

# יורה מדע

גיליון חודשי להלכה, מדע וטכנולוגיה

גיליון 26 – תשרי-חשון תשפ"ד

## נורת לד (L.E.D.)

### הקדמה

אמצעי התאורה המצויים בעבר היו נורות הלהט, שבהן עסקנו בגיליונות 12-13. נורות אלה מבזבזות אנרגיה רבה, כי חלק מהאנרגיה החשמלית המושקעת בהן הופך לחום ולא לאור, וגם החלק ההופך לאור יוצא ברובו בתור אור בלתי נראה (אינפרא אדום או אולטרא סגול)<sup>1</sup>, שאינו תורם לתאורה. לכן הן נעשות נדירות יותר ויותר, ומוחלפות בשיטות תאורה אחרות.

שיטת תאורה שהולכת ונעשית נפוצה עבור עוד ועוד שימושים, היא תאורה בנורות לד. עם כניסתן של נורות הלבד לשימוש נרחב, עולות לגביהן שאלות הלכתיות, בעיקר בנוגע לדיני השבת. בגיליון זה נעסוק ברמת החומרה של איסור הדלקת נורות לד שונות בשבת.<sup>2</sup>

### רקע מדעי<sup>3</sup>

ההסבר בגיליון זה לא נכתב בפירוט מלא ובדיוק מדעי גבוה, כי ניסיון להעמיק באופן פעולת הנורות יסרב את הקוראים, והוא גם לא נצרך עבור הדיון ההלכתי.

#### גלי האור

כדי להבין את המשך ההסבר יש צורך להכיר כמה עובדות הנוגעות לגלי האור<sup>4</sup>. אפשר להגדיר את האור כגל אלקטרומגנטי. התכונה החשובה ביותר של גל כזה היא 'אורך הגל' שלו (בגיליון זה לא נסביר את משמעות המושג), שמגדיר את סוגו ואופיו של הגל. הגלים האלקטרומגנטיים שהעין רגישה אליהם וייקלטו בעינינו כ'אור', הם הגלים שאורך הגל שלהם הוא בין 400 ל-700 ננומטר<sup>5</sup> פחות או יותר. שאר הגלים ב'משפחה' של הגלים האלקטרומגנטיים, כמו גלי המיקרו שבמיקרוגל, גלי רדיו ועוד, אינם מורגשים בעין. לפעמים מקובל לכנות את שאר הגלים שאינם מורגשים בעין בכינוי העממי 'אור בלתי נראה'. אורך הגל של גל אור משפיע בין השאר על צבע האור. לדוגמה: אור בעל אורך גל בסביבות 700 ננומטר ייקלט בעין האדם בתור אור בעל גוון אדום.

<sup>1</sup> נורת להט היא גוף שחור (ראה גיליון 12, עמ' 2), הפולט גלי אור בעלי אורכי גל רבים, שרובם אינם מורגשים בעין.  
<sup>2</sup> הרב פרופ' דרור פיקסלר עסק בשאלה זו בשני מקומות: כתב העת אמונת עתיך (שבט תשע"ג, עמ' 66) וכתב העת המעיין (ניסן תשע"א, עמ' 24). מפאת קוצר היריעה וקוצר הזמן לא דנתי בדבריו.  
<sup>3</sup> בהסבר המדעי שבגיליון זה מופיעות תמונות של נורות מפורקות, ותיאור של מדידות שונות שנעשו על חלקי נורות. ביצוע של פעולות הפירוק והמדידות השונות בדרך לא זהירה וללא ידע מוקדם, עלול לגרום לפציעות, לכוויות או להתחשמלות. וכבר הזהירו חכמים (מסכת חולין דף י, ע"א) "חמירא סכנתא מאיסורא".  
<sup>4</sup> משום שהנושא כבר הוסבר בכמה גיליונות (בפרט גיליונות 6, 14, 15 ו-16) וכמו כן, משום שאין צורך בהעמקה גדולה עבור גיליון זה, לא נלמד את הדברים באריכות, אלא נזכיר כמה עובדות בקצרה. הרוצה להכיר את הנושא בהרחבה, מוזמן לפנות לכתובת הדוא"ל שמופיעה בסוף הגיליון, ולקבל (בחינם) את הגיליונות העוסקים בכך (ואף את כל הגיליונות שהיו עד היום, אם רצונו בכך).  
<sup>5</sup> ננומטר = מטר חלקי מיליארד.

## פוטונים

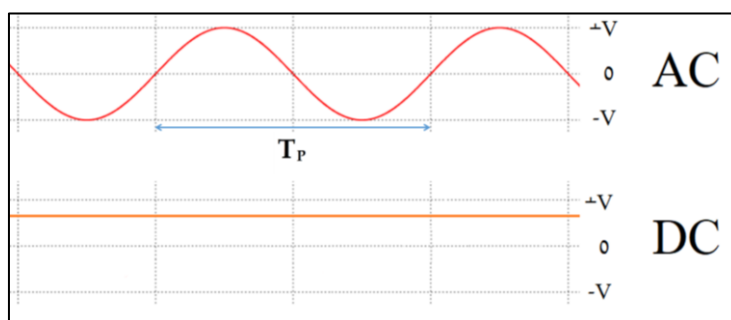
לאור יש גם תכונות שמתאימות לתיאור קצת שונה מהתיאור של גל אור. ניסויים שונים הראו שהאור (ובכלל, כל שאר האנרגיות במשפחה של 'הגלים האלקטרומגנטיים') עובר ממקום למקום במנות קטנות של אנרגיה. מקובל לקרוא למנות האנרגיה האלה 'פוטונים' (photons) וביחיד – פוטון (photon), ולהתייחס אליהם בתור חלקיקים שנפטים ממקור האור, למרות שאינם חלקיקי חומר.

