



נוהל בטיחות בעבודה עם לייזרים

- 1 מטרה:**
- 1.1 לספק נהלי בטיחות בעבודה עם לייזרים מסוכנים,
 - 1.2 לספק הנחיות לגבי תכנון המעבדה ותכנון מערכות ניסוי המשתמשות בלייזרים מסוכנים.
- 2 מהות הסיכונים והגדרות:**
- 2.1 קלסיפיקציה של לייזרים ומערכות לייזרים:
 - ❖ דרגה 1: לייזר שאינו יכול לגרום נזק לעין גם בחשיפה ישירה של 8 שעות ביום עבודה. דרגה 1M – לייזר מדרגה 1 היכול לגרום נזק אם מתבוננים בו באמצעות אופטיקה מרכזת.
 - ❖ דרגה 2: לייזר, באור ניראה, שאינו יכול לגרום נזק לעין, אלא אם יתגבר המסתכל על רפלקס המצמוץ ויתמיד להסתכל לתוך האלומה. דרגה 2M – לייזר מדרגה 2 כמתואר, היכול לגרום נזק אם מתבוננים בו באמצעות אופטיקה מרכזת.
 - ❖ דרגה 3R: לייזר שעוצמתו גבוהה עד פי 5 מזו של לייזר בדרגת סיכון 2, לגבי לייזרים באור ניראה, ועד פי 5 מזו של לייזר בדרגת סיכון 1 לגבי כל שאר הלייזרים.
 - ❖ דרגה 3B: לייזר היכול לגרום נזק לעין בצפייה ישירה בתוך פחות מ- ¼ שנייה (זמן רפלקס המצמוץ), אינו יכול לגרום נזק בצפייה מאור המוחזר ממשטח מפזר, ובדרך כלל לא יגרום נזק לעור.
 - ❖ דרגה 4: לייזר בעל פוטנציאל פגיעה גבוה. עלול לגרום נזק בלתי הפיך לעין בצפייה ישירה וגם בהחזרה ממשטח מפזר, יכול לגרום נזק לעור בחשיפה ישירה וגם בהחזרה ממשטח מפזר ועלול להצית חומרים דליקים.
 - 2.2 רמת חשיפה מירבית מותרת (PEL): רמת החשיפה לקרינת לייזר שאליה יכולים כמעט כל העובדים להיחשף במהלך משמרת העבודה, לאורך זמן, ללא השפעה בריאותית. רמת החשיפה / אופן חישוב רמת החשיפה המרבית המותרת לכל סוג של לייזר מפורטת בתקן IEC-60825 חלק 1. התקן מצוי במשרדי יחידת הבטיחות של האוניברסיטה.
 - 2.3 לייזר מסוכן: לייזר בדרגת סיכון 3R באור לא ניראה, וכל לייזר בדרגת סיכון 3B ו-4.
 - 2.4 אזור סיכוני לייזר: כל אזור בו קיימת סכנת חשיפה לקרינת לייזר מעבר לרמה המרבית המותרת, בשגרה או במקרה של תקלה.
 - 2.5 עובד בסיכוני לייזר: כל עובד המצוי בשגרה, לרגל עבודתו, באזור סיכוני לייזר.
 - 2.6 משקפי מגן ללייזרים: משקפי מגן המותאמים ללייזר ספציפי בכך שעדשות המשקפיים בולעות את אורך הגל / אורכי הגל של הלייזר, בצפיפות אופטית המורידה את עוצמת האלומה לרמה המרבית המותרת לפחות, והעדשות עמידות באנרגיות המרביות שהלייזר יכול לפלוט בשגרה או במקרה של תקלה. משקפי המגן צריכים להיות מסומנים בהתאם לתכונות ההגנה שלהם, ולהיות בעלי תו תקן בהתאם לת"י 4141 / EN207/EN208.
- אין להשתמש במשקפי מגן ללייזרים שאין להם תו תקן. עבור שימוש במשקפי מגן בעלי תו תקן שונה מהמצוין למעלה, יש לקבל אישור ממונה בטיחות לייזר / מפקח עבודה לנושא בטיחות לייזר.



שיטות עבודה:

3

3.1 כללי:

- 3.1.1 רק אנשים שעברו הדרכה בבטיחות בעבודה עם לייזרים וקבלו אישור על ההדרכה, מורשים לעבוד במערכות לייזר מסוכן. הדרכה בבטיחות לייזר תינתן לכל עובד חדש, המתחיל לעבוד עם לייזר מסוכן. הדרכות רענון תינתנה פעם בשנה. האחריות לארגון ההדרכות: יחידת הבטיחות של האוניברסיטה.
- 3.1.2 כל לייזר בדרגת סיכון 2 ומעלה יהיה מסומן בתווית אזהרה תקנית בהתאם לסיכון שמציגה מערכת הלייזר.
- 3.1.3 בכל מקרה של תקלה או אי תקינות, יש לכבות את המערכת מיד ולא להפעילה עד שתוקנה התקלה.

