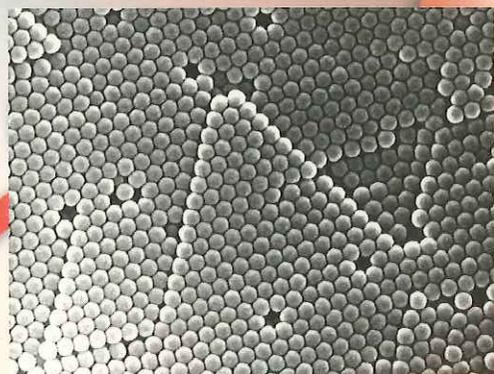


על-כימיה

תמוז התשס"ב • יוני 2002

המרכז הארצי למורי הכימיה
המחלקה להוראת המדעים,
מכון וייצמן למדע



יוצא לאור במסגרת

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



האגף לתיכנון ולפיתוח תוכניות לימודים,
המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך



האוניברסיטה העברית בירושלים
- המרכז להוראת המדעים



2
גיליון מס'

תמונת השער:

גרגרי פוליסטירן, בקוטר 0.3 מיקרון, מסתדרים מעצמם על משטח הזכוכית בצורת גביש עם פגמים.

הוכן על ידי פרידה קופנוב

באדיבות פרופ' דן דוידוב, המחלקה לפיזיקה, האוניברסיטה העברת, ירושלים

על-כימיה

עיתון למורי הכימיה
תמוז התשס"ב • יוני 2002

המרכז הארצי למורי הכימיה



המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע



יוצא לאור במסגרת

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



האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים,



המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

האוניברסיטה העברית בירושלים - המרכז להוראת המדעים



עורכות אחראיות: דפנה מנדלר, דר' מירי קסנר
עורכות משנה: דליה עובדיהו, שרה שני
עריכה לשונית: מיכל בן יעקב
גרסת אינטרנט: רבקה אפרת

מערכת: פרופ' אבי הופשטיין-יו"ר
דר' צחי מילגרום
דר' ניצה ברנע - מפמ"ר כימיה
דר' רחל ממלוק-נעמן

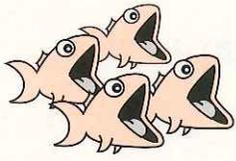
מלב"ד: שושנה בן שהם

כתובת המערכת: המרכז להוראת המדעים
האוניברסיטה העברית, גבעת רם, ירושלים 91904
טלפון: 02-6585365, פקס: 02-6585708

כתובות אתרי האינטרנט לגרסה האלקטרונית:
<http://sites.huji.ac.il/science/alchemia.html>
<http://stwww.weizmann.ac.il/G-Chem/center>

יוצא לאור - על ידי המרכז הארצי למורי הכימיה במכון ויצמן למדע בשיתוף עם המרכז
הישראלי להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית, ירושלים

- דבר המערכת 4
- פוליטיקה, כימיה וגילוי הביקוע הגרעיני 5
- מתכות: מה גורם להן להיות פעילות? 17
- אלקטרוניקה מולקולרית 26
- פחמימות ברפואה 32
- הערכה של הבנת הנושא "מבנה וקישור כימי" 40
- כימיה בגישה חוקרת 52
- ניסוי חקר: טביעות אצבע 61
- השפעה של לעיסת מסטיק על רמת החומציות בפה 64
- הגרעין ואנחנו 74
- סיור באמניר 84
- תיקון לגיליון מס' 1 89
- מולקולות בחזית: בצל 90
- אתר אינטרנט - מה"ד ירושלים 92
- מתי כבר נאכל נקניקיות דלות קלוריות טעימות? 93
- קוראים כותבים 93
- על המדף 94



דבר המערכת

אנו מודים לכם על היענותכם, על חוות הדעת החמות ששלחתם למטה מל"מ, ועל תרומתכם לעיתון בצורת מאמרים מעניינים מפרי עטכם. אנו מאמינים, וכך התרשמנו גם מתגובותיכם, שיש צורך בעיתון למורי הכימיה, שיהיה מקור להעשרת הידע ולהרחבת הדעת ובמה לשיתוף ציבור המורים כולו בהתנסויות מעניינות של מורים אחרים. אנו מקווים שיתאפשר לנו להמשיך ולהוציא לאור עיתון זה בצורה רצופה ומועילה. גם הפעם נבקשכם למלא את השאלונים הרצ"ב ולשלוח אותם למטה מל"מ אולי תהיה לכך השפעה על ההחלטות בנוגע להמשך הוצאת העיתון.