העובדה שהאור מורכב מפוטונים לא מורגשת בחושינו, כי כל פוטון של אור בפני עצמו הוא בעל אנרגיה נמוכה מאד. כשאנחנו חווים אור, אנחנו קולטים מהסביבה כמות עצומה של פוטונים, שמגיעים בקצב מאוד מהיר זה לאחר זה. בכל פרק זמן קצר אנו מרגישים אנרגיה של פוטונים רבים יחד. כאשר מגבירים את עוצמת האור של נורה כלשהי, קצב הפליטה של הפוטונים שהיא פולטת מהיר יותר, ובכל רגע נתון אנחנו קולטים בעינינו יותר פוטונים. כאשר מחלישים את עוצמת האור של נורה כלשהי, קצב הפליטה של הפוטונים שהיא פולטת נעשה איטי יותר, ובכל רגע נתון עינינו קולטות פחות פוטונים. בשני המקרים מדובר על כמות עצומה של פוטונים בכל פרק זמן קצר.

האנרגיה של פוטון בודד תלויה בצורה הפוכה באורך הגל, כלומר: אור שאורך הגל שלו גדול מורכב מפוטונים שהאנרגיה של כל אחד מהם נמוכה, ואור שאורך הגל שלו קטן מורכב מפוטונים שהאנרגיה של כל אחד מהם גבוהה. היחס בין אנרגיית פוטון של אור לבין אורך הגל של אותו אור נתון בנוסחה ידועה, שנכונה עבור כל סוגי האור (והתאמתה על ידי ניסויים רבים). לכן אפשר לומר, שאנרגיית הפוטונים של האור קובעת את צבע האור, בדיוק כפי שאמרנו שאורך הגל קובע את צבע האור.

## זרם ישר וזרם חילופין

נתעכב בקצרה על עוד שני מושגים שנזדקק להם בהמשך: זרם (או מתח) ישר וזרם (או מתח) חילופין. במעגל זרם ישר (למשל מעגל המחובר לסוללה) ישנו מתח קבוע, שגורם לזרם חשמלי קבוע בכיוון מסוים. במעגל זרם חילופין (למשל מעגל המחובר לשקע בקיר), עוצמת המתח משתנה ואף מתחלפת מחיובית לשלילית וחוזר, בקצב מסוים הנקרא 'תדר'. עם שינויים אלה, משתנים גם כיוון הזרם החשמלי ועוצמתו. בתרשים הבא מתואר גרף של מתח קבוע (DC) לעומת מתח חילופין (AC). החץ הכחול מסמל את אורכו של מחזור אחד של זרם החילופין:



## דיודה

השם 'דיודה' במובנו הרחב, מתייחס לרכיבים שמעבירים זרם דווקא בכיוון מסוים, אך כיום הוא מתייחס בעיקר לרכיב כזה המיוצר מ'מוליכים למחצה'. 'מוליך למחצה' הוא חומר שאינו מוליך טוב כמו מתכת אבל גם אינו מבודד כמו פלסטיק, אלא בעל מוליכות נמוכה. כדי להפוך פיסת חומר כזה לדיודה, מוסיפים לה (בתהליך מורכב) שני חומרים אחרים: לצד אחד של חתיכת המוליך למחצה מכניסים חומר שגורם לעודף אלקטרונים<sup>6</sup>, ולצד השני מכניסים חומר שגורם לחוסר אלקטרונים.

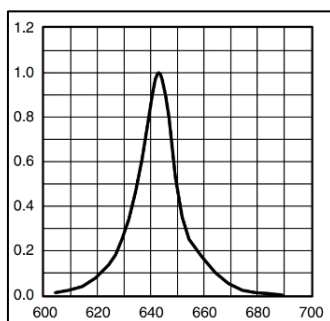
ההגדרה הכללית של זרם החשמל לרוב, היא מעבר של אלקטרונים בכיוון מסוים. בדיודה, האלקטרונים יכולים לעבור רק מכיוון האזור בעל עודף האלקטרונים, לכיוון האזור שבו יש חוסר באלקטרונים. לכן הדיודה יכולה להוליך דווקא בכיוון זה.

<sup>6</sup> אלקטרון הוא אחד מהחלקים המרכיבים את האטום. חלק זה הוא בעל מטען שלילי, ומצוי באזור החיצוני של האטום.

כדי שהדיודה תוליד זרם בפועל, יש צורך שיופעל עליה מתח חשמלי בכיוון שמתאים לכיוון הזרם שהיא יכולה להעביר. בנוסף, צריך שרמת המת מתח תהיה מעל רמה מינימלית מסוימת, שמתחתיה הדיודה לא תצליח להוליך. רמת המתח המינימלית הזו תלויה בעיקר בחומר המוליך למחצה שממנו עשויה הדיודה.

#### לד – דיודה פולטת אור

לד הוא דיודה פולטת אור (L.E.D. = Light Emitting Diode). בנורת הלבן נפלט אור בעקבות מעבר של אלקטרונים מצד אחד של המוליך-למחצה אל הצד השני. כאשר האלקטרון העובר מאבד אנרגיה בצורה מסוימת בעקבות המעבר, אנרגיה זו משנה את צורתה והופכת לפוטון של אור בעל אנרגיה ששווה לאנרגיה שאיבד האלקטרון. כמות האנרגיה שאלקטרון מאבד בצורה שגורמת לפליטת אור, תלויה בסוג החומר המוליך למחצה שממנו עשויה הדיודה. כלומר אנרגיית הפוטון שיווצר בעקבות מעבר האלקטרון בדיודה תלויה בחומר שממנו עשויה הדיודה. בגלל שאנרגיית הפוטון של האור קובעת את צבע האור (כפי שלמדנו לעיל), אפשר לומר שבבחירת החומר המוליך-למחצה שממנו ייוצר הלבן בוחרים את צבע האור שהוא יפיק. בפועל, נורות לד פולטות לא רק אור בעל אורך גל בודד, אלא בנוסף גם אור בעל אורכי גל קרובים לאורך הגל האופייני לחומר המוליך למחצה שממנו עשוי הלבן. לדוגמה, בגרף הבא מופיע הספקטרום של נורת לד בצבע אדום מדגם TLHK5800 של חברת VISHAY.<sup>7</sup>



