

לייזרים

(השימוש הצבאי)

עקרון הפעולה

הלייזר הוא מקור-אור חדש, שנתגלה לפני כ-10 שנים בלבד. ראשי התיבות של המילה „לייזר“ באנגלית מביעים את עקרון פעולתו: הגברת אור בעזרת קרינת פליטה מאולצת — LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

כאשר ישנו חומר בעל שתי רמות אנרגיה, יהיו רוב חלקיקי החומר ברמת היסוד (התחתונה — E_1). אם יוכנס לחומר פוטון בעל אנרגיה השווה להפרש שבין שתי רמות האנרגיה של החומר ($E = E_2 - E_1 = h\nu$), עשוי יות להתרחש שלוש תופעות:

א. בליעה — בליעת הפוטון והעלאת ה-חלקיק לרמה עליונה.
ב. פליטה מאולצת — פגיעה בחלקיק מעורר, הנמצא ברמה העליונה. פגיעה זו גורמת לנפילת החלקיק לרמה התחתונה, ועם זאת לפליטה מאולצת של שני פוטונים — כלומר, הגברת גלי-אור.
ג. פליטה ספונטנית — החלקיק הנמצא ברמה העליונה נופל לרמה התחתונה, ופולט פוטון בלא כל קשר לפוטון הנכנס לחומר.

הלייזר מבוסס על הפליטה המאולצת הקיימת בחומר. כדי שתתקיים בחומר פליטה מאולצת, יש לאסוף מספר גדול של חלקיקים ברמה העליונה E_2 . כיוון שרוב החלקיקים בטבע נמצאים ברמה התחתונה, יש להגיע למצב הפוך, שבו יימצא מספר גדול של חלקיקים ברמה E_2 .

השיטות להגיע למצב זה הן:

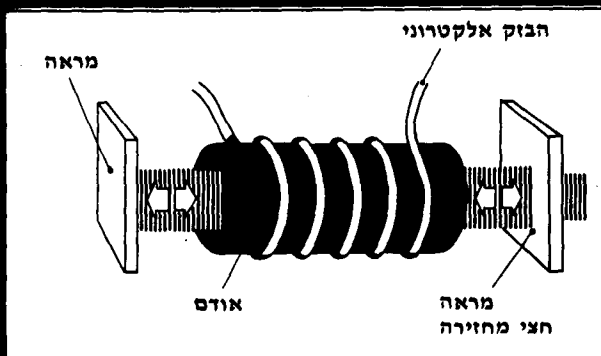
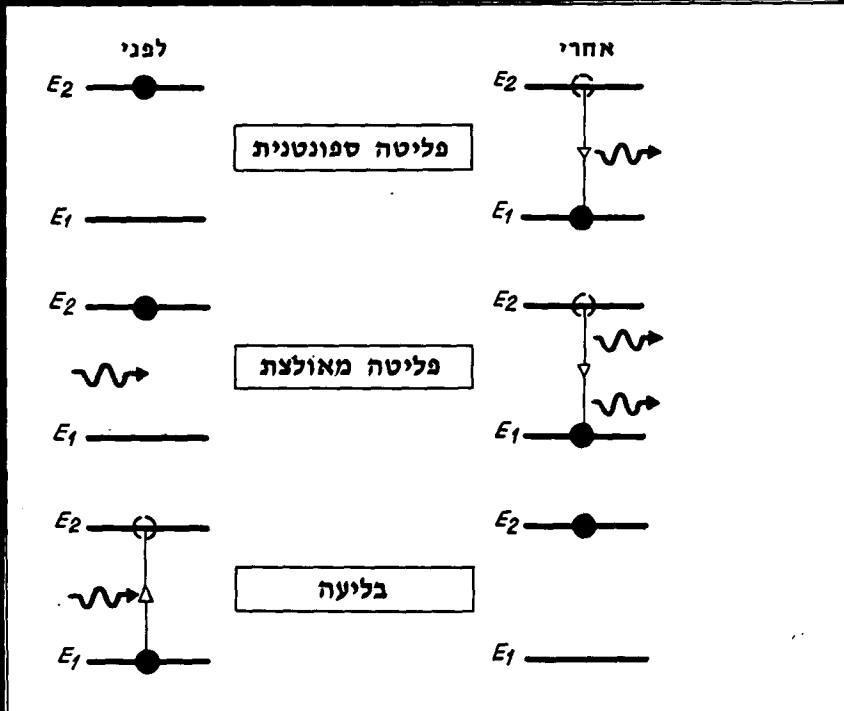
- א. שאיבה אופטית — שימושית בדרך-כלל בלייזרים מוצקים.
- ב. עירור חשמלי — שימושי בדרך-כלל בלייזרים גזיים.
- ג. עירור על-ידי זרימה על-קולית בלייזר גאז-דינמי.

