



מבוא

פיתוחם של הלייזרים הראשונים בוצע כבר בשנות השישים והיישום הראשון לאמצעים חדשים אלו היה מדידת טווחים. במשך למעלה מארבעים שנה פותחו יישומים רבים ללייזרים בתחומי הרפואה, התעשייה, התקשורת, המדע, הצבא, הבידור ותחומים נוספים. כל אלו התאפשרו עקב התכונות המיוחדות של קרן הלייזר, אולם מאידך אותן תכונות הפכו את האלומה למסוכנת (בתנאים מסוימים) למערכת הראיה וגם לעור תוך פוטנציאל לנזקים פנימיים. בישראל ידוע על מספר תאונות לייזר, שבאחרונה שבהן נפגעו 3 נערים בעיניהם מלייזר שהותקן למטרות בידור במועדון לילה. על שאלות אלה מנסים מחברי חוברת זו לענות בשפה פשוטה ובקצרה ככל האפשר.

ליצירת קשר:

מדור קרינה אלקטרומגנטית

שטח בטיחות קרינה

המרכז למחקר גרעיני שורק

דואר יבנה 81800

סיכוני לייזרים - קבוצת שאלות

לקריאת התשובה יש ללחוץ על שאלה. לחיצה נוספת על השאלה תגרום להסתרת התשובה.

▼ מדוע הלייזרים מסוכנים?

לייזר הוא מקור אור "רגיל" לכאורה. המיוחד במקור אור זה היא האחידות (הכמעט) מושלמת של האלומה: האלומה חד צבעית (מונו – כרומטית) וכל גלי האור בה הם במופע זהה (מונו – פאזית). התוצאה המשולבת של שתי תכונות אלה היא הקוהרנטיות (האחידות) של האלומה.

תכונה זו מאפשרת לאלומת הלייזר לעבור מרחקים גדולים תוך התבדרות מינימאלית (כך למשל יכולה אלומת לייזר ממצביע פשוט להגיע לטווח של קילומטר תוך שהיא מתבדרת לכתם אור בקוטר של מטר אחד בלבד, ובעזרת אופטיקה מתאימה – אף הרבה פחות מזה. תכונה זו היא המאפשרת שימוש בלייזרים לקביעת טווחים (כולל – המרחק לירח, בדיוק מדהים)

פועל יוצא נוסף של הקוהרנטיות של אלומת הלייזר היא היכולת להתמקד (בעזרת עדשות מתאימות) לנקודת מוקד קטנה ביותר.

תכונה אחרונה זו היא היסוד לשימוש בלייזר לעיבוד חומרים, כאשר דוגמה נפוצה ובולטת היא ניסור יהלומים בעזרת לייזר: האלומה מלייזר בהספק צנוע למדי (מספר וואטים בודדים) ממוקדת לנקודה זעירה, וכתוצאה ממיקוד זה נוצרת צפיפות הספק גבוהה ביותר באיזור המוקד. צפיפות הספק זו מספיקה להעלות את טמפרטורת האיזור למספר אלפי מעלות צלזיוס תוך פרק זמן של פחות ממיקרו שנייה, ובכך להביא לנידוף של חומר הגלם הקשה ביותר עלי אדמות.

קרן הלייזר היא קרינה אלקטרומגנטית (פוטונים). הסיכון היחסי של הקרן בהתייחס למקורות אור אחרים נובע מצפיפות ההספק הגבוהה בקרן רצופה, או מהאנרגיה הגבוהה ליחידת שטח בקרן פולסים. קרני לייזר במקומות פתוחים הממוקדות לאינסוף אינן משנות באופן מהותי את צפיפות ההספק והסיכון מהן לאורך המסלול גם לאחר שהחשיפה בוצעה בטווח ארוך יחסי, שומרות קרני הלייזר הממוקדות לאינסוף על צפיפות קרינה גבוהה בטווחים אלו.

תכונה זו היא גם לרועץ: חדירת של אלומת לייזר לעין, מביאה להתמקדות של האלומה על הרשתית (שכבת העצבים הרגישים לאור בקרקעית העין). גם כאן מגיעה האלומה למיקוד (ככלות הכל – אנו מצויידיים בעדשות מעולות בעינינו, בעלות מנגנון מיקוד עצמי - auto focus - מעולה). צפיפות ההספק הנוצרת על הרשתית עלולה לגרום לכוויה באזור רגיש זה. הנזק מתבטא בדרך כלל באיבוד כושר הראיה בעין.

