

נשק טילי ורקטי מסלוליים

מהנדס ע' לורבר

ש ל ב י ם

בחירת מערכת ההנעה לטיל תלויה ב- צורת מסלולו. בהכללת-מה ניתן לומר, כי מערכות ההנעה נחלקות כדלקמן:

• טיל נגד מטרה נעה — שלב ההאצה ושלב השיוט.

• טיל נגד מטרה קבועה — שלב (או שלבי) ההאצה ושלב המעוף הבליסטי. לא הכללנו בקבוצה זו טילי שיוט לטווח ארוך נגד מטרות קבועות, שכן אלה מצוידים לרוב במנועים שונים ממנועי רקטה. טילים נגד מטרה נעה חייבים להגיע, לרוב, למהירויות טיסה (או שיוט) תוך זמן קצר ככל האפשר ממועד השיגור. הדבר מחייב תאוצות גבוהות, ומכפלתן של אלה במסת-הטיל תתן כוחות-דחף גבוהים. בשלב השיוט לעומת זאת, על דחף המנוע להתגבר, בדרך כלל, רק על ההתנגדות האווירודינמית בתוספת אחוז מסוים ממשקל הטיל (משקל הטיל מוכפל בסניוס זווית המסלול), ואלה הם כוחות קטנים יחסית.

להמחשת הדברים נביא דוגמה מספרית: לפנינו טיל קרקע-אוויר שמשקלו בעת ההמראה 1000 ק"ג, ועליו להגיע למהירות מאך 2 תוך זמן מסוים, ולהמשיך לטוס במהירות זו. כוחות הדחף הנובעים מדרישות אלה מפורטים בטבלה הבאה:

במקרה השני בטבלה יחס הדחפים נוח יותר — רק 1:4.5; אך הדבר הושג תמורת התפשרות חמורה בדרישה הטקטית — שלב תאוצה ארוך פי שניים; ולא תמיד יתקבל פתרון מעין זה.

פתרון אחר הוא בניית שני מנועים, אשר יספקו שתי רמות-דחף, ובמחיר סיבוכן קל אפשר יהיה אף להשמיט את מנוע השלב הראשון (על מיכליו) בתום בעירתו, ולח-סוך משקל והתנגדות. זהו הפתרון המקובל, ודוגמאות טובות לכך הם טילי ה- "SA-2", "SA-3", ו- "SA-4" הסובייטיים. במקרה של טיל בליסטי קיימת בעיה דומה: המגמה בטיל כזה היא להאיץ את שלבו האחרון, ראש הנפץ, למהירות הר-רושה ובזמן הקצר ביותר, תוך שימוש במינימום דלק. משקל הטיל כולו מורכב מ-

$$W_T = W_P + W_F + W_S$$

כאשר: W_T המשקל הכללי

W_P משקל ראש הנפץ

W_F משקל הדלק

W_S משקל המבנה (כולל המנועים).

על-ידי הגדלת היחס $\frac{W_F}{W_T}$ (קירובו ל-1 ככל

האפשר) ניתן להפיק מהירות רבה יותר מכמות-דלק נתונה. אם נניח ש- W_P אינו ניתן לשוני, ניתן להוכיח כי הקטנת W_S עדיפה במידה רבה על כל שכלול אחר

דחף שיט במאך 2	זמן תאוצה למאך 2	דחף מאיץ	יחס בין דחף השיט לדחף המאיץ
1,100 ק"ג	5 ש'	10,000 ק"ג	1:9
1,100 ק"ג	10 ש'	5,000 ק"ג	1:4.5

ניתן לראות, כי במקרה הראשון היחס בין הדחף בשעת ההאצה לדחף בשעת השיוט הוא 1:9 בקירוב. במקרים רבים אין הדבר ניתן להשגה ממנוע יחיד; הוא אינו ניתן להשגה כלל במנוע דלק מוצק. ישנה גם בעיה חמורה יותר: כל מנוע, כולל מנוע בוכנה, פועל ביעילות מקסימלית ברמה מסוימת של דחף. (הספק), וכל סטיה מרמה זו מקטינה את היעילות. במנועי רקטה תופעה זו קריטית עוד יותר, וחוסר יעילות פירושו אי ניצול הדלק עד תומו. הדבר יחייב אז שימוש בדלק אנרגטי יותר (אם יש כזה), על כל הבעיות הכרוכות בכך, או נשיאת כמויות דלק גדולות יותר, בניית מיכלים גדולים יותר, משגר גדול יותר וכיוצא באלה.

* המספרים בקירוב.

במערכת, כגון שיפור ביצועי הדלק. הפתרון הסביר הראשון, אחסון הדלק (במנוע דלק נוזל) במיכלים קטנים, ולהשמיטם בהתרוקנם, אך אפשר גם להוכיח, כי ניתן לשפר את ביצועי הטיל כולו (תוספת מהירות לכמות-דלק נתונה) על-ידי התאמת הדחף למשקל הטיל בכל רגע נתון. הואיל ואין זה משתלם להפעיל מנוע בדחף שונה מן המתוכנן, פירוש הדבר הוא הרכבת מספר מנועים בעלי דחף שונה ומיכלי הדלק שלהם זה על גבי זה; הפעלת הראשון עד תום הדלק במיכליו והשמטתו, על מיכליו, ובעת ובעונה אחת — הצתת המנוע הבא. זהו פתרון ה"שליבים", ואף כי הדבר נשמע מסובך, הרי זו הדרך המעשית היחידה המאפשרת

מסלולי הטיסה של טילים ניתנים לחלוקה לשני סוגים:

- מסלולי טילים נגד מטרה נעה
 - מסלולי טילים נגד מטרה קבועה
- מסלוליהם של כל הטילים מושפעים מן הגורמים הבאים:
- א. כיוון הירי (ביחס לאופק) והשפעת כוח המשיכה;
 - ב. השפעת המנוע;
 - ג. השפעת התנגדות האוויר;
 - ד. השפעות בלתי צפויות (מכות-רוח וכדומה).

