

לוינים — ותכליתם הצבאית

חלק ב'

איג' אלכסנדר מנס

ברשימה הראשונה שהופיעה ב"מערכות" קמ"ה נותחו העקרונות עליהם מבוסס השימוש הרבגוני בלוינים, כשהדגש הושם על שימושם האפשרי למטרות צבאיות. לוינים אלה חולקו לשלוש קבוצות: לויני תצפית; לויני תמסורת; לויני לחימה. ברשימה הקודמת תוארו בהרחבה לויני תצפית ואילו כאן יורחב הדיבור על הקבוצה השנייה — לויני תמסורת.

לויני תמסורת

אחת הבעיות החשובות שבפניהן הועמדה הטכניקה בת זמננו היא יצירת מערכת-קשר כלל-עולמית בכל ענפי התמסורת (כגון טלפון, טלגרף, טלביזיה, טלטייפ, פקסימיליה). מערכת זו חייבת להיות אמינה, ללא הפרעות ובלתי תלויה בגורמים שאין לאדם שליטה עליהם ונוסף לזה עליה להיות זולה.

בעית התמסורת ארוכת-הטווח הנה, ללא ספק, מן החשובות והקריטיות ביותר בטכניקה הצבאית המודרנית. כידוע, אין הנשק הגרעיני-האסטרטגי מוצב כיום אך ורק בגבולות הטרייטוריאליים של בעליו אלא, לעתים, במרחקים של עשרות אלפי קילומטרים ממרכזי ההכרעה המדיניים. סכנת המלחמה הגרעינית "שבטעות" קיימת לא במעט בשל חוסר מערכת-קשר ארוכת-טווח אמינה ובלתי מופרעת. כשהמדובר הוא במערכות-קשר ארוכות-טווח למטרות צבאיות-אסטרטגיות יש לתת את הדעת על גורם נוסף — שהוא ללא ספק מן החשובים ביותר: מידת פגיעותה של המערכת על-ידי האויב.

בכל מערכת-קשר ניתן לפגוע בשני אופנים: על-ידי הריסת מתקני התמסורת עצמם ועל-ידי פעולות בילול (jamming) למיניהן. לאור האמור ניתן איפוא לעמוד על יתרונותיהן וחסרונותיהן של מערכות-הקשר הקיימות ועל יכולתם של לויני-תמסורת ליצור מערכת-קשר כלל-עולמית.

כל מערכות-הקשר ארוכות-הטווח הקיימות כיום מבוססות על אחת משתי שיטות-יסוד אלה: כבלים תת-ימיים, מזה, וקשר אלחוטי דרך היונוספירה, מזה. לשתי השיטות חסרונות ומגבלות הבולטים במיוחד לאור הגידול הכמותי המהיר של האיג'פורמציה המועברת.

כבלים תת-ימיים: שיטה זו הנה העתיקה ביותר (כבל טלגרף טרנס-אטלנטי ראשון הונח ב-1866 ואילו הקו הרדיו-טלפוני חוצה-הימים הראשון הונח ב-1927) וגם כיום הנה העיקרית המשמשת לקשר בין-יבשתי. יתרונה הגדול טמון באמינותה (המדובר, כמובן רק בימי שלום; בימי מלחמה ניתן לפגוע בקלות בכבל התת-ימי) וכן באי-תלותה בגורמים חיצוניים, כגון שינויים ביונוספירה וסערות מגנטיות המתחוללות בשל פעילותה של השמש.

אך החסרון הבולט של שיטת תמסורת זו נגרם בשל גידולה

המהיר של האיג'פורמציה המועברת. מספר שיחות הטלפון הבין-יבשתיות גדל באופן מתמיד בד-בבד עם גידול מספר הטלפונים המותקנים בעולם (בארה"ב — כ-78 מיליון טלפונים; בשאר הארצות — כ-58 מיליון).