הנורה פולטת הרבה אור בעל אורך גל באזור של 643 ננומטר, אך גם גלים בעלי אורכי גל נוספים, בעוצמה שהולכת ופוחתת עם גדילת ההפרש בין אורך הגל של אותם גלים לבין אורך הגל המרכזי. לא כל האנרגיה החשמלית המושקעת בנורת הלבן הופכת לאור, חלקה הופך לחום. כאשר מדובר בנורת לד בעלת הספק גבוה, החום הנוצר עלול להיות גבוה. בכל מקרה, החום הנוצר בלבד הוא תוצר לוואי לא רצוי, זאת בשונה מנורת להט שבה החום של חוט הלהט הוא זה שגורם לנורה להאיר (כפי שלמדנו בגיליון 13). נורת לד מעשית אינה כוללת רק פיסת חומר מוליך למחצה. יש בה חיבורים מתכתיים שמביאים את הזרם אל המוליך למחצה, וכן מסייעים לפזר החוצה את החום שנוצר בפיסת החומר המוליך למחצה.

#### לד לבן

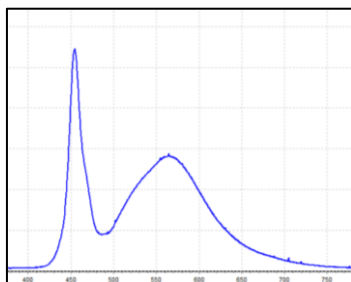
כפי שלמדנו, נורת לד מוציאה אורכי גל בתחום מאד מצומצם. אור שמוגבל לתחום מצומצם של אורכי גל יכול להיות רק בצבעי הקשת או בצבעים קרובים אליהם. הצבע הלבן אינו כלול בגווני הקשת, אלא נוצר במערכת העין והמוח כתגובה לשילוב של גלי אור בעלי אורכי גל שונים, שההפרש בין אורכי הגל שלהם די גדול, שנכנסים יחד לעין.<sup>8</sup>

כדי להפיק אור לבן באמצעות נורת לד, מוסיפים שכבת זרחן (או כמה זרחנים) על גבי הלבן. בעקבות תכונות פיזיקליות של הזרחן, חלק מהאור של נורת הלבן יעבור אותו ויצא החוצה כפי שנוצר בנורת הלבן המקורית ללא שינוי, אך חלק אחר של האור שנפלט מנורת הלבן המקורית נבלע בשכבת הזרחן, ולאחר מכן נפלט מהזרחן כאור בעל אורכי גל ארוכים יותר, שהם בעלי צבע שונה מצבע האור המקורי שנפלט מנורת הלבן.

<sup>7</sup> הגרף לקוח מתוך דף נתונים רשמי של המוצר.

<sup>8</sup> ישנם שילובים אפשריים רבים של אורכי גל שיכולים לגרום לתחושה של צבע לבן במערכת הראייה המשולבת בין העין למוח.

לדוגמה, בגרף הבא מופיע הספקטרום של נורת לד לבנה<sup>9</sup>, שמייצג את העוצמה היחסית של כל אורך גל שיוצא ממנה:



ה'גבעה' המיוחדת מייצגת תחום מצומצם של אורכי גל שנפלט מנורת הLED המקורית ולא נבלע בזרחה. היא מזכירה את הגרפים האופייניים של נורות לד, כמו זה שראינו לפני כן. ה'גבעה' הרחבה שלידה מייצגת את אורכי הגל שנפלטו משכבת הזרחה לאחר שנבלע בה חלק מהאור המקורי של נורת הLED.

### נורת לד 230 וולט בעלת הברגה E27

בתמונה מימין לשורה זו, מופיעה נורה מהסוג המצוי שנמכר בחנויות כינורת לד<sup>9</sup>, ומתחברות לבית הנורה הביתי. נורה זו אמנם נמכרת בחנויות כינורת לד<sup>9</sup>, אך למעשה היא אינה נורת לד במובן הפשוט, אלא מורכבת מכמה חלקים, שביניהם החלק שמאיר בפועל הוא סדרה של נורות לד לבן, מהסוג שהכרנו לעיל. צורתה החיצונית של הנורה מעוצבת



כך שתהיה דומה למבנה הכללי של נורת להט, כדי שבתי הנורה הישנים יתאימו לה, ולא יהיה צורך להחליפם. הנורה מורכבת משלשה חלקים, כמו שאפשר לראות בתמונה משמאל.

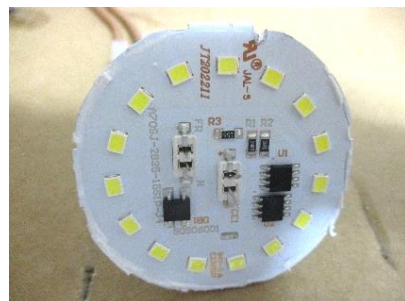
החלק התחתון של הנורה, בנוי כגביע חלול, שמתברג לתוך בית הנורה הביתי. הוא אחראי לחבר את המעגל של הנורה למתח של רשת החשמל הביתית. החוט השחור והירוק נכנסים אליו, ומולחמים בתוכו אל הצד הפנימי של ההברגה שבתחתית הנורה.



תמונה של חלק זה מכיוון נוסף מופיעה מימין לשורה זו. החלק האמצעי הוא המעגל החשמלי, שמקבל דרך צמד החוטים מתח חילופין של 230 וולט<sup>10</sup>, ממיר אותו למתח

ישר, ומזין את המתח הישר לכמה נורות לד לבן. נרחיב לגביו בהמשך.

החלק העליון של הנורה, הוא חצי כדור בצבע לבן שאחראי לפזר את האור שפולטות נורות הLED באופן אחיד, או קרוב לאחיד. לכן האזור המואר של הנורה נראה ככדור אחיד של אור. תמונה של חלק זה מכיוון נוסף מופיעה מימין לשורה זו.

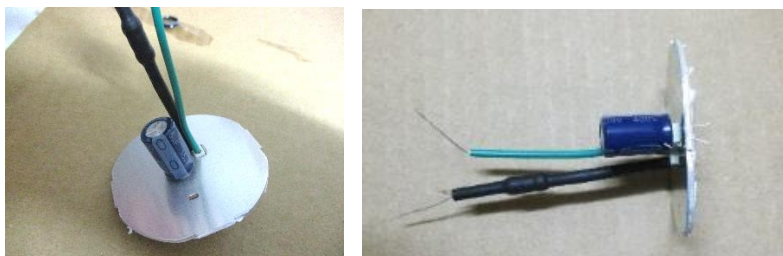


עתה נרחיב על המעגל החשמלי שבחלק האמצעי. בתמונה משמאל לשורה זו, מופיע הצד העליון של המעגל. המרובעים הצהובים המסודרים בצורת עיגול הם

נורות לד לבן. הצבע הצהוב שלהן נובע משכבת הזרחה שעליה דיברנו לעיל (הנורות המקוריות שמתחת לשכבת הזרחה פולטות אור כחול, שביחד עם האור הצהוב שנפלט מהזרחה יגרום לתחושה של אור לבן).

<sup>9</sup> נמדד בספקטרומטר של חברת AVANTES במעבדה של ד"ר דוד שיינפלד במרכז האקדמי לב, לצרכי מחקר אחר. <sup>10</sup> הערת הרחבה: הערך 230 וולט, הוא סוג של ממוצע של המתח שתקבל הנורה. למעשה היא תקבל ערכי מתח שונים שחוזרים על עצמם 50 פעם בשנייה, משום שמדובר על מתח חילופין. מכמה סיבות, הערך הממוצע שהנורה תקבל לא יהיה בדיוק 230 וולט, אבל זה לא עקרוני, ובפועל מקובל לדבר על 230 וולט.

בגלל שנורות הLED הן דיודות, שמעבירות זרם רק בכיוון אחד, כאשר פועל עליהן מתח מסוים בכיוון הנכון, הן לא מתאימות למתח החילופין המתקבל מרשת החשמל, שמשנה את עוצמתו וכיוונו בצורה מחזורית. לכן יש צורך בשאר רכיבי המעגל – שבפעילותם המשולבת יחד ממירים את מתח החילופין למתח ישר בכיוון וברמה שמתאימים לנוורות הLED. בצד התחתון של המעגל, המופיע בתמונות הבאות (משני כיווני צילום שונים), נמצאים החוטים שהוזכרו לעיל, ורכיב שנקרא קבל, שמשתתף בפעולת המרת מתח החילופין של הרשת למתח ישר.



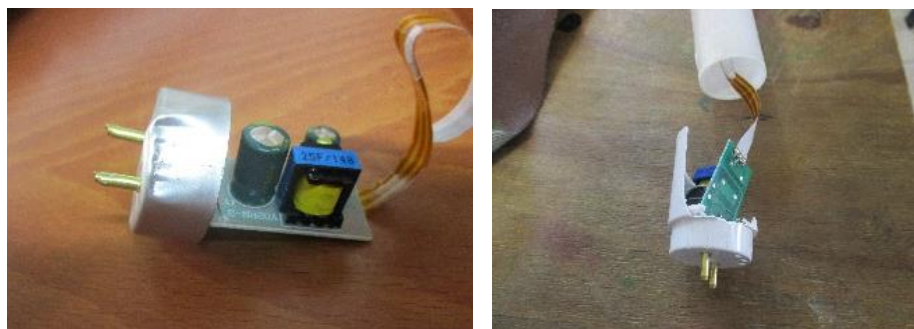
### 'פלורסנט לדי'

צורה נוספת של תאורה ביתית המבוססת על נורות LED היא 'פלורסנט לדי' שנראה מבחוץ די דומה לנוורות הפלורסנט המוכרות מהעבר. לאורך השפופרת של ה'פלורסנטי' מודבק סרט שעליו מולחמת שורה של נורות LED לבן, כפי שאפשר לראות בשתי התמונות הבאות:



כיסוי השפופרת מפזר את האור של נורות אלו בצורה שווה, וכך נראה כאילו כל השפופרת מאירה, ולא רק נקודות בודדות לארכה.

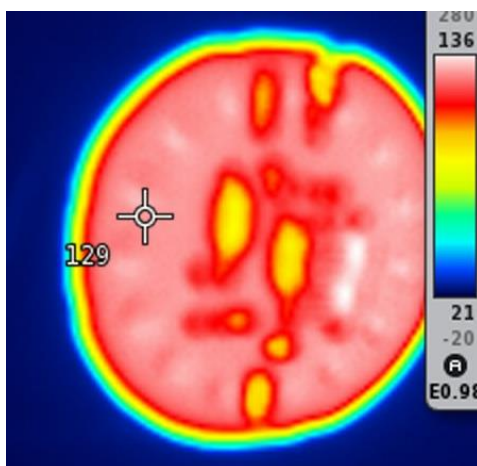
גם בנורה כזו, יש צורך במעגל שימיר את מתח הרשת לצורה המותאמת לנוורות הLED. מעגל זה מצא בקצה השפופרת, צמוד לחיבור החשמלי החיצוני, כפי שמופיע בתמונות הבאות<sup>11</sup>:



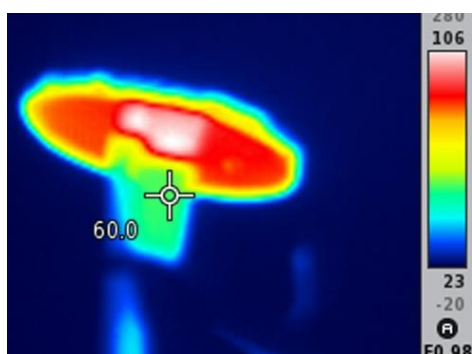
<sup>11</sup> שתי התמונות צולמו משני דגמים שונים של 'פלורסנט לדי'. דגם של הזנה מצד אחד, ודגם של הזנה משני צדדים. להבדלים בין הדגמים הללו אין השלכה על הדיון ההלכתי. עם זאת, מי שמתמש בפלורסנט לדי צריך לדעת לאיזה סוג מותאם בית הפלורסנט שבביתו. חיבור של הדגם הלא-נכון לא ייתן תוצאה של אור, ובמקרה הגרוע יותר (חיבור פלורסנט דו-צדדי לבית פלורסנט חד צדדי) אף יגרום לקצר שבמקרה הטוב יקפיץ את מפסק הבטיחות (מאמ"ת) בארון החשמל.

### עד כמה מתחממים חלקים שונים של נורת לד E27 ופלורסנט לד?

בתוך הנורות המיועדות לתאורה ביתית ומבוססות על נורות לד, ישנו מעגל המורכב מכמה חלקים, כפי שראינו. בגלל שהן עובדות בהספק גבוה יחסית, שמסוגל להאיר חדר שלם, גם החום – שהוא תוצר לוואי של התהליך – הוא גדול, והמעגל שלהן מתחמם. כדי לדעת אלו חלקים של המעגל מתחממים, ולאילו טמפרטורה הם מגיעים, השתמשתי במצלמה טרמית דגם testo 870, כדי לצלם את חלקי המערכת כשהיא דולקת. מצלמה זו נותנת תמונות שבהן הצבע של כל נקודה מייצג את הטמפרטורה של הנקודה, ולא את הצבע שלה כפי שנראה לעיניים. תודתי מקרב לב למהנדס מר אלעד דורני, על שהשאיל לי את מצלמתו. בגלל שלא היה לי מידע על כל תכונות החומרים המרכיבים שמהם עשויים חלקי המעגל, שמשפיעות על המדידה של החום, לקחתי טווחי ביטחון לקולא ולחומרא<sup>12</sup>. על כל צילום יצוין האם הוא 'מיקל' או 'מחמיר'. בצילום הבא מופיע החלק העליון של המעגל שבתוך נורת E27 (מקביל לצילום שבסוף עמ' 4) הצילום כאן הוא 'מיקל'<sup>13</sup>. יכול בהחלט להיות שהטמפרטורות בפועל גבוהות יותר:

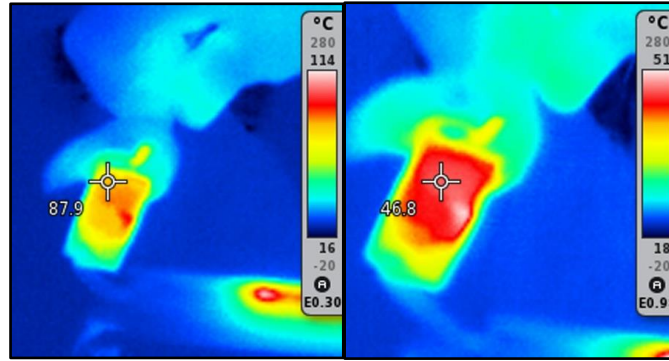


בקנה המידה בימין התמונה מופיעה משמעות הצבעים: השחור מסמל חום נמוך, משם החום עולה מהצבע הכחול ועד האדום לפי סדר צבעי הקשת, ומשם ללבן שמסמל את החום הכי גבוה. בגלל שהצילום 'מיקל', כפי שנכתב לעיל, אנו יודעים שהאזור החיצוני של המעגל החשמלי, שבו נמצאות נורות הלד, ואליו מכוונת הכוונת של המצלמה, מגיע עד לחום של 129 מעלות צלזיוס לפחות. בתמונה הבאה מופיעה מדידה של חום הקבל, שנמצא בצד השני של המעגל (ראה את שתי התמונות העליונות בעמ' 5). גם כאן מדובר על צילום 'מיקל', ובפועל הטמפרטורה עשויה להיות גבוהה עוד יותר:



בצמד התמונות הבאות מופיעים חלקי מעגל ההמרה שב'פלורסנט לד'. מימין צילום 'מיקל', ומשמאל צילום 'מחמיר' של אותו הרכיב:

<sup>12</sup> בצילום במצלמה טרמית צריך להזין למצלמה את רמת ה'emissivity' של החומר, ולא היה לי את המידע. יש לציין שגם בתוך תמונה אחת יכול להיות אי דיוק ביחסי הטמפרטורות שבין החלקים השונים, כי חלקי המעגל בנויים מחומרים שונים בעלי רמת 'emissivity' שונה.  
<sup>13</sup> גרמתי לו להיות כזה, באמצעות הזנת 'emissivity' גבוה.



אחרי ביצוע בדיקה בשיטה נוספת, נראה שהמדידה הימקילה יותר קרובה לאמת. לסיים, יש לציין שהמדידות על אמצעי התאורה השונים נעשו רק בדגמים מסוימים, ואי אפשר ללמוד מהם לכל דגם שיהיה, ללא מדידות ספציפיות שלו.

בכתיבת ההסבר הנודעי נעזרתי בין השאר באתר Physics and Radio Electronics, במאמר של Mike Wood, המופיע בקישור שבהערה<sup>14</sup>, במאמרי הרב פרופ' דרור פיקסלר (שאליהם ציינתי בהערת שוליים מספר 2) ובספר Practical Electronics for Inventors.

## דיון הלכתי

### הערת פתיחה

הדלקה וכיבוי של נורת לד יכולות להיעשות באמצעות מפסק, שפותח וסוגר מגעים פיזיים של המעגל, או באמצעות טרנזיסטור, שמשמש כעין מתג, למרות שאין בו ניתוק או חיבור של חלקים במעגל. לא נתייחס לפתיחה ולסגירה של המעגל בצורות השונות, כי הן לא ייחודיות לנורת הלד. בעלון זה נעסוק דווקא בדיונים המיוחדים לנורות הלד השונות<sup>15</sup>.

### הדלקת נורת לד המחוברת לסוללה

בהדלקת נורת לד בעלת הספק נמוך על ידי חיבורה לסוללה נוצר בעיקר אור. אמנם חלק מההספק מתורגם לחום, אך הוא לא גדול. לכן מעבר לדיונים הרגילים על שימוש בחשמל, כנראה שאין מה לדון עליה באופן מיוחד<sup>16</sup>.

### חימום הנוזל שבתוך הקבל האלקטרוני

בחלק המדעי למדנו שאחד מחלקי מעגל המרת המתח של הנורה הוא הקבל. בקבל יש מעט נוזל (אלקטרוני) שספוג בנייר. כאשר הקבל מתחמם הנוזל שבתוכו מתחמם יחד אתו, כפי שראינו, במעגל של נורת E27 הקבל מגיע לפחות ל-60 מעלות. בגלל שהמדידה שהובאה שם היא 'מקילה', יש להניח שהוא מתחמם אף יותר. בפרט כאשר הוא סגור בתוך החלק התחתון של מבנה הנורה. אם כן, יש להתייחס לחום שלו בתור חום שהיד סולדת בו<sup>17</sup>, שהיא דרגת החום הקובעת לעניין מלאכת בישול, ולאסור הדלקה של נורת הלד הזו מהתורה משום בישול. אך עם זאת יש כמה סיבות להקל:

<sup>14</sup> <https://www.mikewoodconsulting.com/articles/Protocol%20Winter%202011%20-%20White%20LEDs.pdf>

<sup>15</sup> סקירת דעות שונות לגבי סיבת וחומרת האיסור לסגור ולפתוח מעגל חשמלי בשבת, מופיעה בגיליון מספר 1. לגבי השימוש בטרנזיסטור, נראה שדינו יהיה שווה לדין המפסק לפי רוב השיטות בנושא זה. השיטה שאולי תראה הבדל בין מפסק פיזי לטרנזיסטור, היא שיטת החזון איש (בחלק או"ח, סימן נ, ס"ק ט ובהתכתבויות שלו עם הגרש"ז אורבך) שסגירת מעגל אסורה משום מלאכת בונה. בדבריו מופיע הביטוי 'חיבור פרקים', כלומר חיבור חלקים יחד ליצירת דבר אחד, שנובע מסוגיות הגמרא בנושא חיבור חלקים לחפץ שלם. אפשר שבמעגל שממותג באמצעות טרנזיסטור לא יהיה איסור בונה לפי החזון איש, כי אין חלקים נפרדים שמתחברים. דיון בעניין יצירת זרם ללא סגירת מעגל פיזי לפי החזון איש, מופיע בין השאר בספר מערכי לב (פרק ב, ובנספחיו).

מכל מקום, נראה שהחזון איש לא היה מתיר שימוש בטרנזיסטור כמפסק בשבת הלכה למעשה, מטעמים נוספים.

<sup>16</sup> במאמרים שאליהם הפניתי בהערה 2, חלק גדול מהדיון נוגע בשאלה האם יש איסור 'מוליד אור' בשבת. <sup>17</sup> הפוסקים דנו בתרגום שיעור שהיד סולדת בו למעלות צלזיוס. נראה ש-70 מעלות היא טמפרטורה שרוב הפוסקים סכימו שהיא נכללת בהגדרת יד סולדת בו.

- הנוזל עובר בישול בהדלקה הראשונה של הנורה, ולאחר מכן כל הדלקה היא 'בישול אחר בישול'. אמנם לדעת השלחן ערוך (או"ח, סימן שיח, סעיף ד) הדבר אסור, משום שמדובר על נוזל, אך לדעת הרמ"א (שם) הדבר מותר אם הבישול לא משפר את המאכל, ולדעת הרמב"ם (הלכות שבת, פרק ט, הלכה ג) וראשונים נוספים הדבר מותר אף ללא ההגבלה שציין הרמ"א<sup>18</sup>.
  - הבישול נעשה בחשמל ולא באש, ויש מקום להחשיבו כבישול בתולדות חמה האסור מדרבנן<sup>19</sup>.
  - החימום הזה אינו מועיל כלל, ונחשב כ'פסיק רישיה דלא ניחא ליה'<sup>20</sup>.
  - מדובר על כמות מאוד קטנה של נוזל, ואפשר שבמלאכות שבת אין איסור מהתורה לעשות מלאכה בחצי מהשיעור שעליו מתחייבים מהתורה<sup>21</sup>.
- מסיבות אלה, נראה שהדלקת נורות לד מהסוג הזה לא חמורות יותר מעצם האיסור להדליק מכשירי חשמל בשבת.

### חימום מוצק לחום שהיד סולדת בו

בנוסף לנוזל שמתחמם בתוך הקבל שבמעגל, יש לעסוק גם בשאלת חימום החלקים המוצקים במעגל לחום גבוה. החזון איש (או"ח, סימן נ, ס"ק ט) כותב לגבי חימום מתכת:

ונראה דכל שנעשה יד סולדת בו יש בו משום מבשל, אף על גב דלענין חיוב צריך שיתבשל כמאכל בן דרוסאי<sup>22</sup> מכל מקום איסורא איכא כל דנעשה יד סולדת, ואפשר דאסור מהתורה כעין חצי שיעור...