גורמים אלה משפיעים על מעופו של כל טיל, מונחה ובלתי-מונחה. נוסף להם, מושפע מסלולו של טיל מונחה גם על-ידי פעולת ההגאים, ובמקרה של מטרה נעה — גם על-ידי תנועת המטרה.

הכנסת לווינים למסלול והשגת טווחים בין-יבשתיים.

נשוב למסלולי טילים נגד מטרה נעה.

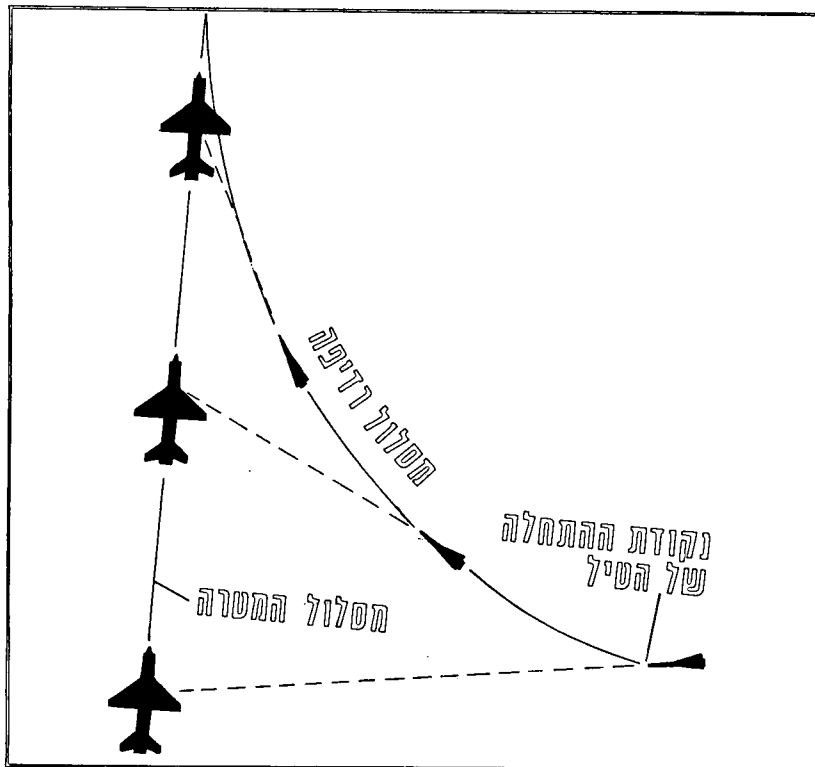
קיימים סוגים אחדים של מסלולים לטילים המיועדים לפעול נגד מטרה נעה. חשוב לזכור, כי בתכנון מסלול מעין זה ההנחה היא, שתנועת המטרה אינה צפויה מראש, מבחינת הכיוון והמהירות כאחת, וכש-המדובר בטיל קרקע-אוויר או אוויר-אוויר נכון הדבר אף ב-3 ממדים. בחירת המסלול הספציפי לטיל מסויים וקביעת מקדמי מיו תלויה גם במהירויות היחסיות של הטיל והמטרה. הבעיה נעשית פשוטה יותר, אם נזכור, כי הגם שמערכת ההגנה של הטיל והטיפול המתימטי במסלולו שואפים לפתרון נקודתי, אין בכך הכרח. מטוס, ועל אחת כמה וכמה ספינה, הם מטרות בעלות גודל פיזי ניכר, לפעמים עד עשרות מטרים, וכשהמדובר במטוס כמעט אין כל חשיבות לשאלה היכן תהיה הפגיעה עצמה. במקרים רבים יהיה הטיל יעיל אף אם יתפוצץ במרחק מטרים מספר מן המטוס.

מסלול רדיפה

המסלול הפשוט ביותר לטיל העוקב אחר מטרה נעה הוא מסלול הרדיפה. צורת המסלול, בשלביו השונים, נתונה בתרשים מס' 1. בתרשים נשתמש בדוגמה של טיל הרודף אחרי מטוס. כוחן של הדוגמאות יפה, כמובן, לכל טיל הרודף אחרי מטרה נעה.