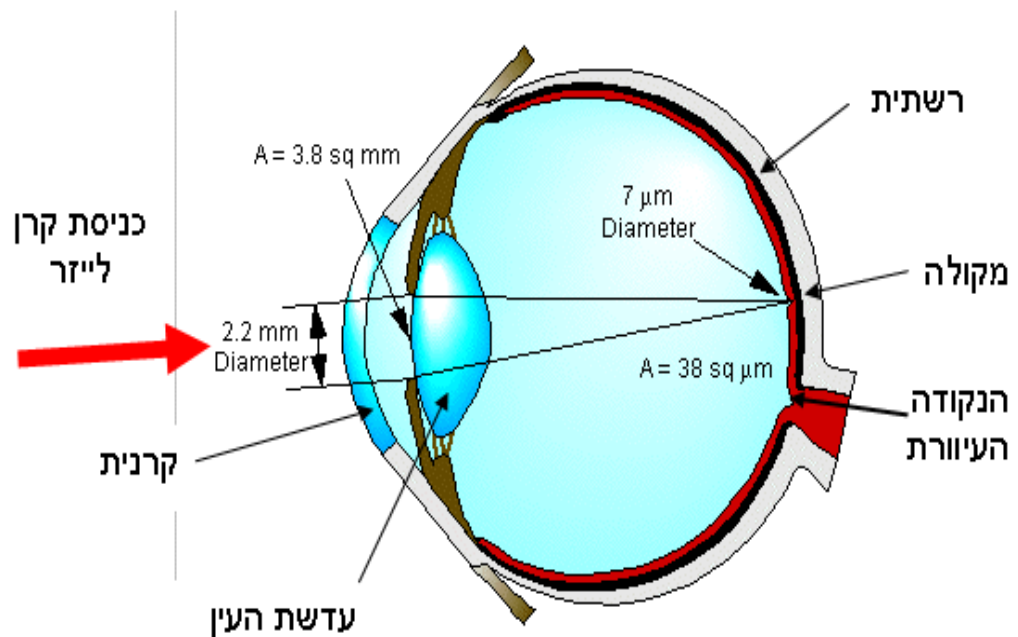
▼ כיצד פוגעת קרן הלייזר בראיה?

חוש הראיה חיוני עבורנו לביצוע פעולות רבות בחיי היום יום. כדי להבין יותר טוב את סיכוני הלייזר לעין, עלינו להבין כיצד העין בנויה. ציור 1 מציג חתך של העין. קרן אור החודרת לעין, ממוקדת ע"י הקרנית והעדשה ונבלעת ע"י הרשתית. ברשתית, תאי

עצב מיוחדים המתרגמים את האור הנבלע לאותות עצביים המועברים דרך העצב האופטי אל המוח לשם בניית התמונה הנצפית.

במרכז הרשתית מצויים שני אזורים רגישים ביותר לפגיעה. האחד הקרוי **מקולה** הוא מרכז עצבי צפוף האחראי לראיית צבע וראייה בכושר הפרדה גבוה. השני נקרא קרוי **הנקודה העיוורת** ובו מצויה נקודת היציאה של העצב האופטי מהעין אל המוח. הקרנית ועדשת העין מרכזות את קרן הלייזר לנקודת מוקד ברשתית פי 100,000 בקירוב ביחס לריכוזה המקורי לפני החדירה לעין. הרס רקמות אלו עשוי להיות במקולה, בנקודה העיוורת או במקום כלשהו ברשתית. פגיעות הראיה החמורות ביותר, עד כדי עיוורון, מתרחשות לאחר פגיעה של האלומה בנקודה העיוורת ו/או במקולה שבעין. יש לציין כי העין עלולה להיפגע גם מקרינת לייזר בתחום קרינת האולטרא-סגול והאינפרא-אדום. בתחומים אלה האלומה אינה חודרת ומתמקדת על הרשתית, אלא גורמת נזקים לקרנית ולא למנטים נוספים בעין על-פי עוצמת הקרינה ומשך החשיפה.

