

הלווזה ושירותיו בשווייץ

רס"נ

שפירושו: הגברת אור עלידי עירור פליטת הקרינה. תכונותיה העיקריות של קרינה זו הן:

- הקרינה הנפלטת היא מונוכרומטית, כלור מר, בעלת גוון אחיד (במלים אחרות, בעלת אורך-גל אחד). הקרינה הנפלטת ממקור-אור רגיל מורכבת מאור סף של גלים, אשר תדירותם משתרעת על-פני תחום מסויים מסביב לתדירות המרכזית. פילוג התדירות ביחס לעוצמתו של כל גוון ייראה באופן גרפי כמוצג בציר מס' 1.

קרינת ה"לייזר" מצטיינת בכך, שתחום התדרים של הגלים המרכיבים אותה צר ביותר, וביטוייה הגרפי ניתן בציר מס' 2.

תדירות הקרינה היא הקובעת את הגוון המתקבל. הור איל וקרינת ה"לייזר" היא מונוכרומטית כמעט לחלוטין, תהא עוצמתו של גוון זה גדולה לאין שיעור מעוצמתו של אותו גוון בהיפלטו ממקור רגיל, בעל תחום-תדרים רחב ובעל הספק זהה, הפולט גם אור רב בגוונים אחרים. כיום אין בנמצא כל אמצעי לריכוז הקרינה בתחום-תדרים צר מזה של ה"לייזר".

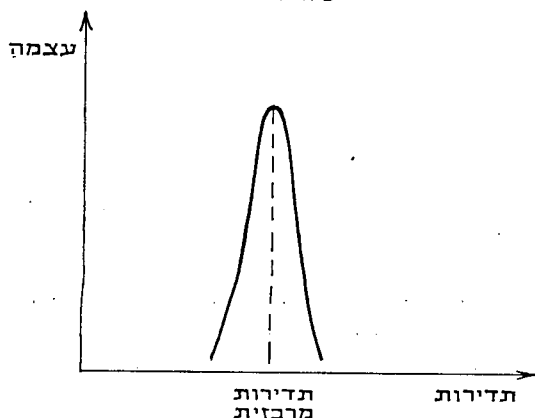
- הקרינה נפלטת בצורת קרניים מקבילות. ידוע, כי עוצמת האור נחלשת ככל שגדל המרחק

קרניים-מוות, הממיתות ומאידות את כל הניצב בדרכן, שוב אינן בגדר תעוד-דמיון של אסטרטגים ומדענים. קרינת ה"לייזר", שקיבלה ביטוי מעשי ראשון לפני כעשר שנים, כובשת לה מקום נכבד ביותר בחקר החלל, בתקשורת, ברפואה, בתעשייה ואף בתחום הצבאי. מכשירי-ניתוח המבוססים על קרינת ה"לייזר", אשר אינם חותכים במובן המקובל, אך מסוגלים, למרות זאת, לפגוע באיזור מצומצם ביותר בגוף — משמשים זה מכבר לניתוחי-עיניים עדינים. מכונות לעיבוד עדין ומורכב של מתכות, שפעולתן עושה שימוש בקרינה זו, הופכות לבר-ביצוע את אשר נחשב בלתי-אפשרי, ומקצרות את תהליכי העבודה. אלה ודומיהן הן חלק קטן מכלל האפשרויות העצומות הגלומות בקרינה מהפכנית זו.

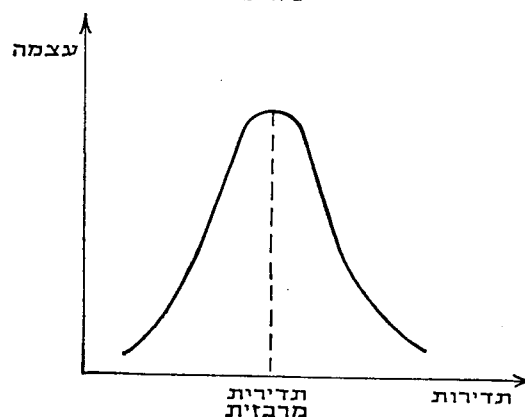
תכונות ה"לייזר"

בטרם נרתום את ה"לייזר" לצרכינו, הבה נעמוד על התכונות העיקריות המקנות לו את ייחודו ועוצמתו. השם "לייזר" הוא ראשי-תיבות של השם האנגלי: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation,

ציר מס' 2



ציר מס' 1



חק ממקור-האור. ברם, חוק זה עוסק במקור-אור המקי רין לכל הכיוונים במרחב במידה שווה; מן הראוי להזכיר, כי עוצמת הקרינה נחלשת גם בעטיו של גורם נוסף, והוא — בליעתו של האור על-ידי התווך שבו הוא עובר.