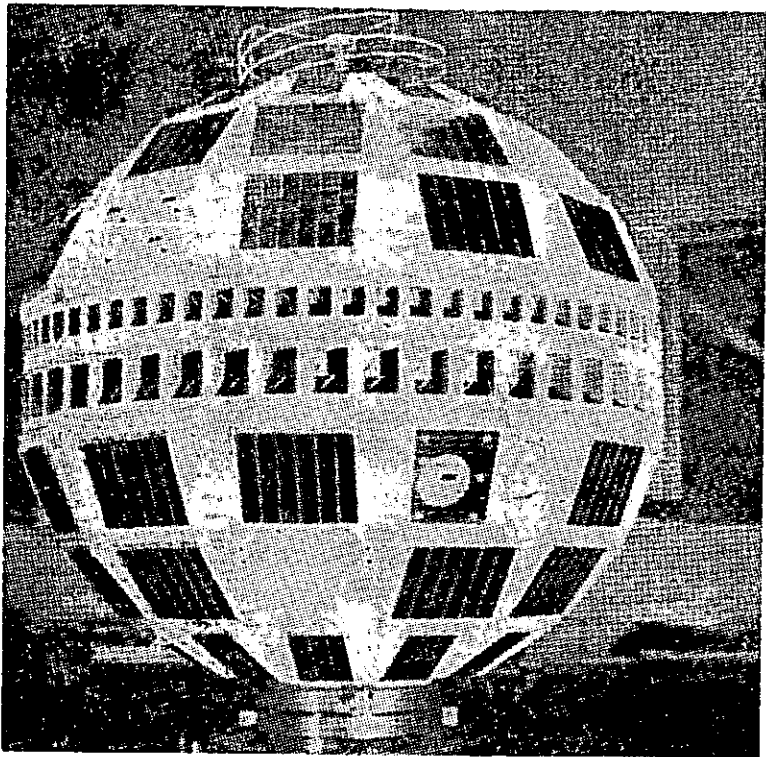
הפבל הטרנס-אטלנטי המחבר כיום את אירופה ואמריקה הנו בעל 150 ערוצי-קול (voice channels), כלומר ניתן להעביר דרכו בעת-זמנה אחת 150 שיחות בלבד. הפבל הנבנה עתה ואשר יופעל השנה, יהיה בעל קיבול של 256 ערוצי-קול. אולם, על-מנת להעביר שידור טלביזיה מאירופה לאמריקה דרושים לפחות כ-1000 ערוצי-קול. מכאן ברור, ששיטה זו אינה יכולה לשמש ליצירת רשת טלביזיה כלל-עולמית.

קשר אלחוטי דרך היונוספירה. כדי להבין את הרעיון של שימוש בלוינים לצרכי תמסורת, יש לברר תחילה את תפקידה של היונוספירה ביצירת קשר-רדיו לטווח-ארוך (את לויני-תמסורת מכנים לעתים "יונוספירה מלאכותית").

בשל צורתו הכדורית של כדור-הארץ קיימים מכשולים רציניים בקיום הקשר האלחוטי בין נקודות מרוחקות זו מזו שעל-פני כדור-הארץ. גלי-הרדיו המתפשטים על-פני האדמה אינם יכולים להקלט מעבר לתחום "הראיה" של משושת (אנטנה) השידור. תחום זה, המכונה "רדיו-אופק", תלוי בגובה המשושה ובאורך הגל.

כדי להרחיב את תחום-הקליטה הרחק מעבר ל"רדיו-אופק" (למרחקים של אלפי קילומטרים), הכרחי להטות את גלי-הרדיו, המתפשטים כלפי מעלה, ולהחזירם לעבר פני-האדמה. היונוספירה, שהיא שכבה באטמוספירה העליונה המשתרעת מגובה של 80 ק"מ עד כמה מאות ק"מ — היא הממלאת תפקיד זה. הקרינה האולטרה-סגולית, קרני ה-X והקרינה הקור-פוסקולרית מהשמש גורמות בשכבה זו ליוניזציה של האטומים וכתוצאה מכך נוצרת כעין מעטפת-מוליכה מבחינה חשמלית המחזירה את גלי-הרדיו לעבר האדמה. גלים אלה נלכדים בין פני-האדמה לבין היונוספירה ומסוגלים להעביר איג'פורמציה לנקודה כלשהי על-פני האדמה.

