במתכות נדירות. ג'מפר 1 והעכבישים עליו מגיעים לאתר המחצבה ושם ג'מפר 1 שוב קודח חור לעומק כמה מטרים. לאחר מכן, ג'מפר 1 שולח לחור חומר נפץ ועולה למעלה כק"מ. מלמעלה ג'מפר נותן פקודה לפוצץ את חומר הנפץ ולאחר מכן יורד לאזור הפיצוץ.

35

Jumper 1

העכבישים יוצאים מהרובוט ולוקחים דגימות מהחומר שעלה מהפיצוץ. העכביש מכניס את הדגימה לחלק העליון, עד שהמיכל מתמלא וחוזר לחללית. במקום המיכל המלא, יורד מהחללית לג'מפר 1 אחד מהמיכלים הריקים שיש בחללית. גם הוא מתמלא וכך הלאה עם ארבעת המיכלים האחרים.

36

רובוט עכבישי

אנו משתמשים בעכבישים מכיוון שאם הם מתהפכים, הם יכולים להתהפך בחזרה על הרגליים. העכבישים יוצאים מג'מפר 1, להביא דגימות של מתכות נדירות מפני השטח של קרס. רובוט העכבישי בנוי משלוש זרועות בעלות מפרקים וגוף במרכזן.



37

הגנה מפני חימום

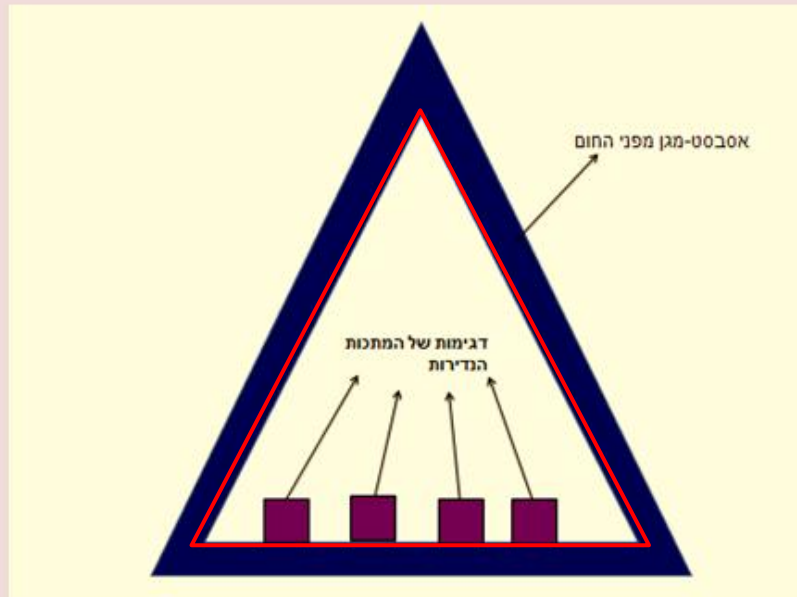
המיכל שעל החללית יהיה מוגן מחימום כך: החלק החיצוני עשוי מאסבסט (או מחומר דומה לו) שיש לו שתי תכונות מיוחדות: אחת – חום עובר דרכו לאט מאוד. שתיים – האסבסט לא חזק והוא יכול להתפורר כשהוא מגיע לטמפרטורת גבוהות.

38

המשך הגנה מפני חימום

השכבה הבאה שהיא בינתיים קרה, שומרת שהטמפרטורה הגבוהה לא תגיע לדגימות. השכבה החמה נושרת בגלל הרוח החזקה מאוד שקיימת בעת הירידה מהחלל לקרקע. צריך לזכור שמדובר בטמפרטורות של 2000-3000 מעלות צלסיוס.

