

למצוא שיטות שונות לחלוטין כדי לשמור על בטיחות החללית. גם אם יצליחו האסטרונאוטים בדרך כלשהי לגלות עצם מסוכן בדרך, בחללית מהירה כל כך קשה מאוד לשנות כיוון: האינרציה שצובר גוף כה מהיר היא אדירה. תחשבו על הסיבובים הרחבים של משאית בלי ברקסים בירידות של סדום, ותתחילו לקבל מושג על גודל הבעיה.

03. **אמינות – ססטאמו, המיקרוגל הזה**

טיסה אטית ומבוקרת יותר מציבה בפנינו בעיות משלה. לבני אדם יש דרישות קיום מינימליות: מזון, שתייה, חמצן, מלאי מספק של תוכניות "האח הגדול"... אם לא נמצא שיטות מעשיות לאחסון מזון בכמות שתספיק למאות שנים לפחות, יהיה צורך לנקוט שיטות מיחזור שונות. המכונות שיבצעו את המיחזור יהיו חייבות להיות אמינות ברמה שתאגור אפילו מהנדסי רכב יפניים. כל מולקולת חמצן שתברח לחלל וכל טיפת מים שתתנדף הן יקרות מפז ונטולות תחליף. על כדור הארץ יש מכונות שפועלות במשך עשרות ומאות שנים: ביג בן, למשל, השעון בראש מגדל הפרלמנט הבריטי, מתקתק כמו שעון כבר למעלה מ-150 שנה. אבל גם הוא דורש תחזוקה מתמדת, חלקי חילוף ושימון קבוע – מותרות שלא יהיו לנוסעים בחללית אל הכוכבים.

04. **בריאות ושפיות – נהגוס, תוריד אותי כאן**

בעיה נוספת היא הקרניים הקוסמיות המהוות איום רציני על חיי הנוסעים בספינה. קרניים קוסמיות הן חלקיקים תת-אטומיים הנעים במהירות גבוהה, והן עלולות לפגוע במולקולות הדנ"א שלנו ולהביא ליצירתם של תאים סרטניים ומוטציות מסוכנות. האטמוספירה שלנו מגינה עלינו מפני חלק ניכר מהקרניים הללו, אבל חללית תהיה חשופה לחלוטין. ניאלץ להתקין עליה אמצעי הגנה יקרים ומסובכים כמו שדות מגנטיים מלאכותיים, או שהאסטרונאוטים ייאלצו להסתובב בפנים בתחתונים מעופרת. לא קל.

גם הבריאות הנפשית נמצאת בסכנה כשמדובר במסע של עשרות שנים, עוד לפני תחתוני העופרת. עובדה ידועה היא שבני אדם לא מסתדרים טוב זה עם זה בתנאי לחץ וצפיפות לאורך זמן רב. מפיקי "האח הגדול" בנוים את הקריירה שלהם על זה. בספינות המפליגות בימים, למשל, ישנו מדרג היררכי ברור בצוותים: קפטן, קצינים, סמלים בכירים וכו'. ההיררכיה תורמת להפחתת החיכוכים ולשקט תעשייתי, אבל במסעות ארוכים במיוחד גם מבנה חברתי נוקשה עשוי שלא להספיק.

5 **אתגרים שכדאי מאוד לפצה לפני שממריאים אל מחוץ למערכת השמש**

☞ המסע אל כוכב שבת אחר הוא משימה בקנה מידה שהאנושות לא התמודדה איתו מעולם

01. **מימון – טרנטה, אבל לפניך**

הבעיה הראשונה היא מימון: פרויקט בסדר גודל כזה עשוי לעלות מאות מיליארדי דולרים. רק ממשלות שאפתניות במיוחד יוכלו להרשות לעצמן להשקיע סכומי כסף גדולים כל כך. אבל זו אפילו לא הבעיה האמיתית. הטכנולוגיה מתקדמת משנה לשנה בקצב מסחרר: אם נשגר מחר חללית, יש סיכוי סביר שהחללית שישגר בני הדור הבא תהיה מתוחכמת יותר, קטנה יותר ומהירה מזו שיצאה לפנייה. כנראה שהיא אפילו תעקוף אותה ותגיע אל היעד לפנייה. במילים אחרות, לא משתלם להשקיע את הכסף כעת – אלא רק בעתיד. ומתי תגיע אותה נקודת זמן עתידית שבה כדאי יהיה להשקיע? אין לדעת. ההיגיון הכלכלי הזה עשוי להשאיר אותנו על כדור הארץ עוד הרבה זמן.

02. **מהירות הטיסה – משה, אתה לא רואה שאדום?!**

אם נצליח לפתח חללית המסוגלת לטוס במהירות הקרובה למהירות האור, הטיסה עשויה להתקצר באופן דרמטי. ייתכן שיידרש זמן רב להאיץ למהירות כה גבוהה, וזמן זהה לשם האטה – אבל עדיין מדובר בשנים ספורות במקום אלפי שנות טיסה.