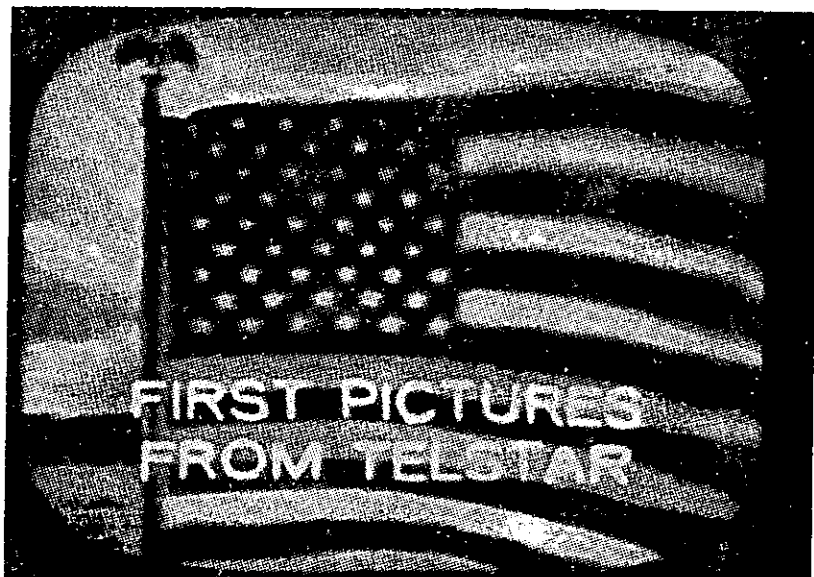
אולם אין היונוספירה מצטיינת בכושר-החזר לגבי גלי-רדיו בכל אורך-גל שהוא אלא רק בתחום מסוים — החל מכמה מטרים ומעלה. גלי-רדיו קצרים יותר, המכונים אולטרה-קצרים, אינם מוחזרים על-ידי היונוספירה. הללו חודרים דרכה כמו



צילום מס' 1. ה"Telstar"

(peater); הם מצוידים במתקני קליטה, הגברה ושידור. אות ה"רדיו המשודר מתחנה שעל-פני האדמה נקלט, מוגבר ומשודר חזרה לעבר האדמה ויכול להיקלט בעצמה מספקת במרחק רב מתחנת השידור. הליון הראשון מסוג זה בשם "Courier I-B" שולח על-ידי ארה"ב ב-4.10.1960. הוא צויד גם במנגנון זכרון המאפשר לאחסן את האינפורמציה הנקלטת (יכולת האחסון שלו — 272 אלף מילים) ולשדרה לעבר האדמה לפי אות המשוגר אליו. גם הליון "Telstar" (צילום מס' 1) שפותח על-ידי חברת AT&T (חברת הטלפון והטלגרף האמריקנית) והוכנס למסלול ב-10 ליולי 1962, הנו מסוג ה"מהדר". ליון זה משוכלל יותר. יש ביכולתו להגביר פי עשרה מיליארד את האות הנקלט (10×10^9); משקלו כ-85 ק"ג וקוטרו — מטר אחד. באמצעות ה"Telstar", המצויד גם במשדר רב-עצמה המקבל את האנרגיה שלו מ-72 סוללות שמש, הועבר לראשונה שי-דור טלביזיה בין אירופה לאמריקה (צילום מס' 2). הוא מסוגל להעביר בעת-ובעונה אחת 60 שיחות טלפון דו-כיווניות או 600 חד-כיווניות. יצוין, כי החישובים שנעשו הראו שליון כזה יכול להתחרות עם פבלי טלפון גם מהבחינה הכלכלית — בתנאי שימשיך לשרת ללא הפרעות תקופה של שנתיים ומתוך הנחה שמספר הכשלונות בעת השידור לא יעלה על אחד

צילום מס' 2. אחת התמונות מתוך שידור הטלביזיה הבין-יבשתי הראשון באמצעות ה"Telstar".