אם נצליח לרכוז את הקרניים לאלומה של קרניים מקבילות לא יחול חוק זה, שכן עוצמתה של קרן בודדת אינה משתנה בטווח, ונשארת זהה גם באינסוף — אם לא הופרעה בדרכה. גם ה"לייזר" למעשה, אינו יוצר קרינה מקבילה לחלוטין; ריכוז האלומה שלו קטן ממאית האלפית! על-מנת לקבל מושג-מה על מידת ריכוזה של קרן ה"לייזר", נזכיר כי בשנת 1962 נערך ניסוי שבו נורתה אלומת קרני "לייזר" ממעבדה בארה"ב לעבר הירח. האלומה פגעה בו — והחזרה למכשיר, הרושם את עוצמת ההחזרה. אלומת-אור של זקור רגיל רב-עוצמה, לוא כוונה אל הירח, היתה מתפזרת על פניו במעגל שקוטרו למעלה מ-3,000 ק"מ, והדה לא היה נרשם אף במכשירים עדינים — בעוד שאלומת ה"לייזר" התפזרה על פני מעגל שקוטרו כ-6 ק"מ בלבד!

● הקרינה היא קוהרנטית. גלי-האור הבאים ממקור רגיל אינם נפלטים במופע אחד מבחינת זמן הפליטה ומקומה. ה"לייזר", לעומת זאת, פולט קרינה בעלת מופע אחד. על-מנת להבין את משמעותו של מושג זה, נדמה לעצמנו את חלקיקי-האור, הנקראים פוטונים, לקבוצת-אנשים המנסה לפרוץ מחסום. במקרה זה, ידמה מקור-האור הרגיל להסתערות לא-מסודרת של הקבוצה על המחסום, כאשר כל אחד מחבריה מנסה לפרוץ ברגע המתאים לו, ללא תיאום עם חבריו האחרים. קרינת ה"לייזר", תדמה לקבוצה שכל אנשיה מסתערים בעת-ובעונה-אחת, גלים-גלים (ציור מס' 3).



קרינה קוהרנטית

קרינה לא קוהרנטית

ציור מס' 3

מעוררת אינו ערך מדויק, אין האלקטרונים המעוררים באטומים השונים חוזרים, בעת ובעונה אחת, לרמותיהם היסודיות, רמות שיווי-המשקל. עובדה זו גורמת לעוצמת-קרינה חלשה. במכשיר ה"לייזר" המקור המקרין הוא גביש מיוחד, המעורר כתוצאה מהקרנת-אור עליו משפופרת בעל-עוצמה גבוהה; כל האטומים מקרינים בזמן אחד בתחום-תדירויות צר.

עירורם של האלקטרונים מרמתם האנרגטית, במצב שיווי-משקל, לרמה אנרגטית גבוהה יותר, נעשה בפעולה הנקראת "שאובה", ואשר תוסבר להלן: בעת העירור נוצר היפוך אוכלוסית, דהיינו — הרמה האנרגטית הגבוהה, שאליה הגיעו האלקטרונים מרמת-האנרגיה היסודית שלהם, מאוכלסת יותר מן הרמה היסודית ממנה באו. ה"משאבה" היא מנורת קסנון, המלופת סביב גביש אדמדם מחומר בשם רובין. האור הנפלט ממנורת הקסנון חודר ללא קושי לתוך גביש-הרובין המלוטש. המנורה נדלקת במשך כאלפית שניה, במתח של 15 אלף וולט, ואנרגיית-האור גורמת להעלאת רמת-האנרגיה של האלקטרונים; דבר זה עשוי לגרום לשינוי באוכלוסיית האלקטרונים ברמות השור נות, דהיינו — ל"שאובה" של האלקטרונים מרמת שיווי-המשקל לרמה אנרגטית גבוהה (ראה ציור מס' 4).