בינתיים, אנו מקווים שמקצוע הכימיה יתחזק ושמספר לומדי הכימיה יגדל. נביא מדבריו של פרופ' ארנון שני, נשיא החברה הישראלית לכימיה, כפי שנאמרו בכנס השנתי למורי הכימיה שנערך בחנוכה במכון ויצמן למדע:

ייחודו של מקצוע הכימיה בכך, שרק הכימאי יכול לייצר חומרים חדשים לתועלת האנושות. חשוב שהמורים יחדירו לתודעת התלמידים וההורים את תרומתה של הכימיה לשיפורם ולקידומם של החיים המודרניים. החשיפה לכימיה חשובה לא רק למי שימשיך בלימודי המקצוע בעתיד, אלא גם כהשכלה כללית חיונית לכול בעידן הטכנולוגי שלנו.

הכימיה היא מדע בסיסי חיוני ביותר למערכת הכלכלית והתעשייתית בחברה המודרנית. זהו תחום יציב, שאינו מושפע מעליות וירידות עונתיות ואופנתיות. בשנה האחרונה חל גידול של כ- 30 אחוזים במספר הסטודנטים לכימיה באוניברסיטאות. הביקוש לכימאים גדל בהדרגה, הן בארץ והן בעולם, בייחוד בתחומי הכימיה האנליטית, הכימיה האורגנית הסינתטית, הכימיה הפרמצבטית ובתחומים נוספים בענפי החיי-טק.

מקווים שתיהנו מגיליון זה, שבו השתדלנו לגוון את הנושאים ואף להציג מפרי עטכם.

שמרו על קשר!

מערכת העיתון על-כימיה

בסוף חודש ניסן הלכה לעולמה ד"ר ורה מנדלר שהייתה שנים רבות דמות מוכרת וחשובה בהוראת הכימיה בארץ. תרומתה של ורה בהוראה, בהכשרת מורים ובפיתוח חומרי למידה תלווה אותנו עוד במשך שנים רבות. נזכור אותה ואת פועלה.

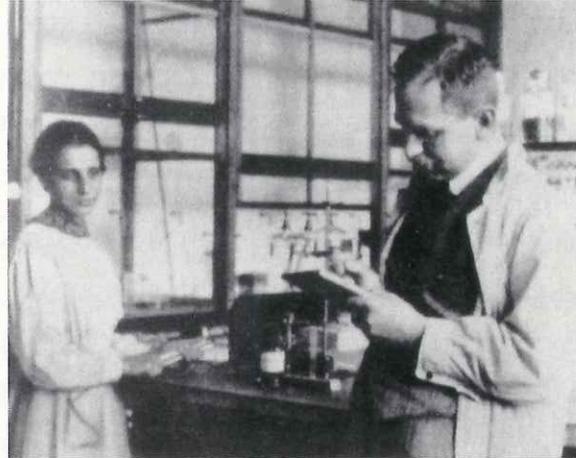


פוליטיקה, כימיה וגילוי הביקוע הגרעיני

מעובד לפי:

1. <http://alsos.wlu.edu>
2. E. Wiesner, F. Settle Jr., Politics, Chemistry, and the Discovery of Nuclear Fission, Journal of Chemical Education, vol. 78 (7) July 2001, pp. 889-895

1938 הייתה שנה חשובה בתולדות המדע. בשנה זו התגלה הביקוע הגרעיני-פרי מאמץ משותף בן ארבע שנים של ליזה מייטנר, אוטו האן ופריץ שטראסמן ששינה את פני העולם. לתגלית זו, שהפכה על פיה את תפיסת גרעין האטום ופתחה תחומי מחקר חדשים, נודעה השפעה חברתית עצומה. נולד מקור אנרגיה חדש ורב עוצמה, שהיה עתיד לשמש למטרות הרס ובנייה גם יחד.



אם הביקוע הוא עדות לכוחה של החקירה המדעית, הרי שהשתלשלות האירועים בדרך אל התגלית ואל ההכרה בה, מדגימים הדגם היטב את חולשתו של האדם. האווירה הפוליטית ששררה בגרמניה הנאצית, הדעות הקדומות של מדענים ועוצמתה של התגלית עצמה - כל אלה הביאו תהילה לאוטו האן, אך דנו את עמיתיו לתגלית לאלמוניות יחסית. בייחוד חושפת ההתעלמות מליזה מייטנר שיפוט לקוי בקהילייה המדעית. אף שהייתה דמות מובילה בפיזיקה גרעינית ומגלי הביקוע, פועלה כמעט שנשכח בנפתולי מלחמת העולם ה-II. פרס נובל בכימיה לשנת 1944 (הוא ניתן בפועל ב- 1945) הוענק לאוטו האן לבדו.