קרני-ראנטגן החודרים דרך פלטה מתכתית דקה. מסיבה זו אי-אפשר להשתמש בגלי-הרדיו האולטרה-קצרים לצרכי קשר אלחוטי לטנח ארוך. מכאן יובן גם מדוע אי-אפשר לקלוט שידורי טלביזיה במרחקים העולים על כמה מאות ק"מ מתחנת השידור, שכן בטלביזיה משתמשים בגלים האולטרה-קצרים. אך ליונספירה נודע חסרון נוסף מבחינת ניצולה לצרכי תמסורת ארוכת-טנח. כשמציינים "חסרון" יש להסתייג ולומר, כי הוא הופך ליתרון כשמדובר בשימוש בגלים האולטרה-קצרים ברדיו-אסטרונמיה או לצורך יצירת קשר עם ספי-נות-חלל.

תכונת-ההחזר של השכבות השונות ביונספירה תלויה בצפי-פות האלקטרונים שבה ובפילוגם. כידוע, קשור מצבה של היונספירה בתופעות המתחוללות על-פני השמש, תופעות שאינן נתונות לשליטתו של האדם ואף אי-אפשר לחזותן מראש. מכאן, שהקשר האלחוטי לטנח ארוך באמצעות היונו-ספירה איננו בטוח, מלווה בהפרעות ולעתים אף מופסק לחלו-טין לתקופות מסוימות.

החסרונות והמגבלות של אמצעי-הקשר הבין-יבשתי המקובל שפורטו לעיל הביאו לחיפושים אחר אמצעי-קשר חדשים ובטוחים יותר שיאפשרו שימוש גם בגלים האולטרה-קצרים. מענין לציין, כי הרעיון להשתמש לצורך זה בלוינים אינו חדש כלל. הוא הועלה לראשונה על-ידי המדען הבריטי ארתור קלארק עוד בשנת 1945, כלומר, 12 שנה לפני ששולח ספוטניק 1.

הליון, בהיותו גוף מוליך כשהוא בגובה רב, מסוגל להחזיר גלי-רדיו לעבר האדמה ולאפשר את קליטתם במרחק רב מתחנת-השידור. הליון ממלא במקרה זה תפקיד של ממסר (Relay) שהוא תפקיד סביל (בדומה לראי המחזיר קרן-אור הנופלת עליו) ואכן נושא הוא את הכינוי Passive Com-munication Satellite.