אך גם אם נניח שהאצה למהירות הקרובה למהירות האור תהיה מעשית, הבעיות אינן נגמרות כאן. חללית שנעה במהירות כה גבוהה היא עיוורת לחלוטין: אי אפשר להשתמש במכ"ם, למשל, כדי לגלות אסטרואידים מסוכנים, שכן הקרניים האלקטרומגנטיות של המכ"ם נעות אף הן במהירות האור. החללית וקרני המכ"ם יפגשו את האסטרואיד פחות או יותר באותו הזמן. גם טייס אוטומטי ממוחשב ומתוחכם לא יעזור כאן: האותות החשמליים בתוך המחשב נעים בעצמם לכל היותר במהירות האור, וגם הוא לא יספיק אפילו למצמץ לפני ההתנגשות. ניאלץ

...וכמה רעיונות מהפכניים שעשויים לפתור אותם

אחרי שגילינו מה הבעיות העומדות בפני המהנדסים שיביאו אותנו אל הכוכבים, הנה כמה פתרונות שאולי יקלו מעט על קשיי המסע

01. הקפאת הנוסעים - ללמוד מהצפרדע

הקפאה היא פתרון שיש לו פוטנציאל חיובי מאוד. בשיטה הזאת החללית הנשלחת מאוכלסת במאות ואלפי נוסעים, שכולם מורדמים ומוקפאים עד להגעתם לכוכב היעד, שם הם יופשרו ויוחזרו לחיים. מדענים רבים מנסים היום למצוא דרכים להקפיא בעלי חיים לתקופות ארוכות. הם שואבים השראה מחיות ששנת חורף ארוכה היא דבר שבשגרה אצלם, כמו דובים. אין זו משימה קלה: קשה להקפיא רקמה ביולוגית מבלי לגרום לה לנזקים קשים. בזמן הקירור הנוזל שבתאי הרקמה נוטה להתרחב, מפוצץ את דופנות התאים וגורם לנזק בלתי הפיך. ישנם בעלי חיים, עם זאת, שלמדו להתמודד עם הבעיה. צפרדע צפון-אמריקאית מסוימת, למשל, מעלה את ריכוז הסוכר בתאיה לפני שהיא קופאת. הסוכר מעניק לנוזל צמיגות דמוית-דבש, ומונע את התרחבותו. עד היום הצליחו המדענים להקפיא ולהחזיר לחיים רק חיות קטנות כמו כלבים, חולדות ועכברים, ולתקופות קצרות בלבד. הטכניקות שנבחנות מחייבות אינעימויות קלות, כמו ריקון כל הדם מהגוף לפני ההקפאה, אבל אל דאגה, המחקרים בתחום נמצאים רק בראשיתם.

02. ספינת דורות - תיבת נח אנושית

אלטרנטיבה להקפאה עשויה להיות "ספינת דורות". בספינת דורות יחיו כמה מאות נוסעים שיעסקו בפעולות היומיומיות של מחקר ותחזוקת החללית. במהלך השנים ייוולדו ילדים לנוסעים, וילדים אלה יגודלו ויחונכו בחללית. הידע הנדרש לניהול החללית, ובסופו של דבר גם להתנחלות בעולם החדש, יועבר מדור לדור עד לסוף המסע. ספינת הדורות היא השיטה הטבעית ביותר, שכן גם כדור הארץ הוא בסופו של דבר סוג של ספינת דורות בקנה מידה גדול.

בתחילת שנות התשעים נערך בארצות הברית ניסוי בשם ביוספירה 2. מטרת הניסוי היתה לבחון את האפשרות ליצור סביבה סגורה ואוטונומית לחלוטין, כמו זו שצפויה להיות במסע ארוך לכוכבים. שבעה אנשי צוות נכנסו לתוך מבנה אטום והתקיימו בו לאורך מספר חודשים ללא תלות בעולם החיצוני: הם גידלו את המזון שלהם בעצמם, מיחזרו את המים והאוויר וכדומה. לאורך הזמן היו תקלות בציוד ובעיות במיחזור, אבל הבעיה הגדולה ביותר שלהם היתה דווקא הבעיה החברתית. תוך מספר חודשים צצו מחלוקות לגבי אופן ניהול הניסוי, אנשי הצוות התחלקו לשני מחנות מסוכסכים וגם אנשים שהיו פעם חברים טובים הפסיקו לדבר זה עם זה. בסופו של דבר, אחת מהקבוצות פתחה את דלתות המבנה, אוויר מבחוץ חדר אל הביוספירה והניסוי הסתיים למעשה.

