



מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
על-שם עמוס דה-שליט



משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף א' מדעים
הפיקוח על הוראת הכימיה



עורכת אחראית: ד"ר דבורה קצביץ

מנהלת המרכז הארצי למורי הכימיה

dvora.katchevich@weizmann.ac.il

מערכת:

- ד"ר רחל ממלוק-נעמן, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע
- ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה
- פרופ' רון בלונדר, ראש קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע
- ד"ר יעל שוורץ, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

יעוץ מדעי: פרופ' ליאור קרוניק

עריכה לשונית: נדין קלברמן

גרסת אינטרנט: ד"ר שלי ליבנה

עריכה: אבי טל

עיצוב גרפי: ציפי עובדיה

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

תמונת השער: תמונת השער צולמה ע"י התלמידות תמימה סבאג, אפרת גולומב והדס בנימין, כיתה י"א אולפנת בהר"ן במסגרת התחרות "יש לנו כימיה"

איורים ותמונות המשולבים בעיתון זה נלקחו באישור מאתר שטרסטוק - Shutterstock

הפרויקט מבוצע עפ"י מכרז 09/07.13 עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך.

© 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 המחומר שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

תוכן העניינים

3..... דבר המערכת.

4..... דבר המפמ"ר.

חזית המדע

5 צבעים מבניים בטבע - יעל פלדמן-מגור, ז'אנה אוסיפוב.

מחקרים בהוראת המדעים

המושגים הבסיסיים והאפליקציות הננוטכנולוגיות המומלצות להוראה בתיכון:

12 תוצאות מחקר דלפי תלת-שלבי* - סוהיר סחניני, רון בלונדר

פעילויות

למידה חוץ כיתתית בכימיה, מפעל הסבונים של סבתא ג'מילה ומה שבניהם -

20 אורית הרשקוביץ, דנה פישר-שחור, צביה קברמן

26 הערכה חלופית, חדר בריחה ופרויקטים נוספים - רן לבינסקי

33 חדר בריחה חינוכי - מלכה יאיון

פינת התלמידים

39 goodלק - תמימה סבאג, אפרת גולומב והדס בנימין.

דבר המערכת

גיליון 31 של כתב העת "על כימיה" נועד להעמיק ולהרחיב את הדעת על מנת לשדרג את ההוראה שלכם. במדורים השונים תוכלו למצוא מאמרים שיכולים לעניין אתכם בתחום התוכן, בתחום הפדגוגי, בתחום הפדגוגי-תוכני וכן מאמרים להעשרה כללית.

במדור **"חזית המדע"** ניתן לקבל ראייה חדשה על צבעים בכתבתן של **יעל פלדמן-מגור וז'אנה אוסיפוב**: "צבעים מבניים בטבע". צבעים מבניים נוצרים על ידי שכבות של שני חומרים שמסודרות בצורה שווה, ויש להם מקדם שבירה או מקדם החזרה שונים זה מזה.

במדור **"מחקרים הוראת המדעים"** ניתן ללמוד על מחקר שנעשה במסגרת עבודת הדוקטורט של **סוהיר סחיני**. המחקר עוסק באיתור המושגים הבסיסיים והאפליקציות הננוטכנולוגיות המומלצות להוראה בתיכון ושנמצאו על ידי מחקר תלת-שלבי מסוג דלפי.

במדור **"פעילויות"** אנחנו נחשפים לפעילויות הערכה חלופית של **רן לבינסקי** המקדמות מאוד את התלמידים ובמקביל מקדמות את מקצוע הכימיה במסגרת הבית ספרית, פרויקטים שתורמים לנראות של כימיה בבית הספר. עוד במדור סיפורם של חדרי הבריחה שפותחו במרכז הארצי למורי הכימיה ע"י **ד"ר מלכה יאיון וד"ר רן פלג** – "חדר בריחה חינוכימי". חדרים שניתנים להשאלה על-ידי מורים להפעלה עצמית בבית הספר. המדור פעילויות מציע הפעם כיצד לנהל למידה מחוץ לכיתה במסגרת הכתבה "למידה חוץ כיתתית בכימיה, מפעל הסבונים של סבתא ג'מילה ומה שבניהם" שנכתבה על-ידי **ד"ר אורית הרשקוביץ**, **ד"ר דנה פישר-שחור וד"ר צביה קברמן**.

ב**"פינת התלמידים"** ניתן להתרשם מצילום של תמימה סבאג, אפרת גולומב והדס בנימין, תלמידות בכיתה י"א באולפנת בהר"ן. הצילום שלהן "goodלק" השתתף בתחרות "יש לנו כימיה". הצילום שזכה במקום ראשון בתחרות, מאפשר לתלמידים לבסס את הידע שלהם בנושא קישור בין-מולקולרי בכל הנוגע ליישומים יום יומיים.

לסיום, 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.

מערכת "על-כימיה"





כימיה - מקצוע בצמיחה

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

מורים יקרים,

כידוע לרבים, מקצוע הכימיה נמצא בצמיחה.

מקצוע הכימיה הוא חלק מהתכנית הלאומית לקידום המתמטיקה והמדעים, כפי שנאמר על ידי מנכ"ל משרד החינוך בכנס המורים הארצי למורי הכימיה שהתקיים השנה – תשע"ח.

בשנים האחרונות אנו רואים: **עלייה במספר התלמידים** הלומדים 5 יח"ל כימיה, **עלייה במספר בתי הספר** הלומדים כימיה, **עלייה בבקשות של מנהלי בתי ספר** בארץ לפתוח מגמת כימיה בבית ספרם, **ועלייה במספר הפניות של הורים** המבקשים כימיה בבית הספר שבו לומדת/בנם/בתם תפתח מגמת כימיה. צמיחה זו אינה מקרית, היא פרי של עבודה מאומצת של הפיקוח על הכימיה, של המדריכים לכימיה ושלכם - המורים לכימיה המלמדים בבתי הספר. ידוע לכל, כשיש מורה לכימיה שלתלמידים יש איתו כימיה, והתלמידים מרגישים שהמורה מקצוען ויודע להסביר באופן פדגוגי-דידקטי ובאופן מרתק ומעניין את רזי הכימיה, אזי יש תלמידים רבים הבוחרים ללמוד במגמת הכימיה.

אתם המורים, אתם המפתח להרחבת מקצוע הכימיה בארץ.

המשיכו בעבודתכם הטובה!

בגיליונות קודמים כתבתי רבות על האופן שבו ניתן לעניין ולרתק את התלמידים, לא אחזור על הדברים. אני ממליצה, כעת, כשאנו נמצאים ממש על סיפן של ההחלטות שמקבלים תלמידים והוריהם בנושא המגמות, לחזור ולהתבונן בהצעות אלו בגיליונות הקודמים במדור "דבר המפמ"ר": **על כימיה 25, 2015, על כימיה 26, 2016**. כמוכן תוכלו להציג את העשייה הנרחבת בבתי הספר. תוכלו להיזכר בכל הפעילויות שאתם ומורים אחרים עושים ב-**על כימיה 30, 2017**. אולי גם תראו את עצמכם באחת התמונות....



מר מוהנא פארס, מנכ"ל משרד החינוך מר שמואל אבואב, ד"ר דורית טייטלבוים, ד"ר גילמור קשת ופרופ' רון בלוונדר



מורים בכנס חנוכה תשע"ח

אני מציעה לכם המורים להתקבץ יחדיו בקבוצות קטנות ולחשוב ביחד איך מציגים את מקצוע הכימיה בערב המגמות להורים, לתלמידים וגם לצוות ההוראה והנהלה בבית הספר. החשיבה הצוותית עשויה בהחלט להניב תוצאות מצויינות, מרתקות ומגוונות בנושא. כמוכן שנשמח אם תשתפו את המדריכים ואת הפיקוח על הכימיה ברעיונות שתעלו, בחומרים, בתוצאות של פועלכם, כדי שנוכל לשתף בכך את כלל מורי הכימיה בארץ.

ולבסוף, לרשותכם, עומדים חומרים אשר הופקו במרכז הארצי למורי הכימיה: פוסטר "**כימיה זה הכינון**". וברושורים לחלוקה לתלמידים. אם אין בידכם את הפוסטר או את הרושורים אתם מוזמנים ליצור קשר עם המרכז הארצי למורי הכימיה ו/או עם המדריכים.

כימיה - מדע בסיסי חיוני למדינת ישראל!

כימיה - מדע התומך ומהווה תשתית למדעים אחרים!

למה נבדאי ללמוד כימיה?

- כימיה היא מדע המבין כיצד החומר בנוי ומתנהג.
- אם תמרים יבנים ברינה - כל ידע כלוריים המורכבים מן המרכיבים בנות.
- כימיה יכול להשתלב במגוון תחומי ישימה וישימה.
- ישימה, כימיה מביאה תועלת רחבה למדעים נדרשה כישור ישימה משימה, ידע כליל, ישימה המורכבים, ישימה ואינטואיטיבית מורכבות תחלואה.
- משימה מורכבת, ישימה המורכבים ישימה ועוד - העניין מושך לך!

כימיה מיועדת לך!

- המגמות כימיה מניחות את הנהיגה נוחה ללמוד לעבוד ולתמונה לך.
- כימיה משימה משימה את הנהיגה המשימה וישימה.
- כימיה ישימה עשיר על ידי כימיה המשימה הישימה את הנהיגה משימה כל ישימה ישימה ועוד.

האם מעניין אותך לדעת...?

- איר מועד ספר מעטל
- כמה ישימה ישימה
- איר מועד ספר מעטל
- איר מועד ספר מעטל
- איר מועד ספר מעטל

חלק מהברושור לתלמידים לקידום הכימיה





צבעים מבניים בטבע

יעל פלדמן-מגור, דוקטורנית, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, המחלקה למדעי הטבע והחיים האוניברסיטה הפתוחה

ז'אנה אוסיפוב, מורה לכימיה, בית ספר מקיף ד' ע"ש רבין, אשקלון

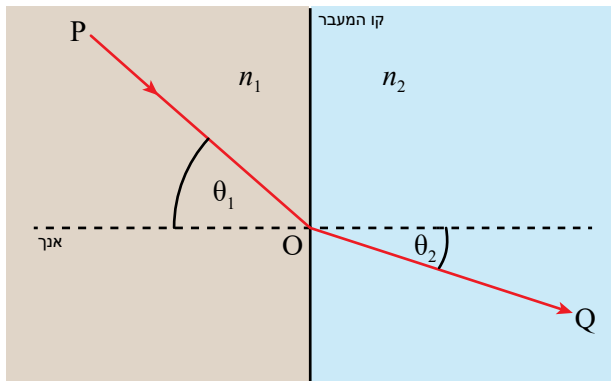
אור

אור בתחום הנראה הוא כינוי כולל לקרינה אלקטרומגנטית, אשר אורך הגל שלה נע בין 400 ל-750 ננומטר. קרינה אלקטרומגנטית קיימת גם באורכי גל אחרים שאיננו יכולים לראות. כבר בתקופתו של אייזיק ניוטון היה ידוע כי האור ניתן לתיאור מצד אחד באמצעות אופטיקה לינארית, בדומה לקרן של חלקיקים, ומצד שני נצפו תופעות גליות כגון התאבכות ועקיפה באור וזוהי למעשה הדואליות של גליות האור. כאשר שני גלים מגיעים לנקודת שיא יחד יש גובה כפול – התאבכות בונה; וכאשר גל אחד מגיע לשיא והאחר לשפל – יש התאבכות הורסת (ראו תמונה 2). כאשר התאבכות בונה נופלת בסקלת האור הנראה, אנו נראה אור. מנות האור מיוצגות על ידי פוטונים. כאשר פוטונים של אור פוגעים

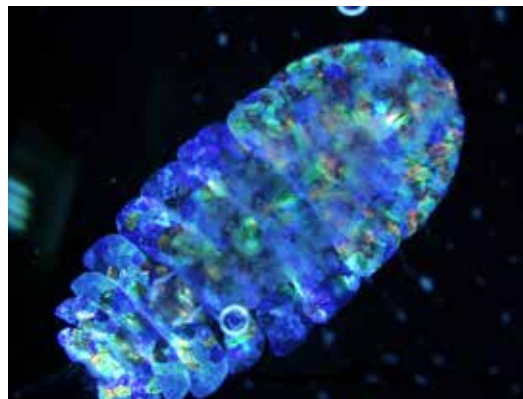
ספירי ים (Sapphirinidae) הם יצורים ימיים באורך של מספר מ"מ המציגים גוונים כחולים זוהרים וברגע הם יכולים להפוך לבלתי-נראים, ראו סרטון: [ספיר הים](#)

בכתבה זו נדון ביצורים אלו (ראו תמונה 1) שצבעם משתנה בהתאם לזווית האור באמצעות מבנים ננומטריים של גבישי גואנין. דוגמה זו היא דוגמה לצבע הנקרא צבע מבני. מנגנון יצירת צבע מבני שונה מהמנגנון המוכר לנו מחיי היום יום. כדי להבין את מנגנון הצבע המבני נחזור תחילה על מושגים הקשורים באור וצבע. לאחר מכן נסביר מה הם צבעים מבניים ונציג מחקר שבוצע על ספיר הים במסגרת עבודת הדוקטורט של ד"ר דביר גור מקבוצת המחקר של פרופ' ליאה אדדי ופרופ' סטיב ווינר.¹

1 המאמר מבוסס על עבודה בקורס "מבוא לחומרים וננוטכנולוגיה" המועבר במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן בהנחיית פרופ' רון בלונדר, ועוסק במחקר מעבודת הדוקטורט של ד"ר דביר גור מקבוצת המחקר של פרופ' ליאה אדדי ופרופ' סטיב ווינר מהמחלקה הביולוגיה מבנית במכון ויצמן למדע.



תמונה 3: חוק סנל



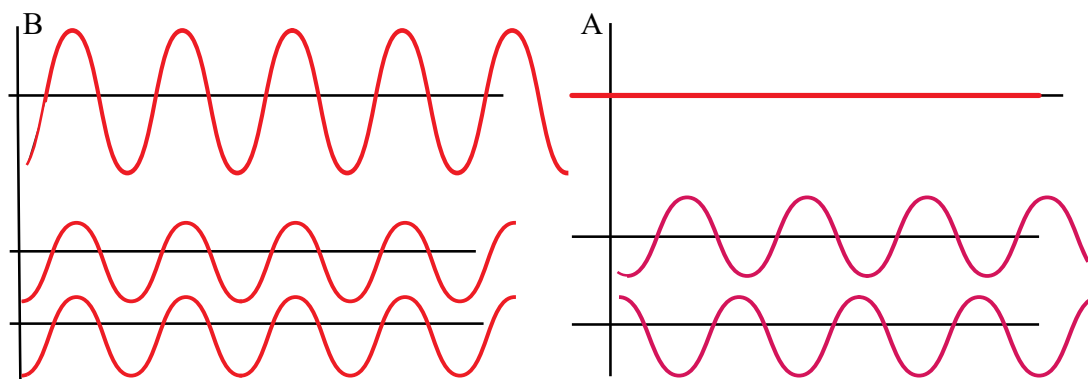
תמונה 1: ספיר הים
התמונה באדיבות ד"ר דביר גור ופרופ' ליאה אדדי.

הנראה ומפזרים ומחזירים לעינינו אורכי גל שאינם בולעים, ואלו הצבעים שאנו רואים. בתעשייה פיגמנטים משמשים לצביעת חומרים שונים כגון: דיו, פלסטיק, טקסטיל ואפילו מזון. בביוכימיה פיגמנט הוא כל תרכובת צבעונית המצויה בתאיהם של יצורים חיים. הפיגמנטים הם כרומופורים, חלק ממולקולה, או קבוצה פונקציונלית בה, המעניקים למולקולה צבע. ניתן לחלק את מרבית הכרומופורים לשני סוגים: מערכות מצומדות וקומפלקסים מתכתיים. בראשון, רמות האנרגיה שביניהן עוברים האלקטרונים הם אורביטלי π מורחבים, הנוצרים על ידי סדרת קשרים יחידים וכפולים, לסירוגין, לעתים במערכות ארומטיות. לדוגמה, ליקופן, בטא-קרופן ונתוציאנין. דוגמאות לכרומופורים מסוג זה הן כלורופיל (המשתמש בצמחים לפוטוסינתזה), המוגלובין (המעניק לכדוריות דם אדומות את צבען). בשני, קומפלקסי מתכת פועלים ככרומופורים על ידי פיצול אורביטלי d , לדוגמה, תמיסת יוני נחושת. בטבע קיימים צבעים נוספים שאינם מבוססים על בליעה אלא על ידי השתקפות והחזרה של אור, ואילו הם צבעים מבניים.

בחומר הקרן נשברת, חלק מהאור נבלע וחלקו מוחזר, ואנו בעצם רואים את הצבע של האור המוחזר. וילברורד סנל מצא כבר בשנת 1621 קשר כללי בין זווית הפגיעה לזווית השבירה. הוא גילה כי קיים יחס סינוס זווית השבירה לסינוס זווית הפגיעה. יחס זה תלוי בחומר, משתנה מחומר לחומר ונקרא מקדם השבירה של החומר ביחס לאוויר או לריק (ראו תמונה 3). אחת ההגדרות של מקדם השבירה היא היחס בין מהירות האור בריק (מסומנת באות c) למהירות האור בחומר (מסומנת באות v) חישוב מקדם השבירה הוא באמצעות הנוסחה $n=c/v$. בהתאם להגדרה זו מקדם השבירה תמיד גדול או שווה 1, שכן לא ניתן לעבור את מהירות האור.

צבעים

בטבע קיימים מספר מקורות לצבעים: פיגמנטים (צבענים), שינוי צבע עקב פליטת אור (כתוצאה מתגובה כימית) וצבעים מבניים. הצבעים המוכרים לנו ביותר מחיי היום יום הם צבעים מבוססי פיגמנטים. הכוונה לחומרים המשנים את צבע האור המשתקף מהם כתוצאה מהחזרה ובליעה סלקטיבית של אורך הגל. פיגמנטים בולעים חלק מאורכי הגל בתחום



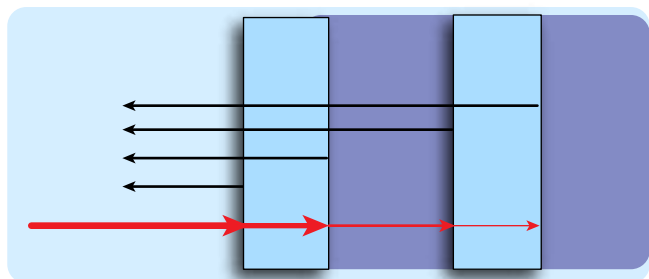
תמונה 2: התאבכות בונה והתאבכות הורסת. A - התאבכות הורסת ו-B - התאבכות בונה

צבעים מבניים

צבעים מבניים מיוצרים על ידי אורגניזם באמצעות מבנים שכבתיים אשר להם אורכי גל שונים. מדובר בשכבות של חומרים דיאלקטריים (חומרים שקופים), ולכל שכבה מקדם שבירה שונה (ראו תמונה 4).

בהתייחסות לתמונה מסוג זה הסבירה פרופ' אדדי כי "צבעים מבניים נוצרים על ידי שכבות של שני חומרים שמסודרות בצורה מאוד-מאוד שווה, ויש להם מקדם שבירה או מקדם החזרה שונה אחד מהשני. האור פוגע במערך של שכבות, חלקו מוחזר וחלקו עובר הלאה, ואז עובר השתקפות מהשכבה הבאה, חלקו עובר הלאה, עובר השתקפות מהשכבה הבאה. מה שיוצא החוצה זה אור שעובר התאבכות בונה. במידה והגלים היו הפוכים הם היו מנטרלים אחד את השני, אבל בגלל שהם הולכים ביחד אז הם עוברים הגברה כתלות באורך גל. אם העובי של השכבות מסודר כך שהאור שעובר הגברה בסדר גודל של אור נראה, אז אנחנו יכולים לראות אותו" (אדדי, מסע הקסם המדעי, 2016).

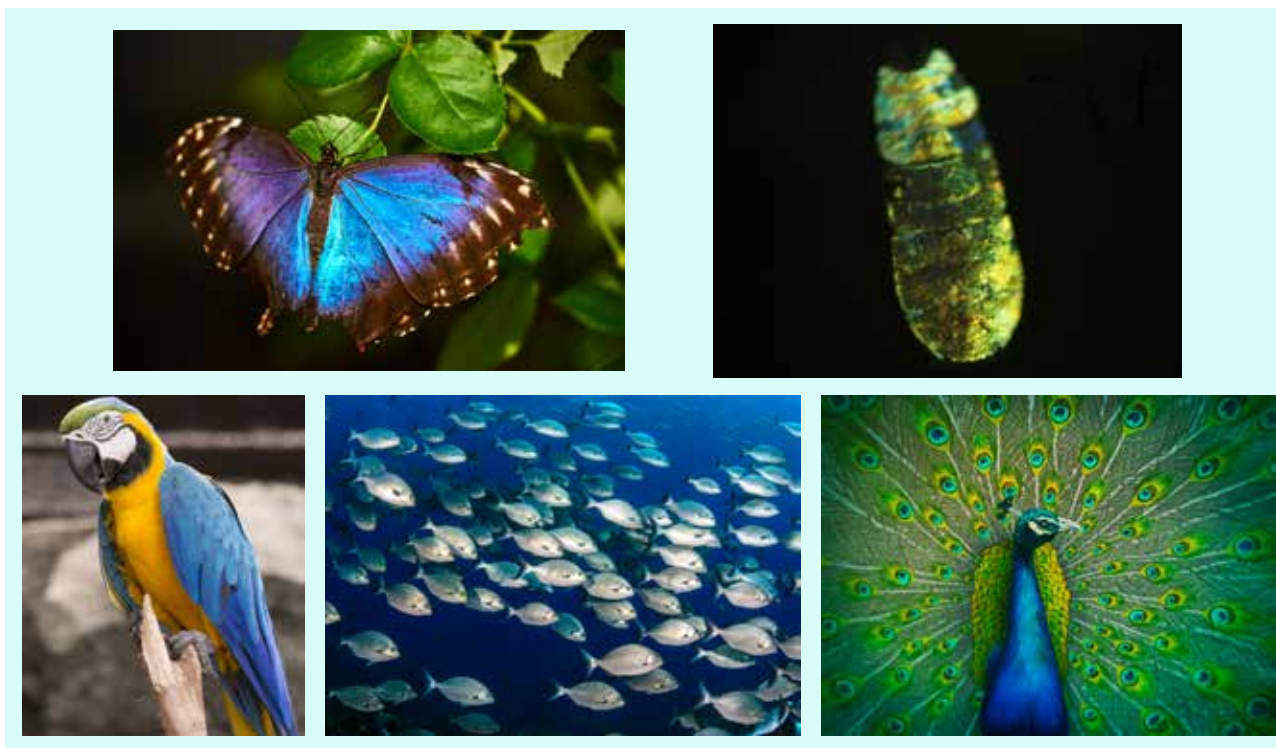
כאשר מתייחסים לצבעים מבניים, יש להתייחס לפרמטרים הבאים: מספר השכבות (N), מקדם השבירה (n), זווית ההחזרה (θ), עובי השכבה (d), אורך הגל (λ) והעובי האופטי שהוא מכפלת עובי השכבה במקדם השבירה (nd). הסידור היעיל ביותר של השכבות הוא כאשר העובי האופטי



תמונה 4: החזרת אור היוצרת צבעים מבניים

של שתי השכבות שווה לרבע מאורך הגל של האור המוחזר המתקבל (Denton & Land, 1971). כאשר מכפלת העובי האופטי במקדם השבירה נופלת בטווח האור הנראה, ניתן להבחין בצבעים שונים.

קיימים אורגניזמים שונים המפיקים צבעים מבניים, לדוגמה, הזוהר הנראה מקשקשי הדגים, צבע העכביש הכסוף, כנפי פרפרים וצבעי הטווס ובמהלך האבולוציה התפתחו מנגנונים שונים להפקת הצבעים בכל אורגניזם (ראו תמונה 5). המנגנון האבולוציוני-אופטי שאליו נתייחס בעבודה זו נקרא Multilayer Reflector כלומר, מנגנון החזרה רב-שכבתית. מנגנון זה מצוי בספיר הים.



תמונה 5: צבעים מבניים בטבע: ספיר (תמונה באדיבות פרופ' ליאה אדדי וד"ר דביר גור), פרפר, טווס, דג כסוף ותוכי כחול-צהוב מסוג Araararuna

ספיר הים

ספיר הים הוא יצור זעיר, וגודלו נע בין 1-7 מ"מ. קיימים מספר מינים של ספירי ים, וכולם שייכים למשפחת הסרטנים. חלק מספירי הים משנים את צבעם כתגובה לאור, ובמהלך העבודה נציג מנגנון אופטי זה. החלפת הצבעים מכוונת למטרת תקשורת. למשל, ספירי ים מסוג *Copilia mirabilis* הופך שקוף ואז מוגן מפני טורפים, וכשהוא בעל צבע, נקבות יכולות לראות אותו. ספיר הים הזכר חסר עיניים, לנקבה יש עיניים, והיא לא מחליפה צבעים. היא תמיד שקופה כדי שתוכל להתרבות בצורה מוגנת. כשספיר הים שוחה, ניתן לראות צבעים מרהיבים בגוון של כחול-סגול ולפעמים גם צהוב ואדום (Gur et al, 2015).

גואנין

הגואנין הוא בסיס חנקני (ראו תמונה 6), נגזרת של פורין ואחד ממרכיבי ה-DNA וה-RNA. הגואנין התגלה לראשונה בשנת 1846 בצואה, בשנת 1861 זוהה בזוהר של קשקשי דגים (Gur et al, 2017). לגואנין בצורת הגביש הנומטרית, יש תכונות אופטיות. תכונות אלו מושפעות משלושה מרכיבים: צורת הגביש, גודלו וסידורו. הגביש הפוטוני מורכב מהרבה גבישים של גואנין המאורגנים בשכבות עם שכבות ציטופלסמה ביניהן (מבנה רב שכבתי - multilayer crystal) בגביש פוטוני הכוונה לננו-מבנה הבנוי בצורה מחזורית מחומרים דיאלקטריים. מבנה הגביש מתוכנן בצורה המשפיעה על התקדמות האור בתוכו, כלומר, על

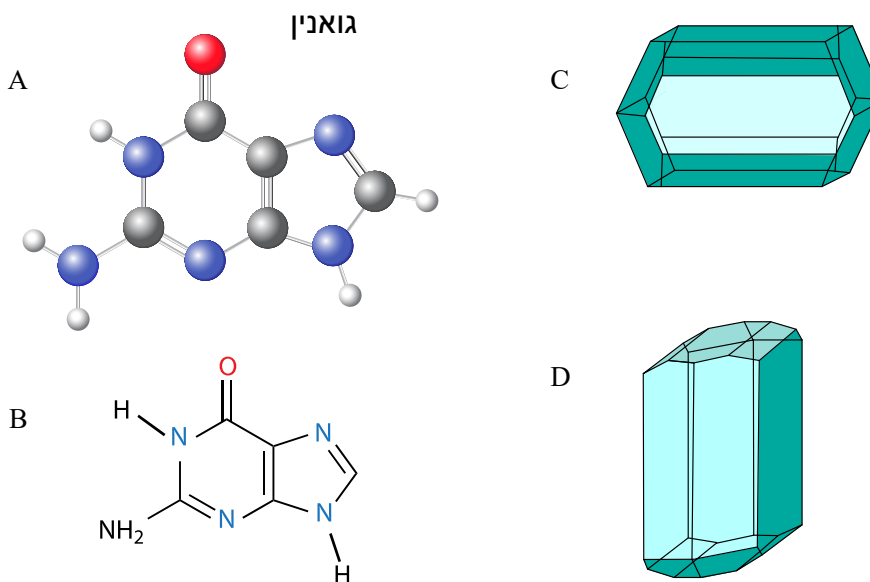
מעבר פוטונים דרכו. מבנים פוטונים אלו מורכבים משכבות של חומרים שקופים עם מקדמי שבירה שונים, כך שהאור המשתקף עובר התאבכות בונה עבור אורכי גל מסוימים והתאבכות הורסת עבור אורכי גל אחרים. מה שמייחד את הגואנין לעומת חומרים אורגניים או בסיסים חנקניים אחרים הוא מקדם השבירה הגבוה בכיוון מסוים, 1.83 שנחשב גבוה ביחס לחומרים ברקמות ביולוגיות (Gur et al, 2017).

תיאור המחקר

בחלק זה נתאר את המחקר שבוצע בקבוצת המחקר של פרופ' ליאה אדדי ופרופ' סטיב ווינר כעבודת הדוקטורט של ד"ר דביר גור. (Gur et al., 2015)

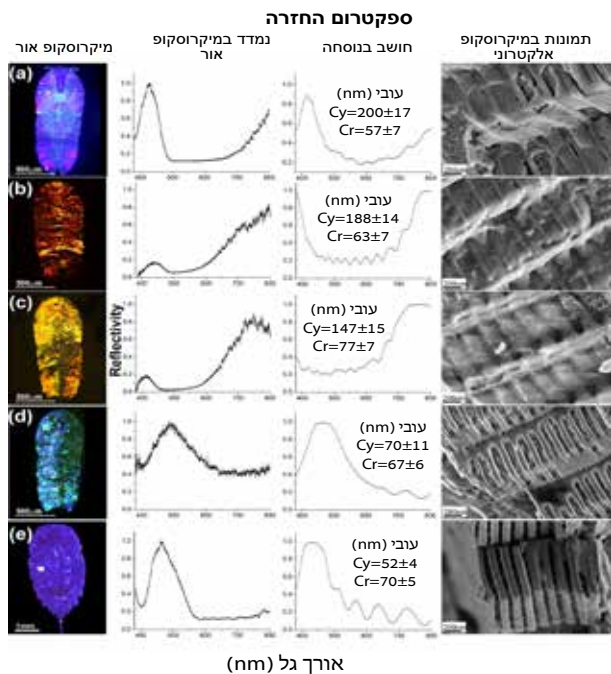
המחקר בוצע במחלקה לביולוגיה מבנית בפקולטה לכימיה, ומוצגות בו תופעות פיזיקליות, כימיות וביולוגיות. לאור ייחודיות המחקר כמשלב שלושה תחומי מדע, היו שותפים לו חוקרים ממחלקות שונות במכון ויצמן. בספירי הים שהוצגו ניתן לראות דוגמה למבנים פוטוניים המייצרים מגוון צבעים מבניים שונים כאשר האור בזווית מסוימת לגב שלהם. החוקרים אספו מהים האדום באילת שני סוגים של ספירי ים בצבעים שונים: *Sapphirina metallina*; *Copilia mirabilis*.

מטרות המחקר: מטרת המחקר היו להבין את הבסיס המבני, שונות הצבעים והתלות הזוויתית החזקה של האור המשתקף מספיר הים ולהבין את מנגנון שינוי הצבע בספירי הים.



תמונה 6: A-B-1 - B מציגים מבנה מולקולת גואנין. C-D מציגים מורפולוגיה תאורטית של הגביש.

אלו מפיק צבעים מבניים. הפקת צבעים מבניים משכבות אלו מתאפשרת מאחר שמקדם השבירה של גבישי הגואנין 1.83 מהווה ניגוד למקדם השבירה של הציטופלסמה 1.33. עובי שכבות גבישי הגואנין והציטופלסמה נמדד ב-cryo-SEM, ועל בסיס מדידות אלו חושב ספקטרום ההחזרה הצפוי (expected reflectance spectra) ונמצא כי הוא דומה למדידות ההחזרה שחושבו באמצעות מיקרוסקופ אור. נמצא כי בספירי ים בצבעים שונים ישנו הבדל בעובי הציטופלסמה (ראו תמונה 8).

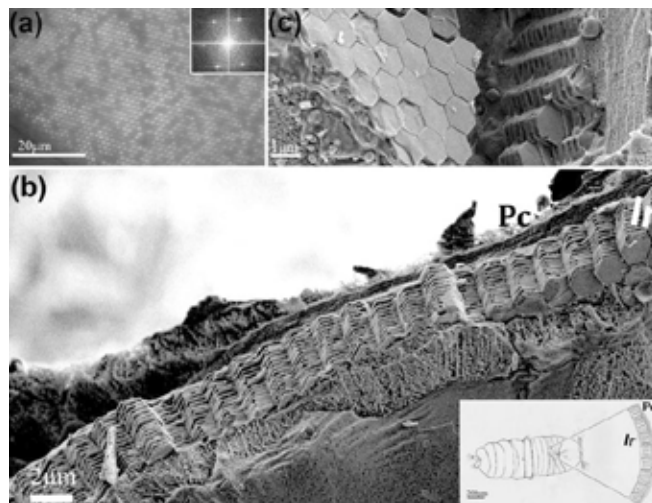


תמונה 8: החזרת אור ומבנה ספירי הים (Gur et al, 2015)

תמונה 8 מחולקת לארבע עמודות. בעמודה שהכותרת שלה מיקרוסקופ אור ניתן לראות צבעים שונים של ספירי ים. ספירי בתמונות a-d הם מסוג *Sphingia mirabilis*, ובתמונה e ספירי הים הוא מסוג *Copilia mirabilis*. שתי העמודות (2-3) האמצעיות מייצגות את ספקטרום ההחזרה. עמודה 2 מייצגת ספקטרום החזרה שנמדד במיקרוסקופ אופטי, ועמודה 3 את ספקטרום ההחזרה שחושב באמצעות נוסחה לאחר חישוב עובי שכבות הציטופלסמה וגבישי הגואנין שנמדד באמצעות מיקרוסקופ האלקטרוני. הגרפים של שתי העמודות נראים דומים כאשר משווים ביניהם (שוני בחלק ההתחלתי של ציר ה-y בעמודה 2 נובע מרגישות ה-גלאי במיקרוסקופ האופטי). ניתן לראות בתמונה כי עובי גבישי הגואנין כמעט אינו משתנה לעומת עובי הציטופלסמה שמשתנה עובי (cy) = עובי הציטופלסמה, cr = עובי שכבת גבישי הגואנין). בעמודה 4 ניתן לראות את השינוי בעובי שכבת הציטופלסמה כפי שנצפה ב-cryo-SEM.

Reprinted with permission from Journal of the American Chemical Society. Copyright (2015) American Chemical Society

כלי המחקר: מיקרוסקופ אופטי ייעודי שנבנה למטרת המחקר, ובאמצעותו ניתן למדוד את ספקטרום החזרת האור, cryo-SEM - מיקרוסקופ אלקטרוני לדגימות ביולוגיות, כדי לצפות בהן יש לקרר את הדגימות לטמפ' נמוכות (מתחת ל -100 מעלות צלזיוס). ניתן להסתכל על מבנה השכבות שמהן מופקים צבעים מבניים במיקרוסקופ אופטי, עם זאת, על מנת לרדת לרזולוציות ננומטריות ולהבין את מבנה המנגנון שלפיו מופק הצבע המבני, יש להשתמש במיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM) (ראו תמונה 7).



תמונה 7: גבישי גואנין במיקרוסקופים שונים.

התמונה לקוחה מתוך מחקרם של גור ועמיתיו (Gur et al, 2015). בתמונה a ניתן לצפות בגבישי גואנין בצורת משושים קטנים שהודגמו במיקרוסקופ אור, ובתמונות b ו-c ניתן לצפות בגבישים במבנה משושי כפי שהודגמו במיקרוסקופ אלקטרוני שבו הוקפאה דגימה (cryo-SEM).

Reprinted with permission from Journal of the American Chemical Society. Copyright (2015) American Chemical Society

מהלך המחקר ותוצאות המחקר: בחלק זה נתאר שלוש תופעות הנצפות בספירי הים: שונות הצבעים והבסיס המבני, שינוי צבע בהתאם לכיוון הזוויתי (angular orientation) ביחס לאור ושינוי צבע בתנאי אור וחושך.

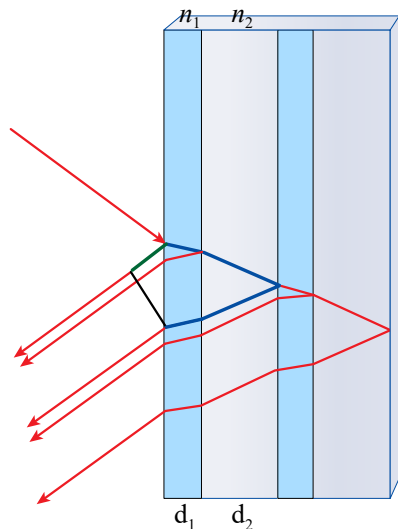
א. שונות הצבעים והבסיס המבני:

החוקרים אספו ספירי ים בצבעים שונים. בשלב הראשון של המחקר כדי להבין את שונות הצבעים של ספירי הים, צפו בהם באמצעות המיקרוסקופ האופטי הייעודי שנבנה למחקר. ולאחר מכן על מנת להבין את הבסיס המבני נעשה שימוש במיקרוסקופ אלקטרוני מסוג, cryo-SEM כך שספירי הים הוקפאו תחילה בלחץ גבוה ולאחר מכן נצפו במיקרוסקופ האלקטרוני. גב ספירי הים ממין זכר בנוי משכבות של גבישי גואנין בצורת משושה וציטופלסמה, ושילוב שכבות

ים וצפו בהם באור, ולאחר מכן החליפו בין הקבוצות. בחלק זה של המחקר צפו בהחלפת הצבעים של ספירי הים והדגימו כי התהליך הפיך והדרגתי. במחקר השתמשו במיקרוסקופ אופטי כדי לעקוב אחרי השינוי בצבע. ספירי הים נשמרו בחושך בזמן הלילה, ולאחר מכן צפו בהם במיקרוסקופ אור. החוקרים השתמשו באור בעוצמה שונה וראו כי באור בעוצמה נמוכה שינוי הצבע איטי ויכול להימשך עד תשע שעות ואילו בעוצמה גבוהה השינוי מהיר ויכול להימשך 3 דקות. בחלק זה של המחקר מצאו כי שכבות הציטופלסמה מתכווצות באור ומתרחבות בחושך ותופעה זו מסבירה את השינוי בצבע.

מבט על התעשייה

הטכנולוגיה המתבססת על הפקת צבעים מבניים עוד נמצאת בשלב מחקרי באוניברסיטאות מחקר (Yuan, Zhou, Shi & Zhang, 2015; Diao, Liu, Toh, Shi & Zi, 2013). מבחינת מנגנון ההחזרה הרב-שכבתית בתעשייה ניתן למצוא דוגמה למנגנון ההחזרה הרב-שכבתית בפיתוח מראות דיאלקטריות. חומרים דיאלקטריים משמשים להכנת מראות דיאלקטריות, המכונות גם מראות בראג. זוהי למעשה מראה המורכבת מהרבה שכבות דקות של חומרים דיאלקטריים. אפשר לייצר מראות בעלות רפלקטיביות גבוהה כאשר 99.999% מהאור הפוגע במראה מוחזר. מראות דיאלקטריות פשוטות מתפקדות כמו גבישים פוטוניים חד-ממדיים, המורכבים משכבות עם מקדם שבירה גבוה, המשולבים בשכבות עם מקדם שבירה נמוך (ראו תמונה 10).

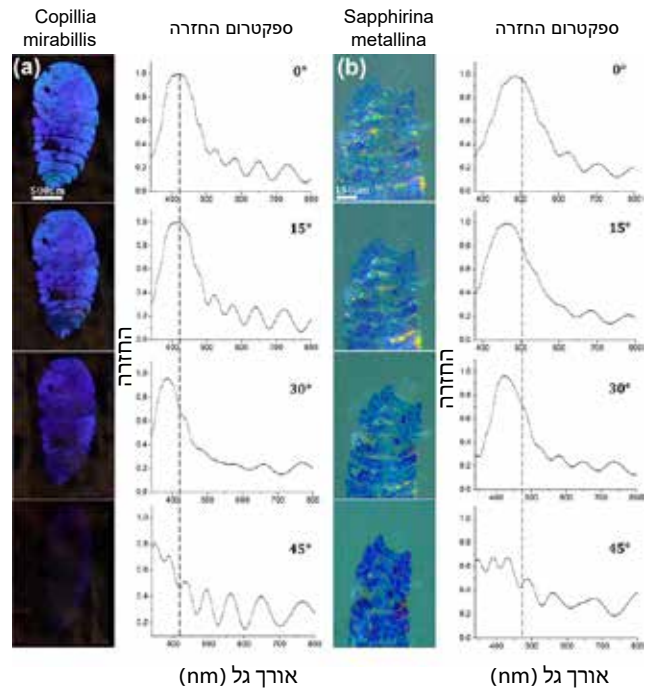


תמונה 10: תרשים של מראה דיאלקטרי.

ניתן לראות תרשים של מראה דיאלקטרי משכבות דקות עם מקדם שבירה גבוה n_1 המשולבות עם שכבות עבות בעלות מקדם שבירה נמוך n_2 . אורכי הנתיב B-1 ו-A במספר אורכי גל שלמים, מה שגורם להתאבכות בונה וראיית צבע.

ב. שינוי צבע בהתאם לכיוון הזוויתי (angular orientation) ביחס לאור:

אחת התופעות המיוחדות של ספירי הים מסוג *Copilia mirabilis* הינה העלמות פתאומית במהלך שחייה (http://www.liquidguru.com/octopod-copepod). במחקר מדדו את ספקטרום ההחזרה של ספירי ים מסוג *Copilia mirabilis* ו-*Sapphirina metallina* וראו שינוי צבע בהתאם לכיוון הזוויתי (angular orientation) ביחס לאור (ראו תמונה 9)



תמונה 9: הכיוון הזוויתי ביחס לאור (Gur et al, 2015)

בעמודה 1 ניתן לראות את ספירי הים מסוג *Copilia mirabilis*, ובגרפים הצמודים לעמודה נראה שינוי הספקטרום בהתאם לזווית כך שרק בזווית 45 מעלות לאור הם הופכים שקופים. כאשר ספירי ים זכריים מסוג *Copilia mirabilis* מסובבים את גבם אל האור בזווית של 45 מעלות בעודם מצבעים תמרון שחיי ספירי - אורך הגל של האור המוחזר מוסח אל מחוץ לטווח אורכי הגל של האור הנראה לעין ועובר אל טווח אורכי הגל של קרינה על-סגולה שאינה נראית. לעומת זאת, אור הפוגע בזווית ישרה, מחזיר את הצבע הכחול היפה. בעמודה 3 ספירי הים הוא מסוג *Sapphirina metallina*, וניתן לראות שינויים בגוון המג'נטה בחלק מהתמונות. הגרפים הצמודים מימין, עמודה 4 מתארים את שינוי הספקטרום ביחס לזווית.

Reprinted with permission from Journal of the American Chemical Society. Copyright (2015) American Chemical Society

ג. שינוי צבע בתנאי אור וחושך

החוקרים המשיכו לחקור ופרסמו מחקר המשך (Gur et al, 2016) תוך כדי שימוש באותם כלי מחקר. במחקר ההמשך אספו החוקרים 25 ספירי ים וצפו בהם בחושך ו 25 ספירי

Diao, Y. Y., Liu, X. Y., Toh, G. W., Shi, L., & Zi, J. (2013). Multiple structural coloring of silk&fibroin photonic crystals and humidity&responsive color sensing. *Advanced Functional Materials*, 23(43), 5373-5380.

Gur, D., Leshem, B., Pierantoni, M., Farstey, V., Oron, D., Weiner, S., & Addadi, L. (2015). Structural basis for the brilliant colors of the sapphirinid copepods. *Journal of the American Chemical Society*, 137(26), 8408-8411.

Gur, D., Leshem, B., Farstey, V., Oron, D., Addadi, L., & Weiner, S. (2016). Light&Induced Color Change in the Sapphirinid Copepods: Tunable Photonic Crystals. *Advanced Functional Materials*, 26(9), 1393-1399.

Gur, D., Palmer, B. A., Weiner, S., & Addadi, L. (2017). Light Manipulation by Guanine Crystals in Organisms: Biogenic Scatterers, Mirrors, Multilayer Reflectors and Photonic Crystals. *Advanced Functional Materials*, 27(6).

Mizukawa, Y., Miyashita, Y., Satoh, M., Shiraiwa, Y., & Iwasaka, M. (2015). Light intensity modulation by coccoliths of *Emiliana huxleyi* as a micro-photo-regulator. *Scientific reports*, 5.

Yuan, W., Zhou, N., Shi, L., & Zhang, K. Q. (2015). Structural coloration of colloidal fiber by photonic band gap and resonant mie scattering. *ACS applied materials & interfaces*, 7(25), 14064-14071.

Zhao, Y., Xie, Z., Gu, H., Zhu, C., & Gu, Z. (2012). Bio-inspired variable structural color materials. *Chemical Society Reviews*, 41(8), 3297-3317.

בכתבה זו הראנו דוגמה למנגנון צבע שונה מהמנגנון המוכר המבוסס על בליעה והחזרה של צבע. הצגנו מנגנון צבעים מבניים המבוסס על החזרה והשתקפות. דוגמה לכך הייתה מספירי הים שהם בעלי גבישי גואנין פוטוניים. התכונות האופטיות של הצבעים המבניים בכלל ושל גבישי גואנין פוטוניים בטבע בפרט, יכולים להוות השראה לייצור גבישים פוטוניים מתכוננים שמצדם יכולים לשמש למגוון יישומים כגון חיישנים, זכוכיות וסיבים אופטיים. ישנם מחקרים התחלתיים שחוקרים פיתוחים אלו (Zhao, Xie, Gu, Zhu, & Gu, 2012; Mizukawa, Miyashita, Satoh, Shiraiwa, & Iwasaka, 2015). בתעשייה ובמדע יודעים לבנות גבישים פוטונים שניתנים לכיוון גם בצורה מכנית וגם בצורה חשמלית, אך בשלב זה אין יודעים לייצר גבישים שניתנים לכיוון על ידי אור. בנוסף באוניברסיטאות ברחבי העולם עובדים על הפקה של צבעים מבניים לצרכים של תעשיית הטקסטיל (Yuan, Zhou, Shi & Zhang, 2015; Diao, Liu, Toh, Shi & Zi, 2013). צבעים אלו עשויים לשמש בעתיד בתעשיית הטקסטיל לצרכים שונים, לדוגמה, לצורכי הסוואה.

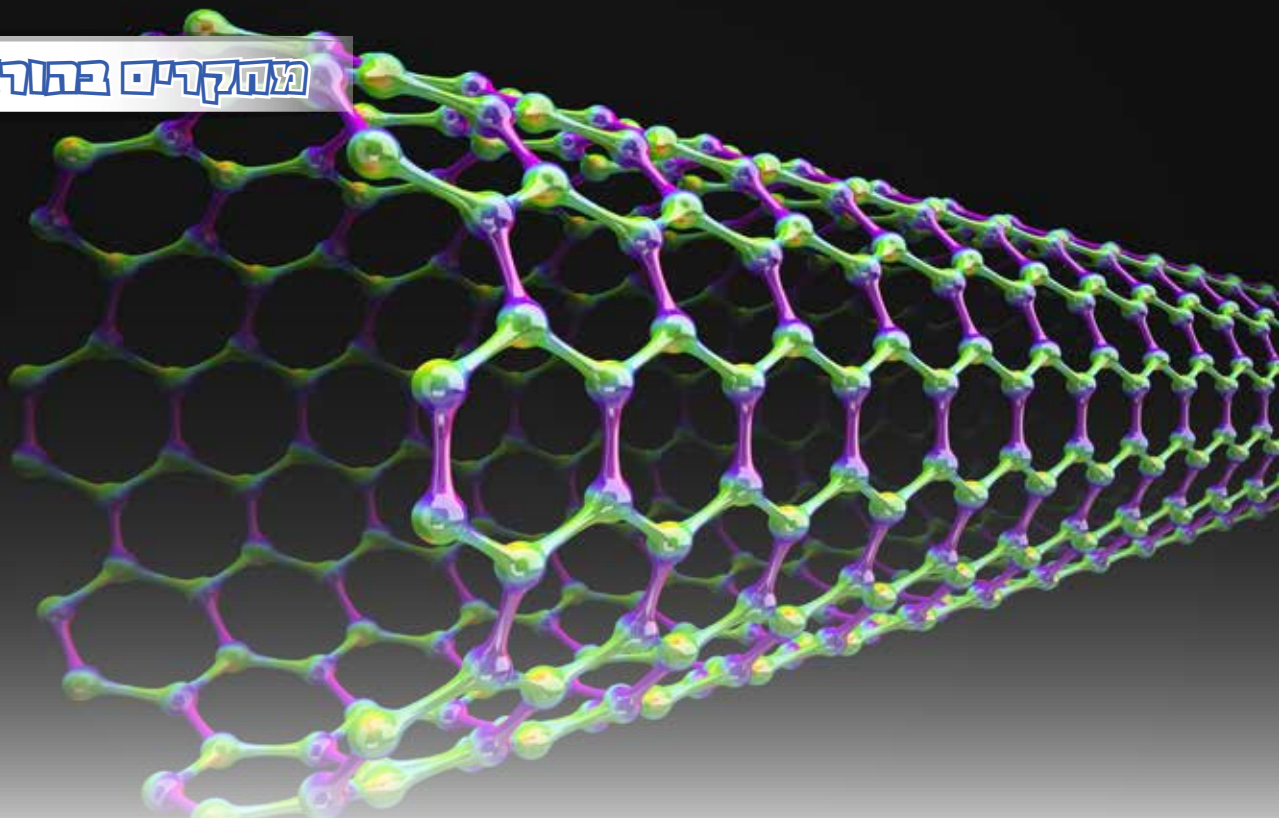
תודות

ברצוננו להודות לפרופ' ליאה אדדי על השיחות המפרות, ועל ההשראה לכתיבת המאמר. תודה לפרופ' ליאה אדדי ולד"ר דביר גור על שיתוף תמונות מהמחקר ועל האישור להשתמש בתמונות שפורסמו במאמריהם.

רשימת מקורות

אדדי ליאה, (2016). **ביומינרליזציה - טכנולוגיות עתידניות בנות מאות מיליוני שנים** (YouTube) מסע הקסם המדעי. אוחר 30 יולי 2017 מתוך: <https://www.youtube.com/watch?v=u1EafzaNsTw>

Denton, E. J., & Land, M. F. (1971). Mechanism of reflexion in silvery layers of fish and cephalopods. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 178(1050), 43-61.



המושגים הבסיסיים והאפליקציות הננוטכנולוגיות המומלצות להוראה בתיכון: תוצאות מחקר דלפי תלת-שלבי*

סוהיר סחיני ורון בלונדר, המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע

מחקרית הנקראת "דלפי" (Skulmoski, Hartman, and Krahn, 2007), המסייעת בקבלת החלטות המבוססות על הסכמה בין קהילות של מומחים.

במחקר הנוכחי בחרנו שתי קהילות של מומחים: 1. אנשי מחקר בננוטכנולוגיה, 2. מורים למדע בעלי רקע בננוטכנולוגיה. על פי שיטת הדלפי, המשתתפים התבקשו להציע מושגים בננוטכנולוגיה שחשוב לדעתם ללמד בתיכון, וכן להסביר את המשמעות של המושגים, לנמק מדוע חשוב ללמד כל מושג ולהציע דרכים ללמד. בסופו של תהליך הדלפי (הכולל 3 שלבים) מצאנו, באמצעות ניתוח סטטיסטי, מהם המושגים הבסיסיים והאפליקציות של ננוטכנולוגיה המתאימים להוראה בבית הספר העל-יסודי, אשר יש לגביהם הסכמה בקרב המומחים אשר השתתפו במחקר הדלפי. ממצאי המחקר עלו שמונה מושגים בסיסיים: (1) תכונות תלויות-גודל; (2) חדשנות ויישומים

הקדמה

ננוטכנולוגיה היא תחום מחקר ופיתוח העוסק בגדלים קטנים מאוד, אך הפוטנציאל הטמון בה גדול. מחקר ופיתוח בננוטכנולוגיה חדרו במהירות למודעות בכל תחומי המדע וההנדסה, עם השלכות על חיי היומיום, על סוגיות אתיות, על הכלכלה, על יחסים בין-לאומיים ואפילו על תפיסת האנושות לגבי מיקומה ביקום.

בבואנו ללמד מושגי יסוד בתחום תוכן מסוים אנו מסתמכים בדרך כלל על ספרי מבוא הפורשים את מושגי היסוד של התחום. אבל תחום הננוטכנולוגיה התפתח כולו בשלושה העשורים האחרונים, וספרי מבוא להוראת התחום עדיין לא זכו להכרה. בקבוצת המחקר שלנו הוחלט למפות את המושגים הבסיסיים ואת האפליקציות שחשוב ללמד בננוטכנולוגיה בבית-ספר העל-יסודי (Sakhnini & Blonder, 2015). ולשם כך החלטנו להשתמש במתודולוגיה

* המאמר מתבסס על חלק ממצאי עבודת הדוקטורט של ד"ר סוהיר סחיני בהנחיית פרופ' רון בלונדר במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן. עבודת הדוקטורט עוסקת בהוראת תחום הננוטכנולוגיה בתיכון הקשורים להוראת תחום הננוטכנולוגיה בתיכון

ההוראה והמחקר שלדעתנו משחקים תפקיד בסיסי וחשוב בהתפתחות החינוך הננוטכנולוגי.

מטרות המחקר ושאלות המחקר

מטרות המחקר לזהות את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שחשוב ללמד בתיכון, ולעמוד על ההבדלים בין שתי קהילות מומחים (חוקרים בננוטכנולוגיה ומורים) ובאופן שבו הן תופסות את החשיבות של המושגים השונים.

שאלות המחקר

להשגת מטרות המחקר נשאלו שאלות המחקר הבאות:

1. מהם המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה הנתפסים בעיניהם של חוקרים בננוטכנולוגיה ומורים למדעים שחשוב ללמד בבתי ספר תיכוניים?

2. מהם ההבדלים בין מורים ובין חוקרים באופן שבו הם תופסים את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה להוראה בתיכון?

כלי המחקר ואיסוף הנתונים: מחקר דלפי תלת-שלבי:

בהיעדר ידע לגבי תופעה או בעיה מסוימת, ומעוניינים להגיע להסכמה בין קהילות שונות של מומחים לגבי בעיה או תופעה זו, ניתן להשתמש בשיטת הדלפי לקבלת החלטות (Skulmoski, Hartman, and Krahn, 2007). שיטת הדלפי מבוססת על איסוף נתונים, בלי צורך בפגישות פנים מול פנים בין המומחים, במספר רב של חזרות באמצעות שאלונים המאפשרים למשתתפים במחקר להביע את דעותיהם, לכתוב הערות, להגיב על דעות של משתתפים אחרים והכול נעשה באנונימיות מוחלטת.

בננוטכנולוגיה; (3) מִמד וגודל; (4) שיטות אפיון של ננוחומרים; (5) פונקציונליות; (6) מיון ננוחומרים; (7) שיטות הכנה של ננוחומרים; (8) מאחורי הקלעים של ננוחומרים. בנוסף עלו חמש אפליקציות אשר מומלצות להוראה בתיכון: (1) ננורפואה; (2) ננואלקטרוניקה; (3) תאים פוטו-וולטאים; (4) ננורובוטים; (5) ניקוי עצמי.

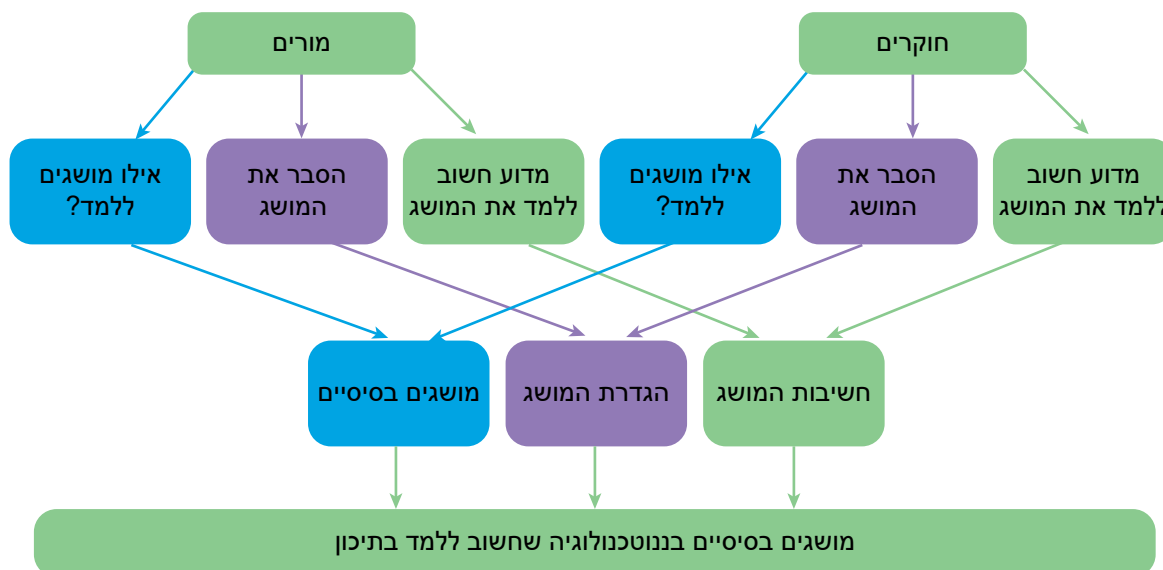
במאמר הנוכחי נציג את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שחשוב ללמד בתיכון. כל מושג יוגדר, ויוסבר מדוע חשוב ללמדו, כפי שעלה ממחקר הדלפי (Sakhnini & Blonder, 2015; Sakhnini & Blonder, 2016).

שיטת המחקר

אוכלוסיית המחקר

במחקר השתתפו 21 חוקרים מכלל האוניברסיטאות בארץ, חוקרים בעלי רקע מדעי מגוון בשדה הננוטכנולוגיה (פיזיקה יישומית, כימיה, חומרים והנדסה), ו-21 מורים למדעים מדיסציפלינות שונות (כימיה, ביולוגיה, ביטכנולוגיה ופיזיקה) בעלי ידע בתחום הננוטכנולוגיה. המחקר התבסס על מתודולוגיית דלפי אשר מאפשרת להגיע להסכמה בין קהילות של מומחים (במקרה הנוכחי - קהילת מומחים של מדענים וקהילת מומחים של מורים). כל החוקרים הם בעלי תואר דוקטור, 13 מהם מכהנים כפרופסורים בתחומם, ושלושה מהם עובדים בתעשיית הננוטכנולוגיה. בקהילת המורים 4 מורים בעלי תואר ראשון, 13 בעלי תואר שני, ו-4 בעלי תואר דוקטור במדעים או בהוראת מדעים. כל המורים הם בעלי 15 שנות ניסיון בהוראה לפחות.

שתי הקהילות האלו נבחרו בעיקר במטרה לחבר בין גורמי



איור 1: תהליך קבלת ההסכמה לגבי המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שחשוב ללמד במדעים בתיכון

המצאים

בפרק זה נציג את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה ואת האפליקציות שעלו במחקר, את ההגדרות שלהם, ונבהיר למה משתתפי המחקר סבורים שחשוב ללמדם בסופו של תהליך הדלפי. כלומר, נתמקד בשאלת המחקר הראשונה. לשאלת המחקר השנייה שנחקרה נתייחס בדיון.

בסופו של תהליך הדלפי התקבלו שמונה מושגים שחשוב ללמדם במדעים בבית ספר תיכון:

1. תכונות תלויות גודל

המושג **תכונות תלויות גודל** הוגדר כתכונות החומר המושפעות מגודלו. תופעה זו בעולם המאקרוסקופי שעליו אנו מלמדים בכימיה של בית הספר. תכונות כגון טמפרטורת ההיתוך נתפסות כתכונות קבועות עבור כל יסוד. אולם כאשר יורדים לחלקיקים בסדרי גודל ננומטרי - תכונות אלה הופכות להיות תלויות בגודל החלקיק. למושג זה שלושה תת-מושגים אשר מסייעים בהבנתו: א. יחס שטח פנים לנפח: כאשר יורדים בגודל לממדים ננומטריים, יחס שטח הפנים לנפח עולה באופן דרמטי. וכתוצאה מזה אחוז האטומים הנמצאים על שטח הפנים עולה על אחוז האטומים הנמצאים בתוך החומר. היחס בין שטח הפנים לנפח מהווה גורם המשפיע מאוד על תכונות רבות של חומרים (לדוגמה: צבע, קטליזה, השפעות הכוחות הבין מולקולריים וקשיחות).



איור 2: יחס בין שטח פנים לנפח של גרגרי סוכר גדל בהשוואה לאותו יחס (של אותם גרגרים) בקוביית סוכר

ב. תכונות קוונטיות: תכונות ייחודיות, מבוססות על האופי הגלי של האלקטרון. תכונות אלו מופיעות בסקלה הננומטרית.

ג. דפקטים: מבנים ננומטריים הם בעלי מספר קטן של אטומים. לכן הסיכוי למצוא דפקטים במבנים

בשאלון השלב הראשון של הדלפי התבקשו המשתתפים: (1) להציע מושגים בסיסיים בננוטכנולוגיה ואפליקציות ננוטכנולוגיות שחשוב ללמדם במדעים בבית הספר; (2) לתת הסבר על המושג והאפליקציה המוצעים; (3) להצדיק את חשיבותם בעיניהם של המשתתפים כפי שמופיע באיור 1.

לאחר קבלת השאלונים מהמשתתפים, נערך ניתוח תוכן סטטיסטי על פי השלבים הבאים: (1) קריאת המידע שהתקבל בעיון רב; (2) זיהוי המושגים והאפליקציות; (3) מיון לקטיגוריות; (4) תיקוף המושגים והאפליקציות הננוטכנולוגיים שעלו במחקר. בשלב מיון הקטגוריות לא התערבנו ולא שינינו את הניסוחים שהעלו המשתתפים. אפילו השמות של רוב הקטגוריות נגזרו מהמילים ומהמשפטים שבהם השתמשו משתתפי המחקר. בתהליך מיון הקטגוריות נערך דיון בין חוקר בננוטכנולוגיה ובין חוקרת בתחום של כינוך מדעי יחד עם המחברת הראשונה של המאמר. הדיון הוביל לעיצוב מחדש של הקטגוריות. התוכן המדעי עבר תיקוף נוסף עם מומחה (חיצוני) בננוטכנולוגיה. בסיום הניתוח התוכני בוצע מבחן (Chi-square) המאפשר להשוות בין שתי הקהילות בכל הנוגע לכל מושג ולבחינת מידת ההסכמה ביניהן בשאלה אילו מושגים ואפליקציות חשוב ללמד במדעים בבית הספר.

בהסתמך על ממצאי השלב הראשון של הדלפי נבנה שאלון ליקרט של השלב השני. בשאלון זה הוצגו המושגים והאפליקציות שעלו מהשלב הראשון, ההגדרות של כל אחד מהם כפי שהוצעו על ידי המשתתפים באופן אנונימי. המשתתפים התבקשו לדרג את חשיבותו של כל אחד מהמושגים והאפליקציות בסקלה שבין 1-5, כאשר 5- מייצגת את הרמה הגבוהה ביותר של חשיבות. בנוסף הם התבקשו להצדיק את הדירוג שלהם ולהעיר על הדיוק בהגדרה ובניסוח של כל מושג ואפליקציה שעלו ועל המידה שבה משפיע הניסוח על הבנת המושגים. הניתוח הסטטיסטי שבוצע כלל את חישוב הממוצע והשונות עבור כל מושג. כמו כן נעשה מבחן סטטיסטי לבחינת ההבדלים באופן שבו שתי הקבוצות תופסות את החשיבות של כל אחד מן המושגים. בשלב השלישי והאחרון של תהליך הדלפי הוצגו למשתתפים המושגים, ההגדרות שלהם עם היגדים שנלקחו מהסבב השני התומכים או מתנגדים לחשיבות המושג כפי שדורגה בסבב השני של הדלפי. בנוסף הוצג אחוז המשתתפים שדירגו את המושג כחשוב להוראת מדעים בבית-הספר התיכון. שוב דירגו המשתתפים בסקלה שבין 1-5 את חשיבותו של כל מושג בעיניהם, שוב העירו והגיבו על ההיגדים שהוצגו בשאלון והצדיקו את החשיבות של המושג. בנוסף העלו המשתתפים קשיים פוטנציאליים שצפויים להתעורר בעת הוראת המושג.

חיקוי התקנים טבעיים אלה לביצוע משימות מגוונות כגון שימור והעברת אנרגיה, ניקוי משטחים ושכפול.

ג. הקשר בין מדע וחברה: למה חשוב ללמד מושג זה: "העלאת המודעות לעולם סביבנו ובתוכנו; עוזר לתלמידים לדמיין איך על ידי שימוש בננוטכנולוגיה אפשר לבצע מטלות מסובכות בקלות". סיכונים ויתרונות הטמונים בננוטכנולוגיה. בתת-מושג זה בא לידי ביטוי הקשר בין מדע וחברה. והוא ומאפשר "לזהות את החסרונות הפוטנציאליים של ננו-חומרים על בריאות האדם ו/או על הסביבה, להבין שפיתוחים ננוטכנולוגיים הם בסדר כל עוד לא נעשה בהם שימוש לא מוסרי, להציג בפני התלמידים גורמים והיבטים אחרים הנלקחים בחשבון כאשר מעצבים מערכת מבוססת ננוטכנולוגיה".

ד. התאמה אישית של ננוחומרים לאפליקציה הדרושה, כלומר, בניית מערכות מורכבות על מנת לעמוד בדרישות מאפליקציה מסוימת.

ה. למה חשוב ללמד: "להמחיש שיטות חשיבה וביצועים חדשים, אשר מבוססים על תפירת חומרים בהתאמה אישית לבניית מערכות מסובכות, מה שמניע את התלמידים ללמוד מדע"; "התלמידים יהיו מסוגלים להבין את הקשר בין כימיה, חומרים, מדע וננו-הנדסה".

3. ממד וגודל

גודל מוגדר כמידה או כמות של האובייקט. ממד (סקלה) הוא הגודל שמאפיין את הצפייה, המדידה של אובייקט. מושג זה מוכר לנו, המורים לכימיה, וכאשר מעוניינים ללמד ננוטכנולוגיה מושג זה מקבל חשיבות נוספת. "נושא



איור 4: פאנלים פוטו-וולטאיים לייצור חשמל ממקור אנרגיה מתחדש

אלה הוא נמוך מאוד. כאשר הסיכוי לדפקטים הוא נמוך, מתקבלים חומרים בעלי חוזק מכני גבוה מאוד בהשוואה לחומרים מאקרוסקופיים שיש בהם דפקטים רבים.

המשתתפים הסבירו את חשיבותו של המושג **תכונות תלויות גודל**: "להראות כמה אפשרויות ניתן להשיג מחומר ננומטרי בודד"; "להראות את חוזק הננוטכנולוגיה, את חשיבותה וייחודיותה"; "להראות את דרגות החופש שמעניקה הננוטכנולוגיה המראות תכונות חדשות".

2. המצאות ואפליקציות בננוטכנולוגיה

המושג המצאות ואפליקציות בננוטכנולוגיה מוגדר כפוטנציאל הטמון באפליקציות (יישומים) והמצאות ננוטכנולוגיות, והוא כולל ארבעה תתי-מושגים:

א. אפליקציות עכשוויות ועתידיות בננוטכנולוגיה: יישומים יצירתיים של ננוחומרים ומחקר בתחום הננו, כבסיס לטכנולוגיות עכשוויות ועתידיות, ושילובם במוצרים שימושיים בחיי היומיום. למשל, שימו בננוחלקיקים על מנת לפתח תאים פוטו-וולטאיים יעילים יותר, כפי שמוצג באיור 4.

המשתתפים הסבירו מדוע מושג זה חשוב: "להראות לתלמידים את הפוטנציאל הטמון באפליקציות הננוטכנולוגיות מוקדם ככל האפשר, יניע את התלמידים ללמוד ולהבין את הבסיס של הננוטכנולוגיה". זה גם חשוב ל-"הדגמת הצורך האמיתי, הנדרש למחקר רב-תחומי".

ב. חיקוי הטבע (ביומימיקרי) דוגמה מוצגת באיור 3: בטבע ניתן למצוא מנועים טבעיים, מכונות טבעיות ומבנים על פני השטח אשר נשלטים על ידי מולקולה אחת או אוסף של מולקולות. ננוטכנולוגיה מאפשרת



איור 3: עלי פרח הלנטוס שימשו כהשראה לפיתוח משטחים סופר-הידרופוביים אשר "מתנקים מעצמם". ומהווה דוגמה לתת המושג חיקוי הטבע (ביומימיקרי)

זה יציג (אולי בפעם הראשונה) את הצורך במזעור ואת היתרונות של מערכות ממוזערות בסקלת המיקרו. הוא יצדיק את הצורך ללמוד על הננומדע ועל ננוטכנולוגיה; ימדד וגודל חשובים על מנת לתפוס את גודל האובייקטים סביבנו ולזהות את הגודל האמיתי של מולקולות אשר מלמדים עליהן בשיעורי כימיה. התלמידים מתקשים לדמיין את הסקלה הננומטרית, מפני שאין היא מוחשית עבורם. הבנת המושגים ימדד וגודל היא בסיס להבנת מושגים אחרים בננוטכנולוגיה כמו המושג תכונות תלויות גודל". בהמשך המאמר מצורף פוסטר "פוסטר סדרי גודל ושיטות ויזואליזציה" הניתן להדפסה ולתליה בכיתה הכימיה.

לננוטכנולוגיה. משתתפי המחקר הסבירו מדוע חשוב ללמד את המושג: "כדי לקבל פונקציונליות קושרים קבוצות פונקציונליות, למשל, קבוצות שיכולות להיקשר לנשא, שיקשור את החלקיק לקולטן ויגיב עם מולקולה מסוימת, הפונקציונליות חשובה מאוד בננוטכנולוגיה כי היא הופכת ננוחומרים מחומר רגיל למשהו שהוא חלק מטכנולוגיה". בהמשך המאמר מצורף פוסטר "פוסטר סדרי גודל ושיטות ויזואליזציה" הניתן להדפסה ולתליה בכיתה הכימיה. הפוסטר מתייחס הן למושג סדרי גודל והן לשיטות האיפיון שלהם המאפשרות את הויזואליזציה של גופים בסדרי גודל שונים.

4. שיטות אפיון של ננוחומרים

המושג שיטות אפיון של *ננוחומרים* מוגדר כך: הכלים המאפשרים לראות, למפות, ללמוד ולבצע מניפולציות בגדלים ננומטריים, והטכניקות המאפשרות לאפיון חומרים ננומטריים. המושג כולל שלושה תתי-מושגים. שניים מהם מתייחסים לסוג של מיקרוסקופיה, ואחד נוגע להבנה של מושג הרזולוציה:

א. מיקרוסקופ מנהור, סורק STM ומיקרוסקופ כוח אטומי AFM.

ב. מיקרוסקופ אלקטרוני (SEM, TEM).

ג. רזולוציה - מונח במדע המוגדר כגודל של מידת ההפרדה בין עצמים. המונח קשור לתחומים שונים כמו רזולוציה של תמונה, של פיקסלים ואודיו. בעולם הננומטרי רזולוציה מתייחסת ליכולת למדוד גודל של אובייקטים או את המרחק ביניהם. בנוסף רזולוציה מהווה כלי הקובע אם אובייקט ייחשב בעל ממדי ננו או לא.

משתתפי המחקר הסבירו למה חשוב ללמד את המושג: "להכיר כלים המשמשים לזיהוי ולבקרת תכונות של חומרים, ננוחומרים וננו-מערכות", להבהיר לתלמידים שנו-מדע אינו מדע בדיוני אלא מציאות (אנשים נוטים להאמין למה שרואים!) יהיה קשה להסביר את המושגים בסקלה הננומטרית אם התלמידים לא יבינו באופן בסיסי כיצד ניתן לראות ולמדוד ננוחומרים".

5. פונקציונליות

תכונה שמקנים לחומר או לאזור מסוים בתוך החומר. תכונה זו מקנה לחומר פעילות מסוימת או יכולת קישור. הפונקציונליות היא זו שהופכת את הננומדעים

6. מיון חומרים ננומטריים

זהו מושג המזכיר את ארגון היסודות בתוך הטבלה המחזורית וכולל זיהוי קטגוריות שונות של ננוחומרים כמפורט כאן:

א. סוגים של ננוחומרים: מיון ננוחומרים לפי הרכבם הכימי (ננוחלקיקים מפחמן, ננוחלקיקים אנאורגניים, ננוחלקיקים אורגניים).

ב. מוליכות חשמלית: מיון ננוחומרים לפי המוליכות החשמלית שלהם (מוליכים, מוליכים למחצה, ומבודדים).

ג. מקור הננוחומרים: מיון ננוחומרים לפי המקור שלהם (ננוחומרים טבעיים, ננוחומרים אורגניים וננוחומרים סינתטיים).

ד. ממדיות: מספר הממדים שנשארו הם מאקרוסקופיים בעוד ששאר הממדים הם ננוסקופיים, כלומר, מתחת ל-100 ננומטר (0D, 1D, 2D, 3D).

משתתפי המחקר הסבירו מדוע חשוב ללמד: "לזהות את הקטגוריות השונות של ננוחומרים ולעמוד על היתרונות והחסרונות של כל חומר, להבין שבננוטכנולוגיה תכונות החומר נקבעות לא רק על ידי החומר עצמו או המולקולות שמייצרות אותו אלא על ידי ממדי החלקיקים אשר קובעים את התכונות האלקטרוניות".

המורים אשר השתתפו במחקר הסבירו את חשיבות הוראת המושג *מיון חומרים ננומטריים* בצורה אחרת, ככל שהדברים נוגעים לפדגוגיה: "מאוד דומה לטבלה המחזורית. ממיינים יסודות כימיים לפי התכונות שלהם. המיון עוזר ללמד את הדפוס הכללי בכימיה, שימוש במיון של ננוחומרים עוזר בחיבור ננוחומרים למיונים, שימושיים שונים בכימיה אשר התלמיד מכיר כמו מוליכות חשמלית".

7. שיטות ייצור של ננוחומרים. ניתן להשתמש במגוון רחב של גישות לייצור ננוחומרים. הגישות השונות מיוצגות בתת-הקטגוריות של המושג.

א. "מלמעלה למטה" לעומת "מלמטה למעלה".
 (top-down) מלמעלה למטה: המיקום של כל מרכיב בחומר מוכתב מלמעלה באופן שבו הארגון נקבע על-ידי התערבות חיצונית שהיא בקנה מידה של החומר עצמו (למשל, ליטוגרפיה).
 bottom-up (מלמטה למעלה): מולקולות או אטומים בתמיסה או בגז מתארגנים ליצירת מערך מוגדר במבנה ובכיוון ולעתים ע"ג מצע.
 ב. התארגנות עצמית (Self-assembly)

התארגנות עצמית היא הדוגמה המובילה לגישת ה-bottom-up: היכולת של המולקולות להסתדר "בעצמן" במבנה מסודר על מנת להשיג יציבות תרמו-דינמית.
 משתתפי המחקר הסבירו מדוע חשוב ללמד את המושג: "לזהות את הכלים לייצור ננוחומרים, היתרונות והחסרונות של כל טכניקה, להמחיש את שלל האפשרויות שהתלמיד יכול להשתמש בהן לייצור ננוחומרים. התארגנות עצמית היא הלב של הרבה תהליכים בסיסיים בסקלה הננומטרית. היא מאפשרת הכנת דברים מורכבים עם מינימום התערבות ומאמץ".

ב. עבודת צוות: שיתוף פעולה בין כימאים, פיזיקאים, ביולוגים, מהנדסי חשמל ומהנדסי חומרים.

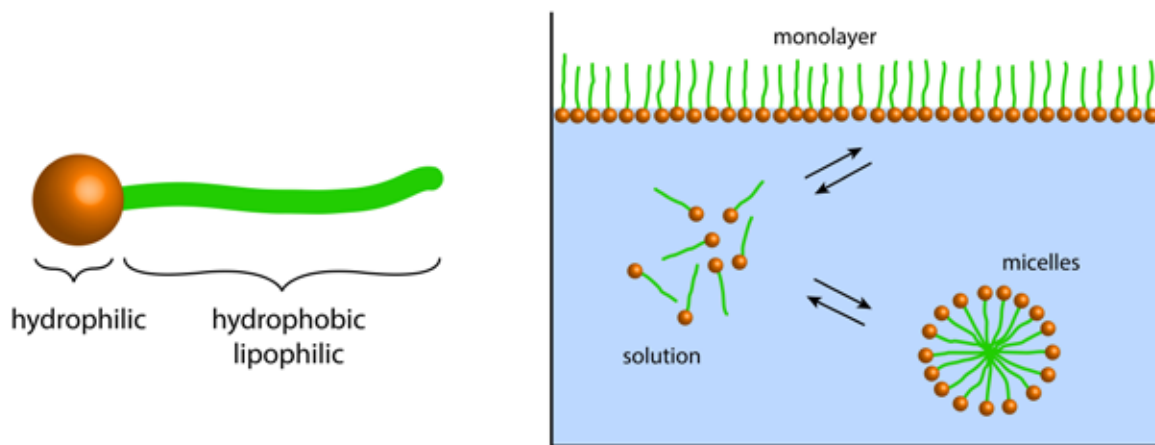
למה חשוב ללמד: "חשוב כי התלמידים יצטרכו לעבוד בקבוצות. כל תלמיד בקבוצה יביא ידע תוכני שונה (למשל, כימיה, ביולוגיה). התלמידים יתגברו על הפער בידע שלהם, תהיה להם ההזדמנות להשלים את הידע שלהם לגבי תופעה כלשהי מתלמידים אחרים בקבוצה".

ג. התפתחות תחום הננוטכנולוגיה: ההתפתחות הכרונולוגית של מחקרים ואפליקציות בננוטכנולוגיה.

למה חשוב ללמד: "לחשוף את התלמידים להתפתחות החשיבה שהובילה למחקר בננוטכנולוגיה ובעשייה"; "התפתחות הננומדעים והננוטכנולוגיה היא פלטפורמה טובה המאפשרת לתלמידים ללמוד ולהבין איך עושים מחקר מדעי ואיך הרעיון המדעי הופך לאפליקציה".

8. מאחורי הקלעים של הננוטכנולוגיה

המושג מתייחס לשאלה הכללית "כיצד נעשה המחקר בננומדעים?". מושג זה שונה משאר המושגים שזוהו במחקר כיוון שהוא אינו מושג תוכני, אלא מושג המייצג את "טבע המדע" (Nature of Science, NOS) אשר



איור 5: דוגמה להתארגנות עצמית- חד שכבה מולקולרית, אשר מתארגנת בעצמה על פני מים

המחקר הנוכחי התקיים על מנת למצוא את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שתלמידי תיכון חייבים לדעת ולהבין. הממצאים שהוצגו לעיל אינם תלויים בתוכנית לימודים קיימת או ברפורמה בהוראת מדעים כפי שנעשה במחקרים אחרים בעולם (Stevens et al, 2009 Haung, Hsu, and Chen, 2011; Hutchinson et al., 2011). המחקר הנוכחי אפשר בחינה רחבה יותר של תחום החינוך הננוטכנולוגי והניב את המושגים הייחודיים לננוטכנולוגיה שאינם מושגים מדעיים כלליים. המחקר המוצג במאמר זה מהווה אבן דרך חשובה בתחום הוראת הננוטכנולוגיה בעולם, והוא פורסם בהרחבה בשני מאמרים משלימים (Sakhnini & Blonder, 2015; 2016). המחקר מהווה דוגמה לדרך שבה ניתן לנתח תחום מחקר חדשני הנמצא עדיין בפיתוח ולהתאים אותו להוראה ברמה של בית ספר תיכון. באופן דומה ניתן לטפל בתחומי מחקר חדשניים נוספים כגון חקר המוח.

בסופו של תהליך הדלפי לא היו הבדלים בין חוקרים למורים בנוגע לחשיבות לימוד המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה במדעים בתיכון. כלומר, שתי הקהילות הגיעו להסכמה. אבל בסבב הראשון נמצאו הבדלים במושגים שהציעו משתתפי שתי הקהילות. המורים העלו את המושג "ממד וגודל" כמושג בסיסי לתלמידי מדע בתיכון. בעוד שבקהילת החוקרים לא חשבו עליו בשלב הראשון של המחקר. החוקרים "חיים" ופועלים בממד הננומטרי, ולכן לא תפסו כי יכולתם של תלמידים להבין סדרי גודל אינה טריוויאלית. המורים אשר השתתפו במחקר הם בעלי ידע פדגוגי וניסיון בהוראת המדעים ולכן העלו את המושג אשר אינו פשוט להבנה, כיוון שבחיי היומיום אין התנסות בסדרי גודל ננומטריים וקשה מאוד לתפוס ולהבין את המשמעות של סדרי גודל כה קטנים. בנוסף למושג סדרי הגודל, המורים היו הראשונים שהעלו את המושג "מיון של ננוחומרים". כמו הטבלה המחזורית המאפשרת למיין את היסודות והמהווה פלטפורמה מארגנת להוראת היסודות בכימיה, גם המושג מיון ננוחומרים מאפשר הכללה ומיון, והוא חשוב מאוד בהוראת ננוטכנולוגיה. המושג השלישי שבו נמצא הבדל בין המורים לחוקרים (בשלב הראשון של מחקר הדלפי) הוא בשיטות ייצור של ננוחומרים. מושג זה הוצע על ידי חוקרים שהשתתפו במחקר ולא על ידי המורים. עבור החוקרים עבודת המחקר במעבדה, הכוללת ייצור ננוחומרים, היא לב עבודת המחקר. לעומת זאת בעיני המורים תהליך הסנתיזה אינו חלק מפרטואר העבודה שלהם. כאמור, בסופו של תהליך הדלפי לא היו

הבדלים בין שתי קבוצות המחקר עבור מושגים אלה. כלומר, שתי הקהילות הגיעו להסכמה לגבי חשיבות שמונת המושגים שהוצגו במאמר. אבל התהליך של שיטת הדלפי אפשר לכל אחת מן הקבוצות לתרום לתוצר המחקר, דבר המעיד על חשיבות ההפריה ההדדית בין שתי קבוצות המחקר ועל התרומה שיכולה להביא כל קבוצה להוראת תחום מדעי חדשני.

יישום

למיפוי המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שחשוב ללמד במדעים בתיכון, יש מספר יישומים בשדה החינוכי:

1. שמונת המושגים שזוהו יכולים לשמש כמדריך לאנשי חינוך מדעי בבניית תוכניות שלמות ומקיפות בננוטכנולוגיה. תוכניות אלה יכולו את כל הממדים החיוניים החשובים להתפתחות החינוך הננוטכנולוגי.
2. המחנכים הננוטכנולוגיים יכולים להתחבר ביחד ליצירת סביבת למידה שיתופית התומכת בהוראת שמונת המושגים הננוטכנולוגיים, סביבה שתגרום להבנה מעמיקה של מושגים אלה.
3. בנוסף רשימת המושגים שעלו במחקר יכולה לשמש כלי לניתוח תוכניות לימודיות קיימות המיועדות לתלמידי מדעים בבית הספר התיכון. שימוש בכלי כזה מאפשר להעריך כל תכנית קיימת בננוטכנולוגיה על מנת לזהות מושגים חסרים בתוכנית המוצעת ולאפשר את השלמתם.

מחקר המשך

במאמר הנוכחי הוחלט להציג רק את הממצאים עבור המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה שחשוב ללמד במדעים בבית הספר. המחקר שהתקיים רחב יותר, והוא כלל היבטים נוספים שלא הוצגו במאמר הזה. המחקר התייחס לשאלות הנוגעות לאפליקציות ננוטכנולוגיות החשובות להוראה בתיכון ושימש למיפוי המושגים הנחוצים על מנת ללמד כל אחת מהאפליקציות שעלו במחקר. בנוסף בחנו כיצד ללמד את המושגים הבסיסיים שהוצגו במאמר הנוכחי, בתוכנית הלימודים בכימיה בתיכון מופתה, ובדקנו איפה ניתן לשלב את המושגים שזוהו בתוכנית הלימודים הנוכחית בכימיה. ממצאים אלה יוצגו במאמר המשך אשר יפורסם בעל-כימיה.

למידה חוץ כיתתית בכימיה, מפעל הסבונים של סבתא ג'מילה ומה שבניהם

ד"ר אורית הרשקוביץ¹, ד"ר דנה פישר-שחור², ד"ר צביה קברמן³

מהי למידה חוץ כיתתית?

הסיוור הלימודי מכונה גם "למידה בסביבה חוץ-כיתתית" מאחר שהוא מזמן לתלמידים למידה מחוץ לכותלי הכיתה או בית הספר. באופן כללי המושג למידה חוץ כיתתית מתייחס ללמידה מאורגנת המתרחשת בסביבות שונות, לא פורמאליות, שאינן כיתת הלימוד (Rickinson et al., 2004).

הספרות המחקרית מראה כי סיוור לימודי המתוכנן היטב עשוי להוביל להעמקת הלמידה ולשיפור ההישגים בתחום התוכן הנלמד. עצם השינוי בסביבת הלמידה עשוי להוביל להגברת העניין בלמידה. למידה בסביבה חוץ-כיתתית יכולה לתרום לשיפור מיומנויות חברתיות, לשינוי בעמדות ובאמונות כלפי מדע ולשיפור הדימוי העצמי. היא יכולה להשפיע בממד הרגשי ובממד הקוגניטיבי (Bamberger & Tal, 2007; Orion, 1993; Orion & Hofstein, 1994; Rennie, Feher, Dierking & Falk., 2003; Tal, 2001)

ניתן להבחין בשישה מאפיינים ללמידה החוץ כיתתית (מורג, 2010):

1. מתרחשת בסביבה שמחוץ לכיתה.
2. המשתתפים מעורבים באופן פעיל וישיר בפעילות.
3. ההתייחסות והפרשנות נעשות על האובייקטים האוטנטיים של העולם האמיתי.

1 הפקולטה לחינוך, למדע וטכנולוגיה בטכניון

2 המחלקה להוראה, ללימודים כלליים וספורט, המכללה האקדמית להנדסה, אורט בראודה

3 תיכון מקיף "נשר" והפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון

4. עוסקת במערכות יחסים ולא בעובדות בודדות.

5. מפעילה חושים אחדים.

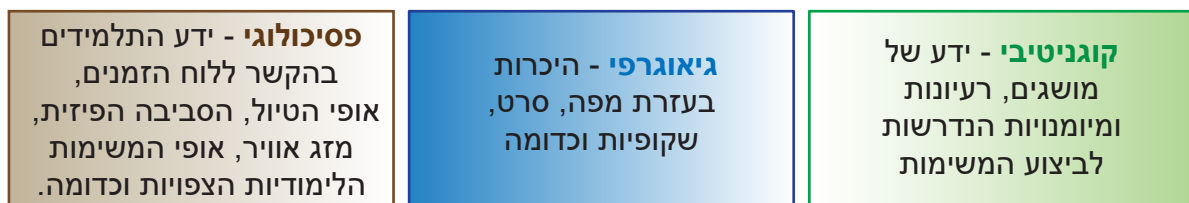
6. הפעילות נחשבת מעניינת, מאתגרת ואף מהנה, לכן היא מושכת את המשתתפים.

אוריון (1996) ממיין את מגוון הסביבות החוץ כיתתיות לשלוש סביבות משנה עיקריות:

- סביבה חוץ כיתתית בנויה, שנבנתה לצורך ביקורי קהל כגון: מוזאון, מרכזי מבקרים.
- סביבה חוץ כיתתית בנויה, שאינה מותאמת במקורה לביקורי קהל כגון: מפעל תעשייה, מרכז עירוני, מרכז למחזור פסולת.
- סביבה חוץ כיתתית פתוחה בטבע, שבה מתקיימים סיורי שדה.

תכנון למידה בסביבה חוץ-כיתתית

להכנת הסיור יש השפעה רבה על יעילותה של הפעילות ועל תרומתה למטרות הלימודיות הן מבחינה קוגניטיבית והן מבחינה ערכית. נמצא שהיכולות הלימודיות של תלמידים בסביבה החוץ כיתתית תלויות במידת ההיכרות שלהם את הסביבה. ככל שהזרות והחידוש גדולים יותר, כך הם עלולים להיות גורמים מעכבי למידה (Orion, 1993). מחקרים הראו שתלמידים המגיעים לסביבה לא מוכרת, עוסקים קודם כל בהיכרות עם הסביבה וצמצום מרחב הזרות, ולכן אינם פנויים להקשבה ולמידה. לעומת זאת, תלמידים אשר קיבלו הכנה לקראת הסיור, ציפו לו ונהנו ממנו יותר מאלה שלא קיבלו כל הכנה, ולמידתם הייתה אפקטיבית יותר. על כן לפני יציאה לפעילות חוץ כיתתית, המורים נדרשים להפגיש את התלמידים עם כל מרכיבי הסביבה החדשים ולהקטין את חוסר הוודאות שלהם בשלושה ממדים: קוגניטיבי, גיאוגרפי ופסיכולוגי כמוצג באיור 1.



איור 1: שלושת הממדים להכנת תלמידים ללימודי חוץ כיתתית

הלימוד בסביבה חוץ כיתתית כוללת שלושה שלבים: פעילות מקדימה, סיור ופעילות מסכמת. המטרה של היחידה המקדימה את היציאה לסיור היא, כאמור, להכין את הלומדים לקראת הפעילות החוץ-כיתתית ובכך להקטין את מרחב הזרות. הפעילות בסביבת הלימוד החוץ-כיתתית צריכה לשלב פעילות אקטיבית ומוחשית של הלומדים הכוללת איסוף ועיבוד של מידע. חשוב לזמן לתלמידים התנסויות מפעילות ולהבטיח שהפעילות בסביבת הלימוד החוץ-כיתתית תהיה בעלת ערך מוסף לפעילות בכיתה, רלוונטית לתלמידים ומתאימה לפוטנציאל של הסביבה. השיעור המסכם בכיתה צריך להתמקד בהבניית הידע. זהו תהליך קוגניטיבי-מופשט וחשוב שיעשה בכיתה במהלך אינטראקציה בין המורה לתלמידים ובין התלמידים לבין עצמם.

המורה, שמכיר הן את התלמידים והן את תוכני הלימוד, הוא בעל תפקיד מרכזי בקישור הלימוד החוץ-כיתתית לתכנים הנלמדים בבית הספר. עבור התלמידים המורה משמש מתווך בזמן הסיור עצמו: המורה הוא היחיד שיכול לחבר בין עולם המושגים הידוע לתלמידים מבית הספר ובין החוויה החוץ-כיתתית.

טבלה 1 מסכמת את תפקיד המורה לצד פעילות התלמידים בשלבים השונים בלימוד החוץ כיתתית (אלקחר, במברגר, לוי ופלד-ליון, 2011).

לאחר הסיור	במהלך הסיור	לפני הסיור	
<ul style="list-style-type: none"> הערכת איכות הסיור הערכת תוצרים 	<ul style="list-style-type: none"> הוראה, ליווי והנחיה משמעותיים 	<ul style="list-style-type: none"> היכרות מקדימה עם מקום הסיור הכנה ראוייה של התלמידים בהיבטים קוגניטיביים, ריגושיים וגיאוגרפיים 	מורים
<ul style="list-style-type: none"> הערכת איכות הסיור ביצוע והצגת תוצרים 	<ul style="list-style-type: none"> ביצוע משימות לימודיות משמעותיות 	<ul style="list-style-type: none"> היכרות מקדימה עם מטרות הסיור, ציפיות המורה מהם ביצוע משימת הכנה משמעותית ומעניינת 	תלמידים

טבלה 1: תפקיד המורה ופעילות התלמידים בשלבי הסיור השונים

אוגדן ללמידה חוץ כיתתית במסגרת שיעורי הכימיה

בהנחיית מפמ"ר כימיה פותח בטכניון בשנה"ל תשע"ז, במסגרת המרכז הארצי למורי כימיה, אוגדן ללמידה חוץ כיתתית בכימיה⁴.

מטרת האוגדן היא הכנת תשתית רחבה ללמידה חוץ כיתתית בכימיה, הכוללת איתור 62 אתרים המתאימים לעריכת סיור לתלמידי כימיה הפזורים באזורים גיאוגרפיים שונים בארץ: צפון, מרכז וירושלים, דרום. אתרים אלו כוללים ארבעה מוקדים: תעשייה, אקדמיה, סביבה ומוזאון כמוצג באיור 2.



איור 2: ארבעת המוקדים לאתרים המתאימים ללמידה חוץ כיתתית בכימיה

האוגדן כולל רקע תאורטי לרציונל של למידה חוץ-כיתתית, טבלאות המכילות קישורים ל-62 האתרים השונים שאותרו בארץ ושנמצאו מתאימים לביצוע סיורים במסגרת לימודי הכימיה, ומקבץ של דפי מידע הכוללים תיאור המקום, דרכי התקשרות לתיאום סיור, הצעות, רעיונות ו"טיפים" לפעילויות מקדימות במהלך הסיור ואחריו.

בטבלה 2 מוצג המגוון הרחב של אתרים בכל רחבי הארץ המתאימים ללמידה חוץ כיתתית בכימיה בארבעת המוקדים.

4 פיתוח: ד"ר אורית הרשקוביץ, ראש הפרויקט וייעוץ פדגוגי: פרופ' יהודית דורי

מיקוד	אזור	צפון	מרכז ירושלים	דרום
תעשייה	12 אתרים	5 אתרים	9 אתרים	
סביבה	4 אתרים	6 אתרים	3 אתרים	
אקדמיה	8 אתרים	7 אתרים	1 אתרים	
מוזיאון	3 אתרים	3 אתרים	1 אתרים	
סה"כ	27 אתרים	21 אתרים	14 אתרים	

טבלה 2: פריסת האתרים ללמידה חוץ כיתתית בכימיה כפי שהם מופיעים באוגדן

באתר המרכז הארצי למורי כימיה, בלשונית של חומרי למידה, ניתן למצוא מידע רחב והצעות ללמידה חוץ כיתתית בכימיה. מידע זה כולל את האוגדן ללמידה חוץ כיתתית בכימיה ומגוון דוגמאות להנחיות והצעות לפעילויות לתלמידים המתאימות ללמידה חוץ כיתתית.

השתלמויות ללמידה חוץ כיתתית בכימיה

בחודש יולי 2017 קיים צוות הטכניון שתי השתלמויות למורי כימיה בנושא הלמידה החוץ כיתתית בכימיה: האחת בטכניון והאחרת במכון ויצמן. בהשתלמויות, שבהן השתתפו כארבעים מורי כימיה, נערכו סיורי היכרות עם מגוון אתרים בארץ. במסגרת ההשתלמות בטכניון התקיימו: סיור בפקולטה להנדסת חומרים ובפקולטה לכימיה (ממד אקדמיה), סיור באיגוד ערים מפרץ חיפה והסביבה (ממד סביבה) וסיור בבז"ן (ממד תעשייה). במסגרת ההשתלמות במכון ויצמן התקיימו סיור במפעל הטבילות ובמעבדות הנקיות בטבע בכפר סבא (תעשייה) וסיור במרכז המבקרים במכון ויצמן (מוזיאון) ובפקולטה לכימיה (אקדמיה).

במסגרת ההשתלמות התנסו המורים בביצוע סיור עצמאי ובהכנת פעילויות מלוות לתלמידים. מגוון היעדים שבחרו המורים כללו בין היתר את המכון לחקר ימים ואגמים, טמפו בנתניה, מפעל הסבונים של סבתא ג'מילה בתפן, מפעל טוואר במגדל העמק, עלית בנצרת, נוער שוחר מדע באורט בראודה בכרמיאל, מפעל פניציה בציפורי, מערת הנטיפים, פארק המחזור אריאל שרון, מעבדות בלמונטה באוניברסיטה העברית, מתקן מו"פ של טבע בפתח תקווה, מרכז מבקרים "שרינה שוקולד" בעין ורד.

למידה חוץ כיתתית במפעל הסבונים של סבתא ג'מילה

צביה ודנה אשר השתתפו בהשתלמות ללמידה חוץ כיתתית בטכניון, בחרו ביעד זה מכמה סיבות:

- המפעל נמצא במיקום נגיש לבתי הספר הממוקמים צפונית לחיפה.
- המפעל מבוסס על שמן זית מהתוצרת המקומית ומשלב מסורת עתיקה עם קדמה ושכלול.
- חומרי הגלם והתהליך מתחברים לתכנית הלימודים, מעשירים את הלמידה ומקרבים את תכניה לעולם האמיתי. ניתן בהחלט לראות יישום מעשי של החומר התאורטי הנלמד בכיתה.
- המפעל מבוסס על עבודה מקומית, ובכך חשיבותו כמודל מחנך לעבודה וניצול כוח אדם מקומי לתעשייה. במפעל עצמו קיימת תודעת שיווק גבוהה, והעובדים נלהבים ללמד ולספר על התעשייה, על המסורת ועל הדרוזים בגליל.
- גם במפעל החדש שבפארק התעשיות בתפן וגם במפעל הוותיק בפקיעין קיים מרכז מבקרים. במרכז המבקרים בפקיעין ניתן לראות את שיטת הבישול המסורתית של הסבון ואת זיקוק הצמחים. במפעל החדש בתפן ניתן לראות את אולמות הייצור שבהם מוזגים את התערובת, חותכים את הסבון לאחר שהתערובת התקררה ומטביעים את החותמת.



תמונות מחנות הסבונים במפעל

כהכנה לסיור מומלץ לרענן את ידע התלמידים בנושאים: חומצות שומן, טריגליצרידים, שומנים ושמינים, תהליך סיבון (העשרה) ומבנה מולקולות הסבון ותפקודן כדטרגנט מסיר לכלוך ושומנים. כמו כן מומלץ להכין סבון משמן זית במעבדה. באתר המרכז הארצי למורי כימיה ניתן למצוא את [כל ההנחיות והפעילויות לסיור במפעל הסבונים](#).

הסיור עצמו מתבצע אך ורק במרכז המבקרים. מסיבות בטיחותיות וכן בשל הצורך בשמירה על סטריליות, לא ניתן להיכנס לאולמות הייצור. הסיור כולל סרט על אישיותה ופועלה של סבתא ג'מילה, כולל סרטון הדלקת המשואה. בתיאום מראש יוכלו התלמידים לשמוע את ההרצאה מפיה של הסבתא.

הפעילות המסכמת המוצעת כוללת שלושה היבטים:

צפייה בסרטון המציג הכנת סבון בתהליך ייצור תעשייתי-מכני. התלמידים צריכים לערוך השוואה בין התהליך הידני של הכנת הסבון במפעל של סבתא ג'מילה לבין התהליך התעשייתי;

- כניסה [לאתר הפייסבוק של סבתא ג'מילה](#), קריאת כתבות שונות באתר והכנת עיתון על פועלה של סבתא ג'מילה תוך כדי התייחסות למגוון ההיבטים (מדעיים, חברתיים, ערכיים, ציבוריים ועוד) המוצגים בכתבות.
- סיכום רפלקטיבי של הביקור במפעל.

מעבר להיבט הכימי של הסיור במפעל, יש תרומה ערכית משמעותית לביקור. ג'מילה ח'יר (סבתא ג'מילה) נולדה למשפחה דרוזית בכפר פקיעין שבהרי הגליל. משחר ילדותה ליוותה את סבתה ואת אימה בצאתן ללקט צמחי מרפא על מורדות ההרים, לפי מיטב המסורת הגלילית. כשבגרה, ביקשה ג'מילה לחקור את סודותיהם של השדות הנרחבים ועתירי הצמחייה, הקרויים בפיה 'בית המרקחת של הטבע'. במשך עשרות שנים היא פיתחה בביתה נוסחה מקורית רבת עוצמה המרכיבה צמחים ושמינים מן הטבע. מפעל הסבונים של סבתא ג'מילה פועל כיום כמפעל משפחתי, ובו מייצרים כיום סבונים טבעיים משמן זית טהור ומעשבי מרפא. הנוסחה היא סוד משפחתי, ולסבונים יצאו מוניטין של בעלי סגולות ריפוי למגוון רחב של בעיות עור.



תמונות מאזור הסימון, ההטבעה וחיתוך הסבונים

ביום העצמאות ה-58 למדינת ישראל בו העלו על נס את פיתוח הנגב והגליל זכתה סבתא ג'מילה, להדליק משואה בטקס המרכזי בהר הרצל בירושלים. כיום סבתא ג'מילה בת 76 והיא מייצגת גישה פמינסטית פורצת דרך, היא מעסיקה בעיקר נשים במפעל ועובדת בעמותה של אנשים בעלי צרכים מיוחדים. במפעלה ברוטרדם בהולנד היא מעסיקה אנשים בעלי צרכים מיוחדים.

המפעל מהווה דוגמה לתעשייה קטנה בפריפריה, המבוססת על אוצרות הטבע המקומיים. מעבר לכך בשני מרכזי המבקרים (בתפן ובפקיעין) האווירה חיובית ומזמנת, ריח הסבונים נעים מאוד ובכך אנו מבטיחים לתלמידנו חוויה טובה ומשמעותית במגוון חושים...

מקורות

אוריון, נ. (1996). סביבת הלימוד החוץ-כיתתית. בתוך: גרטל, ג. ואוריון, נ. (עורכים), *הוראה בסביבת הלימוד החוץ כיתתית*, משרד החינוך והתרבות, האגף לתוכניות לימודים, ירושלים. 11-25.

אלקחר, א., במברגר, י., לוי, ק. ופלד-ליון, ר. (2011). סיור לימודי כחלק מהעשייה במוט"ב. *מוט"ב כעת*, 7 עמ' 40-43.

מורג, א. (2010). הפעילות החינוכית בשמורות טבע, גנים לאומיים ואתרים ארכיאולוגיים בישראל: דפוסים, תפיסות ומאפייני למידה. *עבודת תיזה*, הטכניון.

Bamberger, Y., & Tal, T. (2007). Learning in a personal context: Level s of choice in a free choice learning environment in science and natural history museums. *Science Education*, 91, 75-59

Orion, N. (1993). A Model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93, 325.133

Rennie, L.J., et al. (2003). Toward an agenda for advancing research on science learning in out-of-school settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 112-120.

Rickinson, M., et al. (2004). *A Review of research on outdoors learning*. National Foundation for Educational Research (NFFR), UK.

Tal, R.T. (2001). Incorporating field trips as science learning environment enrichment – an interpretive study. *Learning environment Research*, 4, 25-49.

Tal, T., & Morag, O. (2009). Reflective practice as a means for preparing to teach outdoors in an Ecological Garden. *Journal of Science Teacher Education*, 20. 245-262. DOI 10.1007/s10972-9131-1

יש בינינו כימיה



90 40 19
Th In K
Thorium Indium Potassium
כימיה המדע המרכזי



הערכה חלופית, חדר בריחה ופרויקטים נוספים

ן לבינסקי, מורה לכימיה, עירוני ה' על שם יצחק נבון, מודיעין

שלווקח למצוא את התפקיד הבכיר הבא שלי, אעשה תעודת הוראה. למרות שאני בעל תואר שני במנהל עסקים, היה לי ברור שתעודת הוראה תהיה במדעים בהתאמה לתואר הראשון שלי שהוא במדעי החקלאות. סיימתי את לימודי תעודת ההוראה בעודי עובד בפרויקטים זמניים. מכיוון שטרם מצאתי מקום עבודה הגשתי מעומדות להוראת מדעים והתחלתי ללמד את שנתי הראשונה כמורה למדעים בעירוני א' במודיעין. בתוך 3 חודשים הפסקתי לשלוח קורות חיים וידעתי שמנקודה זו כבר אי אפשר לחזור אחורה – אהבת מקצוע ההוראה דבקה בי.

אחד מהגאונות הגדולות שלי היא "הכימיה" שאני מצליח ליצור עם התלמידים למרות גילי המופלג (אני בן 50). גיליתי שאני אוהב ללמד ולחנך, והתלמידים מחזירים לי אהבה. דבר נוסף שגיליתי במהלך השנתיים הראשונות שלי בהוראת המדעים בכיתות ז'-ט' היה שאני אוהב מאוד ללמד את נושא הכימיה.

רגע לפני שנעסוק בהערכה חלופית, קצת תמונת רקע על מנת שהכול יתכנס לאווירה הנכונה:

אחרי 40 שנות עבודה בשוק הפרטי בשלל תפקידים ששיאם תפקידי סמנכ"ל במספר חברות, הגעתי לצומת דרכים. חיפשתי אחר משרה חדשה או בשפת העם – עשיתי "חישוב מסלול מחדש..."

אתם ודאי יכולים לנחש את התשובה אבל אספר לכם בכל זאת. בגיל 43 זכיתי להגשים חלום! בתום לימודי בתיכון תמיד ידעתי שארצה להיות מורה, אך החיים הובילו אותי במסלול שונה. לימודי תואר ראשון, חתונה, בחירת מקומות עבודה ותפקידים התומכים בפרנסת משפחה צומחת ומשם להתמקצעות בתפקידי שיווק, מכירות וקידום למשרות ניהוליות. בגיל 43, לאחר שנים רבות של הגשמה כלכלית, סיימתי את עבודתי בתפקיד כלשהו. מכיוון שלקח זמן למצוא תפקיד חדש במשרות הבכירות, חשבתי לעצמי שבזמן

תמונת שער הכתבה: קיר "יש בינינו כימיה", עירוני ה' מודיעין

ככה מצאתי את עצמי בוחש בקדרה של חומרי הלימוד לשכבת י' וי"א בכימיה. ולמרות שכל המצגות של חומרי הלימוד כבר מוכנות, כל הנאומים ומערכי השיעור כבר נמצאים וסדורים, אני מנסה שוב ושוב להעלות באוב משהו חדש. משהו שיהפוך את הלמידה לשונה, למעניינת. משהו שיגרום לברק בעיני התלמידים, משהו שמוכר בעולם העסקי כאפקט ה-WOW. ואם כבר עסקינן בכימיה שבה מחפשים אחר יסודות חדשים - כאן מצאתי את עצמי מחפש אחר היסוד החמקמק, יסוד ה-Wow.

מצאתי את עצמי חושב איך אני הולך להפוך את הלמידה למעניינת יותר, לגרום לתלמידים ליהנות מהלמידה וליצור להם חוויית למידה חיובית. איך אני אלמד אותם נושאים שונים ואקשור אותם לעולם שלהם, איך אתן משמעות ללמידה ואגרום להם לעבוד בצוות ולא רק בעבודה אישית.

וכך לצד הלמידה הסטנדרטית הוספתי פרויקטים שיתבלו להם את הלמידה ויוסיפו לה ערך נוסף. לכל הפרויקטים דאגתי למחווים מסודרים, וכולם נכנסו כהערכה חלופית.

הדגש האישי שלי היה שכל פרויקט שזכה צריך לעשות WOW לתלמידים עצמם, לחבריהם לכיתה, ולכמה שיותר מעגלים מסביב - לתלמידים אחרים בבית ספר, לצוות ההוראה ואפילו לתלמידים ועובדי הוראה מחוץ לבית ספר.

מאוחר יותר התחברתי למושג "שגשוג" - שוש צימרמן, מנהלת אגף תכניות סיוע ומניעה, פרסמה באתר שפינט² סיכומים נבחרים מהרצאות הכנס הבינלאומי השני של הפסיכולוגיה החיובית, בין היתר כתבה: "המטרה היא לאפשר לתלמידים לשגשג, התשוקה ללמוד וליצור מעידה על שגשוג. על כן נשאלת השאלה מה מקדם את התשוקה ללמוד וליצור?"

התשובה לכך נחלקת ל-4 קטגוריות של חוויות שמונעות מבפנים:

1. חוויות חיוביות
 2. חוויות שיוצרות מעורבות (למשל עיסוק בתחביבים)
 3. חוויות שמקורן במציאת משמעות
 4. חוויות שמקורן ביחסים חברתיים.
- כל ארבע החוויות הללו מייצרות סקרנות ורצון ללמוד. אלה חוויות שמייצרות אנרגיה ומניעות אותנו לפעולה, דבר שמעודד יצירתיות ומגדיל את הקומפוטנטיות שלנו. נוצר כאן תהליך ספירלי שממשיך להניע את עצמו."
- וככה התחלתי ללמד כימיה.

המורים בצוות שלי לא הופתעו כשסיפרתי להם על הגשת מועמדותי ל"תוכנית להרחבת הסמכה למורי מדעים להוראת כימיה לבגרות" במכון ויצמן. ההתלהבות שגיליתי והברק בעיניים עזרו לי לעמוד בתנאי הקבלה למרות שלא הייתי קהל היעד המדויק שאליו כיוון הקורס מלכתחילה.

אין ספק לרגע שהנער שעשה 10 יחידות בגרות בביולוגיה ורק 2 יחידות בגרות בכימיה גילה את עצמו ועבר מהפך.

אז כיום אני בשנתי השישית בהוראה, מתוכן שלוש שנים בהוראת כימיה. זו השנה הראשונה שאני מגיש תלמידי י"א לבגרות- כובד האחריות מורגש חזק על הכתפיים אבל הלב מתפוצץ מגאווה.

והנה הגענו אל הנושא המרכזי: הכול מתכנס לאותו רגע בכיתה שאתה עומד יחיד מול רבים וצריך "להעביר" את החומר. להוציא את הידע שטמון אצלך ולהעביר אותו הלכה למעשה אל התלמידים כך שבינו, יידעו להשתמש בידע, ליישם אותו, להפוך בו, לנתח אותו, לצרף מידע שונה לידע חדש ואף לבצע הערכה מושכלת והכול בלי לשעמם, בלי להיות אותו מורה מונוטוני שמדקלם את המילים, רושם על הלוח, מכתוב סיכומים. אין סיכוי שככה הייתי מעביר שיעור ושורד.

אחרי 3 שנים בעירוני א' שהיווה עבורי בית ומקום צמיחה מדהים, עברתי לעירוני ה' במודיעין. בית ספר צומח שידעתי שייפתח בו תיכון בתוך שנתיים ושבנו אוכל לפתוח מגמת כימיה. בית הספר תומך בלמידה ע"י פרויקטים. P.B.L. מהווה אחת מאבני היסוד ללמידה בבית הספר, להלן פירוט חלק מאבני היסוד של בית הספר:

- פיתוח מיומנויות "האדם הלומד"- הפדגוגיה רלוונטית למאה ה-21.
- "ביצועי הבנה" תוצרים יצירתיים.
- למידת חקר המחברת בין החומר הלימודי לעולם האמיתי.
- עיצוב שאלות בעלות ערך "שאלות פוריות" המניעות את תהליך הלמידה.

אבני יסוד אלו מבטיחות כי לעולם לא תהיה הלמידה משעממת. (עוד ניתן לקרוא על הערכה חלופית ו-PBL באתר משרד החינוך- חינוך לחשיבה אופק פדגוגי¹)

בית הספר משלב בתכנית הלימודים פעילויות ותכנים הדורשים מהתלמידים מעורבות פעילה ודורש מהמורים להמציא את הגלגל בכל פעם מחדש ובכל פעם טוב יותר.

1 http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut_Pedagogit/OfekPedagogi/Aaracha/PBL.htm

2 <http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Shefi/YedaMiktzoeiHachshara/PsichologiaHyuvit/PositivePsyKenes2.htm>

האישי שלי היה על כך שכל פרויקט שכזה יעשה WOW לתלמידים עצמם, לחבריהם לכיתה ולכמה שיותר מעגלים מסביב (לתלמידים אחרים בבית ספר, לצוות ההוראה ואפילו לתלמידים ועובדי הוראה מחוץ לבית ספר) - עכשיו הייתי צריך לעמוד במילה שלי.

גייסתי את תלמידי מגמת אמנות בבית הספר שקיבלו על עצמם לעצב "קיר כימיה", והתוצאה הדהימה את כולנו. החל משימוש בחומרים (דיסקים של מחשב) ובתהליך כימי (בישול) בבניית הקיר וכלה בקיר מעוצב לעילא ולעילא (יכולת התפשטות שונה של חומרים שונים יצרה דיסקים בצורות גלים).

קיר הכימיה הוצב בכניסה למתחם המעבדות כך שכל תלמידי בית הספר עברו על פניו. תלמידי מבוא ומגמת הכימיה הציגו על הקיר טעימות קטנות של ידע ומידע, ואחת לשבוע הוחלפו קטעי המידע, ופריט מידע רענן וחדש הוצג לתלמידי בית הספר בשכבות השונות.

הנחיות:

סיום הפרויקט הראשון הגיע בדיוק במועד לפתיחתו של הפרויקט השני עם תחילת לימודי הנושא הטבלה המחזורית.

תלמידי מבוא לכימיה הגרילו ביניהם את יסודות הטבלה המחזורית ויצאו שוב לחקר רשת. מעבר למידע הרגיל שתלמידים מתבקשים למצוא על היסודות השונים, הם התבקשו בין היתר להביא מידע שונה, מעניין, יוצא דופן שיעורר עניין וסקרנות בקרב מי שיקראו את המידע.

מטרות הפרויקט היו דומות למטרות המצוינות מעלה אבל הנושא היה שונה. מטרה נוספת שנוספה לאור הצלחת הפרויקט הראשון הייתה יצירת תוצר שיהווה "גאוות יחידה" לתלמידי המבוא. ככה נולדה יצירת הטבלה המחזורית הגדולה בארץ. זו לא תצוגה דו-ממדית אלא "פסל סביבתי" תלת-ממדי צבעוני המושך את העין והמאפשר לגעת, לסובב, לקרוא ופשוט לשוטט בין היסודות השונים.

כמו בכל פרויקט טוב גם פה התבקשו תכנון מוקדם וחשיבה יצירתית. החל מהשאלה איך יהיו בנויים חלקי המידע של הטבלה המחזורית – לדוגמה, הצורך באיחודות במבנה הגשת המידע - דרך אופן הצגתו בתוך מבנה הטבלה המחזורית, וכמובן - בניית המבנה עצמו בביצוע אב הבית והלבורנט המוכשרים שלנו. הטבלה המחזורית שגובהה מעל 2 מטר ואורכה מעל 5 מטרים, עומדת לתפארת ברחבת הכניסה למתחם המעבדות לצד קיר הכימיה - מיקום מנצח שאינו מאפשר התעלמות!

מחווה:

כבר בעת כתיבת התוכנית השנתית, לצד חלוקת התכנים על פני השנה, בניית לוח מבחנים, תכנון מעבדות, חיפוש אחר סיורים מעניינים, הרצאות, התחלתי לחשוב על יצירת עניין אצל התלמידים שיוציא אותם אל מחוץ לקופסת החשיבה של הכיתה.

רציתי למדוד אותם לא רק בשליפת הידע בבחנים ומבחנים אלא גם בתשוקה שלהם ללמידה, ביצירת חוויות שונות ולאפשר להם לבוא לידי ביטוי בדרכים יצירתיות. כל פרויקט שיזמתי היה בסיס להערכה חלופית. שהרי הערכה חלופית מהווה חלופה להערכה המסורתית והמקובלת - המבחן - ובאה לבדוק מה מידת יכולתם של תלמידים ליישם את הידע, המיומנויות וההבנה שרכשו- בתנאים הקובעים של "העולם האמיתי" שמחוץ לבית הספר. המטרה היא לאפשר להם חוויות בגובה העיניים מתוך עניין שלהם בתחומים הקרובים ללבם. וזה היה המוקד – להגיע אל לבם.

בשנה הראשונה לפתיחת המגמה בעירוני ה' היו לי 2 קבוצות: האחת ממגמת כימיה והאחרת קבוצת מבוא לכימיה, שתיהן בשכבת י'. לכל אחת מהן התאמתי פרויקטים שונים.

בתחילת השנה התבקשה קבוצת המבוא לכימיה לחקור ולהציג את פרויקט "היום לפני", משמע לחפש אירועים הקשורים לעולם הכימיה על פי תאריך בשנה.

לפרויקט היו מספר מטרות:

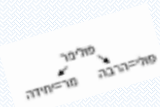
- לאפשר להם לבצע חקירת רשת ולהביא אותה לידי ביטוי באופן יצירתי.
- לשתף במידע שונה, מגוון, שאולי לא מעניין ללמוד אבל כן מעניין לשמוע עליו. מידע שלרוב לא מוגש בשיעורים.
- לבצע למידת עמיתים על ידי שיתוף במידע שצברו.
- לעורר עניין בכימיה ובמגמת הכימיה על ידי הצגת המידע באופן חזותי ומעורר עניין אשר יהיה גלוי בפני כול תלמידי בית הספר ("שיווק ומכירה" הם לא מחוץ לתחום בגיוס למגמה).

הביצוע הצריך תכנון מראש, והשבועות בשנה חולקו בין התלמידים. כל התלמידים חקרו על אירועי אותו שבוע לאורך ההיסטוריה ואיתרו מידע מעניין מתוך מספר מקורות מידע שהעמדתי לרשותם. התלמידים קיבלו מחוון מדויק כך שידעו מה לעשות, מתי, מה מצופה מהתוצר וכיצד להגישו.

קבוצת תלמידי המגמה קיבלו פרויקט עם מטרות דומות ותוצרים דומים. נושא החקר שלהם היה הספר "כימיה ברוח הזמן" - 100 שנות כימיה כחול לבן במכון ויצמן. מתוך הספר הם בחרו נושאים אשר אותם סיכמו והציגו בצורה מגוונת.

כעת נותר היה להציג את תוצרי העבודות. אם אמרתי שהדגש

פולימרים – חומרים משנים עולם



במהלך העשורים הראשונים לקיומו של מכון וייצמן – הרבה מכימאי המכון הקדישו מאמצים רבים לחקר המבנה, התכונות והשימושים של הפולימרים.

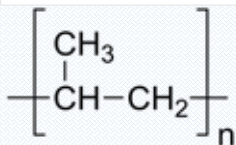
אז מהו בעצם פולימר?

פולימר היא מולקולת ענק המורכבת ממספר בלתי מוגבל של יחידות בסדר מסוים שחוזר על עצמו.

דוגמאות מוכרות לפולימרים הם הדי-אן-איי וחלבונים.

המדענים חקרו את תכונותיהם של פולימרים טבעיים ואת יחסי הגומלין שלהם עם יונים ומולקולות קטנות. בעקבות מחקרים אלו צמחו המצאות שמושיות רבות כגון: תרסיס של תמיסת פולימר להגנה על פירות, חומרים מעכבי שריפה, פוליאסטר משופר, קוטלי חרקים, פלסטיק מיוחד לכיסוי חממות וקרומים בעלי תכונות ייחודיות.

דוגמא ליחידה החוזרת על עצמה פעמים רבות (מומרת) וכן יוצא לנו שרשרת ארוכה של חוליות הקראת פולימר



מאי מלובץ

מקורות מידע:

1. מכון וייצמן- פולימרים
2. אנציקלופדיית YNET- פולימר, מתוך כימיה
3. ניוטון המצאות גדולות באמת- המצאת הפלסטיק
4. כימיה ברוח הזמן- פולימרים

המדען הגדול שחזה את העתיד



גדול הכימאים



דימיטרי מנדלייב היה הכימאי שפיתח בשנת 1869 את הטבלה המחזורית. הוא סידר בה את כל היסודות הידועים לו. אחת העבודות החשובות והמשפיעות בתולדות המדע. הריצות, החזון, התבונה והיצירתיות של שהפך מנדלייב בעבודתו היו לאבן דרך חשובה בתולדות המדע.

איך הוא עשה זאת?

המדען הרוסי מנדלייב סידר את היסודות בטבלה הנקראת על שמו- הטבלה המחזורית של מנדלייב. בתקופתו של מנדלייב היו ידועים רק 63 יסודות. מנדלייב שהיה שחקן קלפים שאהב לשחק סולטר רשם את תכונות של כל יסוד על פתק נפרד. כאשר חיפש סדר הגיוני לסידור הפתקים ראה כי לייסודות מסוימים תכונות דומות וכן ניתן לחלק את היסודות למשפחות על בסיס התכונות המשותפות הללו.



וביום שני, 17 בפברואר 1869, מצא מנדלייב שכאשר היסודות מסודרים בסדר עולה של משקלים אטומיים, ותכונותיהם משתנות בהדרגה, וכן שלאחר כל כמה יסודות שב ומופיע באופן מחזורי יסוד שתכונותיו והתנהגותו דומים ליסוד שהופיע קודם לכן.

בטבלה שלו סידר מנדלייב את היסודות כך שבטורים האנכיים - "מחזורים" - השתנו התכונות בהדרגה ואילו בשורות האופקיות - "משפחות" - ניבאו יסודות דומים (בטבלה המחזורית המודרנית התחלפו תפקידי השורות והטורים).



יותר מדויק ממגלי היסודות...

הסידור של מנדלייב היה כל כך מדויק שמנדלייב ניבא את מציאתם של יסודות שלא היו מוכרים בתקופתו. הוא גם ניבא את תכונותיהם. בחלק מהמקרים, התחזיות של מנדלייב היו מעט שונות מהתוצאות שקיבלו מגלי היסודות. רק כעבור שנים רבות, כאשר ציוד חדש ומשולט עמד לרשות המדענים, התברר כי התחזיות של מנדלייב לגבי התכונות של היסודות היתה יותר מדויקת מאלה של מגלי היסודות.

הקטנה הישנה

- רישומי מנדלייב הקלאסי
- התפרקה המחזורית הראשונה במרכז המדע והטכניקה של מוסקבה
- זו היתה רישומי מנדלייב בילד ובשפתו. אנציקלופדיית אנציקלופדיה
- אנציקלופדיה
- כך נבנה דימיטרי מנדלייב את רצף המבנה המחזורי הישן

עם התחזית
דיוקן ויזואלי

עבודות תוצרי מבוא לכימיה ומגמת כימיה



הטבלה המחזורית. משמאל לימין: מורה לכימיה; הגב' ליאת אפלבוים, מנהלת עירוני ה' מודיעין, ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה. לבינסקי רן, מורה לכימיה, עירוני ה' מודיעין



תלמידי כימיה יוד - הנבחרת שכנתה את חדר הבריחה

לידי יישום את הידע שצברו במהלך הלמידה. אבל לאחר שעה קצרה זה נגמר, וכל שנותר הוא זיכרון של חוויה מדהימה³ - אבל אני רציתי יותר.

לקחתי את חדר הבריחה המסורתי צעד אחד קדימה. המתודה של מכון ויצמן הייתה להביא לתלמידים חדר בריחה מן המוכן ולתת להם להתנסות בחוויית חדר הבריחה כחלק מתהליך הלמידה. מי שעשה את חדר הבריחה המקורי היו צוות המרכז הארצי למורי הכימיה ולאחר מכן מורים לכימיה שהשתתפו בהשתלמות בנושא. המתודה שלי אמרה: למה לא לתת לתלמידים לתכנן, לפתח חדר בריחה, לבנות אותו ולהפעילו עבור תלמידים אחרים?

לפעילות חדר הבריחה נלווה ערך מוסף. התלמידים למדו את החומר מתוך הנאה ועניין. הלמידה הגיעה אל עולמם שחדרי הבריחה הם חלק ממנו. זוהי חדשנות העונה על הגדרות "למידה משמעותית", העברת חומר הלימוד לתלמידים בצורה חווייתית. חדשנות היוצרת סינרגיה בלמידה וכמו שקראנו לזה בהתחלה - שגשוג.

לפרויקט היו מטרת גלויות ומטרות "סמויות". המטרות הגלויות עבור תלמידי מגמת הכימיה היו למידה חווייתית, יצרית ומתן הערכה חלופית. המטרה "הסמויה" הייתה חלק "ממזימה" שיוקית שממש לפני ערב המגמות, ביקשה לחשוף בפני תלמידי שכבת ט' את עולם הכימיה ולגרות אותם לבחור במגמת הכימיה.

בשלב זה עוד לא הגענו למחצית השנה הראשונה לקיומה של מגמת כימיה בבית הספר, וכבר כל תלמידי בית הספר מכירים את המגמה וחשופים לפרטי מידע מגוונים מעולם הכימיה. והנה תלמידי הכימיה לומדים מחוץ לקופסה, מבצעים תוצרי למידה מגוונים ובדרכי למידה מגוונות, עובדים כיחידים וכקבוצה, מבצעים למידת עמיתים ונחשפים לפרטי מידע מעבר לסילבוס הרשמי.

עכשיו נותר הפרויקט המרכזי של תלמידי המגמה - חדר בריחה כימי. החל מ-2006 החלו לצוץ ברחבי העולם חדרי הבריחה הנחשבים היום לטרנד בילוי, ובישראל לבדה יש מעל ל-200 חדרי בריחה. לצערנו למידה בדרך משחק פוחתת עם הגיל: "למידה בדרך משחק נפוצה יותר בבית הספר היסודי, מתמעטת בחטיבת הביניים ונזנחת כמעט לחלוטין בחטיבות העליונות. מחקרים רבים הוכיחו שמשחק הוא חלק מתהליך הלמידה בכל גיל" (הויזינגה, 1984).

אל "חדר הבריחה הכימי" נחשפתי בעקבות פעילות חדר בריחה שהועברה על ידי ד"ר רן פלג וד"ר מלכה יאיון אשר הגו, פיתחו ומפעילים חדר בריחה בכימיה במסגרת המרכז הארצי למורי הכימיה. ביוזמת ד"ר דבורה קצביץ, ראש המרכז הארצי למורי הכימיה, ובתמיכה ועידוד של ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה.

אני אישית נהיית מאוד מחדר הבריחה. עצם הרעיון להביא חדר בריחה לתלמידים הוא רעיון מעולה. הם נהנים, מביאים



תלמידי כיתה ט' פותרים חידה בחדר הבריחה הכימי



תלמידי ט' במהלך חדר הבריחה

הבריחה למצב ההתחלתי, דבר שדרש מסירות ומחויבות לפרויקט. הפידבק של כל המבקרים היה מדהים. מורים משני בתי ספר בעיר, ותלמידיהם עמם, באו לצפות ולחוות בחדר הבריחה. ולאחרונה התבשרתי מאחת התלמידות על המערך הדומה שבנתה בתנועת הנוער שבה היא מדריכה.

מחוו: <https://goo.gl/XGGGQ6>

סרטון פתיחה: <https://goo.gl/XqDh8J>

הפרויקטים "קיר כימיה" "הטבלה המחזורית" ו"חדר הבריחה" היו פורצי דרך ואף פורסמו בעיתונות המקומית וב"הגיע זמן חינוך". מנהל מחוז ירושלים במשרד החינוך, מר מאיר שמעוני וצוותו, המפמ"רית לכימיה, ד"ר דורית טייטלבוים, ראש עיריית מודיעין-מכבים-רעות ויושב ראש מרכז השלטון המקומי, מר חיים ביבס, חברי מנהל החינוך בעיר ומורי כימיה באזור מודיעין הגיעו לצפות בתוצרים השונים ולהתרשם מחדר הבריחה.

שנת הלימודים תשע"ח נפתחה כאשר לנגד עיני הפרויקטים אשר יצאו לפועל בשנת הלימודים הקודמת, ומטרה אחת ברורה - להשתדל לא לחזור על עצמי ולשפר ככל הניתן.

במקום פרויקט "היום לפני" תלמידי מבוא לכימיה מבצעים פרויקט דומה בנושא "אישים בכימיה". הם מקבלים את [רשימת זוכי פרסי נובל בכימיה](#), מחלקים ביניהם את הזוכים, כותבים תיאור קצר על כל זוכה ובוחרים אחד מהם שאותו יציגו באופן אטרקטיבי ומעניין על "קיר הכימיה".

תלמידי מגמת הכימיה בכיתות י' התחילו את השנה עם "חדר בריחה כימי" כחלק מחזרה על חומרי הלימוד של ח' - ט'. התלמידים חוו את חדר הבריחה בשנה שעברה, והפעם עושים זאת עם פחות עמימות לגבי התוצר המתבקש.

בהמשך השנה יעבדו תלמידי מגמת י' על הפרויקט "גילוי

הביצוע היה מורכב ודרש תכנון מוקדם ומדוקדק ביותר. ללא ניסיון קודם ורק עם היכרות עם חדר הבריחה הכימי של המרכז הארצי למורי הכימיה במכון ויצמן התחלתי לבצע בעצמי חקר רשת מעמיק כדי לראות כיצד אני הופך רעיון לבר ביצוע. בניתי תהליך לביצוע, הרכבתי מחוון המאפשר לתלמידים להבין מה מצופה מהם וכיצד הם הולכים לקבל הערכה על תפקודם. כבר בעת הצגת הרעיון בפני התלמידים ההתלהבות הרקיעה שחקים. מכיוון שהכול ראשוני, ואין במרשתת מידע בעברית, נדרשו התלמידים לקרוא ולתרגם מאנגלית הנחיות לבניית חדרי בריחה, רעיונות לחדרי בריחה, הם חקרו על סוגי חידות לחדר בריחה. לאחר החקירה הראשונית יצאנו לחדר בריחה על מנת לחוות את החוויה ולקבל רעיונות נוספים. נושאי הלימוד השונים חולקו בין קבוצות התלמידים, משימתם הראשונה הייתה לסכם את החומר ולשתף את הקבוצות השונות בידע שנצבר. לאחר מכן הם בנו "חידות" לפי הנושאים שאותם סיכמו, חלקם "חידות יבשות" וחלקם עם ניסויים. לכל החידות נרשמו רמזים מתאימים לעת הצורך. כל קבוצה הציגה רעיון לסיפור מסגרת. בשלב המסכם הוחלט על סיפור המסגרת של חדר הבריחה ועל החידות אשר ישתתפו בו. בוצעה חשיבה על תהליך "הצעידה" בחדר הבריחה (מה בא לאחר מה), בוצעה חשיבה על הציוד הדרוש לניסויים השונים ועל האביזרים לתפאורה של החדר. לאחר כל התכנונים ניגשו התלמידים לביצוע. התוצאה הייתה מדהימה. החל מהסרטון הפותח לחדר הבריחה דרך התפאורה ועד לתכנים שהוצגו בחדר הבריחה. הראשונים שהתנסו בחדר הבריחה היו תלמידי מבוא לכימיה שנתנו פידבק ראשוני שבזכותו בוצעו תיקונים שונים. לאחר מכן ביקרו והתנסו כל תלמידי שכבת ט' בחדר הבריחה. את חדר הבריחה הפעילו תלמידי המגמה בתורנות. בכל סיום מחזור בוצעה החזרת חדר



תלמידת י"ג, הכותרת "גז אציל" משמעותו: "אני לא כאן לעזרתכם אלא רק משגיחה"



המפמ"ר לכימיה ד"ר דורית טיטלבוים



מר חיים ביבס, ראש העיר מודיעין ויושב ראש מרכז השלטון המקומי

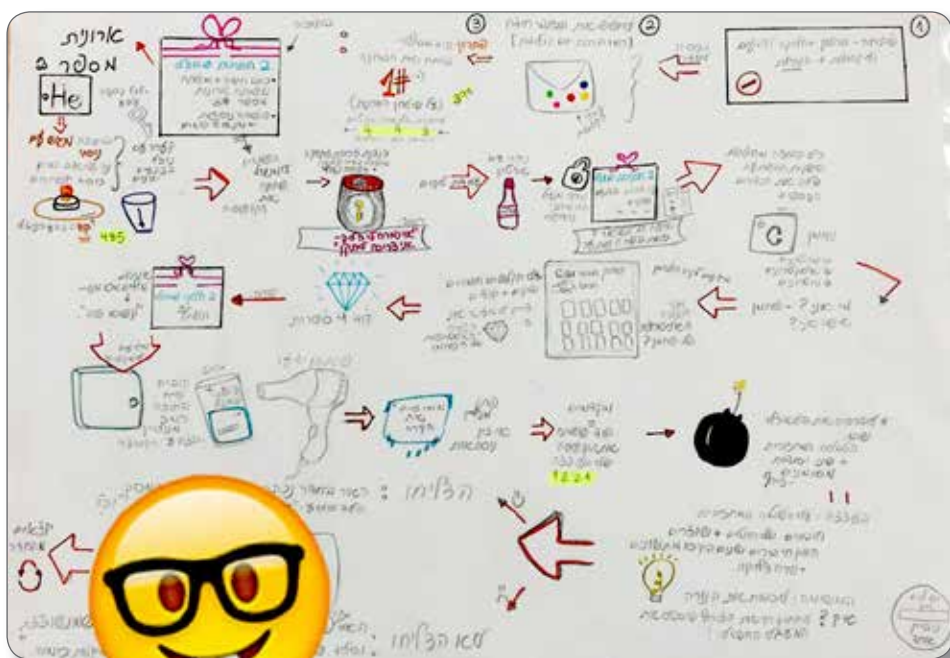
הבריחה השנה שונה לחלוטין מחדר הבריחה שהיה בשנה שעברה) ולמצוא באינטרנט רעיונות חדשים. מקור מעולה לרעיונות הוא [אתר Pinterest](#). הירשמו בחינם והקלידו מילים כמו כימיה, משחקי כימיה או אפילו שם של נושא כמו מול, סטיויכומטריה, טבלה מחזורית והתחילו לשחות בין ים של רעיונות יצירתיים מכל העולם.

והכי חשוב – לא לשכוח לשתף!!

פעילות מהנה!

היסודות הכימיים". הרעיון לפרויקט הגיע לאחר קריאת הספר המרתק "הכפית הנעלמת" של סם קין בהוצאת דביר המספר את סיפור מציאתם של היסודות השונים. הספר חושף סיפורים מרתקים, ומטרת הפרויקט לחשוף את התלמידים לסיפורים המרתקים כך שכל אחד מהם חוקר סיפור אחד, מתמצת אותו ומביא אותו בדרך יצירתית לידיעת התלמידים.

המשימה העיקרית שלי היא להמשיך ולהתחדש. להמשיך ולעשות דברים שהצלחו אבל בצורה שונה במקצת (חדר



"מפת הדרכים" שלב אחרי שלב בחיזות חדר הבריחה



חדר בריחה כימי

ד"ר מלכה יאיון תיכון קציר, רחובות, חברה בקבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

דמיינו שיעור בכימיה: כל התלמידים מופיעים בדיוק בזמן, התלמידים עובדים בצוותים. הם פותרים בעיות בכימיה בשיתוף פעולה מלא, עורכים ניסויים ומסתכלים על השעון רק כדי לוודא שגוון להם מספיק זמן לסיים את כל המשימות. מדי פעם משתוקקים לרמז מהמורה, אך נענים ב"אתם בטח תצליחו בלעדיי", ואכן זה מה שקורה. זהו תיאור מדויק של שיעורי הכימיה בסגנון "חדר בריחה" שתוכננו ונבנו במרכז הארצי למורי הכימיה ומתרחשים בבתי ספר ברחבי הארץ.

המרכז הארצי למורי הכימיה היושב במחלקה להוראת המדעים זיהה דרך מעניינת להגביר את המוטיבציה בקרב תלמידי הכימיה: שילוב הז'אנר של חדרי בריחה עם לימודי הכימיה. כך נוצר Chemical Escape (או כימילוט בעברית) – חדרי בריחה כימיים וניידים המותאמים לבתי ספר תיכון!! עד כה יותר מ-350 תלמידי מגמות כימיה ויותר מ-250 מורים לכימיה הצליחו לברוח בהצלחה מהחדרים שבהם היה עליהם לפתור חידות, למצוא רמזים, לבצע ניסויים כימיים, לפתוח מנעולים ובסופו של דבר לנטרל פצצות - וכל זה באמצעות הידע הכימי שלהם שעזר להם לצאת בתוך שעה.

מהו בעצם חדר בריחה?

"חדר בריחה" או "חדר מילוט" (באנגלית Escape Room) הוא משחק שבו אנשים ננעלים בחדר ביחד עם משתתפים אחרים וצריכים להשתמש בחפצים שונים הנמצאים בחדר כדי לפתור סדרה של חידות, למצוא רמזים, לפענח צופנים ולהימלט מהחדר בתוך זמן מוגבל, לרוב כ-60 דקות. רוב חדרי הבריחה מתאימים לקבוצות קטנות (עד כ-6 משתתפים), ומטרתם היא בידורית וחברתית. חדרי הבריחה צברו פופולריות רבה בכל העולם כמו גם בישראל בשנים האחרונות. רק בשנתיים האחרונות צאו בארץ מעל 300 חדרי בריחה.



הפעלה של חדרי בריחה בכיתות הלימוד

מהו חדר בריחה כימי?

חדר בריחה כימי הוא חדר בריחה לכל דבר, הוא דורש שיתוף פעולה, הוא מהנה, מאתגר מחשבתית, מתקיים במרחב שמשרה אווירה ייחודית ואסתטית, משלב מידה נכונה של "מזל ומוח", ובנוסף הוא צריך להתאים למסגרת של מערכת החינוך. על מנת להנגיש את הפעילות למספר גדול של תלמידים, החדר נידד וניתן להקימו בזמן סביר בכיתות שונות בבית הספר ולאחר מכן לקפלו. בהפקת החדר מושם דגש על תפאורה ואסתטיקה, יש מזוודות עם פצצות שצריך לנטרל, מנעולים, רולאפ, קופסאות וגרפיקה מתאימה שתפקידה ליצור אווירה מתאימה גם לפני תחילת הפעילות. ציוד ייחודי זה מסופק לבתי הספר כחלק מערכה. שאר הציוד הנדרש זמין בכל מעבדת בית הספר.

למערכת החינוך מספר אילוצים נוספים: החדר חייב לאכלס כיתת מעבדה שלמה ולכן מתאים לקבוצות גדולות של עד 24 תלמידים (ולא ל-4-6 כמקובל). החדר מתאים לתלמידי תיכון המתכוננים לקראת הבגרות, ולכן חשוב שיהיה בו קישור ישיר לתוכנית הלימודים. מובן שהחדר עומד בכל תנאי הבטיחות של מערכת החינוך.

בחדר משולבים שני סוגי חידות: חידות "יבשות" שבהן נדרש ידע כימי כדי לפתור את החידה, וחידות "רטובות" שבהן יש לבצע ניסויים כימיים על מנת להתקדם בתסריט החדר.



שני חדרים, והיד עוד נטויה

חדר הבריחה החינוכי הראשון בכימיה נבנה ותוכנן על ידי ד"ר מלכה יאיון, ד"ר רן פלג ומור מוריה-שיפוני ביוזמת ראש המרכז הארצי למורי הכימיה, ד"ר דבורה קצביץ'. רעיון החדר צץ במהלך עבודה על פרויקט אירופי בשם TEMI שעסק בחיבור בין חקר לסיפורי מסתורין. כחלק מהפיתוח עלה הרעיון להכניס עוד מסתורין בצורה של חדר בריחה. בתוך פחות משנה תוכננה ונבנתה ערכת החדר, נוסתה והוכנה להשאלה. החדר עוסק בנושא 'חומצות ובסיסים', נושא מרכזי בלימודי הכימיה כמו גם בלימודי הביולוגיה והביוטכנולוגיה.

לאחר בניית הערכה של החדר הראשון במסגרת יוזמה של המרכז הארצי למורי הכימיה, נפתחה סדנה (השתלמות) למורי כימיה ובה בנו המורים¹ במהלך מספר חודשים חדר בריחה נוסף שמיועד לתלמידים שסיימו ללמוד את החומר הבסיסי בכימיה – מבנה וקישור. קשה לתאר את התלהבותם של המורים בבניית הסדנה. המורים באו לכל מפגש שופעים רעיונות חדשים, הציעו זה לזה רעיונות לשיפור החידות שלהם, הם הגיעו למפגשים נוספים מעבר לתוכנית ההשתלמות והעיקר - תמיד הופיעו עם חיוך מאוזן לאוזן. שתי ערכות של החדר השני מוכנות להפצה בשנת הלימודים תשע"ח.



מורים שהשתתפו בפיתוח חדר הבריחה - "כימיה בסיסית"

"העבודה בצוות שהתקבץ הייתה שיתופית וקולגיאית, למרות שלא הייתה היכרות מוקדמת בין המפתחות התקיימה עבודת צוות ברמות שונות של שיתוף. אני זוקפת את העבודה הזו לזכות רכזי ההשתלמות, מלכה ורן, שהיו נגישים ובלתי אמצעיים והצליחו להדביק את כולן בהתלהבות מהנושא.

אני מרגישה שרכשתי כלים משמעותיים לביצוע הערכה חלופית במסגרת של משחק חברתי. בשלב הבא אני רואה את עצמי מפתחת גרסה בית ספרית של חדר בריחה כחלק מהערכה מעצבת (Formative) או מסכמת (Summative).

פיתוח החידה לחדר הבריחה היה חוויה מעשירה ומרעננת שסיפקה כר נרחב ליצירתיות יחד עם הפעלת מיומנויות של חשיבה ביקורתית, תהליכית ופדגוגית.

לאורך תהליך הפיתוח עברנו מספר שלבים של שינוי כיוון וגישה עקב אילוצים של בטיחות, נוחות, יעילות, עיצוב ושיקולים פדגוגיים." (אושרה אלוני)

"אני מאוד נהנית במהלך ההשתלמות ולמדתי רבות על הדרך והתהליך שבבניית חדר בריחה. אני מודה שחשבתי שמדובר במשימה קלה יותר ממה שהיא בפועל. גם ברגעים של משבר, היה מנחם לדעת שיש עם מי להתייעץ. המורים שהשתתפו בהשתלמות הם יצירתיים מאוד ונכונים לעזור, וכמובן שגם רן ומלכה תרמו רעיונות והצעות לשיפור. שמחתי גם שיכולתי לעזור לאחרים בקשיים שנתקלו בהם." (סינתיה גלעם)

1 בסדנה השתתפו: רחלי אבניאלי, אושרה אלוני, ד"ר עירית ארנון, סופי בן דב, סינתיה גילעם, ד"ר איילת גמליאל, שרון דויטש, טובי הוכמן, אסתי זמלר, ד"ר פנינה יקירביץ, עדנה כהן וד"ר שלי רפ.



חשיפה של מורים

תגובות המורים והתלמידים

התלהבות המורים ביוזמת חדר הבריחה הייתה ניכרת כבר בהרשמה לחשיפה. יומיים מרגע פרסום מפגש החשיפה הופסקה ההרשמה מחוסר מקום. השאלת הערכה היא אמנם ללא עלות, אך יש תנאי מקדים - מורה חייב לחוות את חדר הבריחה כדי לזכות בקבלת הערכה. מורים שעברו את החשיפה יכלו להירשם כדי לשאול את הערכה להפעלה בבית בספרם. גם כאן, בתוך שבועיים מרגע פרסום הערכה בחודש נובמבר, כבר הוזמנה הערכה עד חופשת הקיץ.

למרות העבודה הרבה הכרוכה בהפעלת הערכה (השתתפות בחשיפה במכון ויצמן, הרשמה לשאלת הערכה, שינוע הערכה ממכון ויצמן ובחזרה, פריסת הערכה וניקויה) - יש התלהבות רבה, ודבר זה מעיד על מענה לצורך הקיים אצל המורים. להלן ציטוטים מתוך שאלון למורים המפעילים את חדרי הבריחה:

"תלמידים חלשים הופתעו והביעו שמחה והתרגשות עצומה כש"דווקא הם" הצליחו לפתור ולזהות את הרמז והובילו להתקדמות בפתרון הבעיות".

"התלמידות היו נלהבות ביותר מכל פרט ופרט, החל מהסרטון הפותח ועד לכל חידה נוספת שנפתרה".

"צילמתי את התלמידים כעבור 40 דקות של עבודה, והם עדיין ישבו וחשבו!".

אחת השאלות בשאלון הייתה "מה הכי אהבת בפעילות?". להלן מספר ציטוטים:

"לראות את התלמידים כל כך נהנים".

"אהבתי את זה שכל התלמידים היו פעילים להקשיב לדיונים שהתנהלו בקבוצות, נהייתי לראות את התלמידים מופתעים מהחדר עצמו ומהפעילות, מתאמצים להיזכר במה שנלמד וגם מצליחים".

"אהבתי את מגוון המטלות, שילוב של מימוניות רבות שאפשר לכל אחד למצוא את האפשרות להביע את החוזקות שלו ולחזק גם מעמד חברתי ולהראות שגם תלמיד "חלש" יכול להנהיג ולהוביל לניצחון".



בחדר הבריחה יש דגש לתפאורה

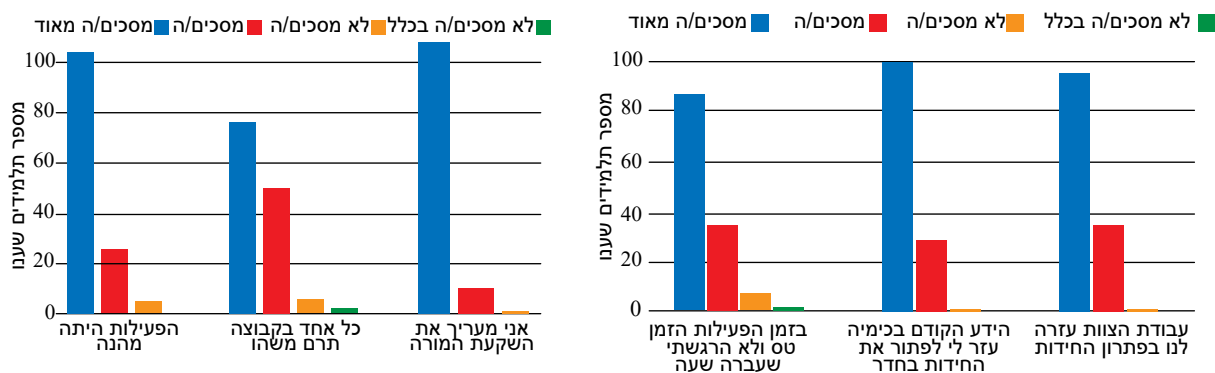
חדר הבריחה נבנה מתוך כוונה להביא לתלמידים פעילות מעניינת ומלהיבה. עם זאת אחת מתוצאות הלוואי המדהימות היא העצמה של מורי הכימיה ומקצוע הכימיה. הבאת חדר הבריחה לבתי הספר יוצרת התלהבות רבה בקרב ההנהלה, דרך צוות המורים וכלה בתלמידים – גם אלו שאינם לומדים כימיה. ובכך הופכת הכימיה והמורה לכימיה לשיחת היום.

“חלק מהמורים שמעו על החדר (פרסמנו את התמונה של הרול אפ בוואטסאפ), ולכן באו לצפות בזמן ההפעלה. אפילו מורה אחד (מורה למתמטיקה) התלהב ורצה מאוד להשתתף בפיענוח החידות. המורים רצו להשתתף בפעילות מרוב סקרנות.” (מורה א)

“ביקשתי מתלמיד (הלומד במגמת אלקטרוניקה) שיש לו כישרון צילום לבוא לצלם את הפעילות במצלמת בית הספר. בזמן הפעילות ראיתי שהוא מתלהב, ושאלתי אותו אם זה מוצא חן בעיניו, ואז הוא אמר: אני לא מבין איך בחרתי ללמוד אלקטרוניקה?” (מורה ב)

“בסוף הפעילות קיבלתי הודעות ווטסאפ מהתלמידים עם ברכות ולבבות רבים. הם נהנו מאוד והעריכו את ההשקעה.” (מורה ג)
 “תלמידי כיתה ט’ מדעית שהסתובבו בחוץ בזמן שהכנתי את החדר, העבירו שמועה שיש פצצה במעבדת כימיה, וכולם רצו להשתתף או לצפות בפלא שעומד להתרחש.” (מורה ד)

ומה לגבי תגובות התלמידים? לאחר שצוות המרכז הארצי צפה בהתלהבות התלמידים, נבנה שאלון ייעודי. מתוצאות השאלון עולה כי התלמידים מודעים לצורך בשימוש בידע הכימי, נהנים ומעריכים את עבודת הצוות, מעריכים את השקעת המורה בהבאת הערכה לבית הספר ונמצאים במצב של flow (מצב של מוטיבציה פנימית שבה הזמן טס בלי לשים לב), כפי שזה בא לידי ביטוי בגרפים הבאים שהתקבלו מתשובותיהם של 133 תלמידים שנחשפו לחדר הבריחה:



גרפים 1 ו-2 מייצגים את התגובות של 133 תלמידים שהתנסו בחדרי הבריחה

להלן תשובות של תלמידים לשאלה "מה הכי אהבת בפעילות?"

"חלק מהניסויים שהיינו צריכים לעשות היו יותר כיפיים מאלה שעושים בדרך כלל בשיעורים ובמעבדות, כמו הקשים והמגנזיום וכ"ו".

"את המקוריות של הפעילות - זה דבר שלא חוויתי לפני, והיה נחמד לגוון בפעילות שהיא לא ישיבה ממושכת על כיסא".
"לפצח את הקוד למנעול ושיתוף הפעולה".

"שדברים נפתרו בצורה כימית שזה דבר שונה מחדרי בריחה רגילים".

לסיכום

חדרי הבריחה הכימיים מכים גלים מכל עבר. חדרי הבריחה הוצגו בתוכנית ריאיונות עם ירון לונדון, כתבה ב-ynet², יוצגו במספר כנסי מחקר בינלאומיים ובכנס מורים ארצי. אבל מעל הכול - כל המאמץ שווה בשביל לשמוע תלמיד אומר "היה שווה לקום בבוקר (למרות שישנתי רק ארבע שעות!)", או מורה המספרת ש"מגוון המטלות, שילוב של מיומנויות רבות אפשר לכל אחד למצוא את האפשרות להביע את החוזקות שלו ולחזק גם מעמד חברתי ולהראות שגם תלמיד 'חלש' יכול להנהיג ולהוביל לניצחון".

הערכות מוזמנות לכל שנת הלימודים תשע"ח. ההשאלה מורכבת ומתנהלת על ידי צוות חרוץ ומיומן שכוללת את: ורד אדלר, ענבר חיימוביץ, אירה קריסיק (שאחראית על הלוגיסטיקה של ההשאלה) ומלכה יאיון. הצוות משתדל לענות על כל השאלות של המורים המדהימים שמפעילים את החדר בכיתותיהם.



צוות הפיתוח וההפעלה של חדר הבריחה



תמימה סבאג, אפרת גולומב והדס בנימין, כיתה י"א אולפנת בהר"ן*

לק ציפורניים

לק ציפורניים הוא ציפוי קוסמטי הנמרח על ציפורני אצבעות הידיים והרגליים על מנת לקשט ולעיתים על מנת להגן על הציפורן. לכן צביעה בלק ציפורניים היא לעתים חלק מטיפולי מניקור ופדיקור.

רוב מוצרי הלק לציפורניים מורכבים מניטרוצלולוזה ($C_6H_7N_3O_{11}$) המומסת בממס כלשהו (מדלל לק). לרוב הממס הוא טולואן (C_7H_8): חומר נוזל בטמפרטורת החדר, חסר צבע ובעל ריח חריף שצפיפותו 0.8669 גרם/סמ"ק.

חלק ממוצרי הלק לציפורניים מכילים גם פורמלין (CHO_2), שהוא חומר רעיל ביותר הידוע כחומר מסרטן

כאשר מטפטפים לק בעזרת המברשת לכלי עם מים, הלק אינו מתמוסס או שוקע במים אלא צף ומתפשט על פני המים. כשממשיכים להוסיף צבעים שונים של לק על גבי הטיפה הראשונה, נוצרים עיגולים יפים המתייבשים זה על גבי זה. בעזרת קיסם ניתן ליצור אתם צורות מרהיבות על גבי המים. דבר זה משמש נשים רבות שרוצות ליצור לק ייחודי ומעניין על ציפורניהן. הן מכניסות את האצבע מתחת ללק הצף על גבי המים, מרימות ולאחר מכן מנקות את הלק העודף שנשאר על האצבע.

תופעה זו עניינה אותנו ביותר וניגשנו לחקור מדוע הלק צף על המים ואינו מתמוסס או שוקע בהם.

* עבודת התלמידות התבצעה בהנחיית המורה לבנת עמיאור, וזכתה במקום ראשון בתחרות הצילומים של הפרויקט "יש לנו כימיה" תשע"ז

על דו קוטב רגעי בין חלק קוטבי חיובי רגעי במולקולה אחת לבין חלק קוטבי שלילי רגעי במולקולה שכנה. למרות שקשרי ואן דר ואלס המבוססים על דו קוטב רגעי חלשים יחסית, החומר טולואן נוזלי מכיוון שיש לו ענן אלקטרוני משמעותי שגורם למשיכה חזקה יותר בין המולקולות.

החומר טולואן ובעקבותיו גם הלק שמייצרים ממנו, אינם מתמוססים במים מכיוון ש"לא שווה" למולקולות המים לפרק ולהחליף את קשרי המימן החזקים ביניהם בשביל ליצור קשרי ואן דר ואלס - החלשים יחסית והמבוססים על דו קוטב רגעי - עם מולקולות הלק.

כמו כן הלק אינו שוקע במים אלא צף, מכיוון שצפיפותו של הלק נמוכה מצפיפותם של המים. דבר זה מושפע גם הוא מהקשרים הבין מולקולריים החלשים יחסית בין מולקולות הטולואן.

אצטון לעומת מים

כידוע לכולנו, נשים רבות מסירות לק באמצעות אצטון (C_3H_6O), חומר נוזל בטמפרטורת החדר, שקוף, בעל ריח חריף ומתנדף בקלות.



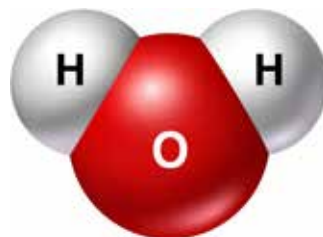
מולקולת אצטון - הלק מתמוסס באצטון אך אינו מתמוסס במים, מדוע?

על פי מה שהסברנו הלק אינו מתמוסס במים בגלל השוני בקשרים הבין מולקולריים. לעומת זאת, לאצטון יש יכולת למוסס

את הלק מכיוון שהקשרים הבין מולקולריים שלו הם קשרי ואן דר ואלס המבוססים על דו קוטב קבוע בין קוטב חיובי במולקולה אחת לבין קוטב שלילי במולקולה שכנה. ולכן הוא יכול להחליף קשרי ואן דר ואלס בקשרי ואן דר ואלס אחרים עם מולקולות הטולואן ועל ידי כך למוסס את הלק.

העלול לגרום לנזקים עצביים בגוף. החומר מגרה את העיניים, האף, הגרון והריאות. כיוון שפורמלין עלול לייבש את הציפורן, חשוב למרוח על הציפורן שכבת בסיס שאינה מכילה פורמלין, לפני צביעת הציפורן. בנוסף לחומרי הבסיס המרכיבים את הלק מוסף פיגמנט צבע שהופך את הלק לצבעוני ומעניין.

נהוג להסיר לק באמצעות אצטון (C_3H_6O) שעליו נרחיב בהמשך.



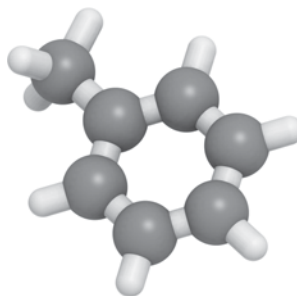
לק במים

המים (H_2O) הם תרכובת כימית המהווה בסיס לכל צורות החיים המוכרות, כולל האדם.

מים נוזליים בטמפרטורת החדר, חסרי צבע וריח וצפיפותם היא 1 גרם/סמ"ק.

מולקולת המים - מולקולות המים מורכבות משני אטומי מימן ומאטום אחד של חמצן הקשורים בקשרים קוולנטיים. בין מולקולות מים לחברתה מתקיימים קשרי מימן חזקים בין המימן החשוף (מימן הקשור בקשר קוולנטי לאטום בעל אלקטרו שליליות גבוהה [N/O/F]) שבמולקולה אחת, לזוג האלקטרוני הלא קושר על החמצן במולקולה שכנה.

החומר המרכזי המרכיב את הלק הוא המדלל שלו, טולואן (C_7H_8), שעליו נתנו מעט מידע בחלק הקודם.



מולקולת הטולואן - מולקולות הטולואן מורכבות משבעה אטומי פחמן ומשמונה אטומי מימן הקשורים בקשרים קוולנטיים (מולקולה פחמנית). בין מולקולות הטולואן לחברתה מתקיימים קשרי ואן דר ואלס המבוססים