סוגי הלייזרים

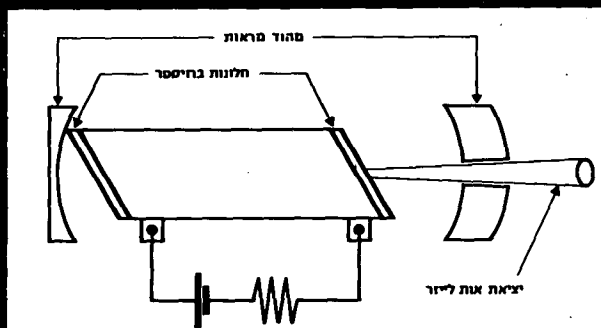
קיימים שלושה סוגים עיקריים של לייזרים:

- לייזרים מוצקים;
- לייזרים גזיים;
- לייזרים נוזליים — את אלה לא נפרט במאמר, בשל נדירות השימוש בהם לצרכים צבאיים.

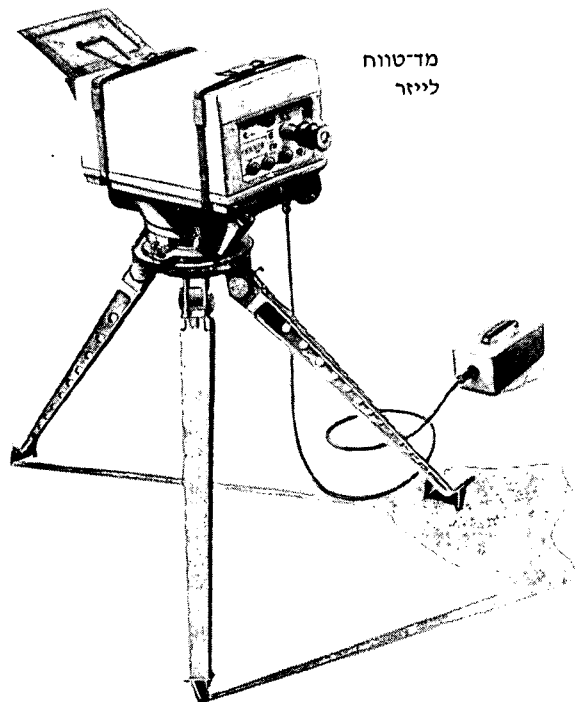
● לייזרים מוצקים מורכבים, בדרך-כלל, מג'יש גלילי של החומר המתלזר (כגון אודס, נאוי-דימיום, יאג ועוד), שמסביבו מקור-אור חזק. בקצות הגביש שתי מראות, שאחת מהן מחדירה למחצה. את איסוף החלקיקים ברמה העליונה — השאיבה — יוצרים בעזרת הבזק חזק של מקור-האור. החלקיקים, הנופלים לאחר מכן לרמה התחתונה, יוצרים את קרינת הפליטה המאולצת; זו מוחזרת על-ידי המראות בצדדים ומוגברת, ויוצאת בחלקה דרך המראה המחזירה-למחצה.