תחילת הדרך של האן ומייטנר בברלין

אוטו האן וליזה מייטנר נפגשו לראשונה בשנת 1907. מייטנר, שאך סיימה את הדוקטורט שלה בפיזיקה באוניברסיטת וינה, הגיעה לברלין כדי לשמוע הרצאות מפי הפיזיקאי הנודע מקס פלאנק. מייטנר מצאה שנתר לה זמן לעסוק גם בעבודה ניסויית, והיא חיפשה שותף. היא מצאה את האן, שקיבל את תואר הדוקטור שלו בכימיה אורגנית שנים מספר קודם לכן מאוניברסיטת מארבורג. האן, לפני שקיבל את משרתו דאז במכון לכימיה באוניברסיטת ברלין, עבד ברדיוכימיה עם אנשי שם כויליאם רמזי בלונדון וארנסט רתרפורד במונטריאל. הבחירה בו הייתה טבעית, לאור העובדה שעיסוקה האחרון של מייטנר היה ברדיואקטיביות, נושא ששילב פיזיקה וכימיה גם יחד.

האן הסכים לעבוד יחד, וכך החל שיתוף הפעולה ביניהם, וגם ידירות ארוכת שנים. מחקריהם הראשונים על פליטת β הניבו את תיאוריית הרתע הרדיואקטיבי¹, רעיון חשוב בפיזיקה של הגרעין. אולם הישגם הגדול ביותר באותה תקופה, בשנת 1918, היה גילוי יסוד חדש, שנקרא פרוטאקטיניום. הצלחות מדעיות אלה ואחרות זיכו את מייטנר והאן בהכרה ובקידום. בשנת 1912, עברו שני המדענים למכון החדש לכימיה, KWI, שהוקם קרוב לברלין. בשנת 1919 כבר היו שניהם פרופסורים (תואר יוקרתי באקדמיה הגרמנית) בעלי שם. בשנת 1917, התבקשה מייטנר להקים מחלקה נפרדת לפיזיקה, ואילו האן עמד בראש מחלקה קטנה ועצמאית לחקר רדיואקטיביות. עכשיו עמדו לרשותם האמצעים המשוכללים של המכון. אף עבודתם המשותפת נשאה פירות נאים, גם האן וגם מייטנר היו מוכנים לצאת איש איש לדרכו.

אף ששיתוף הפעולה בין מייטנר להאן היה פורה ומספק בעבור שניהם, הוא בישר את העוול שעתידי היה להיעשות למייטנר. למרות שקיבלה את ה-Ph.D שלה לפני בואה לאוניברסיטה של ברלין, הדלתות נותרו נעולות בפניה בשל היותה אישה.² את משרתה הראשונה ב-KWI קיבלה רק הודות להשתדלותם של ידידים,³ והיא לא קיבלה קרדיט מלא על תרומותיה המדעיות. האן הופיע ככותב הבכיר בכל המאמרים שפרסמו השניים על הפרוטאקטיניום, אף שמייטנר עשתה את רוב העבודה במשך העדרו במלחמת העולם הראשונה.⁴ האן הוכתר כמגלה היסוד החדש; מייטנר נשארה בצלו.

דרכים מתפצלות

בשנות ה-20 החל הצל נסוג, כאשר התפצלו תחומי העניין שלהם. מייטנר עבדה על אפקט אוז'ה וההסבר לספקטרום פליטת β ועל מעברים לא קרינתיים בין הגרעינים לאלקטרונים, כשהיא מראה כי אלקטרונים הסובבים את הגרעין יכולים לחדור אליו. בין 1920 ל-1933, פרסמה מייטנר 69 מאמרים מדעיים, לבד או עם שותפים. מעגל העמיתים המדעיים שלה היה מרשים, בלט בו במיוחד נילס בוהר. מייטנר הוצעה כמועמדת (יחד עם האן) לפרס נובל בכימיה בשנים 1924, 1925, 1930, 1933 ו-1934. באותה תקופה, היא גם קיבלה פרסים רבים אחרים.

בינתיים זכה האן להצלחות משלו. בשנת 1924, הוא היה לראש ה-KWI והתמקד במציאת שימושים תעשייתיים לרדיוכימיה. הוא גם המשיך בכמה מחקרים שהתחיל עם מייטנר. הוא אפיין את הרדיואקטיביות של איזוטופים של יסודות כבדים מסוימים וגילה את האיזומריה הגרעינית,⁵ מושג שמילא תפקיד חשוב בגילוי הביקוע.

גילוי הנויטרון והמחקר שבעקבותיו

בשנת 1934 קיבלו המאמצים המדעיים גם של מייטנר וגם של האן תפנית חדה בעקבות סדרה של התפתחויות בפיזיקה גרעינית. תחילתה הייתה בשנת 1932, עם גילוי הנויטרון על ידי ג'יימס צ'דוויק. בראשית 1934 דיווחו בני הזוג ז'וליו-קירי, שעבדו בפאריז, על התפתחות משמעותית נוספת: הם הצליחו להכין את החומר הרדיואקטיבי המלאכותי הראשון, זרחן-30, על-ידי הפצצה של אלומיניום בחלקיקי α .

