

תעלומת התכלת

תחיה פויכטונגר, ריזל סובר, נחמה ברנר ורבקה רביבו*

אז לאן נעלמה התכלת?

כשקיבלו בני ישראל תורה ומצוות מסיני, אחת מהמצוות שניתנה לנו היא מצוות התכלת. מצווה זו דורשת מהיהודי לתת בכנפי בגדו פתיל תכלת, אך היא נשתכחה כנראה לפני כ-1,500 שנה. בתקופה זו הרומאים, ששלטו בארץ ישראל, הטילו גזרות על נתיניהם. בין הגזרות היה איסור לבישת בגד שצבעו תכלת, שנחשב ללבוש מלכותי. הגזרה הוטלה כמובן גם על היהודים שלבישת התכלת היא כאמור אחת ממצוותיהם. בנוסף לגזרה זו התכלת היא חומר יקר המופק מבלוטות הצבע של החילזון שעפ"י הגמרא "עולה אחת לשבעים שנה", כלומר, מגיע לאזור החוף לעתים נדירות. כך, אט אט, נשתכחה המסורת להכנת התכלת, ונעלמו פתילי התכלת מציצותיהם של ישראל.



ארגמון קרה קוצים

אם כך, השאלה בדבר היעלמות התכלת אמנם נפתרה, אבל במקומה עולה שאלה אחרת - מהי התכלת בימינו? אם המסורת נשתכחה, כיצד יש אנשים שמקיימים מצווה זו? התשובה היא שבשנים האחרונות נערך חיפוש אחר החילזון שממנו הופק התכלת בימי קדם. האדמו"ר מרדזין וכן הרב הראשי לישראל, הרב הרצוג, חקרו כל אחד בתקופתו והגיעו למסקנות שונות אודות החילזון המדובר. אך מכיוון שחלזונות אלו לא ענו על כל הדרישות המופיעות בגמרא,

מה הקשר בין צמח, חילזון, צביעת בדים בשיטות עתיקות ומודרניות ומצוות?

אנחנו, תחיה פויכטונגר, ריזל סובר, נחמה ברנר ורבקה רביבו יצאנו למסע בבירור כימי והלכנו בעקבות פתיל התכלת. נסענו למפעל "פתיל תכלת" שנמצא בכפר אדומים ולמדנו על הנושא מקרוב. הכתבה מבוססת על הידע שרכשנו במהלך הביקור ועל ההדרכה שקיבלנו מיואל גוברמן, מנהל המפעל. קריאה מהנה!

7:02, אני קם, נוטל ידיים מתלבש מהר ורץ לתפילת שחרית. קורא עם כולם את קריאת שמע ומגיע לפסוק שבפרשה השלישית,

"...ועשו להם ציצית על כנפי בגדיהם לדורותם ונתנו על ציצית הכנף פתיל תכלת..." אזי מעוף מבט על המתפללים שמסביבי. פתיל תכלת? יש כאן בדיוק עניי

אנשים שיש להם פתיל תכלת בציצית... אחרי התפילה אני פונה לעמיזון, בחור מהשכונה, שהוא אחד מהמתפללים הבוחרים אשר לגופם ציצית ולה פתיל תכלת. "תגיד עמיזון, פתאום עאלתי את עצמי - מה כל הקטע הזה עם פתיל התכלת שמוזכר בתפילה? למה יש מצווה לקשור על הציצית פתיל בצבע תכלת? ואם זו מצווה, למה כמעט אף אחד לא מקיים אותה?"

* תחיה פויכטונגר, ריזל סובר, נחמה ברנר ורבקה רביבו, תלמידות כיתה י"א באולפנת בהר"ן בגדרה. הכתבה נכתבה במסגרת התחרות - "יש לנו כימיה! כימיה, תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט".

1. ניתן לעיין במחקרים בספר "התכלת" של מנחם בורשטיין

התהליך הכימי שמתרחש במהלך צביעת הצמר לצבע תכלת



"קלא אילן" - צמח האינדיגו

עמיחי ואני הלכנו למפעל "פתיל תכלת" שנמצא בכפר אדומים כדי ללמוד על התהליך של צביעת התכלת. הדבר הראשון שהיכה אותנו בכניסתנו היה הריח החזק של ... של מה?!

יואל גוברמן קיבל את פנינו והסביר שהריח נוצר עקב פליטת גפרית מימנית שנוצרת בתהליך הצביעה.