לייזר מוצק



לייזר גזי



מד-טווח
לייזר

את ההתקן המתחמם כתוצאה מן ההבזקים האמורים, מקררים לעתים בעזרת מים זורמים. ישנם לייזרים הפועלים בצורה רצופה, ואילו באחרים יוצא האור הנפלט מהם בפולסים קצרים מאוד; כיום מגיעים לפולסים של 10^{-12} שניות. מידת נצילותם של לייזרים מוצקים, דהיינו הספק האור הנפלט ביחס להספק המושקע עלידי ההבזק — מגיעה ל-0.1% לערך. בלייזרים מוצקים מגיעים כיום להספקים מקסימליים של עשרות מגהוואטים בפולסים קצרים של מיקרושניות, ולהספקים של מאות ואטים בצורה רצופה.

● לייזרים גזיים מורכבים בדרך כלל משפיר פרת ארוכה מלאה גז (He, Ne, ארגון, CO_2), חנקן ועוד) שבשתי קצותיה אלקטרודות מתחברות למקור חשמלי. את הגז שבתוך השפופרת מעוררים על-ידי מתח חשמלי ה מחובר בין שתי האלקטרודות. מידת נצילותם של לייזרים גזיים מגיעה, באופן תיאורי, ל-40% כיום מגיעים להספקים של עשרות קילואטים בצורה רצופה. בלייזרים גזיים, הבנויים על עקרון הזרימה העל-קולית, מושגים הספקים של 60 קילוואט.

תכונות קרני הלייזר

- מונוכרומטיות — הקרינה הנוצרת היא בעלת תדירות אחת, שרוחבה שואף ל-0.
- מקביליות — פיזור של אלומת-האור הנוצרת קטן מאוד, ויכול להגיע אף לעשרות מילירדיאן (אלפית).
- קוהרנטיות — פאזה שווה לכל חלקי המ-קור ולזמן ממושך למדי.
- אפשרות ליצירת צפיפות-אנרגיה גדולה $10^6 - 10^{15}$ וואט לסמ"ר.

שימושים צבאיים בלייזר

העניין הרב שהתעורר בלייזר, בשל התכונות יוצאות הדופן של קרינתו, איפשר פיתוח מהיר בתחומים שונים, כגון מדע, טכנולוגיה, תעשייה, רפואה וצבא. בתחום הצבאי הביאה טכניקת הלייזר לפתרונות חדשים או משלימים לבעיות אחדות, ובהן:

- איכון ומדידה
- כיוון
- לחימה
- אתראה
- קשר רדיו
- מרעום-קרב

איכון ומדידה

מדידת טווח
יעוד המכשיר: מדידה מדויקת ביותר של טווח למטרות.
מבנה המכשיר:

- מד-הטווח מורכב מ-4 חלקים עיקריים: א. משדר — הכולל את הלייזר, וכן מערכת עדשות מרכזות ומתג.
- ב. מקלט — ובו מערכת עדשות מרכזות.
- ג. המרכיב האלקטרוני — כולל דרבן (מחולל פולסים), קוצב-זמן, מונה, צג.
- ד. ספק כוח.

רים (סלעים וכדומה) הנמצאים בתחום הקרן, נוסף למטרה — מקשות על קביעת הטווח למטרה.

ג. כאשר המטרות קרובות זו לזו, לא ידוע לאיזה מהן נמדד הטווח.

ד. החזרות מעצמים קרובים למד-הטווח עלולות להזיק לעיניו של המפעיל.