39



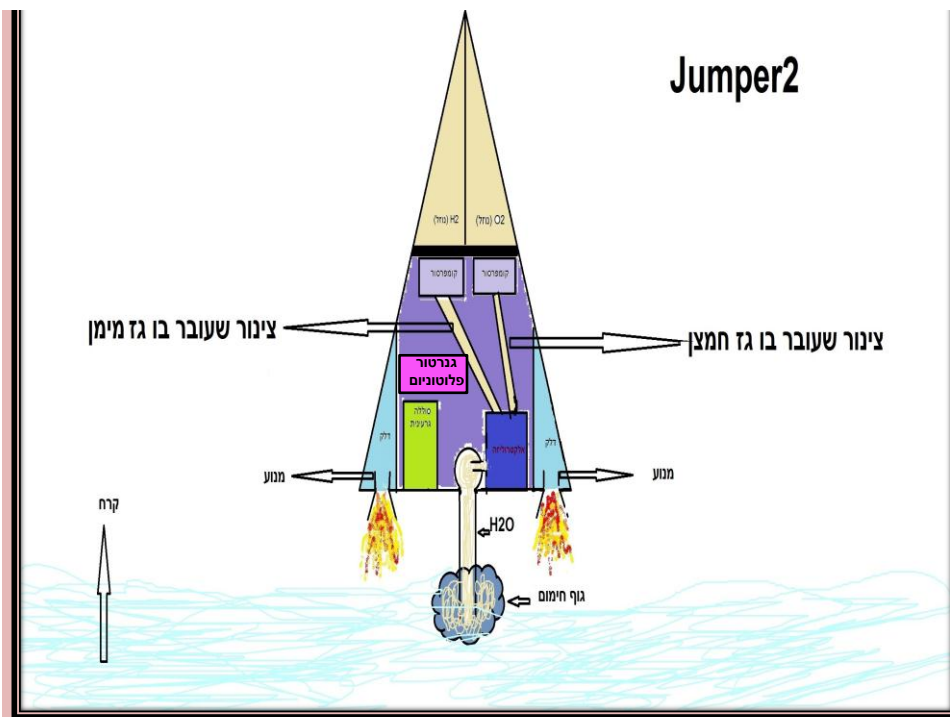
43

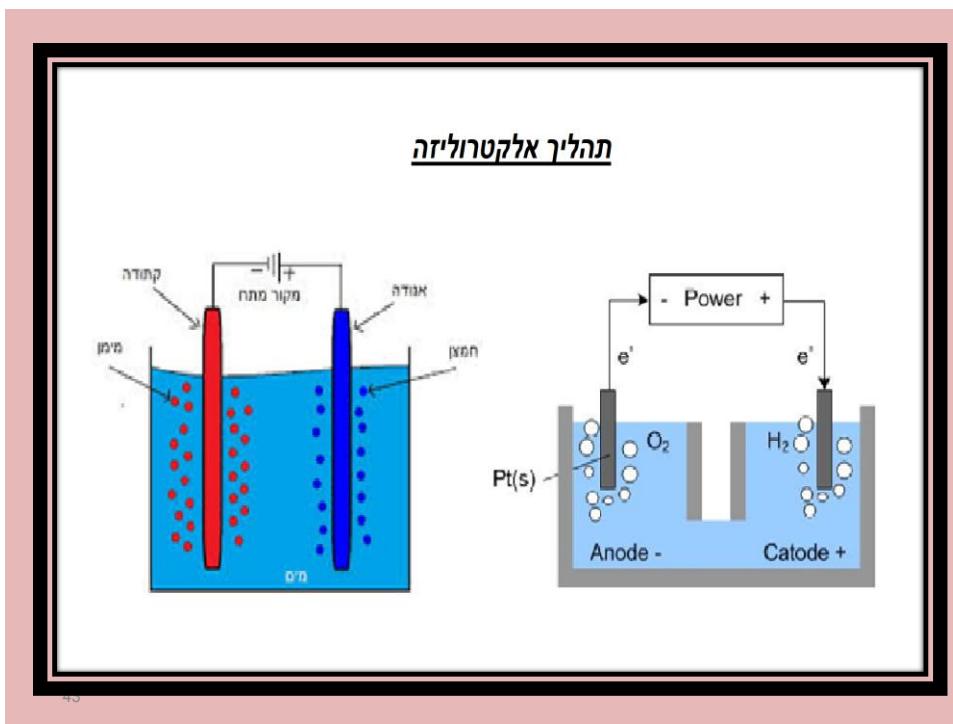
40

Jumper 2

במקביל לג'מפר 1, ג'מפר 2 נוחת על פני הקרח, מחמם את הקרח והופך אותו למים. המים נשאבים לג'מפר 2 ונכנסים למיכל שבו נעשית אלקטרוליזה. בעזרת אלקטרוליזה המים יתפרקו למימן וחמצן. לאחר מכן ג'מפר 2 הופך את הגזים האלה לנוזלים שנאגרים במיכלים מיוחדים. החללית שלנו יכולה להשתמש בגזים אלה בדרך חזרה במנוע ריאקטיבי.