"קודם כל אנחנו לוקחים את האסלה הצבעה המיובשלת ושמים אלה בבל, 'הפסידור ואל'. " אח"כ אנחנו מוסיפים מים לחמים. חום המים מאזן את הפחית. לאחר מכן אנחנו מוסיפים חומר בסיסי⁴, את מכילון שהמחזר שנדרש לביצול הפחית פולח רק בסביבה בסיסית. אל - חומר מחזר⁵. הסיבה לפסידור החומר המחזר היא שהדיבלומה אינדיגו - הצבע של החילזון - אינו מסיס במים, והחומר המחזר פופך אלה אינו, לפלא מסיס במים."

התחדשו החיפושים¹. בחפירות ארכאולוגיות על חופיה של ארץ-ישראל נמצא בור בחוף דור ובו שברי קונכיות של חילזון "ארגמון קהה קוצים"². הועלתה השערה שהיה בתל-דור מפעל לצביעת בדים, ולצורך הפקת הצבע השתמשו בחילזון זה. מיד כשהתגלה החילזון, נעשו ניסויים להפיק ממנו את צבע התכלת³, אך התוצאות היו מאכזבות - אמנם הופק צבע, אך לא התכלת. התקבל צבע סגול שהוא אולי צבע הארגמון המוזכר בתורה.

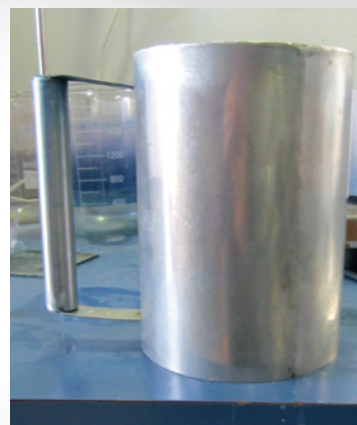
"תראו כיצד אפשר להכין מאותה התמידה שני דברים - צבע סגול וצבע תכלת."

אחד המדענים המתוסכלים הניח את הניסוי שלו על אדן החלון לטובת כוס קפה מרעננת, וכשחזר והוציא את הצמר מהתמיסה, גילה להפתעתו האדירה שהצבע הפך ל... תכלת!

מובן שתוצאות "הניסוי הלא מתוכנן" הובילו את המדענים לחשיבה מחודשת בנושא וגרמו להם להבין שחשיפת תמיסת הצבע לשמש מעוררת תהליך כימי שגורם לצבע הסגול להפוך לצבע תכלת.



הכלי שאינו חשוף לקרינת UV



הכלי החשוף לקרינת UV

2. Murex Trunculus

3. על-ידי תמיסה מימית של בסיס, חומר מחזר, בלוטות הצבע מהחילזון וחומצה

4. סודיום קרבונט Na_2CO_3

5. Na_2SO_4

יואל אפשר לנו להוסיף את החומרים לתמיסה ולערבב. כשסיימנו לערבב הוסיף יואל ואמר שהצמר הוא חלבון, ולכן אם נוסיף אותו כעת לתמיסה, הוא ייהרס מהסביבה הבסיסית. הפתרון לכך הוא נטרול התמיסה על ידי הוספת חומצה. "אבל לא יפיה פיזול" אמר נוסף. **אם החומצה?** שאלתי בחשש. יואל חיך והוסיף את החומצה. "הפיצוץ" שנוצר הוא תסיסה רגעית בכלי התמיסה, ולאחר הנטרול הוספנו את הצמר בלי חשש. בינתיים התוצאה לא נראית בצבע תכלת, ואפילו לא סגול – אלא מן צבע ירקרק לא נעים למראה.



"הצמר הירקרק שינה את צבעו במהירות רבה לתכלת או לסגול"

יואל המשיך והסביר: "גראל כיצד אפשר להכין מאלה הגמיסה שני צבעים: סגול וגלגל. אם נחלק את הגמיסה לשני כלי, ונניח בלי אחד בשמש ולאחר האחר בחושך – הצבע של הצמר שבו ישגה!"

"באלו נבין ממה מורכב מולקולת הצבע וכך נבין ממה נובע ההבדל בין שני הגמיסה. מולקולת הצבע בנויה מפחמן, מימן, חנקן, חמצן, וברום."