05. מיקרומטאוריטים - שחיקה קוסמית

המיקרומטאוריטים הם חלקיקי אבק ואבנים קטנות שמרחפים בחלל הבין כוכבי. בפני עצמם הם אינם מהווים סכנה קיומית לחללית, אבל לאורך עשרות ומאות שנים ההשפעה שלהם היא כמו זו של נייר שיוף. מיליוני הפגיעות הקטנות בחללית תוך כדי תנועתה מצטברות לנזק אמיתי לדפנות. אם לא יהיה מיגון מתאים מפני המזיקים הקטנים, החללית עשויה להתפרק עוד לפני שתגיע ליעד. מיגון כזה עלול להיות כבד ומסורבל ולהקשות עוד יותר על מהנדסי החללית, אם כי הועלו פתרונות יצירתיים לבעיה. סופר המדע הבדיוני ארתור סי. קלארק, למשל, הציע באחד מספריו להעמיס בלוקים ענקיים של קרח קפוא בחרטום החללית, מחוץ לספינה. הקרח יישחק לאורך השנים, אבל הוא זמין מאוד ברחבי החלל וניתן להחליף אותו בקלות יחסית.

רחם מלאכותי כדי לגדל בו את התינוקות בבוא הזמן, והרובוטים של החללית יצטרכו להיות בעלי אינטליגנציה מלאכותית טובה מספיק כדי לגדל ילד אנושי, לספק את צרכיו הפיזיים והנפשיים, לשמור על ביטחונו ולחנך אותו כמו בן־אדם. מצד שני, ישנם לא מעט אנשים כאן על כדור הארץ שהם הורים גרועים כל כך, עד שכל מחשבון כיס יעשה עבודה טובה יותר.

מעבר לקשיים הטכנולוגיים שתוארו בפרק הקודם, קשה לנבא את התופעות הפסיכולוגיות והחברתיות שיצוצו בחברה אנושית בתנאים כאלה. ייתכן אפילו שצאצאי הנוסעים יחליטו שאין סיבה שדווקא הם ייענשו על ההחלטה השטותית שעשו הוריהם, ויסובבו את הספינה לאחור. קושי נוסף ומעט פחות ברור לעין הוא שמירה על יציבות הקוד הגנטי של נוסעי הספינה. מטבע הדברים, החיים בקהילה מצומצמת יובילו כעבור מספר דורות לילדים שייולדו להורים קרובי משפחה. ילדים שנולדים לזוגות שקוד הדנ"א שלהם דומה נמצאים בסיכון גבוה לפגעים כמו פיגור שכלי, עיוורון, חירשות ועוד. כדי ליצור גיוון גנטי גדול דיו בקהילת נוסעי החללית יהיה צורך במספר די גדול של נוסעים – בין 200 ל־500 איש שיהוו את המינימום הגנטי לתחילת המסע. אם יצרפו אליהם מצלמות, זאת תוכל להיות אחלה סדרת ריאליטי, אבל ככל שהמרחק מכדור הארץ יגדל, יהיה קשה מאוד לעקוב אחרי השידורים.

03. הארכת החיים – ספר לי על הילדות שלך, מתושלח

במקום לשלוח כמות כה גדולה של מתנחלים, דבר שייקר ויסבך מאוד את הפרויקט, כדאי אולי לנסות פתרון אפשרי אחר – הארכת חיים. אם ניתן יהיה בעתיד לעכב את ההזדקנות ולהאריך את תוחלת החיים, נוכל לשלוח קבוצה קטנה מאוד של אסטרונאוטים, ולקוות שהניסיון הרב שירכשו במהלך ימי חייהם הארוכים יסייע להם לעמוד באתגרים שבכיבושו של עולם חדש. עד כה לא הצליחו המדענים לגלות את סוד אריכות החיים, אבל ההתקדמות המהירה בתחומי הגנטיקה ובטכנולוגיות הרפואיות היא מעודדת ביותר. מאידך גיסא, אף אחד לא יכול לנחש אילו תופעות ובעיות פסיכולוגיות יצוצו אצל מישהו שהוא בן 300 שנה. כל בעיה פסיכולוגית שלא תהיה, אין ספק שהבדידות והניתוק של מסע לכוכבים רק יחמירו אותה.

04. ספינת עוברים – אמא, אני רוצה הביתה

ב"ספינת עוברים" מי שנשלחים למסע הם תאים עובריים, שזה עתה נוצרו ושניצוצ החיים כבר קיים בתוכם. תאים עובריים ניתן להקפיא לתקופות ממושכות, תהליך שמבוצע כיום כדבר שבשגרה. החללית המתוכננת יכולה להכיל בתוכה עשרות אלפי עוברים זעירים ועדיין להיות קטנה מכל חללית מאוישת באמת. האתגרים הטכנולוגיים בדרך למימוש ספינת עוברים הם ברורים: יש לתכנן