

לוינים — ותכליתם הצבאית

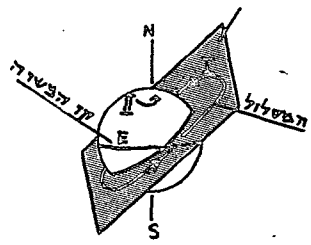
איג' אלכסנדר מוס

לוינים מלאכותיים — האמנם תולדה של צורך הם או רק פרי תחרות יוקרה בין הגושים?

וכך קובע איש-צבא שביצרי, הקרוב אצל עניני מדע וטכניקה צבאיים: "התפתחותם של טילים ארוכי-טווח הציגה בפני כל מדינה שהנה בנדר מטרה אפשרית, שורה של בעיות — ותפקידים — מסוג שלא ידעם בעבר. הופיע הצורך לעקוב — ממרחקים עצומים — אחר שיגורם ולשתק את הנקודות מהן עשוי האויב לשגרם אלא שלפני-כן יש גם לאכזר נקודות אלה; ומעל הכל — הכרחי לארגן מערכת-תצפית מקפת לכל כיוון, ולכל מרחק. ולבסוף: אי-אפשר בלי תקשורת מהירה-יותר, מתמדת, אמינה וארוכת-טווח. אין רואים כיום פתרון לרובן של בעיות אלה, אלא באמצעות סוגים שונים של לוינים מלאכותיים. יש אפילו סבורים כי יבוא יום ולוינים מיוחדים ישמשו כאמצעי נוסף בשביל להוביל סוגי-נשק מסוימים אל הנקודות הנראות בחלל".

עקרונות התנועה של לוינים

מבחינה אסטרונומית, לויין עשוי-בידי-אדם הנו גוף שמימי מלאכותי. תנועתו, כזו של כל גרמי השמים הטבעיים, מוכתבת על-ידי חוקי המכניקה-השמימית. צורת מסלולו יכיר לה להיות מעגל או אליפסה, אם כי הצורה השניה שכיחה יותר. במסלול אליפסי יש שתי נקודות מיוחדות ביחס לפני האדמה: זו הקרובה ביותר אליה — ונקראת פריגאה, זו המרוחקת ביותר ממנה — ומכונה אפוגאה. יש לציין קודם-כל כי הגובה המינימלי של מסלול-לויני אינו יכול להיות פחות מ-150 ק"מ (לויין אשר ינוע במסלול נמוך מזה — יתקיים זמן קצר מאוד, עקב כניסתו לשכבות הצפופות של האטמוספירה). מרכז האדמה ימצא באחד ממוקדי האליפסה, ומישור המסלול חייב לעבור דרכו. הזווית בין מישור המסלול ובין מישור קרבה-השמש של כדור-הארץ יכולה להיות זווית כל שהיא, החל באפס מעלות וגמור ב-90 מעלות. הזווית נקבעת על-ידי תנאי השילוח והיא נשארת קבועה במשך כל תקופת תנועתו של הלויין. מכאן, שביחס לכוכבים הקבועים נשאר מסלולו של הלויין קבוע במרחב. ביחס לצופה הנמצא על-פני האדמה, שונה לחלוטין תנועתו של הלויין וזאת מאחר שתנועה זו מורכבת משתיים: מתנועתו המסלולית של הלויין — ומתנועתו המסלולית של כדור-הארץ.



