



שיבא - מרכז רפואי אקדמי מצטיין



המחלקה לבטיחות, גהות והגנת הסביבה

בטיחות בעבודה עם מערכות לייזר



צפריר בן יהודה

ממונה בטיחות קרינה

מתוך תקנות קרינת לייזר

תקנות הבטיחות בעבודה (גיהות תעסוקתית ובטיחות העוסקים בקרינת לייזר), התשס"ה-2005

ידריך ויאמן, בכתב ובעל-פה...
בנושאי הגנה מפני סיכוני לייזר... כל
עובד חדש מיד עם קבלתו לעבודה,
וכל עובד אחר, באופן שוטף וקבוע,
אחת לשנה לפחות...

מטרת הלומדה - לרענן את ידע העובד בנושא בטיחות קרינת לייזר, בהתאם לנושאים הבאים:

- מהי קרינת לייזר?
- סיווג לייזרים לפי רמות סיכון.
- סוגי לייזרים בביה"ח.
- סיכוני קרינת לייזר.
- הגנה מקרינת לייזר.

מהי קרינת לייזר?

קרינת לייזר

- הלייזר נוצר בתהליך הגברת אור ע"י פליטה מאולצת של קרינה

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

לאלומת הלייזר 4 תכונות חשובות המבדילות אותה ממקור אור רגיל (מנורה):

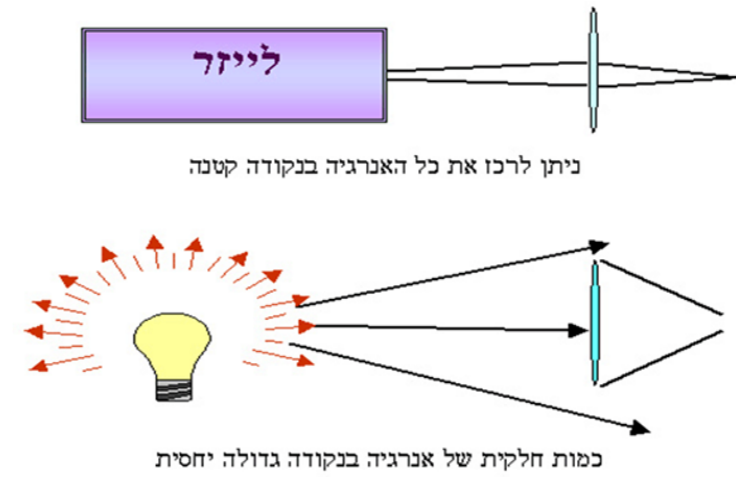
1. **מונוכרומטיות:** אורך גל מסוים מתוך הספקטרום ("צבע אחד").
2. **קוהרנטיות:** גלי האור באותה פאזה.
3. **כיווניות:** ריכוז האנרגיה הנפלטת מהלייזר לקרן בכיוון אחד.
4. **גודל מקור הקרינה:** שטח חתך וזווית התבדרות קטנים של קרן הלייזר.

מהי קרינת לייזר?

קרינת לייזר

שתי התכונות האחרונות מהוות מקור לסיכונים הכרוכים בשימוש בלייזרים.

תכונות אלו מאפשרות שימושים ייחודיים ומגוונים במערכות לייזר כגון: ריתוכים, חיתוך רקמות בניתוח, עירור מבנים כימיים, תקשורת אופטית ועוד.