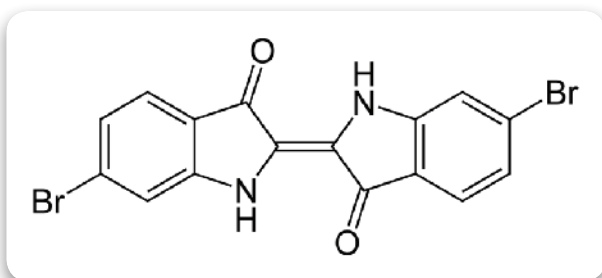
אם לאחר הפוסט המוזכר, נניח את הגמיסה בשמש, כאלה, מחמת אקרני UV, גשבור הקרינה את הפחמן ממולקולה, ובמקום אטומי פחמן, ייקשלו אטומי מימן. כלל המולקולה כבר אינה דיבולמו (2 ברום אינדיגו), אלא אינדיגו, וכלל החשיפה לשמש היא נפחכה למעלה אצבע שהיה אבוד למשך זמן כה רב ושריקה מדלדלים כה רבים – פחלג."

"לחלמה זאג", אמר יואל, "הגמיסה שלא גיחשלי אקרני UV גיפה מורכב מן המולקולה המקורית, שגפיק את הצבע הסגול-ארגמני."

עמיחי הקשיב להסבר המלומד והקשה: "טוב, אז הבננו מה קורה לגמיסה השלולה אבל כשאנחנו מסבכים על שני הגמיסה – זאג שנחלפה אקרני UV וגם זו שלא נחלפה – שגפן הצבע יקרקק! מני מקבל הצבע עצמו?"

"מצוין, באלו נראה מה קורה לגמיסה לאחר החשיפה אלו הפיזורה". יואל פוילו אלגו אחריה ופויט אל שני הגמיסה אחד. "לכלשו גראל איך החומר פיוני חלבר גליך חמצן-חיזור על החמצן שבאלוהי."

בלי יותר מדי דיבורים הוא שלף את הצמר מהתמיסה והשאיר אותנו נדהמים. ברגע שהצמר הספוג בתמיסה היונית בא במגע עם החמצן שבאוויר, שינה הצמר הירקרק את צבעו לפי התהליך הכימי שעבר במהירות רבה לתכלת או לסגול! לאחר רגעי התדהמה חיך יואל והסביר מה התרחש כאן. "המולקולה פיונית משחרר מגלכ אל פאלוקטון שקיבול כלל החיזור, וכלל פליטת הצבע של החומר משגנה." "רעל, זה לא יורד בכביסה?" שאל עמיחי.



"מולקולת צבע" – דיברומו אינדיגו

יאל, זהו אחד הדברים המיוחדים בגליך הצבע. כאשר המולקולה פיונית משחרר מגלכ אל פאלוקטון שקיבול כלל החיזור, לא רק פליטת הצבע משגנה, אלא גם סל המולקולה משגנה: מולקולה יונית, היא חלבר אפיול מולקולרי, ולכן אינה מסיסה במים, והצבע לא יורד בכביסה."



המקורית. המולקולות האלו דורש מחקר חזק יותר ממולקולות האינוניל, מה שאומר שיהיה קשה להפריד אותם מהצמר, ולכן הצבע שבחילצון תמיד יהיה מפרקא איון שהוא רק אינוניל.

"ואו!! כל הכבוד לך האמונה שלך והביטחון בצדקת דרךך!" אמרנו בהתלהבות, "אבל יש לנו שאלה נוספת. בכמה חילצונות אגם משמשים כדי לצבוע בגדים ציציני אחר?"

רואים על יואל שהוא התכוון לשאלה הזאת, "אנחנו משמשים בכ- 30 חילצונות אחרות צבע בשביל חבילת ציציני אחר..."

"מה?! שאלנו בתדהמה, "איך יכול להיות שבשביל לקיים מצוות אנחנו צריכים להחליט כל כך הרבה חילצונות? מה עם צלילי חיים, זה גם ציווי מהמורה?"

יואל נשם עמוק ואמר: "טוב, אני אצטרף איתם בקצרה. קודם כל החילצון הוא צלילי חיים עם מלחכת ציציני לא מפותחת, ולכן הוא כמעט ולא מרעיש לחלבים או אגם באותה הצבע."*



תכלת דומה לים וים דומה לרקיע

"אז הבנו את ההליך שמגדלם הצבעיני הצמר לצבע גבאי" אמרתי, "זה מדויק! אבל... אין איזה דרך קיצור, דרך קלה יותר להשיג את הצבע הגבאי? מקור טבעי אחר לצבע גבאי?"