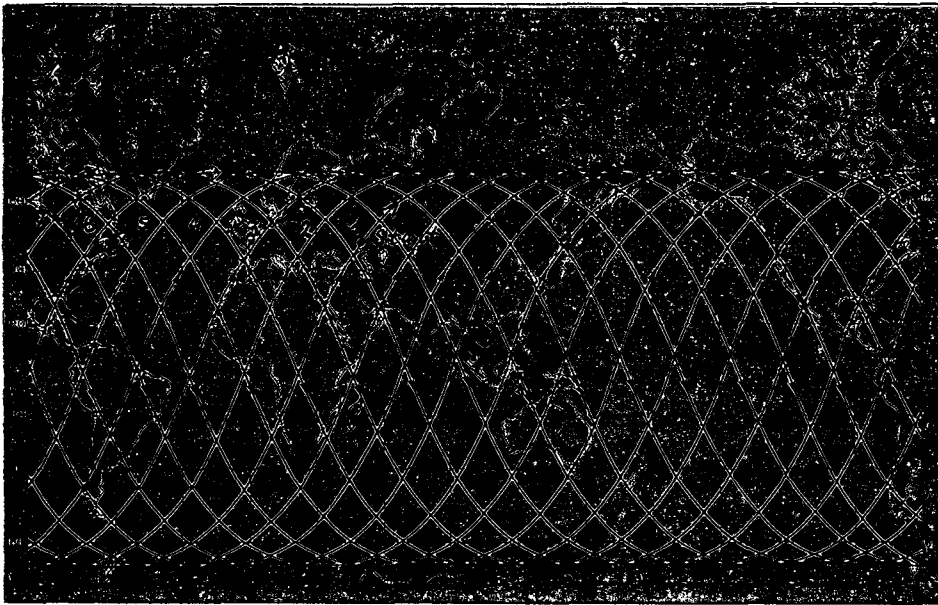
ציור מס. 1: תנועתו של הלויין, כפי שהיא נראית לצופה על פני האדמה — מורכבת מתנועתו לאורך המסלול ו תנועתו הסיבובית של כדור הארץ סביב צירו."

סיבובו של כדור-הארץ סביב ציר-הוא — הקפה מלאה ביממה. ולכן, כשהלויין משלים סיבוב מלא, (כלומר — בחזרו לאותו קרר-הוא ממנו שולח) הוא ימצא ביחס לפני-האדמה מערבה מנקודת-המוצא שלו, במרחק התלוי בתקופת-סיבובו

בתקופה האחרונה נודע על שילוחם של מספר לוינים אשר הוגדרו על-ידי העתונות והרדיו כ"סודיים". לא נמסרו כל פרטים ביחס לטיבם ויעודם של לוינים אלה. מה מסתתר מאחורי מסך סודיות זה? מה טיבם של לוינים אלה? ואיזו מטרה הם משרתים? בכונתי לנתח את גורמי תנועתם ומס-לוליהם של לוינים בכלל, ובעיקר את יכולתם לשרת מטרות צבאיות, או מטרות שנודעת להן משמעות-צבאית כלשהי.

זה שנים מספר עוסקת ארצות-הברית בשיגור לוינים-שימור-שיים לצרכי מדע, טכניקה ופיתוח שירותים שונים, כגון: מטאורולוגיה, קשר, ניווט וכו'. מתפתח ענף מיוחד במדע-החלל, שזכה לכינוי "אסטרונוטיקה שימושית". על ממדי הפעילות בשטח זה מעידה העובדה כי במשך כחמש שנים, שחלפו מאז שילוחו לחלל של "ספוטניק" 1, שילחה ארצות הברית בלבד כשישים לוינים. ניתן להניח, כי שיגורם של הלוינים-הסודיים נועד למטרות צבאיות מובהקות, כגון פיתוח אמצעי-לחימה חדישים, ביצוע תפקידי תצפית וסיור ופיתוח מערכות-התראה והגנה נגד טילים. ארגונם של מבצעי החלל מוטל על שני ארגוני-גג ממשלתיים. אחד מהם הוא אזרחי — המכונה "NASA" (National Aeronautics and Space Administration), שתפקידו לעסוק בפיתוחם ושילוחם של לוינים לצרכי שלום; ואילו השני הוא משרד-ההגנה האמריקאי — הידוע בכינוי "DOD" (Department Of Defense) העוסק בפיתוח טילים ולוינים למטרות צבאיות. שיתוף-פעולה הדוק קיים בין שני הארגונים והתוכניות אחדות אף משותפות לשניהם (כגון, פיתוח מטוס-הרקטה X-15). על הקף פעילותם של שני הארגונים יעידו תקציביהם לשנת הכספים הנוכחית, המסתכמים ב-1,300 מיליון דולר לגבי "NASA" ו-7,280 מיליון דולר לגבי "DOD" (סכום זה כולל פיתוח טילים-צבאיים, לוינים ותכ-ניות הקשורות בהם). מתקבל על הדעת כי פיתוח הלוינים-הסודיים הוא חלק מתכניותיו של "DOD". כדי להבין את יכולתם של לוינים למלא תפקידים כה מרובים לצרכי שלום ומלחמה כאחד, יש לעמוד תחילה על מהותם.