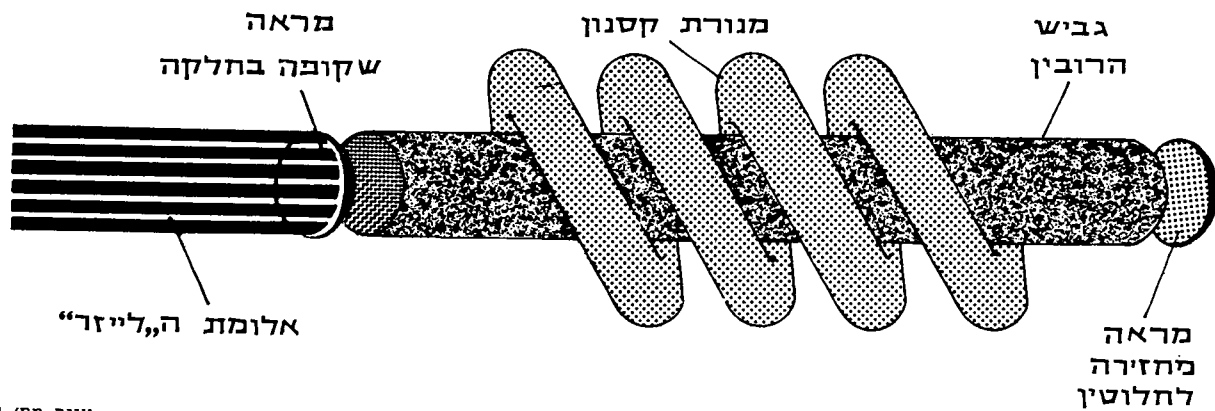
בשני קצות הגביש מצויות מראות מקבילות לחלוטין (לפעמים מצופים קצות הגביש בחומר המראה, ואז אין נזקקים למראות נפרדות). למראה אחת כושר-החזרה של 100%, ולאחרת — כושר החזרה נמוך במקצת, כ-94%. המראות המקבילות, שביניהן החומר המקרין (הרובין) מוליכות ביניהן פוטונים — חלקיקי האור הנפלט — בתנועת הלך-ישוב, וכך מתאפשר לפוטונים נוספים לגרום למספר רב של העברות-אלקטרונים מרמת-האנרגיה היסודית של האטומים — לרמה אנרגטית גבוהה יותר, כלומר לעירור האלקטרונים; בדרך זו נגרמת פליטת פוטונים נוספים בפעולת שרשרת. בעירור הנוסף משתתפים רק הפוטונים שתנור עתם ניצבת למישור המראות, והעובדה שאחת המראות היא בעלת כושר-החזרה קטן מ-100%, מאפשרת לחלק מן הקרינה לצאת החוצה; קרינה יוצאת זו היא הנקראת קרינת ה"לייזר", ובה נעשה שימוש רב, כאמור.

השימושים האפשריים ב"לייזר"

תדירותה הגבוהה של הקרינה מאפשרת להעביר בהצלחה, באמצעות קרן "לייזר" יחידה, מיליוני שיחות טלפון בעת-ובעונה-אחת למרחקים של מאות אלפי קילומטרים. באט-מוספירה מוגבלים טווחי-הקרינה במידה רבה, כיוון שאנרי גיה רבה נבלעת בעת מעבר הקרן באטמוספירה. ה"לייזר" מאפשר להעביר שידורי-רדיו למרחקים עצומים, ובאחד רונה מדובר כבר על העברת אנרגיה בין ספינות-חלל. ה"לייזר" יעיל מאוד כמכ"מ, וניתן למדוד באמצעותו בדיוק רב טווחים גדולים. דבר זה נעשה על-ידי שילוח קרן "לייזר" אל המטרה — וקליטת הקרן המוחזרת. את משך תנועת הקרן מודדים מרגע השידור עד לרגע קליטתה

עקרון-הפעולה של ה"לייזר"

האלקטרונים בכל מערכת-אטומים, המעוררים מסיבה כלשהי, עוברים מרמות-האנרגיה היסודיות שבהן נמצאו במצב של שיווי-משקל — לרמות מעוררות. לאחר פרק-זמן קצר — שהוא משך קיומן של הרמות המעוררות — חוזרים האלקטרונים לרמותיהם היסודיות, ופולטים, אגב כך, קרינה, שתדירותה עומדת ביחס ישר להפרש האנרגיה שבהן שתי הרמות. קרינה זו מורכבת בדרך כלל מתדירויות שונות, וכיוון שמשך-החיים של רמה אנרגטית



ציור מס' 4

a — אורך מדהטווח; α — הזווית שבין ציר העדשה הימנית למדהטווח. R — הטווח.