סיווג לייזרים לפי רמות בטיחות

סיווג לייזרים

כדי לקבוע את רמת ההגנות לכל
סוג לייזרים, מסווגים הלייזרים
ע"פ רמת הבטיחות שלהם
(CLASS)

כמו כן, מחלקים את הלייזרים
לשתי קבוצות ע"פ רוחב פולס
פליטת האנרגיה:

- לייזר רציף
- לייזר פולסי



סיווג לייזרים

סיווג לייזרים לפי רמות בטיחות

סוג	תיאור הסיכון	הערות ודוגמאות
1	מוצר לייזר שרמת קרינתו אינה מסוכנת	כולל מערכות לייזר חזקות יותר, כאשר הקרן כלואה בתוך המכשיר: מדפסות לייזר, מיקרוסקופ לייזר וכו'.
1M	מוצר לייזר ברמת סיכון 1 העלול להיות מסוכן לעין כאשר מסתכלים לתוך הקרן עם אמצעים אופטיים מרכזים	אמצעים אופטיים, כגון: משקפת, טלסקופ, זכוכית מגדלת
2	מוצר לייזר שאינו מסוכן לעין בחשיפות קצרות (מתחת ל-0.25 שניות). אינו מסוכן לעור.	0.25 שניות - מנגנון המצמוץ הטבעי של עין כאשר היא מסתכלת ישירות לתוך מקור אור חזק - מהווה מנגנון הגנה טבעי.
2M	מוצר לייזר ברמת סיכון 2 העלול להיות מסוכן לעין כאשר מסתכלים לקרן עם אמצעים אופטיים מרכזים	אמצעים אופטיים, כגון: משקפת, טלסקופ, זכוכית מגדלת
3R	מוצר לייזר העלול להיות מסוכן לעין בחשיפה מכוונת לקרן ישירה. סיכון נמוך לעין בחשיפות קצרות וללא סיכון לעור.	גבול הפליטה הנגישה לרמת סיכון זו הוא עד חמש פעמים רמת סיכון 2, בתחום האור הנראה ועד חמש פעמים רמת סיכון 1, בשאר התחומים
3B	מוצר לייזר המסוכן לעין בחשיפה לקרן ישירה בכל זמן חשיפה, אך בדר"כ אינו מסוכן לעור	לייזרים רציפים בעוצמה 5-500 mW
4	מוצר לייזר המסוכן לעין ולעור בחשיפה לקרן ישירה, חוזרת ומפוזרת. אלומתו עלולה להצית חומרים דליקים.	כל הלייזרים שהספקם מעל 500 mW

לייזרים בביה"ח

סטוס	לייזר						מיקום			
	תאור	הערה	מס' פנימי	מס' יצרן	דגם	יצרן	חדר	קומה		
	Class 3B	1064 nm	ME007976	80411	YC-1800	NIDEK	7			
	Class 4	532 nm	ME003880	10097	GYC-1000	NIDEK	31	ק'	מרפאות	
	Class 4	532 nm	ME061247	0129-1	MultiSpot	VALON				
	Class 3B	689 nm	ME0101109	4072	VITRA	QUANTEL MEDICAL	34			בנין עיניים
	Class 4	810 nm	ME0100920	29883-LS	Oculight SLX	IRIDEX	21			
הושבת	Class 3B	1064 nm	—	40494	YC-1400	NIDEK	106	1		
	Class 4	810 nm	ME0100920	29883-LS	Oculight SLX	IRIDEX	1+2+3	1	חדרי ניתוח	
	Class 4	532 nm	ME003882	10016	GYC-1000	NIDEK				
	Class 4	532 nm	ME041944	11002209901	Constellation	ALCON				
	Class 4	532 nm	ME035793	1702433201X	Constellation	ALCON				
	Class 4	10.6 mm	ME001814	001-05927	NovaPulse	Laser Ind				
	Class 4	nm514	ME352216	952009	Nuvous 2000	Coherent	253	2	מעבדה	