ברומא, אנריקו פרמי הרחיב מייד את עבודתם של צ'דוויק וז'וליו-קירי. הוא הבין, שהניטרון יכול לחדור בנקל אל הגרעין הטעון חיובית.⁶ בחורף 1934, הוא ערך סדרה שיטתית של הפצצה בניטרונים של כל היסודות הידועים, ממימן ואילך. בניסוייו של פרמי נוצרו חומרים חדשים, שריתקו את תשומת לבו של הקהילייה המדעית. תוצאות ההפצצה בניטרונים של היסוד הכבד ביותר, אורניום, עוררה את מרב העניין. אורניום שהופץ בניטרונים פלט קרינת β , אנלוגית לזו שהתקבלה מהפצצה של שכניו הכבדים של היסוד⁷, והובילה למסקנה שנוצר יסוד חדש, כבד מאורניום. הקבוצה מרומא הביאה, כתימוכין לטענתה זו, את היות הקרינות הרדיואקטיביות של התוצרים - שונות מאלה שנצפו לאחר הפצצת ניטרונים של היסודות הקרובים לאורניום (עופרת עד פרוטאקטיניום).

האן ומייטנר חוברים לשטרסמן

מייטנר, שעקבה אחר התקדמותו של פרמי לאורך הטבלה המחזורית, הסתקרנה מתוצאות הניסויים באורניום. היא הבינה את חשיבות האנליזה הכימית בניסויים אלה, והיה לה ברור שהמשך המחקר אינו עניין לפיזיקאי בלבד.⁷ היא פנתה להאן והציעה לו לחדש את השותפות ביניהם. האן לא התלהב בתחילה, אך מאמר של תלמידו לשעבר, שהעלה את הסברה שהיסוד ה"חדש" של פרמי הוא למעשה פרוטאקטיניום, גירה את התעניינותו. באוקטובר 1934, החלו האן ומייטנר להקרין אורניום בניטרונים. פריץ שטרסמן, שהיה כימאי אנליטי, הצטרף אליהם ב-KWI בתחילת 1935 והוסיף את מיומנותיו לפיזיקה של מייטנר ולרדיוכימיה של האן. הצוות היה כעת שלם. מייטנר, האן ושטרסמן יבלו את ארבע השנים הבאות בניסיון לפענח את התנהגותו של גרעין האורניום.

הקבוצות ברומא, בפריז ובברלין מצאו, שהפצצת גרעיני אורניום בניטרונים מניבה תערובת מורכבת של חומרים רדיואקטיביים וזמני מחצית חיים בהתאם.⁸ כולם החלו בקטלוג זמני מחצית החיים האלה וניסו להסביר את קיומם. הקבוצה מברלין האמינה שהם גילו מערכת של שלוש שרשרות דעיכה (כמוצג להלן), שנובעת מאיזומריה משולשת של אורניום-239. שימו לב, שכל שרשרת תגובות מתחילה בלכידת ניטרון על-ידי גרעין אורניום-238 ויצירת אורניום-239. חשוב גם לשים לב, שאיזומרים אלה מתגלים רק כתוצרים במורד שרשרת הדעיכה של גרעיני המוצא.

ההסבר היה רחוק מלשכנע. הקושי העיקרי היה האיזומריה המשולשת, שהתנגשה עם התיאוריה שרווחה אז וגרסה שקיימים רק שני איזומרים. למרות הקשיים, הצוות מברלין עמד מאחורי התוצאות. גם קהיליית הפיזיקאים, ברובה, קיבלה הסבר זה להתנהגות אורניום מוקרן.⁸ הסברים אפשריים אחרים, כגון דעיכת α נדחו. מדידותיהם המדויקות, שאישו את קיומו של תהליך הדעיכה האחרון, הוכיחו לכאורה את קיומו של יסוד מספר 97, EkaAu.⁹ ניסויי הקבוצה מברלין נבדקו ונמצאו הדירים גם במעבדות אחרות בעולם.¹⁰

O	I																II	
H																	He	
Li																	Ne	
Be																	Ar	
B																	Kr	
C																	Xe	
N																	Rn	
O																		
F																		
Ne																		
Na																		
Mg																		
Al																		
Si																		
P																		
S																		
Cl																		
Ar																		
K																		
Ca																		
Sc																		
Ti																		
V																		
Cr																		
Mn																		
Fe																		
Co																		
Ni																		
Cu																		
Zn																		
Ga																		
Ge																		
As																		
Se																		
Br																		
Kr																		
Rb																		
Sr																		
Zr																		
Nb																		
Mo																		
Tc																		
Ru																		
Rh																		
Pd																		
Ag																		
Cd																		
In																		
Sn																		
Sb																		
Te																		
I																		
Xe																		
Cs																		
Ba																		
La																		
Ce																		
Pr																		
Nd																		
Pm																		
Sm																		
Eu																		
Gd																		
Tb																		
Dy																		
Ho																		
Er																		
Tm																		
Yb																		
Lu																		
Hf																		
Ta																		
W																		
Re																		
Os																		
Ir																		
Pt																		
Au																		
Hg																		
Tl																		
Pb																		
Bi																		
Po																		
At																		
Rn																		
Ac																		
Th																		
Pa																		
U																		
Np																		
Pu																		
Am																		
Cm																		
Bk																		
Cf																		
Es																		
Fm																		
Mendelevium																		
O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Cp	Seltene Erdmetalle					
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71					

איור 2. הטבלה המחזורית כפי שהייתה ידועה ב-1934. פורסמה לראשונה במאמר של לזיה מייטנר ב-Scientia.