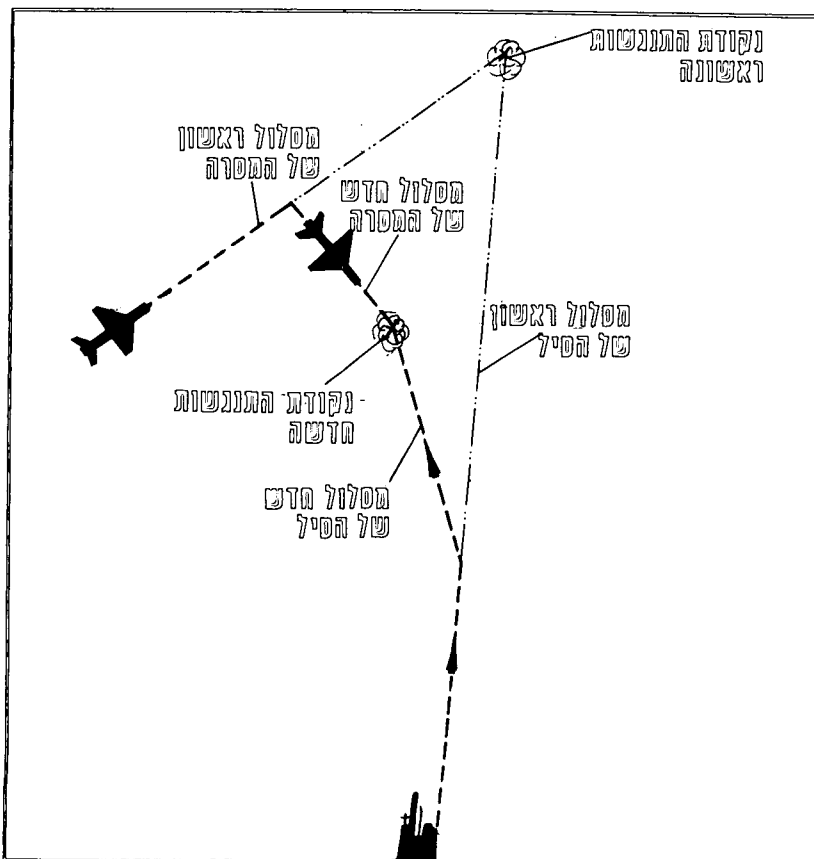
מסלול זה מוגדר כמסלול אשר בו וקטור המהירות מכוון תמיד אל מקומה הנוכחי של המטרה. במציאות מכוון הטיל תמיד קמעה מאחורי המטרה, ומלבד המקרה בו נורה הוא הישר אל פני המטרה, יהפוך המסלול לרדיפת זנב.

למסלול זה חיסרון מסויים כיוון ששיעורי הפניה הנדרשים מן הטיל עולים ככל שגדל היחס בין מהירותו למהירות ה-מטרה, וניתן להוכיח, כי במקרים מסויים מים יידרשו שיעורי פניה בגודל השואף לאין סוף. במציאות אין הדבר נחוץ, הואיל וכאמור הן לטיל והן למטרה גודל פיזי, ואין הם מטרות נקודה. חיסרון שני של מסלול זה נעוץ בעובדה, כי אם נעים הטיל והמטרה זה אל זה, יידרשו מן הטיל שיעורי פניה גבוהים יותר. דבר זה מאפשר למטרות מהירות יחסית (מטוסים) להתחמק על-ידי פניה אל הטיל ושביירה



תרשים מס' 1: מסלול רדיפה

תרשים מס' 2: מסלול התנגשות



הצדה ברגע המתאים, במקום ניסיונות התחמקות.

מסלול התנגשות

ההגדרה אינה מוצלחת, הואיל ומתפקידו של כל מסלול להביא לידי התנגשות בין הטיל למטרה, אך היא עברה בירושה מן הספנות — ונקלטה. צורת המסלול נתונה בתרשים מס' 2. המסלול מבוסס על חישוב מהירותה של המטרה וכיוונה, וחישוב מסלול הטיל כך שיגיע לנקודה מסוימת יחד עמה, תוך טיסה בקו ישר ובמהירות קבועה. אם המטרה מתמידה במהירותה ובכיוונה קל לפתור את הבעיה. אם היא מטרה מתמרנת, יהא על הטיל לחשב לעצמו מסלול חדש אחר כל תמרון של המטרה. על מהירות הטיל להיות גבוהה ממהירות המטרה, אך שיעורי הפניה אינם גדולים יותר.

מסלול פרופורציונלי

מסלול התנגשות אינו נוח נגד מטרת המתמרנות כל העת, הואיל והתנהגות מעין זו מצד המטרה תחייב שינויים תמידיים ומיידיים במסלול הטיל. הדבר אינו תמיד בגדר האפשר, בשל זמן התגובה של הטיל ובגלל הפסדי מהירות עקב התמרון. בניהוג פרופורציונלי הפניה של הטיל עומדת ביחס ישר לפניה של קו הראיה אל המטרה.

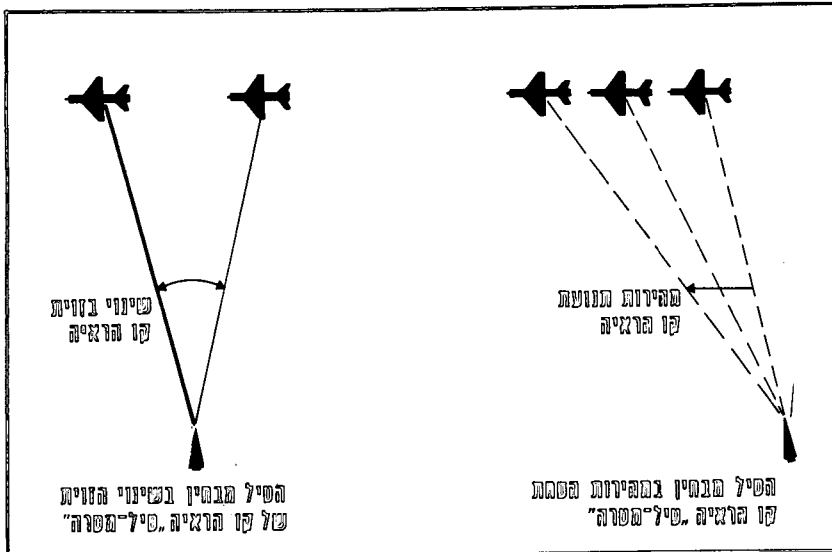
ישנן צורות אחדות לביצוע הדבר, כגון הבחנה בקצב התנועה של קו הראיה אל המטרה, או הבחנה בשינוי שנוצר בזווית קו-הראיה (תרשים מס' 3). אף כי במסלול זה שיעורי הפניה של הטיל גדולים במעט מאלה של המטרה, משך התמרון קטן יותר, והטיל טס במסלול "חלק" יותר.