לייזרים בביה"ח

סטטוס	לייזר						מיקום		
	תאור	הערה	מס' פנימי	מס' יצרן	דגם	יצרן	חדר	קומה	
	Class 4	10.6 μ m	ME000383	057-055	Sharplan 30C	Laser Ind	601+602+401	L	מט"מ
	Class 4	1064 nm	ME102110	206	MYLS 100	LBT			
	Class 4	595 nm	ME003032	0720-04880	VBeam	Candela			
	Class 4	810 nm	ME007046	SP811RB	Soprano	Alma			
	Class 4	10.6 mm	ME043494	S0111	PIXEL CO2	Alma			
	Class 4	1064 nm	ME003577	LV200162	HARMONY	Alma			
	Class 4	830 nm	—	018-02364	SARPLAN 6020	Laser Ind	705		
	Class 4	2.1 mm	ME041513	006-90	VersaPulse 1	Lumenis	1+2	L	חדרי ניתוח כללי
	Class 4	2100 nm 1064 nm	ME062192	259	VersaPulse dual	Lumenis			
לא פעיל	Class 4	10.6 mm	ME004346	060-15922	Lumenis 30C	Lumenis	5		
	Class 4	10.6 mm	ME045473	160	Acupulse duo	Lumenis			
	Class 4	308 nm	ME042392	80231	CVX-300	Spectranetics	9	L	
	Class 4	980 nm				GIGAA	13	-1	ח"נ יום
	Class 4	1470 nm				GIGAA			
	Class 4	2.1 mm	ME041514	006-91	VersaPulse 2	Lumenis	2-018	L	מ. ריאות
	Class 4	308 nm	ME042392	80231	CVX-300	Spectranetics	2+3	L	צינתורים

לייזרים בביה"ח

סטטוס	לייזר						מיקום			
	תאור	הערה	מס' פנימי	מס' יצרן	דגם	יצרן	חדר	קומה		
	Class 4	1064 nm	ME042068	810-073	Fibertom 8100	Dornier Medtech	1+4	L	ח"נ נשים	בניין נשים
	רק כאשר בטיפול Class 4	458- 1040nm	ME009330	3273	Mai tai	Spectraphysics	280	1	מעבדת הסרטן	בנין מעבדות

עבודה עם לייזרים, חושפת אותנו לסכנות רבות אותן חשוב שנכיר:



סיכון לעיניים



סיכון לעור



גרימת אש ופיצוץ



אידוי חומרים רעילים



סכנת התחשמלות



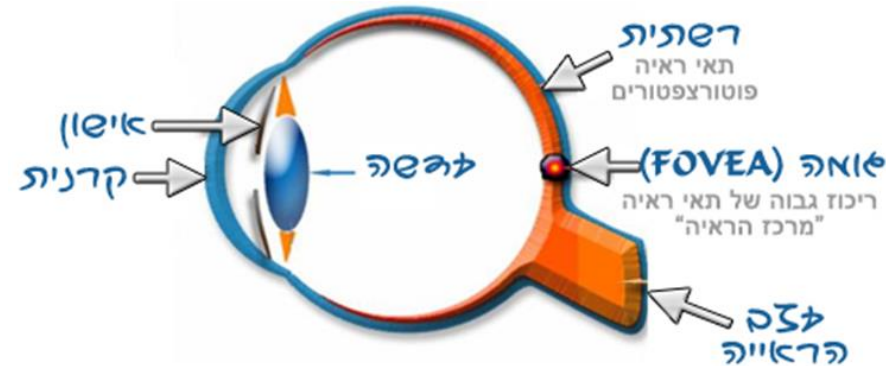
סיכונים כימיים ממקור הלייזר עצמו



הסיכון העיקרי בעבודה במערכות לייזר הוא הסיכון לעיניים.

העין היא איבר החישה החשוב ביותר לאדם.

פגיעה של קרן לייזר בעין עלולה לגרום נזק חמור ואף לאובדן ראייה מלא!