מייטנר עוזבת את ברלין

בעוד האן, מייטנר ושטרסמן עוסקים באפיון השגיו של האיזומרים של אורניום, התחולל בפוליטיקה הגרמנית מפנה לרעה. בשנת 1933 השלים היטלר את תפיסת השלטון בגרמניה. אחת מה"רפורמות" הרבות שנעשו באותה שנה הייתה חקיקת החוק להשמה מחדש של אנשים בשירות הציבורי המקצועי. חוק זה העביר את היהודים ממשרותיהם הממשלתיות. התוצאה הייתה התרוקנות כמעט של האקדמיה הגרמנית. לזיה מייטנר, בהיותה רבע יהודייה, נפגעה אף היא מהמדיניות החדשה. כאזרחית אוסטריית, היא זכתה להפוגה זמנית, אך במרץ 1938, כתוצאה מהאנשלוס (סיפוח אוסטריה לגרמניה), הפכה לאזרחית הרייך הגרמני, ועמיתיה החלו לחשוש לביטחונם. ביולי 1938, בעזרת ידידים, נמלטה מייטנר מגרמניה לשטוקהולם שבשוודיה, שם קיבלה משרה במכון מחקר לפיזיקה.

התנהגותו של האן בפרשת בריחתה של מייטנר משקפת את עמדותיו מאוחר יותר כלפי תפקידה בגילוי הביקוע. לאחר האנשלוס, עוררה נוכחותה של מייטנר ב-KWI אי-נחת בהאן. הוא חש מההשלכות שיכולות להיות לכך על המכון. הוא שוחח על המצב עם אחד מפטרוני המכון, וכך הביא את מצבה של מייטנר לידיעת משרד החינוך. ברמה האישית העניק האן למייטנר תמיכה רבה מאוד. כאשר עזבה את גרמניה בחיפזון, לקח על עצמו לדאוג לחפציה ולענייניה האישיים. הוא אמנם דאג לה, אך חסר היה את האומץ ליטול סיכון כלשהו בגינה.

גילוי הביקוע

בעת עזיבתה של מייטנר חלו התפתחויות דרמטיות בחקר האורניום המוקרן. בצרפת, בשנת 1937, שבו אירן קירי ועמיתה פאבל סאביץ' לחקור את האורניום, והתוצאות היו מרעישות. במקום לשקע ולסלק את היסודות החשודים כטרנסאורנייים, כפי שעשתה הקבוצה מברלין, החליטה הקבוצה הצרפתית לחקור את המסה המוקרנת כמכלול. הם מצאו זמן מחצית חיים חדש של 3.5 שעות, שהיה קשור, כך נראה, לאיזוטופ של תוריום. מספרו האטומי של התוריום הוא 90 (קטן בשניים משל אורניום), רמז לכך שהאורניום המוקרן עובר דעיכת α , תגובה שהקבוצה מברלין פסלה. כאשר המדענים מברלין קראו תגר על ממצאים אלה, דיווחה קירי על תוצאות מדהימות עוד יותר; היסוד החדש בעל זמן מחצית החיים של 3.5 שעות היה דומה מבחינה כימית לא לתוריום, אלא ללנתאן, שמספרו האטומי 57, הרחוק מרחק "בלתי אפשרי" מהאורניום! לקירי לא היה שום הסבר תיאורטי, אך היא עמדה מאחורי תוצאות ניסוייה.

תוצאותיה של הקבוצה הצרפתית, גרמו להאן ולשטרסמן שעבדו כעת בלי מייטנר, לבחון מחדש את עבודתם. הם מצאו כמה גרעינים רדיואקטיביים שנעלמו מעינם בעבר, ושקיומם הצריך הסבר מוזר אף יותר מתיאוריית האיזומריה המשולשת שלהם. אחד הגרעינים הללו נראה כאיזוטופ של רדיום (מספר אטומי 88), והם סברו שהוא נוצר מגרעין אורניום מוקרן שפלט שני חלקיקי α . איזוטופ זה של רדיום, בדומה לאורניום-239, הוסבר על-ידי איזומריה משולשת שוב, הסבר שעמד בסתירה לתיאוריית הגרעין המקובלת.