"שאלה מצוינת" השיב יואל. "האמת, ישנו צמח שמזכר בעמקא לשמו "קלא איון"⁷. צבע גבאי, והוא דומה מאוד לגבאי מהחילצון. העמקא

אוסרת את השימוש בצמח זה בציציני הגבאי - אני הוא זה שהצדד איפול...ממני שגורף קלא איון בעצדו ואמר גבאי. ⁸

את הסיבה האמיתית לאיסור אנחנו לא יודעים אולם, אנחנו רק יכולים לשער שהחלטה אחרת גורמת. הסיבה האפשרית הראשונה לאיסור היא כבוד המצווה! כמו שלא גרצה לגבאי צבע שמשוברים את אבן זכוכית במקום אבן יפוא, כך במצווה אנו צריכים להשתמש בחומר האמיתי ולא בחיקוי, כי הוא פוגע במשפט והמשפט הולך."

"הסיבה השנייה - למידת הצבע היוצא מהחילצון לבדוקה יותר מעמידת הצבע שבקלא איון. מאחורי זה למדעסיבה כימית ששונה. הצבע החילצון מולקולות דיכרומו אינוניל איון פוסלר אינוניל אלא נשאלת כמולקולות



תהליך צביעת הצמר - החמצון

7. צמח האינדיגו - הצבע ממנו מפיקים כיום את צבע הג'ינס.

8. מנחות סא

"הנה אחת מהגשומה לשמחה, אם גרבו אינם להסגל חף הצבח שלו - גרבו צבח גרבו, אבו כלגיקח מו ים בכוס, הצבח יהיה שקל? כך הלא דבר אלבי השמים - כלמגסכאים חף השמים, הם הצבח גרבו אבו השמים הם הצבח אוויר שקל?"

"דבר בא אלמד אגרנו שכך גם בחיים - חף כו מציאלה וצנין הצלום אפשר להסגל בדאייה מצומצמת ואלה רק אגר השקל? אלאה בחוסר אמונה איך הצבח מגרבו אלא השלחה אלקיה, מצד שני אפשר להסגל בפספקטיבה דחה יגר ואלה אגר הצבח להדבר, אגר היאפי, ופזילין האלקי להכו מציאלה, אגר כיסא הכבד?"

מקורות

1. ריאיון עם יואל גוברמן, מנהל המפעל "פתיל התכלת".
2. אתר המפעל "פתיל התכלת".
3. המסע בעקבות כהן שלומציון, צבע התכלת האבוד.

"דבר שני, או לקחנו אגר החזאנה הלאו אך ורק השכיל הצבח אציבי. אזלי זה האמה היה הצדד הצד הצלי חיים. אבו לא זה המצב. אחרי שאנחנו אוקחים מהחזאנה אגר הולט הצבח, מחזירים אגרם אדיעים או אחבה שמונה אנחנו קונים אגרם. הם משמשים החזאנה כפזילין אדעים, או, לא חזינו, אולאים אגרם. אגרם דיילים היו משמשים מחזאנה החזאנה לשימושים שצנינו, חם או בוי הולט הצבח. אז אגר אנחנו יכולים לקיים האלה הצדמנה מצוה חלופה, וזה לא גורם אצדד נוסף אלאה החזאנה, אז זה לא צדד הצלי חיים."

"יש לי אסיום קליון יפה אומר אכס", אמר יואל, "אגרם הולדאי מכירים אגר מאמר חצי השלם של הפגא רי מאיר:

"מה גשונה תכלת מכל מיני צבעוני? מפני שהתכלת דומה לים וים דומה לרקיע ורקיע לכסא הכבוד".⁹

המשפט הזה מובא כדי לענות על השאלה מדוע כשרואים את פתיל התכלת הוא מזכיר את מצוות ה' ככתוב:

והיה לכם וראיתם אותה וזכרתם את כל מצוות ה'.

"השאלה הנשאלת כלל היא למה הצבח מכירה אגר כיסא הכבד?"



התלמידות מדגימות את חשיפת הדיברומו אינדיגו (צהוב) לאור והפיכתו לאינדיגו (תכלת)

התלמידות מקבלות מקום שני בסיום התחרות (עם מורתן - דבורה ברוט)

9. תלמוד בבלי מסכת מנחות דף מג עמוד ב.

10. במדבר טו פסוק לט