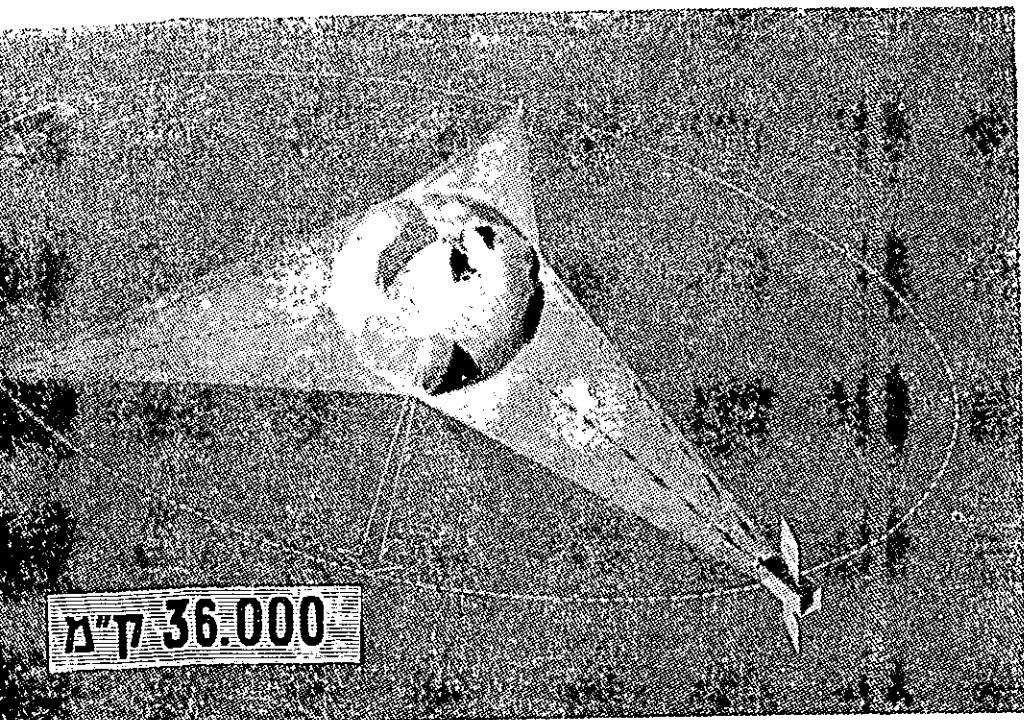
הליון הראשון מסוג זה, בשם "Echo I", שולח על-ידי ארה"ב ב-12.8.60. היה זה כדור מצופה אלומיניום בקוטר של כ-35 מ', שהתנפח אוטומטית בהכנסו למסלול; גובה המסלול היה כ-1600 ק"מ. בינואר 1962 שולח "Echo II", לויני "Echo" הוכיחו את יכולתם להעביר תשדורות למרחקים של אלפי ק"מ; אולם לא היה בכוחם לפתור את בעית הקשר הבין-יבשתי בשל שני חסרונות חשובים:

- התשדורת המוחזרת מהליון הסביל הנה בעלת עצמה זעיר-רה ביותר. כדי לקלוט את האות ולהפיק ממנה את התוכן, דרושות משושות-קליטה ענקיות ומגברים בעלי עצמה גדולה ביותר.

- הליון הנו כוכב נע על הרקיע ונעלם תוך זמן קצר יחסית מה"רדיו-אופק". מכאן, שבין שתי תחנות מסוימות ניתן לקיים קשר תוך פרק-זמן קצר מאד — כל עוד נמצא הליון "בשדה הראיה" של שתיהן.

במגמה להתגבר על הקושי הראשון פותחה השיטה של מה שקרוי "ליון-תמסורת פעיל" — Active Communication Satellite. לוינים אלה פועלים בתפקיד של מהדר * (Re-

* הביטויים העבריים ל-"Relay" ו-"Repeater" נלקחו מתוך המילון למונחי רדיו ואלקטרוניקה שהוצא על-ידי משרד הדואר והמועצה לקשר ולאלקטרוניקה.



ציור מס' 4. תיאור סכמטי של עקרון פעולתו של לווין סינכרוני — ה"Advent". כל אחד משלושת הלווינים הסטציונריים משקיף על כשליש מכדור-הארץ.

במרוצת הזמן עלול גם הלוין הסינכרוני לשנות את מקומו „הקבוע” ביחס לפני-האדמה והכרח יהיה לנקוט באמצעים כדי להחזירו למקומו. בארה"ב מתנהלת עתה פעילות מרובה שמג- מתה להתגבר על קשיים אלה, כי הלוין הסינכרוני נראה בשלב זה כטוב ביותר לצרכי תמסורת, וזאת בשל הופעתו כ„כוכב קבוע” שאינו נעלם מה„רדיו-אופק” ומאחר שכל אחד מן השלושה „רואה” כל הזמן כשליש מפני כדור-הארץ ו„נראה” ממנו (ציור מס' 4).