מן האמור נלמד דהמדליק נר החשמל (נורה חשמלית) בשבת, יש בו משום מחמם את הברזל שיש בו משום מבשל... ומיהו כל זה אם מקצת מן החוט מגיע ליד סולדת.

בדברי החזון איש מתחדש, שחימום מוצק לחום שהיד סולדת בו נחשב כעשיית חצי שיעור מהמלאכה, שאסור מהתורה. נראה שהאיסור לחמם מוצקים לחום שהיד סולדת בו נכון דווקא למוצקים שמתרככים בחום גבוה, וריכוכם באמצעות חום אסור משום בישול. כי דווקא במוצקים כאלה יכולה להיעשות מלאכת הבישול ולכן אף חלק מהמלאכה (טמפרטורה נמוכה יותר) יכולה להיאסר משום 'חצי שיעור'. ואכן מדבריו במקום נוסף (סימן לו, ס"ק יא) נראה שחידושו מוגבל דווקא למתכת, ולא לשאר המוצקים. במעגל של נורות הלבד הביתיות לתאורת חדרים ישנם כמה חלקים מתכתיים.

האם יש לחשוש לחימום זה?

נראה שגם בדיון זה קיימות הסיבות להקל שהובאו בדיון הקודם, אך נראה שהקולא בנידון זה עוד יותר מרווחת, משום שחידושו של החזון איש אינו מוסכם על כל הפוסקים, כפי שהביא בשמירת שבת כהלכתה (מהדורת תשי"ע, פרק א, הערה סז), משתי סיבות עיקריות:

- חימום מתכת לחום של יד סולדת בו אינו 'חצי שיעור' רגיל, שבו מלאכה נעשית במלואה אך היא נעשית על כמות קטנה של חומר. כאן לא נעשה בישול כלל, אף על חלק מהמתכת<sup>23</sup>.
- ממקורות שונים וכן ממנהג העולם, נראה שאין איסור להניח כלי מתכת על גבי אש בשבת<sup>24</sup>.

<sup>1818</sup> ראה עוד: ביאור הלכה (סימן שיח, תחילת סעיף ד) וכן בכף החיים (שם, בס"ק נו וס"ק קג).  
<sup>19</sup> ראה גיליון 6 (עמ' 5-6).

<sup>20</sup> כמו שכתב החזון איש (או"ח, סימן נ, ס"ק ט) לגבי החימום של חוט הלהט בתוך הנורה. החזון איש אמנם מסתפק שמא החימום נצרך בנורת הלהט ולא נחשב כ'פסיק רישיה דלא ניחא', ואכן הוא נצרך, כפי שלמדנו בגיליון 12. אך בנורת הלבד החום הוא תוצר לוואי לא רצוי שאינו מועיל אלא רק מזיק.

<sup>21</sup> ראה: יביע אומר (חלק ד, או"ח, סימן לג, אות יז).  
<sup>22</sup> נראה שאין כוונת החזון איש במקרה זה ממש למאכל בן דרוסאי, כי מתכת חמה אינה ראויה לאכילה גם אחרי שחוממה למשך זמן, אלא כוונתו להשליך משיעור מלאכת בישול – כמאכל בן דרוסאי, על בישול דברים אחרים, שצריך להשפיע על הדבר המתבשל כך שיעבור שינוי משמעותי.

<sup>23</sup> את הקושיה הזו מנסה לתרץ בשמירת שבת כהלכתה כך: החזון איש דיהר דווקא על אש גדולה, שיכולה להפוך את המתכת ליגחלת של מתכת. נראה שכוונתו היא שבמצב כזה הבישול הוא רק עניין של זמן, ולכן אפשר לומר שכל מרכיבי המלאכה נמצאים, והיה חסרון רק בכמות הזמן.

<sup>24</sup> לפחות לגבי חלק מהמקורות הללו, אפשר לתרץ כפי שתירץ החזון איש בעצמו (בסימן לו, ס"ק יא), שהם דיברו על כלי חרס ולא על כלי מתכת, בשונה מהחידוש שלו שמתייחס דווקא למתכות.



## האם לד חס מאד הוא אש?

בגיליונות 12-13 ראינו, שלדעת רוב הפוסקים אפשר ללמוד מדין 'גחלת של מתכת' שהדלקת חוט להט אסורה בשבת משום מלאכת מבעיר. ראינו שבעולם המדעי לא מקובל לומר שמתכת לוהטת היא אש, אלא דווקא תגובה כימית שבה משתנה הרכב חומרים, ואליה נלווים אור וחום מוגדרת כ'אש'. אם כן, לפי הפוסקים הסוברים שחוט להט דינו כאש, אין להיצמד להגדרה המדעית, אלא להגדרה ההלכתית. לכאורה, אם ההשוואה בין אש לבין חוט להט היא בכך שבשניהם יש אור וחום, אולי יש מקום לטעון שנורת לד בעלת הספק גבוה, המפיקה אור וחום תיחשב כאש.

אך על פניו, נראה לעני"ד שקשה ללמוד מדין גחלת של מתכת לנורות לד. גחלת של מתכת מגיעה לחום גבוה מאד, שגורם לכמעט כל דבר דליק שבא אתו במגע להישרף, זאת בשונה מנורות לד שלא מגיעות לטמפרטורה כה גבוהה. בנוסף, בגחלת של מתכת ובחוט להט החום והאור כרוכים זה בזה, משום ששניהם דוגמאות של 'קרינת גוף שחור' (כפי שלמדנו בגיליון 12). זאת בשונה מנורת הLED שבה החום הוא תוצר לוואי לא רצוי, שאולי בעתיד יהיה ניתן לצמצמו עוד יותר. מכל מקום איני אומר 'קבלו דברי', ואם שגיתי אשמח אם יעמידוני על האמת.