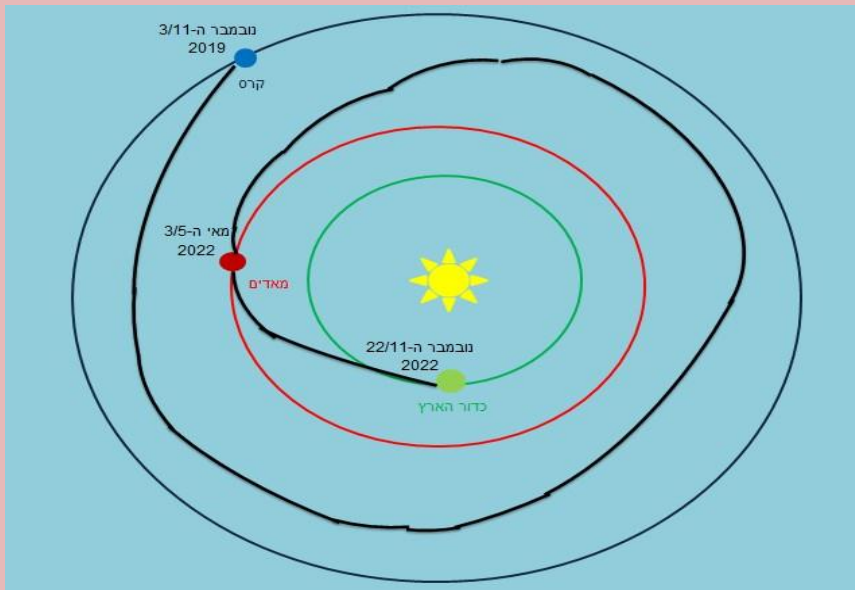
41





לאחר האלקטרוליזה, המימן והחמצן, כל אחד בנפרד, הופכים לנוזלים ונכנסים לשני מיכלים נפרדים שנמצאים בחלק העליון של ג'מפר 2. החלק העליון של ג'מפר 2 חוזר גם הוא אל החללית. המימן והחמצן משמשים את החללית כדלק במנוע ריאקטיבי. החלק התחתון של ג'מפר 2 נשאר על פני קרס.

מסלול חזרה של החללית ינאור מקרס לכדור הארץ



חזרה לכדור הארץ

- החללית יוצאת מקרס בתאריך 3/11/2019
- החללית מגיעה למאדים בתאריך 3/5/2022
- החללית יוצאת ממאדים לכדור הארץ בתאריך 22/11/2022

שיטה 1 להגנה מפני התחממות הדגימות

כשהחללית מתקרבת לכדור הארץ, היא נמצאת על מסלול הלוויין שנמצא על גובה כמה מאות קילומטרים. המיכלים עם דגימות יוצאים מהחללית ומתחילים לרדת לכיוון כדור הארץ. החללית נשאר על מסלול הלוויין. המיכלים יורדים במהירות גדולה, כמה ק"מ בכל שניה.

47

המשך שיטה 1

בגלל החיכוך עם האוויר המיכלים מתחממים עד לטמפרטורה של 3000 מעלות צלזיוס.

- אנו מתכוונים להגן על הדגימות מהחימום בעזרת חומר מסוג אסבסט.
- לאסבסט יש תכונות מיוחדות כגון: עמידות בפני אש וחום ועמידות בפני לחץ מכני רב.

48

המשך שיטה 1

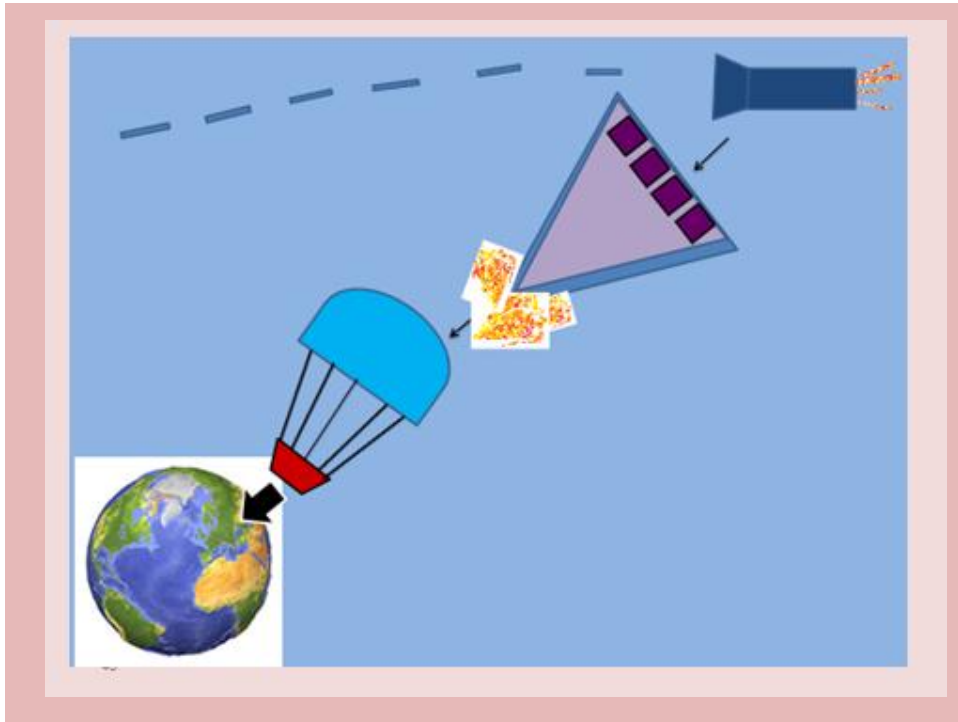
- החום חודר למעטה האסבסט לאט מאוד. כאשר שכבת האסבסט הראשונה מתחממת, השכבה הזו נושרת כחלקיקים קטנים וכך הלאה עם שכבות נוספות. לשיטה הזו קוראים אבלציה. כשהמיכל מגיע לגובה מסוים, הוא פותח את המצנח.

