

גלאי חום – מדחום המבוסס על גבישים נוזליים

סקירה הלכתית

בשנים האחרונות הולך וכובש את מקומו סוג חדש של מדחום. במקום מדחום הכספית עתיק היומין, ניתן למדוד טמפרטורה בדיוק רב בעזרת הצמדתו של סרט דק למצחו של הנבדק ותוך מספר שניות מוצגת הטמפרטורה בספרות צבעוניות ברורות¹.

תלמידי חכמים רבים דנו בשאלה האם מותר להולה להשתמש במדחום כזה בשבת. נזכיר כאן שש תשובות, מהמתירים עד האוסרים. (יש לשים לב שהנימוקים ההלכתיים, וכן ההדגשים השונים בהכרעות ההלכתיות מבוארות בתשובות עצמן. מטרת סקירה זו הינה ציון מראה מקומות בלבד, ואין בשום פנים לקבוע על פיה איזו שהיא הלכה מעשית.)

א. דעת הגר"ע יוסף ביחוה דעת ח"ד סי' כט להתיר שימוש במדחום זה בשבת לצורך חולה שאין בו סכנה, גם אם לפני ההצמדה לא ניכרות האותיות או הספרות כלל, ושאינן בזה לא משום כותב ולא משום מוחק.

ב. דעת הגרא"י וולדינברג בציץ אליעזר חי"ד, סי' ל'—ל"א, להתיר שימוש במדחום כזה בשבת עבור ירדים או חולים שאב"ס אם יש קושי למדוד במדחום הרגיל, אע"פ שהאותיות אינן ניכרות לפני השימוש, אלא שאם יש אפשרות למדוד במדחום רגיל יש מקום לנהוג הידור ולהימנע ממדידה בגלאי-חום כזה, "משום מראית העין מה שגראה כאילו שעל ידי גרמת מעשהו נולדים אותיות בשבת הגם שלמעשה אין הדבר כן". ועיי"ש בפירוט.

ג. הגר"י היילפרין בתשובה המודפסת לראשונה בגליון זה של "אסיא" נשאר בספק אם קיים היתר להשתמש בגלאי-חום בו לא ניכרות האותיות קודם המדידה, אך מתיר להקל להשתמש בשבת בגלאי-חום בו האותיות ניכרות קצת לפני המדידה.

ד. דעת הגרש"ז אויערבך — הובאה בשמירת שבת כהלכתה (תשל"ט), פרק מ, סעיף ב, הערה ח — לאסור להשתמש בשבת בגלאי-חום בו לא נראות האותיות קודם המדידה ולהתיר בגלאי-חום בו הן ניכרות גם קודם.

ה. דעת הגרי"י וייס במגחת יצחק ח"ז סי' כ"ב לאסור בשבת את השימוש בגלאי-חום בו האותיות אינן ניכרות קודם המדידה. יעויין שם.

ו. דעת הגרפ"א פאלק במחזה אליהו סי' סה—סו; שאם הנבדק אינו חולה ודאי, אין היתר להשתמש בגלאי-חום כלל. ואף אם הנבדק ודאי חולה

1 על העקרונות המדעיים עליהם מבוסס גלאי חום זה ניתן לקרוא בחוברת "מדע" כ"א, 3—4, 123—129, בפירוט מלא. בנוסף על כך הבאנו בגליון זה בעמוד הבא תקציר מדעי הקשור לגלאי החום כשמקורו העיקרי במאמרו של פרופסור ז. לוז ב"מדע" שם.

אסור לחלוטין להשתמש בגלאי-חום כל זמן שיש אפשרות להשתמש במדחום אחר. ורק אם אין מדחום אחר, נדחה האיסור שהוא איסור דרבנן אצל חולה שאין בו סכנה, ומותר למדוד בגלאי-חום. (לדעתו יש בשימוש במדחום כזה גם איסור כותב מדרבנן, גם איסור מוחק מדרבנן וגם איסור צובע מדרבנן).

חלק מהמשיבים דנים ביתר פירוט בסוגי גלאי-החום ובשאלות השונות המבדילות מבחינה הלכתית בין סוג למשנהו. מצאנו לנכון לפרסם בגליונו זה שתי תשובות שאינן מצויות בידי הציבור בארץ, והן: תשובת הרב היילפרין ותשובת הרב פאלק. בהמשך הדברים הבאנו תקציר מדעי של העקרונות המדעיים עליהם מבוסס גלאי החום, כדי להביא לידיעת מורי ההלכה והרופאים אינפורמציה חשובה זו מכלי ראשון.