ציור מס. 2: כריכת מסלול של לווין סביב כדור הארץ. הלווין שולח למסלול הנטוי בזווית של 65° ביחס למישור קו־משוה. ב' תחום ראיתו של הלווין כל האזורים הנמצאים משני צדי קו־המשוה, וה, בין 65° קו־רוחב צפוני לבין 65° קו־רוחב דרומי.



זהה עם תקופת-סיבובו של כדור-הארץ סביב צירו. אם ינוע לווין כזה ממערב למזרח — יימצא תמיד מעל לאותה נקודה על-פני האדמה שמעליה הוא נכנס למסלולו; כלומר הוא יופיע בשמים כ"כוכב קבוע". לווין כזה ייקרא "סטציונרי" או "סינכרוני" (ראה ציור 3). בתחום-ראיתו יימצאו באופן קבוע כ-38.2 אחוז מפני האדמה.

מתוך סקירה קצרה זו על חוקי תנועתם של הלוינים ואופי מסלוליהם ניתן לציין שלושה תפקידים עיקריים שאותם יכולים הלוינים למלא: תצפית; ממסר ותקשורת; לחימה.

לויני תצפית וסיור

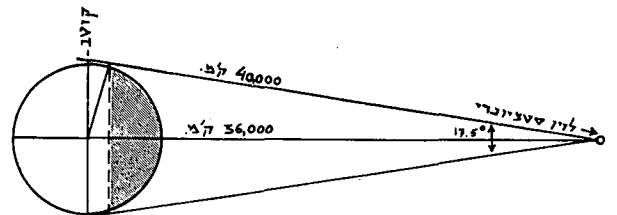
תפקידו של לויני-תצפית הוא לצפות על-פני כדור-הארץ ועל גרמי שמים אחרים. כל לויני תצפית מסוגלים להופיע — תוך כדי תנועתם המסלולית — מעל לכל נקודה שעל-פני כדור-הארץ — דבר המאפשר להם לבצע תפקידם. בהתאם לצידודו יכול הלווין למלא משימות שונות, כגון: סיור צבאי, מדידת מרחקים ומיפוי שטחים, צילום העננות ותצפיות מטאור, רולוגיות אחרות, צילום פני האדמה מגובה רב לצרכים מדעיים — וכן תפקידי פיקוח בין-לאומי לגילויים של ניסויים גרעיניים הנערכים באטמוספירה.

לויני שישוגר למסלול קוטבי, או כמעט-קוטבי, בגובה של 150—200 ק"מ, ויצויד במתקן-ראיה מתאים, עלול להפוך לצופה או סייר כמעט אידיאלי שיהיה בחזקת "רואה ואינר נראה". הדבר מסתבר מתוך ניתוח גורמי תנועתם ומסלוליהם של לוינים.

*

מה יהיה טיבו של מתקן-הראיה של הלווין? כיצד תועבר האינפורמציה הנקלטת על ידו אל המעונינים בה? כיצד, אפשר לבצע תצפיות באמצעות מתקן-ראיה שונים, כגון: עינו של אדם (היכולה להיות מוגברת על-ידי משקפת או טלסקופ); מצלמה, הקולטת את התמונה על סרט-צילום, או מצלמת-טלביזיה. ניתן גם להשתמש במכ"מ או במתקן-ראיה