במדהטווח מצוי מנגנון המתרגם את הזווית לטווח המר פיע בלוחית הטווחים. דיוקו של מדהטווח האופטי קטן ככל שגדל הטווח, והוא מוגבל באורכו, המותאם לרוחב הצריח. דיוקו מגיע לעשרות מטרים אחדות ולעתים למטה מזה. ברור כי דיוק זה אינו מבטיח, על-פירוב, השגת פגיעה בכדור ראשון, ומביא בדרך-כלל לפגיעה ראשונה בקרבה המיידית של המטרה, כך שניתן לערוך לאחר מכן תיקון פניהעדשה או תיקון קטן אחר.

בטנקים הבריטיים נהוגה שיטה אחרת למדידת טווח, והיא מקלע-הטווח. עיקרה של שיטה זו הוא יריית 4 צורות-מקלע בני 3 כדורים כל אחד — אל המטרה הר- צויה; כל צרור נורה בנקודת-כינור אחרת, המותאמת לטווח מסויים. מקום פגיעת הצרורות ביחס למטרה מגדיר את הטווח או את תחום-הטווחים שבו נמצאת המטרה. לדוג- מה: אם פגע הצרור הראשון לפני המטרה, והשני — אחריה, נמצאת המטרה בין הטווח המתאים לנקודת-הכני- נון הראשונה לבין הטווח המתאים לנקודת-הכניון השניה. אם פגע הצרור השלישי במטרה, וזה הטווח אל המטרה לטווח המתאים לנקודת-הכניון השלישית. ברם, שיטה זו כשלעצמה, המבוססת על שימוש בטלסקופ בליסטי, אינה מספקת — ודרוש קשר ישיר יותר בין ידיעת הטווח לירל הכדור הראשון; קשר זה מושג על-ידי כך שלתחמושת מקלע-הטווח תכונות בליסטיות זהות לאלה של תחמושת התותח; ואז, עם השגת פגיעה בצרור השלישי, למשל, יהיה צורך לטעון כדור-תותח ולירות באותה נקודת-כינור. לשיטה זו יתרון בולט על-פני מדהטווח האופטי, שכן תנאי מוגהאיר משפיעים במידה שזה על כדור-הטווח ועל כדור-התותח. אך לשיטה זו גם מגבלות; את הב- ליסטיקה של כדור-הטווח ניתן להתאים לסוג-תחמושת

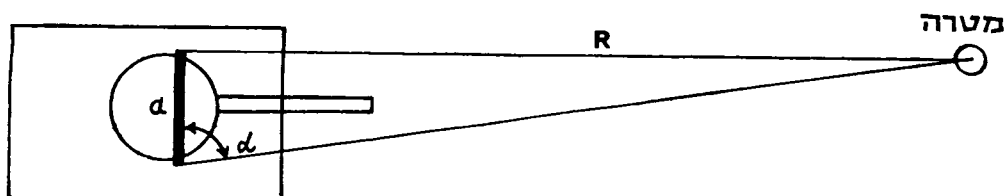
של הקרן החוזרת, וכיוון שמהירות-האור ידועה — ניתן ללמוד את המרחק אל המטרה.