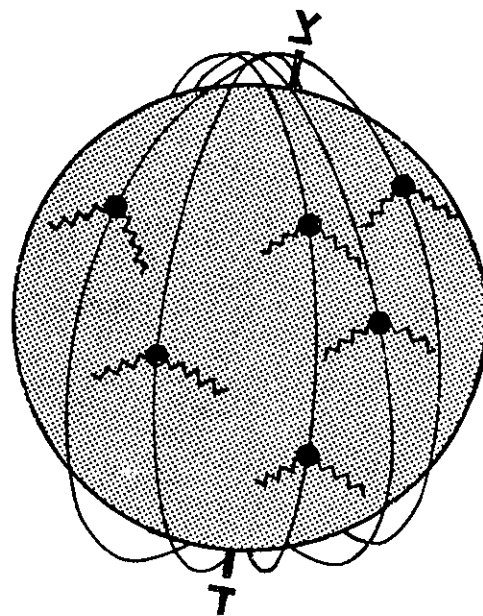
בארה"ב מוזכרות שתי תכניות של לויני-תמסורת סינכרוניים. אחת מהן היא של המנהל הלאומי לאוירונאוטיקה וחלל (NASA), שהיא תכנית אזרחית ומכונה בשם „SYNCOM” (Synchronous Communication Satellite). הניסוי הראשון בוצע (ללא הצלחה) בחודש פברואר השנה. גם משרד-ההגנה האמריקני (DOD) עובד על תכנית משלו ללויני-תמסורת פעילים בשם „Advent” (ראה למעלה), בה מושקע סכום של 500 מיליון דולר. כפילות זו מוסברת בדרישות המיוחדות המור- צגות לכל מערכת-קשר המיועדת לספק את צרכי הצבא והן בצורך של עמידתה בפני פגיעה ובפני נסיונות בילול על-ידי האויב. טבעי הדבר שבתכנית הצבאית מושם הדגש על האס- פקטים הצבאיים שצוינו לעיל.

רעיון נוסף לפתרון בעית הקשר לטנח-ארוך על-ידי שימוש בטכניקת החלל הועלה ב-1958 על-ידי קבוצת מדענים מה- מכון הטכנולוגי במסצ'וסטס (MIT).

זוהי תכנית הידועה בשם „DICON” (ראשי תיבות של Digital Communication through Orbiting Needles) המב- קשת ליצור בחלל החיצון סביב כדור-הארץ שכבה המחזירה גלי-רדיו אולטרה-קצרים. השכבה תתהווה על-ידי פיזור מחטי נחושת דקיקים במסלול סביב כדור-הארץ ובגובה של כחמשת אלפים ק"מ (ציור מס' 5). המחטים הקרואים דו-קוטביים (Dipoles) — אורכם 10–15 מ"מ וקוטרם — 0.03 מ"מ. מח- טים אלה מוכנסים למסלולים על-ידי לוינים ויוצרים שתי חגורות — אחת משננית ואחת קוטבית. אך שיטה זו אינה יכולה להחשב כאלטרנטיבה לשיטות שתוארו לעיל בגלל

מתוך ארבעה נסיונות. אך, למרות כל חשיבותו, לא פתר ה„Telstar” את הקושי השני שצוין לעיל — בהיותו אף הוא כוכב נע ברקיע והשארותו פרק-זמן קצר בלבד ב„רדיו-אופק”. הוא מסוגל ליצור קשר בין יבשת אירופה ואמריקה לפרק-זמן של דקות בלבד. קיימות תכניות אחדות שתנוסנה בעתיד הקרוב במגמה למצוא את השיטה היעילה ביותר, שתאפשר להתגבר על קושי זה.

אחת התכניות מבוססת על שילוחם של 50 לוינים מסוג ה„מהדר” הפעיל (כמו ה„Telstar”) למסלולים קוטביים אקר- איים (Random Orbits) בגובה של כ-9,600 ק"מ. לוינים אלה יקיימו קשר עם 26 תחנות ממסר מפורזות על-פני כדור- הארץ. תכנית זו מתבססת על ההנחה שתמיד יימצא לפחות אחד הלווינים הללו מעל לתחנה כלשהי (ב„רדיו-אופק” שלה).