של הלווין (שהרי כדור-הארץ סובב ממערב למזרח). על-כן, ביחס לפני-האדמה, תהיה תנועת הלווין מורכבת מתנועתו המסלולית ומתנועתו המדומה של המסלול עצמו הסובב כאילו מערבה, בקצב-סיבובו של כדור-הארץ סביב צירו. המסלול „נכרך" כאילו סביב האדמה בין שני קווי-רוחב, צפוני ודרומי, בהתאם לזווית שבין מישור-המסלול לבין מישור קו־המשוה (ראה ציורים 1, 2). לזווית-הנטיה של המסלול ביחס לקו־המשוה נודעת חשיבות גדולה, מאחר שהיא קובעת את האזורים שמעליהם יופיע הלווין בתנועתו המסלולית. ב-מקרה שזווית זו היא בת 90 מעלות — יהיה זה מסלול קוטבי, ובתחום-ראיתו של הלווין תימצא או כל נקודה ונקודה שעל פני האדמה. במקרה שהזווית היא, למשל, בת 34 מעלות (זוהי זווית מסלוליהם של הלוינים האמריקאים נושאי-אדם), יימצא בשדה-ראיתו של הלווין אותו חלק של כדור-הארץ שבין קווי-הרוחב בני 34 מעלות, הצפוני והדרומי. יתכן שהמסלול יימצא במישור קו־המשוה (הזווית שוה או ל-0 מעלות). מסלול כזה נקרא „משנני" ובשדה-ראיתו יימצאו רק האזורים שלאורך קו־המשוה. בין כל המסלולים המשנניים — שההבדל ביניהם, כמובן, איננו הבדל בזווית כי אם



ציור מס. 3: לווין סטציונרי שתקופת סיבובו סביב כדור-הארץ שוה ליממה. מסיבה זו הוא יופיע בשמים ככוכב קבוע ויראה תמיד מעל לאותה נקודה שמעליה נכנס למסלולו.

בגובה — קיים אחד שיש בו ענין רב ובעתיד יהיה לו ערך שימושי חשוב: זהו המסלול שבגובה 36,000 ק"מ. תקופת-הסיבוב של לווין במסלול זה היא 24 שעות — כלומר היא

באמצעות המושג הפרדה (Resolution), מושג המציין את מספר הקווים השחורים והלבנים על כל מילימטר אחד, שהצירוף עדשה-סרט מאפשר להבחין בהם. למשל, אם ההפרדה היא 10 קווים למ"מ — פירושו של דבר כי ניתן להבחין בקווים כאשר מספרם לא עולה על 10 למ"מ (כאשר מספרם יעלה על 10 למ"מ, הם יתמוגו).

במקרה של צילומי קרקע מגובה רב משתמשים במושג של „הפרדת-קרקע” (Ground Resolution). במקרה זה הכונה היא לשטחים או יעדים האקביבלנטיים לקו אחד בגבולות ההפרדה של הצירוף עדשה-סרט. את „הפרדת-הקרקע” (G) נקבל כתוצאה מהיחס שבין קנה-המידה של היעד (S

$$G = \frac{S}{R} \quad \text{Number לבין ההפרדה } R :$$

לדוגמה: בתנאי צילום מגובה רב שהובאו לעיל — כאשר קנה-המידה של היעד הוא:

$$S = 1,584,000 \quad \text{קווים } R = \frac{100}{\text{מ"מ}}$$

ההפרדה היא: $G = 15'$ תהיה „הפרדת-הקרקע”:

כלומר אלה יהיו ממדי היעד המינימליים שניתן יהיה להבחין בהם בצילום. אבל עצם האבחנה באובייקט אינה מספקת עדיין כדי לזהות ולקבוע בדיוק מה טיבו. בעיה זו היא המסוכנת ביותר בצילום מגובה רב.

מכאן ניתן להסיק כי לויני-הצפיית יעילים יותר לצורך צילום

ליון התצפית „טירוס”

הרגישים לקרינה אינפרא-אדומה (כאשר הכרחי לצלם בלי לה, או „בכל תנאי מזג-אוויר שהם”). אם ישולחו לוינים אחדים למסלולים קוטביים ויצוידו במתקני-ראיה הרגישים לקרינה אינפרא-אדומה — יאפשרו לגלות טילים בכל נקודה שהיא על-פני האדמה, מיד עם השלחם, דהיינו — בשלב הטיסה בו פועלים עדיין מנועי הטיל. ברור כי לוינים כאלה יכולים לשמש לצורך התראה — והגנה — מפני טילים.