מדידות גובה ומיפוי

התקנת לייזר במטוסי קרב-הפצה מאפשרת בקרה אוטומטית של גובה הטיסה, וזאת על-ידי שילוב הלייזר במערכת בקרת-הגובה של המטוס. הלייזר משגר פולסים רצופים לעבר הקרקע, ומספק קריאה רצופה של הגובה בו טס המטוס. על-ידי כיוון לגובה מסוים, מכון הלייזר אוטומטית את מערכת ההגבה במטוס לגובה זה. אפשר לשלב במערכת רכב או קרני לייזר סורקות, ועל-ידי סריקתן הרצופה מתקבלת תמונה של פני השטח שעליו חג המטוס.

סימון מטרות להפצה

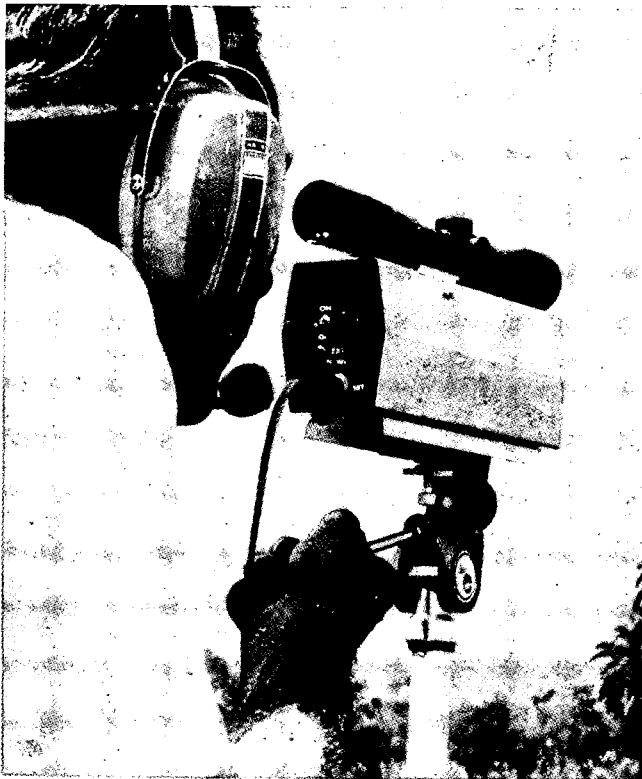
כוחות הקרקע האמריקניים בויאטינאם ניסו התקן לייזר לסימון מטרות קטנות-ממדים למטוסי הפצה. ציוד הלייזר נישא על-ידי חייל רגלי או על גבי מסוק.

הלייזר מאיר את המטרה, ומטוס הסיע, המקבל את אלומת הלייזר המוחזרת, מאכן אותה ומעסיקה בטיל אוויר-קרקע, אשר מוכן חה על-ידי ראש-נפץ רגיש לקרינת לייזר. ניתן להעסיק את המטרה גם בטילי קרקע-קרקע מונחים, והדיוק המושג בעזרת הלייזר גבוה

עקרון הפעולה: לחיצה על כפתור-ההפעלה מפעילה את הדרבן, השולח את הפעלה ברגע הרצוי לשלושה מקומות בעת ובעונה אחת: למתג; לקוצב-הזמן; ולמונה. המתג מפעיל את הלייזר, היוצר פולס קצר של אור, שאור-כו כ- $10^{-9} \times 30$ שניות. קוצב-הזמן מתחיל בפעולה, והמונה מתחיל לספור את מספר קצבי-הזמן. פולס האור משוגר לכיוון המטרה, פוגע בה ומוחזר ממנה. קיים קשר בין הזמן העובר משיגור הפולס לקליטתו על-ידי המקלט — לבין המרחק בין מד-הטווח למטרה. הפולס נע במהירות האור, ועושה דרך הכפר לה מן המרחק שבין מד-הטווח למטרה (הלך ושוב).