בינתיים, שמרה מייטנר על קשר עם ברלין על-ידי התכתבות קבועה עם האן. אף שלא השתתפה פיזית בעבודה הניסויית ב-KWI, הרי שתפקודה בעבודת הצוות לא השתנה הרבה. מאוחר יותר אמר שטרסמן על מעורבותה של מייטנר בחודשים האחרונים שלפני גילוי הביקוע:

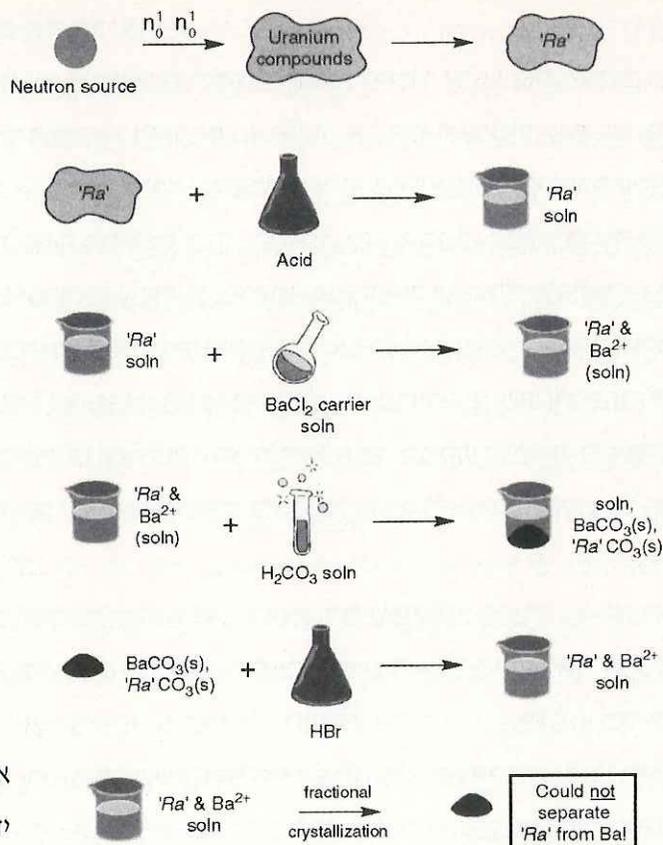
"מה שינתה העובדה שליזה מייטנר לא השתתפה ישירות ב"גילוי"?... היא הייתה קשורה אלינו אינטלקטואלית משוודיה [דרך] התכתבות עם האן... [היא] הייתה המובילה האינטלקטואלית של הצוות".

ורנר הייזנברג, פיזיקאי גרמני מהשורה הראשונה, התייחס מאוחר יותר לתרומתה של מייטנר:

"היא שאלה לא רק "מה" אלא גם "למה". היא רצתה להבין... היא רצתה לגלות את חוקי הטבע הפועלים בתחום החדש. כוחה היה בשאלת השאלות ובפרשנות לניסויים. סביר להניח, שגם בעבודתם המשותפת המאוחרת יותר, הייתה לליזה מייטנר השפעה חזקה על שאלת השאלות, והאן בעיקר חש אחראי ליסודיות ולדיק של הניסויים".

אופייה החקרני של מייטנר ניכר היטב בחליפת המכתבים בין שטוקהולם לברלין. כשקראה על איזומר ה"רדיום" של האן ושטרסמן, הבינה שניטרוני אינו מביא עמו מספיק אנרגיה לתוך הגרעין כדי לחולל אופן זה של דעיכה רדיואקטיבית והורתה לעמיתה לבחון את הניסוי שוב. השלושה נפגשו בקופנהגן בתחילת נובמבר 1938, ומייטנר, שקיבלה כעת תמיכה מנילס בוהר, דחקה בהאן לשוב ולבדוק נוכחות רדיום.

בתחילת דצמבר 1938, האן ושטרסמן אכן בדקו שוב את ה"רדיום" שלהם. נראה שתוצאותיהם איששו את מה שראו הזוג ז'וליו-קירי. נראה שאיזוטופים של רדיום, שנוצרו על-ידי ההפצצה ראשונית של האורניום בנויטרונים, עברו דעיכת β לאקטיניום ותוריום.



איור 3. הגילוי הכימי של הביקוע, כפי שנעשה על ידי האן ושטרסמן בברלין, בדצמבר 1938.