בעית העברת האינפורמציה הנקלטת על-ידי הליון אל תחנות הבקרה ניתנת לפתרון בשני אופנים:

● אפשר לשדרה באמצעות מתקן-שידור מיוחד, הנמצא בתוך הליון. בדרך כלל, אין שידורה של האינפורמציה מקוים ברציפות, אלא היא נאגרת ב„מנגנון-הזכרון” של הליון — ומשודרת רק לפי אות-אלחוט המשוגר מתחנת-הבקרה-הקלי-טה שמעליה הוא עובר אותה שעה.

● אפשר להחזיר את הליון — כולו, או רק אותו חלק ממנו המכיל את סרטי הצילום והרישום.

בחירת מתקן-הראיה המתאים ואופן קבלת האינפורמציה מה ליון, תלויה ביעודו ובטיב התצפיות המבוקשות. מתקן-הציי-לום הינו ללא-ספק רב-התכליות ביותר מבין כל מתקני-הראיה האחרים.

היות והמדובר הוא בצילום מתוך ליון — יש לעמוד כאן על בעיות הצילום מגובה רב. בעיה זו קיימת גם בסיוור-האווירי. ידוע כי מטוסי-הסיוור U-2 מצוידים בהתקני-צילום, המאפ-שרים להם לצלם מגובה של 20 ק"מ. אבל גובה זה הנו רק עשירית מגובה מסלוליהם של הלוי-נים. גורמים רבים משפיעים על טיב הצילום מגובה רב — ואלו הם:

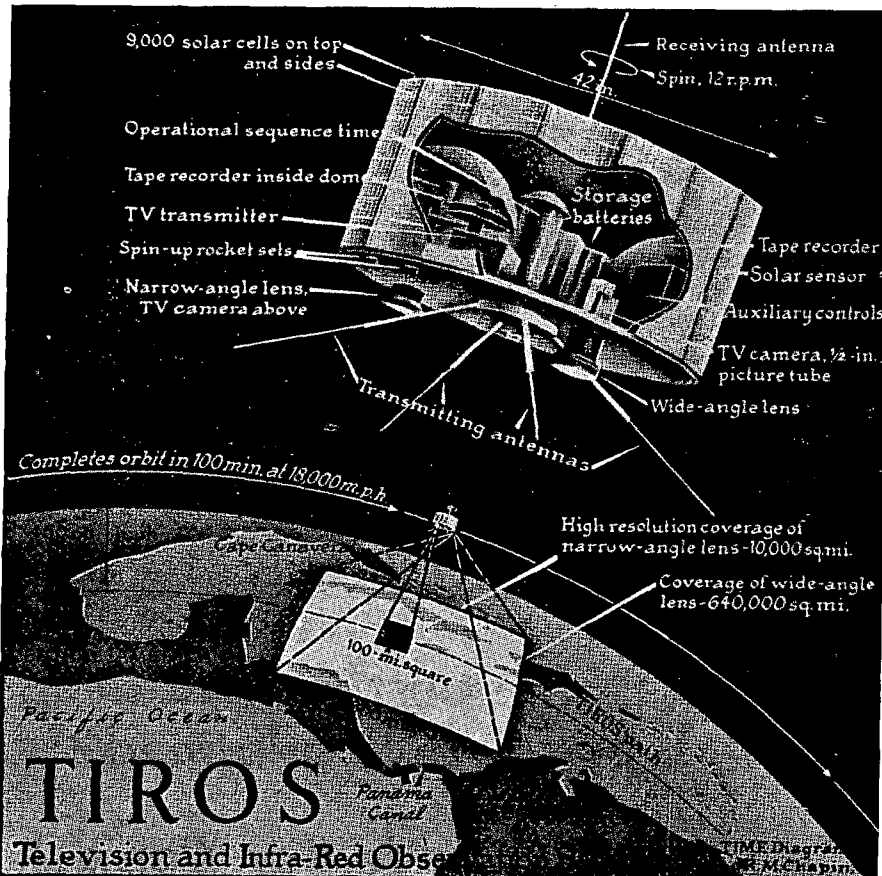
● הראות באטמוספירה. גורם זה שוה הנו לגבי צילום מגובה של 20 ק"מ כמו מגובה של 200 ק"מ, מאחר שמעל לגובה של 20 ק"מ האוויר הוא צלול מאוד ואין בו עוד עננים;