ה"לייזר", המקרין אור תת-אדום, שאינו מופרע, כאמור, באטמוספירה — מסייע לנחיתת מטוסים בתנאי-ראות קשים. דבר זה נעשה על-ידי שידור רצוף של קרינה ועל-ידי סריקת השטח המתאים; התוצאות מתקבלות על מסך-טל- ביזיה. כן ניתן להשיג באמצעות ה"לייזר" צילומים במהיר- רויות גבוהות ביותר. "לייזרים" בעלי הספק גבוה יוכלו לירות אלומות-קרניים שהטמפרטורה שלהן מגעת למיליון מעלות, והמסוגלות לאדות נשק חללי של האויב בטווח של עשרות ומאות קילומטרים. עוצמת הקרינה של ה"לייזר" נשמרת בחלל היטב מאשר באטמוספירה, הבולעת חלק מן האנרגיה. "לייזרים" אלה נמצאים בתהליכי פיתוח בצבאות הגדולים, וברור כי המידע הגלוי עליהם מועט עדיין.

אמצעים למדידת טווחים בטנקים

ידיעת הטווח למטרה היא הגורם הראשון במעלה המשפיע על השגת הפגיעה בתותח; וכשהמדובר בשריון — הכוונה לפגיעה בכדור הראשון. ידיעת הטווח המדויק משפרת באורח ניכר את סיכויי הפגיעה בכדור ראשון, העלולה להיות מכרעת בהתמודדות שריונית.

בטנקים רבים נפוץ השימוש במדהטווח אופטי, סטירי- אוסקופי או קואינצינטי. המדידה במדהטווח סטירי- ריאוסקופי מבוססת על קבלת תמונה תלת-ממדית של המטרה הנמדדת, בשעת התלכדות שני קווי-הראיה אליה דרך שתי עדשות המכשיר. המדידה במדהטווח קו- אינצינטי, מבוססת על התלכדות של שתי תמונות- המטרה, המופיעות בשתי עדשות המכשיר (ציור מס' 5). הטווח למטרה מתקבל על-ידי החישוב הבא: $R = a \cdot \tan \alpha$



ציור מס' 5

אחד בלבד, ולא לכל הסוגים האחרים. מהירות הלוע של כדורי תותח-הטנק נעות כיום בין 700 מ' לשניה ל-1,400 מ' לשניה, וברור על כן, כי אם תושג התאמה לכדורים חודרי-שריון מהירים — לא תושג התאמה לכדורים אטיים יותר, וכן להפך. כתוצאה מכך יש צורך בטלסקופ בעל נקודת-כינון לכל סוגי התחמושת. מגבלה נוספת — התצ"פית בכדורי-הטיווח או בנותב שלהם אינה אפשרית תמיד, והיא מותנית בקרקע, בתכסית ובתנאי-הראות; טווחי-ההעסקה של מקלע-הטיווח קצרים מאלה המושגים בתחמושת התותח. מגבלה אחרת היא משך-הזמן העובר מן הכניסה לעמדה עד ירי הכדור הראשון בתותח.

ה"לייזר" כמד-טווח

יחודו העיקרי של ה"לייזר" כמד-טווח הוא דיוקו הרב, הגדול מיכולת הדיוק בכינון. הכנסתו של ה"לייזר" לטנק פירושה, באורח מעשי, דיוק מוחלט במדידת הטווח אל המטרה. יתר על כן: דיוקו אינו משתנה עם הטווח הנמדד, והוא גודל קבוע בכל תחום-המדידה, המסוגל להגיע אף לעשרות קילומטרים. המדידה ב"לייזר" מהירה מאוד, ואי-נה מושפעת מעייפות העין (כמו במד-הטווח האופטי, למשל). מגבלתו היחידה, כמעט, היא קצב המדידה, שאינו בלתי-מוגבל — עקב החום הרב המתפתח בגביש הרובין. כדי להגיע ליציבות רבה מזו הקיימת כיום בתרגולות-היריה, יש לתת את הדעת, בעת שילוב ה"לייזר" כמד-טווח, לנושאים אחדים:

- אפשרות כינונו של ה"לייזר" אל המטרה; דבר זה ניתן לביצוע אם מצמידים ל"לייזר" כוונת אופטית טובה.
- תרגום סימולטני של הטווח המתקבל לזווית-הגבהה מתאימה.