הרב מרדכי הלפרין

רקע מדעי

בכל דור בהתאם להתפתחות הטכנית של אותו זמן צצו ועלו שאלות הלכתיות חדשות אשר נבעו מההתפתחות הטכנולוגית והמדעית.

לרקע המדעי של התופעות יש לעתים קרובות השלכה מעשית על הפסיקה ההלכתית. כדי להביא לידיעת מורי ההלכה אינפורמציה חשובה זו מכלי ראשון, הבאנו את הסבריו של פרופ' זאב לוז ממכון ויצמן למדע, על הרקע המדעי של השימושים בגבישים נוזליים.

השם „גביש נוזל“ סותר לכאורה את עצמו. אנו רגילים לשלושה מצבי-צבירה (פאזות) של החומר: מוצק, נוזל וגז, המעבר בין הפאזות השונות בכל חומר חל בטמפרטורות מוגדרות והוא מלווה בדרך-כלל בשיחרור או בקליטה של חום (חום כמוס). מה הם איפוא גבישים נוזליים?

אלה הם חומרים היכולים להימצא במצבי-צבירה מיוחדים הנבדלים מהמוצק או הנוזל הרגילים ולהם תכונות של נוזלים רגילים ושל מוצקים גם-יחד.¹ אין הם חומרים נדירים כלל וכלל. לאחרונה פורסם ספר המכיל רשימה של למעלה מחמשת אלפים (!) גבישים נוזליים ומיספרם גדל משנה לשנה. כדי להבין כיצד ייתכנו מצבי-ביניים כאלה נבחן תחילה את ההבדל במיבנה המולקולארי שבין גביש לנוזל ואת תהליך ההתכה שבו חל המעבר בין שתי פאזות אלה.

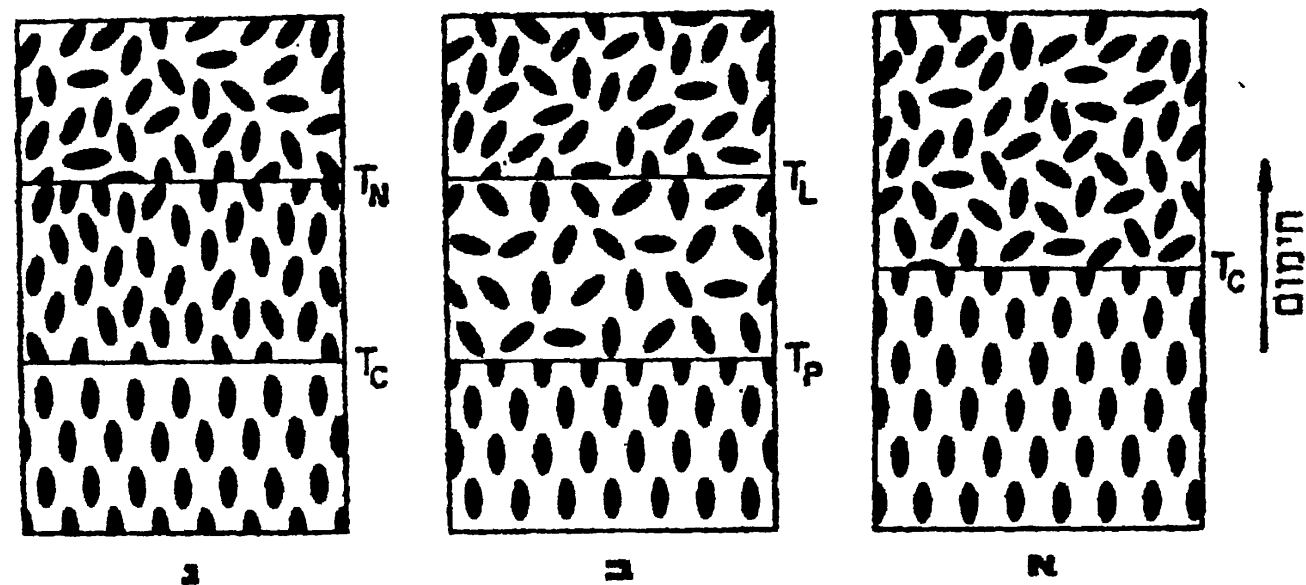
1 מתוך המאמר „גבישים נוזליים“ מאת זאב לוז. „מדע“ כא 3—4 (1977), עמ' 123—129.