● גודל היעדים המצולמים ומידת ה„קונטרסטיות” שלהם. במקרה זה, הגובה ממנו מבוצע הצילום הוא ה-קובע. קנה-המידה של היעד (Scale) (Number) המצולם מושג על-ידי גור-בה המסלול ואורך המוקד של עד-שת המצלמה — לפי הנוסחה:

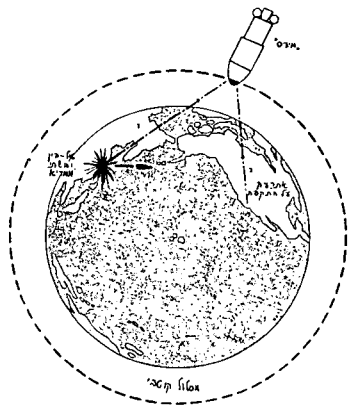
$$S = \frac{\text{גובה}}{\text{אורך המוקד}}$$

במסלול שגובהו הממוצע הוא 250 ק"מ, והמצויד במצלמה בעלת רוחב-מוקד של 6 אינץ', יאפשר קבלת תצ-לומים שבהם קנה-המידה של היע-דים המצולמים יהיה $S=1,584,000$; כלומר, אינץ' אחד על הצילום יקביל ל-42 ק"מ על-פני האדמה (מגרש-כדורגל יראה כחם זעיר ביותר).

● טיב הסרט והעדשות של המצ-למה. כטכניקת צילום מגדירים זאת



"MIDAS" (Missile Defense Alarm System). לוינים אלה נעים במסלולים קוטביים, ועיקר ציודם — התקן-ראיה הרגיש לקרינה אינפרא-אדומה. כידוע קרינה זו, הנה החלק בספק-טרם של הקרינה-הא-לקטרומגנטית, המכונה "חמה" — שכן בעיקרה היא קרינה-תרמית. כל העצמים מקרינים אותה, אבל עצמתה תלויה ב-טמפרטורה של הגוף. ל-פיכך מסוגל ההתקן לג-לות טילים בכל מקום מיד עם המראתם, בעוד מנועיהם פועלים וחום רב נפלט מהם. על מ-דת רגישותם של מתק-נים אלה תעיד העובדה כי הם מסוגלים לגלות



לוי "מידס" מגלה — ומתריע

גפרור דווקא במרחק של אלפי קילומטרים. לוי המצויד בהתקן-ראיה כזה מסוגל אס-כן להתריע מידית על כל שילוח של טיל — וכך למלא תפקיד חשוב במערכת-ההגנה נגד-טילים.

אין ארצות-הברית מסתירה את עצם קיומן של תכניות בדבר שיגור לוינים-צבאיים, אך אין היא מפרסמת כל פרטים או צילומים הקשורים בלוינים אלה. שילוחם מבוצע משדה-הניסויים "Vandenberg" שבקרבת חוף האוקיינוס הש-קט, הסגור בפני העתונות. יתכן כי הסודיות האופפת את שילוחם של לוינים אלה נובעת גם ממצבם הבלתי מוגדר מבחינת המשפט הבינ-לאומי. למרות שחלפו כבר כחמש שנים מאז החלה הפעילות בחלל-החיצון, לא קיים עדיין שום חוק המסדיר את בעיית הריבונות על החלל החיצון וגרמי-השמים. החוק הבינ-לאומי מכיר אמנם במושג של "שמים טריטוריאליים", אבל אין כמובן כל אפשרות להג-דיר מושג של "חלל טריטוריאלי". גם השאלה היכן, בעצם, מתחיל החלל-החיצון — היא רב-משמעית. לדוגמה: — מנקודת-מבט ביאולוגית מתחיל החלל-החיצון כבר בגובה של 80-70 ק"מ; ואילו מנקודת-מבטו של הפיסיקאי — רק בגובה של 3,000 ק"מ.