שיטות-הכינון

לשיטות-הכינון שבשימוש כיום מגבלות אחדות: בטלסקופ הבליסטי, שבו שנתות לכל טווח ולכל סוגי-תחמושת, אין נקודת-הכינון קבועה, ותיקוני האש אינם יעילים באר-תה מידה בכל שדה-הראיה. יתר על כן: עם הגדלת טווח-ההעסקה של המטרות, עקב השימוש בתחמושת טובה יותר, יש צורך בהגדלה רבה יותר בטלסקופ; אולם הגדלה רבה יותר גורמת להקטנת שדה-הראיה, והואיל וזוית-ההגבהה המקסימלית הניתנת להשגה בטלסקופ הבליסטי שזה, באורח תיאורטי, למחצית שדה-הראיה, מן הציר האופטי עד קצה העדשה — קטנה זוית זו והולכת, והדבר עומד בניגוד לטווחי-ההעסקה הגדלים והולכים, שבהם תידרשנה לפעמים זווית-ההגבהה גדולות.

השימוש בתוף-טווחים פותר, אמנם, את בעיית הטווח — אך מחייב הסרת העין משדה-הראיה לצורך התקנת הטווח המתאים בתוף. למקרה זה קיים טלסקופ לא-בליסטי בעל נקודת-כינון קבועה. השימוש במחשב, כדוגמת הנעשה בסנקי ה"פאטון", הוא מתקדם יותר, התנועה המכנית של מדידת הטווח במד-הטווח האופטי גורמת לתנועה סימול-טנית של התותח ביחס לטלסקופ, תוך שימוש במערכת-כוח. ב"לייזר" אין תנועות מכניות כלשהן, והפיכתו של הטווח לזווית-ההגבהה הדרושה חייבת להיעשות באמצעות

מנגנון אלקטרו-אופטי או אלקטרוני. קיומם של סוגי-תחמושת אחדים בטנק יחייב גם שימוש במחשב, אשר יעבד את נתוני הטווח, יחד עם סוג התחמושת, לזווית-ההגבהה מתאימה. יתרה מזו, בהודמנות זו רצוי להכניס למחשב את כל הגורמים האחרים המשפיעים על השגת הפגיעה, ואשר בדרך כלל לא התחשבו בהם באורח מדויק — כגון, רוח, טמפרטורה, לחות, זווית הראיה למטרה, סחי-רוח, שיפוע-צד של הטנק ועוד.

תרגולת היריה המתקבלת תהיה כלהלן: הכנסת סוג תחמושת למחשב (נתוני מזג-האוויר יוכנסו באורח אוטו-מטי כל עת הפעולה), כינון ה"לייזר" למטרה וירי ה"ליי-זר". מייד עם ירי ה"לייזר" מוכנס למחשב נתון זווית-הראיה, ועם סיום המדידה נשאר התותח מכוון למטרה; ולאחר שהוגבה לזווית המתאימה על-פי התוצאה במחשב, נעשית פעולת הירי תוך שמירה על הכינון. כל הפעולה לא תארך יותר מ-5 שניות.

השיפורים הנדרשים ב"לייזר" כמד-טווח יהיו: הגדלת כמות המדידות בדקה, כדי שאפי-ריות היריה לא תהיינה מוגבלות. יצירת קרן "לייזר" צרה ככל האפשר, שכן אם תהיה קרן ה"לייזר" רחבה ביחס, תיתכן החזרתה משני עצמים שונים הנמצאים כמעט בקו אחד ובטווחים שונים — והמכשיר ירשום שני טווחים או יותר.

אמצעי לתייחוס הטווח הנמדד; גורם זה מושפע מן הגורם הקודם, דהיינו רוחב הקרן. על-מנת להתגבר על קבלת יותר מקריאה אחת, מכוונים את ה"לייזר" לקליטת טווח שאינו קטן מגודל מסוים, או טווח שגודלו בין גודל אחד למשנהו. יש לזכור, כי מנגנון ה"לייזר" כולו חייב להיות קטן ככל האפשר, בהיותו בנוי במשולב עם הטלסקופ.

שימוש אחר של ה"לייזר" בשריון הוא כעזר-אימון — כמדמיין-יריות המאפשר עריכת אימוני שריון בשריון. ללא צורך במתן-אש, פרטים על מדמיני-יריות — באחת החוברות הקרובות.

מקורות

1. "מדע" כרך י"ב, מס' 4, 1968.
2. "Army", אפריל 1968.
3. מערכות חימוש מס' 10, אפריל 1963.