כדי להיות בטוחים לגמרי, החליטו האן ושטרסמן לזהות את האיזוטופים של "רדיום" באמצעים כימיים. ההפרדה הכימית מוצגת באיור 3, כאשר הרדיואיזוטופ החשוד כרדיום מסומן ב-'Ra'. מאחר שרדיום ובריום הם יסודות מקבוצה IIA, עם תכונות כימיות דומות, הוסיפו בריום כנשא כדי להקל על הבידוד הכימי של הכמויות הקטנות של הרדיום החשוד. השלב האחרון בבידוד היה גיבוש למקוטעין כדי להפריד את נשא הבריום מן הרדיום הרדיואקטיבי. האן ושטרסמן, רדיוכימאים מנוסים שניהם, לא הצליחו להפריד את ה-'Ra' הרדיואקטיבי מהבריום. האמנם הייתה השערתה של אידה נודאק נכונה? האם גרעיני האורניום מתפצלים לחלקים שווי מסה בערך?

האן ושטרסמן חזרו על הניסוי פעמים רבות, אך לא הצליחו להפריד את ה"רדיום" הרדיואקטיבי מהבריום. וכך דיווחו על תוצאותיהם:

"...ככימאים, עלינו לומר שהחלקיקים החדשים אינם מתנהגים כמו רדיום, אלא כמו בריום; כפיזיקאי גרעין, אין אנו יכולים לאמץ מסקנה זו, המנוגדת לכל הניסיון שיש בפיזיקה הגרעינית".

האן הכימאי לא רצה לצאת נגד הרעיונות של פיזיקאי גרעין מכובדים, למרות הראיה הכימית הברורה לנוכחות בריום. מכיוון שלא היה מסוגל להסביר את נוכחות הבריום, שיגר מכתב אל מייטנר. במכתבו הוא שואל:

"אז תשבי בבקשה אם יש אפשרות כלשהי – אולי איזוטופ של בריום עם מסה אטומית גבוהה הרבה יותר מ-137?"

מייטנר ופריש מסבירים את הביקוע

בעוד האן ושטרסמן מכינים את ממצאיהם לפרסום, חשבה מייטנר על נוכחות הבריום. בתוך זמן קצר, היא מצאה הסבר: ביקוע. מייטנר למדה על ניסוייהם האחרונים של האן ושטרסמן, שאישו את רעיון הבריום, רק בדצמבר 1938. היא הייתה אז בחופשה יחד עם אחיינה אוטו פריש, שהיה אף הוא פיזיקאי. בשותחה עמו על עבודתה, בהתבסס על מודל טיפת הנוזל של בוהר, הבליחה במוחה לפתע תמונה חדשה של גרעיני האורניום.¹² בנסיבות מסוימות, כאשר נויטרון פוגע בגרעין אורניום, הוא יתחיל להתנווד ולהתארך כמו טיפת נוזל. עיוות הצורה עשוי להוריד את עוצמת הכוח הגרעיני החזק שמלכד את הגרעין, ואז כוח הדחייה החשמלית יכול להשתלט ולפרק את הגרעין. על פי מודל זה, חישובו פריש ומייטנר את האנרגיה¹³ שתשתחרר בתהליך כזה, בהתבסס על ההבדלים בין מסת גרעיני האורניום ובין המסה הכוללת של תוצרי הביקוע הצפויים, כגון בריום וקריפטון. זמן לא רב אחר כך, ערכו פריש ואחרים סדרה של ניסויים כדי לקבל את ערכי אנרגיות הרתע של תוצרי הביקוע, ובזאת הוכיחו את תיאוריית הביקוע.

דבר התגלית התפרסם בעולם בתחילת 1939, במאמרים שפורסמו בנפרד על-ידי האן ושטרסמן ועל-ידי מייטנר ופריש. נילס בוהר למד על התגלית מפריש ואימץ אותו מייד. בוהר יצא אישית, עם חדשות מלהיבות אלה, אל קהיליית הפיזיקאים בארצות הברית, שם תרמה התגלית, בסופו של דבר, לפיתוח פצצת האטום בשנת 1945. השימוש שעשתה ארצות הברית בפצצות אלה כנגד יפן הוציא שם רע לפיזיקה הגרעינית. לזיה מייטנר, כבעלת תרומה מרכזית לגילוי הביקוע וכקורבן של השלטון הנאצי, הייתה לאישיות מפורסמת. עיתונאים אחדים תיארו אותה כ"היהודייה הנוודת, המדענית שגנבה את סוד הפצצה מהיטלר והעבירה אותו לבנות הברית".

בכתבה בעיתון Life נכתב:

"נוכחותו של בריום, שהוא יסוד קל הרבה יותר מאורניום, התמיהה את הקבוצה הגרמנית. אחת מהם, ד"ר לזיה מייטנר, אולצה לעזוב את גרמניה בגלל מוצאה היהודי. בקופנהגן, שם עבדה עם ד"ר א.ר. פריש, היא הגיעה למסקנה שהנויטרון אינו יוצר יסוד חדש, אלא מפצל את גרעין האורניום לשניים, כך שנוצרים בריום ויסודות אחרים". לצד אי דיוקים אחרים בכתבה, לא מוזכרת תרומתם של האן ושטרסמן, החברים ה"אריים" בצוות הגרמני.