יתרונות המכשיר

- א. בשל הפולס הקצר והמדויק, ניתן למדוד את הטווח בדיוק רב ביותר — כ-5 — 10 מטרים.
 - ב. ההתקן אינו גדול, ואפשר להתקינו אף בתוך פריטלסקופ של טנק.
 - ג. מערכת העדשות של הפריטלסקופ עשויה לשמש כמערכת האופטית של מקלט-משדר הלייזר.
 - ד. אפשר להגיע לטווחים מעשרות מטרים ועד עשרות קילומטרים — בהתאם לסוג הלייזר.
- חסרונות המכשיר
- א. בתנאי-ראות גרועים קשה המדידה.
 - ב. החזרות העשויות להתקבל מעצמים אחר-



מכשיר
קשר
לייזר

מאוד (בטווח של 3 קילומטרים פוגעת אלומות לייזר בקוטר של 0.5 מילירדיאן במטרה שקוטרה 1.5 מטרים). מטוסים המפציצים בפצצות מתבייתות על-ידי קרני לייזר, יכולים לשחרר את פצצותיהם מחוץ לטווח האש נ"מ של היריב.

כוונת לייזר

שימוש צבאי נוסף להארת מטרה בעזרת לייזר הוא כוונת לייזר לרובה. החייל הורה צופה אל המטרה המוארת על-ידי אור לייזר בלתי נראה, אשר נובע מהתקן שעל הרובה. על-ידי כיוון הצלב על כתם ההארה ניתן לשפר בהרבה את דיוק הירי.

לייזר לחימה

ריכוז האנרגיה הגבוה של קרנת לייזר מאפיין שימוש בלייזר כנשק. ארה"ב פיתחה רובה לייזר ניסיוני, העשוי לעזור לוחם במרחק 1500 מטרים ולהצית את בגדיו. נשק פשוט זה מאבד כל יעילות כאשר מפריד מסך-עשן בין היריב למטרתו.

לייזר לאתרמה

הקפת מוצבים, מבנים ונקודות בטחוניות בטבעות לייזר המקיפות את הנקודות המוגנות — נפוצה מאוד. מערכת זו כוללת מראות מיוחדות, השוברות את קרן הלייזר ומאפשרות יצירת טבעת היקפית. אפשר לחבר למערכת זו מערכת אזהרה או הפעלת מטענים, ובאמצעות שיטות שונות ניתן לגלות את מקום החדירה.

קשר לייזר

אמצעי התקשורת למרחקים גדולים הם כיום ארבעה:

- א. כבלים קואקסיאליים — תדירויות של עד 20 מגהרץ.
- ב. מיקרוגלים — על-ידי ממסרי-רדיו בתדירות בין 1 ל-10 גיגה-הרץ. (גיגה-הרץ = 10^9 הרץ).
- ג. מוליכי-גלים — בתדירויות של 30 — 90 גיגה-הרץ.

ד. תקשורת באמצעות ליינינים.

אמצעים אלה עונים כיום על כל הדרישות בתחום התקשורת לטווחים ארוכים, אך יתכן שבמרוצת השנים, "ייתפסו" כל ערוצי התקשורת, ואז יהא הכרח להשתמש בגלים בעלי תדירות גבוהה יותר, ונראה כי הלייזר הוא הטוב שביניהם.

שיטת התקשורת המקובלת כיום היא שיטת ה"מולטיפלקס". בשיטה זו מורכבות ומשורדרות שיחות רבות על גלי-נושא אחד. ככל שתדירות הגל, הנושא גבוהה יותר, ניתן ל"העמיס" עליו שיחות רבות יותר — כלומר, קיבול השיחות עומד ביחס ישר לתדירות הגל הנושא. מכיוון שתדירות האור הנראה (שבה עובר הלייזר) גבוהה פי מאה אלף לערך מתדירות גלי מיקרו, גדול קיבולו של גל הלייזר פי מאה אלף; מכאן נובע, כי באמצעות שידורי לייזר ניתן יהיה להעביר מאה אלף שיחות יותר מאשר בשידורי גלי-

א. שידור ללוינים — הקרן מכוונת ללוויין, וזה קולט חלק ממנה ומוציא את המידע.
ב. שידור קונבנציונלי למרחקים ארוכים — ייעשה על-ידי צינורות, שבתוכם תושמנה עד-שות, דבר שיאפשר כיפוף מסוים של הצינור. דרך אחרת תהא הזרמת גז צינור וחי-מומו בנקודות מסוימות, דבר הגורם לאפקט של עדשה אופטית, ללא ההפסדים של עדשה רגילה.