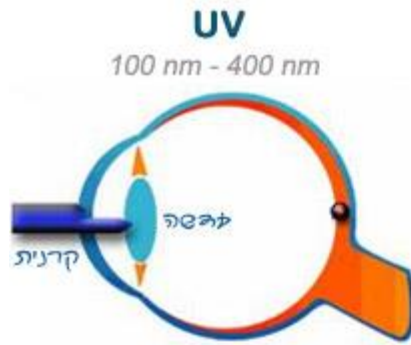
קרנית+עדשה: החלק האופטי של העין – איסוף וריכוז האור
רשתית: קליטה והמרה של האור לפולסים חשמליים המועברים
באמצעות עצב הראייה למוח

העין מהווה מערכת אופטית היוצרת, באמצעות הקרנית והעדשה, תמונה
חדה על פני אזור קטן ברשתית הנקרא גומה (Fovea) שקוטרו 200 מיקרון.
באזור זה קיים ריכוז גבוה של תאי ראייה בעלי יכולת הפרדה גבוהה
(רזולוציה) וראיית צבעים.



עומק חדירת קרן הלייזר לחלקי העין השונים
תלוי באורך הגל.

עוצמת הנזק תלויה בצפיפות האנרגיה של הקרן:



אור אולטרא סגול

UV:

בליעה (ונזק)
פוטנציאלי
בקרנית והעדשה



אור ניראה ו- IR

קרוב:

בליעה (ונזק)
פוטנציאלי
ברשתית



אור IR רחוק:

בליעה (ונזק)
פוטנציאלי
בקרנית והעדשה

סיכון לעיניים

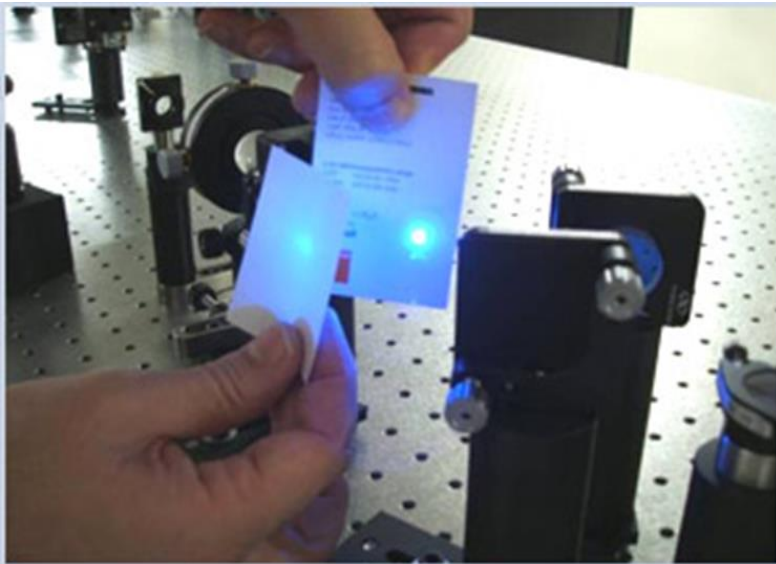
סיכון לעיניים עלול להתממש בחשיפה מקרית קצרה ביותר לקרן ישירה.



שים לב: בלייזרים בעוצמות

**גבוהות יותר - גם קרניים
המוחזרות ממשטח מבריק
(החזרות ממראה) מסוכנות
לעיניים.**

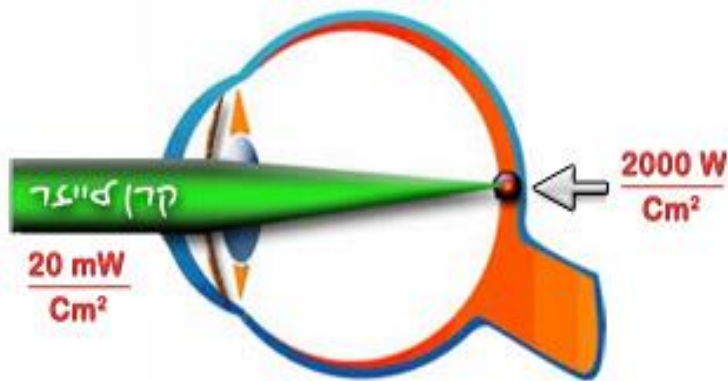
**בלייזרים חזקים - גם החזרות
ממשטח שאינו מבריק מסוכנות
לעיניים.**





התכונות האופטיות של העין גורמות לסיכון מוגבר בחשיפה לקרני לייזר בתחום הנראה וה- IR (תת אדום) הקרוב.