הקטעים מובאים באישורה של מערכת „מדע“. ההערות — של עורך „אסיא“.

2 כונת הדברים היא שבחלק מתכונותיהם דומים הגבישים הנוזליים לגבישים מוצקים ובחלק מתכונותיהם הם דומים לנוזלים רגילים כפי שמוסבר בהמשך הדברים. העורך

בגביש המוצק שומרות המוליכות על מקום וכיוון קבועים ביחס לצירי הגביש, בדומה לחיילים במיסדר האסורים בתזוזה או בהפניית הגוף. במצב הנוזלי, לעומת זאת, קיימת תנועה חופשית של המוליכות, ולכן מקומן, בכל רגע, הוא אקראי, וכן גם כיוונן במרחב; אין כל התאמה (קורלציה) בין מקומה או כיוונה של מוליכות אחת לבין האחרות, להוציא התאמות קיצרות-טווח בין מוליכות שכנות.

אנו אומרים, לכן, שבמעבר-הפאזות גביש-נוזל (תמונה 1א') נעלמים הסדר המקומי והסדר הכיווני המאפיינים את המוצק. השאלה היא האם יתכנו מעברי-פאזות שבהם נעלמת רק אחת משתי תכונות-סדר אלה, למשל, הייתכן מעבר-פאזה שבו נעלם הסדר הכיווני ואילו הסדר המקומי נשמר, או מעבר-פאזה שבו נעלם הסדר המקומי ואילו הסדר הכיווני נשמר?



תמונה 1: פיזור המוליכות בפאזות שונות. א— מוצק ונוזל איזותרופי רגילים: למוליכות במוצק סדר מקומי סדר כיווני ואילו בנוזל מקום מרכזי-הכובד של המוליכות הוא אקראי וכן גם כיוונן. T_c היא טמפרטורת ההתכה. ב— גביש פלאסטי: בין המוצק והנוזל האיזותרופי ישנה פאזה מיוחדת, "גביש פלאסטי". שבה יש למוליכות סדר מקומי, כלומר מרכז הכובד של המוליכות קבוע במקומו ואילו כיוונן אקראי. T_p היא טמפרטורת-המעבר הפלאסטי ו- T_L טמפרטורת-ההתכה של הגביש הפלאסטי. ג— גביש ניזולי: במקרה זה מאפיינים את הפאזה החדשה שבין המוצק והנוזל האיזותרופי פיזור אקראי של מרכזי-הכובד של המוליכות ושמירה על מידה מסוימת של סדר כיווני. T_c — היא טמפרטורת-ההתכה של המוצק לגביש נוזלי ו- T_N טמפרטורת-המעבר מגביש נוזלי לנוזל איזותרופי.

נמצא ששתי האפשרויות קיימות. בתמונה 1ב' מתוארת דוגמה למקרה הראשון שבו חימום הגביש המסודר גורם לקבלת גביש אחר שבו למרכזי הכובד של המוליכות יש אומנם סדר מקומי בדומה לגביש רגיל, אולם כיוון המוליכות הוא אקראי והן מסתובבות במקומן באופן חופשי כבנוזל. פאזה

זו נקראת „גביש פלאסטי” וטמפרטורת מעבר-הפאזה נקראת „טמפרטורה פלאסטית”. אם נמישך ונחמם את הגביש הפלאסטי נגיע לטמפרטורת-ההתכה, שבה יהפוך החומר לנוזל רגיל. למולקולות המרכיבות את הגבישים הפלאסטיים יש בדרך-כלל מיבנה דמוי-כדור המאפשר להן תנועה סיבובית חופשית, ולעיתים קרובות חומרים אלה הם אומנם פלאסטיים.