3.2 הגנה מאלומת הקרינה של הלייזר:

- 3.2.1 לעולם אין להסתכל ישירות לתוך אלומת הקרינה או לתוך מסלול האלומה. צפייה ישירה או מוחזרת, עלולה לגרום נזק בלתי הפיך לעין, בהתאם לדרגת הסיכון של הלייזר.
- 3.2.2 בכל עבודה עם לייזר מסוכן, שיש בה אפשרות של חשיפה לעוצמת קרינה גבוהה מהרמה המרבית המותרת, בשגרה או במקרה של תקלה, יש להרכיב משקפי מגן, המתאימים לאורך הגל של קרינת הלייזר ולעוצמתה ובעלי תו תקן כמוגדר בסעיף 2.6. משקפי המגן יהיו מסומנים באורך הגל וצפיפות הבליעה המתאימים למערכת הלייזר שלה הם נועדו. השימוש במשקפי מגן שאינם עומדים בדרישות מותנה בקבלת אישור בודק מוסמך למערכות לייזר, או מפקח עבודה.
- 3.2.3 בחירת משקפי המגן המתאימים תיקח בחשבון את הפרמטרים הבאים:
- אורך הגל של הלייזר
 - עוצמת הקרינה שהעובד עלול להיחשף אליה בשגרה או במקרה של תקלה,
 - רמת החשיפה המרבית המותרת לאותו לייזר,
 - הצפיפות האופטית של המשקפיים באורך הגל של הלייזר,
 - דרישה לרמת העברה באור נראה,
 - עוצמת הקרינה העלולה לגרום נזק למשקפי המגן,
 - הצורך במשקפי מגן אופטיים,
 - נוחות בלבישה, אוורור,
 - דגדגציה של העדשות, אפילו זמנית או חולפת,
 - עמידות העדשה להלם או מכה,
 - דרישות ראייה פריפרלית,
 - עמידה בתקן ובתקנות.
- 3.2.4 למרות האמור בסעיף 3.2.2, במקרים חריגים, בהם לא ניתן, מעשית, להשתמש במשקפי מגן מתאימים ללייזר בתחום האור הנראה, ניתן להפחית בדרישה, ובתנאי שניתנת הגדרה בנוהל לאופן העבודה עם הלייזר, ובאישור ממונה בטיחות לייזר בלבד.

3.3 אמצעי הגנה הנדסיים ומכניים נדרשים במערכות הלייזר:

- 3.3.1 במידת האפשר יש להקפיד על קיום מגינים סביב מסלול הקרינה של הלייזר. מגינים אילו יגנו על העובדים במעבדה מפני חשיפה אקראית לאלומת הקרינה של הלייזר.
- 3.3.2 קצה האלומה השימושית יהיה חסום על ידי תריס, פילטר או גוף בולע קרינה או על ידי מגן מתאים שיורכב על הלייזר או על השולחן האופטי.



- 3.3.3 אין להסיר מגינים ואין להפעיל את מערכת הלייזר ללא מגינים או עם מגינים פגומים. במקומות שנדרש להסיר מגינים או לא ניתן להתקין מגינים, לצורך מחקר, יש לנקוט אמצעים מתאימים למניעת חשיפה לקרינת הלייזר, וחובה להרכיב משקפי מגן מתאימים לסוג הלייזר ועוצמתו בכל עת שהייה במעבדה.
- 3.3.4 בכל מקרה של ספק, יש לפנות לממונה בטיחות לייזר / מחלקת הבטיחות לקבלת הנחיות.

4 אמצעי בטיחות נדרשים במעבדה בה מוצב הלייזר, לפי דרגות הסיכון:

- 4.1 דרגת סיכון 3R :
אין צורך באמצעים מיוחדים, פרט לאמצעים המוזכרים למעלה ומשקפי מגן מתאימים ללייזר המצוי במעבדה.
- 4.2 דרגת סיכון 3B :
 - יש להגדיר את תחום אזור הסיכון לפגיעה מהלייזר.
 - הגישה לאזור סיכוני הלייזר תהיה מוגבלת למורשים בלבד באמצעות חסמים, וילונות ושילוט.
 - על דלת המעבדה מבחוץ יותקן שילוט אזהרה לקרינת לייזר נראה / לא נראה על פי המקרה. שלטים מתאימים ניתן להזמין דרך יחידת הבטיחות של האוניברסיטה.
 - בתוך המעבדה ו/או על דלת המעבדה בחוץ יותקן שילוט חובת שימוש במשקפי מגן מתאימים בכל עת שקיימת סכנת חשיפה לקרינת לייזר כלשהו.
 - יש להתקין במעבדה מתקן (מדף, ארונית, מגירות) להחזקת משקפי מגן מתאימים לכל הלייזרים המסוכנים המצויים במעבדה. המדף / ארונית יהיו משולטים בהתאם.
 - יש להבטיח קיום מטף כיבוי אש במעבדה או בקרבתה.
 - הלייזר יותקן במעבדה באופן שפליטת הקרינה תהיה מתחת לעיני אדם עומד או יושב, על פי המקרה, ובכל מקרה לא בגובה עיני אדם.
 - הלייזר יותקן באופן שפליטת הקרינה לא תהיה בכיוון דלת המעבדה.
 - מערכות הלייזרים המסוכנים צריכות לעבור בדיקה שנתית על ידי בודק מאושר / מעבדה מוסמכת. פנה למחלקת הבטיחות לקבלת פרטים.
- 4.3 דרגת סיכון 4 :
 - מעל דלת המעבדה מבחוץ יותקן שילוט אזהרה עם סימול הסיכון של קרינת לייזר, שיכלול אזהרה מפני קרינת לייזר נראה או לא נראה בהתאם למקרה, חובת כניסה למורשים בלבד, וחובת שימוש במשקפי מגן מתאימים לסוג הלייזר במעבדה.
 - במבואה למעבדה לייזר או במקום נגיש, יותקן מתקן מתאים (ארונית או מגירה) להחזקת משקפי מגן ייעודיים למערכות הלייזר.
 - הלייזר יותקן במעבדה באופן שאלומת הקרינה תהיה מתחת לגובה עיני אדם, ותצא לכיוון קיר אטום ולא לכיוון דלת המעבדה.
 - כל חלון שיוותקן בקירות המעבדה או בדלת המעבדה יש לצפות בציפוי הבולע את קרינת הלייזר, ומוריד אותה לדרגה בלתי מסוכנת (יש לקבל אפיון מדויק מממונה בטיחות לייזר / מחלקת הבטיחות).
 - לחילופין, ניתן להקיף את מערכת הלייזר בוילונות המונעים מעבר קרינה לכיוון חלונות החדר. הוילונות יישמרו סגורים בכל עת העבודה עם הלייזרים.
 - מערכת הלייזר תהיה מצוידת בחיווי על ידי אור ו/או זמזום, שיזהיר כאשר הלייזר מופעל ובתווית אזהרה תקנית ללייזר בדרגת סיכון 4.
 - עד כמה שניתן, יש להכיל את מסלול אלומת הלייזר באופן שימנע הכנסת ראש, ידיים או חפצים המחזירים או מפזרים אור, לנתיב האלומה. אין להשתמש ברכיבים מבריקים או מחזירי אור בנתיב האלומה.



- יש לוודא קיום מפסק חירום במערכת הלייזר או בכניסה לחדר, להפסקת פעולת הלייזר בחירום.
- בקצה האלומה השימושי יותקנו בולעים למניעת פגיעת האלומה בקיר או באדם שיעבור בין השולחן האופטי לקיר. יש להשתמש בעוצרי אלומה מחומרים בלתי דליקים שאינם מחזירים אור.
- יש להימנע מקירות ומאלמנטים מבריקים או מחזירי אור.
- יש לקבע את כל הרכיבים האופטיים למקומם על הספסל האופטי בברגים, ובאופן שחופש התנועה של הרכיבים יהיה רק במישור אופקי למניעת אפשרות הטיית אלומת הלייזר לכיוון עיני העובד.
- בדלת המעבדה יותקן אינטרלוק (micro-switch) שיפסיק את פעולת הלייזר עם פתיחת דלת המעבדה. במידה שהדבר פוגע בתפעול המעבדה, ניתן לנקוט אמצעים חילופיים (בתיאום עם ממונה בטיחות לייזר), כגון:
 - התקנת וילון שחור או וילון ייחודי המתאים לכל אורכי הגל של הלייזרים במעבדה, אחרי דלת הכניסה למעבדה. כל מעבר עובד מעבר לוילון זה יחייב שימוש במשקפי מגן מתאימים ללייזרים המצויים במעבדה. במקום יוצב שילוט אזהרה בהתאם, וקופסא / ארונית עם משקפי מגן מתאימים.
 - התקנת וילון שחור או וילון ייחודי הבולע את קרינת הלייזר בהתאם לאורך הגל והספק הקרינה, סביב כל מערכת לייזר (כולל המסלול האופטי), עם שילוט האוסר את הכניסה לתחום זה ללא משקפי מגן מתאימים. פתרון זה נדרש בכל מקרה שנדרשת הפרדה בין העובד במערכת הלייזר לפעילויות אחרות במעבדה, שם מבקשים העובדים לעבוד ללא משקפי מגן.
 - הוילון / מחיצה יותקנו כך, שלא יהיה ניתן להסיטם ולהשאירם מוסטים, לדוגמא, על ידי תפיסת הוילון בצד אחד למעלה, באופן שלאחר כניסת האדם, הוילון יחזור אוטומטית למקומו. במידת האפשר מומלץ להתקין אינטרלוק על הוילון, שיפסיק את פעולת הלייזר ו/או לא יאפשר הפעלת הלייזר כאשר הוילון מופשל / מוזז לצדדים.
 - הוילונות יהיו עשויים בד שאינו בוער (כבה מאליו או מקביל).