סיכון לעיניים



העין מרכזת אור באורכי הגל הנראה וה- IR הקרוב אל נקודה זעירה על הגומה (Fovea) שבה מרוכזים תאי עצב הראייה בצפיפות רבה, כך שהיחס בין שטח מגע קרן הלייזר באישון לבין שטח פגיעתה בגומה הוא: $10^{-5} : 1$. כתוצאה מכך צפיפות ההספק של קרן הלייזר בפגיעתה בגומה תגדל פי 10^5 מערכה בעת פגיעתה באישון (כלומר מ- mW בודדים לאלפי וואט למידת שטח).

מנגנוני הקירור של העין לא מסוגלים להתמודד עם האנרגיה הרבה והתוצאה היא כוויה בשטח הנפגע ומסביבו.

שים לב:

פגיעה מקרית קצרה של לייזר בעוצמה של mW בודדים עלולה לגרום נזק חמור ובלתי הפיך לראיה!

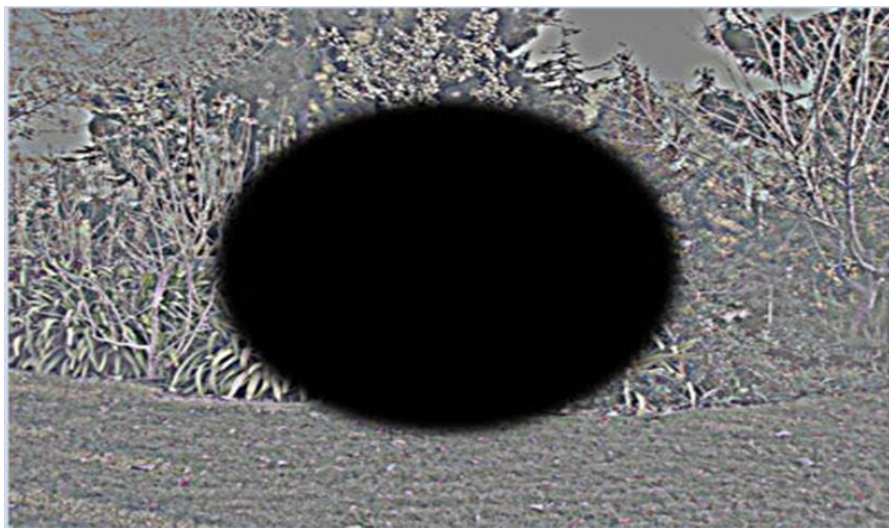
דוגמא לנזק כתוצאה מפגיעת קרן לייזר ברשתית



סיכונים

סיכון
לעיניים

ראייה אחרי התאונה



ראייה לפני התאונה





לייזרים חזקים עלולים לגרום נזקים לעור.

- עומק החדירה של קרן הלייזר לתוך שכבות העור תלוי באורך הגל, כאשר עומק החדירה המכסימלי מתקבל בתחום ה- IR הקרוב.
- לייזרים בתחום ה- UV עלולים, בדומה לכל מקור UV חזק, לגרום לאדמומיות, לכוויות בעור ולהשפעות ארוכות טווח כגון: מחלות עור כרוניות ומחלות ממאירות.



חורים שנוצרו עקב פגיעת קרן לייזר במסך בד עבה

סיכונים



גרימת אש ופיצוץ לייזרים בעוצמות גבוהות עלולים לגרום להתלקחות חומרים דליקים (בדים, ניירות, פלסטיק, עץ וכו') ולפיצוץ במגע עם נוזלים וגזים דליקים.



