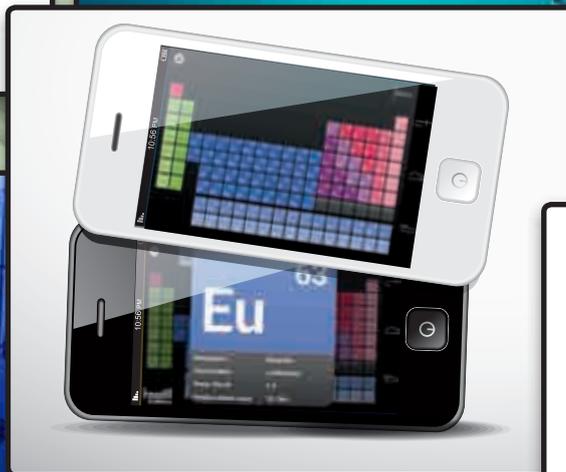
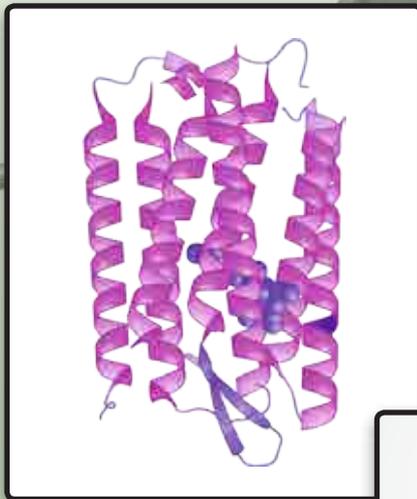


על-כימיה

גיליון מס' 25 • כסלו תשע"ה • ינואר 2015



מכון
כימיה
מדע

המחלקה להוראת המדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה

מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הכימיה

על-כימיה



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הכימיה



המחלקה להוראת המדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה

מינהלת מל"מ

המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט



גיליון מס' 25 • כסלו תשע"ה • ינואר 2015

תוכן העניינים

3	דבר המערכת
4	דבר המפמ"ר - ד"ר דורית טייטלבוים מנהלת תחום דעת כימיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך
	חזית המדע
5	חיים על שבב - שירלי שולמן דאובה
14	ספיטרוניקה: העתיד כבר כאן - הילה עינתי, נירית קנטור-אוריאל ופרופ' רון נעמן
	העשרה
18	גסטרונומיה מולקולרית - מדע חדש ומתפתח - דפנה מנדלר
	פעילויות
25	"כימיה אהובתי" - מיטל חטואשוילי
29	שלוש שנות profiles - שרון דויטש, בתיה ליפשיץ גולדרייך וסמדר אהרוני
33	אמצעים דיגיטליים לשימוש בכיתה - רותי שטנגר
36	פעילות מנצחת עם סמרטפון בכיתה! - מלכה יאיון
	מחקרים בהוראת המדעים
40	ספירת מלאי ביחידת מעבדת החקר - דבורה קצביץ ושרה אקונס
	מורים מצטיינים
45	פרס המורה המצטיין על-שם ד"ר ורה מנדלר ז"ל
46	פרס המורה המצטיין לשנת תשע"ד על-שם נעמה גרינשפון ז"ל
	כנסים
48	כנס המרכז הארצי למורי הכימיה - שושן פורים תשע"ד
	פינת השאלה היפה
50	שכן חדש בטבלה המחזורית: היסוד העל-כבד שמספרו 115 - חני אלישע
	פינת התלמידים
52	מחקר פורץ דרך בשימושי המגנזיום כשתל - אורי בורג, אילן מרטיוק, מעוז מרקרבס

עורכת אחראית: ד"ר דבורה קצביץ
dvora.katchevich@weizmann.ac.il

מערכת: ד"ר רחל ממלוך-נעמן, ראש המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע. ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך. ד"ר רון בלונדר וד"ר יעל שורץ, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

יעוץ מדעי: פרופ' ליאור קרובניק

עריכה לשונית: נדן קלברמן

גרסת אינטרנט: ד"ר שלי ליבנה

איורים ועיצוב גרפי: זו אריאלי ומור מוריה-שיפוני

עריכה ועיצוב כריכה: מור מוריה-שיפוני

כתובת המערכת: המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע, רחובות 76100

© כל הזכויות שמורות - משרד החינוך

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

דבר המערכת

המדורים בגיליון זה נשארו קבועים אך התמלאו בכתבות חדשות ומעשירות, בדיווחים מהשדה החינוכי והישר ממעבדות המחקר.

במדור **"חזית המדע"** מעניין לפגוש מחקר שבו מפתחים מערכות היברידיות המחברות בין מולקולות ביולוגיות, דנ"א וחלבונים, לבין משטחים אנאורגניים, כדוגמת סיליקון וזכוכית, בצורה המאפשרת פעילות של המולקולות הביולוגיות מחוץ לסביבתן הטבעית. במאמרה **"חיים על שבב"** ד"ר שירלי דאובה משתפת אותנו בגישה חדשה ליצירה של תאים סינתטיים מלאכותיים.

עדכון נוסף מחזית המדע ניתן לקרוא במאמרם של הילה עינתי, נירית קאנטור ופרופ' רון נעמן במאמרם **"ספיטרוניקה: העתיד כבר כאן"**. המאמר מתאר את הסלקטיביות שיש לספין מסוים בתנועת אלקטרון לאורך מולקולה כיראלית. ממצא זה פותח אפשרויות מדעיות וטכנולוגיות רבות הן להבנה בסיסית של תהליכים פיזיקליים וביולוגיים והן לשילובן של מולקולות כיראליות בהתקנים אלקטרוניים מתקדמים.

המדור **"מחקרים בהוראת המדעים"** משתף אתכם בממצאי סקר שנערך בקרב מורים המבצעים את יחידת מעבדת החקר **"ספירת מלאי ביחידת מעבדת החקר"**. את הכתבה כתבו ד"ר דבורה קצביץ ושרה אקונס. ממצאי הסקר מצביעים על כך שרובנו "נעולים" על קבוצת ניסויים מסוימת.

גם הפעם ניכרת תרומתם של המורים מן השטח למדור **"פעילויות"**. מורים משתפים את הקוראים בפעילויות-כיתה לגיוון ההוראה, להעלאת המוטיבציה של התלמידים ולקידום מקצוע הכימיה. בפעילויות אלו מציבים את התלמידים במרכז העשייה ויוצאים מתוך שבלונת הכיתה ה"מרובעת" של מורה, לוח-גיר ותלמידים: **שלוש שנות פרופיילס** - שרון דויטש, בתיה ליפשיץ גולדרייך וסמדר אהרוני; **כימיה אהובתי**, מיטל חטואשוילי; **אמצעים דיגיטליים לשימוש בכיתה**, רותי שטנגר; **פעילות מנצחת עם סמרטפון בכיתה** - מלכה יאיון. כמו כן מצפה לנו שאלה מוכנה, הישר לתרגול בכיתה יוד, ותרומה לגיליון - פרי עטם של תלמידים.

בגיליון תמצאו התייחסות למספר אירועים: הכרזה על **המורה המצטיין זוכה הפרס על-שם ורה מנדלר** וכן הכרזה על **המורים המצטיינים זוכי הפרסים על-שם נעמה גרינשפון**.

לסיכום, מורים אשר ערכו בבתי הספר פעילויות מעניינות, כמו גם סיורים או כנסים, ורוצים לשתף את קהילת המורים - מוזמנים ליצור קשר עם המערכת בהקדם, כדי שנוכל להוציא לאור את הדברים בגיליון הבא.

המשך שנת לימודים פורייה!

מערכת על-כימיה



דבר המפמ"ר

ד"ר דורית טייטלבוים מנהלת תחום דעת כימיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

ישנן כמה שאלות חשובות ורלוונטיות ששואלים תלמידים והורים: למה ללמוד כימיה? מה עושים עם זה בעתיד? עד כמה לימודי הכימיה פותחים דלתות באקדמיה? אנסה לתת מענה לשאלות אלו.

לימודי הכימיה בתיכון משלבים בתוכם: ידע כימי, ביצוע ניסויים במעבדה, מיומנויות חקר, אסטרטגיות חשיבה, אוריינות מדעית, כתיבה מדעית, למידת עמיתים ועבודה בצוות. כל אלו משולבים בלימודי הכימיה על מנת שיוכלו לסייע ללומדים בעתיד בכל מסלול שיבחרו.

לימודי הכימיה בתיכון עשויים להוביל לשני מסלולים אקדמיים מוכרים: לימודי כימיה או לימודי הנדסה כימית. אבל, כימיה היא לא רק מדע העומד בפני עצמו. לימודי כימיה משולבים במגוון מסלולי לימוד באקדמיה, במקצועות כמו: רפואה, רוקחות, הנדסה ביורפואית, הנדסת חומרים, ביולוגיה ועוד, בכלם יש חובה ללמוד קורסים רבים בכימיה, בדרך אל התואר הנכסף. תלמידים שלמדו במהלך התיכון כימיה בהיקף של 5 יח"ל, יכולים להתמודד ביתר קלות עם לימודי הכימיה במסגרת האקדמית. יש להם את הידע הכימי הבסיסי ואת המיומנויות הנדרשות לצורך זה.

לא בכדי מרבית זוכי פרס נובל בכימיה, אינם מתחום הכימיה באופן ישיר, אלא למשל, רופאים שלמדו כימיה ועשו בה שימוש במחקרם, או מהנדס חומרים שלמד כימיה ועשה בה שימוש במחקרו פורץ הדרך וכו'. הידע הכימי מעצים את המחקר ומאפשר לחוקר להבין טוב יותר את התנהגות החומרים בסביבות שונות. לכן מקצוע הכימיה נדרש בשוק התעסוקה על כל גווניו. לכן מקצוע הכימיה הוא מאד אקטואלי והוא חלק מחיי היומיום של כל אדם ואדם בעולמנו. בין אם האדם מודע לכך ובין אם לאו.

כימיה היא מדע בסיסי התומך ומהווה תשתית למדעים אחרים!

חורף בריא

למה כימיה?



חיים על שוב

שירלי שולמן דאובה*

הקדמה

מודל פשוטה לתא חי מורכב. במערכת מודל ניתן לבצע שינוי בצורה מבוקרת ולהבין למה גרם שינוי זה, בעוד שבמקרים רבים במערכת מורכבת וגדולה כתא שלם לא ניתן להבחין בין סיבה למסובב.

ככל שמערכת המודל מצומצמת יותר, כך היא אמורה להיות פשוטה יותר להבנה. לכן חלק מהמאמץ המחקרי לבניית מערכת תאית מלאכותית מופנה להרכבת המערכת המינימלית שיכולה להיקרא 'חיים'. נושא זה הוא פילוסופי בחלקו שכן ההגדרה של חיים אינה חד-משמעית. האם עצם היכולת לשמר קיום ולאפשר חלוקה ו/או הכפלת היחידה המינימלית מספיקים כדי להגדיר חיים? האם יש צורך להכניס להגדרה זו גם את האפשרות לעבור אבולוציה, כלומר, להשתנות ולהתפתח? מערכת מודל תוכל לתת מענה לחלק משאלות אלו ולאפשר לחקור תהליכים מופשטים על ידי הגדרתם בחומרים מוכרים לנו⁴.

בשנים האחרונות נוסף היבט אפליקטיבי, ביוטכנולוגי, למירוץ אחר השגתה של מערכת תאית מלאכותית ומתפקדת. מערכת כזו תוכל לשמש כבית חרושת לחומרים ו/או לאנרגיה בצורה יעילה תוך כדי שימוש בעקרונות השאובים מעולם הביולוגיה, עולם המבוסס על בנייה עצמונית ועל רשתות גנטיות וביוכימיות המגיבות לשינויים פנימיים וסביבתיים ברמה המולקולורית. ניתן לחשוב גם על מערכת מלאכותית המתפקדת באינטראקציה עם גוף האדם ומשמשת לתיקון שינויים מחוללי מחלות בחומר הגנטי ובחלבונים הבונים את גופנו⁵.

תא חי הוא מערך מופלא של עשרות אלפי מולקולות שונות הפועלות ביחד כמכונה יעילה ומשומנת כדי לממש את מה שאנו מכנים חיים. כיצד עובדת מכונה מסובכת זו? האם נוכל לפרקה לגורמים כדי להבין טוב יותר כיצד היא מתפקדת? האם נוכל לבנות מערכת דומה לה שתייצר חומרים חדשים ושתתפקד בשליטתנו כדי לבצע משימה שעדיין אינה קיימת בטבע?

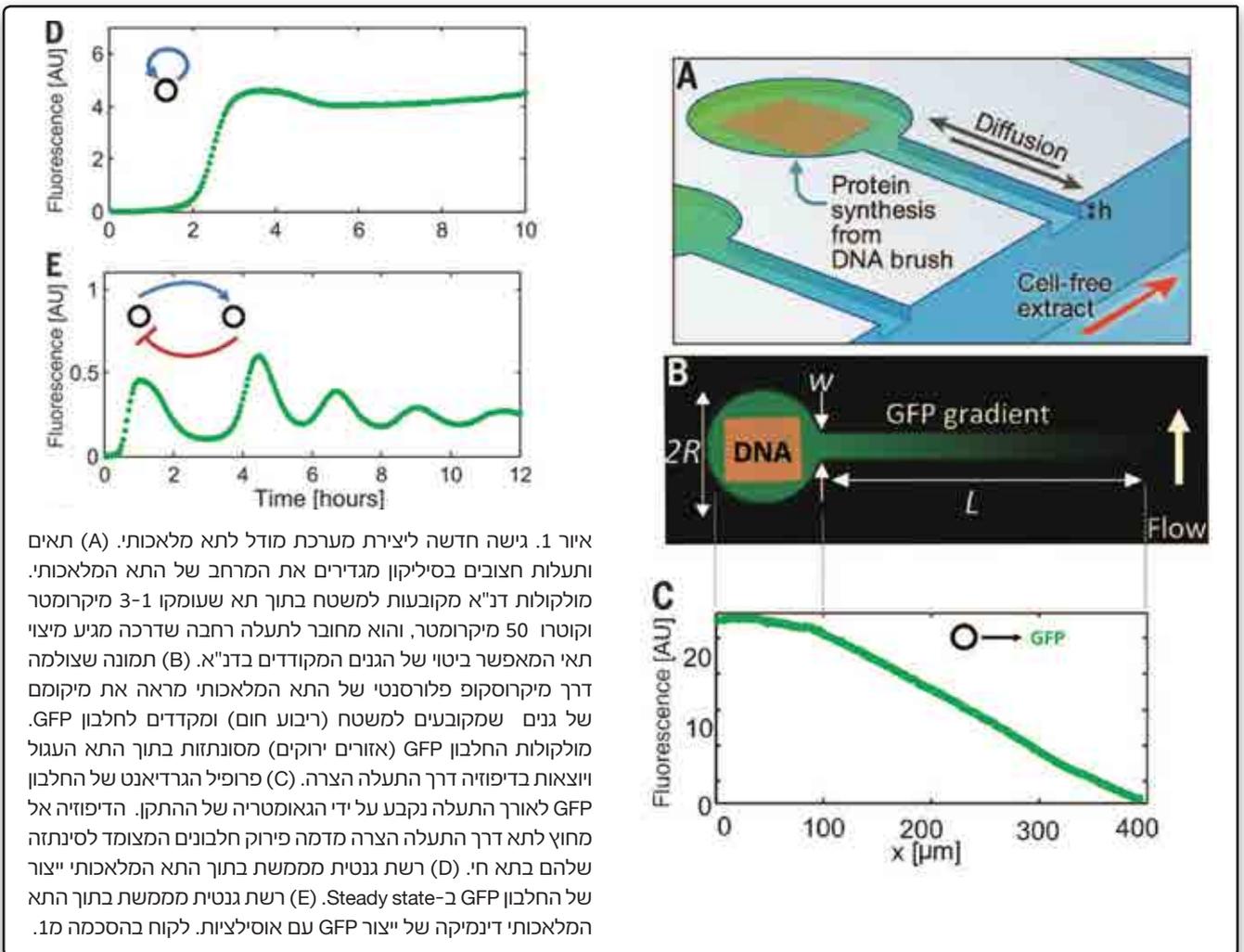
במעבדתו של פרופסור רועי בר-זיו במכון ויצמן מפתחים מערכות היברידיות המחברות בין מולקולות ביולוגיות, דנ"א וחלבונים, לבין משטחים אנאורגניים, כדוגמת סיליקון וזכוכית, בצורה המאפשרת פעילות של המולקולות הביולוגיות מחוץ לסביבתן הטבעית (איור 1)¹. זוהי גישה אחת מני רבות ליצירה של תאים סינתטיים מלאכותיים^{**}.

מדוע לייצור תאים מלאכותיים?

הרצון לייצר מערכות תאיות מלאכותיות, על צורתיהן השונות, כבר קיים בקהיליה המדעית שנים רבות^{2,3}. בהיבט המחקרי הטהור הרצון להבין כיצד הטבע בנוי ומתפקד, מוביל לגישה שלפיה היכולת לפרק מערכת כלשהי לגורמים ואחר כך להרכיבה מחדש, מעידה על הבנה מלאה של המערכת (רעיון השאול מדבריו של הפיזיקאי זוכה פרס נובל ריצ'רד פיינמן). מעשה ההרכבה עצמו גם הוא מוביל להבנה עמוקה יותר של התהליכים, ודרכו ניתן להבין כיצד חוסר של גורם מסוים משפיע על כלל המערכת, מהי הדרך הנכונה להוספתו וכו'. כלומר, תא מלאכותי יכול לשמש כמערכת

* ד"ר שירלי שולמן דאובה - עמיתת מחקר בקבוצתו של פרופ' רועי בר-זיו במחלקה לחומרים ופני שטח במכון ויצמן.

** המילים מלאכותי וסינתטי מרתיעות אנשים רבים. ההגדרה הפורמלית של המילה מלאכותי היא "נוצר בידי האדם", אך ברוב המקרים מתלווה גם הגדרה פרשנית אסוציאטיבית של "מזויף, מעובד, לא טבעי". את המילה "סינתטי" אין צורך להסביר לכימאים שהרי היא מהות הכימיה: יצירה של חומר שאינו קיים בטבע על ידי תגובות כימיות. מהצימוד בין שתי המילים משתמעת המשמעות של חומר מלאכותי בהקשרו כאן: חומר שכל פרט בו ידוע ומובן, שכן הוא תוכנן ועבר אנליזה בקפידה, והוא אינו מכיל חומרים נלווים שהשפעתם אינה ידועה, כמו שניתן למצוא לעתים בחומרים "טבעיים".

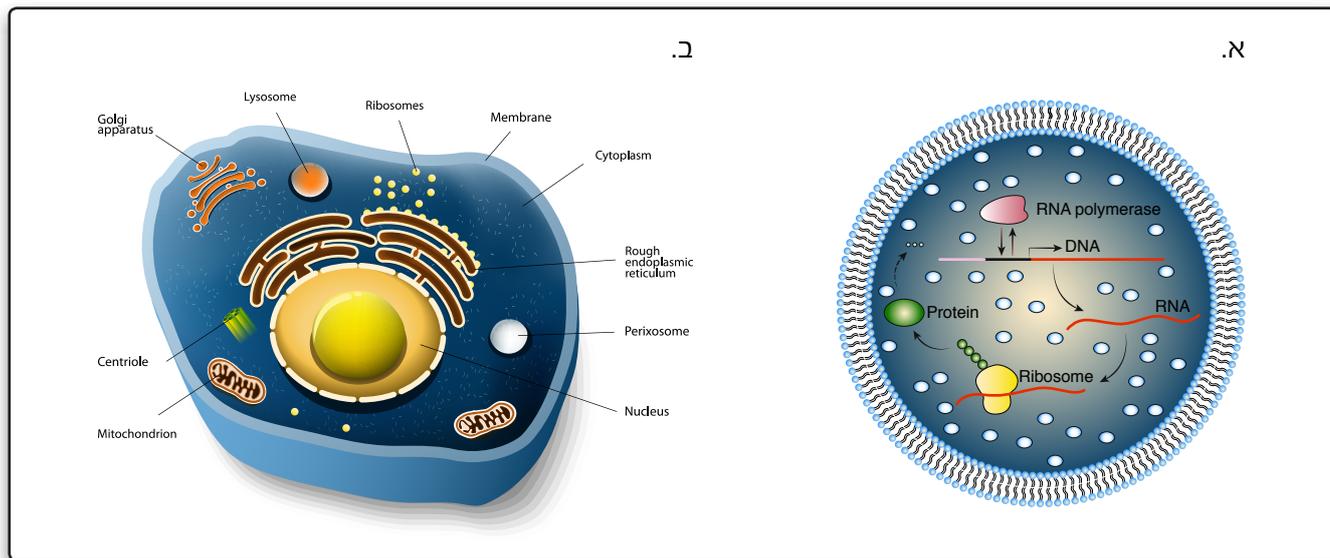


איור 1. גישה חדשה ליצירת מערכת מודל לתא מלאכותי. (A) תאים ותעלות חצובים בסיליקון מגדירים את המרחב של התא המלאכותי. מולקולות דנ"א מקובעות למשטח בתוך תא שעומקו 1-3 מיקרומטר וקוטרו 50 מיקרומטר, והוא מחובר לתעלה רחבה שדרכה מגיע מיצוי תאי המאפשר ביטוי של הגנים המקודדים בדנ"א. (B) תמונה שצולמה דרך מיקרוסקופ פלורסנטי של התא המלאכותי מראה את מיקומם של גנים שמקובעים למשטח (ריבוע חום) ומקודדים לחלבון GFP. מולקולות החלבון GFP (אזורים ירוקים) מסונזות בתוך התא העגול ויוצאות בדיפוזיה דרך התעלה הצרה. (C) פרופיל הגרדיאנט של החלבון GFP לאורך התעלה נקבע על ידי הגאומטריה של ההתקן. הדיפוזיה אל מחוץ לתא דרך התעלה הצרה מדמה פירוק חלבונים המצומד לסינתזה שלהם בתא חי. (D) רשת גנטית מממשת בתוך התא המלאכותי ייצור של החלבון GFP ב-Steady state. (E) רשת גנטית מממשת בתוך התא המלאכותי דינמיקה של ייצור GFP עם אוסילציות. לקוח בהסכמה מ-1.

הגישה הסינתטית שלפיה תא מלאכותי יהיה מורכב אך ורק מאבני בניין בסיסיות^{2,3}. במרכז גישה זו נמצאת מעטפת כלשהי שמגדירה את התא וגבולותיו (איור 2 א'). המעטפת - ליפידית בדרך כלל כמו בתאים אמיתיים - כולאת בתוכה פולימרים גדולים כדנ"א וחלבונים, אך צריכה להיות חדירה למולקולות קטנות כדי לתקשר עם הסביבה. אחת מאבני הדרך בגישה זו הושגה בשנת 2004 כאשר הצליחו חוקרים מאוניברסיטת רוקפלר לכלוא בתוך ליפוזומים סינתטיים מיצוי תאי המכיל אנזימים המאפשרים ביטוי גנים בתהליך שיוסבר בהמשך⁷. ליפוזומים הם מבניים כדוריים שנבנים על ידי התארגנות ספונטנית של מולקולות פוספוליפידיות בצורה קולקטיבית שמוכתבת על ידי המבנה של המולקולה

גישות שונות בייצור תאים מלאכותיים

אחד ההישגים המדהימים בדרך ליצירה של תא מינימלי סינתטי הושג בשנת 2010 על ידי קרייג ונטר שבעזרת צוות גדול הצליח להחליף את הכרומוזום של תא חיידק בכרומוזום שכולו מורכב מדנ"א סינתטי⁶. בנוסף למאמציהם המצטברים של חברי צוות המחקר למפות את אוסף הגנים המינימלי ההכרחי לקיום תא חי, יהיה אפשר כנראה בעתיד הקרוב לייצר תא עם גנום סינתטי ומינימלי. ניתן לטעון שגישה זו אינה סינתטית לגמרי שכן היא מותנית בקיומו של תא חי שאליו מכניסים את הגנום הסינתטי, תא שאת אופן פעולתו אין אנחנו מבינים. כלומר, חזרנו לנקודת ההתחלה שבה חלק מהמידע שקיים בתא אינו מוגדר. מנגד קיימת



איור 2. תא מינימאלי מלאכותי. אחת הגישות ליצירה של תאים מלאכותיים מציעה שימוש בליפוזומים בעלי קרום דו-שכבתי של ליפידים (א) המדמים בצורה איכותית תא חי (ב). בתוך הליפוזום מצויות מולקולות דנ"א וחלבונים שונים היכולים לתפקד בתוכו אך לא לצאת ממנו. המולקולות בתוך הליפוזומים מפוזרות בצורה הומוגנית בשונה מתא חי שבו קיימת הטרוגניות (ב). תא חי מכיל אברונים ואזורים המגדירים פונקציות תאיות שונות, לעתים גם ללא קרום מפריד ומוגדר.

גנים ושל החלבונים וכדוגמת המיקום היחסי והמוגדר היטב של חלק מהמרכיבים בתא, אם לא של כולם (איור 2 ב'). ולבסוף, בכל השיטות שצוינו האינטראקציה עם המערכת המלאכותית מסתיימת עם סיום בנייתה. התכנות הראשוני קורה בעת בניית המערכת ובקידוד שבדנ"א, אך לחוקרים אין דרך ישירה להשפיע על פעילותם של הגנים אלא רק על ידי הוספה של מולקולות קטנות.

גישה חלופית לתא מלאכותי

המערכת שפותחה במעבדתו של פרופ' רועי בר-זיו במכון ויצמן מנסה לתת מענה לחלק מהחסרים שבגישות החלופיות^{10,9,8,1}. בשיטה זו המולקולות הביולוגיות אינן מוכנסות למבנה כדורי אלא מקובעות על משטח סיליקון דו-קמדי (איור 1). במשטח חצובים "תאים" בממדים הדומים לתא חי, בעומק של מיקרונים בודדים ובקוטר של כמה עשרות מיקרונים. תעלה צרה מאפשרת הגעה של מיצוי תאי שמזרם דרך תעלת הזנה רחבה. בתוך התא מקובע דנ"א בצורת ריבוע, כלומר, המולקולות אינן מפוזרות על המשטח בצורה אקראית אלא מקובעות למשטח במקומות

הבודדת. בנוסף למיצוי התאי הוכנס לליפוזומים גם גן המקדד לחלבון אלפא המוליזין. זהו חלבון ממברנלי שבונה באופן עצמוני תעלה בתוך הממברנה לכניסה וליציאה של חומרים מן התא. החוקרים הראו שהגן לחלבון הממברנלי בוטא - כלומר, סונתז - בתוך הליפוזומים ועבר אינטגרציה לקרום הליפיד. בכך בעצם הושלם תהליך של יצירת מערכת מינימלית שחלק משלביה מתרחשים בצורה עצמונית, כמו הבנייה של הליפוזומים עצמם וסינתזה של חלבונים וכניסתם לממברנה כך שתתאפשר תקשורת עם הסביבה. אך תא כזה אינו מסוגל עדיין להשתכפל ולהתחלק או להכיל בתוכו מספר גדול של גנים שיוכלו לקדד מגוון רחב של חלבונים.

המשותף לשתי הגישות הללו הוא היצמדות למודל התא הביולוגי כפי שהוא מוכר לנו היום: גוף בעל גאומטריה כדורית המופרד מהסביבה על ידי קרום או מעטפת כלשהי. לחוקר אין שליטה וידע על המיקום של המולקולות הביולוגיות שהוכנסו אליו. בנוסף חלק ממערכות המודל הללו אינן מצליחות לשחזר פרמטרים חשובים בתא חי כדוגמת הצפיפות הגבוהה של

המושגת על מולקולה אחת המשרתת שלוש מטרות (איור 3): קבוצת קצה המאפשרת קישור לזכוכית; גוף המולקולה המורכב מפולימר בעל 77 יחידות של אתילן גליקול. שרשרת פולימריות אלו יוצרות סביבה כימית המזכירה את תוך התא ומונעות ספיחה לא ספציפית של המולקולות הביולוגיות למשטח הזכוכית באופן שיאפשר את פעילותן; קבוצת הראש של הפולימר הנה קבוצת הגנה המחוברת לקבוצת אמין בקשר רגיש לאור אולטרא סגול. קשר זה נשבר כתוצאה מההארה, והאמין שמתגלה הוא פעיל כימית, וכך שניתן לחבר אליו קבוצות כימיות שונות⁹.

כאשר מאירים את המשטח דרך מסכה החוסמת חלק מהאור, נחשפים האמינים על פני השטח רק במקומות שבהם פגע האור (איור 4). וכך לאחר הוספה של מולקולות דנ"א או חלבונים, הם נקשרים למשטח ליצירת "תמונה" הדומה לזו שהייתה במסכה. תהליך זה דומה לפוטוליטוגרפיה כימית המשמשת ליצירת שבבים בחצאי מוליכים, אך כאן התהליך מותאם לעבודה עם מולקולות ביולוגיות.

ביטוי גנים על שבב

אחת הפונקציות החשובות והמשמעותיות בכל תא חי היא ביטוי גנים. גנים הם מקטעים בגנום שמקודדים את הרצף של החומצות האמיניות של כל חלבון וחלבון בתא. לכל חלבון יש אם כן גן המקודד את רצפו אך ישנם מקטעי דנ"א רבים שאינם מקודדים לחלבון כלשהו. ההחלטה איזה רצף בדנ"א יבוטא נעשית על ידי אוסף של אנזימים שמשוגלים "לקרוא" את רצף הדנ"א ולתרגם לחלבון רק את המקטעים המיועדים לכך. תהליך ביטוי הגנים הוא מבוקר ביותר ומערב שאלות כגון איזה גן יעבור ביטוי ומתי, איזה גן יהיה כבוי, מה הכמות היחסית שיש לתרגם מכל חלבון וחלבון בהתאם לצורכי התא.

כשלב ראשון בדרך ליצירת תא מלאכותי היה צורך ליצור תנאים המאפשרים ביטוי גנים על משטחי הזכוכית המצופים, ולשם כך קובעו מולקולות דנ"א ארוכות בתהליך שתואר לעיל. מולקולות הדנ"א הן פולימרים ארוכים, ולכן הן חוברות למשטח דרך אחד מקצות הפולימר ליצירת חד-שכבה דמוית מברשת (איור 5). ניתן לשלוט לא רק על המיקום של

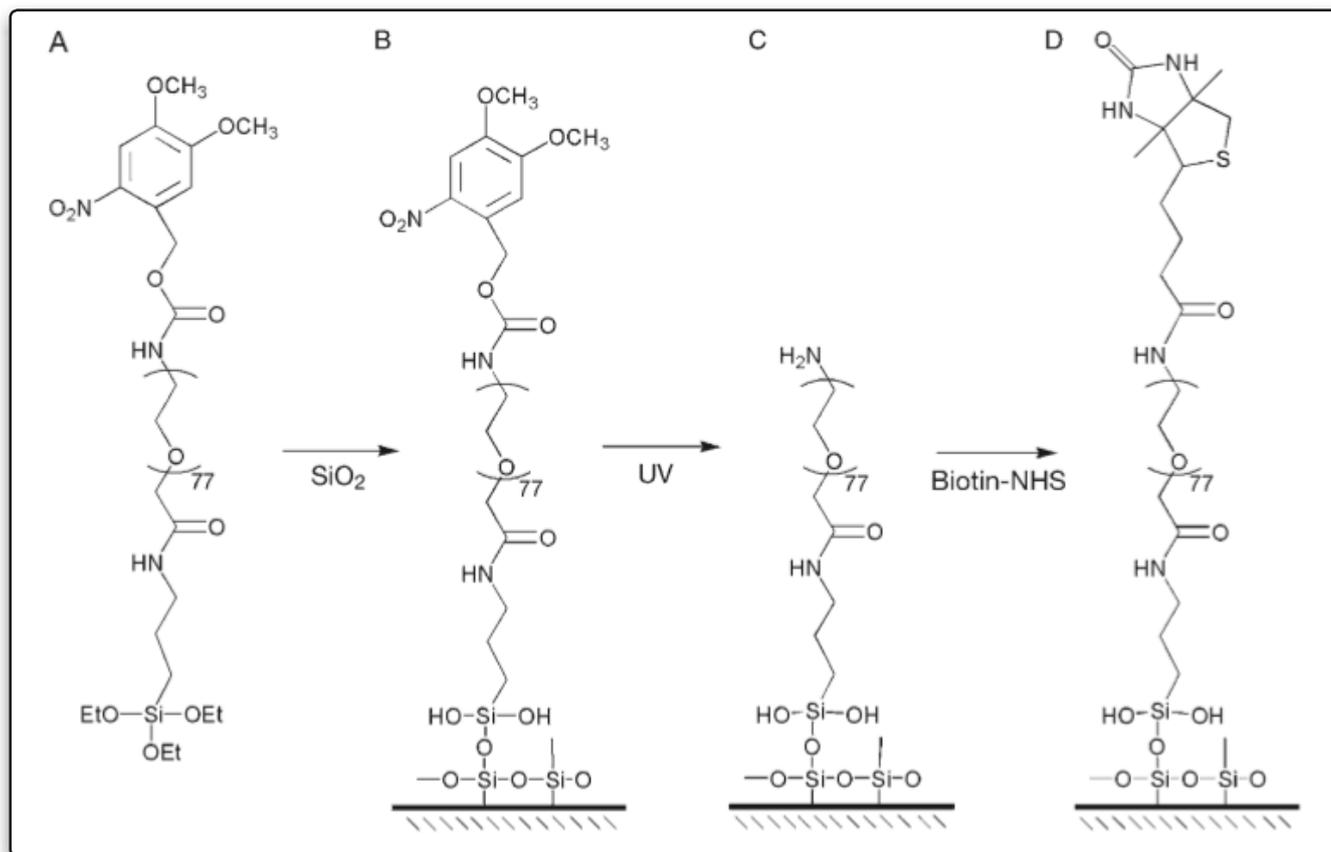
שהוגדרו מראש על ידי אקטיבציה של המשטח באור, כפי שיוסבר בהמשך. כשם שהמולקולות בתא מאורגנות במבנים ובתתי-מבנים (כפי שניתן לראות באיור 2 ב'), וכשם שלארגון זה יש השפעה מכרעת על תפקודן, כך גם מתארגנות המולקולות על שבב הסיליקון במקומות מוגדרים מראש. אך המיוחד במולקולות ביולוגיות הוא יכולת הבנייה העצמונית שלהן. כלומר, אקטיבציית המשטח באור היא השלב היחיד המוכתב על ידי הגורם החיצוני; יתרת הבנייה מוכתבת על ידי התכונות הכימיות והפיזיקליות של המולקולות.

הבדל נוסף בגישה זו של שבב היברידי דו-ממדי לעומת מבנה כדורי הבנוי מחומר רך, הוא היכולת להשפיע על תהליכים לאורך זמן כשהמערכת כבר פועלת, למשל, על ידי אותות חשמליים שיכולים לעבור דרך המשטח שאליו מחוברות המולקולות. השפעה כזו מדמה, למשל, את פעילותה של מערכת העצבים השולטת בתאים רבים באורגניזמים מפותחים.

לכסוף, במערכת זו ניתן מענה לבעיה משמעותית הקיימת בשחזור מערכות ביולוגיות: תא חי שומר על ריכוזים קבועים של חלבונים על ידי סינתזה ופירוק מבוקרים. הקצב היחסי בין הסינתזה לבין הפירוק של חלבון כלשהו יקבע את ריכוזו. תהליך זה מאפשר לקיים מגננונים המבוססים על משוב מולקולרי, ובהם המנגנון שעל פיו ריכוז של חלבון אחד קובע אם ייצור של חלבון אחר או שלו עצמו יהיה מושתק או מוגבר, הכול בהתאם לצורכי התא. ללא קיומו של תהליך פירוק יצטברו חלבונים בתוך התא, ולריכוזם הגבוה לא תהיה משמעות. שחזור מלאכותי של פירוק חלבונים על ידי תגובות ביוכימיות התגלה כמשימה קשה, והמערכת שפותחה על ידי קבוצתו של פרופ' בר זו נותנת לכך מענה פיזיקלי: במקום פירוק ביוכימי, החלבונים עוברים פינולי מתוך התא. כך הצליחה הקבוצה להדגים רשתות גנטיות שמתקיימות בתוך ההתקנים שלא ניתן היה לשחזרן לו הגיע ריכוז החלבון לרוויה בתוך התא המלאכותי (איור 1, D, E)¹.

הרכבת תא מלאכותי והכימיה של הכתיבה על המשטח

לאחר חציבת התאים והתעלות בתוך משטח הסיליקון בשיטות איכול כימיות יבשות, המשטח מצופה בציפוי מיוחד

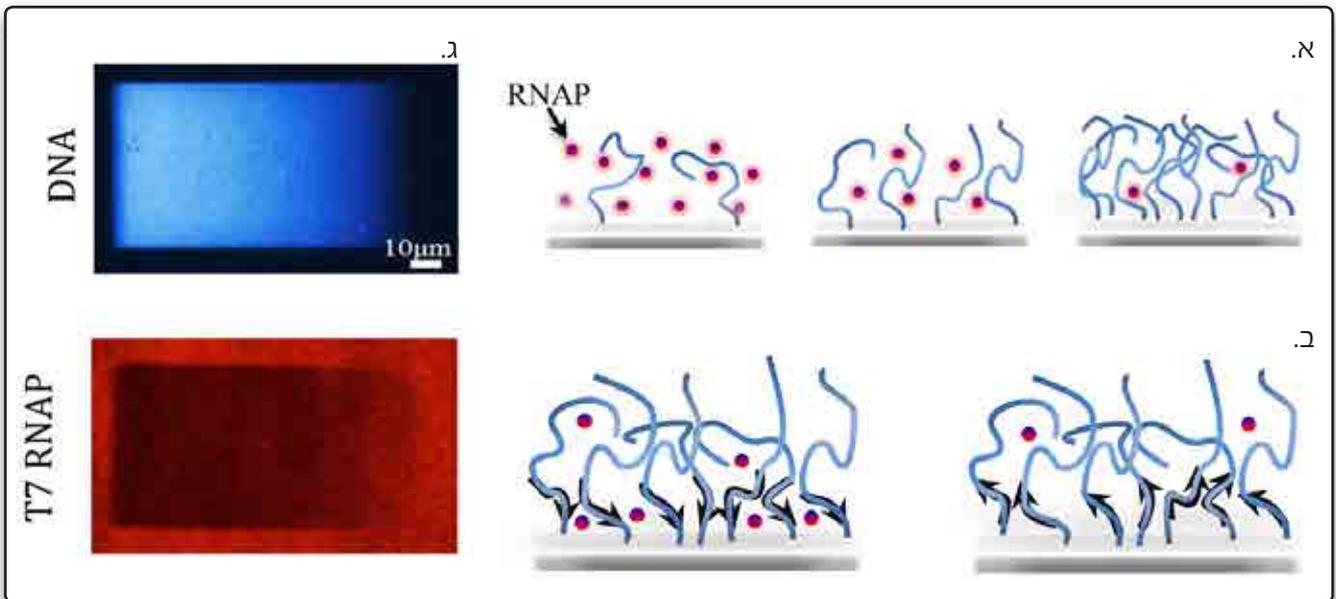
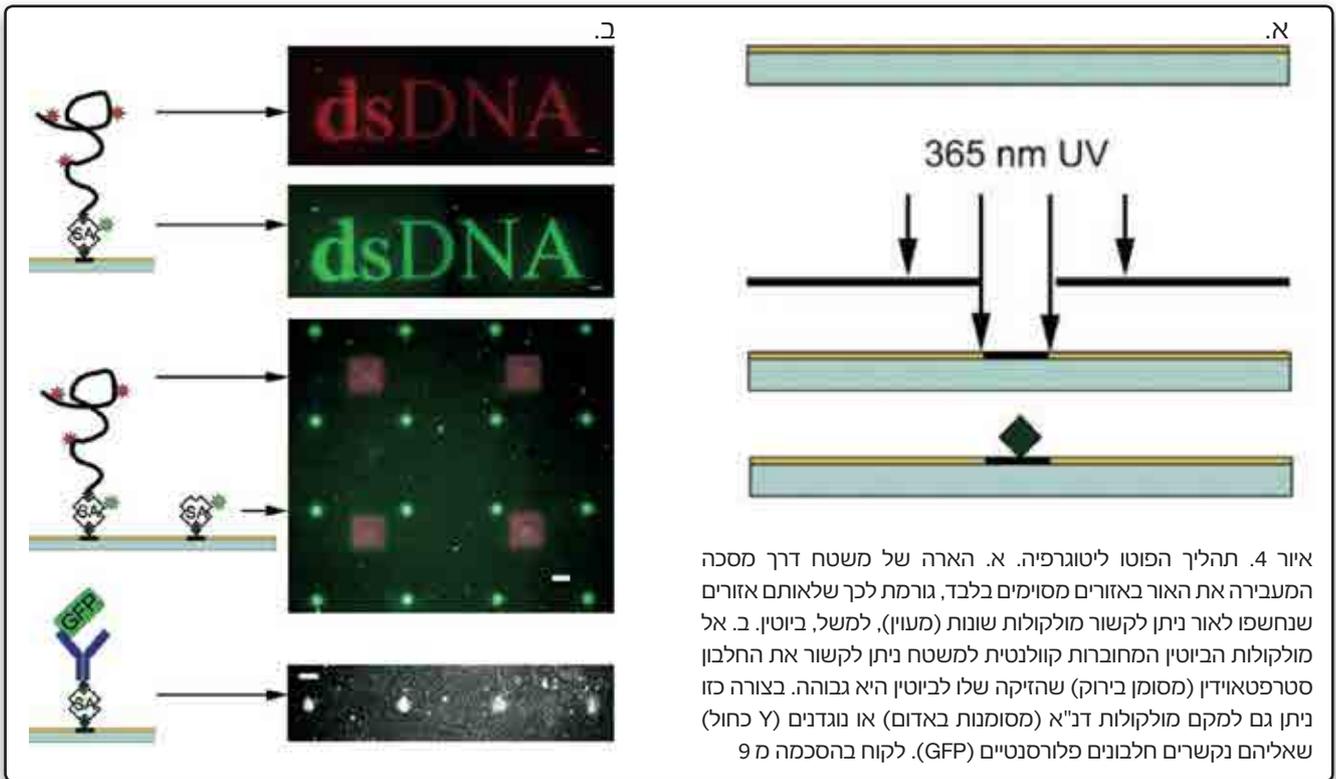


איור 3. תהליך הציפוי של משטחי זכוכית. מולקולת המוצא (איור בצד שמאל) Nw-Nvoc-amine-Na-[3-(triethoxysilyl)propyl]-carboxamide-PEG שלושה חלקים פונקציונליים: קבוצת סילאן הנקשרת למשטח זכוכית, קבוצת הגנה [Nvoc = 6-nitroveratrylmethyloxycarbonyl] המתשחררת לאחר הארה באור אולטרה סגול וגוף המולקולה, העשוי מפולימר של אצילן גליקול, שיוצר שכבת הגנה על משטח הזכוכית והופך אותו למתאים לעבודה עם מולקולות ביולוגיות. לאחר שחרור קבוצת ההגנה נחשף אמין ראשוני, ואילו ניתן לחבר בקשר קוולנטי מולקולות שונות, למשל ביוטין (איור בצד ימין). לקוח בהסכמה מ 9.

בעת בניית שכבת הדנ"א: בשכבות דנ"א צפופות הייתה כמות החלבון שסונתזה מכל גן נמוכה מהכמות שסונתזה ממולקולות דנ"א שצפיפותן נמוכה. בנוסף כאשר הגנים היו מכוונים אל המשטח, הייתה יעילות סינתזת החלבון גבוהה יותר מזו של הגנים שהיו מכוונים החוצה (איור 5 ב'). מחקר מעמיק מצא שהגורם המשפיע על רמת ביטוי הגנים משכבות הדנ"א הוא אחד האנזימים המשתתפים בתהליך (רנ"א פולימריז) שמסנתז גדיל רנ"א כשלב ראשון בביטוי הגנים. נמצא שחדירות האנזים לשכבת הדנ"א מושפעת מהצפיפות ומהכיוונית של הדנ"א (איור 5 ג'). תוצאה זו מדגימה את העובדה ששכבות הדנ"א יכולות לשמש כמערכת מודל לביטוי גנים בסביבה הדומה לזו שבתא שבה הדנ"א מאורגן ומסודר בצפיפות גבוהה. כאשר ניסויים

מברשות הדנ"א על המשטח אלא גם על צפיפות המולקולות ליחידת שטח (איור 5 א'). פרמטר נוסף שניתן לשלוט בו הוא הכיוונית של הפולימר ביחס למשטח: מכיוון שהדנ"א הוא סנתטי, ניתן לסנתזו עם קבוצת קישור למשטח בכל אחד מהקצוות בצורה סלקטיבית (איור 5 ב').

כדי לבדוק אם הגנים הסינתטיים הללו המחברים למשטח זכוכית בסביבה חוץ תאית יכולים להיות פעילים ולעבור ביטוי לחלבון, הונחה מעליהם טיפה של מיצוי תאי המכיל את כל האנזימים הדרושים לביטוי גנים. לאחר הדגרה עם המיצוי התאי נמדדה כמות החלבון שסונתזה מכל שכבת דנ"א, ונמצא שאכן סונתז חלבון. בנוסף נמצא שכמות החלבון המסונתזת הייתה תלויה בפרמטרים המרחביים שהוגדרו



9. קיבוע דנ"א למשטחי סיליקון לקבלת שכבות חד-מולקולריות עם גאומטריה נשלטת. (א) מולקולות דנ"א (גדילים כחולים) מקובעות למשטח דרך אחד מקצותיהן בשלוש צפיפויות שונות. מולקולות האנזים רנ"א פולימראז (עיגולים אדומים) מרוכזות בתוך שכבת הדנ"א ביחס הפוך לצפיפות הדנ"א. (ב) הכיוניות של מולקולות הדנ"א (חצים שחורים המסמנים את כיוון הגנים) נקבעת לפי הקצה שאותו מקבעים למשטח. (ג) צילום במיקרוסקופ פלורסנטי של מולקולות דנ"א המקובעות למשטח בגרדיאנט צפיפויות רציף (מלבן עליון כחול). גרדיאנט הדנ"א מכתיב את צפיפות רנ"א פולימראז (מלבן תחתון אדום) על ידי הגבלת חדירות האנזים לאזורים בצפיפות גבוהה. לקוח בהסכמה מ 8.

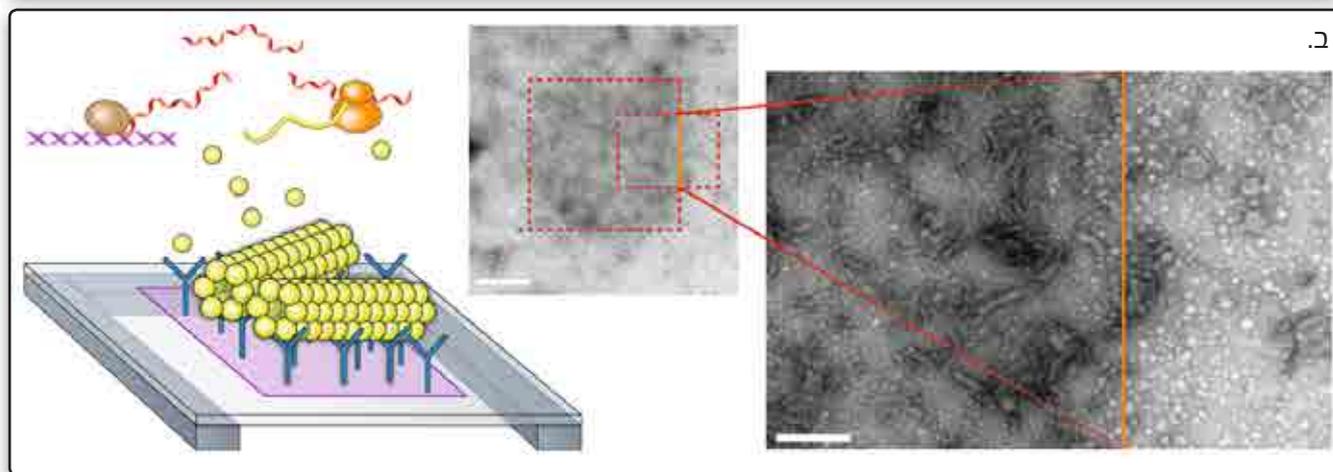
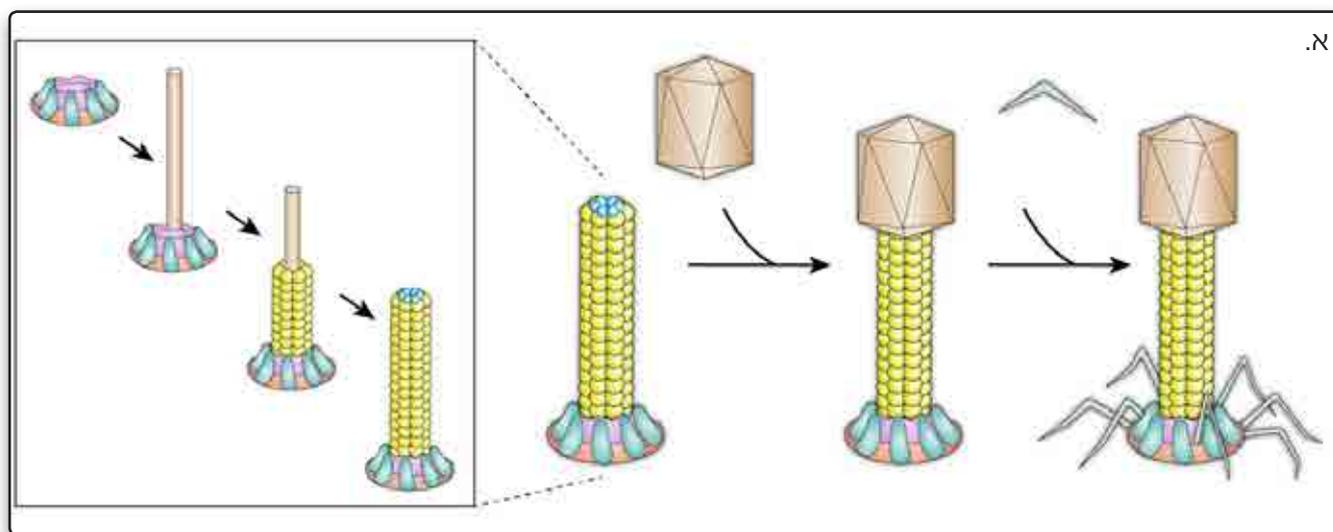


הדנ"א על השבב. המלכודות נבנו ממולקולות נוגדנים בעלי זיקה וספציפיות גבוהים לחלבון אחד מסוים. בניסוי אחד הוטבעו על השבב פסי דנ"א המקדד לחלבון GFP, חלבון הפולט אור ירוק, ולצד פסי הדנ"א הוטבעו פסי נוגדנים הספציפיים לחלבון זה. לאחר הדגרה עם מיצוי תאי התקבלו פסים זורחים בירוק במקום שבו הוטבעו הנוגדנים. ניסוי זה הראה שלא רק שחלבון ה-GFP סונתז על גבי השבב אלא שהוא גם התקפל למבנה המתאים שאפשר לו לבלוע ולפלוט

כאלה נעשים במבחנה, אין דרך לבדוק את השפעתם של פרמטרים מרחביים כפי שניתן על השבבים.

גנים ומלכודות לחלבונים

האם החלבונים המסונתזים על השבב הם במבנה ובפעילות הדומים לאלה שבתוך תא חי? כדי להיות מסוגלים לענות על שאלה זה הוכנו שבבים שעליהם קובעו לא רק מולקולות הדנ"א אלא גם מלכודות לחלבונים המסונתזים משכבות



איור 6. ביטוי חלבוני מבנה על שבב מאפשר את קיפולם הטבעי והתארגנותם העצמונית לקבלת מערכים מבניים.

(א) סכמה של הבקטריופאג' T4, וירוס המדביק תאים חיידקיים, בעל מבנה הנדסי שמתקבל מבנייה עצמונית ממספר רב של חלבונים בתהליך בנייה מסודר ומאורגן בסדר קבוע מראש. זנב הווירוס מורכב בעיקר מחלבון (עיגולים צהובים) המתארגן בצורה של ננו-צינורות. (ב) ביטוי החלבון המרכיב את זנב הווירוס על גבי השבב מאפשר את הרכבתם של ננו-צינורות ותפיסתם על ידי נוגדנים המקובעים למשטח. כפי שניתן לראות בתמונות שהתקבלו במקרוסקופ אלקטרוני, האזורים שהנוגדנים קובעו אליהם (ריבוע תחום בקו מקווקו אדום) מועשרים בנו-צינורות לעומת אזורים שבהם אין נוגדנים. לקוח בהסכמה מ-10

זו על הרכבה של מערכי חלבונים מורכבים יותר. כך למשל, אולי נוכל להרכיב את כל הווירוס ולשלוט בבנייתו ליצירה של מבנים חדשים שאינם קיימים בטבע אך יכולים לשרת מטרה רפואית כלשהי¹¹.

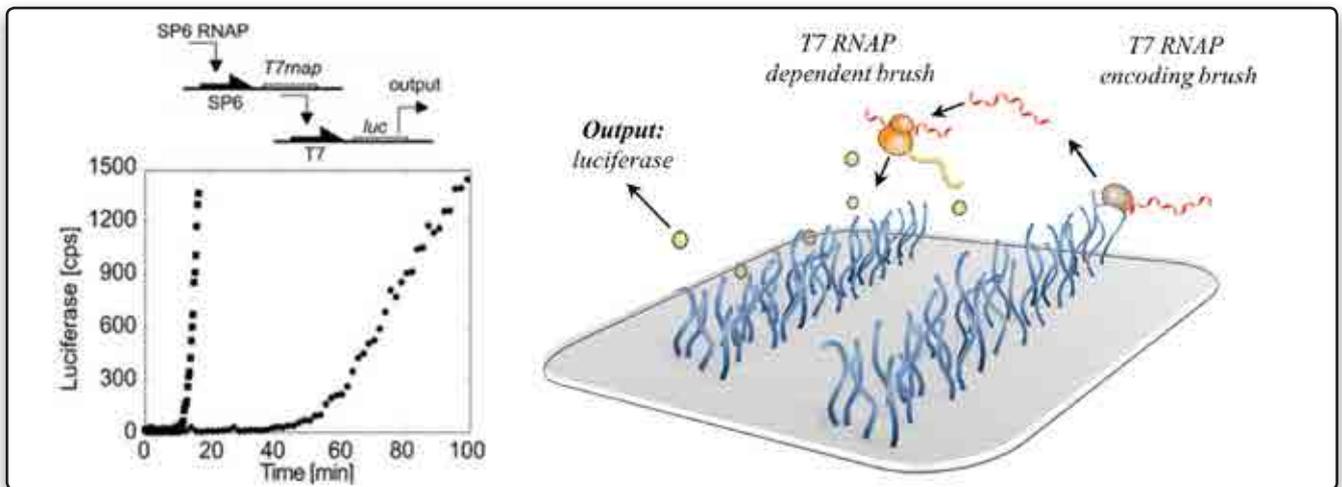
מימוש רשתות גנטיות על שבב

כל תא חי, אפילו תא קטן של חיידק, מכיל מאות ואלפי גנים המקדדים לאלפי חלבונים שונים. חלק מהחלבונים הנם מבניים, ולאחרים פעילויות אנזימטיות רבות ומגוונות שצריכות להיות מתואמות זו עם זו ליצירה של רשת ענפה של תגובות כימיות. כדי שהשבב יוכל בעתיד לשמש כמערכת מודל לתא, היה צורך להראות שאפשר לממש על גבי השבב רשתות כאלה.

כדי להדגים זאת הוטבעו על השבב שני פסי דנ"א: האחד קידד לחלבון לוספרז, אנזים המזרז תגובה כימית שבמהלכה נפלט אור. בפס האחר קודד האנזים רנ"א פולימזר שבלעדיו לא יתרחש הביטוי של הגן ללוסיפרז (איור 7). לאחר הוספה של מיצוי תאי לשבב נמדדה פליטת אור שהראתה שאכן סונתז לוספרז פעיל. כלומר, מפס דנ"א אחד בוטא האנזים רנ"א פולימזר שעבר בדיפוזיה ונקשר לדנ"א בפס האחר ואפשר את ביטוי של לוספרז⁹. ניתן היה לממש רשתות מורכבות יותר בעלות דינמיקה מורכבת יותר של ביטוי

אור באורכי הגל המתאימים ולהיות מזוהה על ידי הנוגדנים¹⁰.

חלבונים תאיים מצויים ברוב המקרים כחלק ממערך חלבוני גדול שמתפקד כמכונה המיועדת לבצע פעולה מסוימת. לקומפלקסים כאלה יכולה להיות פעילות אנזימטית, למשל, הריבזום הוא קומפלקס גדול המורכב מהרבה חלבונים וממולקולות רנ"א שמבצעים ביחד סינתזה של כל החלבונים בתא. ישנם קומפלקסים מבניים, וירוסים למשל (איור 6 א'), הבנויים מהרבה מולקולות חלבון המתלכדות למבנה יציב שנראה כאילו תוכנן והורכב על ידי מהנדס¹¹. זוהי דוגמה להרכבה והתארגנות עצמונית שמאפיינת מולקולות ביולוגיות. כדי להדגים שהרכבה כזו אכן יכולה להתקיים על השבב כך שניתן לחקור אותה מצד אחד, אך גם להשתמש בה להרכבה של מבנים בסקלה ננומטרית מצד שני, היה צורך להתאים את השבב להדמיה במיקרוסקופ אלקטרוני. במקרה הזה הוטבעו על גבי השבב נוגדנים ספציפיים לאחד מחלבוני המבנה המרכיבים את זנב הווירוס. לאחר הוספה של מיצוי תאי, שטיפת השבב והדמייתו במיקרוסקופ האלקטרוני, נראו ננו-צינורות חלבוניים המאפיינים את הפלמור של חלבון זה. נראה שכמות הננו-צינורות הייתה גדולה בהרבה באזורים שבהם הוטבעו נוגדנים לעומת אזורים ללא נוגדנים (איור 6 ב')¹⁰. בעתיד ניתן יהיה ללמוד בשיטה



איור 7. רשת גנטית פשוטה על שבב. שני פסי דנ"א מוטבעים על שבב זה בצד זה. דנ"א אחד מקודד לאנזים לוספרז, אך הגן אינו יכול להיות מבוטא ללא חלבון המקודד בדנ"א האחר. רק לאחר ביטוי של גן זה נוצר החלבון שבדיפוזיה, עובר לפס השני ומביא לביטוי של לוספרז שאת פעילותו ניתן למדוד. פעילות הלוסיפרז נמדדת בתגובת השרשרת רק לאחר כ-50 דקות לעומת כ-10 דקות בתגובה הישירה. לקוח בהסכמה מ-8.



4. Luisi, P.L., Ferri, F., Stanó, P. (2006) Approaches to semi-synthetic minimal cells: a review *Naturwissenschaften* (2006) 93: 1-13 DOI 10.1007/s00114-005-0056-z
5. Weber, W., Fussenegger, M. (2012) Emerging biomedical applications of synthetic biology. *Nature Reviews Genetics* 13, 21-35 doi:10.1038/nrg3094
6. Gibson, D. G., Glass, J. I., et al. (2010) Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science* 329, 52-6.
7. Noireaux V, Libchaber A (2004) A vesicle bioreactor as a step toward an artificial cell assembly. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:17669-17674.
8. Bracha, D., Karzbrun, E., Daube, S. S., Roy H. Bar-Ziv (2014) Emergent Properties of Dense DNA Phases toward Artificial Biosystems on a Surface. *Acc. Chem. Res.* 47, 1912-1921 DOI: 10.1021/ar5001428
9. Buxboim, A., Bar-Dagan, M., Frydman, V., Zbaida, D., Morpurgo, M., Bar-Ziv, R. H. (2007) A single-step photolithographic interface for cell-free gene expression and active biochips. *Small*, 3, 500-10.
10. Heyman, Y., Buxboim, A., Wolf, S. G., Daube, S. S., Bar-Ziv, R. H. (2012) Cell-free gene expression and protein assembly on a functional TEM biochip. *Nature Nanotechnology*, 7, 374 (2012)
11. Daube, S. S., Bar-Ziv R. H. (2013) Protein nanomachines assembly modes: cell-free expression and biochip perspectives. *WIREs Nanomed Nanobiotechnol* 5, 613-628. doi: 10.1002/wnan.1234

חלבונים בהתקנים החצובים בסיליקון (איור 1)¹. בהתקנים אלה החלבון אינו מצטבר אלא מפונה מתוך התא, בדומה לתהליך פירוק כימי, כפי שהוסבר לעיל.

סיכום

ניתן לממש ביטוי של גנים על שבבים בדרך המאפשרת סינתזה של חלבונים פעילים שמסוגלים ליצור מבנים מורכבים בסקלה ננומטרית, לשמר את פעילותם האנזימטית ולממש רשתות גנטיות. פעילויות אלה חיוניות בתפקודו של כל תא, אך הן מהוות רק חלק קטן ממכלול התגובות הביוכימיות המתרחשות בתא. מהן התגובות החסרות כדי ששבב כזה יהפוך לתא חי? האם תא כזה צריך להתחלק וליצור תא חדש נוסף? למה זה? למה לא? האם תא חי? האם נוכל ליצור שבב היודע לחוש את תנאי הסביבה ולהגיב בהתאם כדי לשמר את עצמו? רק מחקר ופיתוח נוספים יוכלו לענות על שאלות כאלה ואולי בכך יאפשרו יום אחד - רחוק ככל שיהיה - את המשך קיומם של חיים בתנאים שעלולים להיות בלתי אפשריים למין האנושי, כפי שאנו מכירים אותו כיום.

האדם, היצור המפותח בטבע, הוא היחיד שניתן ביכולתו ללמוד ולנסות להבין את עקרונות הכימיה, הביולוגיה והפיזיקה המנחים את עולמנו. מהלמידה הזו ומדרך הבנה זו האדם מסוגל כיום לבצע שינויים בקוד הגנטי עצמו, ובכך להביא ליצירה, לאינטגרציה ולסינתזה של חומרים חדשים. זוהי בעצם דרכה של האבולוציה לפתח את עולמנו לכיוונים חדשים.

מקורות

1. Karzbrun, E., Tayar, A., Noireaux, V., Bar-Ziv, R. H. (2014) Programmable on-chip DNA compartments as artificial cells. *Science* 345, 829-832.
2. Luisi, PL (2007) Chemical Aspects of Synthetic Biology. *Chemistry & Biodiversity* 4, 603-621.
3. Noireaux, V., Maeda, Y.T., Libchaber, A. (2011) Development of an artificial cell, from self-organization to computation and self-reproduction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 3473-3480

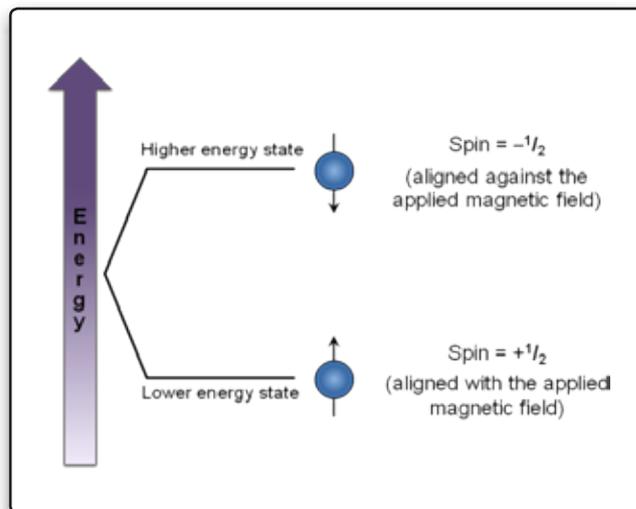
ספינטרוניקה: העתיד כבר כאן

הילה עינתי, נירית קנטור-אוריאל ופרופ' רון נעמן*

שדות מגנטיים חיצוניים משפיעים על ציר הסיבוב של האלקטרון וגורמים לו להסתובב בכיוון מסוים: כאשר האלקטרון לא נמצא תחת השפעה של שדה מגנטי, רמות האנרגיה של הספין מנוונות, כלומר, האנרגיה היא זהה עבור שני ערכי הספין. עם הפעלת שדה מגנטי הסימטריה נשברת, הניוון מוסר, ורמות האנרגיה של מצבי הספין מתפצלות בשל האינטראקציה השונה בין השדה המגנטי ובין המומנט המגנטי של האלקטרון. כתוצאה מהפיצול נוצר הפרש אנרגטי בין הרמות, ואכלוס המצבים ברמות האנרגיה משתנה מאחר שיש העדפה לאיכלוס רמת האנרגיה הנמוכה. רמת אנרגיה גבוהה מתייחסת אל אלקטרונים שכיוון הסיבוב שלהם יוצר שדה מגנטי המתנגד לכיוון השדה המגנטי החיצוני ("ספין מטה").

תחום הספינטרוניקה מקבל בשנים האחרונות תשומת לב רבה בשל הפוטנציאל הטמון בו הן בפיתוח של רכיבים אלקטרוניים מתקדמים והן להבנה של תהליכים ביולוגיים מורכבים. בתחום של אחסון נתונים, ספינטרוניקה כבר הפכה למציאות; אפקט "ההתנגדות המגנטית הענקית" שעל גילויו קיבלו Grünberg ו-Fert פרס נובל ב-2008, משמש בהתקני זיכרון מודרניים. כיום חוקרים רבים עובדים על מערכות שבהן מבנים מגנטיים קטנים משמשים לעיצוב רכיבי ספינטרוניקה מלאים. מחקר אינטנסיבי מתמקד גם ב"ספינטרוניקה אורגנית", כאשר מולקולות אורגניות משמשות כחלק מהרכיב הספינטרוני. העברת אלקטרונים סלקטיבית (רק מעבר של "ספין מעלה" או רק מעבר של "ספין מטה") מזוהה עם חומרים מגנטיים. שימוש בחומרים אלו מהווה אתגר טכנולוגי בשל הקושי לשלב את החומרים במעגלים אלקטרוניים קטנים מאוד ובשל הצורך בהפעלת שדה מגנטי חיצוני.

אלקטרונים משמשים להעברת מידע, לשמירתו ולחישוב. בדרך כלל מנצלים לשם כך את המטען החשמלי של האלקטרונים. אולם לאלקטרונים תכונה נוספת הנקראת ספין והניתנת לתיאור כסיבוב של האלקטרון בדומה לסיבוב. ניתן לחשוב על סיבוב עם כיוון השעון או כנגדו ולתארם כשני מצבי הספין. ספינטרוניקה הנו תחום בננואלקטרוניקה שבו מנסים לבצע את כל הפעולות הנעשות עם מטען האלקטרון וגם עם הספין שלו. הסיבה לכך היא בדרך כלל שכדי למדוד ספין דרושה אנרגיה נמוכה בהרבה מזו הנדרשת למדידת מטען חשמלי. המונח "ספין" (Spin) מגיע ממכניקה קוונטית ומתייחס לתגובה של חלקיק לשדה מגנטי. הספין של האלקטרון הנו בעל ערך של $\pm \frac{1}{2}$. הפיזיקה הקלאסית מגדירה את שני המצבים האלו כ"ספין מעלה" ($+\frac{1}{2}$) ו"ספין מטה" ($-\frac{1}{2}$).



איור 1. פיצול רמות האנרגיה של הספינים בהשפעת שדה מגנטי. ספין הנמצא ברמת אנרגיה נמוכה נקרא "ספין מעלה" ומקבל את הערך $(+\frac{1}{2})$, ואילו ספין בעל אנרגיה גבוהה יותר נקרא "ספין מטה" ומקבל את הערך $(-\frac{1}{2})$.

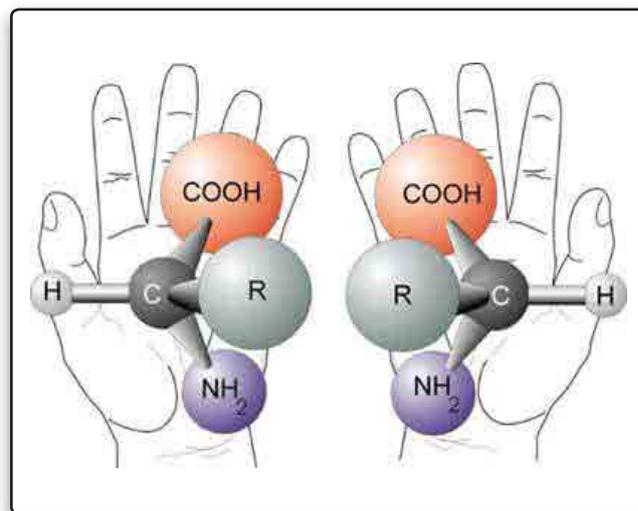
* ד"ר הילה עינתי, נירית קנטור-אוריאל ופרופ' רון נעמן, המחלקה לפיזיקה כימית במכון ויצמן למדע.



בתחום זה התרחשה בשנת 2011 כאשר חוקרים ממכון ויצמן בשיתוף עם קבוצת מחקר במינסטר הראו שמולקולות כיראליות המסודרות על פני משטח יכולות לשמש כסניי ספין בעילות גבוהה מאוד.¹ בעבודה זו אף נקבע המונח סלקטיביות לספין מסוים הנוצרת בעקבות המבנה הכיראלי של המולקולה. אפקט ה-CISS (chiral-induced spin selectivity) effect, כלומר, סלקטיביות לספין חוזה את הפוטנציאל האלקטרוסטטי של המולקולה. לאורך המולקולה הכיראלית. אלקטרון הנע לאורך מולקולה כיראלית חווה את הפוטנציאל האלקטרוסטטי של המולקולה. פוטנציאל זה עוקב אחר המבנה הכיראלי. בעת תנועתו מרגיש האלקטרון שדה מגנטי B^- הפרופורציוני למהירותו. כזכור, מהירות האלקטרון מתארת לא רק את הגודל אלא גם את כיוון התקדמות האלקטרון לאורך המולקולה הכיראלית. איור מס' 3 מתאר את תנועתו של מטען q בעל מצב ספין σ הנע לאורך מולקולה כיראלית. העיגולים הכחולים מתארים את נקודות הפוטנציאל האלקטרוסטטי הכיראלי. ΔZ הנו המרחק לאורך ציר Z בין שתי נקודות פוטנציאל, b הוא המרחק בין שני סיבובים - a -i helical pitch הוא הרדיוס של המולקולה הכיראלית.

כדי להוכיח את תאוריית ה-CISS יש למדוד את מעבר הספין דרך מולקולות כיראליות. ניתן לעשות זאת בעזרת שימוש באור מקוטב מעגלית או בעזרת שדות מגנטיים²⁻⁴. לעתים משתמשים בשילוב של השניים. לאחרונה חקרנו את תכונות העברת הספין של חלבון הבקטריורודופסין, חלבון היושב בתוך ממברנה ומהווה כ-10% ממנה. הבקטריורודופסין מורכב משבעה סלילים בעלי מבנה הליקאלי (helix), שהם כמובן כיראליים. בעת הארת החלבון באור ירוק מתחילה שרשרת תגובות, ובמהלכה משתנה חלוקת המטען ומתרחש מעבר אלקטרוני דרך הבקטריורודופסין. כדי לבחון אם האלקטרוני עוברים עם ספין מסוים, השתמשנו במדידות אלקטרוכימיות בתנאי הארה ובהשפעה של שדה מגנטי הפועל על אלקטרודת ניקל וממגנט אותה. שימוש במגנט משנה את אכלוס המצבים בניקל ומאפשר קבלה או העברה של ספין מסוים. חלקי ממברנה המכילים את הבקטריורודופסין נספחו על ניקל והוכנסו לתא אלקטרוכימי בתמיסה מימית (ראו איור 4). המדידה החשמלית מתבצעת כך שהמתח

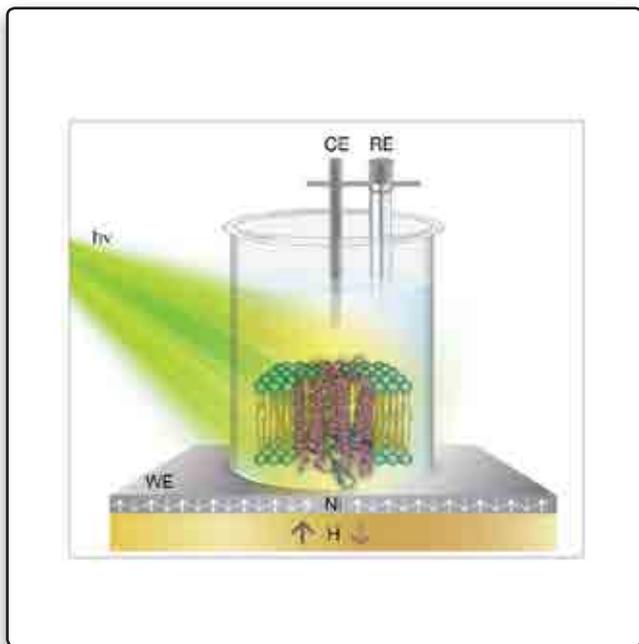
פתרון אפשרי לבעייתיות בשימוש בחומרים מגנטיים הוא השימוש במולקולות אורגניות כיראליות היכולות לשמש כמסנני ספין. מולקולה כיראלית היא מולקולה אשר לא ניתן ליצור חפיפה בינה ובין תמונת הראי שלה באמצעות סיבוב במרחב בשל היעדר סימטריית שיקוף פנימית. שתי מולקולות המהוות תמונת ראי זו של זו, מכונות אננטיומרים. לאננטיומרים תכונות פיזיקליות זהות כגון צפיפות (ראו איור 2), טמפרטורת רתיחה והתכה, וזאת כיוון שהקריטריונים הקובעים את התכונות הפיזיקליות הם זהים (לדוגמה: הקשרים הכימיים, אורכם, מיקומם והזוויות ביניהם). למרות זאת ניתן להבדיל בין שני אננטיומרים באמצעות הפעילות האופטית שלהם. שני אננטיומרים שונים מסיטים את כיוון הקיטוב של האור באותה הזווית בדיוק, אך בכיוון ההפוך. מכיוון שמולקולות ביולוגיות רבות הן כיראליות, ובתהליכים ביולוגיים רבים מעורבות מולקולות כיראליות, מושקע מאמץ רב בהבנה של מעברי המטען והספין דרך מולקולות אלו.



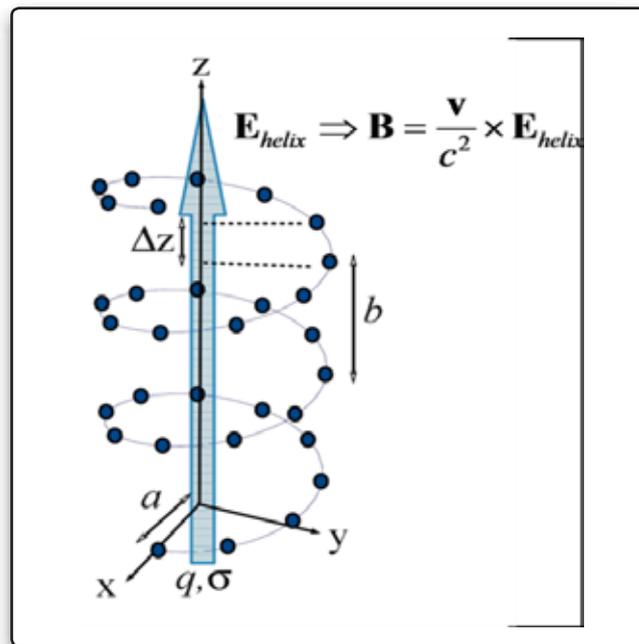
איור 2. שני אננטיומרים של מולקולה כיראלית אשר לא ניתן ליצור חפיפה ביניהן באמצעות סיבוב במרחב.

אפקט ה-CISS

הכיראליות היא דרישה הכרחית ליצירת סלקטיביות של ספין מסוים ללא שדה מגנטי חיצוני. האפקט התגלה כבר ב-1999 על ידי חוקרים במכון ויצמן. אולם פריצת דרך משמעותית



איור 4. תיאור סכמטי של תא אלקטרוכימי המשמש למדידה של מעברי ספין דרך מולקולות בקטריוודופסין.



איור 3. תנועתו של מטען q בעל מצב ספין σ הנע לאורך מולקולה כיראלית. העיגולים הכחולים מתארים את נקודות הפוטנציאל האלקטרוסטטי הכיראלי. Δz הנו המרחק לאורך ציר Z בין שתי נקודות פוטנציאל, b הוא ה- helical pitch a - i הוא הרדיוס של המולקולה הכיראלית.

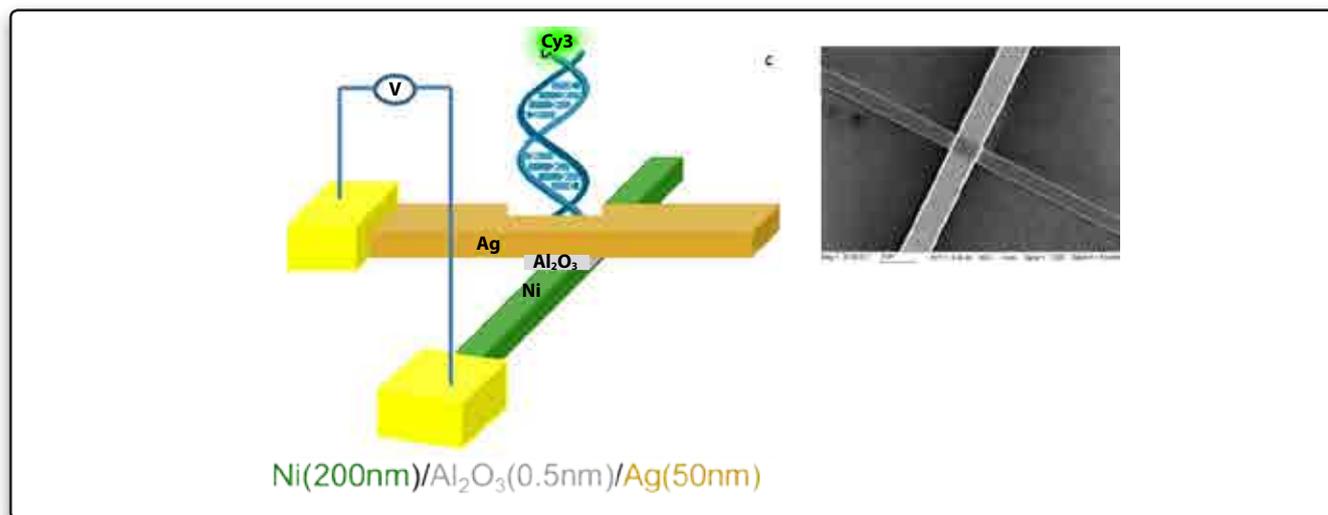
נוספת בעלת צימוד מסלול-ספין נמוך (כסף). על הכסף נספחו מולקולות דנ"א שהן מולקולות כיראליות. על המולקולות הכיראליות נספחו מולקולות צבע (dye) מסוג cy3. כאשר מאירים את מולקולות הצבע באור לייזר, משתחרר אקסיטון (זוג אלקטרון-חור). האלקטרון עובר דרך המולקולות הכיראליות אל הכסף ומשם עובר בתהליך מנהור אל אלקטרודת הניקל. הניסוי התבצע בהשפעה של שדה מגנטי. כלומר, לאחר ההארה, אלקטרון נע מאלקטרודת הכסף דרך הדנ"א אל מולקולת הצבע הנמצאת במצב מעורר. מכיוון שהאלקטרון עובר דרך הדנ"א בעל המבנה הכיראלי, רק ספין אחד עובר ומשאיר אחריו חור בעל ספין מסוים. כעת אלקטרון יעבור מהניקל אל הכסף כדי למלא את מקומו של האלקטרון שעזב, אך הוא יוכל לעבור רק אם ישתחרר מהניקל עם הספין המתאים למילוי החור בכסף. במצב זה ניתן למדוד את המתח הנוצר בין אלקטרודת הניקל לאלקטרודת הכסף.

נסרק והזרם נמדד הלוך וחזור (cyclic voltammetry) בתנאים של חושך והארה ובשני הכיוונים של השדה המגנטי. התוצאות הצפויות מהמדידות האלקטרוכימיות הן שינוי של הזרם המתקבל כתלות בשדה המגנטי וכתלות בהארה. לאחר מדידת הזרם המתקבל בהשפעת השדה המגנטי בכיוונים שונים ניתן לחשב את היכולת של הבקטריוודופסין להעביר ספין מסוים. הסלקטיביות של הספין, S , מתוארת על ידי הנוסחה הבאה:

$$s = \frac{I_+ - I_-}{I_+ + I_-}$$

כאשר I_+ ו- I_- הן הזרמים המתקבלים כאשר הספין נמצא במקביל או לא-במקביל למהירות האלקטרון, בהתאמה.

דוגמה נוספת ניתן למצוא במאמר שפורסם לאחרונה⁵. בעבודה זו פותח התקן המורכב משכבה מגנטית (ניקל), שכבה מבודדת דקה מאוד (אלומינה) ושכבה מתכתית



איור 5. תיאור סכמטי של רכיב אלקטרוני המשמש למדידת מעבר ספין דרך מולקולות דנ"א⁵.

3. Buckley, B. B.; Fuchs, G. D.; Bassett, L. C.; Awschalom, D. D. *Science* 2010, 330, 1212-1215.

4. Kuemmeth, F.; Churchill, H. O. H.; Herring, P. K.; Marcus, C. M. *Mater. Today* 2010, 13, 18-26.

5. Kumar, K. S.; Kantor-Uriel, N.; Mathew, S. P.; Guliamov, R.; Naaman, R. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2013, 15, 18357-18362.

לסיכום, ניתן לראות כי אפקט ה-CISS גילה תכונות חדשות של המולקולות הכיראליות ופתח אפשרויות מדעיות וטכנולוגיות רבות הן להבנה בסיסית של תהליכים פיזיקליים וביולוגיים והן לשילובן של מולקולות אלו בהתקנים אלקטרוניים מתקדמים.

מקורות

1. Göhler, B.; Hamelbeck, V.; Markus, T. Z.; Kettner, M.; Hanne, G. F.; Vager, Z.; Naaman, R.; Zacharias, H. *Science* 2011, 331, 894-897.

2. Berezovsky, J.; Mikkelsen, M. H.; Stoltz, N. G.; Coldren, L. a; Awschalom, D. D. *Science* 2008, 320, 349-352.

גסטרונומיה מולקולרית - מדע חדש ומתפתח

דפנה מנדלר*

עצומה, ולראיה - חיפוש במנוע גוגל יעלה אלפי אזכורים חדשים במהלך השנים האחרונות. שיתוף פעולה זה יצר ענף חדש בתוך מדעי המזון הנקרא גסטרונומיה מולקולרית (שני המושגים האחרונים יוסברו בהמשך).

הנחת היסוד בענף המדעי של הגסטרונומיה מולקולרית היא שיישום טכניקות המבוססות על ידע כימי ופיזיקלי יוצרת מרקמים ושילובי טעמים חדישים. התוצאה היא מהפכה בחוויית האכילה במסעדות כמו גם הנאה והערכה שונה של המזון שאנו אוכלים. מסעדות כמו אל בולי (בספרד, שהפכה לאחרונה למכון מחקר) והברווז השמן (בבריטניה) שאימצו את הגישה המדעית לבישול, הפכו למסעדות בין הטובות בעולם.

מכאן שגסטרונומיה מולקולרית במבט רחב היא תחום מחקר מדעי שביכולתו להסביר מדוע למזונות מסוימים יש טעם בינוני ואילו לאחרים טעם נפלא. המטרה היא להבין מה הם הגורמים המשפיעים על חוות דעתם של הסועדים על איכות המזון שהם אוכלים. חוקרים בתחום הגסטרונומיה

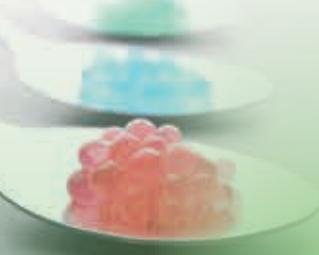
המדע העומד בלבם של הבישול המסורתי ושל מסעדות השף הפך בשנים האחרונות לנושא למחקר מדעי אינטנסיבי. מסעדות ברחבי העולם החלו לאמץ גישה מדעית יותר במטבחים שלהם, ואולי כתוצאה מכך הפכו כמה מהן למסעדות הטובות בעולם.

כותבי ספרי הבישול והשפים של היום, כמו גם אניני טעם רבים, מכירים בחשיבות ההבנה של התהליכים הכימיים המתרחשים בהכנת מזון משובח המוגש במטבח הביתי כמו גם במסעדות הטובות בעולם. בתחום זה של מזון משובח הכימיה זוכה לכבוד גדל והולך, וזאת הודות למחקר, להבנה וליישום של עקרונות הכימיה הבסיסיים ביותר במטבח. יישום זה מאפשר יצירה של מנות חדשות, חדשניות ומפתיעות. פעילות זו החלה בצורה של שיתופי פעולה קטנים ומקומיים בין מדענים ושפים. כיום הכימיה מאפשרת לשפים להרחיב את טווח השיטות הזמינות במטבחים שלהם. בספרות המדעית יש התייחסות מועטה בלבד לשיתוף פעולה זה בין כימאים ובין שפים. לעומת זאת שיתוף פעולה זה מקבל תשומת לב תקשורתית



איור 1. "קאוויאר" מויטמיניציק בטעמים שונים ורביולי מפירות שונים

* ד"ר דפנה מנדלר מרכזת תחום הכימיה, תוכניות מדעיות לכיתות, מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע.



קולואידים, נתמקד במאמר זה בקולואידים ובהשפעה של קולואידים על המזון שאנו אוכלים. ננסה להדגים באמצעות דוגמאות מתאימות כיצד ידע והבנה בכימיה יכולים להיות מיושמים ולהשפיע השפעה מכרעת על המטבח הביתי כמו גם על הבישול במסעדות.

קולואידים ובישול

המושג קולואיד מתייחס למערכת שבה יש חומר אחד שמפוזר בתוך חומר אחר, ולכן המושג קולואיד מתייחס בדרך כלל למערכות קולואידיות. מערכות קולואידיות נבדלות ממערכות מולקולריות בגודל החלקיקים המפוזרים (ראה טבלה 1). ההבדל בגודל החלקיקים קובע את התכונות הפיזיקליות של המערכת.

סיווג של מערכות קולואידיות

כאשר חומר אחד מוסף לחומר אחר, יכולות להיווצר שלושה סוגי תערובות.

1. תמיסה שהיא תערובת הומוגנית. גודל החלקיקים המפוזרים בתערובת קטן מ-1 ננומטר (תמיסה קלסית).
2. תמיסה קולואידית שנראית הומוגנית. גודל החלקיקים המפוזרים בה נע בין 1 ננומטר ל-500 ננומטר.
3. תרחיפים שבהם החלקיקים המפוזרים גדולים מ-500 ננומטר. החלקיקים המפוזרים יכולים להיפרד מהנוזל על ידי שקיעה בנוזל.

המולקולרית מתמודדים עם שאלות כמו מה הם התנאים החשובים באמת לקבלת הטעם האופטימלי? האם יש חשיבות לריכוז מולקולות הנותנות טעם? או עד כמה חשוב הסדר שבו משתחררות מולקולות הטעם? כיצד המרקם של המזון משפיע על הטעם? או מדוע מרקמים וטקסטורות חדישים גורמים לתחושות מרגשות לסועדים?

מטרות החקירה בתחום הגסטרונומיה המולקולרית אינן רק לספק לשפים כלים לייצור המזון הטעים והמעניין ביותר, אלא להבהיר ולספק את התנאים ההכרחיים - חומרי גלם, תהליכי בישול, צורת הגשה ועוד - על מנת שקבוצה מייצגת של אנשים תקבע שמזון מסוים הוא טעים ומהנה במיוחד. מטרה נוספת היא לייצור מדדים כמותיים לייצור מזון טעים למרבית הסועדים. זוהי משימה הכרוכה בהיבטים רבים ושונים של מדע הכימיה: מהאופן שבו חומרי הגלם מיוצרים דרך הקציר, האריזה, ההובלה לשוק, תהליכי העיבוד והבישול ועד להגשת המזון בצלחת. מובן שיש להביא בחשבון גם גורמים כמו הדרך שבה הגוף והמוח מגיבים לגירוי המוצג בפניהם. ניתן להסתכל על גסטרונומיה מולקולרית **כעל מדע שעומד בבסיס אִמנות יצירת המזון.**

חשוב להזכיר שבמדע הגסטרונומיה המולקולרית מעורבים גורמים מדעיים ופסיכולוגיים רבים. לכן ספרי לימוד שלמים לא יצליחו לכסות את המורכבות של תהליכים אלה. ובכל זאת מאחר שתהליכים רבים בהכנת מזון מבוססים על הכימיה של

טבלה 1. מאפיינים של תמיסה קלסית, תמיסה קולואידית ותרחיפים

תמיסה קלסית	תמיסות קולואידיות	תרחיפים
החלקיקים אינם נראים במיקרוסקופ אלקטרוניים	שבירה של האור על ידי החלקיקים. ניתנים לצפייה במיקרוסקופ אלקטרוניים	החלקיקים נראים במיקרוסקופ רגיל ואף בעין
גודל החלקיקים מתחת ל-1 ננומטר	גודל החלקיקים נע בין 1 ל-500 ננומטר	גודל החלקיקים גדול מ-500 ננומטר
לא ייווצרו גלים	יצירת גלים היא אופיינית	יצירת גלים אינה אופיינית
שקופה	שקופה	בדרך כלל עכורה
תנועה קינטית אקראית	תנועה קינטית איטית יותר יותר תנועת בראון	תנועה איטית עוד יותר
לחץ אוסמוטי גבוה	לחץ אוסמוטי נמוך	אין לחץ אוסמוטי נמדד

קולואיד של חלקיקים מוצקים באוויר. קצף הוא קולואידים של גז במים. דיו הוא קולואיד של פיגמנט מוצק במים. קלקר הוא קולואיד של גז במוצק. ג'ל הוא קולואיד של נוזל במוצק. יש גם קולואידים של מוצקים במוצקים אחרים, כמו בסוגים מסוימים של זכוכית.

כל מערכת קולואידית, כמו גם תמיסה קלאסית, היא בעלת תכונות ייחודיות לה. תכונות אלה תלויות באופי החלקיקים המפוזרים כמו גם בפאזה המפזרת. תיתכן קבוצה גדולה של מערכות קולואידיות שונות שיש להן תכונות דומות, ולכן הן מסווגות כקבוצה או כתת-קבוצה. הסיווג של מערכות קולואידיות לקבוצות אינו תמיד חד-משמעי ומספק.

תרחיפים ותחליבים

אחת הדרכים לסווג מערכות קולואידיות היא על ידי אפיון הפאזה המפוזרת. בתרחיפים החלקיקים המפוזרים הם במצב צבירה מוצק. בתחליבים הפאזה המפוזרת היא במצב צבירה נוזל.

הידרוקולואידים - סול-ג'ל וג'ל

הידרוקולואידים הם ג'לים (מצב צבירה מוצק) או סול-ג'ל (מצב צבירה נוזל), ראו איור 3, שבהם החלקיקים מפוזרים במים

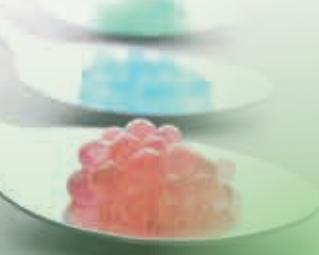
חשוב לציין שסיווג זה הוא שרירותי, ובמערכות קולואידיות בטבע אין גבולות חדים אלא הדרגתיים. בתמיסה קלסית הפאזה המפוזרת מורכבת מחלקיקים שגודלם מולקולרי או יוני, בעוד שבתמיסות קולואידיות החלקיקים המפוזרים גדולים יותר, ותרחיפים מכילים חלקיקים גדולים מספיק שנפרדים בצורה מכנית עם הזמן. ככל שהחלקיקים קטנים יותר, כך הפיזור יהיה טוב יותר. ניתן להכין תמיסות קלסיות זהות וזאת בתנאי שהטמפרטורה, הלחץ והריכוז ידועים. התוצאה היא שמידת הפיזור בתמיסה קבועה. בתמיסות קולואידיות יש להוסיף את מידת הפיזור כאחד הגורמים שיש לתת עליו את הדעת, בנוסף לטמפרטורה, לחץ ולריכוז על מנת להכין מספר תמיסות קולואידיות זהות. מערכות קולואידיות הן הטרוגניות כך שיש צורך להבחין בין הפאזה המפזרת לפאזה המפוזרת. מצב הצבירה של החלקיקים המפוזרים בתמיסה קולואידית יכולים להיות גז, נוזל או מוצק והם יוצרים מיצלות (צבר של מולקולות בעלות דו-קוטב (בעלות צד הידרופילי וצד הידרופובי), הנוצר בתוך תערובת קולואיד). מיצלות אלו מפוזרות במוצקים, בנוזלים או בגזים (ראו טבלה 2).

סיווג המאפיינים של קולואידים המבוסס על היחסים הפיזיים והכימיים בנוזלים

ערפל ועננים הם קולואידים של מים באוויר. עשן הוא

טבלה 2. דוגמאות למערכות קולואידיות

הפאזה המפזרת	החלקיקים המפוזרים	שם	דוגמאות
נוזל	גז	קצף	קצף ביצים, קצף גילוח, קצפת, מילקשייק
מוצק	גז	קצף מוצק	מרשמלו, גומי מוקצף
גז	נוזל	תרסיס נוזלי	עננים, ערפל, תרסיס לשיער, תרסיס דאודורנט
נוזל	נוזל	תחליב	חלב, מיוז, דם
מוצק	נוזל	ג'ל	גבינה, חמאה, מרגרינה
גז	מוצק	Solid aerosol	עשן, אבק באוויר
נוזל	מוצק	Sol	צבע, תמיסת עמילן, שוקולד מומס, ג'לי
מוצק	מוצק	Solid sol	זכוכיות צבעוניות, אבני חן צבעוניות



הביצה הם דוגמאות של סוג זה של קולואידים לא-הפיכים. קולואידים לא-הפיכים אינם יוצרים באופן ספונטני סול-ג'ל כתוצאה מהוספה של מים, לאחר פעולת נידוף המים הראשונית.

כיצד ניתן לשלוט במידת הפיזור של חלקיקי הקולואיד במטבח?

שיטות בישול רבות וחומרי גלם רבים המוספים למזון משפיעים על מידת הפיזור של חלקיקי הקולואיד. נסתכל על מספר גורמים שיכולים להשפיע.

טמפרטורה - העלאת הטמפרטורה של מים מגדילה את הפיזור. פיזור של בועיות שומן בחלב עולה כתוצאה מחימום החלב. אולם כאשר החלבונים עוברים קואגולציה מידת הפיזור יורדת. (קואגולציה היא שלב שבו חלבונים או סוכרים בעלי מבנה מרחבי תלת מימדי נפתחים לשרשרות פרושות. אלה נקשרות זו לזו ויוצרות רשת תלת-ממדית שבתוכה כלואות מולקולות המים ברשת שהן יוצרות, ראו איור).

פיזור מכני - ערבוב והקצפה הם דרך מכנית שבאמצעותה ניתן להשפיע על מידת הפיזור. ערבוב בעת הבישול יכול לגרום לפיזור אחיד יותר של החלקיקים במזון. אולם פעולה זו יכולה גם למנוע התקבצות של החלקיקים במזון, וכתוצאה מכך הפיזור נשמר. דוגמה לתהליך זה היא הקצפה של שמנת מתוקה: ההקצפה היא דרך להגדיל את מידת הפיזור של בועיות הגז, אולם למרות שהבועיות קטנות, עדיין אין הן בגודל המתאים כדי להפוך למצב הקולואידי. הקצפה של חלבון ביצה היא דרך מכנית להקטנה של מידת הפיזור של החלבון בפאזה המימית, וזאת כתוצאה מקאגולציה חלקית של חלבוני הביצה לקירות המקיפים את בועיות האוויר הנוצרות.

פיזור בנוכחות חומצה (או בסיס) - הוספה או היווצרות של חומצה (או בסיס) במהלך הכנת המזון יכולות להיות דרך כימית שבה ניתן להשפיע על מידת הפיזור. לדוגמה, היווצרות של חומצה במהלך תהליך התסיסה של השמרים בזמן הכנת לחם גורמת לפיזור גדול יותר של גלוטן. הוספה של חומצה

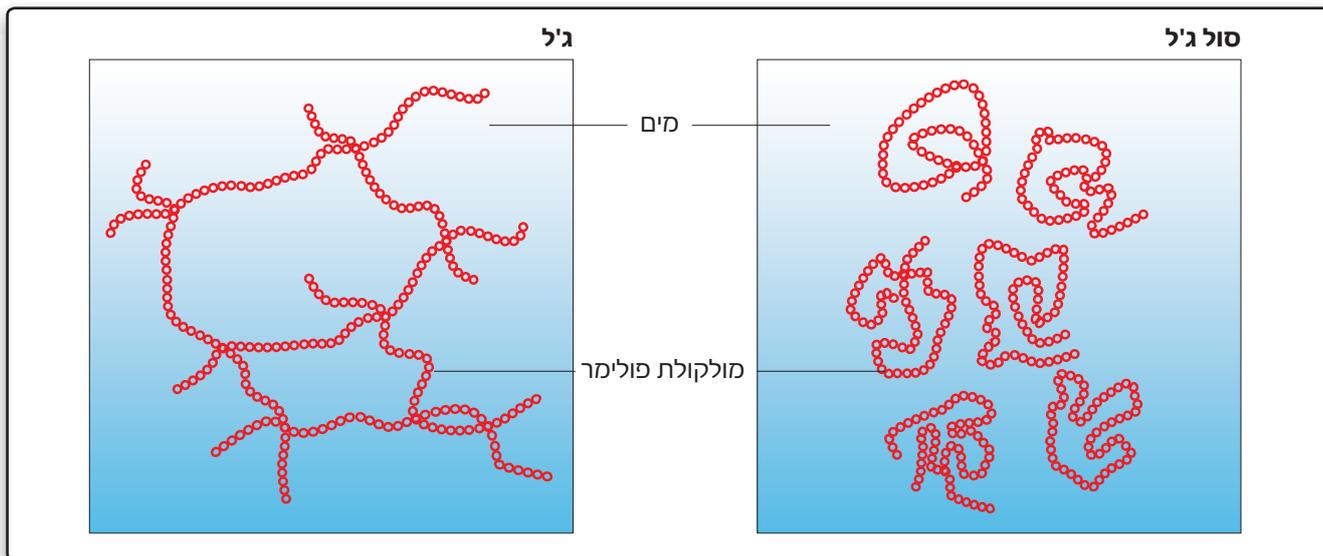


איור 2. "ספגטי" ממיץ תפוחים

ונקראים תמיסות קולואידיות. תמיסות אלה ניתנות לסיווג על פי צפיפותן או סמיכותן. אלה הדומות יותר לתמיסות ייקראו סול-ג'ל. אלה שהמרקם שלהן דומה יותר למוצק ייקראו ג'לים. הצפיפות של ג'לי פחות - קינוח המכיל ג'לטין - היא אופיינית לג'לים. ג'ל נוצר כאשר החלקיקים יוצרים רשת מצולבת תלת-ממדית, תוך כדי יצירה של קשרים כימיים. התוצאה מתנהגת כמוצק למרות שברובה היא נוזל (איור 4). לדוגמה, חלבון הביצה הוא ג'ל שנוצר כאשר החלבונים שבו עוברים דנטורציה לעומת הקיפול הטבעי שלהם ואז נקשרים האחד לאחר במקומות קישור רבים. מולקולות גדולות נוספות שיוצרות רשת תלת-ממדית הן רב-סוכרים. אין הבחנה ברורה בין סול-ג'ל לג'ל. סיווג של ג'לים על פי הצפיפות כולל ג'לים רבים שאין להם תכונות דומות. כמה ג'לים נוצרים מסול-ג'לים בתהליך של קאגולציה. קצפת היא דוגמה לכך. ג'ל הנוצר מעמילן נוצר באמצעות העלאת הטמפרטורה. ג'לטין, אגאר-אגאר וסבונים יוצרים סול-ג'לים מעל טמפרטורה מסוימת וג'לים בטמפרטורות נמוכות יותר. אלה הם ג'לים הפיכים (כפי שהוסבר לעיל). השינוי הוא הדרגתי, ואין טמפרטורה מדויקת שבה מתרחש התהליך. השינוי מסול-ג'ל לג'ל נקרא ג'לטיזציה, והוא שונה מקאגולציה. טמפרטורה, זמן, ריכוז ונוכחות אלקטרוליטים/לא אלקטרוליטים הם גורמים המשפיעים על היווצרות הג'ל. דוגמאות נוספות הם ג'לים שמכנים מפקטין, אגאר, קאראגינאן ועוד.

קולואידים הפיכים ולא-הפיכים

אם לאחר נידוף של תמיסה קולואידיית נוצר סול ג'ל כתוצאה מהוספת מים, הקולואיד מוגדר כקולואיד הפיך. ג'לטין וחלבון



איור 3. גיל וסול-גיל

חומצה אלגינטית ונתרן אלגינט - דוגמה ליצירה חדשה

חומצה אלגינטית היא רב-סוכר אניוני המפוזר בדופנות התאים של אצות. באצות נוצר ג'ל אופייני כתוצאה מקישור למולקולות המים. רב-סוכר זה יכול לספוח מים פי 200 עד 300 ממשקלו. צבעו נע בין לבן לצהוב-חום. המלח של החומצה הוא נתרן אלגינט, ונעשה בו שימוש נרחב בתעשייה כולל תעשיית המזון, התרופות ועוד. נתרן אלגינט משמש בגסטרונומיה מולקולרית יחד עם מלחי סידן בתהליכי ספריפיקציה וספריפיקציה הפוכה, שבהם נוצרים כדורים קטנים דמויי קוויאר או כדורים גדולים יותר דמויי רביולי (ראו איור 1).

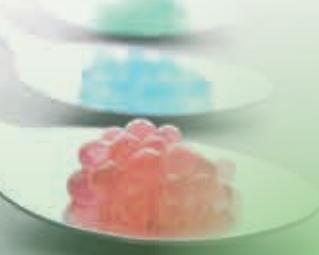
נתרן אלגינט נחקר לראשונה בשנת 1881 על ידי כימאי אנגלי. הוא מיצה את הנוזל הצמיג מהאצות בסביבה בסיסית. הוא כינה את התוצר "אלגין" מינוח המשמש עד ימינו. תפקידה של חומצה אלגינטית באצה הוא להעלות את הגמישות של האצה. לכן אצות המתפתחות היטב במים סוערים הן בעלות תכולת אלגינט גבוהה יותר לעומת אלה המתפתחות במים רגועים.

לביצה שלמה גורמת לדנטורציה של החלבונים ולהורדה של מידת הפיזור של החלבונים. בהוספת כמות מספקת של חומצה, יעברו כל החלבונים דנטורציה, והתוצאה היא שיקוע. תהליך הדנטורציה של החלבונים מושפע מהנקודה האיזואלקטרית של החלבונים.

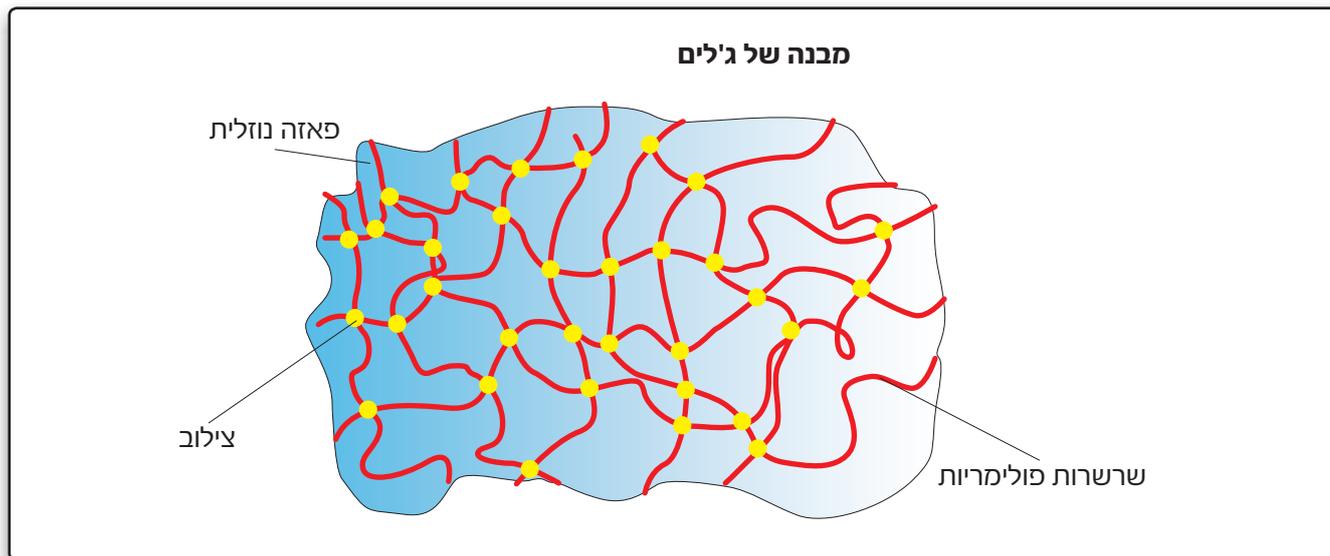
מטען חשמלי - חלקיקים קולואידים הם לעתים קרובות בעלי מטען חשמלי, ולכן הם מושכים או דוחים האחד את האחר. גם המטען של הפאזה המפזרת וגם המטען של הפאזה המפוזרת הוא גורם המשפיע על האינטראקציה בין חלקיקי הקולואיד. לכן הוספה יזומה של חומרים יוניים יכולה להשפיע על מידת הפיזור של החלקיקים הקולואידיים.

התפחה של גלים קולואידיים

יכולתן של המיצלות הנוצרות לכלוא בתוכן מים, היא חשובה מאוד בהכנת מזון. הסמכה של כוס חלב על ידי חלבון ביצה (קצפת), הוא תוצאה של היכולת של חלבון הביצה לקשור את הנוזל. היכולת של עמילנים לעבות היא תוצאה של היכולת לספוח מים בזמן חימום. היכולת של חלבונים, עמילנים ועוד לספוג מים היא גדולה מאוד.



מבנה של גלים



איור 4. רשת תלת מימדית המאפיינת גלים

במעבדות בית הספר. החזרה של הכימיה למעבדות בית הספר והשימוש בניסויים מעולם המטבח, הם תהליך מבורך. תמיכה של שפים מפורסמים היא דרך אפשרית לעניין את התלמידים בכימיה, שנתפסת לעתים כ"משעממת" ו"מקצוע קשה". באנגליה כבר מיישמים את הגסטרונומיה המולקולרית במעבדות בית הספר, ויש עדויות ברורות לכך שהתלמידים חושבים שהכימיה נגישה ומעניינת יותר.

במעבדות דוידסון פותחו שתי סדנאות המבוססות על גסטרונומיה מולקולרית. הראשונה מיועדת לכיתות ח'-ט'. במסגרת הסדנה התלמידים מתנסים בטכניקות המשמשות בגסטרונומיה מולקולרית ומבינים את הבסיס המדעי המסביר את התופעות. לדוגמה, התלמידים מתנסים במעבר בין מצבי צבירה בעזרת חנקן נוזלי, שמשמש להקפאה מהירה ועמוקה של חומרי גלם שאינה פוגעת באיכותם. כמו כן התלמידים לומדים על מולקולות גדולות ופולימרים ומתנסים בהכנת אטריות ממיצי פרות, "קוויאר" מתוק ועוד.

סדנה נוספת מיועדת לתלמידי י"א-י"ב. גם בסדנה זו התלמידים מתנסים בטכניקות המשמשות בגסטרונומיה המולקולרית כאשר ההתמקדות היא בכימיה של קולואידים. התלמידים נחשפים לעקרונות הכימיה של הקולואידים. אחר

השימושים של סודיום אלגינט הם תוצאה של שתי תכונות יחודיות. כאשר נתון אלגינט מתמוסס במים, התוצאה היא עלייה בצמיגות. התכונה השנייה בנוכחות תמיסה המכילה יוני סידן נוצר ג'ל. הג'ל נוצר בטמפרטורה נמוכה.

במזון נתון אלגינט הפך לפופלרי הודות לתהליך הספריפקציה שפיתח השף פראן אדריה ממסעדת אל בולויי שבספרד. על ידי המסה של כמות קטנה של נתון אלגינט בתוך איזה נוזל נבחר וטפטוף הנוזל לתוך תמיסה המכילה יוני סידן, נוצרות כדוריות קטנות שבתוכן כלוא הנוזל. התהליך המתרחש הוא יצירת רשת תלת-ממדית של מולקולות הסוכר הטעונות שלילית יחד עם יוני הסידן הטעונים חיובית, כפי שניתן לראות באיור 5.

חינוך מדעי וגסטרונומיה מולקולרית

אחת הסביבות שהגסטרונומיה המולקולרית יכולה להשפיע בהן היא הסביבה הבית ספרית. כללי הבטיחות מגבילים מאוד את השימוש בחומרים במעבדות הכימיה בבתי הספר. מורים רבים מתקשים לבצע ניסויים והדגמות כתוצאה ממגבלות הבטיחות. והנה חומרי הגלם המשמשים לבישול אינם מסוכנים ומותרים בשימוש, כך שאפשר להדגים תגובות ותהליכים רבים ואף לבצע על ידי התלמידים בפועל

איכות החיים, והתוצאה היא שהאדם יבין כמה המדעים יכולים שימושיים בחיי היום יום שלנו.

מקורות

Adria, F., Blumenthal, H., Keller, T., & McGee, H. (2006). Statement on the 'new cookery'. Available from <<http://observer.guardian.co.uk/>>

Barham, P. (2004). Molecular gastronomy. Available from <http://www.discoverychannel.co.uk/science/kitchen_chemistry/molecular_gastronomy/index.shtml>foodmonthly/stoy/0,,1968666,00.html>

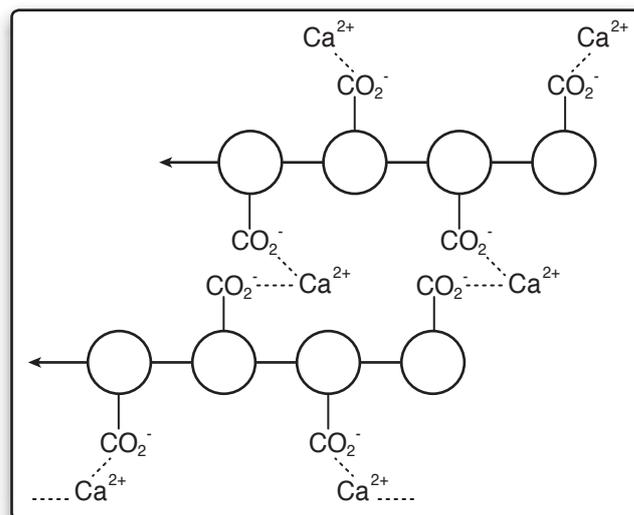
Cornwell, L. (2005). New degree programs produce chefescientists. Available from <http://www.usatoday.com/tech/news/techinnovations/2005-08-14-culinology_x.htm>

Culinology. Available from <<http://www.culinology.com>>2007

Down on the farm: The impact of nano-scale technologies on food and agriculture2004. Ottawa, Canada: ETC Group. Available from <<http://www.etcgroup.org/en/>>

The story of elBulli. Our story from 1961 to today. Available from <<http://www.elbulli.com/historia/index.php?lang¼en&seccion¼8>>2007

This, H. (2004). Molecular gastronomy: A scientific look to cooking. Available from <http://www.college-de-france.fr/chaieres/chaire10/page_herve/Molecular_Gastronomy.pdf>



איור 5. קישור יוני הסיידן לשרשרות הסוכר

כך הם מבצעים ניסוי חקר מלא בנושא. הניסוי המקדים "הצללה של מיץ תפוזים" כולל התנסות ביצירת ג'ל לצורך הצללה של מיץ פרי כלשהו. הניסוי כולל שימוש בצנטריפוגה ובספקטרופוטומטר למדידה של השינוי בבליעה כתוצאה מתהליך ההצללה. בעקבות הניסוי המקדים התלמידים מעלים שאלות חקר ומבצעים את המחקר עצמו.

כל אלה הן רק חלק מהשיטות המשמשות בבישול המולקולרי שאליהן ייחשפו התלמידים, יבינו וישמו את הרקע המדעי המתאים. לשם כך נעבוד במעבדה ייעודית לעבודה עם מזון, והתלמידים אף יוכלו ליהנות מפרי עבודתם.

לסיכום - בישול, מדע וחברה

המחקר בתחום הגסטרונומיה המולקולרית נועד בראש ובראשונה להיטיב עם אלה שמבשלים ועם אלה שאוכלים. החקר לצורך הבנה ברמה המולקולרית של תהליכים הקשורים בהכנת מזון, מובילה לחידושים מעניינים ובלתי צפויים במטבח הביתי כמו גם במסעדות המפורסמות. התוצאה היא הפיכה של לימוד המדע לכלי נפלא העוזר לנו להבין את העולם שבו אנו חיים. באמצעות מדע הגסטרונומיה המולקולרית אפשר לשנות את הדימוי הציבורי השלילי שיש למדעים בכלל ולכימיה בפרט. אם בישול הוא רק כימיה ופיזיקה, יוכל הציבור להגיע למסקנה שהבנה מדעית של התהליכים במטבח משפרת את

"כימיה אהובתי"

מיטל חטואשוילי*

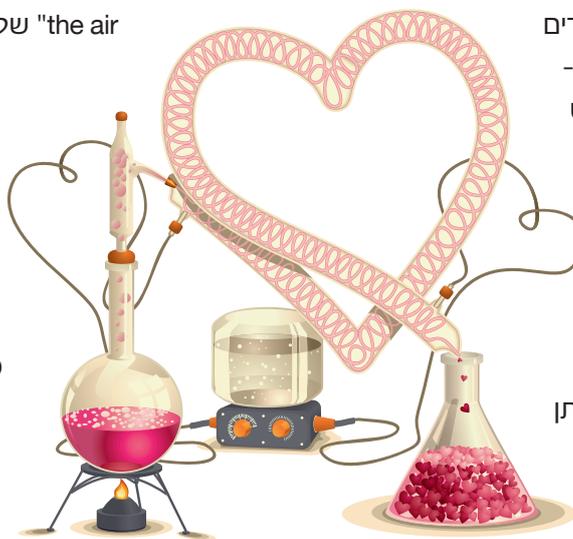
PROFILES

של האהבה. כל התלמידים יהיו מעוניינים להכיר את הכימיה והביולוגיה שמסתתרות מאחורי עולם הרגש, האהבה ותחושת האופוריה, חשבת. אך עמיתיי לקורס לא סברו כמוני. כבר בהתחלה נתקלתי במכשול. אף אחד מעמיתיי לקורס לא התחבר לנושא ולא מצא לנכון לפתח יחידת הוראה שלמה שעוסקת בכימיה של האהבה. זה הפתיע אותי אך העמיד בפניי אתגר, שאם זה מה שאני באמת רוצה, אצטרך לבנות את יחידת הלימוד הזו בכוחות עצמי. קולגות שסיימו את הקורס המליצו לי לוותר על הנושא, לא לקחת על עצמי פיתוח יחידת לימוד לבד; הם טענו שזו עבודה קשה שמצריכה המון השקעה, ולבד - זה אפשרי, אך העומס הכבד בלימודים והדרישות בתואר הם רבות, ועדיף לעבוד בצוות. הייתי צריכה להחליט: או לבחור נושא שמישהו אחר בקורס העלה, וכך ניצור צוות שישתף פעולה לאורך כל הדרך, או לצאת לדרך הזו לבדי. החלטתי שאני על אהבה לא מוותרת! כך נולדה היחידה: "Chemistry is in the air". כן, אתם לא טועים. זה נלקח מהשיר "Love is in the air" של Paul Young.

עם קבלת ההחלטה הגיע הרגע המיוחל - הספר של צבי נאור נפל סוף סוף לידי. הספר מציג בפני הקורא את הקשר בין האהבה לכימיה בצורה ייחודית ומעניינת ומשלב היטב מחקרים עדכניים שנעשו על ידי מומחים בתחום. פשוט לא הצלחתי להפסיק לקרוא. כל כך סקרנו אותי הנושאים שהופיעו בראש

אתם בוודאי מכירים את השעות האלה, שבהן אנו יושבים בחדר המורים בשעת חלון באמצע היום כיוון שהתלמידים שלנו בסיוור או טיול. הסיפור המובא לפניכם התחיל בשעת חלון כזו, בספטמבר 2011. ישבתי בחדר המורים ודפדפתי בעיתון גלובס, עד שכותרת אחת ואיור מדהים משכו את תשומת לבי: **"אהבה במבחנה"**, כתבה ורד קלנר. "במעבדתו של קופידון, מלאך האהבה היורה חץ אהבה וגורם לבני האדם להתאהב, מכין הוא את החומר הממכר למילוי החצים באמצעות מערכת זיקוק". כמורה לכימיה - לא נדרש יותר מזה כדי להלהיב אותי. הכתבה התבססה על ספרו החדש של הפרופסור הביו-כימאי מאוניברסיטת תל אביב, צבי נאור "הכימיה של האהבה". מאותו יום כבר ציפיתי לרגע שבו הספר הזה יפול לידי. צילמתי את הכתבה בכמה עותקים, את אחד העותקים לקחתי הבייתה כדי לחשוף את הקרובים והחברים לכתוב בה, ואת שאר העותקים שמרתי בתא שלי בחדר המורים, ראיתי בה נכס יקר.

שנה לאחר מכן, עם תחילת הלימודים לתואר השני בתכנית רוטשילד-ויצמן, נחשפתי לראשונה לפרויקט PROFILES האירופי במסגרת הקורס "הוראה בדרך החקר", שבו נדרשנו לפתח בזוגות יחידת הוראה - מודולה - על כל נושא שקשור לכימיה בחיי היום יום, שיעורר מוטיבציה בקרב התלמידים, שיעודד חקר ושיהיה ניתן לחנך באמצעותו. מיד ידעתי שהנושא שלי יהיה הכימיה



* מיטל חטואשוילי, מורה לכימיה, תיכון שמעון בן צבי, גבעתיים. המודולה פותחה במסגרת לימודי תואר שני בתכנית רוטשילד-ויצמן, במהלך הקורס "הוראה בדרך החקר" בהנחיית ד"ר רחל ממלוק-נעמן וד"ר דבורה קצביץ.



השאלות המנחות. שלושה מאמרים שונים המבוססים על ספרו של צבי נאור, כאמור. בטקסטים מוזכרים החומרים הכימיים, ההורמונים והמוליכים העצביים, שמעורבים בהרגשת האהבה במוח. כל קבוצה בחרה חומר אחד שאותו היא מעוניינת לחקור בהמשך.

בשלב הבא קיבלו התלמידים רשימה של 6 חומרים. היה עליהם לסרוק באמצעות מכשיר הסמארטפון את קוד ה-QR של החומר הספציפי שבחרו, והסריקה הובילה אותם לדף הוויקיפדיה של החומר. באמצעות חקר אינטרנטי ענו על השאלות המצורפות לפעילות ויצרו ת.ז. לחומר. מבנה, מסה, נוסחה וכו'.

בשלה הבא נדרשו להעמיק בכימיה בשאלות מנחות ולהתבסס על ידע קודם כמו: היערכות אלקטרוני, אלקטרוני ברמה האחרונה, כמות אלקטרוני להשלמה לרמה מלאה (כלל האוקטט). התלמידים קיבלו קוד QR נוסף שהוביל אותם בסריקה לסרטון "קשרים כימיים קוולנטיים", סרטון שתורגם במכון דוידסון ומסביר ומתאר את הקשר הקוולנטי שנוצר במפגש בין אטום לאטום. אחר כך התבקשו התלמידים לענות על שאלות מצורפות בסדר כרונולוגי בהתאם לסרטון.

ישום הידע והאנליזה בא לידי ביטוי בהסבר הקשרים בין האטומים הבונים מולקולות ביולוגיות ובין הבנת המבנה המרחבי כמו אוקסיטוצין, דופאמין, פאניל-אתיל-אמין וכו'.

את השלב הנ"ל ניתן להתאים לתלמידי כיתה י"א בהקשר לקבוצות פונקציונליות, מבנה וקישור ועוד.

ג. סיום שכולל קבלת החלטות וביטוי יצירתי של החלטת התלמידים

בחלק הסופי התבקשו הקבוצות ליצור עבודה יצירתית

כל פרק. לא יכולתי לעצור את עצמי. הספר היה בסיס ליחידת הלימוד, כיון שהמאמרים המדעיים שאליהם נחשפו התלמידים היו מעובדים כולם מתוך הספר.

Chemistry is in the air

יחידת הלימוד "Chemistry is in the air" משתלבת בתכנית הלימודים לכיתה י', בנושא חומרים מולקולריים בהיקף של 5 שיעורים, וכוללת את הפעילויות הבאות:

א. פעילות פתיחה שמטרתה להציג את הנושא, לסקרן את התלמידים ולעורר שאלות

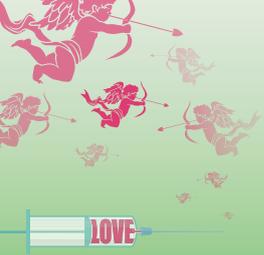
הפתיחה נעשתה באמצעות סיפור מטפורי, רגשות כדמויות שמשחקות מחבואים. השיגעון סופר עד 100 ומחפש את המתחבאים. "כך מצא השיגעון אחד אחד את כולם. רק האהבה לא הופיעה בשום מקום". לאחר מכן מקבלים התלמידים שאלון עמדות עם היגדים שונים, למשל: אהבה היא רגש שמקורו בלב ולא במוח/ראש. התלמידים קובעים את מידת הסכמתם להיגד Post-1 Pre כלומר, לפני תהליך הלמידה ואחריו. הם חוזרים ועונים על השאלון שנית על מנת שיוכלו לבדוק ולבחון את תרומתה של הפעילות ללמידתם בעודם משווים בין שני השאלונים.

ב. פעילויות שבמהלכן התלמידים חוקרים את הנושא ורוכשים את הידע המדעי

בשלב הזה התלמידים עובדים יחד כצוות. כל קבוצה מקבלת תמונה שמעוררת שאלות, מעלה בעיה, והם צריכים להתייחס אליה ולענות על שאלות מנחות. לאחר מכן כל קבוצה מקבלת מאמר מדעי וצריכה לענות על



אהבה מניחוח ראשון



בטענותיו של אחד מתלמידיה על כך שבכיתות י' אחרות לומדים על אהבה ובדרישתו ללמוד גם כן. זו הייתה החותמת להשפעה שלי על התלמידים, שתלמידי מספר לחברו מכיתה אחרת על שיעור הכימיה. רגשות הסיפוק צפו, השגתי את המטרה שלי. ניתן היה לראות זאת גם ברפלקציות האישיות שכתבו התלמידים:

"סיפרתי להורים שלי, והם אמרו שזה יפה שעושים שיעורים אחרים".

"בהשוואה בין שני השאלונים בהתחלה ובסוף ראיתי שהרבה תשובות שלי השתנו. יש קשר בין הכימיקלים במוח לבין מה שאני מרגישה. למדתי על עצמי, הנושא הזה ממש מעניין אותי, ועכשיו אני מתחרטת על שלא בחרתי להרחיב כימיה."

אני מאמינה שהצלחתי להשפיע על הרבה מאוד תלמידים באמצעות יחידת הלימוד הזו. אולי הם לא יזכרו את שם ההורמן הזה או האחר, שמשפיע כך או אחרת, אבל הם כן יזכרו את הקשר של הכימיה לרגשות ולאהבה. בזה תרמתי את חלקי.

גם אתם תוכלו ליהנות מהיחידה באתר של [PROFILES קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים של מכון ויצמן](#).

תוכלו להתאימה לאישיותכם ולצרכיכם. מדי שנה אני משכללת אותה ומעדכנת אותה בכל שלב שמתבקש. לנוחיותכם תורגמה היחידה גם לערבית הודות לעמיתי לספסל הלימודים, המאם בשרה, במסגרת קורס הערכה במכון. בנוסף, כמו כל היחידות שפותחו לפרויקט PROFILES, יחידה זו עולה בקנה אחד עם משימות להערכה חלופית, כיוון שהיחידה מפתחת לומדים חושבים בעלי הכוונה עצמית בעזרת חקירה, שימוש בידע ובניית משמעות. ההערכה יכולה להתבצע עבור התוצר הקבוצתי: תשובות לשאלות והגשת תוצר יצירתי יחד עם הערכה אישית לכל התלמידים ברפלקציה שיגישו ותצפית במהלך הפעילות שמאפשרות להעריך יכולות אחרות בקרב התלמידים כמו: שיתוף פעולה, מידת התרומה לצוות, יצירתיות ועוד. היכולות המוערכות הן לא רק קוגניטיביות אלה

מעניינת (לא במסגרת השיעור) המציגה את החומר הכימי שנבחר על ידי הקבוצה, את השפעתו על גוף האדם, את הקשרים הקוולנטיים שבו ועוד. עבודה זו מאפשרת לתלמידים חוויית למידה שבסופה הם עונים שנית על אותם שאלונים שענו עליהם בפעילות הראשונה: שאלוני Pre-Post שנותנים להם תמונה על מה שידעו וחשבו בתחילה ועל מה שהם חושבים ויודעים בסוף. לסיום, כתיבת רפלקציה אישית המשווה בין השאלונים.

ההפעלה

הפעלתי את יחידת הלימוד בשתי כיתות י'. הייתה זו חוויה מיוחדת לתלמידים ולי, ראיתי אותם וגם שמעתי מהם שהם נהנים. השימושים באמצעים טכנולוגיים סייעו מאוד לאווירה ולהתלהבות בכיתה. לרוב התלמידים לא הייתה המודעות שיש קשר בין אהבה לכימיה. לאורך הפעילות הפגינו התלמידים מוטיבציה והתלהבות המוצאות את ביטויין בציטוטים האלה:

"למה לא משלבים יותר ויותר פעילויות מהסגנון הזה בהוראת הכימיה?"

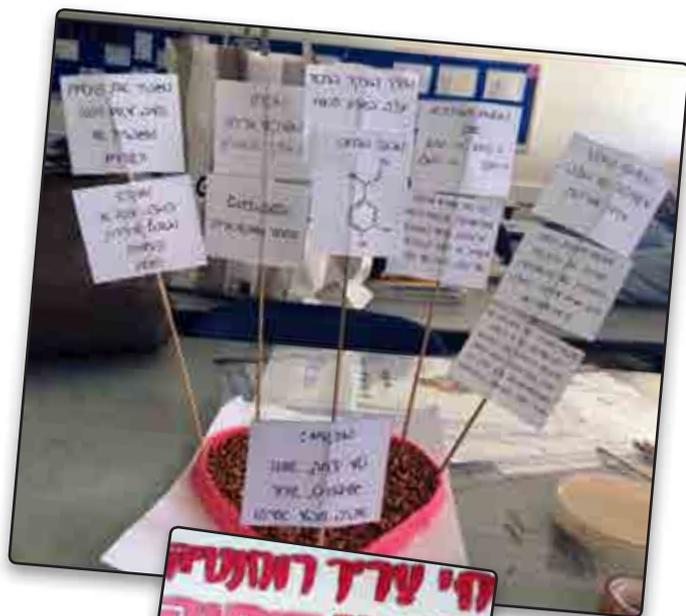
"עד היום לא ידעתי שיש קשר בין כימיה לאהבה, עכשיו אני כן יודע."

"אני חושב שצריך לערוך פעילויות מהסוג הזה לפחות פעמיים בסמסטר."

"הפעילות עם ה-QR הייתה מרתקת, ובהחלט למדנו משהו חדש ומעניין."

בתחום התוכן למדו התלמידים ידע חדש המתבסס על ידע קודם. הפעילות תרמה להיכרות עם החומרים הכימיים האחראיים לאהבה יחד עם תכונותיהם הכימיות. התלמידים רכשו ידע חיוני ומודעות לעובדות חיים בתחום הביוכימיה והבינו את חשיבותם של הידע המדעי ושל יישומו בחייהם האישיים ובחברה האנושית בכלל.

השיא היה שקולגה, מורה לכימיה מהצוות, שיתפה אותי



גם יכולות רגשיות, אישיות וחברתיות. אותן יכולות שבתחומי החיים השונים מחוץ לכותלי מוסד הלימודים, מבחינות בין אדם מצליח לבין אדם שמצליח פחות.

היום בהסתכלות לאחור, עם כל הקשיים והעומס, למדתי המון, התפתחתי באופן אישי ומקצועי וזאת הודות לליווי הצמוד לכל אורך התהליך של ד"ר דבורה קצביץ ושל ד"ר רחל ממלוק-נעמן.

והתודה העמוקה ביותר היא לתכנית רוטשילד-ויצמן שהעניקה לי את הזכות להיות חלק, ואילולי היא - לא הייתי כותבת מילים אלו. תודה.

להלן תמונות של חלק מהעבודות היצירתיות שהכינו התלמידים:



שלוש שנות PROFILES

שרון דויטש*, בתיה ליפשיץ גולדרייך** וסמדר אהרוני***

המערכת אותם בפיתוח המיומנויות הלימודיות שלהם תוך כדי לימוד בדרך החקר והתייחסות לתהליך קבלת החלטות. בשנת הלימודים תשע"ב הוצעה למורי הכימיה השתלמות בשם: "הוראה בדרך החקר בהקשרים רלוונטיים ויומיומיים". במפגש הראשון גילינו שמאחורי השם "הוראה בדרך החקר..." עומד למעשה פרויקט בינלאומי שמטרתו ליצור יחידות הוראה (מודולות) המבוססות על שילוב פעילויות חקר. באותו מפגש פגשנו גם כמה מהאנשים שעומדים מאחורי הפרויקט (פרופ' אבי הופשטיין, ד"ר רחל ממלוק-נעמן, ד"ר מלכה יאיון וד"ר דבורה קצביץ) וכן מורים אחרים שנרשמו להשתלמות.

במהלך ההשתלמות התבקשה כל קבוצת מורים להתאים אחת מהמודולות שפותחו באירופה או לפתח מודול חדש. כל מודול (יחידת לימוד) מורכבת מ-4 חלקים. נושאי המודול אינם בהכרח נושאים מתכנית הלימודים, ולא כל פעילויות החקר מוכרות למורי הכימיה מיחידת החקר. מדובר בפעילויות חקר המכוונות לקבלת החלטות, אבל עדיף לתכנן פעילויות שקשורות לנושאים הנלמדים כדי להעלות את הסיכוי שמורים יבחרו להפעיל אותן. עקרונות אלו חשובים לכל תחומי החיים, וחשוב להקנות אותם כבר בגיל צעיר על מנת ללמד את התלמידים תהליכי קבלת החלטות מושכלים ולאפשר להם לדעת כיצד לקבל החלטות מועילות.

בתחילה חשבנו להתאים מודול קיימת, אך לאחר בדיקות התאמה של המודול שבחרנו, הבנו - כמו רוב המורים האחרים - שעדיף לפתח מודול חדש! בחרנו בתחום הסביבה והמים ופיתחנו מודול העוסקת במי שתייה.

כל המורים המלמדים מקצוע מדעי נתקלים פעמים רבות בשאלות של תלמידים על הרלוונטיות של החומר הנלמד. השיעורים הם בעיקרם פרונטליים, והתלמידים, במיוחד אלה החזקים פחות, מאבדים עניין בחומר הנלמד. לכן אנו המורים מחפשים כל הזמן תכניות אטרקטיביות שיעוררו עניין אצל התלמידים, יגרמו להם לרצות להגיע לשיעורים ולהרגיש שנושאי הלימוד קשורים לחיי היומיום שלהם.

המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן הרימה את הכפפה והצטרפה לפרויקט אירופי בשם PROFILES. כך נכתב על הפרויקט במבוא לתכנית: "PROFILES הוא פרויקט אירופי שנוסד על ידי הוועדה האירופית (European Commission's Inquiry based) כדי לקדם את ה"הוראה בדרך החקר" (FP7 (science education IBSE).

הייחוד של גישת ה-PROFILES הוא בפיתוח המקצועי של מורים על ידי תכנון והפעלה של יחידות הוראה (מודולות) שרלוונטיות למורים ולתלמידיהם. התהליך הזה, המלווה ברפלקציה של המורים, מעלה את המסוגלות העצמית של מורים ו"מחבר" אותם לפרויקט. התהליך מתרחש הודות לרמה גבוהה של מקצוענות וביטחון המאפשרת ללמד תלמידים בצורה משמעותית מבחינה חינוכית ומוטיבציונית, על פי רוח התכנית "PROFILES". בנוסף "PROFILES" שואפת להקנות למורים את ההבנה שהם חלק מקהילה של עמיתים שמחנכים להוראת מדעים בבתי ספר ולא רק מלמדים את המקצוע.

התכנית דוגלת בהוראה רלוונטית ומאתגרת של תלמידים

* שרון דויטש, מורה לכימיה, תיכון שוהם.

** בתיה ליפשיץ גולדרייך, מורה לכימיה, תיכון למדעים ואומנויות ע"ש יגאל אלון, רמת השרון.

*** סמדר אהרוני גרבט, מורה לביולוגיה, בית חינוך ירקון, נווה ירק.

בכל כיתה בוצעו התאמות למודולה המקורית כך שתתאים לאוכלוסיית התלמידים הספציפית.

הוראת המודולה בפעם הראשונה מלווה בחששות. אין מדובר בשיעור רגיל, והרבינו להתלבט בשאלה איך להציג את הנושא. איך יגיבו התלמידים לשיעור שמתקיים במתכונת אחרת? אם כן אחרי שלקחנו נשימה עמוקה וקפצנו למים, ראינו שהשד לא נורא כל-כך. הפעילות התקבלה באהדה רבה על ידי התלמידים. הנושא של המודולות הוצג להם כאתגר, משהו חדש ו"כייפי" שכדאי לנסות, וליתר ביטחון המתקנו את הגלולה ה"לא כל כך" מרה בציון בונוס.

מדפי המשוב שהעברנו בסוף הפעילות גילינו שהתלמידים נהנו ללמוד בדרך שונה, חווייתית, ובמקביל הם גם העשירו את הידע שלהם בנושא מי שתייה. חלק גדול מהם גילו להפתעתם שחוש הטעם שלהם אינו מפותח דיו, ושאינן הם מסוגלים להבחין בין מים מינרלים למי ברז. אצל חלק מהתלמידים הובילה הפעילות לשינוי בעמדה האישית בכל הנוגע למים המועדפים. עם זאת הם הודו שהם בעצם אינם מחליטים מה לשתות. החלטה זו נתונה בידי ההורים, ואילו התלמידים שותים מה שיש בבית ללא קשר לעמדתם האישית. אשר לתלמידים הבוגרים יותר, נראה שבכל הנוגע למחזור בקבוקי הפלסטיק - יש להם השפעה רבה יותר בבית מאשר נושא איכות מי השתייה.



בדיקת יוני כלור כמדד למליחות המים

המודולה נקראת: "[מה עדיף - מים מבקבוק או מי ברז?](#)"

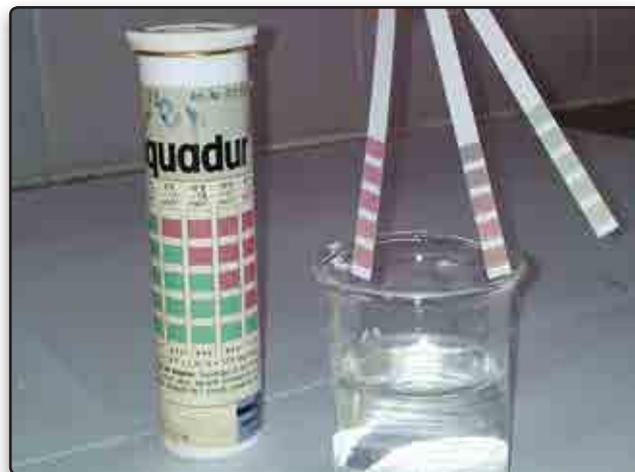
"מה עדיף - מים מבקבוק או מי ברז?"

המודולה כוללת את הפעילויות הבאות:

- סיעור מוחות - מה משמעות המושג "מים ראויים לשתיה"?
- סקר צריכת מים בבתי התלמידים.
- מבחן טעימת מים של התלמידים.
- משימת אוריינות בנושאים של מי שתייה בישראל ושל בדיקות המים השונות המשמשות לקביעת איכות מי שתייה.
- בדיקות כימיות של מי שתייה - מליחות, pH וקשיות.
- קבלת החלטה - אילו מים התלמידים מעדיפים לשתות?

המודולה שפיתחנו מכילה פעילויות שנועדו לאפשר לתלמידים להכיר את השיקולים השונים העומדים בפני כל אחד ואחת מאתנו: אילו מים עדיף לשתות (מי ברז, מים מינרלים מבקבוקים, מים מסוננים מבקבוקים, במערכת ביתית או אחר). בנוסף הפעילות מחזקת את ההבנה של משמעות המושג מים מינרלים/מים מבקבוקים ואת נושא משק מי השתייה במדינת ישראל.

הפעילות הועברה בחטיבת הביניים במסגרת לימודי מדעים, בכיתה י' במגמת כימיה ובכיתה י"א במגמת מדעי הסביבה.



בדיקת יוני סידן כמדד לקשיות המים



- חקר רשת בנושא שוקולד והצגת הנושא הנבחר בכיתה בפוסטר או במצגת.
- פעילות קבוצתית - העמקת הידע + תכנון ניסוי על פי כללי החקר: שאילת שאלות, הגדרת שאלת חקר והשערות. ביצוע ניסוי.
- סיכום הפעילות וקבלת החלטות (פורום כיתתי).
- סרטון מסכם.

מודולה זו זכתה להצלחה רבה בקרב תלמידים ומורים. המשוב הטוב ביותר שקיבלנו היה כאשר נוכחנו שהמודולות שפיתחנו, בעיקר זו של השוקולד, הולידו דורות חדשים והפכו לפופולריות. מספר לא מבוטל של מורים הפעילו את המודולות שפיתחנו ואף ערכו בהן שינויים והתאמות כך שיתאימו לאוכלוסיית התלמידים שהם מלמדים. עובדה זו מקנה מצד אחד את ההרגשה שקיים צורך בקרב המורים ליחידות לימוד מגוונות שיעלו את העניין של התלמידים בחומר, ומצד שני הרגשת סיפוק גדולה מההכרה ביחידות שפיתחנו ומהשימוש הנרחב בהן.

בימים אלו סיימנו פיתוח של **מודולה שלישית בנושא צבעי מאכל מלאכותיים מול צבעי מאכל טבעיים**. כל מודולה ניתנת להתאמה לצורכי המורים ולאופי הכיתה.



תבניות שוקולד שהוכנו על-ידי התלמידים במהלך הפעילות

בעקבות הניסיון המעניין והמהנה שלנו ושל התלמידים, ובעקבות משובי התלמידים, החלטנו להציג את נושא פרופיילס ואת המודולה שפיתחנו בכנס מורי הכימיה. החלטה זו באה להפיץ את הידע שרכשנו בהשתלמות ואת הניסיון שלנו בפיתוח מודולה ובהעברתה בכיתות שונות ולתלמידים שונים.

תהליך הכנת הפוסטר והכנת ההרצאה היה מעניין ביותר. כעת עסקנו בהצגת המודולה שפיתחנו למורים אחרים, ותהליך זה הצריך חשיבה אחרת על המודולה ועל פרויקט פרופיילס. תהליך החשיבה נסב סביב השאלה כיצד להציג את הפרויקט בדרך שתמשוך מורים אחרים להצטרף אליו או לגרום להם לרצות להפעיל בכיתותיהם מודולות שפותחו על ידי אחרים. המורים שהשתתפו בהרצאתנו התעניינו מאוד במודולה ובהפעלתה בכיתותינו, והבנו שמספר מורים הפעילו אותה בכיתותיהם.

הלב מתמלא גאווה כשתוצר שלנו בנושא שנראה בעינינו חשוב מאוד, משמש מודל למורים אחרים.

לאור ההצלחה הרבה החלטנו להמשיך להשתתף בהשתלמות שנה נוספת. הפעם חיפשנו נושא שונה, ומאחר שכולנו אוהבות מאוד שוקולד, ומאחר שלדעתנו אין איש שאינו אוהב שוקולד - החלטנו לבחור בנושא זה. לאחר חיפושים רבים וניסויים ותעויות רבים, הגענו למודולה שנראית לנו מתאימה לרוח פרופיילס ומתאימה לביצוע בכיתה.

בנוסף במהלך ההשתלמות רכשנו גם מיומנויות בכלים טכנולוגיים רבים (ברקודים ושאלונים אינטראקטיביים) שאפשרו לנו לשדרג את המודולה ולהנגיש אותה לתלמידים של שנות האלפיים. המודולה נקראת: **"מריר, חלב או לבן - מה יותר טעים?"**

"מריר, חלב או לבן - מה יותר טעים?"

המודולה כוללת את הפעילויות הבאות:

- [סרטון על הכנת שוקולד](#).
- הדגמה של הכנת שוקולד.
- שאלון אינטראקטיבי בנושא הרגלי צריכת שוקולד (ע"י סריקת הברקוד או לחיצה עליו).

רכשו כלים חשובים של לימוד בדרך החקר וכן למדו את תהליך קבלת החלטות החשוב בכל תחומי החיים.

שלוש שנות ההשתתפות שלנו בפרויקט מקנות לנו את ההרגשה שזהו פרויקט "שלנו", ולכן אנחנו שמחות מאוד לנסוע לכנס סיכום פרופיילס בברלין כדי להציג את החוויות והרשמים שלנו מהפרויקט.

לסיכום:

לדעתנו, המודולות שפיתחנו משרתות מטרות רבות ומגוונות: הן מאפשרות למורים להפעיל את התלמידים ולהעביר ידע ותוכן בצורה שונה מהרגיל ולא רק ע"י הקניית ידע באופן יש ומשעמם; התלמידים נדרשים לחפש בעצמם את המידע הנחוץ ליישום פעילויות מעשיות במעבדה; התלמידים נדרשים לתכנן ולבצע ניסוי חקר במעבדה; הם נדרשים לקבל החלטה מושכלת בעקבות חקר שעשו ודיון בתוצאות החקר; התלמידים נדרשים לנמק מהם השיקולים שלפיהם בחרו בהחלטה שקיבלו; הם נדרשים לשתף פעולה עם חבריהם על מנת להצליח במשימות שהוטלו עליהם.

כל המטרות הללו מביאות בסיכומן של עניין לתוצאה המבוקשת, והיא: "לחנך דרך מדע".

אנו רוצות להודות לשתי מנחות ההשתלמות ד"ר מלכה יאיון וד"ר דבורה קצביץ על העזרה והתמיכה לכל אורך שלוש שנות ההשתלמות.



הפקת צבעי מאכל טבעיים



צבעי מאכל שהופקו מירקות ופירות, חלקם על-ידי מיצוי בשמן וחלקם על-ידי מיצוי במים

בחירת הנושאים למודולה היא תהליך מעניין ומאתגר. אנחנו חושבות על נושא שמעניין אותנו ומנסות לשער כיצד הוא יתקבל על ידי התלמידים. לא תמיד נושא המעניין אותנו ונראה לנו חשוב יתקבל באותה התלהבות על ידי התלמידים, ותהליך קבלת ההחלטה על נושא חדש למודולה לוקח לנו זמן רב.

אנחנו עובדות בשיתוף פעולה מלא ומיוחד בכל אחד מהשלבים, החל מבחירת נושא המודולה, דרך כל פעילות הפיתוח ועד לקבלת מודולה המוכנה להפעלה בכיתה. בעבודת הצוות שלנו אין אנו מחלקות מטלות זו לזו אלא כולנו תורמות ביחד, כל אחת מציעה מניסיונה ומהידע שלה עד לקבלת תוצר (בין אם מדובר במודולה או בפוסטר) המקובל על שלושתנו. שיתוף הפעולה והחברות בינינו הקלו על העבודה, סייעו להחליק קשיים שהתעוררו במהלך העבודה ואף אפשרו לנו ליהנות הן מהתהליך והן מהתוצר - המודולה. הדרך שעברנו לאורך הקורס העשירה אותנו מאוד מבחינה אישית ואינטלקטואלית. העבודה במהלך ההשתלמות והעבודה עם ובמקביל לעמיתים בקבוצות פיתוח שונות פתחה בפנינו זווית ראייה חדשה שאנו מנסות ליישם בעבודתנו כמורות גם בתחומי דעת נוספים.

ההשתתפות במשך שלוש שנים בקבוצה המפתחת יחידות הוראה (מודולות) רלוונטיות למורים ולכיתותיהם חשובה מאוד לכל המורים, חדשים וותיקים כאחד. ההשתלמות העניקה לנו כלים להוראה רלוונטית ומאתגרת של תלמידים ולשיתופם בפיתוח המיומנויות הלימודיות שלהם. התלמידים

אמצעים דיגיטליים לשימוש בכיתה

רותי שטנגר*

לסרטונים רבים ב-Youtube תרגום לעברית שנוצר בעזרת כלים המובנים באתר. תרגום זה אינו זמין לאחר עיבוד הסרטון ב-EduTube (לדוגמה, ראו הסרטון הראשון על שמנים ושומנים), ונקווה שבעיה זו תיפתר בהמשך.

SpiderScribe

אמצעי טכנולוגי זה מאפשר ליצור תרשימי זרימה בצורה קלה ומהירה מאוד. התרשימים מאוחסנים באתר החברה, ואפשר תמיד לחזור לאתר ולבצע בהם שינויים. אפשר להוריד את תרשימי הזרימה כתמונות למחשב שלנו, כדי לשלבם במצגות, בקובצי WORD וכו'.

לפניכם קישור [לסרטון](#) המציג את אופן השימוש בכלי זה. יש [להירשם](#) בכניסה הראשונה לאתר.

בעמוד הבא שתי דוגמאות לתרשימי זרימה שנוצרו בעזרת SpiderScribe.

שימו לב - האתר אינו תומך בעברית, ולכן הכתב מיושר לשמאל. יש להזיז את הכתוב למרכז בעזרת רווחים.

Skitch



אמצעי טכנולוגי זה מאפשר להוסיף לתמונה הסברים מילוליים, חצים, שרטוט חופשי ועוד, בצורה פשוטה ומהירה. אפשר להשתמש באמצעי זה גם במחשב וגם בטלפון בסלולרי.

יש [להוריד](#) את Skitch מהאתר או מחנות האפליקציות בטלפון הסלולרי. לאחר ההתקנה יופיע על המסך האיקון של Skitch, ולחיצה עליו מפעילה את האפליקציה.

מאות אמצעים דיגיטליים, שיכולים להעשיר ולגוון את השיעורים בכיתה, את שיעורי הבית ואת העבודה במעבדה, נמצאים באינטרנט, ואליהם מצטרפים כל הזמן כלים נוספים.

במאמר זה נכיר ארבעה אמצעים כאלה, שהם פשוטים מאוד להפעלה וחינמיים:

EduTube - הוספת שאלות והערות לסרטונים מ-youtube. **SpiderScribe** - ציור מהיר של תרשימי זרימה.

Skitch - הוספה מהירה של הסברים על תמונה. אפשר להפעיל אמצעי זה גם בטלפון הסלולרי.

סדר ת'ניירת - יצירת משחק מיון של מונחים לקטגוריות שונות.

EduTube

EduTube הוא אמצעי דיגיטלי שפותח ע"י המכון הטכנולוגי בחולון (HIT).

הוא מאפשר להוסיף לכל סרטון ב-youtube הערות, שאלות רבות-בְּרָה או שאלות של השלמת מילים במהלך הסרטון ובסופו. הסרטונים מאוחסנים באתר של המכון הטכנולוגי בחולון, ולכל סרטון קישור ישיר. יש [להירשם](#) בכניסה הראשונה לאתר.

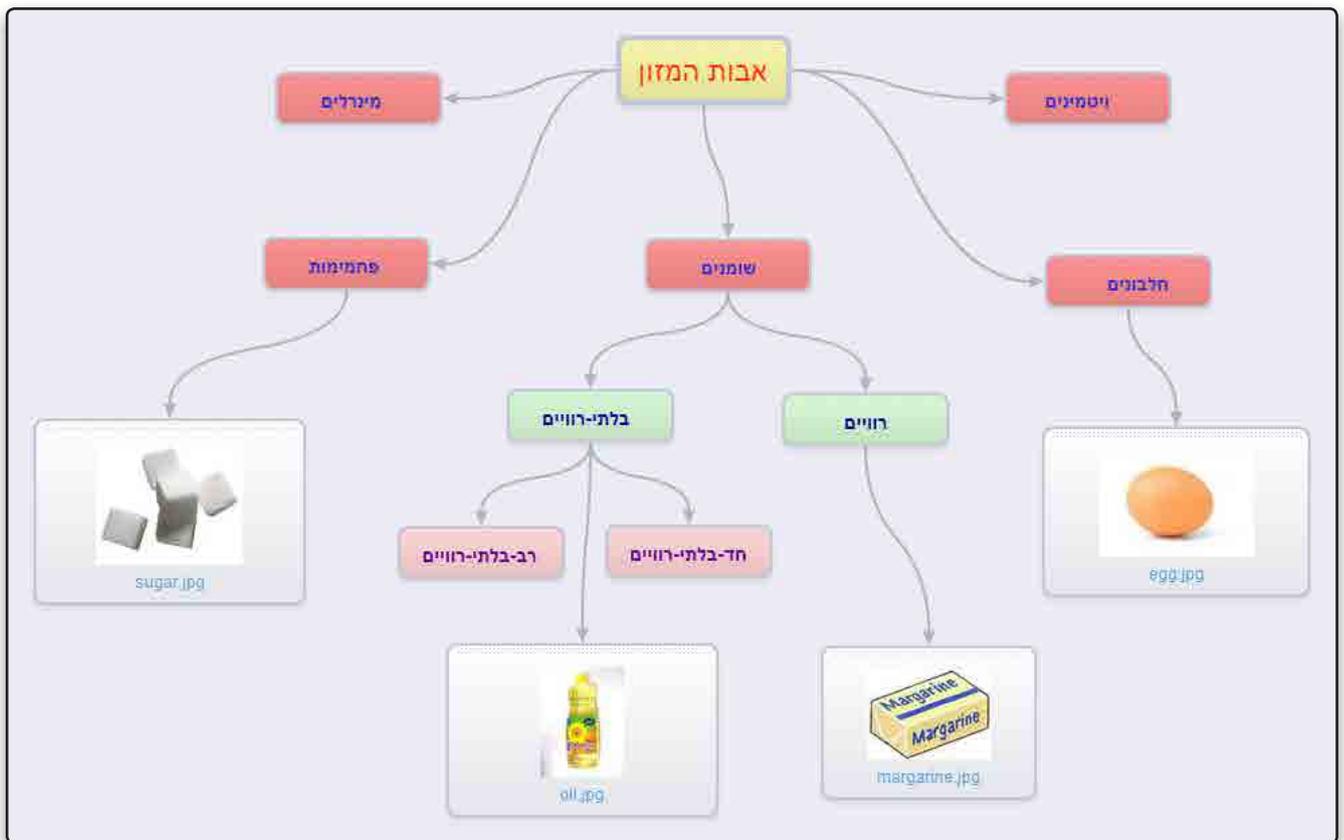
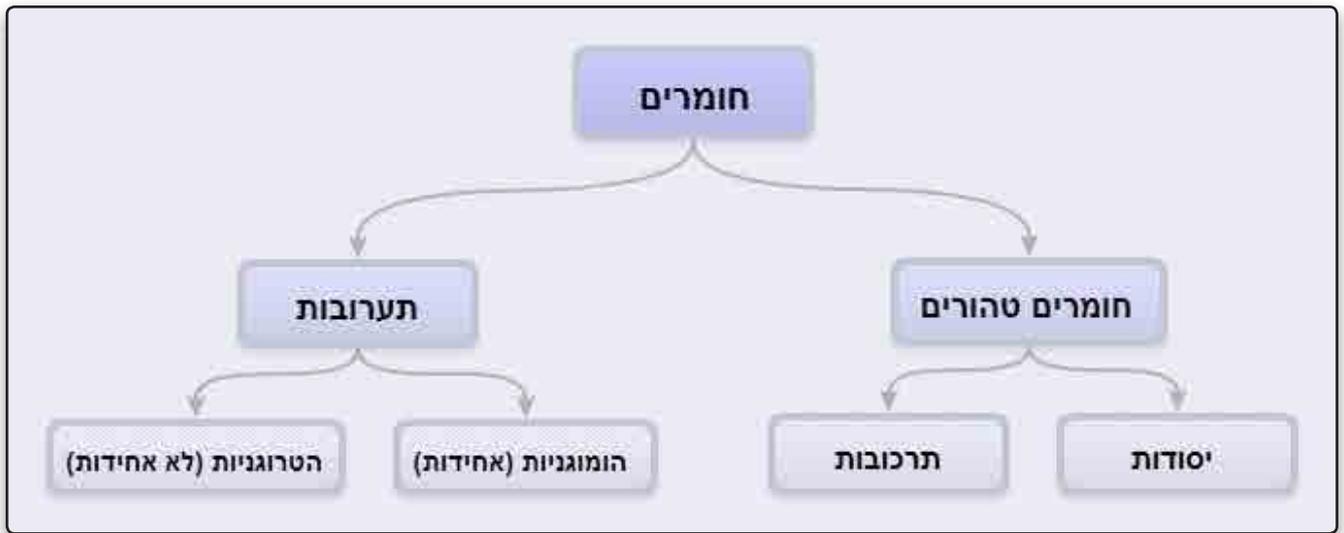
רצ"ב שלוש דוגמאות לסרטונים המעובדים ב-EduTube:

סרטון העוסק ב**שומנים ושמנים**.

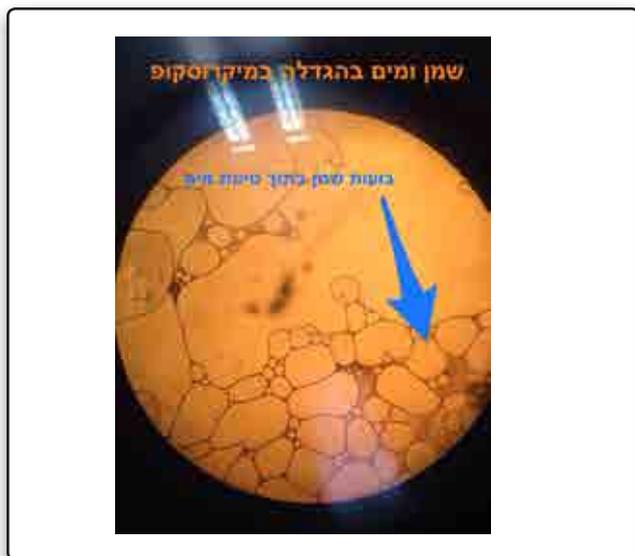
סרטון העוסק ב**תערובות במטבח**.

סרטון של ניסוי מעבדה: בעזרת סרטונים כאלה התלמידים לומדים טכניקות מעבדתיות ו/או מתכוננים למעבדה. אפשר להשתמש בסרטונים המציגים ניסויים שלא אפשרי לבצע במעבדה, כמו [כאן](#).

* רותי שטנגר - מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן, רחובות.



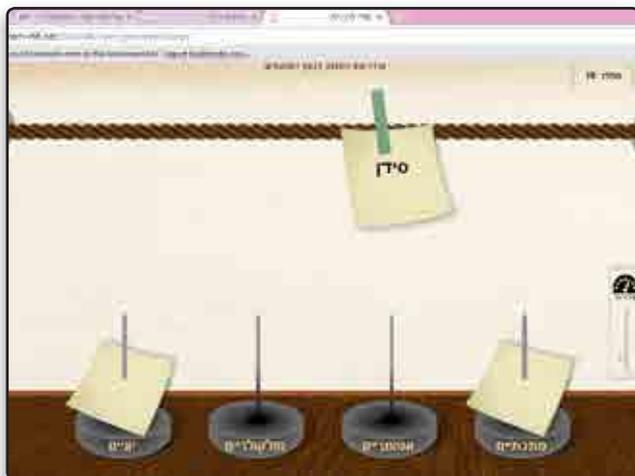
איור 1. דוגמאות לתרשימי זרימה שנוצרו בעזרת SpiderScribe



איור 3. שימוש ב-Skitch בתמונות בדו"ח מעבדה

לכל משחק שנוצר קיים מספר סידורי. הקלדת המספר הסידורי בחלון המופיע עם הכניסה לאתר, מאפשרת לשחק בו. [בסרטון](#) הבא תוכלו לראות כיצד משחקים במשחק שנוצר בעזרת סדר ת'ניירת.

הקלידו את המספר 19894 בחלון, כדי לשחק במשחק של מיון חומרים על פי סוגם.



איור 4. סדר ת'ניירת- משחק מיון חומרים לארבעה סוגים

משחק נעים!



איור 2. שימוש ב-Skitch במטלה לתלמידים בנושא תערובות במטבח

[בסרטון הבא](#) מופיע הסבר על אופן השימוש בכלי יעיל זה. הנה כמה דוגמאות לתוצרים:

1. מטלה לתלמידים: לצלם מוצר במטבח שהוא תערובת של חומרים, ובעזרת Skitch לציין את שם המוצר, לקבוע אם התערובת הומוגנית או הטרוגנית ולרשום שלושה מרכיבים של התערובת.

2. תמונות לשילוב בדו"ח המעבדה: צילום של שלבי הניסוי או צילום דרך המיקרוסקופ בעזרת טלפון סלולרי, והוספת הסברים בעזרת Skitch.

סדר ת'ניירת

אמצעי דיגיטלי זה של המכון הטכנולוגי בחולון מאפשר ליצור בקלות משחק שבו ממיינים מושגים למספר קטגוריות.

[בכניסה הראשונה](#) לאתר יש להירשם (ללחוץ על "לעורך", ואח"כ על "משתמש חדש").

לאחר ההרשמה אפשר להיכנס כעורכים וליצור משחק חדש יש לבחור בקטגוריות הנחוצות ולהקליד בכל קטגוריה את המונחים הקשורים אליה. יש להכניס בסך הכול 20 מונחים לפחות, כדי לפרסם את המשחק, כלומר, כדי לאפשר את המשחק בו. בתום הקלדת המונחים יש לסמן "פרסום".

פעילות מנצחת עם סמרטפון בכיתה!

חובה לנסות! הטבלה המחזורית - גילוי היסודות ותכונותיהם

מלכה יאיון*

- גיוון וחינוך שכלול לשימוש נכון של אפליקציה בכיתה.
- יש חשיבות להתייחסות לקשר שבין הטכנולוגיה ובין גילוי היסודות.
- **אופן ביצוע הפעילות:** עדיף לעבוד בזוגות ומוטב שכולם ימלאו טבלה משל עצמם שתשמש אותם במהלך השנה.
- **מיקום ביצוע הפעילות:** עדיף לקיים את הפעילות בכיתה.
- **זמן משוער:** רצוי להקדיש לפעילות שני שיעורים: אחד לביצוע הפעילות, והאחר לסיכומה.
- **ציוד נדרש לפעילות:** יש לבדוק מהו מספר הסמרטפונים ומחשבי כף יד שיש ברשות התלמידים. על מנת לקיים את הפעילות מספיק שלמחצית מהתלמידים יהיו מכשירים. העבודה בזוגות.

רקע למורה

הנחיות דיסקטיות להפעלת הפעילות בכיתה.

- תיאור התקנה והפעלה של הפלטפורמה:
- ניתן להתקין את האפליקציה Merck PTE ב"חנות" בסמרטפונים או באייפון. היא פשוטה מאוד, ותלמידים מיומנים מאוד בחיפוש, בהורדה ובהתקנת האפליקציה.
 - לאחר ההתקנה נפתח מסך הפתיחה (איור 1).
 - הקלקה על M חושפת מסך המפנה לאפשרויות רבות (איור 2).
 - כדי לתת לתלמידים הנחיות כלליות רצוי להציג תמונת מסך של האפליקציה Merck PTE.
 - בפעילות זאת נתמקד ב: State at Room-1 Discovery Temperature
 - רצוי להנחות את התלמידים עד לשלב זה ואז לאפשר להם לעבוד על פי ההנחיות.

יש לכם מתכון מנצח? מתכון שכולם אוהבים ואתם "סומכים" עליו? הפעילות הזאת היא כזאת! כל מורה שניסה אותה - התלהב! היא פעילות אחרת, מאפשרת שילוב של סמרטפונים שאנחנו בדרך כלל אוסרים עליהם בכיתה, אינה דורשת התקנה מורכבת, התלמידים לומדים באופן פעיל. בקיצור - חובה לנסות!

הפעילות עוסקת בטבלה המחזורית. בדרך כלל תלמידים מכירים את הטבלה המחזורית בחטיבת הביניים, אבל בכל זאת חשוב לנו "ליישר קו" ולהזכיר להם על מבנה הטבלה, מצבי צבירה של יסודות בטמפרטורת החדר וכו'. הפעילות משלבת התייחסות להתפתחות של הטבלה עם גילוי היסודות שלא תמיד היו מוכרים או קיימים ומאפשרת חשיבה על הקשר בין תכונות ובין השימוש ביסודות בחיי היום יום בתקופות השונות.

תיאור כללי של הפעילות

קישור לנושא הוראה: הטבלה המחזורית, קביעת מצב צבירה בהתאם לערכים נתונים של טמפרטורת היתוך וטמפרטורת רתיחה והיכרות של מצבי צבירה של יסודות בטמפרטורת החדר

ערך מוסף של שימוש בפעילות

- תלמידים מכירים את הטבלה המחזורית בדרך ייחודית. בסוף הפעילות תהיה להם טבלה עם סימון מצב הצבירה של היסודות בטמפרטורת החדר, שתשמש אותם במהלך השנה.
- האפליקציה מצוינת, והתלמידים נעזרים בה במהלך השנה כטבלה מחזורית לכל דבר.
- הפעילות נוסתה בכיתות רבות, ומורים מדווחים על הרגשת

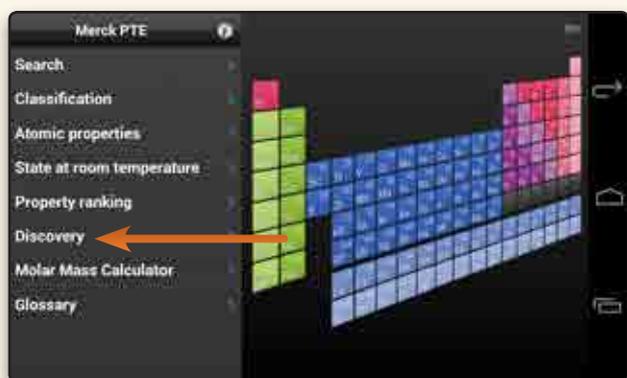
* ד"ר מלכה יאיון, מורה לכימיה, תיכון קציר, רחובות. חברת קבוצת הכימיה במחלקה להוראת להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



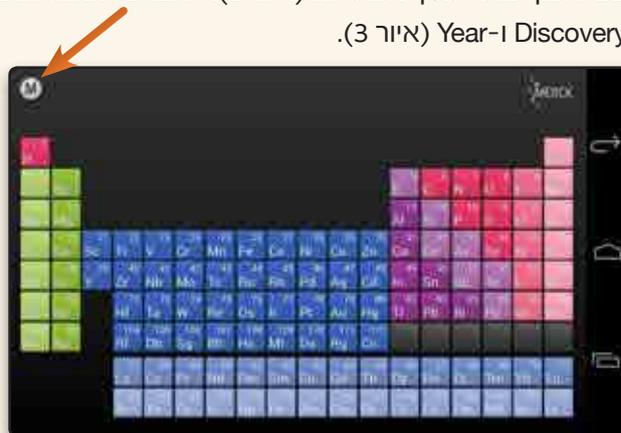
דף עבודה לתלמיד

הטבלה המחזורית - גילוי היסודות ותכונותיהם

בפעילות תכירו את הטבלה המחזורית מהיבט היסטורי ותקבלו מידע על תכונות של יסודות בעזרת אפליקציית Merck PTE בפלאפון יפתח מסך הפתיחה (איור 1). לחצו על האות M בקצה השמאלי העליון. יפתח מסך חדש (איור 2). הקליקו ובחרו Year-1 Discovery (איור 3).



איור 2. מסך שמאפשר כניסה לאפשרויות השונות באפליקציה



איור 1. מסך הפתיחה של אפליקציית Merck PTE

1. טבלת היסודות במבט היסטורי-מתי גילו את היסוד

א. ניתן "לנוע" על ציר הזמן. התייחסו לתקופות הבאות ומלאו את היסודות בטבלה האילמת שברשותכם. סכמו את המידע בטבלה הבאה (טבלה 1) עבור התקופות המצוינות בה.

אירועים היסטוריים חשובים	היסודות שהתגלו בתקופה זו		תקופה
	מספר	סמלים	
בניית הפירמידות במצרים, תקופת הברונזה.			עד 2500 BC
מסעי הצלב, גילוי אמריקה, תקופת הרנסנס. המאות ה-14 וה-15 היו "תור הזהב" של האלכימיה באירופה ששאפה להפיק כסף וזהב ולמצוא שם לחיי נצח. ההתקדמות המעשית בהכנת חומרים ופיתוח שיטות עבודה הייתה אטית.			עד 1600
עליית בתי המלוכה הגדולים באירופה, יהודים מתחילים להגיע לניו-אמסטרדם (ניו-יורק).			1600-1700
תקופת ההשכלה			1700-1750
המהפכה הצרפתית, מלחמות נפוליאון, המהפכה התעשייתית. מתחילות להתפתח שיטות מדידה ניסיוניות ואיסוף גזים.			1750-1800
עצמאות מדינות אמריקה, תנועות שחרור לאומיות. דייוויד דאבי (Davy) ממצא שיטה לפירוק תרכובות על ידי חשמל (אלקטרוליזה).			1800-1850

טבלה 1. הקשר בין התקופה לגילוי היסודות

ב. צבעו בטבלה שלכם בצבע שתבחרו את היסודות הנמצאים במצב צבירה נוזלי בטמפרטורת החדר. רשמו את הסמל שלהם.

ג. כמה יסודות נמצאים במצב מוצק בטמפרטורה של 3277°C ? רשמו את הסמל.

ד. כאשר חלליות חוזרות לאטמוספירה נוצרות טמפרטורות של אלפי מעלות צלזיוס בגלל החיכוך. הציעו יסוד מתכתי אשר יכול לעמוד בטמפרטורות אלו.

ה. "טיילו" על ציר הטמפרטורה באטיות ונסו לקבוע לאיזה יסוד טמפרטורת רתיחה הנמוכה ביותר?

ו. חזרו לטבלה המחזורית והקישו פעמיים על המשבצת של היסוד הדרוש. תקבלו דפדפת עם התכונות של היסוד.

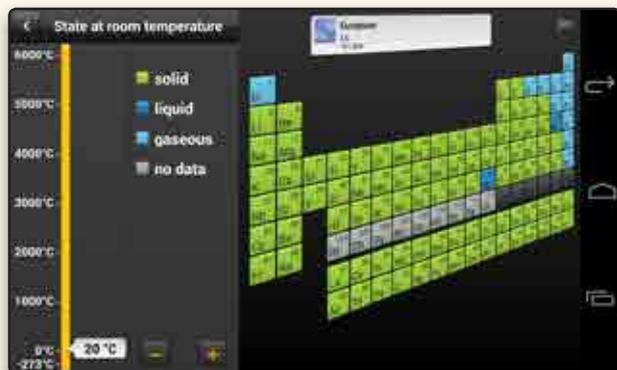
א. בחרו יסוד אחד ורשמו מאפיינים או תכונות מעניינות שלו.

ב. 1. מה טמפרטורת הרתיחה של חמצן (O_2)?

2. מה טמפרטורת הרתיחה של חנקן (N_2)?

3. הטמפרטורות בסיביר יורדות בחורף עד ל- 70°C .

מה מצב הצבירה של חמצן וחנקן בטמפרטורה זו? למה זה חשוב?



איור 4. מסך באפליקציית Merck PTE בו ניתן לנוע על ציר הטמפרטורה

ב. מבין התקופות שבחרתם, באיזו תקופה הייתה פריצת דרך בגילוי יסודות?

האם תוכלו להציע הסבר לכך?

באיזו תקופה מתגלים היסודות המלאכותיים (בעלי מספר אטומי מעל 92)?

ג. האם בני ישראל יכלו להכין תפוחי אדמה עטופים בנייר אלומיניום ^{13}Al במצרים? נמקו.

ד. טוענים שאחת הסיבות לנפילת האימפריה הרומית (שנת 476) היא הרעלת עופרת של ^{82}Pb של הרומאים בגלל שהשתמשו בצנרת עופרת. האם הכירו את העופרת באותה תקופה? (לחפש עד שנת 1600)

ה. האם מנדלייב (1834-1907) שיחק עם בלונים מלאים בגז הליום כילד?



איור 3. מסך באפליקציית Merck PTE בו ניתן לנוע על ציר הזמן

ו. מצב הצבירה של היסודות כתלות בטמפרטורה

בחרו בתיבת השיח State at room temperature (איור 2). יפתח מסך בו ניתן "לנוע" על ציר הטמפרטורה (איור 4). קבלו מהמורה טבלה מחזורית מודפסת.

היעזרו באפליקציה וענו על השאלות הבאות: (כל תלמיד עובד בטבלה שלו)

א. 1. צבעו בטבלה שלכם בצבע שתבחרו את היסודות הנמצאים במצב גזי בטמפרטורת החדר (25°C).
2. באיזה אזור בטבלה הם מרוכזים?



ועכשיו תורכם!

האפליקציה כוללת נתונים של אנרגיית יון, אלקטרושליליות ועוד הרבה פרטים על תכונות היסודות. נשמח לקבל מכם דפי פעילות בדומה לפעילות המתוארת כאן ונשתף אותה באתר של המרכז הארצי.



איור: תלמידים מבצעים את הפעילות



גלו באפליקציה פרטים מעניינים אחרים שניתן ללמוד בעזרתה. ציינו אותם.

שאלת אתגר: בחיי היום יום אנו משתמשים בסולם טמפרטורות צלזיוס. בקהילה המדעית משתמשים בסולם קלווין.

א. מלאו את הטבלה:

	25		-273	טמפרטורה בסולם צלזיוס (°C)
373		273		טמפרטורה בסולם קלווין (K)

$$K = ^\circ C + 273$$

"אפס קלווין" היא הטמפרטורה המינימלית האפשרית, והיא טמפרטורה תאורטית בלבד שנקראת גם האפס המוחלט.

ב. לפי מה נקבעו האפס והמאה בסולם צלזיוס?

עבודה נעימה!

להורדת הפעילות כקובץ המתאים להדפסה לתלמידים [לחץ כאן](#).

פתרון דף העבודה מופיע יחד עם פעילויות מתוקשבות נוספות באתר של המרכז הארצי של מורי הכימיה בקישור.

ספירת מלאי ביחידת מעבדת החקר

דבורה קצביץ ושרה אקונס*

- דיווח על ניסויים שהמורים מבצעים, שאינם מופיעים ברשימה הנתונה.
- דיווח על ניסויים שלפי תפיסת המורים מקדמים למידה משמעותית ונימוק מדוע.
- מובאת להלן תמצית הממצאים שהתקבלו מהסקר.

א. נתונים כלליים על המורים שהשתתפו בסקר

- 165 מורים ענו על הסקר.
- כ-80% מהמורים שהשתתפו בסקר מגישים ליחידת מעבדת החקר במשך למעלה מ-5 שנים.
- מעל 80% מהמורים מפעילים את מעבדת החקר בהיקף של 1 יח"ל.

טבלה 1. ותק המורים בהפעלת מעבדת החקר

שכיחות ב-%	ותק בהפעלת יחידת המעבדה
4	1 שנה
18	עד 5 שנים
41	10-5 שנים
37	יותר מ-10 שנים

טבלה 2. היקף יחידת מעבדת החקר המופעלת ע"י המורים

שכיחות ב-%	היקף יחידת מעבדת החקר
18	½ יחידת מעבדת חקר
82	1 יחידת מעבדת חקר

ב. שכיחות ביצוע ניסויים במסגרת יחידת מעבדת החקר (מתוך רשימה נתונה)

המורים נתבקשו לבחור מתוך רשימת ניסויים ש"ידועים כנפוצים", ולסמן באיזו רמת חקר הם מבצעים את הניסוי. טבלה 3 מרכזת את שכיחות הניסויים הנפוצים בקרב המורים שענו על הסקר.

אף שהמורים מנהלים את יחידת מעבדת החקר באוטונומיה רבה, עליהם להיות צמודים להנחיות לגבי כמות הניסויים ורמות החקר הנדרשות. מומלץ שאחת לכמה שנים יערכו המורים חשיבה מחודשת בכל הנוגע לבחירות שלהם שמהוות חלק מהאוטונומיה שלהם. חשיבה זו מובילה בד"כ לבחירה של מספר ניסויים "חדשים" ומאן להתחדשות בסל הניסויים שהם מבצעים עם התלמידים. האם אי פעם שאלתם את עצמכם מה קורה במעבדת החקר של עמיתים מורי הכימיה? אילו ניסויים הם מבצעים? האם יש להם ניסויים שהייתם רוצים לאמץ? ואולי גם למה כדאי לאמץ אותם? תוכלו להיעזר בכתבה לבחירת הניסויים העתידיים שלכם ולקבלת תשובות - אם כי חלקיות - לשאלות אלו.

על מנת לקבל מידע לגבי מעבדת החקר, כפי שמבצעים אותה מורים בשטח, פורסם באפריל 2014 [סקר ממוחשב למורים](#). הסקר נערך ע"י המרכז הארצי למורי הכימיה בהמלצת ד"ר דורית טייטלבוים, הפיקוח על הוראת הכימיה.

מטרות הסקר

- מיפוי מדגמי של הניסויים שהמורים מבצעים במעבדת החקר, לפי הרמות השונות.
- בחינת הניסויים שמורים רואים בהם ניסויים המקדמים למידה משמעותית.
- גיבוש קריטריונים לאפיון ניסויים המקדמים למידה משמעותית לפי תפיסת המורים בשדה.

הסקר כלל את ארבעת החלקים האלה:

- נתונים כלליים על המורים.
- דיווח על ניסויים שהמורים מבצעים מתוך רשימה נתונה, הכוללת ניסויים "נפוצים".

* ד"ר דבורה קצביץ ושרה אקונס, חברות צוות המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע.



טבלה 3. דיווח על ביצוע ניסויים ברמות חקר שונות ביחידת מעבדת החקר (מתוך רשימה נתונה).

שם הניסוי	רמה 1	רמה 2 חלקי	רמה 2 מלא	שכיחות כללית
הנעלם ה-X	3	12	135	150
פופקורן	12	30	86	128
חומרים ביתיים/אבקות לבנות	15	95	14	124
חומרים בשקית	2	12	100	114
קביעת נוסחת הידראט	94	16	4	114
שורה אלקטרוכימית	81	12	7	100
הצימוקים	4	20	68	92
נחש בועות/מקציף	11	12	66	89
נחש פרעה/שחור	15	21	36	72
צמד מבחנות	6	35	27	68
מנטוס וקולה	13	19	20	52
מסמרים בכתום	13	19	20	52
"סטריציה פוטנציומטרית" בלמונטה	18	8	15	41
קפה בארבע שכבות	15	9	12	36
מפגש בין נוזלים	7	9	19	35
מצעי ספיחה	3	4	20	27
כימיה במשורה	4	2	20	26
קדם ידיים - דוידסון	12	2	9	23
"חמצון-חיזור כסף נחושת" - בלמונטה	15	2	6	23
צבעים בחלב	8	8	6	22
פולימרים - דוידסון	2	5	15	22
כימיה עם יין - דוידסון	2	0	18	20
כימיה עם תרופות - דוידסון	6	1	12	19
בקבוקים לוחטים - דוידסון	0	7	10	17
שקית חמה/קרה - דוידסון	2	6	9	17
העין האנושית לעומת הספקטרופוטומטר-בלמונטה	1	1	13	15

בחירתם. בטבלה 5 מוצגים הניסויים שלפחות 10 מורים
בחרו בהם וציינו שהם מקדמים למידה משמעותית.

מיון נימוקי המורים לקטגוריות

- נימוקי המורים (N=439) המסבירים מדוע הניסוי מקדם
למידה משמעותית במעבדת החקר, מיונו לקטגוריות.
הקטגוריות למיון עלו מתוך הנימוקים עצמם - Bottom-up.
- יישום ידע (ביסוס ידע, הבנה, קישור לתכנית הלימודים)
 - המחשה
 - פיתוח מיומנויות חקר
 - הניסוי מעורר מוטיבציה (הפתעה, הנאה, עניין, סקרנות, מאתגר)
 - רלוונטיות
 - כיווני חקר רבים
 - מכשור
 - הניסוי כולל מספר תחומי תוכן
 - אחר (עבודת צוות, מפתח חשיבה, מעבר לתכנית הלימודים, מסר חינוכי, תכנון רב-שלבי).

בטבלה 6 דוגמאות לנימוקים לפי הקטגוריות.
באיור 1 מוצגות הקטגוריות לפי שכיחותן באחוזים.

ניתן לראות שהנימוק של "יישום ידע" על כל גווניו הוא
השכיח ביותר. אך עלו קריטריונים רבים נוספים משמעותיים,
המופיעים באיור 1, שמומלץ לחזק אותם ולתת להם חשיבות
בבחירת סל הניסויים.

יש לציין שגם הקריטריון "יישום ידע" מקבל פרשנות שונה
אצל מורים שונים. אנחנו ממליצים להפוך את יישום הידע
להוראה מפורשת הכוללת שאלות נלוות לניסוי ועיבוד יחידי
של הידע שנרכש בניסוי.

לסיכום, ברצוננו להודות למורים שענו על הסקר. התובנות
שלהם עזרו לנו בגיבוש קריטריונים ללמידה משמעותית
במעבדת החקר. בעקבות הסקר ובעקבות ניתוח ומיפוי
ניסויים שנערך על-ידי המרכז הארצי למורי הכימיה,

שכיחות ביצוע ניסויים במסגרת יחידת מעבדת החקר (שאינם מופיעים ברשימה הנתונה).

מורים נתבקשו לרשום ניסויים שהם מבצעים בכיתתם אך
אם אינם מופיעים ברשימת "הנפוצים". בטבלה 4 מוצגים
ניסויים שלפחות 10 מורים דיווחו עליהם.

טבלה 4. ניסויים שמורים מבצעים במסגרת יחידת מעבדת החקר ושאינם
מופיעים ברשימת הניסויים הנפוצים. בטבלה מוצגים ניסויים שלפחות 10
מורים דיווחו עליהם.

מספר מורים	רמת חקר	שם הניסוי
25	2	קר כמו קרח
22	2, 2 חלקי, 1	טיטריציה של מיצים (חומצה - בסיס)
20	2, 2 חלקי	סוד הסופגנייה
20	2 חלקי, 2	חם קר
16	2	טיטולים
14	2, 2 חלקי	ערבוב נוזלים
12	2 חלקי, 2	הסרת כתמים (ננו)
12	1	אנתלפיית שרפה של מגנזיום
12	2	חלב טרי או חמוץ
11	2, 1 חלקי	קביעת ריכוז סוכר במיצים
11	2	אנתלפיית המסה של חומרים
11	2 חלקי, 2	גן כימי
11	2, 1	קביעת ערך קלורי (אגוז, במבה)
11	2, 1 חלקי, 2	בעירת זיקוק
10	1	גודל טיפה

ג. ניסויים שלפי תפיסת המורים מקדמים למידה משמעותית במעבדת החקר

כפי שציינו, אחת ממטרות הסקר הייתה לבחון ניסויים לפי
תפיסת המורים מקדמים למידה משמעותית. לכן ביקשנו
מהמורים לבחור מתוך הניסויים שהם מבצעים, שלושה
ניסויים שלדעתם מקדמים למידה משמעותית, ולנמק את



טבלה 5. ניסויים שמקדמים למידה משמעותית במעבדת החקר ונימוק לדוגמה לגבי כל ניסוי.

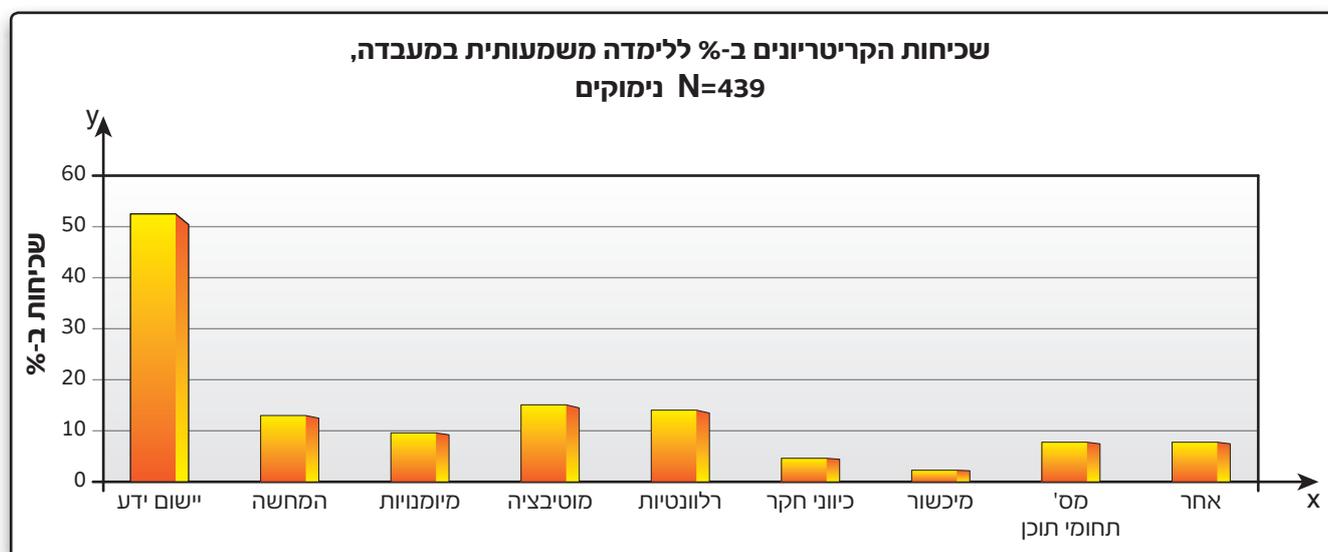
שם הניסוי	מס' המורים שבחרו בו	דוגמה לנימוק
ה-X הנעלם	68	רקע מדעי מקביל לחומר שנלמד בפרק חובה "אנרגיה ודינמיקה", מה שמאפשר לתלמידים ליישם ידע תאורטי ולחזק אותו.
אבקות לבנות (חומרים ביתיים)	49	מלמד כתיבת תכנון ניסוי בתרשים זרימה. מלהיב את התלמידים, מהווה אתגר, ובנוסף מחזק חזרה בנושא מבנה וקישור.
חומרים בשקית	33	הניסוי מתייחס לנושא האנרגיה, חומצות ובסיסים, סטוכימטריה ותופעות בחיי היום יום, ובנוסף מתייחס למגוון מיומנויות חקר.
נחש בועות	22	התוצאה שלו מפתיעה מאוד ומעוררת סקרנות ומוטיבציה לחקר המשך.
פופקורן	19	בניסוי זה מתרחשת למידה תלויה הקשר, למידה שבה התלמידים נוכחים לדעת עד כמה הכימיה חשובה להם כדי להבין מה מתרחש מסביבם בחיי היומיום שלהם.
חומצה בסיס	17	כולל ניסוח תגובות ומיומנות הטיטראציה. גורם להבין טוב יותר את תפקיד האינדיקטור ואת התנהגות החומצה והבסיס.
אנתלפיית שרפה/ המסה/ ערך קלורי	13	חישוב אנתלפיית שרפה ניסויי. המטרות: יישום של נושא האנרגיה, השוואת תוצאות הניסוי עם נתונים ידועים, ניתוח הטעות וגורמיה.
שורה אלקטרוכימית	12	המחשת התגובות הנלמדות בכיתה. צבעי תמיסות יוניות ספציפיות הממחישות את הרמה המאקרוסקופית, והסבר ברמת המיקרו והסמל.
הצימוקים	12	בניסוי זה רואים את הברק בעיני התלמידים. הם מתלהבים מאוד ומעורבים בעניין. ובנוסף התלמידים מקשרים ניסוי זה לטכנולוגיה ולתופעות מחיי היום יום.
חם קר	11	ניסוי מצוין להמחשת תגובה אקסותרמית ואנדותרמית. שאלות חקר מוצלחות מובילות להצלחת הניסויים. התלמידים מרוצים ומפנימים יפה את המושגים הללו.
צמד מבחנות	11	תלמידים מתלהבים מהניסוי, מהצבעים, מהנצנצים שעל המבחנה הגדולה. כמו כן ניתן לשלב רקע מדעי נרחב, אנרגיה, מבנה וקישור, מערכות מצומדות וכו'...

לביצוע בכיתה. בבחירת הניסויים המופיעים באתר המרכז הארצי הושם דגש על כך שיהיו מעוררי מוטיבציה ורלוונטיים לחיי היום יום. חלק מהניסויים מאפשרים הרחבה והעמקה של מושגים שאינם בתכנית הלימודים. הניסויים בוצעו ע"י מורים בכיתות לימוד.

התקיימה השתלמות קיץ שמטרתה הייתה לגוון את סל הניסויים שמורים מבצעים בכיתותיהם וכמובן לקדם למידה משמעותית במעבדת החקר. ניתן למצוא באתר המרכז הארצי הפניות לניסויים שלא הופיעו ברשימת "הנפוצים". הניסויים המופיעים באתר כוללים הנחיות לתלמידים וכרטיס מיפוי ניסוי שישמש את המורים ויעזור להם בבחירת ניסויים

טבלה 6. דוגמאות לנימוקים המסבירים מדוע ניסויים מקדמים למידה משמעותית במעבדת החקר, על-פי הקטגוריות

הקטגוריה	שם הניסוי	נימוק מדוע הניסוי מקדם למידה משמעותית
יישום ידע	כימיה עם זיקוק	"מאפשר להתייחס למגוון מושגים לאורך למידה בפרק האנרגיה והקינטיקה".
פיתוח מיומנויות חקר		"מאפשר לעבוד על מיומנויות חקר כמו הצגת מידע בגרף, ניסוח שאלות חקר. כשהניסוי מתבצע בקבוצות בכיתה, הוא מאפשר לטפל בנושא/חזרות, טעויות מדידה וכדומה".
מוטיבציה	צמד מבחנות	"ניסוי מאוד מרשים - התלמידים מאוד נהנים".
המחשה		"ממחיש מאוד טוב תגובה אקסותרמית ותגובה אנדותרמית, צימוד מערכות".
מכשור ועבודת צוות	בקבוקים לוחטים	"משתפים פעולה ועובדים בצוות עם התוכנה מולטי לאב שהיא ידידותית למשתמש".
רלוונטיות	כימיה של בישול	"שאלות החקר: 1. האם וכיצד שטח הפנים של תפוחי אדמה משפיע על זמן הבישול? השאלה לא רק מובילה תלמידים להבין את עקרונות הקינטיקה הכימית ולהעמיק ידע ברב-סוכרים אלא מאפשרת לקשר את תוצאות הניסוי לחיי יום-יום. 2. שאלת החקר: האם וכיצד סוג הירק (תפוא"א, בטטה, הגזר, הסלק) משפיע על זמן הבישול? מובילה תלמידים לא רק להעמיק את הידע בסוגים של עמילן אלא גורמת לתלמידים להבין למה לא שמים את כל הירקות ביחד לתוך סיר בעת הבישול."
כיווני חקר רבים	חומרים בשקית	"התלמיד יכול להעלות רעיונות המובילים לכיוונים שונים כגון סטוכיומטריה, סתירה ותרמודינמיקה ומספר הפרוטונים שמשתחררים מהמולקולות של חומצת הלימון".
כולל מספר תחומי תוכן		"ניסוי המאפשר ריבוי של תצפיות, והבסיס המדעי שלו עוסק בהרבה נושאים הנלמדים במהלך השיעורים הפרונטליים".



איור 1. שכיחות הקריטריונים שמקדמים למידה משמעותית ביחידת מעבדת החקר כפי שדווחו על-ידי המורים בסקר.

פרס המורה המצטיין לשנת תשע"ד על שם ד"ר ורה מנדלר ז"ל



הפרס לשנת תשע"ד מוענק השנה: לגברת סופיה ליידרמן

נימוקי הוועדה



כותבות שתיים מתלמידיה של סופיה: יכל שגיא חשבה שנה אימוץ שלנו לא נקלנו מולו במורה כה מסורה ומקצועית כמו סופי. מסיבה דרי יכל שולח מהמחוקק אהבאם המדעים: "בחינוכי סופיה היא מופת אמורה שהלכה אלו, אלא ידעה שפה, אדם קליים מלובים, נעלה יגד בקריה גה, מחולל שנינו אמיני ונעלה בחיי גלמידיה ולמיניה".

סופיה ליידרמן היא מורה בבית הספר התיכון רוגוזין בקרית גת. את לימודי הכימיה והביולוגיה עשתה באוקראינה. סופיה עלתה לארץ בשנת 1994 ועברה הסבה למורים עולים במכללת אחווה. משנת 1999 ועד היום היא מלמדת בתיכון אורט בקריית גת והיא דוגמה ומופת למורה לכימיה.

דר' מירי קסנר האחראית על פרויקט "יש לנו כימיה" מציינת: "סופיה איולה אלוך השנים אג גלמידיה בהכנה הפלויקטיים בצורה מקצועית ביוגה... רבים מגלמידיה זכו בפרסים על עבודתהם המצוינות".



נראה שלסופיה יש אנרגיות אינסופיות: היא מפתחת חומרי למידה והפעלות בקורסי מורים, מניעה תלמידים להשתתף בתחרות "יש לנו כימיה", ארגנה כנסים לתלמידים באזור הדרום, הקימה כיתת מופת בבית הספר והיא מנחה מורים חיילים במסגרת פרויקט "עתידים".

מסכם בועז הדס המכיר את סופיה מפעילויות במכון ויצמן: "יאני חושב לסופי מהוה דמול מופת של מורה המשנה בגלמידיה אג אהבה המדעים והכימיה".

כותבת עליה ציפי בן טולילה, מנהלת בית ספרה: "זכור גדול היא אישית אהבה, לסופיה מלמד אצלנו. סופיה חשה אמן גלמידיה מכל ומעבר אנדרט אומות על המורה".

על היותה של סופיה ליידרמן מורה יוצאת דופן, העושה מעל ומעבר לנדרש, הרואה בתלמידיה נכס אנושי שיש לפתח ועל התמדתה בחידוש ובאהבתה למקצוע בקרב מורי הכימיה בפריפריה החלטנו להעניק לה את פרס המורה המצטיין לשנת תשע"ד על שם דר' ורה מנדלר.

הוא מסיפה " לפני מספר שנים, נחלס רק גלמיד אחד אהבה הכימיה. סופיה לא יגרה על גלמיד זה, ובמשך 3 שנים אימדה אלו שילוחים פרטיים בהגדבה אלו פלישה אלו אהבה. הגלמיד קיבל 100 בהחנה בהלול אלו אומד שנה רביעה רפואה. מאז, על מספר הגלמידים הומודים כימיה האופן מועבר ומסילוגה של סופיה גלמידיה, הפך אדם דבר בהיחיים".

על החתום:

דר' דורית טייטלבוים, דר' רחל ממלוק-נעמן, גב' אילנה זהר, פרופ' דני מנדלר

פרס המורה המצטיין לשנת תשע"ד על שם נעמה גרינשפון ז"ל



ניהאל נאסר

הנימוקים להענקת הפרס לניהאל נאסר

במקביל ניהאל ממשיכה ללמד ולהנחות מורים במסגרת תפקידה כמדריכה. היא שמחה לארח פרחי הוראה בכיתה, והקשר הטוב שהיא מקיימת אתם ועם תלמידיה משרה אווירה מיוחדת בשיעורים. ניהאל מעודדת את תלמידיה להשתתף בתחרויות שונות בכימיה. בשנה"ל תשע"ב תלמידיה שלה זכתה להגיע לשלב האחרון בכימאדה.

אין ספק שניהאל מהווה דוגמה למורה לכימיה הלומדת ומתפתחת כל הזמן מבחינה מקצועית, מעורבת בהוראת הכימיה בארץ, תורמת לקידומה ומהווה דוגמה למורים רבים.



ניהאל היא מורה לכימיה זה 10 שנים ובעלת תואר שני. ניהאל הייתה מורה נסיינית חלוצה במגזר הערבי בהוראת תכנית הלימודים החדשה בכימיה, עוד לפני שחומרי הלימוד תורגמו לערבית. במקביל היא השתלבה בפעילות קבוצת הכימיה בטכניון ותרגמה לערבית שני ספרי לימוד: האחד בכימיה - "אנרגיה בקצב הכימיה" והשני במוסט"ב ובלמודי סביבה - "איכות האוויר סביבנו". עבודתה יסודית, רצינית ואחראית.

במסגרת לימודי התואר השני חקרה את עמדותיהם של מורים במגזר הערבי כלפי הוראה ולמידת כימיה בשילוב חקר אירועים ולמידה דו-לשונית בכיתותיהם. למחקר תרומה ישומית למורים במגזר הערבי במובן זה שהוא מחזק אותם בהתמודדות עם הוראה של חקר אירועים בסביבה דו-לשונית.



יהודית פלדמן

הנימוקים להענקת פרס ליהודית פלדמן

זה 33 שנים שיהודית מוערכת מאוד כמורה וכרכזת כימיה בקרב מורים ובמיוחד בקרב תלמידים ובוגרי בית הספר. היא מקפידה על רמת לימודים גבוהה במגמה, מציבה דרישות גבוהות בפני תלמידיה ומובילה אותם להישגים גבוהים בקנה מידה ארצי. כל זאת לצד יצירת קשר אישי, גילוי יחס מתעניין ואכפתי כלפי כל תלמיד, הקניית אהבת המקצוע, חינוך לערכים, והכול בדרכי נועם.

כמי שרואה במקצועה שליחות, היא מקפידה להשתלם, מתעדכנת באופן שוטף ומביאה חידושים שונים בדרכי ההוראה ובתכנים. יהודית מנחה מורים בצוות שהם בתחילת דרכם, ובמיוחד עולים חדשים, וכן מנחה סטודנטים לתעודת הוראה בכימיה. יהודית נבחרה לייצג את המורים בוועדה לקביעת מסגרת התכנית החדשה בכימיה בהשלמה מ-3 ל-5 יח' לימוד. כמו-כן עסקה בניתוח בחינות הבגרות בכימיה והייתה מורה נסיינית בתכנית הננו-כימיה והמעבדה. מרגש לציין כי יהודית הייתה תלמידתה של נעמה גרינשפון ז"ל במסגרת לימודי תעודת ההוראה ובתחילת דרכה.

בדרכי הוראתה המקוריות ובהתנהגותה האנושית והערכית יהודית מהווה מודל לתלמידיה ולמורים צעירים ופרחי הוראה שהיא חונכת. היא "מורה לחיים" ותורמת להעלאת קרנו של המקצוע ולקידומו.



יהודית היא בוגרת הטכניון בכימיה ובהכשרת מורים ובוגרת תואר שני מבית ספר לרפואה שבמסגרתו כתבה והעריכה תכנית לימודים שדנה בסיכונים כימיים בתעסוקה. בנוסף עסקה בליווי ובייעוץ כתיבת מערכי שיעור מתוקשבים בכימיה לאינטרנט. יהודית דאגה להתאמת המערכים לתכנית הלימודים החדשה וכמובן עקבה אחר השימוש ביישומים המתקדמים להוראת הכימיה.



כנס המרכז הארצי למורי הכימיה

שושן פורים תשע"ד



על-שם ד"ר ורה מנדלר הוענק לסופיה ליידרמן, מורה בבית-הספר התיכון "רוגוזין" בקרית גת ובתיכון כפר סילבר, "על היותה מורה יוצאת דופן, העושה מעל ומעבר לנדרש, הרואה בתלמידיה נכס אנושי שיש לפתח, ועל התמדתה בחידוש ובאהבתה למקצוע בקרב מורי הכימיה בפריפריה". בפרס על-שם נעמה גרינשפון זכו במשותף יהודית פלדמן מתיכון "שוהם" ומתיכון "ברנר" בפתח תקווה, וניהאל נאסר מתיכון יפיע על-שם ראוף אבו חאטום. הפרס הראשון לעבודת גמר מצטיינת בכימיה, על-שמו של איטן פלד, הוענק לתלמיד עילי המרשלק מבית החינוך "שער הנגב", על עבודת גמר שעסקה בחיי המדף של פסטה. במקום השני, שהפרס לו ניתן בחסות חברת "טבע", חלקו רימה גנאים מתיכון באקה אלגריביה ועדיאל מוסטיקי מתיכון "שחקים" בנהריה. פרס עאסי הוענק לתלמידים מהמגזר הערבי שעלו לגמר באולימפיאדת הכימיה הארצית - "הכימיאדה".

הכנס כלל שני מושבים מדעיים, בהם שולבו הרצאות מחזית המחקר בכימיה עכשווית עם הרצאות פדגוגיות על הוראת הכימיה בעידן הטכנולוגי. ד"ר ירדן טשיל, מהמחלקה לכימיה באוניברסיטת בר אילן, סיפר על האפשרות לצפות בחלכונים בפעולה, בזמן אמת, באמצעות ציוד המבוסס על

כנס המרכז הארצי למורי הכימיה לשנת תשע"ד התקיים בשושן פורים, תחת הכותרת "הכימיה של המחר - כבר כאן!". הכנס נפתח בדברי ברכה שנשא ד"ר רחל ממלוק-נעמן, מנהלת המרכז הארצי למורי הכימיה; פרופ' אהוד קינן, נשיא החברה הישראלית לכימיה; וד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה.

ד"ר ממלוק-נעמן ציינה, כי תפקיד המורה ומעמדו הוזכרו באחרונה פעמים רבות בתקשורת, וכי התברכנו במספר חתני פרס נובל בכימיה, אשר תורמים למערכת החינוך בכלל וללימודי הכימיה בפרט, ומדגישים את תפקידו של המורה בהנחלת עקרונות הכימיה לתלמידים, ובחינוך באמצעות הכימיה. פרופ' קינן סיפר על המאמצים שמשקיעים החברה הישראלית לכימיה ומדענים בקידום לימודי הכימיה בבתי-הספר העל-יסודיים בפריפריה. ד"ר טייטלבוים אמרה, שללמוד כימיה בתיכון, משמעותו להשתייך לקבוצת איכות מצוינת של תלמידים - קהילה לומדת, מתעדכנת, מתחדשת ויצירתית, המשפיעה על הדורות הבאים של מדענים פורצי דרך.

במסגרת הכנס הוענקו פרסים למורי כימיה מצטיינים: הפרס





המדעים והטכנולוגיה בטכניון, הנחתה סדנה שעסקה בכלים מקוונים ללמידת כימיה בכיתה ט'. ד"ר רון בלונדר ושלי רפ, מהמחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, הינחו סדנה שעסקה בשימוש בפלטפורמת הפייסבוק לקידום הוראת הכימיה באמצעות שיח מדעי בנושאי הלימוד.

בראש הוועדה המארגנת של הכנס עמדה זיוה בר-דב, והיא כללה את שרה אקונס, ד"ר רון בלונדר, ד"ר מלכה יאיון, ד"ר דבורה קצביץ, וד"ר יעל שורץ מהמחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע.

הכתבה פורסמה לראשונה בגיליון "המכון" 75.

תהודה מגנטית. פרופ' רון נעמן, מהמחלקה לפיסיקה כימית במכון ויצמן למדע, נשא הרצאה תחת הכותרת "האלקטרון המסתובב בין כימיה, פיסיקה וביולוגיה". נורית דקלו, מורה בבית-הספר הרב-תחומי (עמל ב') בפתח תקווה, סיפרה על "שיעורי הכימיה שלי": פרויקטים טכנולוגיים ולמידה מחוץ לקופסה". ד"ר דורית טייטלבוים נשאה הרצאה שעסקה בלימודי כימיה תיכוניים בעידן המודרני-טכנולוגי. המורות שזכו בפרס על-שם נעמה גרינשפון נשאו הרצאה בה תיארו את דרכי ההוראה שלהן ואת המחקר החינוכי בו לקחו חלק.

הכנס ננעל במושב סדנאות, שהנחו חוקרות להוראת הכימיה. ד"ר אורית הרשקוביץ, מהמחלקה להוראת



פרס עאסי אשר הוענק לתלמידים מהמגזר הערבי שעלו לגמר באולימפיאדת הכימיה הארצית - "הכימאדה"



פרס על עבודות גמר מצטיינות שהוענק בחסות חברת "טבע תעשיות פרמצבטיית"



שכן חדש בטבלה המחזורית:

היסוד העל-כבד שמספרו 115

חני אלישע*

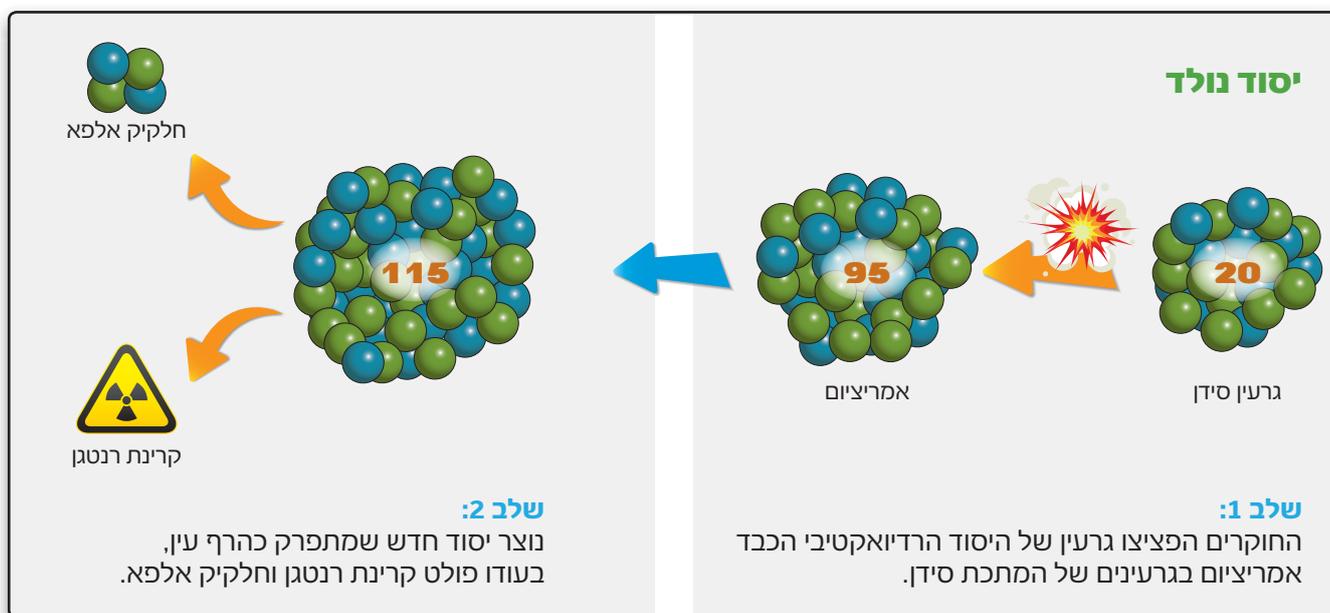
מבוסס על כתבה שפורסמה בעיתון "הארץ" 8/2013

היסוד Ununpentium איננו קיים בטבע, אך פיזיקאים שוודיים הצליחו להוכיח את קיומו במעבדה בטרם התפרק ונעלם.

יסוד כימי כבד שבגרעינו 115 פרוטונים, הצטרף לא מכבר אל הטבלה המחזורית למרות שכימאים אינם מעריכים שיוכלו לראותו בעתיד הקרוב. היסוד המלאכותי החדש איננו קיים בטבע, והוא נוצר אך ורק בתנאי מעבדה וגם אז לפרק זמן קצר משנייה. היסוד החדש ימוקם בטבלת היסודות המפורסמת של מנדלייב בין שני יסודות חדשים שנוספו לאחרונה - האחד עם 114 פרוטונים (פלרוביום) והשני עם 116 פרוטונים (ליברמוריום).

היסוד החדש התגלה לראשונה לפני עשור על ידי חוקרים רוסים ואמריקניים, אולם הארגון הרשמי של כימאים ופיזיקאים הממונים על הטבלה המחזורית, ביקש ממעבדה אחרת לחזור על הניסוי בטרם יאושר דבר קיומו ולהוסיף אותו באופן רשמי לטבלה. השבוע הודיעו פיזיקאים מאוניברסיטת לונד שבשבדיה כי הצליחו לחזור על הניסוי בהצלחה. בניסוי שנערך במאיץ החלקיקים בדרמשטדט שבגרמניה, נצפו אותם דפוסי התפרקות שתועדו בניסוי האמריקני-רוסי.

החוקר ריקאצ'ווסקי שלקח חלק בניסוי ציין כי בהתפרקות הראשונה נהפך יסוד 115 ליסוד 113, תוך כדי פליטת חלקיק אלפא - α .



איור 1. יצירת Ununpentium באופן מלאכותי מגרעיני סידן והיסוד אמריציום

* חני אלישע, רכזת כימיה, מקיף ש"י עגנון, נתניה.



3. קבעו מה ההבדל בין יסוד שמספרו האטומי 90 לבין יסוד שמספרו האטומי 96.

4. רישמו את תהליך התפרקותו של יסוד 115 ליסוד 113 במהלך פליטת חלקיק α , בהנחה שמספר המסה של אטום של יסוד 115 היה 253.

5. מהי, לדעתכם, הסיבה לפליטת קרינת רנטגן בעת התלכדות של גרעין היסוד אמריציום ושל גרעין היסוד סידן?

6. באיור 2 מופיע חלק ממהלך ההתפרקות הרדיואקטיבית של אורניום $^{238}_{92}\text{U}$. השלימו את החסר באיור.

7. היסוד נפטוניום, ^{93}Np , הוכן ב-1940 ע"י "הפצצת" בנויטרונים. כאשר אטום $^{238}_{92}\text{U}$ "בולע" נויטרון נוצר _____ . האטום שנוצר פולט חלקיק β ואז נוצר _____ .

מידע נוסף:

הערך [Ununpentium](#) בויקיפדיה.

פרטים לגבי [Ununpentium](#) באתר WebElements.

סיפור גילוי של [Ununpentium](#).

כדי ליצור את יסוד 115 ירו המדענים גרעינים של איזוטופ של סידן לעבר מטרה שהכילה אטומים של אמריציום. מדי פעם נוצר היתוך גרעיני בין אטום סידן לבין אטום אמריציום, דבר שיצר את האטום החדש שבגרעינו 115 פרוטונים. האטום החדש התפרק כהרף עין, ולמעשה הסיקו החוקרים את דבר קיומו מהשרידים שהותיר אחריו. נוסף על כך, לראשונה צפו החוקרים בטביעות אצבע של קרינת רנטגן שנפלטה בעת ההתפרקות וסיפקה עדות ישירה יותר לכך שהאטום שבו מדובר הכיל 115 פרוטונים. פרטים על הניסוי פורסמו בכתב העת המדעי *Physical Review Letters*.

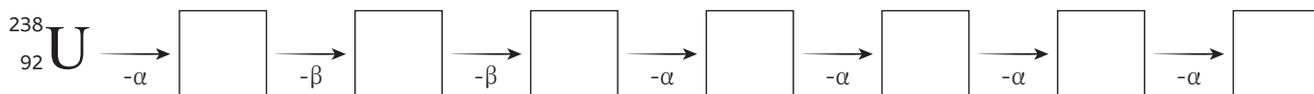
כעת מדענים לוטשים עיניים לעבר יסודות 117 ו-118, שגילויים טרם קיבל אישור רשמי. חקר אטומים כבדים במיוחד - יסודות כימיים לא יציבים שמספריהם האטומיים גבוהים מ-92 - מסייעים למדע להבין טוב יותר את הכוחות היסודיים שמחזיקים חלקיקים שונים יחד בתוך הגרעין ובדרך זו להבין את הבסיס לקיום החומר.

ענו על השאלות הבאות:

1. מדוע לא הוסיפו את היסוד 115 לטבלה המחזורית כבר בפעם הראשונה שבה הצליחו ליצור אותו במעבדה?

2. א. מהו מספר הנויטרונים של יסוד שמספרו האטומי 92 ומספר המסה 235?

ב. האם אטום שמספרו האטומי 91 ומספר המסה 235 הנו איזוטופ של היסוד הנ"ל? הסבירו ונמקו.



איור 2. חלק ממהלך ההתפרקות של איזוטופ האורניום

מחקר פורץ דרך בשימושי המגנזיום כשתל

אורי בורג, אילן מרטיוק, מעוז מרקרבס*

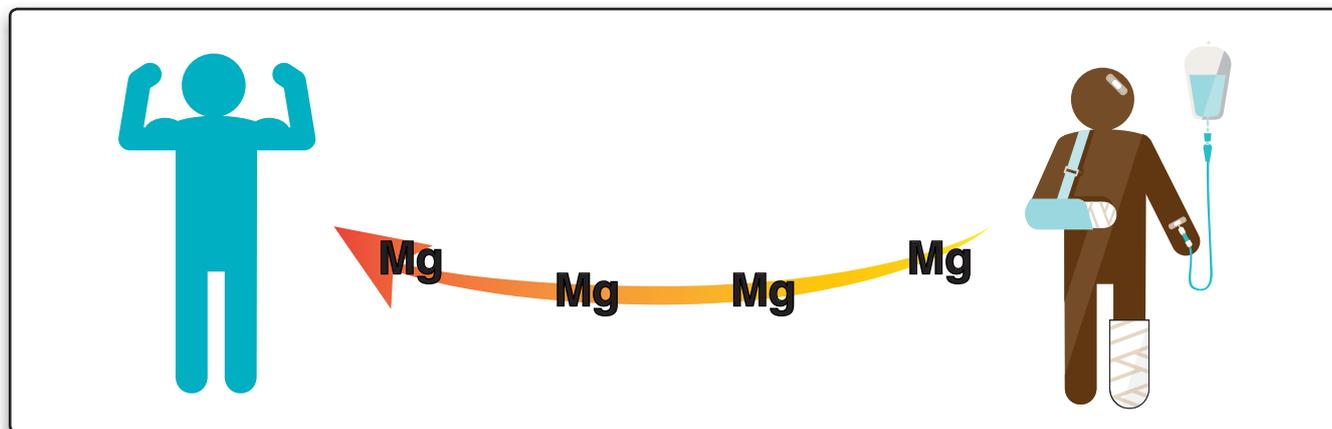
הם מתכלים בהדרגה בזמן שהעצם נבנית מחדש. השתלים המתכלים המצויים בשוק כיום עשויים מחומרים פולימריים או קרמיים, יש להם תכונות מכניות הדומות לעצם, כך שהם עשויים להקיף את רקמת העצם. לאחרונה התגלה שלמגנזיום, Mg - יסוד השייך למשפחת המתכות האלקליות העפרוריות, ולסגסוגות שלו, יתרון בהתפתחות רקמת העצם. הוא גורם ליציבות גבוהה של השתל ולבסוף - להחלפת השתל שהתכלה בעצם. מכיוון שמגנזיום מתכלה, אין צורך בניתוח שני להסרת לוחיות המגנזיום. דבר אשר מפחית את העלויות הכספיות ומשפר את איכות חייו של המטופל.

יתרון נוסף הוא שהמגנזיום הוא בעל צפיפות של 1.74 גרם לסמ"ק בדומה לצפיפות העצם, והוא מותאם ביולוגית כתחליף לעצם. כמו כן מגנזיום הכרחי לתפקודו התקין של הגוף, הוא מצוי באתר הפעיל של אנזימים שונים המשמשים בתהליכי הפירוק והבנייה המתבצעים כל העת בגוף. חוסר במגנזיום עלול לגרום לתופעות כגון רעד בשרירים, בעיקר

לפני כמה שנים עבר ד"ר גיא בן חמו תאונת דרכים, שבעקבותיה היה צורך להשתיל לו עצמות. אמנם נמצא תחליף לעצמות שנשברו, אבל גיא ידע שכעבור כמה שנים הוא יצטרך לעבור ניתוח נוסף לצורך החלפת השתלים. ניתוח הוא הליך מורכב, שבו נעשית פעולה פולשנית שיכולה לגרום לזיהומים ולסכנת חיים. לכן היה צריך לחשוב על פתרון לבעיה זו.

ידוע שהשתלים הם לוחיות עצם מתכתיות שמהוות תמיכה מכנית בקיבוע פנימי לריפוי שברים בעצמות. כיום פלדות אל חלד וסגסוגות טיטניום משמשות ללוחיות עצם, בגלל עמידותן הגבוהה בפני קורוזיה. לפתרון זה כתחליף לעצם יש חסרון. לאחר החלמת השבר ובניית העצם מחדש, יש להוציא את הלוחיות מהגוף בניתוח. פתרון אחר לבעיה זו הוא השתלת שתל מתכלה.

לשתלים המתכלים יתרונות בתיקון רקמות עצם פגועות.



איור 1. שתל מגנזיום משפר את ההחלמה ואת איכות חייו של המטופל

* אורי בורג, אילן מרטיוק, מעוז מרקרבס, תלמידים בכיתה ט', בית הספר: מקיף ג' באר שבע, בהנחיית המורה חווה סטרול. הכתבה זכתה במקום הראשון במסגרת תחרות הכתבות בפרויקט לעידוד לימודי הכימיה - יש לנו כימיה! כימיה תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט, תשע"ד.



האלקטרוניס. תהליכי הקורוזיה מהווים בעיה נפוצה שגורמת לנזקים במבנים ובאנויות, ולכן גם לנזקים כלכליים. באיור 2 תמונה המתארת גלגל שיניים שעבר קורוזיה.

מסיבות אלה תגובה זו נחקרת רבות. המהירות שבה מתרחשת התגובה תלויה בעיקר בסוג המתכת ובסביבה שבה המתכת מצויה. במעבדת המחקר של ד"ר גיא בן חמו במכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון, מתבצע מחקר בנושא קצב התפתחות הקורוזיה בשתלי מגנזיום ובסגסוגות מגנזיום.

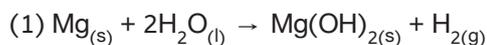
במחקר נחקרים התנאים השונים שבהם מגנזיום מגיב עם המים, ולשם כך משנים, למשל, את כמות המלחים בתמיסות מימיות שונות המדמות נוזלי גוף ואת ריכוז התמיסות. במחקר נבדק קצב התגובה בתנאים שבהם מצוי השתל בגוף, על מנת להתאים את קצב התכלות השתל לקצב בניית העצם. המטרה במחקר היא לבדוק ולמצוא מהם התנאים שבהם השתל מתכלה באותו הקצב שבו העצם נבנית. המחקר מתבצע בשיטה אלקטרוכימית¹ שבה נמדדת כמות המימן ויוני המגנזיום שמשתחררים כתוצאה מהתגובה כתלות בזמן. בשיטה זו מחברים נתך מגנזיום כמוליך, הנמצא בתמיסה מימית, לספק מתח, פוטנציאלסטט, ומודדים את הזרם שנוצר כתוצאה מהתהליך. הזרם הוא מדד לכמות המימן ויוני המגנזיום שמשתחררים בתהליך כתלות בזמן. איור 3 מתאר נתכים של סגסוגות מגנזיום שעברו טבילה בתמיסת בופר פוספאט. מהאיור ניתן לראות שבמשך הזמן התרחש תהליך קורוזיה. האזורים שבהם נוצרה קורוזיה אינם אחידים. כמו כן הקורוזיה בסוגי הסגסוגות השונות היא שונה, ומכאן ניתן להסיק שסוג הסגסוגת משפיע על הקורוזיה ועשוי להשפיע על התכלות השתל.

בעזרת מיקרוסקופ אלקטרוני² חוקרים את שטח הפנים של המגנזיום שהשתנה כתוצאה מתגובת הקורוזיה. שטח

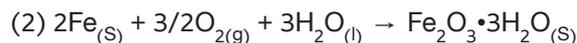


איור 2. יצירת חלודה על גלגל שיניים

בגפיים, ובעיות במערכת העיכול. כאשר מתכות שונות מתכלות, הן מפרישות לגוף יונים רעילים. לעומתן יוני מגנזיום נצרכים על ידי הגוף. עודף מגנזיום שנוצר בתהליך התכלות השתל, מופרש דרך השתן. כאשר מגנזיום מושתל בגוף כשתל, השתל מתכלה על ידי כך שהמגנזיום עובר תהליך חיצון-חיזור בתגובה עם המים המצויים בגוף. להלן תגובה (1):



תגובות חמצון-חיזור הן תגובות שבהן מועברים אלקטרוניס מאטום אחד למשנהו או ממולקולה אחת לאחרת. דוגמה לתהליך חמצון-חיזור היא תגובת קורוזיה, בעברית שיתוך. זוהי תגובה בין מתכת לבין חמצן ומים. תגובה נפוצה היא חלודה שהיא תגובה בין ברזל לחמצן בנוכחות מים, להלן תגובה (2):



בהיווצרות חלודה החמצן משמש כחמצן, כלומר, כמקבל האלקטרוניס, והמתכת היא החומר המחזר שמוסר את

1. אלקטרוכימיה הוא ענף בכימיה אשר עוסק בתגובות כימיות שבהן מתרחשים מעברי אלקטרוניס.

2. מיקרוסקופ אלקטרוני הוא מיקרוסקופ המסוגל להגדיל עצמים קטנים במיוחד, עד פי 10,000,000 מגודלו המקורי של העצם. הוא עושה זאת על ידי שליחת קרינת אלקטרוניס שפוגעת בעצם. עוצמת קרינת האלקטרוניס שחוזרת כתוצאה מהפגיעה בעצם נמדדת, ובכך ניתן לסרוק פני שטח ברזולוציה גדולה.

t=30min	t=15min	t=5min	
			סגסוגת מגנזיום אבץ
			סגסוגת מגנזיום אבץ סיליקון

איור 3. נתיכי סגסוגות מגנזיום שהוטבלו בתמיסת בופר פוספאט

רשימת מקורות

1. ד"ר עמנואל מזורולה, עקרונות הכימיה ב', הוצאת קווים, פרק 16 עמ' 1035.
2. פרויקט גמר של סטודנטית להנדסה כימית בנושא קורוזיה בשתלי מגנזיום בהנחיית ד"ר גיא בן חמו.
3. שיחה עם החוקר ד"ר גיא בן חמו ופגישה במעבדת המחקר שלו ושל ד"ר אריאלה בורג במכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון.
4. ויקיפדיה - האנציקלופדיה החופשית.

הפנים של המגנזיום נותן מידע על התוצרים שגדלים עליו כתוצאה מתהליך הקורוזיה, והוא מדד נוסף למה שיכול לקרות לשתל בגוף.

כיום יש בגרמניה חברה שמייצרת שתלים מסוג זה ומוכרת אותם. בשלב זה של המחקר עדיין לא נמצאו התנאים שבהם ניתן להשתמש במגנזיום לייצור שתל בבני אדם. שתלים מסוג זה נוסו על בעלי חיים, ועד כה היו הממצאים חיוביים, והם מראים שמגנזיום יכול לשמש תחליף לעצם בבעלי חיים. כעת נותר להמשיך בניסויים על קצב הקורוזיה של סגסוגות המגנזיום כדי שהסגסוגות יוכלו לשמש תחליף לעצם בגוף האדם.