כתוצאה מכך נוצר כיום מצב חסר-הגיון שבו אסור בהחלט הסיוור-האזירי לצרכי מודיעין כאשר הוא נערך ממטוסים הטסים בגובה של 20 ק"מ, אבל אין שום חוק האוסר על סיוור-ריגול מגובה של 200 או 300 ק"מ באמצעות לוינים. השימוש בחלל-החיצון ובלוינים לצרכים צבאיים — מן ההכ-רח שיהפוך את החלל לזירה צבאית חדשה. התפתחות מסר-כת זו ניתנת יהיה למנוע רק על-ידי פירונו של החלל-החיצון בפיקוח בין-לאומי.

בחלק השני של המאמר הזה, אשר יופיע בקרוב, נעסוק בלויני תקשורת ולויני לחימה.

יעדים גדולים, המשתרעים על שטח נרחב. צורך כזה קיים בשטח התצפיות המטאורולוגיות כאשר שואפים לצלם גושי עננים גדולים ככל-האפשר כדי לקבל את תמונת העננות הכללית באטמוספירה. חקר של גושים גדולים של עננים, צורתם וכיוון תנועתם, יאפשר הגנה טובה יותר של התה-ליכים המתחוללים באטמוספירה. כך תשופר תחזית מזג-האוויר, ואולי אפשר יהיה בעתיד אף להשפיע על תנאי מזג-האוויר.

לאור גורמים אלו החלה ארה"ב ב-1.4.1960 בהגשמת תכנית-שיגור של לוינים-מטאורולוגיים אשר כונתה בשם "TIROS" (Television and Infra-Red Observation Satellite). במס-גרת תכנית זו שולחו בשנתיים האחרונות שלושה לוינים, שגובה מסלוליהם כ-650 ק"מ וציודם כולל: שתי מצלמות-טלביזיה, מתקני-ראיה לקרניים אינפרא-אדומות, מתקנים למדידת הקרינה בגלים-ארוכים, מתקני-שידור וסוללות-שמש. לוינים אלה סיפקו רבבות תצלומים של פני-האדמה והעננות (ראה — תצלום של אזורנו שצולם על-ידי TIROS I). ללוינים-המטאורולוגיים נודעת חשיבות צבאית, בעיקר בשטח התעופה והטילים. השימוש בלויני-תצפית לצורך סיוור-צבאי מצריך, כמובן, ציוד-צילום משוכלל בהרבה, מאחר שבמקרה



צילום האוויר שלנו באמצעות לוי "טירוס"

זה היעדים הנסקרים קטנים הרבה יותר, וברוב המקרים גם מוסוים. אמנם, מטוסים מגביהי-טוס יעילים יותר לצורך סיוור-צבאי, אבל תקרית מטוס-הריגול U-2 אילצה את ארה"ב להקדיש תשומת-לב לפיתוחם של לויני-סיוור.

מיניסטריון ההגנה האמריקאי (DOD) מגשים כיום שלוש תכניות של לויני-תצפית. שתי תכניות מיועדות לשיגור לויני-סיוור — ואילו התכנית השלישית מיועדת לשיגור לוינים לצורך גילוי טילים בהמראתם וההתראה בפניהם. שתי התכניות הראשונות ידועות בשם: "Discoverer" ו-"SAMOS" (Satellite And Missile Observation System). תאי-המכשירים של לויני "Discoverer", הנעים במס-לולים קוטביים, מוחזרים בשיטה מיוחדת שפותחה לצורך זה על-ידי הצבא האמריקאי: מטוס מיוחד "שולה" את התאים-המוחזרים, בעודם באויר. לויני-סיוור "SAMOS" אינם מוח-זרים, אלא משדרים לפי פקודה את האינפורמציה שאספו לתחנות-קליטה. התכנית השלישית היא של לויני-תצפית