ציור מס' 3. תיאור סכמטי של מערכת-קשר כלל-עולמית באמצעות 50 לויני-תמסורת פעילים הנעים במסלולים קוטביים אקראיים.

קרכת כדור-הארץ, תגדל משנה לשנה — ובעיה זו עלולה לה- גיע לנקודה קריטית. האפשרות האלטרנטיבית היא להש- תמש במספר מועט של לויני-תמסורת, שישולחו למסלול סינכרוני ללווינים סטציונריים*. מן ההכרח הוא שלווין- תמסורת סינכרוני יהיה מן הסוג הפעיל — „מהדר” — בשל מרחקו הרב מפני-האדמה, וזאת כדי להבטיח שלאות-הרדיו המוחזר תהיה עצמה מספקת. נמצא, כי שלושה לוינים סינכרוניים הנעים באותו מסלול והמרוחקים זה מזה בזווית של 120 מעלות יכולים ליצור מערכת- תמסורת כלל-עולמית בגלים אולטרה-קצרים.

ביצוע תכנית זו הוא מבצע הנדסי קשה ויקר. כרוכות בו בעיות רבות שטרם מצאו את פתרונן, כגון בעית „הפיגור” שייגרם בשיחות הטלפוניות הבין-יבשתיות אשר תועברנה דרך הסינכרוני, בגלל המרחק הרב שיצטרכו לעבור גלי-רדיו של הלוין וחזרה. כן קיימת בעית יצובו של הלוין במסלולו. כידוע, אין כדור-הארץ בגדר כדור אידיאלי — וזאת אחת הסיבות העיקריות לשינויים החלים במסלוליהם של לוינים.

* הלוין הסטציונרי תואר ברשימה הקודמת. זהו לוין שמסלולו מעגלי ונמצא במישור קו-המשווה במרחק של 36 אלף ק"מ ממרכז האדמה. הלוין הנע בכיוון סיבובו של כדור-הארץ סביב צירו, מבצע הקפה מלאה במשך 24 שעות, כלומר, משלים סיבוב מלא באותו הזמן שכדור-הארץ משלים סיבוב סביב צירו. מכאן, כינויו של הלוין — „סינכרוני”. ביחס לפני-האדמה יופיע הלוין ככוכב קבוע ברקיע — ומכאן הכינוי „סטציונרי”.

גומיה ולקשר עם ספינות-חלל וכן עלול הוא להיות סכנה לספינות-חלל מאוישות (אין לשכוח, כי המחטים, עם היותן זעירות, הנן בעלות אנרגיה גדולה-יחסית בגלל תנועתן המסלולית במהירות של כ-28 אלף קמ"ש).

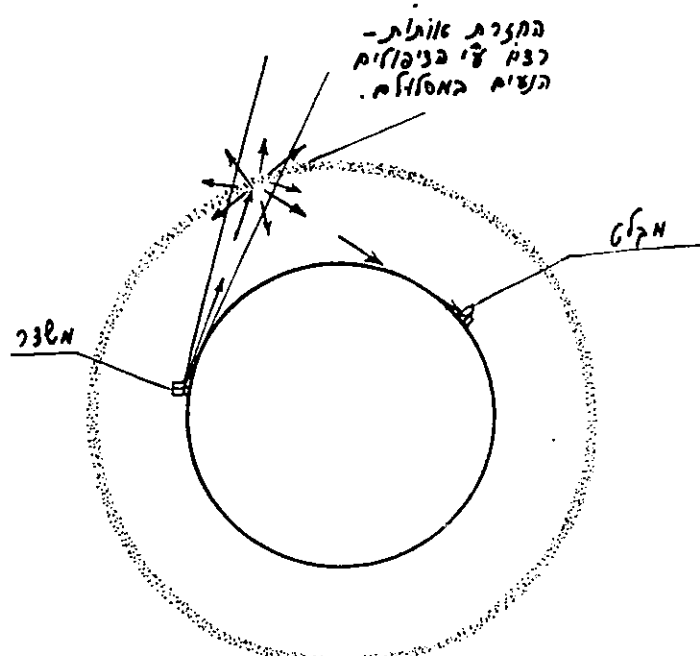
זוהי הסיבה העיקרית למחאות המרובות שנשמעו בקרב המדענים במערב ובמזרח כאחד, כשאר"ב ניסתה לפני כשנה ליצור את חגורת-המחטים. כידוע, לא הצליח הניסוי הראשון ולעת עתה לא חזרו עליו. אין ספק, כי הצבא האמריקני ערך ניסוי זה, על-אף כל חסרונותיו, בגלל משמעותה הצבאית של תכנית "DICON" והטעמים העיקריים הם שניים אלה: מער-כת-קשר זו הנה בלתי-פגיעה מאחר שאי-אפשר ל"טאטא" את המחטים מהחלל; אפשר להפעיל בעת-זבוענה אחת מספר רב של תחנות-שידור-וקליטה המסוגלות לבחור כרצונן את מסלול הקשר.