האפשרות השנייה מתוארת בתמונה וג'. במקרה זה חימום-המוצק גורם, בטמפרטורה מסוימת, להופעת נוזל מיוחד בעל מיבנה מיקרוסקופי שבו איבדו המולקולות את הסדר המקומי אולם הן שומרות עדיין על מידה רבה של סדר כיווני. הן חופשיות לנוע באופן אקראי במרחב, אך נוטות להתכוון (בממוצע) במקביל זו לזו, בדומה לקורות-עץ השטות בנהר: מקומן משתנה בכל-רגע אולם כיוונן נשמר. לפנינו, איפוא, פאזה נוזלית עם סדר כיווני. אם נמשיך לחמם פאזה זו נגיע לטמפרטורת „התכה” שנייה, שבה יותמר „הנוזל המסודר” לנוזל רגיל. פאזה שנייה זו נקראת גביש נוזלי. המעברים ממנה למוצק או לנוזל כרוכים, בדומה למעברי-פאזות אחרים, בשיחרור או בקליטה של חום כמוס ומאפיינות אותם טמפרטורות-מעבר מזגדרות. קיימות צורות שונות של נוזלים בעלי סידור מולקולארי פנימי המקנה להם תכונות פיסיקאליות המיוחדות בדרך-כלל לגבישים ושאין קיימות בנוזלים רגילים. להלן נמין פאזות אלה לתת-פאזות, בהתאם לסידור המולקולארי הפנימי, ונדון ביתר-פירוט בתכונותיהן הפיסיקאליות.

גבישים נוזליים מוכרים כבר קרוב לתשעים שנה. ב-1888 בדק הביולוג רייניצר (F. Reinitzer) את תכונות ההתכה של החומר האורגאני כולסטריל בנזואט ומצא שכאשר מחממים אותו אין המוצק משתנה ישירות לנוזל שקוף. תחילה מתקבל (ב- 145.5°C) נוזל עכור וסמיך, אשר רק לאחר חימום נוסף (ל- 178.5°C) הופך לנוזל שקוף רגיל. תופעה זו חזרה על עצמה בתהליך ההפוך: כאשר ירדה הטמפרטורה למטה מ- 178.5°C הופיע תמיד הנוזל העכור. לנוזל זה תכונות אופטיות שאינן מצויות בנוזלים רגילים, ובשכבות דקות של 10—100 מיקרון (מיקרון אחד שווה לאלפית המילימטר) הוא מופיע בצבעי-קשת מרהיבים ביופיים, המשתנים עם הטמפרטורה. לאחר שהשתכנע רייניצר בנקיונו של הכולסטריל בנזואט ושהעכירות אינה נובעת מזיהומים שלח דוגמות מהחומר לעמיתו להמן (O. Lehmann) שהיה חוקר-גבישים ידוע ומומחה לבדיקות אופטיות של גבישים. להמן הבחין מיד שלפניו נוזל בעל תכונות אנאיזטרופיות, כלומר — תכונות התלויות, בדומה למצב בגבישים, בכיוון המדידה בנוזל, שלא כבנוזלים רגילים, איזוטרופיים, אשר תכונותיהם אינן תלויות בכיוון. בעיקבות הבחנה זו טבע להמן את המושג „גביש נוזלי”. במשך השנים נתגלו יותר ויותר חומרים שלהם פאזה של גביש נוזלי. עניין מיוחד נמצא בהם בזמנו לא-רק בגלל תכונותיהם האופטיות המיוחדות, אלא גם משום שחשבו שנוזלים אלה הם מרכיבים חשובים בריקמות החי: מצד אחד יש בהם מידה רבה של

סידור כיווני, ומצד אחר, כנוזלים הם מאפשרים דיות (דיפוזיה) מהיר של נוזלים המבצעים חילוף-חומרים. ואמנם, אחד הספרים הראשונים שכתב להמן על גבישים נוזליים נשא את השם „גבישים נוזליים ותיאוריות-החיים“. כיום יודעים אנו כי אומנם הקרומיות הביולוגיות אינן אלא סוג מסוים של גבישים נוזליים, אולם בשלהי המאה הקודמת ובראשית המאה הזאת לא הובן עדיין מיבנה החומר די-צרכו ותופעה זו של גבישים נוזליים נשארה סתומה ובלתי-מובנת במשך שנים רבות. הדבר מתבטא גם בשמות הרבים שניתנו במשך השנים לפאזה זו: „גביש נוזלי“, „נוזל גבישי“, „נוזל מסודר“, „גביש בלתי-מסודר“ או סתם „מוזפאזה“ (פאזה-ביניים).