לא תמיד ניתן לראות את קרני הלייזר המצויות בסביבתנו. העין חדירה לאור בתחום אורכי גל של 400 עד 1400 ננומטר, כאשר מתחום זה רק תת התחום של 400-700 ננומטר נחשב לתחום הנראה. **כפי שאירע והודגם במספר תאונות, כל הלייזרים הפועלים בתחום ספקטרלי זה, גם בעוצמות נמוכות יחסית, עלולים להיות מסוכנים לעין. קרינות מ 700 עד 1400 ננומטר מסוכנות במיוחד משום שאינם ניראות ואינם מפעילות את רפלקס ההגנה של העין. הגדרת לייזר כבלתי מסוכן תלויה לפיכך בעוצמתו וביכולת החדירה של אלומתו לעין. לייזר יהיה בטוח עין רק אם עוצמתו המגיעה לעין תהיה כה נמוכה עד שלמרות כל התיאור לעיל, היא לא תהיה מסוגלת לגרום לנזק בתנאים סבירים.**



ציור 1: חתך של העין

▼ **מהו גבול ריכוז הקרינה המסוכן (MPE)?**

מושג חשוב המופיע במפרטי הבטיחות של לייזרים קרוי MPE (Maximum permissible exposure). פרמטר זה מהווה את הגבול העליון של ריכוז הקרינה ביחידות של הספק או אנרגיה ליחידת שטח שבו לא ייגרם נזק לרקמה. ערכי גבול זה מוגדרים בנפרד לעין ולעור. כמובן שנזק הנגרם מצריבת רשתית העין אינו דומה בד"כ לנזק של צריבה לעור. העור מגליד מכוויה בעוד שמקום הפגיעה ברשתית נהרס בד"כ כתוצאה מהכוויה.

▼ **כיצד מזהים לייזרים מסוכנים?**

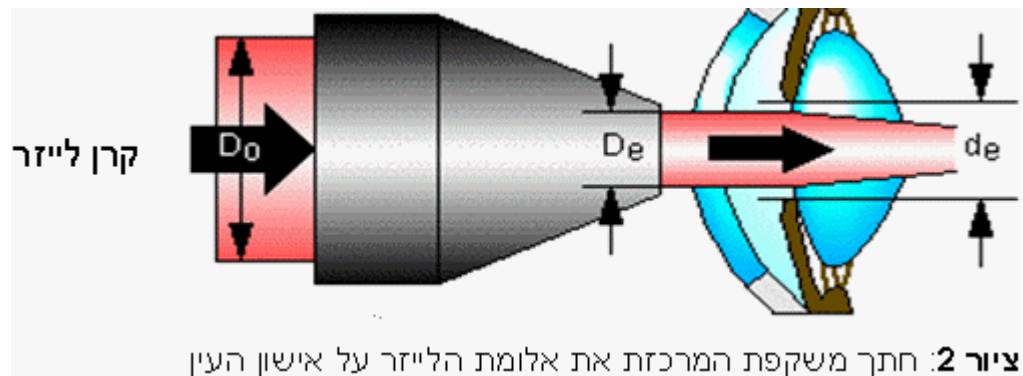
הלייזרים מסווגים לארבע קבוצות סיכון עיקריות ששלוש מהן מסווגות לשתי תתי קבוצות. קביעת קבוצות הסיכון מבוצעת על פי מספר פרמטרים המאפיינים את אלומת הלייזר. ללא סיווג זה, הקרוי במפרטים קבוצות סיכון – Hazard Class, לא ניתן לזהות בצורה פשוטה אם לייזר מסוכן או לא. טבלה 1 מציינת את קבוצות הסיכון של לייזרים.

טבלה 1: קבוצות הסיכון של לייזרים (הגדרות מלאות מופיעות במפרט בטיחות לייזרים של הוועדה הבינלאומית לטכנולוגיות חשמל (IEC, 2001)).

קבוצת סיכון Hazard Class	הערות
1	בטוח לשימוש בתנאים סבירים.
1M	מסוכן רק כאשר מרכזים את הקרן באמצעות מכלול אופטי.
2	עוצמת קרן נמוכה בתחום הנראה, העין מוגנת ע"י רפלקס סגירת העפעף הפועל תוך 0.25 שנייה.
2M	עוצמת קרן נמוכה בתחום הנראה, העין מוגנת ע"י רפלקס סגירת העפעף, מסוכנת רק כאשר מרכזים את הקרן באמצעות מכלול אופטי.
3R	קרן ישירה לעין בעלת רמת סיכון נמוכה עד גבולית.
3B	קרן ישירה מסוכנת לעין.
4	קרן ישירה ומוחזרת מסוכנת לעין לעור, ובעלת יכולת להצית אש.