איזוי חומרים רעילים פגיעה של קרן הלייזר בחומרים כימיים עלולה לגרום לאיזוי חומרים רעילים לחלל החדר.



סכנת התחשמלות סכנת התחשמלות נגרמת עקב מתח הזנה גבוה למערכות לייזר.



סיכונים כימיים ממקור הלייזר עצמו

מקור הלייזר עצמו טומן בחובו סיכונים:
לייזרי צבע המכילים כימיקלים רעילים.
לייזרים המכילים גז רעיל כגון פלואור.
סכנת דחיקת חמצן בשימוש בלייזרים המכילים גזים אינרטיים (חנקן, הליום).

הגנה ומניעה

הבטיחות במעבדת לייזר מושתת על שלושה קווי
הגנה עיקריים שיש ליישם:

אמצעי מיגון הנדסיים



ציוד מגן אישי



נהלי בטיחות



השילוב בין השלושה יאפשר הגנה מיטבית מפני הלייזר
ומניעת פגיעה ממנו.

מערכות לייזר ברמת בטיחות 3B ו 4

עבודה בלייזרים ברמת בטיחות 3B ו 4, עקב הסיכונים
הגבוהים למשתמש ולסביבתו, מחייבים תשתית
מתאימה והקפדה על כללי הבטיחות.



המצב הבטיחותי ביותר הוא מצב בו
מערכת הלייזר סגורה לחלוטין בתוך
מעטפת עמידה לאורך הגל ולאנרגיה
המופקת ממנו.
מערכות כאלה מצוידות **במפסק סף-**
Interlock כך שבמקרה של פתיחת
מעטפת ההגנה, הלייזר מפסיק פעולתו
באופן אוטומטי.

הגנה מקרינת לייזר

אמצעים הנדסיים

הגנה על עוברים ושבים מפני פגיעה מקרן לייזר

אדם נכנס לחדר בזמן פעולת כיוון ונפגע מקרן לייזר טועה.



כיצד נימנע ממצב מסוכן זה?

1. הכניסה למעבדת הלייזר תהיה מוגבלת למורשים בלבד.
2. פתיחת הדלת באמצעות קוד או מפתח בלבד (נעילה פנימית).



הגנה על עוברים ושבים מפני פגיעה מקרן לייזר



3. על הדלת מבחוץ יוצב שילוט אזהרה ברור ומעליה מנורת אזהרה שתדלוק כל זמן שהלייזר מופעל בחדר.



4. חלונות החדר חייבים להיות מכוסים במגן עמיד ומתאים שימנע יציאת קרניים אל מחוץ לחדר.

הגנה
מקרינת
לייזר

אמצעים
הנדסיים

הגנה על העובדים והסביבה מפני פגיעה מקרן לייזר

הגנה מקרינת לייזר

המראה מעל הכיור הוסרה



בזמן העבודה עם הלייזר :

1. **הסר** כל אביזר מבריק מידיך, בכללם : שעון, טבעת, צמיד.
2. **סלק** אביזרים מבריקים בלתי נחוצים מהאזור
3. הרכב משקפי מגן מתאימות
4. בעבודה עם לייזרים המסווגים ברמת בטיחות 4, **יש להרחיק** ממסלול הקרן המתוכנן ומהאזור אליו עלולות לזלוג קרני לייזר בצורה בלתי מתוכננת, חומרים דליקים כלשהם : בדים, ניירות, עץ, כימיקלים דליקים וכו'.

אמצעים הנדסיים

הגנה מקרינת לייזר

אמצעים
הנדסיים

הגנה מפני סיכונים אחרים

1. מערכת לייזר חייבת להיבדק ע"י חשמלאי מוסמך ולקבל אישורו (מוגנת ומוארקת ע"פ חוק החשמל).
2. עבודה עם כימיקלים מסוכנים (כגון : ממסים וגזים), תתבצע בהתייחס למידע המפורט בדף **MSDS** של החומר.