פאזה נמאטית

כאמור קיימות מיספר תת-פאזות של גבישים נוזליים, דבר המתבטא בתכונותיהם הפיסיקאליות ומשקף את הסידור המולקולארי בתת-הפאזות השונות. את הבסיס למיון נתן פרידל (G. Friedel) במאמר שפורסם עוד בשנת 1922. הוא גם טבע את השמות המקובלים עד היום: פאזה נמאטית, פאזה כולסטרית ופאזה סמקטית. למרות שהיום מובן יותר המיבנה המולקולארי של תת-פאזות אלה, ולשמותיהן חשיבות היסטורית בלבד, המיון של פרידל עדיין נוח כבסיס לדיון במיבנים השונים של גבישים נוזליים.

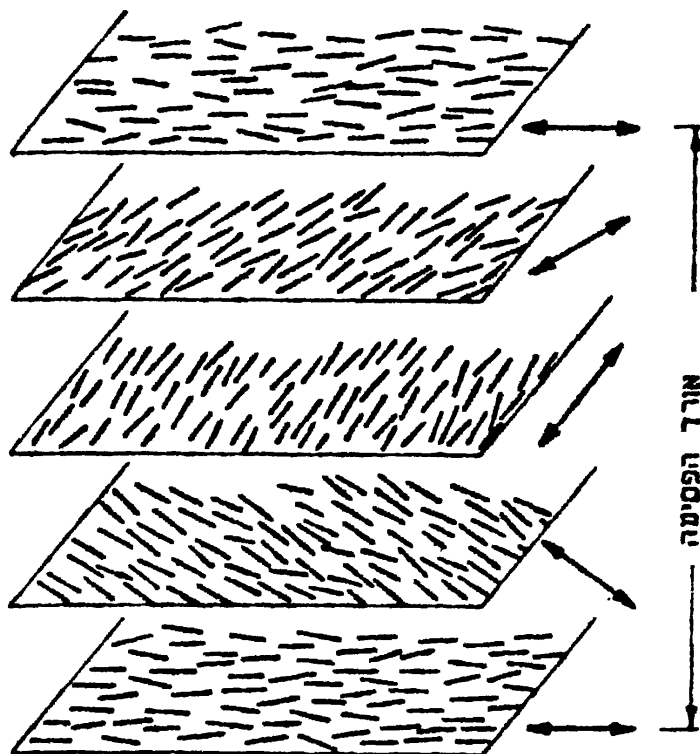
בפאזה הנמאטית נמשות המולקולות להסתדר באופן שציריהן הארוכים מקבילים פחות או יותר זה לזה (תמונה 1ג) ויוצרים בנוזל כיוון ממוצע אשר אליו מתכוונות המולקולות. ציר זה נקרא מיכוון (דירקטור). תנועת המולקולות בפאזה זו חופשית כבנוזל רגיל, אולם הן שומרות על מידה של סדר כיווני, האחראי לתכונות האנאיזוטרופיות של נוזל זה. כך למשל שונה מקדם-השבירה של אור המקוטב במקביל למיכוון מזה של אור מקוטב בניצב לו וכך גם תכונות אחרות. תכונה זו של הפאזה הנמאטית מצויה גם בגבישים חד-ציריים רגילים. גם בהם קיים ציר-סימטריה אשר התכונות הפיסיקאליות שונות לאורכו מאשר בכיוונים הניצבים לו. אנו מגדירים לכן את הפאזה הנמאטית כנוזל חד-צירי⁸.

הפאזה הכולסטרית

הסידור המולקולארי של הפאזה הכולסטרית דומה לזה של הפאזה הנמאטית. ההבדל העיקרי ביניהן הוא בכך שבמצב „המסודר האידיאלי“ של פאזה זו,

⁸ ניתן להשפיע על הכיוון של ציר המיכוון על ידי יצירת שדה חשמלי מתאים, ועל עיקרון זה מבוססים „המצגים האלקטרו-אופטיים“ כדוגמת הספרות הכהות בשעוני יד אלקטרוניים או מחשבי-כיס חדישים. מובן שיש לעובדה זו השלכות הלכתיות על איסור והיתר בהפעלת מצגים אלקטרו-אופטיים בשבת ובחג. העורך.