49

שיטה 2 להגנה מפני התחממות הדגימות

ציפוי המיכל באריחי קרמיקה. אריחים אלו יכולים לספק הגנה מן החום העז בחדירה לאטמוספירה עד לטמפרטורה של 1,300 מעלות. חיסרון השימוש באריחים הוא האפשרות שחלק מהאריחים ניתקים ונושרים מהחללית כפי שקרה כנראה באסון החללית קולומביה.

50



המיכל יחד עם המצנח ימשיך לרדת עד שיגיע לקרקע. החללית עצמה יכולה להמשיך לרדת עד שתנחת לתוך האוקיאנוס, אבל אנו מעדיפים להשאיר את החללית סביב קרס שתמשיך להביא דגימות מקרס.

החידושים במשימה שלנו

- צורת הרובוטים – Jumper, היא צורה חדשה שלא השתמשו בה בעבר.
- צורת הרובוטים העכבישים גם היא חדשנית.
- שיתוף הפעולה בין ג'מפר 1 והעכבישים הוא מיוחד, למרות שאין ביניהם קשר מכני.
- ממדי המיכלים גדולים במיוחד כך שניתן להביא כמות גדולה של דגימות.
- הדלק שמתמשים בו בדרך חזרה, מופק מהמים שעל קרס.

53

ביבליוגרפיה

- ד"ר יגאל פת אל מצגת על גופים קטנים במערכת השמש
http://www.education.org.il/education/planets/small_bodies_web.pdf
- תמונות ומידע על קרס
http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery.cfm?&Category=Planets&Object=Dwa_Ceres
- תמונה של קרס
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/01/Artist_s_impression_of_Ceres2
- אסטרופדיה <http://astroclub.tau.ac.il/astropedia/%D7%A7%D7%A8%D7%A1>
- טלסקופ החלל הרשל גילה אדי מים באסטרואיד קרס
<http://www.hayadan.org.il/water-on-ceres-250114>
- קרס כוכב לכת ננסי <http://he.wikipedia.org/wiki>

54

המשך ביבליוגרפיה

- סוכנות החלל הישראלית: להתראות מאדים, ברוכים הבאים האסטרואידיים "קרוס" ו"וסטה"
<http://www.kan-naim.co.il/artical.asp?id=20438&cid=242>
- האגודה הישראלית לאסטרונומיה
<http://www.astronomy.org.il>
- אסטרואידיים ד"ר יואב יאיר <http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=8200>
- אתר נאס"א על חללית Dawn <http://dawn.jpl.nasa.gov/>
- קביעת מסלול לקרוס <http://eyes.nasa.gov/>
- מסלולים במערכות שמש <http://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/astrophysics>
- מידע על החללית Dawn <http://he.wikipedia.org/wiki/Dawn>

55

המשך ביבליוגרפיה

- חללית נאס"א תקיף אסטרואידי במשך שנה שלמה <http://www.haaretz.co.il/news/science>
- אלקטרוליזה של מים <http://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/chemistry>
- אסון הקולומביה: לקחים, משמעויות וסימני שאלה על עתיד תוכנית החלל האמריקאית
<http://www.hayadan.org.il/lessons-from-sts107-dissaster>
- נפרדים מטלסקופ הרשל <http://www.iba.org.il/bet>
- כריית מתכות נדירות באסטרואידיים <http://www.hayadan.org.il/planetary-resources>
- וויאג'ר אנרגיה בחלל <http://gadieid.blogspot.co.il/2012/10/Voyager-Power.html>
- סוללה גרעינית המבוססת על מים- <http://www.hayadan.org.il/2209147-plasmon-assisted-radiolytic-water-splitte>

56