שיקולים בתכנון מעבדת לייזר / מערכת ניסוי עם לייזר

5

- 5.1 מערכת הלייזר תורכב כך, שכיוון הפליטה לא יהיה לכיוון פתחי החדר ולא יהיה בכיוון עיני עובד יושב או עומד.
- 5.2 בשולחן אופטי פתוח, יש לקבע את הרכיבים האופטיים (מראות, עדשות וכו') לשולחן האופטי באופן שלא יהיה להטותם בכיוון למעלה, אלא לסובבם במישור אופקי בלבד.
- 5.3 אם ניתן לתכנן ולהתקין מכסה על המסלול האופטי, שימנע אפשרות של הכנסת ראש לתוך המסלול האופטי, יש לעשות זאת. המכסה יהיה אטום לחלוטין או עשוי מחומר הבולע את קרינת הלייזר בהתאם לאורך הגל וההספק המרבי של הלייזר. לגבי לייזרים בדרגה 4 יש להתקין מכסה שימנע גם הכנסת ידיים או אברי גוף אחרים לתוך המסלול האופטי.
- 5.4 יש להתקין חסמים / עוצרי אלומה קבועים בקצה מסלול האלומה השימושי. יש להתקין חסמים כאלה גם אם האלומה חסומה באמצעות מראה המטה את האלומה, וזאת למקרה שהמראה לא תורכב במקומה עקב טעות או שכחה. עוצרי האלומה יהיו עשויים חומר חסין אש ובולע את קרינת הלייזר.
- 5.5 במידת האפשר יש לבצע את ההכוונות בעוצמת לייזר מופחתת ככל שניתן. ההכוונות יבוצעו תמיד תוך שימוש במשקפי מגן מתאימים וציוד מגן אישי נוסף בהתאם לדרישות.
- 5.6 יש לזכור שקרינה אולטרא-סגולה יכולה לגרום בעור נזקים מצטברים בחשיפה מתמשכת / חוזרת על עצמה. בעבודה עם לייזרים בתחום ה-UV, חובה ללבוש בגדים ארוכים וכפפות מגן (לטקס או ניטריל).
- 5.7 אין להשתמש בחפצים מבריקים בקרבת מסלול הפליטה של לייזר בדרגה 3B או 4. עד כמה שניתן יש להשתמש בחלקים מפזרי אור. מומלץ שרכיבים אופטיים ואביזרים המשמשים בעבודה עם לייזרים בדרגה 4 יהיו מושחרים ומחוספסים.



6 התנהגות במקרה של פגיעה:

- 6.1 בכל מקרה של פגיעה או חשד לפגיעה מקרינת לייזר, יש לדווח מיד למנהל המעבדה / מנהל המחלקה ולממונה בטיחות לייזר / מחלקת בטיחות.
- 6.2 יש לפנות למרפאת עיניים לבדיקה.
- 6.3 יש לחקור את התאונה, להפיק לקחים וליישם כדי למנוע הישנות מקרה דומה בעתיד.
- 6.4 יש לדווח למנהל המעבדה על כל אירוע בטיחות הקשור בעבודה עם מערכות הלייזר.

7 מידע נוסף:

למידע נוסף לגבי בטיחות בעבודה עם לייזרים:

- תקן בטיחות בעבודה עם לייזרים, IEC-60825-1, עדכון אחרון: 2014. עותק של התקן מצוי אצל ממונה בטיחות לייזר.
- תקן ישראלי 4141 למשקפי מגן ללייזר. עותק של התקן המאמץ את התקן האירופי EN-207-208, מצוי אצל ממונה בטיחות לייזר.
- תקנות הבטיחות בעבודה, גהות תעסוקתית ובטיחות העוסקים בקרינת לייזר, 2005. ניתן למצוא את התקנה באתר משרד התמ"ת, מאגר חוקים ותקנות:
[http://www.moital.gov.il/NR/exeres/B158948A-E315-4E2E-859C-\(DB8F64B4391A\).htm](http://www.moital.gov.il/NR/exeres/B158948A-E315-4E2E-859C-(DB8F64B4391A).htm)