מתוך סקירת השיטות השונות של לויני-תמסורת מתקבל על הדעת שהלוינים הסינכרוניים הנם בעלי הכושר הרב ביותר לפתור את בעית הקשר הכלל-עולמי. שיטה זו תהפך ליעילה יותר ברגע שניתן יהיה לאיש לוינים אלה, או לפחות להביא צות טכנאים לביצוע תיקונים ואחזקה כפי הדרוש. דבר זה נראה קרוב לביצוע עם פתרון בעית ה"מפגש" בין ספינות-חלל ולוינים (בעית ה-Rendez-vous).

*

על בעיה זו ידובר, בין היתר, ברשימה השלישית — הדנה בלויני-לחימה.

חסרונותיה המרובים: רק חלק זעיר ביותר מאנרגיה של קרן רדיו יוחזר לאדמה. כושר ההחזר של חגורת-המחטים מוגבל רק לאורך מסוים של גלי-רדיו בתחום הסנטימטרי, בהתאם לאורך המחטים-הדו-קוטביים. כלומר, השיטה הזו אינה מתאימה



ציור מס' 5. תיאור סכמטי של תכנית "Dicon". מוצג כאן אופן פעולתה של חגורת המחטים הדו-קוטביים המשמשת כמחזור גלי-רדיו בתחום הגלים האולטרה-קצרים

לשידור לציבור (Broadcasting). אולם חסרונה העיקרי של שיטה זו הוא ב"זיהום" החלל בקרבת כדור-הארץ על-ידי המחטים, דבר העלול לגרום להפרעות רציניות ברדיו-אסטר-

הדנים

מערכת הבקרה של הגנת-האוויר השבדית

א — מרכז-הבקרה עם לוחות הרישום; ב — ציוד תקשורת; ג — מכ"מ-מצפית המופעל בשלט רחוק על-ידי מיקרו-גלים; ד — מגדל-ממסר; ה — מכ"מ-מצפית; ו — מכ"מ-קובע-רום; ז — סוללת טילים-מונחים; ח — העברת נתונים מהירה למכ"מ-קובע-רום נוסף, רחוק; ט — העברת נתונים למטוסים (מגדל-ממסר); י — מטוסי ירוט; כ — מרכז הגנה האזרחית; ל — כוחות-קרקע; מ — ארטילריה נגד-מטוסית.

ידיעות על תנועת כוחות-האוויר של האויב מוזרמות אל מרכז-הבקרה ממקורות ג, ד, ה, ו; משם מועברות הוראות באמצעות מגדל הממסר (ט) אל מטוסי הירוט (י) וכוחות-הקרקע (ל) וכן אל יחידות הנ"מ (מ). אתראות בפני התקפות-מן-האוויר נמסרות למרכז הג"א (כ), המזעיק את אזורי התעשייה ומרכזי האוכלוסיה בהתאם לצורך.