כלומר בהיעדר כוחות חיצוניים, המיכוון אינו קבוע אלא מתפתל לאורך ציר מסוים במרחב. המולקולות ערוכות בשכבות, שבכל אחת הן מסודרות בדומה לפאזה הנמאטית, אולם כאשר עוברים משיכבה לשיכבה מישתנה מעט כיוון המיכוון (תמונה 2). הפיתול קטן מאוד — רק אחרי כמה מאות שכבות מולקולאריות, במרחק הנקרא „פסיעה“, חוזר המיכוון למצבו ההתחלתי. מכאן



תמונה 2: תיאור סכימתי של הפאזה הכולסטריית. פאזה זו דומה לנמאטית אולם כאן כיוון המיכוון אינו קבוע הוא מתפתל לאורך ציר מרחבי. בתמונה רואים את סידור המולקולות בשכבות שונות הניצבות לציר הפי-חול. החץ הכפול מימין מציינ את כיוון המיכוון.

שבטווחים קצרים נמצאות המולקולות בסביבה נמאטית חד-צירית, אולם בטווחים ארוכים נוצרת מחזוריות במגמת המיכוון. מחזוריות זו, היא האחראית לתכונות האופטיות המיוחדות של הפאזה הכולסטריית, לרבות צבעיה המרהיבים, כאשר היא מופיעה בשכבות דקות. צבעים אלה הם תוצאה של החזרות בררניות של קרני האור בדומה להחזרות מסריגים אופטיים או לפיזור קרני-X בגבישים. במקרה זה מוחזר אותו גל אשר ארכו שווה למחזור הכולסטרי (אורך הפסיעה). בתרכובות כולסטרייות רבות אורך המחזור הוא בתחום אורך גלי האור הנראה 400—700 אלפיות המיקרון; לכן, כאשר פוגע אור לבן בגביש הנוזלי מתקבלות החזרות צבעוניות בצבע המתאים לאורך הפסיעה ולזוויות הפגיעה. יתר-על-כן מאחר שאורך המחזור הכולסטרי רגיש לטמפרטורה (הוא מתקצר בדרך-כלל עם הימום הנוזל) ישתנה צבע הנוזל, לעתים באופן דראמאטי, כתוצאה משינויים קלים

בטמפרטורה. תופעה זו היא הבסיס לשימושים של הפאזה הכולסטריית בהתקנים אופטיים ובמיפוי טמפרטורה.⁴

היישום הטכני של גבישים נוזליים בגלאי חום

הצבה של כמה מינים של גבישים נוזליים זה בצד זה בחללים של סרט דק, תעניק לסרט זה תכונות של תגובה חזותית מרשימה.

נקבע בקצה אחד של הסרט חומר העובר לפאזה הכולסטריית בטמפרטורה של 35 מעלות צלזיוס, לידו נקבע חומר המגיב בצורה דומה בטמפרטורה של 36 מעלות, וכן הלאה עד 43 מעלות. בצורה זו נקבל מדחום המראה את טמפרטורת הגוף בצורת כתמים צבעוניים הגודדים על פני הסרט המורכב מאוסף החומרים השונים.

ניתן להרכיב את החומרים הכולסטריים בצורה של אותיות או ספרות, ואז, בעת המדידה יעברו הספרות בזו אחר זו לפאזה הכולסטריית, וכל ספרה, בהגיע תורה, תתחיל לקבל צבע, תמשיך במהירות לעבור שינויי צבע עד העלמותו, וכך נראה נדידת צבעים על פני הספרות בהתאם לשינוי הטמפרטורה.

כמות החומר הדרושה לבניית מדחום כזה היא זעירה, ולכן קיבול החום של סרט כזה הוא נמוך מאד, ולכן הסרט מתחמם ומגיב בציון הטמפרטורה תוך שניות ספורות.

למשקל הנמוך של סרט המדידה יש גם יתרונות נוספים בתחומי השימוש הרפואי, ונסתפק בשלוש דוגמאות:

א. אפשר להניחו בעדינות על מצח החולה ללא טלטול, הערה משינה או גרימת בכי בתינוקות חולים.

ב. ניתן להניח מדחום מעין זה באזורי כויה כאשר יש חשיבות רפואית רבה בקביעת הטמפרטורה המקומית.

ג. ניתן ליצור סרטים בעלי שטח נדרש ולהשתמש בהם למיפוי טמפרטורה במסגרת איתור גידולים ממאירים.

העורך

4 עד כאן קטעי המאמר של פרופ' לוז ב"מדע". תודתנו נתונה למערכת "מדע" על הסכמתה לפרסום הדברים ב"אסיא".