## סיכום

נורות הLED נעשות נפוצות יותר ויותר עבור שימושים שונים. הנורה הבסיסית מורכבת מחומר 'מוליך למחצה' שעבר שינוי, ונוספו לו חומרים נוספים, כך שהוא יעביר זרם דווקא בכיוון מסוים, וכן חלק מהאלקטרוניקה שיעברו בו יגרמו לפליטת אור בעקבות מעברם. צבע האור שייפלט תלוי בעיקר בסוג החומר המוליך למחצה שבו השתמשו לייצור נורת הLED.

לד לבן היא למעשה נורת לד בסיסית שעל גבה יש שכבת זרחן. חלק מהאור של נורת הLED עובר את הזרחן ומוציא אור בצבע המקורי, וחלק אחר של האור נבלע בזרחן, ונפלט ממנו כאור בעל צבע שונה. הצבע המקורי והצבע הנוסף – כשהם מגיעים יחד לעין – גורמים לתחושה של צבע לבן, למרות שהם שונים מהצבע הלבן הטבעי של אבנים וכדומה.

נורות לד בעלות הברגה E27 וכן 'פלורסנט לד' מקבלות מרשת החשמל זרם חילופין במתח של 230 וולט, בתוכן יש מעגל שממיר את המתח הזה למתח ישר שמותאם לנורות לד והמתח הישר מפעיל סדרה של נורות 'לד לבן' שתוארה בפסקה הקודמת. חלקים שונים של המעגל בנורות בעלות הברגה E27, וכן סדרת הLEDים שבה, מגיעים לרמות שונות של חום, שנחשב חום שהיד סולדת בו. בנורות 'פלורסנט לד' החום נמוך יותר<sup>25</sup>. נראה, שלמרות החימום, שמגיע לחום שהיד סולדת בו, הדלקת נורות אלו אינה חמורה יותר מעצם האיסור להדליק מכשיר חשמלי בשבת, ולא הופכות אותו לאיסור דאורייתא לא משום מלאכת מבשל (בנוזל שבקבל או לפי החזון איש אף במתכות שונות במעגל) ולא משום מבעיר (בנורות עצמן).

לגבי מלאכת מבשל: מדובר כרגיל על בישול אחר בישול, שנעשה בחשמל ולא באש, אינו מביא תועלת כלל (לא ניחא ליה) ונעשה בשיעור קטן משיעורה של מלאכת מבשל. לגבי החלקים המוצקים יש להוסיף לכל זה, ששיטת החזון איש הסובר שחימום מתכת לחום שהיד סולדת בו נחשב כחצי שיעור האסור מהתורה אינה מוסכמת על כל הפוסקים.

לגבי מלאכת מבעיר: קשה לעני"ד לומר שנורת לד שמתחממת תיחשב כ'אש', למרות שהיא מפיקה במקביל גם אור וגם חום בדומה לאש, משום שחומה נמוך יחסית וכן האור והחום שבה אינה כרוכים זה בזה.

«•» - «•»

<sup>25</sup> המדידות לנורות בעלות הברגה E27 וכן פלורסנט לד נעשו בדגמים מסוימים. אפשר שבדגמים אחרים התוצאות תהיינה שונות.

# כתובים על ספר

סקירת ספרים וחזיבורים בנושאי הלכה, מדע וטכנולוגיה

המידע ההלכתי במדור זה אינו בא כהוראת הלכה למעשה.

המדור הוא בעל אופי היסטורי, ולכן חלק מהדיונים המוזכרים בו נוגעים במציאות שאינה עדכנית כיום.

## תחומין (כתב עת)

### מכון צומת

יותר מארבעים שנה (מאז שנת תשמ"א<sup>26</sup>) יוצא כל שנה כרך של כתב העת תחומין. בשונה מספרים אחרים שנסקרו במדור זה, כתב העת תחומין אינו מוקדש כולו להלכה ומדע. עיסוק זה הוא רק חלק מהמטרה הגדולה של כתב העת – להיות במה למאמרים תורניים העוסקים בסוגיות שהתחדשו בדור המיוחד שבו אנו חיים. לאורך השנים הופיעו בו מאמרים מקשת רחבה של כותבים, מגדולי הפוסקים ועד כותבים צעירים. מאמרים רבים בקובץ הוקדשו לנושאים של מדע והלכה כמו: מדידה מטאורולוגית בשבת (כרך ג),

אוטומציה למליחת עופות (כרך ו), אפילפסיה בימינו בהלכה (כרך יד), טלפון גרמא (כרך לא) ועוד. אך נראה שהמאמר שמהווה 'בנין אבי' להרבה מהמאמרים, הוא מאמרו של הרב פייטל לוי המופיע בכרך ז – 'חקר ההלכה בעידן הטכנולוגיה', המסווג את סוגי השאלות שנשאלות בימינו כאשר באים 'לשדך' בין עולם ההלכה לבין (להבדיל) עולם המדע, כדי לפסוק הלכה בהתאם למציאות העדכנית. כתב העת זמין בספריות שונות, בפרויקט השו"ת (לפחות חלק מהמאמרים, לפי נושאים במדור כתבי עת), ובמאגר 'תחומין פלוס' ברשת (בתשלום).



«•» - «•»

הגיליון נערך בס"ד בידי אליעזר טויה  
להערות, לתגובות ולקבלת העלון בדוא"ל:  
halacha.tech@gmail.com



<sup>26</sup> אמנם על הכרך הראשון מצוינת השנה תש"ם, אך הוא ראה אור בתשמ"א. הסבר לכך מופיע בהקדמה של כרך יג: בשנים עשר הכרכים הראשונים היתה מצוינת השנה שבה נכתבו המאמרים, ולא השנה שבה התפרסם הכרך. מכרך יג ואילך מצוינת על כל כרך השנה שבה הקובץ רואה אור.