מסלול רוכב-קרן

במסלול זה (תרשים מס' 4) אין הטיל מתיחס אל המטרה בתור שכזו, כי אם טס תמיד באמצעותה של קרן מכ"מ המנחה אותו. כיוונה של הקרן מווסת מן הקרקע, לרוב בעזרת מחשב, הבורר את קו הקרן באורח היעיל ביותר בכל רגע נתון.

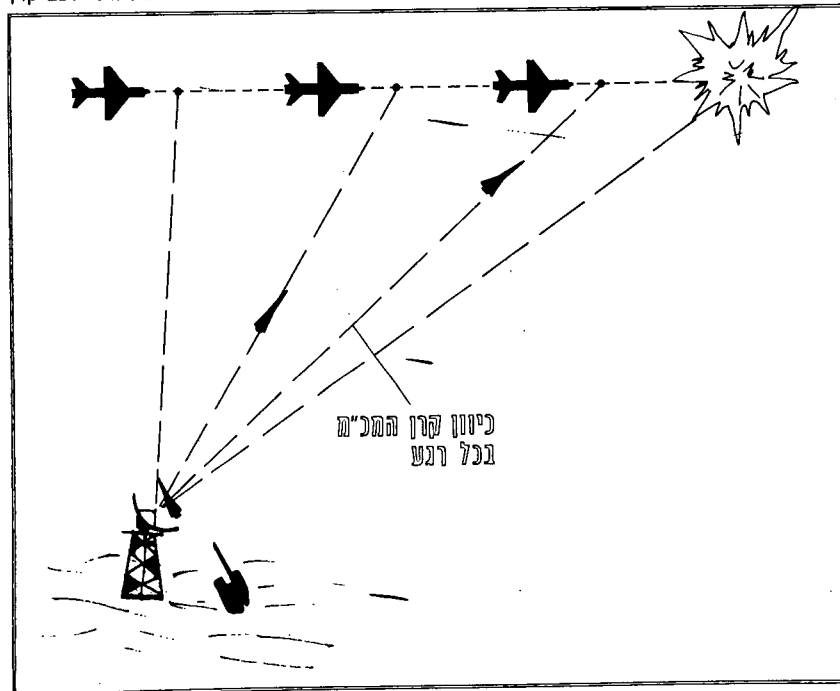
מסלולי טילים בליסטיים

מסלול מעופו של טיל בליסטי נגד מטרה קבועה ניתן לחלוקה ל-3 חלקים:



תרשים מס' 3: מסלול פרופורציונלי

תרשים מס' 4: מסלול רוכב-קרן



טיל בליסטי בלתי-מונחה הוא למעשה רקטה ארטילרית כמו ה"קטיושה". דיוקם של טילים אלה נמוך יחסית, וכתוצאה מכך יעילותם מעטה ביותר בטווחים העולים על כ-30 ק"מ.

שלב המעוף הממונע (השלב המונחה) הנחייט טילים נעשית באמצעות הגאים אירודינמיים או בעזרת המנוע**. הטיל

- שלב המעוף הממונע
 - שלב המעוף החופשי (השלב הבליסטי)
 - שלב החדירה* (תרשים מס' 5)
- הטיל הבליסטי עצמו יכול שיהא מונחה או בלתי מונחה. קיימות צורות אחדות של הנחיה. נוסף לכך מפתחים עתה אף אמצעי "ניווט סופי" (Terminal Guidance), המכוונים את ראש-הנפץ אל מטרתו ביתר דיוק.

** שיטות הניהוג הוסברו במאמר בנושא ההנחיה והניהוג, "מערכות" 211.

* במקרה של טיל קצר-טווח מטשטשת ההפדה בין השלב הבליסטי ושלב החדירה.

יונחה בקטע הממונע אם הוא רב שלבי, ובדרך כלל בכל שלביו. הקטע הבלתי-ממונע מתחיל בגובה רב מדי, ומערכת ההיגוי האוירודינמי לא תפעל בו. ניהוג סופי יפעל רק לאחר תחילתו של שלב החדירה, כלומר — שוב בתוך האטמוספירה.

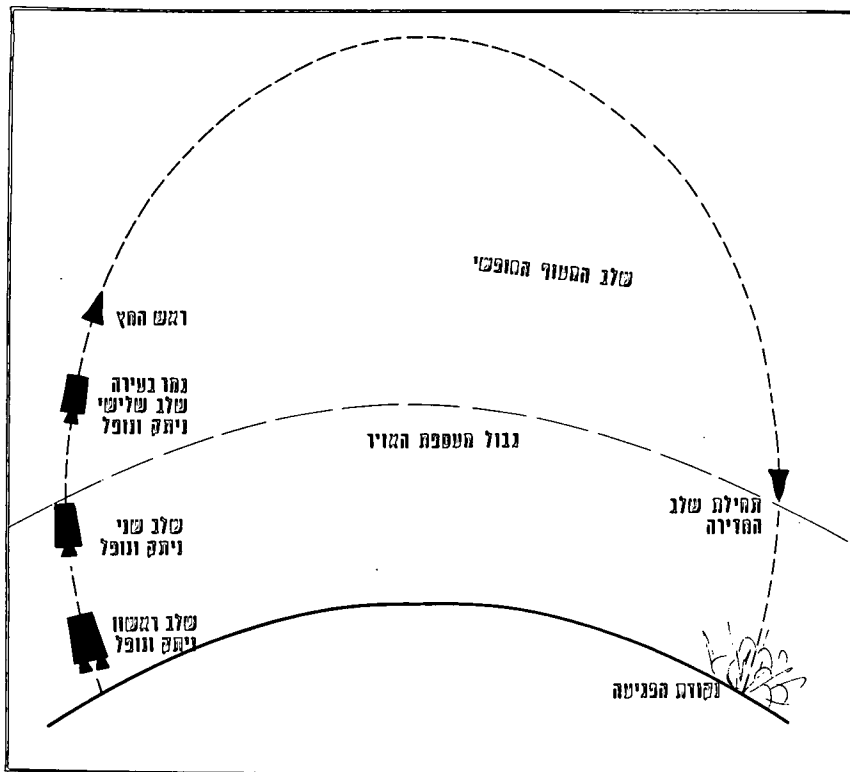
קיימות 3 שיטות של הנחיה לטילים בליסטיים.

- הנחיה על-ידי פיקוד מתמיד
- הנחיה מתוכנתת
- הנחיה אינרציאלית.

בשיטה הראשונה נקבע מקומו של הטיל בכל רגע על-ידי תצפית מכ"מ וטריאנגר לציה, ופקודות מתאימות מועברות אליו מן הקרקע בעזרת רדיו. חסרונה של שיטה זו בכך שהיא מעסיקה צוותים גדולי ציוד רב, ורגישה מאוד להפרעות. בשיטה השנייה מוכנסת תכנית-טיסה או-טומטית לתוך מערכת הפיקוד, הקובעת ומוסדת את פעולת המנוע וההגאים לכל שלב. שיטה זו אינה חשופה להפרעות, אך דיוק הפגיעה תלוי בדיוק ייצורו של הטיל, וכן בהשפעות חיצוניות כגון רוחות, צפיפות-אוויר שונה מן המצופה וכדומה. בשיטה השלישית קיימת בטיל משטחה מיוצבת: מערכת ג'ירוסקופים ומדי תאוצה משובה באורח שוטף את ביצועי הטיל ל-תכנית הטיסה, מגלה את הסטיות, ופקודת על מערכות ההנעה וההיגוי לתקן. זוהי השיטה המדויקת והבטוחה ביותר, אך מערכות מסוג זה עולות הון תועפות, ומחירן עלול להגיע למחצית ויותר ממחיר הטיל כולו.

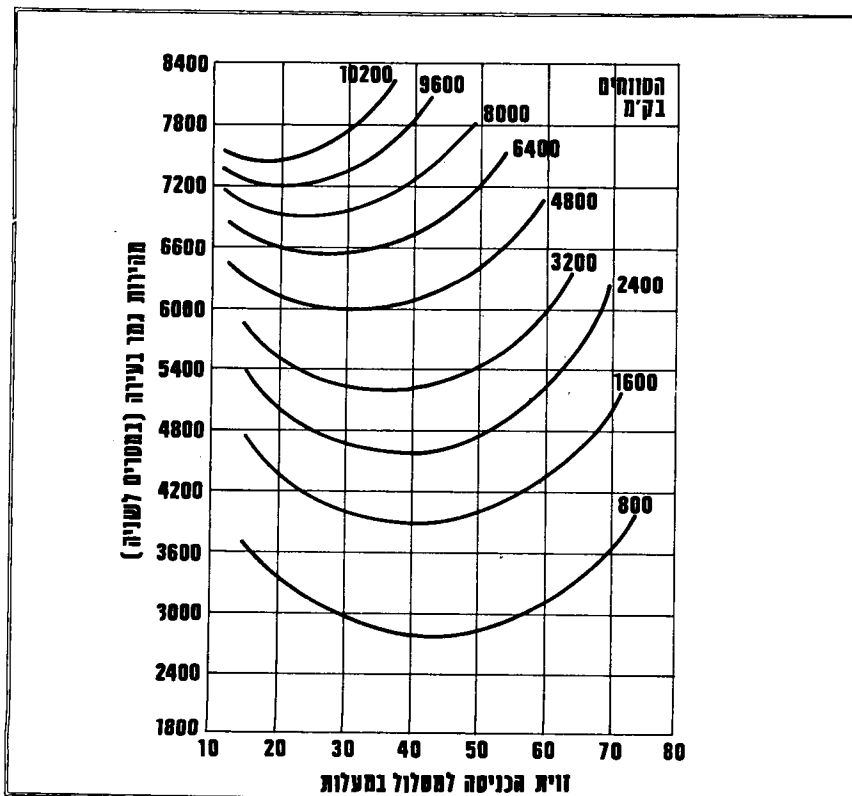
מסלול המעוף החופשי

המגמה במסלול המונחה היא להביא את הטיל לנקודה מסוימת ברקיע בזווית ובמהירות מוגדרת. בעזרת תכנון מתאים ימשיך הטיל משם במסלול טיסה חופשית (פרבולי), ויחזור לקרקע באיזור המטרה. עד לאחרונה השתמשו בעיקר במה שכונה מסלולי מינימום-אנרגיה: בגלל הביצועים השוליים של מרבית הטילים היתה המגמה להביאם לטווח המקסימלי, על-ידי כמות הדלק שהיה הטיל מסוגל לשאת. דוגמה לתלותו של הטווח (במסלול של מינימום-אנרגיה) במהירות גמר הבעירה (המהירות שהשיג הטיל ברגע שפסק מנועו לפעול) ובזווית המסלול נתונה בתרשים מס' 6. הקושי הטמון במסלולי מינימום-אנרגיה הוא בכך, ששרטוטים מן הסוג



תרשים מס' 5: מסלול של טיל בליסטי

תרשים מס' 6: הטווח כפונקציה של מהירות גמר הבעירה וזווית המסלול



האמור נמצאים בידי שני הצדדים היריבים. על-ידי עקיבה אחרי הטיל הממריא וקביעת נקודת גמר הבעירה וכן המהירות והזווית בגמר הבעירה, ניתן לחשב בקלות (בעזרת מחשבים) את מסלול הטיל ואת זמן טיסתו, וכך להעריך את נקודת הפגיעה. הדבר מאפשר הפעלת טילים נגד טילים.

אם לעומת זאת יירה הטיל בזווית שטוחה יותר (מן האידיאלית מבחינה בליסטית) יושגו שני הישגים: הטיל יתגלה במועד מאוחר יותר למערכת האתראה של האויב, ומסלולו יהיה צפוי פחות; ושני אלה יקשו מאוד על מערכת ההגנה. כאן ראוי עוד לציין כי בניגוד למקובל לא תמיד יושג הטווח המקסימלי בזווית 45° , כעולה בבירור מתרשים מס' 6. מתרשים זה מתברר גם, כי אם זווית ה-כניסה למסלול נתונה, ישנה רק מהירות אחת שבה יושג טווח מסוים. לעומת זאת למהירות נתונה יש לרוב שתי זוויות שבהן ניתן להשיג טווח זה. הדבר דומה, במידת מה, לירי מרגמה; ואכן, מסלולו החופשי של טיל בליסטי (במסלול מינימום-אנרגיה) דומה מאוד לזה של פצצת-מרגמה אחר שעזבה את הקנה.

שלב החדירה

מן הבחינה הטכנולוגית שלב החדירה הוא דבר קשה ביותר. ראש הנפץ חוזר לקרקע במהירויות גבוהות ופועלים עליו כוחות אוירודינמיים חזקים העלולים להיטותו ממסלולו. עקב המהירות הגבוהה (מאד 10 ומעלה) והחיתוך באויר הצפוף יותר ויותר, מתלהט ראש-הנפץ לטמפרטורות גבוהות מאוד ($1,000^\circ - 2,000^\circ$ צלסיוס), וטכניקות מיוחדות נדרשות כדי להתגבר על האפשרויות שהראש יינתן או יישרף כמטאוריט.

השיטה המקובלת ביותר כיום היא הגנת אבלאציה*. הצורות המקובלות ביותר לראשי-הנפץ של טילים בליסטיים נתונות בתרשים מס' 7. החצאית הרחבה והצורה הקטומה אמנם מוסיפות להתנגדות, אך גוף זה נחשב לבעל יציבות אוירודינמית

* ראה המאמר על מערכות הנעה, "מערכות" 210.

** על-ידי ניתוח אופיה של מעטפת הפלסמה הלוהטת סביב העצם. כמות הפלסמה ומידת היוניזציה שלה נקבעות לפי מסת העצם, מהירותו וצורתו, ויהיה הבדל ניכר בין ראש נושא פצצה לטיל-דמה.

מקסימלית במינימום של עילוי, ושתי תכונות אלה חשובות להשגת פגיעה בקרקע בנקודה צפויה מראש ותוך הקטנתן של השפעות חיזוניות.

עזרי חדירה ואמצעי-נגד

עד כה עסקנו במסלולים, כולל מסלולים של טילים בליסטיים. נדון גם באמצעי-הנגד ועזרי-החדירה של טילים בליסטיים, כיוון שאלה קשורים קשר הדוק בתכנון מסלוליהם של הטילים.

בשל פוטנציאל-ההרס העצום הגלום ב-פצצה הגרעינית, שוקדות שתי מעצמות העל על שכלול האמצעים נגד טילים שברשותן. בצורה דומה מנסים שני הצדדים לנחש מה תהיינה ההתפתחויות ב-כיוון זה בצד שכנגד, ולקדמן בעזרת שכי-לולים בטיילים עצמם. אם עוד לפני כ-7 שנים ראו כהישג, כי 60% מן הטילים הנורים יגיעו אל איזור מטרם, נחשבת "הצלחה" מעין זו כיום חסרת סיכוי במל-חמה עתידה. שיטות ההתגברות על מערכי-הנגד של ההגנה הן ארבע:

- מניעת גילוי מוקדם
- הטעיה
- התחמקות
- הרוויה

יירוט טילים מבוסס בעיקר על הטכניקות המקובלות של ירי קרקע-אויר, אלא שני-תן להחיל עליהן את הסיסמה האולימפית: "יותר גבוה; יותר מהר; יותר חזק".

השלב הראשון הוא, כמובן, שלב הגילוי: המגן מנסה לוודא כי אכן נורו טילים בליסטיים ללא הודעה מוקדמת ובמספר העלול להצביע על כוונות תוקפניות (עניין ההודעה המוקדמת אינו מגוון כפי שנראה אולי ממבט ראשון: בשעת ניסויים לטווח בין-יבשתי מודיעים או רומזים אפילו הרוסים, ולאחרונה כנראה גם הסינים, על כוונותיהם, הן כדי לתת אתראה לתנועת ספינות באיזור המטרה והן מסיבות תעמולתיות).

איכון ירי מעין זה נעשה בעזרת לווייני-ריגול ובהם מצלמות טלוויזיה עם שידור מיידי של התמונה וכן באמצעות מעקב אחרי מקורות תת-אדומים וגזים מיוננים, כגון אלה הנפלטים ממנועי רקטה גדולים. מכשירי מכ"מ משוכללים, המסוגלים ל-אות אל מעבר לאופק, מקיימים אף הם מעקב מתמיד על הנעשה בצד השני, וכל פעילות פתאומית היוצאת מגדר הרגיל מנותחת לאור האפשרות כי אכן זו התקפה.

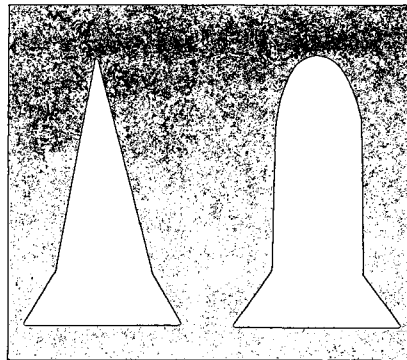
אם אכן יירו הטילים ינסה המגן לקבוע במהירות המקסימלית את מסלוליהם ומטרתיהם האפשריות על-ידי ניתוח מסלולי היציאה (כזכור, במסלול בליסטי דומה מסלול הכניסה למסלול היציאה). חישוב מעין זה גוזל זמן, והפעלת טילי יירוט ונסיקתם תימשך אף היא דקות מספר. ברור, אם כן, כי ככל שיתעכב גילוי ה-שיגור, תתקשה ההגנה ביירוט, וכך ירויח התוקף זמן יקר, שיידרש לו להפעלת כל אמצעי לפני בוא מכת-הנגד. זהו השלב הראשון של עזרי-החדירה: הימנעות מ-גילוי מוקדם. בשלב זה קשה להסתיר את השיגורים עצמם, והטכניקה תהיה בחירת זמן בו נמצא מספר מינימלי של לוויינים במסלול, והפעלת אמצעים למיסוך מכשירי הלוויינים ותחנות המכ"מ על-ידי לחימה אלקטרונית. שלב זה אינו מצמצם לזמן ההמראה בלבד, ונמשך כמעט עד הפגיעה. בנקודות נבחרות לאורך המסלול יפזר הטיל אמצעי מיסוך, כגון פיסות אלומי-ניום או בלונים מצופים בחומר מתכתי, אשר ימלאו את מסכי המכ"מ בהדים ויקשו על איכון הטיל עצמו. משתדלים גם לתכנן ולבנות את ראש-הנפץ עצמו בצורה שתגרום להד מכ"מ קטן ביותר. מסתבר כי צורת החרוט (קונוס), לבד מיתרונותיה האוירודינמיים, יעילה ביותר מבחינה זו. כן פותחו סוגי ציפוי, בדומה לצבע, הבולעים חלק מקרני המכ"מ וגור-מים להחזרת אות מעוות וחלש.

מאחר שמרבית אמצעי המיסוך יעילים רק לפרקי-זמן קצרים לאחר הפעלתם (את אופיים ניתן לנתח באמצעים שונים) ייעשה ניסיון ללוות את הטיל עצמו ב-אמצעי-הטעיה שונים. אלה תהיינה רקטות קטנות, אשר תיפרדנה מן הראש עצמו ותיצורנה באמצעים מלאכותיים הד מכ"מ דומה לזה של הראש האמיתי. כיוון שה-מגן לא ידע מייד איזו מהן נושאת פצצה, ייאלץ להפריש אמצעים להשמדת כולן או לפחות, לזיהוין המדויק — ודבר זה ניתן אמנם לביצוע**, אך גוזל זמן יקר. עם התקרבות הטילים לנקודת החדירה יופעלו טילי היירוט. מסלוליהם ייקבעו על-ידי ניתוח מסלולו של הטיל הנכנס, ובגלל המהירויות שבהן מדובר, יהיו אלה לרוב מסלולי התנגשות, או לכל היותר מסלולים פרופורציונליים. בגלל הצורך בתאוצות גבוהות בהמראה, לא ישאו הטי-לים מערכות-ניהוג משוכללות (וכבדות), וניהוגם ייעשה מן הקרקע. אם לאחר

כיום הוא 4,500 ק"מ, ומעריכים כי ניתן יהיה להגדילו עד כ-5,500 ק"מ. הארכת-טווחים זו תאפשר לצוללות לפטרל במרחק רב יותר מחופי האויב, ותעניק להן גמישות רבה יותר בבחירת מטרותיהן.

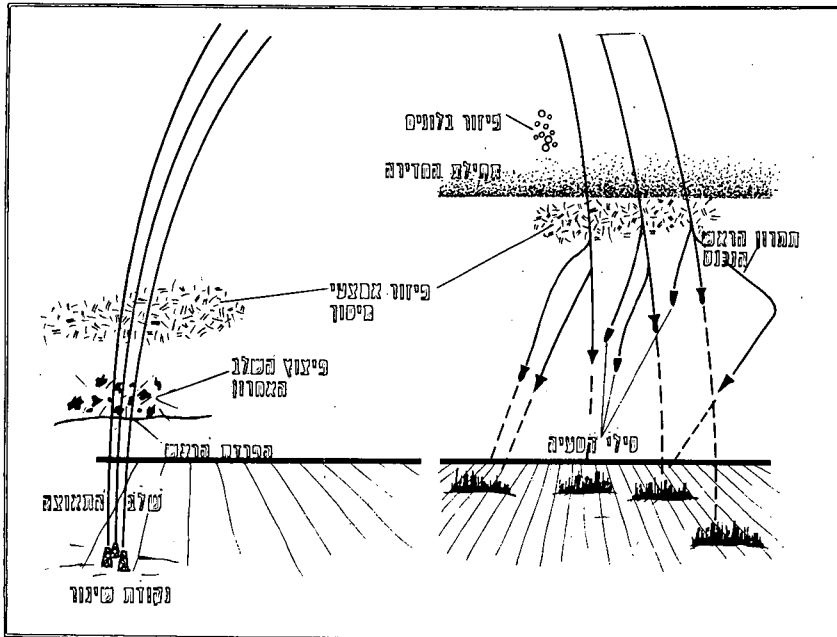
מבט לעתיד

המדענים, ובמקביל להם קציני הצבא, חוזים עתיד ללייזר כנשק נגד טילים. הלייזר הוא כידוע קרן-אור מסוג מיוחד,



תרשים מס' 7: צורות מקובלות של טילים בליסטיים

תרשים מס' 8: עזרי חדירה לטילים בליסטיים



המראת הטילים יעשה הראש הנכנס פעולת-תמרון, ואפילו פשוטה (הדבר נ"ת לביצוע על-ידי רקטות מוצקות קטנות או אפילו באמצעים אירודינמיים). יחייב הדבר את מערכת ההגנה לחשב מחדש את מסלול החדירה, לחשב מסלול-התנג-שות חדש, ולהפנות את טיל היירוט ב-כיוון חדש זה.

אם יבצע הטיל הנכנס תרגיל כזה פעמים אחדות, עלול להיווצר מצב שבו לא תספיק מערכת ההגנה לפתור את הבעיה האחרונה — והיירוט ייכשל. מספר עזרי-חדירה מתוארים בתרשים מס' 8.

שיטה אחרת היא שיגור הטיל מלכתחילה במסלול מונמך. דבר זה יעכב את הגילוי, ובגלל שינוי אופיו של המסלול יקשה על מערכת ההגנה לנתחו. האמצעי האחרון הוא שיגור מספר טילים רב ככל האפשר בהנחה שמערכת ההגנה אינה מסוגלת לספל בכולם. שיטה אחרונה זו פותחה למה שנקרא MIRV (Multiple Independently-Targetable Reentry Vehicles) והיא גורסת הרכבת 4—10 ראשי-נפץ על טיל בודד. לפני החדירה מתפרק הראש למרכיביו, שכל אחד מהם מיועד למטרה נפרדת, או לאותה מטרה אך במסלולים שונים (ראה תרשים מס' 8). הגשמת שיטה זו נתאפשרה רק לאחר פיתוח נרחב של אמצעי הנחיה והשגת דיוק גבוה.

הרוסים פיתחו לפני שנים אחדות את ה-FOB (Fractional Orbit Bombing System). הרעיון דומה לזה של המסלול המונמך — אך הפוך. אם הפצצה כולה תיכנס למסלול סביב כדור-הארץ לא תהיה נקודת הפגיעה על הקרקע תלויה ב-צורת המסלול אלא בנקודת היציאה ממנו — וזוהי כמובן פונקציה של זמן, ואינה ניתנת להערכה מראש. כלומר, אתראה ראשונה על מטרה אפשרית תינתן רק עם היציאה מן המסלול, ובמקרה זה הזמן המקסימלי הנותר הוא כ-2-3 דקות עד הפגיעה. חסרונה של שיטה זו הוא הצורך במנועים גדולים יותר ובמערכת בקרה משוכללת מאוד.

כנגד זאת ניצב ה-ABM (Anti Ballistic Missile) הטיל נגד טילים. ברור עתה מדוע נטוש בעיקר בארה"ב הוויכוח, בו מועלות מזה הטענה כי ל-ABM אין סיכוי, ומזה הטענה כי מוטב מעט מלא כלום, וכן טענה חשובה יותר, וכנראה מוצדקת, הגורסת כי אם יימשך הפיתוח הנוכחי ישוכלל לבסוף אמצעי-הנגד וב-

עוד שאם לא ייעשה דבר בשלב הנוכחי לא יושג כל הישג.

במתכונתו הנוכחית הטיל-נגד-טילים הוא טיל דו-שלבי בעל תאוצות-המראה של למעלה מ-100 g וראש-נפץ גרעיני. בפיצוץ מעל האטמוספירה מתפשטת הקרינה ל-מרחק רב יותר מאשר באטמוספירה והשי-פעתה חזקה יותר. אם יפעל ראש כזה ליד ראש-נפץ נכנס, עלול הפיצוץ להסיטו ממסלולו, להרוס בתוכו מנגנוני הפעלה, או אף לגרום לפיצוץ בגובה בטוח.

האמצעי היחיד שהוכח עד כה כיעיל במניעתה של מלחמה גרעינית אינם אמצעי הנגד, אלא מושג ההרתעה. יצויין כי הרוסים והאמריקנים — ובמיוחד האחר-נים — נוטים להעביר את כוח-ההרתעה יותר ויותר לטילים תת-מימיים מסוג „פוי-סיידון", „פולאריס". טווחו של „פויסיידון"

המרכוז אנרגיה מרובה על שטח קטן. בשימוש מלחמתי יופעל הלייזר להריסת טילים (או כל מטרה אחרת) בעזרת קרן חום רבת-עוצמה. יתרונה של קרן כזאת הוא בהיותה ניתנת בקלות לכיוון אף נגד מטרות הנעות במהירות גבוהה, ומבחינה זו עולה יעילות הפעלתה במידה רבה על זו של טיל. נקודה שניה: הזמן בין ההפ-עלה לפגיעה הוא למעשה 0. אור מתפשט, כידוע, במהירות עצומה לאין ערוך מזו של טילים, והדבר מאפשר העסקת מטרות רבות יותר בזמן קצר יותר. אמצעים אלה נמצאים עדיין בשלבי פיתוח בעיקר בגלל דרישות האנרגיה העצומות שלהם, אך מחקר ענף מאוד מתנהל בכיוון זה, ונמסר לאחרונה כי שוקלים עתה הכנסת הלייזר כנשק במטוסי-הקרב החדשים שמפתחת ארה"ב.