▼ **כיצד משפיעה אופטיקה מכנסת על סיכון אלומת הלייזר לעין?**

חשוב לציין כי ריכוז של אלומת הלייזר ע"י התקנים אופטיים מרכזים עשוי להעביר אלומה בטוחה למצב של אלומה מסוכנת. ציון האות M (Magnification) בקבוצת הסיכון מסמן כי הלייזר עלול להיות מסוכן כאשר צופים בו באמצעות מכלול אופטי מרכזי. לדוגמא, משקפת 7x50 תוריד את סף הקרינה הבטוחה בתחום המסוכן לרשתית פי 51 כך שבמקרים מסוימים עלול להפוך לייזר בטוח עין ללייזר מסוכן (ראה ציור 2). כל יצרן לייזרים ומערכות לייזרים חייב, בין היתר, לסווג את הלייזר לפי קבוצת הסיכון ולשלט אותו בהתאם לדרישות התקן.



כיצד משלטים לייזרים? ▼

הלייזרים מסומנים בשלטי אזהרה עם רקע צהוב, עפ"י קבוצת הסיכון שלהם ואזהרה כתובה, כגון: "אין לחשוף את העין לקרינה ישירה או מוחזרת". ניתן לציין בשילוט נתונים נוספים כגון אורך הגל, חומר הלזירה, האם הקרן נראית או בלתי נראית, הספק הקרן/אנרגיית לפולס ועוד. דוגמא לשילוט ניתן לראות בציור 3. הגדרות מדוייקות לשילוט ניתן לקבל בסעיף 5 בתקן IEC משנת 2001.

בימים אלו מושלמת הכנת טיוטת תקנה ישראלית לבטיחות תעסוקתית של לייזרים בהתבסס על תקן ה- IEC (טיוטה, 2003). בנוסף, נדרשת התייחסות מחייבת של התקינה הישראלית לבטיחות לייזרים אליהם חשוף הציבור הרחב.



צור 3: דוגמאות לשילוט לייזרים

סיכום ▼

לייזרים הקורנים בתחום הספקטראלי המתמקד על הרשתית בתחום הנראה והבלתי נראה, יוצרים סיכון גבוה בעוצמות קרינה נמוכות יחסית לתחומים הספקטראליים האחרים. סיכונים אלו מתבטאים בפוטנציאל לכוויות בעין ובעור תוך אפשרות לפגיעה גם באיברים פנימיים. תקנה ישראלית תעסוקתית לבטיחות לייזרים מצויה בהכנה ובתהליכי תחיקה. עדיין נדרש לתת מענה לתחום בטיחות הציבור מקרינת לייזר.

תאונות לייזר שאירעו לאחרונה מדגישות את הצורך הדחוף בחקיקה ברורה ובאכיפה אפקטיבית בנושא.

פעילות בשטח בטיחות קרינה של מערכות לייזר ▼

- הדרכות
- סיווג קבוצות סיכון עפ"י תקני IEC ANSI EN העדכניים
- מדידת מבנה האלומה
- מדידות קרינה, צפיפות הספק ואנרגיה ליחידת שטח
- חישוב טווחי סיכון (NOHD)
- הגדרת משקפי מגן עפ"י תקן EN-207, EN-208
- סיוע בהכנת תוכנית בטיחות
- הכנת נספחי בטיחות עבור מערכות

- סיוע בהשגת אישורי FDA-CDRH למערכות לייזרים



[מקורות](#) ▼

IEC (2001). Safety of Laser Products, International Standard IEC 60825-1 - Edition 1.2 2001-08.

טיוטה (2003). טיוטה – תקנות הבטיחות בעבודה (גיהות תעסוקתית ובטיחות העוסקים במוצרי לייזר), התשס"ג – 2003.

ליצירת קשר:

מדור קרינה אלקטרומגנטית

שטח בטיחות קרינה

המרכז למחקר גרעיני שורק

דואר יבנה 81800

טל': 9434144 - 08

radsafe@soreq.gov.il

[חזרה למסך הראשי <<](#)

[>> חזרה למבוא](#)