השנה נערך ניסוי של שידור אותות לייזר ללוויין "GEOS-2" האות שנשלח היה אות מורס, שתוכנו בלוויין שנמצא בגובה 1,200 קילומטרים; המידע הוצא ממנו על-ידי מכפל אור, והלוויין שיגר אותו בחזרה לכדור-הארץ באמצעות התקשורת הרגילה שלו. הלייזר כוון ללוויין על-ידי מחשב, שחישב את מסלול הלוויין. כן נערכו ניסויים לחישוב טווח הלוויין ומהירותו על-פי קרני הלייזר החוזרות.

מרעום-קרבה לייזר

טכניקות חדשות במרעום-קרבה משתמשות בלייזר לשם בקרת הקרבה למטרה. כדוגמה פשוטה, ניתן להצמיד למרעום מקור לייזר. עם סיבוב הפגז סורק הוא את המרחב סביב הפגז, וכאשר נתקל הוא בעצמים בטווח מסוים, מוחזרת קרן הלייזר לגלאי המפעיל את המרעום.

מכל האמור עולה, כי הלייזר הוא אמצעי רב-עוצמה, החסין במידה רבה בפני אמצעי-נגד. זהו כל-יעור יעיל בכל התחומים שזכרו, והשימוש בו תרם רבות לשיפורים שהושגו בתחומים אלה.

מיקרו. יתרון נוסף של הלייזר על פני שיטות תקשורת רגילות הוא בניחות (החלשת העוצמה) הקטן שניתן להשיג על-ידו.

כאשר משדרים באמצעות ממסרי-רדיו, למשל, נקלט השידור במרחק 40 קילומטרים מן המשדר, מוגבר ומשודר הלאה לממסר הבא, וחוזר חלילה. האות המגיע למקלט הממסר, קטן בעוצמתו פי 100,000 מן האות ששודר במשדר — וזאת בשל זווית השידור של קרן המשדר, המפזרת את השידור לכיוונים שונים, ולא רק אל המקלט. בלייזר קטנה פתיחת הקרן בהרבה. באמצעות עדשות שתוצבנה במרחק מאות-מטרים אחדות זו מזו, ניתן למנוע כמעט באזרח מוחלט פיזור אנרגיה. זווית-הפתיחה הקטנה מונעת גם האזנה לשידור או גילוי על-ידי האויב, וכן מונעת היא הפרעה לשידור.

האפנון בלייזר נעשה על-ידי גביש בעל מקדם מעבר של אור משתנה, המוצב במסלול האופטי של קרן הלייזר. מקדם זה משתנה על-ידי שינוי בשדה החשמלי שבו מעמידים את הגביש. את השדה משנים על-פי המידע שחפץ להעביר, וכן גם מקבלים אפנון של עוצמת האות. המקלט יכול לנצל מכפילי אור, המגבירים את האור המתקבל, ולאחר מכן מוציא אים מתוכו את המידע בעזרת הדיודות הרגילות לאור. אלה יוצרות זרם חשמלי יחסי לעוצמת האור הפוגעת בהן.

קיימים עדיין קשיים טכניים רבים בשימוש בלייזר כאמצעי תקשורת. חלק מהם נובע מחוסר היציבות של תדירות הלייזר, וכן מן הקושי לכוון את תדירותו בתחום רחב. שתיים הן שיטות השידור העיקריות הנראות כיום כבגדר האפשר: