

קרני מוות, קרני חיים

מערכות המבוססות על לייזר ממלאות יותר ויותר תפקידים בשדה הקרב הן ברמה הטקטית והן ברמה האסטרטגית. מאז שנות ה-60 ממלא הלייזר תפקיד בתחום בקרת האש וכינון החימוש. בשנים הקרובות נראה מערכות של לייזר רבי-עוצמה להגנה בפני טילים בליסטיים לטווחים שונים.

רס"ן (מיל') חיים / סא"ל יוני - רע"ן לוחמה אופטרונית

בין שידורו לקליטתו. הפולס נע, כמובן, במהירות האור, ומכך נגזר הטווח אל המטרה הנמדדת. טווח זה משמש, למשל, במערכות בקרת אש של טנקים לחישוב פתרון בליסטי לפגיעה אופטימלית. מציין לייזר משמש להארת מטרה נבחרת בכתם לייזר, ואילו חימוש מונחה לייזר – פצצה או טיל – עושים שימוש בחישון לייזר לשם התבייתות על המטרה.

בין המערכות הכוללות מדי טווח ומציינים ניתן להזכיר את מערכות בקרת האש לטנקים מסוג "גל" ו"בז", את מערכת ה-NTS למסוקי ה"קובר" ואת מטעדי הציון למזל"טים ופוד התקיפה "לייטינג" למטוסי קרב. מערכת מעניינת נוספת היא

LORD (Laser Obstacle Ranging and Detection) של "אלאופ", המיועדת להתקנה על מסוקי חיל האוויר, ושתאפשר לטייסים לגלות מכשולים שונים ולהימנע מפגיעה בהם, כמו קווי מתח גבוה, אנטנות ועוד.

פיתוחן של מערכות מתקדמות מסוגים אלה נמשך בישראל ובעולם תוך שימת דגש למעבר לפעולה באורכי גל הבטוחים לעין – בעיקר כדי למנוע תאונות אימונים.

בתחום מערכות הנשק קיים גם מכ"ם לייזר, המשמש כראש ביות לחימוש מסוגים שונים (דוגמת LOCASS האמריקני). יתרונו של ראש ביות כזה נעוץ ביכולתו להפיק תמונה משולבת של עוצמה ושל טווח ובכך לאפשר גילוי וזיהוי אוטומטיים יעילים של מטרות שונות.²

היישומים הצבאיים של הלייזר החלו זמן קצר לאחר המצאתה של הטכנולוגיה, בשנות ה-60

הקדמה

הלייזר הוא מקור קרינה, העושה שימוש באפקט פיזיקלי-קוונטי להפקת אלוהמה המתאפיינת במונוכרומטיות, בקוהרנטיות גבוהה ובזווית התבדרות נמוכה. התכונות האלה מאפשרות הקרנה לטווחים ניכרים וגילוי יעיל של הקרינה הישירה או החזרים שלה. הלייזר מבוסס על חומר הנמצא בתוך מהוד אופטי, ושתיכונותו הפיזיקליות מאפשרות את קיום האפקט. ישנו מגוון רב של חומרים (מוצקים, נוזלים וגזים) המאפשרים לזירה במגוון אורכי גל – מהעל-סגול ועד התת-אדום הרחוק. היישומים הצבאיים של הלייזר החלו זמן קצר לאחר המצאתה של הטכנולוגיה,

בשנות ה-60. אלה כוללים שימושים, המוכרים היטב היום, של מדי טווח, מציינים להנחיית חימוש או מערכות הנחיה לטילים רוכבי קרן. שימושים אלה נפוצים היום ברוב הצבאות. מערכות נשק אלה ימשיכו להיות חלק משמעותי מהסדר"כ של נשק מדויק גם בשנים הבאות, אף שהמודעות אליהם רבה, ובעקבות כך גם פותחו מערכות לגילוי לזירה ומערכות-נגד. יישומים נוספים, נדירים יותר, כוללים מערכות לגילוי חל"כ ומערכות מכ"ם לייזר (למשל כמערכת התרעה בפני מכשולים למסוקים).

מערכות לייזר בשדה הקרב הנוכחי

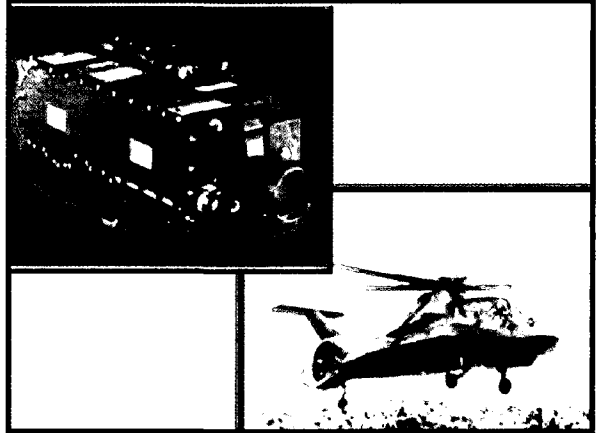
צה"ל הוא בין הצבאות המתקדמים בעולם ביישום מערכות לייזר בשדה הקרב. רוב המערכות האלה שבשירותו פותחו בתעשייה הישראלית. מדי טווח ומציינים של "אלאופ" משולבים במערכות נשק לטנקים, למסוקים ולמטוסים – מאוישים ובלתי מאוישים. המערכות עצמן מפותחות על-ידי "אלביט", התעשייה האווירית ורפא"ל. מרכז פיתוח נוסף לטכנולוגיית לייזר מתקדמת נמצא במרכז למחקר גרעיני בנחל שורק. יש לציין כי ישראל הייתה חלוצה ביישום של לייזר שאוב דיודות¹ ליישומים צבאיים.

מד טווח מבוסס על הקרנת פולס של לייזר ומדידת הזמן

קין מוות?

מייד עם המצאת הלייזר ייחסו לו את המונח "קרן המוות" בהשראתם של ספרי המדע הבדיוני, ונבחנה האפשרות ליישמו כנשק. כל הניסיונות כשלו, כיוון שהטכנולוגיה לא הייתה בשלה באותה עת להפיק את העוצמות הנדרשות. עם הזמן התקדם המחקר בתחום הלייזרים רבי העוצמה – לר"ע (HEL - High Energy Lasers), המבוססים בעיקר על טכנולוגיית הלייזר הכימי, והחלו להתגבש פתרונות

מציין/מד טווח ישראלי המשולב במסוק ה"קומנצ"י" האמריקני



מערכתיים ליישומים שונים. תחום זה הנו חלק מתחום רחב יותר, הנקרא נשק אנרגיה ישירה (DEW - Directed Energy Weapon), והכולל גם מיקרוגל רב-עוצמה (HPM) וקרני חלקיקים.

מתקן ידוע, המשמש עד היום לניסוי ולהנבטה של מערכות, מצוי בווייט-סנדס שבניו-מקסיקו, ארה"ב. מדובר ב-MIRACL (Mid-Infra-Red Advanced Chemical Laser) המבוסס על לייזר כימי HF/DF (מימן פלואוריד/דוויטריום פלואוריד)³. בעוצמה של שני מגוואט ובאורך גל (על-פי פרסומים שונים) של 3.8 מיקרון. המתקן מצויד גם במערכת הכוונת אלומה, המאפשרת להקרין את האלומה בדיוק רב. המתקן הזה שימש לבחינת הבעיות המערכתיות השונות הכרוכות בהפעלת לייזר רב-עוצמה.

אחת מהן היא השרידות של המכלולים האופטיים של הלייזר עצמו, העומדים במאמצים רבים עקב הטמפרטורה הגבוהה שהם עלולים להגיע אליה. בעיה אחרת שנחקרה באינטנסיביות היא האינטראקציה של אלומת הלייזר רב-עוצמה עם התווך האטמוספירי. השפעת האטמוספירה על מערכות הלייזר דלות העוצמה באה לידי ביטוי באמצעות מנגנונים של הנחתה (בליעה ופיזור אטמוספיריים) וטורבולנציה. כאשר הלייזר הוא רב-עוצמה, מופיעות תופעות לא לינאריות הנובעות מחימומו ומיינונו של האוויר (Thermal Blooming). התופעות האלה גורמות להרחבת האלומה ומקשות על העברת ההספק אל המטרה באופן יעיל. כדי להתמודד עם הבעיה הזאת יש להשתמש בטכנולוגיות מתקדמות של עיצוב אלומה ושל אופטיקה מסתגלת.

נוסף על המחקרים הבסיסיים בוצעו מספר ניסויים – בהובלת הצי האמריקני – שבהם הופלו מטרות שונות שדימו טילי שיוט, מטוסים ללא טייס ועוד. מערכת ידועה שצמחה מהמחקר הזה היא ה-THEL (Tactical High Energy Laser), הנקראת גם "נאוטילוס". זהו פרויקט המשותף למשרד ההגנה האמריקני ולמשרד הביטחון הישראלי, ומטרתו לפתח

מערכת הניתנת לפריסה בגבול הצפון של ישראל, ואשר תוכל ליירט מטחי קטיושות. כבר נערכו מספר ניסויים במערכת הדגמה, שבהם יורטו קטיושות בודדות ומטחים של שתי קטיושות. למערכת זו יישומים אפשריים גם מול מטרות אוויריות אחרות. יתרונותיה הברורים הם יכולתה להגיב במהירות ולהעסיק בעת ובעונה אחת מספר רב של מטרות. המרכיבים הבסיסיים של מערכת זו (אשר מייצגים גם את המבנה המערכתי העקרוני של כל מערכת לייזר רב-עוצמה) הם כדלקמן:

- מערכת גילוי ראשונית (בדרך כלל מבוססת על מכ"ם).
 - מערכת עקיבה אלקטרואופטית מדויקת, המשמשת גם להערכת נזק ולווידוא השמדה.
 - מערכת הכוונת אלומה.
 - מכלול הלייזר עצמו – כולל מקורות האנרגיה שלו.
- בניסויי ההדגמה המוצלחים הוכחה היכולת הטכנולוגית לעקוב אחר מטרה מהירה בדיוק רב ולייצב אלומת לייזר למשך מספר שניות – פרק זמן המספיק כדי להשמיד את הקטיושה. גרסה מוקטנת וניידת של ה-THEL (Mobile THEL) נמצאת בשלבי בדיקה.

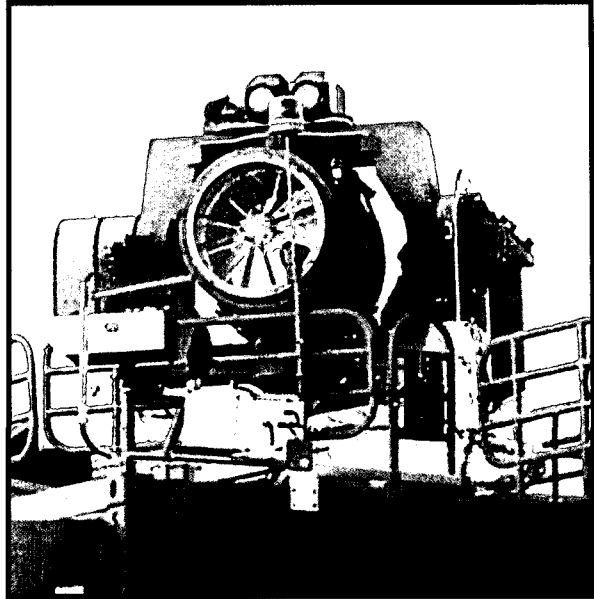
פרויקט גדול עוד יותר, אשר אומנם מוגדר עדיין כתוכנית הדגמה, אך ממומן במיליארדים רבים של דולרים הוא ה-Airborne Laser (ABL). מדובר במערכת לייזר מוטסת, המיועדת ליירט טילים בליסטיים טקטיים דוגמת ה"סקאד" מטווחים של מאות קילומטרים. המערכת היא מטוס "בואינג" 747-400 שמוסב לנשיאת מספר מערכות הכוללות:

- לייזר כימי חמצן-יוד רב-עוצמה (Chemical – COIL Oxygen Iodine Laser), המפיק הספק העולה על 3

מייד עם המצאת הלייזר ייחסו לו את המונח "קרן המוות" בהשראתם של ספרי המדע הבדיוני, ונבחנה האפשרות ליישמו כנשק

- מגוואט באורך גל של 1.3 מיקרון. מכלול הלייזר תופס את רובו של תא המטען של המטוס.
- באפו של המטוס יותקן צריח הכולל טלסקופ מראות בקוטר של כמטר וחצי, שיאפשר לרכז יותר ממגוואט של הקרינה לאלומה בקוטר מיקרורדיאן (כ-60 חלקי מיליון של מעלה) ולהפנותה בתחום זוויתי רחב. המכלול האופטי יכיל גם אלמנטים של אופטיקה מסתגלת מתקדמת לטיפול בבעיות של טורבולנציה והרחבת אלומה.
- הכוונת האלומה תיעשה באמצעות עוקב תת-אדום בעל כושר הפרדה גבוה, שיעזר גם בלייזר הכוונה שיוחזר מטיל המטרה.
- הגילוי הראשוני של הטילים המשוגרים ייעשה באמצעות

מערכת ההדגמה של "נאוטילוס" (מכון האלומה)



חישני תת-אדום (Infrared Search & Track – IRST), שיתנו כיסוי מלא סביב המטוס.

אב-הטיפוס הראשון נמצא בשלבי הכללה (אינטגרציה, שילוב המכלולים השונים למערכת אחת) מתקדמים לקראת ניסויי הטיסה, שיחלו בשנה הבאה. אם הניסויים יעברו בהצלחה, מתכוון חיל האוויר האמריקני לרכוש כמה מטוסים כאלה, שאותם יוכל להעביר לזירות עימות שונות בעולם.

"נאוטילוס" הוא פרויקט המשותף למשרד ההגנה האמריקני ולמשרד הביטחון הישראלי, ומטרתו לפתח מערכת הניתנת לפריסה בגבול הצפון של ישראל, ואשר תוכל ליירט מטחי קטיושות

כדי להגן על כוחות אמריקניים שנפרסו באיזור או על מדינות בעלות-ברית.

במהלך פרויקט ה-ABL (Air Born Laser) נבחנים ומקודמים תחומים מחקרניים רבים, שלהם משמעות לגבי פעולתו של לר"ע, כמו טורבולנציה (בעיקר בגובה רב), אופטיקה מסתגלת, מנגנוני הרג של מטרות (בעיקר טילים) ועוד. הפעלת הלייזר תיעשה, כאמור, ממרחקים של מאות ק"מ, בשעה שהמטוס משייט בגובה של כמה עשרות אלפי רגל, וטייל המטרה נמצא גבוה עוד יותר, מעל לגובה העננים. השמדת הטייל מתוכננת להתבצע כאשר הוא עדיין בשלב שבו פועל המנוע הרקטי. חימום הגוף באמצעות הלייזר אמור לגרום לקריסתו של המנוע בעיצומם של מאמצי ההאצה.

יישום נוסף להגנה בפני טילים בליסטיים נעשה ע"י לייזר שבסיסו בחלל (Space Based Laser – SBL). גם זו תוכנית הדגמה אמריקנית, שמטרתה להציב לייזר כימי במסלול בחלל ולהדגים יירוט והשמדה של טיל בליסטי. הניסוי מתוכנן לשנת 2012. החזון ארוך הטווח כולל מערך של 20 עד 40 לוויינים בעלי כיסוי גלובלי ויכולת תגובה מהירה להשמדת כל טיל בליסטי הנורה בכל מקום בעולם. יש לציין כי בכל התוכניות שצוינו עד כה מעורבת חברת TRW, המובילה בתחום טכנולוגיית הלייזרים הכימיים רבי-העוצמה.

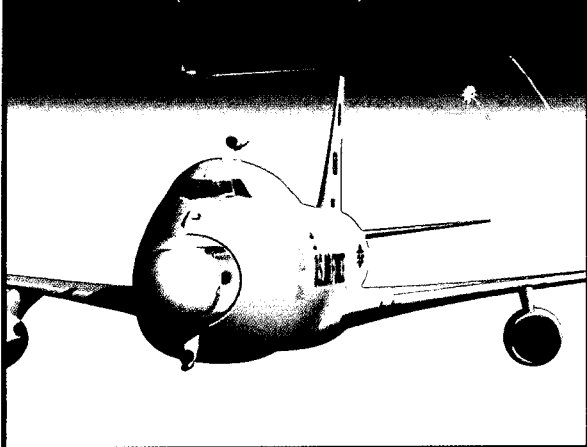
פרויקט נוסף שבו תיושם טכנולוגיית ה-COIL הינו הלייזר הטקטי המוטס (ATL – Airborne Tactical Laser). מערכת זו מבוססת על לייזר בממדים המתאימים להטסה במטוס הטיית הרוטור V-22 או במסוק ושיוכל לשמש ליירוט טילי שיוט או טילים נגד ספינות ואף לפגוע במטרות קרקעיות.

גרסאות שונות של לייזרים רבי-עוצמה נבחנות להתקנה גם על ספינות ועל כלי-רכב. אחד מערוצי המחקר מתמקד בפיתוח של לייזרים המבוססים על מצב מוצק, וזאת כדי להימנע מהבעייתיות הכרוכה בחומרי הדלק של הלייזרים ומפניו תוצרי הפעולה הרעילים שלהם. הבעיה המרכזית הכרוכה בלייזר מצב מוצק היא הצורך שלו בהספק חשמלי משמעותי לפעולתו. במסגרת המחקר הזה נבחנים לייזרי סב בהספק כולל העולה על 100 קילוואט. בימים אלה נבחנת התקנה של מערכת טקטית המבוססת על לייזר מצב מוצק בעוצמה בינונית על רכב "האמר".

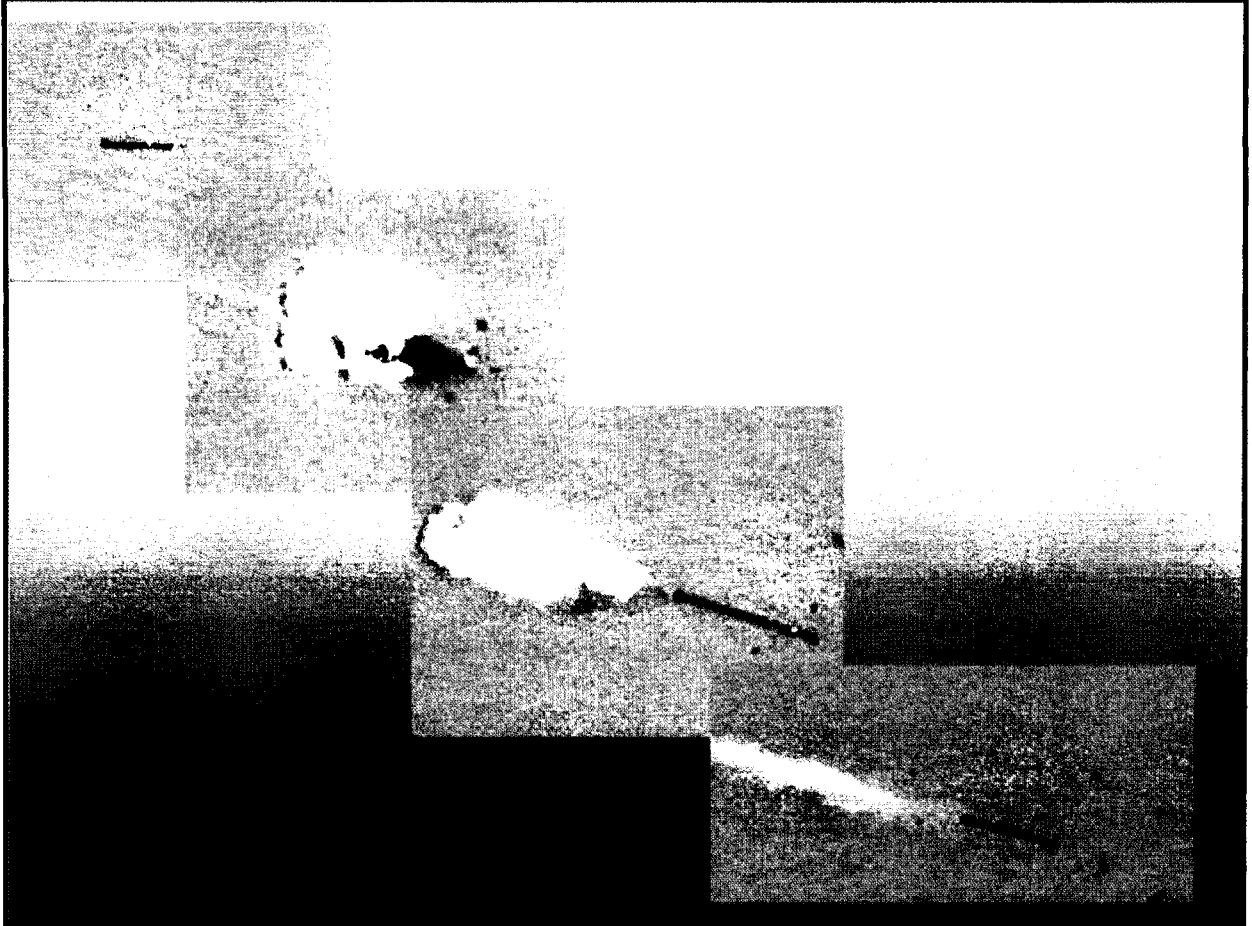
קרני חיים

סימן השאלה בכותרת הסעיף הקודם (קרן מוות?) מובן אם בוחנים את אשר הוצג עד כה. המסקנה היא כי ברוב המקרים מתוכננים הלייזרים רבי-העוצמה כמערכות הגנתיות מובהקות ליירוט טילים מסוגים ומגדלים שונים – מקטיושות

מטוס ה-ABL (Air Born Laser)



"בואינג 747" מוסב לתוחח לייזר מעופף



- מערכת גילוי, שמבוססת במקרה זה על חיישנים אלקטרואופטיים בתחום התת-אדום או העל-סגול.
- עוקב מדויק.
- מערכת להכוונת אלומה.

מובן שהממדים הכוללים של מערכות ההגנה העצמית קטנים משמעותית מאלה של לר"ע, אחרת לא ניתן היה להתקינן על פלטפורמות טקטיות.

דוגמא למערכת כזאת, שהדגימה ביצועים מול טילים שונים בניסוי של ירי חי, היא חליפת ה-ATIRCM (Advanced Threats IR Countermeasures), המיועדת להתקנה על מסוקי הצבא האמריקני. מערכת זו אמורה להגן על המסוקים בעיקר מפני טילי כתף למיניהם. החליפה כוללת מערכת התרעה עם חיישנים בתחום העל-סגול, מערכת לייזר מיוחדת, (הלייזר כולל גבישים מיוחדים הקרואים גבישים אופטיים לא לינאריים, המשמשים להמרת אורך הגל לתחום הרצוי) עוקב תת-אדום ומטעד לעקיבה ולהכוונת אלומה. אורך הגל של הלייזר הוא באיזור ארבעה מיקרון, כלומר בתחום הקליטה של טילים מתקדמים. לייזרים מולטי-ספקטראליים, המפיקים קרינה במספר אורכי גל רלוונטיים,

ועד טילים בליסטיים. תחום נוסף – הגנתי גם כן – שבו תופסים הלייזרים מקום הולך וגדל הוא אמצעי-הנגד האלקטרואופטיים. כאן אין מדובר בעוצמות גבוהות המיועדות להשמיד, אלא בעוצמות נמוכות ובינוניות, המיועדות לשבש או לסנוור ראשי ביות ומערכות הנחיה של טילים.

ברוב המקרים מתוכננים הלייזרים רבי-העוצמה כמערכות הגנתיות מובהקות לירוט טילים מסוגים ומנדלים שונים

טילים מתקדמים חסינים במידה רבה בפני נורים ושבשים קונוונציונליים בעלי עוצמה נמוכה. כדי להבטיח שיבוש חזק בהסתברות גבוהה יש לכוון אליהם אלומת לייזר, שתביא שטף קרינה גבוה אל כיפת הטיל. מערכת כזאת, הקרויה שבש כיווני (Directional Infrared Countermeasure – DIRCM) כוללת מרכיבים מערכתיים הדומים מאוד לאלה של מערכת הנשק המבוססת על מערכת לייזר רבי-עוצמה:

סיכום

מערכות המבוססות על לייזר ממלאות יותר ויותר תפקידים בשדה הקרב הן ברמה הטקטית והן ברמה האסטרטגית. מאז שנות ה-60 ממלא הלייזר תפקיד בתחום בקרת האש וכינון החימוש (כמד טווח, כמציין או כמחולל אלומת הנחיה). בשנים הקרובות נראה מערכות של לייזר רב-עוצמה להגנה בפני טילים בליסטיים לטווחים שונים ובפני טילים טקטיים – בין היתר על-ידי שיבוש מנגנוני ההנחיה שלהם. במקביל לפיתוח טכנולוגיית הלייזר יש גם לפתח אמצעי מיגון כדי להגן על כוחותינו מפגיעתו של נשק הלייזר ברמותיו השונות.

הערות

1. שאיבה היא הפעולה המשמשת להעלאת רמת האנרגיה בלייזר.



לייזר בחלל משמיד טיל

נמצאים בשלבים שונים של פיתוח ושל הערכה. עוצמת הלייזר היא כזו שמנגנון ההפרעה פועל באמצעות שיבוש, כלומר אפנון בתדרים מסוימים, המפריעים למנגנון העקיבה של הטיל.

מערכת אחרת היא ה"נמסיס" מפיתוחה של "נורתרופ גרומן". למערכת זו שתי גרסאות – הקטנה שבהן מיועדת להתקנה על מסוקים, והגדולה מיועדת למטוסי תובלה בינוניים. המערכת הנוכחית, שנרכשה והותקנה על-ידי הצבא הבריטי ופיקוד הכוחות המיוחדים של ארה"ב, אינה כוללת לייזר, אלא מנורות קשת (מנורות רבות עוצמה), אך לייזר כבר פותח וישולב בגרסאות הבאות.

מערכות בעלות עקרון פעולה דומה מפותחות גם למטוסי קרב ותובלה. הפרויקטים המובילים בתחום

מטוסי הקרב הם ה-TADIRCM (Tactical Aircraft DIRCM) של הצי האמריקני ו-DART (Defense Avionics Receiver) של חיל האוויר הבריטי.

עבור מטוסי התובלה שלו מפתח חיל האוויר האמריקני את ה-LAIRCM (Large Aircraft IRCM), המיועדת למטוסים שונים ובהם ה-C-17. מערכות אלה אמורות לפעול נגד טילי כתף ונגד טילי אוויר-אוויר, ובאחרונה גם הופגנו ביצועי ה-TADIRCM בניסויים של ירי חי.



תפיסת אמן של מערכת DART הבריטית

- בעבר היא התבססה על מנורות, ואילו היום – על דיודות.
- ראש הביות הזה מבוסס על שידור רציף של פולסים של לייזר. זמן החוזר משמש להפקת הטווח, ועוצמתו של החוזר משמשת להפקת התמונה.
- בלייזר כזה מקור האנרגיה הוא תגובה כימית בין חומרים שונים.