ציוד מגן אישי

לאור הנלמד עד כה, יש להעדיף התקנת אמצעי מיגון הנדסיים לסגירה מוחלטת של קרני הלייזר כך שלא יהוו סיכון לעובד ולסביבתו.

יחד עם זאת, במהלך טיפולים ישנן פעולות רבות בהם עובדים עם קרני לייזר שאינן סגורות לחלוטין. במקרים כאלה חובה להשתמש בציוד מגן אישי.



משקפי מגן ללייזר

השימוש במשקפי מגן ללייזר הוא החשוב ביותר עקב הסיכון הגבוה לעיניים:
פגיעה מקרית חד פעמית, אף קצרה ביותר, של קרן לייזר בעין, עלולה לגרום לאובדן הראיה.

התאמת משקפי המגן מושתתת על שתי פרמטרים עיקריים:

- **אורך הגל:** יכולת בליעה באורך הגל של קרן הלייזר איתה עובדים.
 - **צפיפות הספק הקרן:** עמידות מכנית של העדשות לעוצמת הקרן הפוגעת.
- עדשות משקפי המגן מנחיתות את עוצמת השטף באורך הגל של הלייזר עמו אנו עובדים, לרמות שאינן מסוכנות לעיניים, אל מתחת לערך ה- MPE לאותו אורך גל.**

MPE (Maximum Permissible Exposure) הוא ערך המבטא את רמת החשיפה המכסימלית המותרת לעין. מעל רמה זו החשיפה מסוכנת. לכל אורך גל של לייזר יש ערך MPE משלו, הנקבע על סמך ניסויים מעבדתיים ומפורט בתקנים בינלאומיים המאומצים ע"י הרשויות בארץ.



משקפי מגן ללייזר

- ערך ההנחתה של עדשות משקפי מגן לאורך גל מסוים נקרא O.D, שפירושו (Optical Density) ערך זה רשום על המשקפיים.
- על מנת לבחור משקפי מגן מתאימים לאורך גל הלייזר הספציפי אותו עובדים, יש לחשב את ערך ה- OD המתאים ללייזר זה, על בסיס נתוני צפיפות ההספק של הקרן וערך ה- MPE שלה.
- הבעייתיות בבחירת משקפי מגן היא, שככל שה- O.D גבוה יותר, ההגנה מפני הלייזר גבוהה יותר, אך יכולת העברת התאורה הסביבתית אל העין נפגעת ואינה מאפשרת לעבוד בבטחה.
- יש לבחור במשקפי מגן בעלי ה- O.D האופטימלי כך שמצד אחד ייתן את ההגנה הדרושה לאורך הגל של הלייזר בו אנו עובדים ויחד עם זאת יעביר את מירב האור (בתחום הנראה) ובאורכי הגל האחרים.



אופן החישוב של ה- O.D- Optical Density:

$$O.D = \log_{10} \left[\frac{H_0}{MPE} \right]$$

H_0 = צפיפות הספק מכסימלית ב W/cm^2

משקפי מגן ללייזר



**יש להקפיד שכל הנמצאים בחדר בזמן
עבודה עם הלייזר יהיו ממוגנים, ולא רק
העובד בפועל!**

הגנה
מקרינת
לייזר

מיגון
אישי

משקפי מגן ללייזר

הגנה
מקרינת
לייזר

מיגון
אישי

- יש לשמור על שלמותן וניקיון של משקפי המגן.
- במידה ונתגלו סדקים או שריטות יש לתקן באמצעות חברה מורשה או להחליף את המשקפיים.
- בכל מקרה של חשש כי משקפי המגן ספגו קרן ישירה (ואולי באותה הזדמנות הגנו עלינו מעיוורון), יש להעביר את משקפי המגן לבדיקה חוזרת ו/או החלפה.



לסיכום

- משקפי מגן ללייזר חייבים להיות מותאמים לאורך הגל.
- בזמן עבודה עם הלייזר, כל הנמצאים בחדר מחויבים במשקפי מגן.
- מתחת לערך ה- MPE, חשיפה ללייזר לא תגרום נזק לעיניים.
- במידה ויש שריטות או סדקים במשקפי המגן - יש לשלוח אותן לתיקון/החלפה בחברה המורשה לכך.

מקרה שקרה

העין שנחשפה

באוקטובר 2001 עסק דוקטורנט באוניברסיטה העברית, בכיוון קרן לייזר על פני שולחן אופטי במעבדת לייזרים. הוא הסיר את משקפי המגן בטענה שברצונו לראות את הקרן אותה כיוון. בזמן פעולת הכיוון פגעה הקרן במשטח זכוכית שהיה מונח על השולחן האופטי. הקרן המוחזרת מהזכוכית פגעה בעינו הבלתי ממוגנת. הוא הרגיש צריבה חזקה בעינו, פונה לבית חולים, שם אובחן דימום בנוזל העין.



הליקויים הבטיחותיים שגרמו לתאונה היו:
נוכחות משטח מחזיר (זכוכית) על שולחן העבודה.
העדר הגנות במסלול הקרן.
אי שימוש במשקפי מגן ייעודיות.

תקנות בטיחות בעבודה עם לייזר

על מנת להסדיר עבודה בטיחותית
בלייזרים, תוקנו תקנות בטיחות
לעוסקים בקרינת לייזר

יש לעיין בתקנות אלו כנדבך נוסף
בתהליך יישום והטמעת נוהלי
עבודה בטוחה בלייזרים.

מרכז רפואי שיבא



בנין עיניים, קומת ק' - מרפאת עיניים ח' 7

הוראות בטיחות בסיסיות

1. מערכת הלייזר שבמרפאת העיניים מסווגת בדרגת הסיכון Class 3B.
2. חשיפה לאלומת לייזר מדרגת הסיכון Class 3B יש בה סיכון חמור לעיניים.
3. לפני שמבצעים פרוצדורה טיפולית באמצעות הלייזר, יש לוודא כי מתקיימים:
 - א- דלתות הכניסה של המרפאה נעולות באופן שלא ניתנת לפתיחה לא מבוקרת, מבחוץ.
 - ב- על דלת המרפאה מוצב שלט אתראה מקרינת לייזר.
 - ג- מנורת האתראה שמעל דלת הכניסה, דולקת.
 - ד- מלווה או מתלמד שנמצא במרפאה, מוגן במשקפי מגן בעלי R L5, לפחות, ל- 1064 nm.
4. במידה ופורצת אש בסביבת הלייזר, יש לכבות את האש במטף הלון בלבד.
5. בגמר הפעלת הלייזר, יש לכבות את מנורת האתראה, ולהחזיר את משקפי המגן למקום אחסונם.
6. במקרה של פגיעה בעין מאלומת לייזר, בדוק את אופי הנזק וקבע את הטיפול הדרוש.
7. כל מקרה של תאונת לייזר יש להביא, בהקדם, לידיעתו של ממונה בטיחות הלייזר המקומי, מר **צפירי בן-יהודה**,

בטל. 052-6669984.

מרפאת עיניים – חדר 7, קומת קרקע, בנין מחלקת עיניים						
משקפי המגן			פרטי הלייזרים			
כמות	מצאי	הגדרה	סיווג	אורך גל	מודל	יצרן
1	DIR LB5	R L5	Class 3B	1064 nm	YC-1800	NIDEK

סיכום

- למדנו מהי קרינת לייזר, סיווגנו אותה לפי רמות סיכון ואיתרנו את המכשירים בבית"ח.
- פרטנו את הסיכונים שבשימושי לייזר: לעיניים, לעור ולסביבה.
- ראינו כיצד באמצעים פשוטים כמו: משקפי מגן, סביבה מתאימה ונהלי בטיחות, ניתן להגן מפני נזקי הלייזר ולהשתמש בו בבטחה.