האן מקבל פרס נובל על הביקוע

בעוד מייטנר מקבלת תשומת לב מהעיתונות וקרדיט על גילוי הביקוע, מצא עצמו אוטו האן במעצר על יד קיימברידג' שבאנגליה. הוא נעצר יחד עם תשעה מדענים גרמניים אחרים שהיו מעורבים בתוכנית האנרגיה האטומית הגרמנית. החדשות על האופן שבו הוצגה מייטנר בעיתונות העולמית הדהימו, בלי ספק, את האן. אך הגלגל היה עתיד להתהפך במהרה. בסוף שנת 1945, למד האן שהוא זה שקיבל את פרס נובל לכימיה לשנת 1944 "על גילוי את הביקוע של גרעינים כבדים". לא מייטנר, לא שטרסמן ולא פריש חלקו אתו את הפרס.

פרס נובל ייחס אפוא את גילוי הביקוע להאן לבדו. תפנית זו באירועים לא שיקפה את מהלך האירועים האמיתית, אלא נבעה מדעות קדומות ומאי הבנה. במובנים רבים, היו כל הסיכויים נגד מייטנר אפילו לפני שוועדת הפרס החלה את דיוניה. תרומותיה לגילוי אמנם היו ממשיות ומכריעות, אך העדרה מברלין בעת הגילוי צייר תמונה שונה. מייטנר עצמה ציינה, כי "ככל שתוצאות אלה [בדבר ביקוע האורניום] משמחות אותי בשביל האן... אנשים רבים כאן [ברלין] חושבים בוודאי שאני לא תרמתי לזה מאומה". בגלל השליטה הנאצית במדע בגרמניה, לא יכלו האן ושטרסמן להודות בשיתוף פעולה עם מדענית יהודייה גולה. במאמר שפרסם בפברואר 1939 על הוכחת היווצרותם של בריום ושל תוצרים רדיואקטיביים נוספים מהקרנת אורניום בנויטרונים, אמנם התייחס האן לפרשנות של מייטנר ופריש לביקוע, אך הוא ניסח זאת באופן שימעיט בחשיבותה.

עם חלוף הזמן, נראה שהאן עצמו שכח את תרומתה של מייטנר. במכתב שכתב אליה מייד לאחר הגילוי הוא טוען, כי "בכל עבודותינו מעולם לא התייחסנו לפיזיקה, רק עשינו הפרדות כימיות פעם אחר פעם. אנחנו יודעים מהם גבולותינו, ואנו יודעים, כמובן, שבמקרה המסוים הזה היה מועיל לעשות רק כימיה". האן היה מסוגל לשכנע את עצמו בנאמר לעיל הן מתוך הגנה עצמית והן מתוך חוסר הבנה. האן חש, ללא ספק, את לחצו של הממסד הנאצי, והייתה לו את היכולת לראות דברים כפי שרצה שיהיו.¹⁴ אף שבאוטוביוגרפיה שלו הוא מכיר בתרומתם של מייטנר ופריש, יש גם רמזים לכך שהוא פשוט לא הבין את תרומותיה התיאורטיות האחרונות של מייטנר ולכן חש שתרומתה לגילוי הייתה זעומה.

אף שהאיום הנאצי חלף עם תום המלחמה, עדיין ניצבו קשיים רבים בפני האן בפרט ובפני המדע הגרמני בכלל. בעודם שוהים באנגליה, הזהיר האן את עמיתיו המדענים הגרמניים כי "הצפי לעתיד קודר מאוד בעבורנו". הוא הבין את גודל המכה שניחתה על המדע הגרמני במהלך שנות המלחמה ואת השפעתה על התפתחותו לאחר המלחמה. האן השתמש בתגלית "שלו" לסייע בכינון מחדש של חשיבות המדע הגרמני. שוב היה אפשר לדחוק את רגליה של מייטנר, כפי שאפשר לראות בהצהרה שהוציאו המדענים הגרמנים שהיו עצורים באנגליה:

"הביקוע של גרעין אטום האורניום התגלה על האן ושטרסמן ב-KWI... תגליתו של האן נבדקה במעבדות רבות, בייחוד בארצות הברית, מיד לאחר הפרסום. חוקרים שונים, מייטנר ופריש היו בוודאי הראשונים, ציינו את האנרגיות העצומות המשתחררות בעת ביקוע אורניום. ואולם, מייטנר עזבה את ברלין שישה חודשים לפני הגילוי ולא הייתה מעורבת בעצמה בגילוי".



הפוליטיקה שמאחורי פרס נובל

הקריירה המדעית של מייטנר סבלה מעצם עזיבתה את ברלין. היא עברה לשטוקהולם כדי לעבוד במכון

מאן זיגבאן החדש לפיזיקה, אך לא הסתדרה עם זיגבאן ולא היו לה אמצעים להמשיך את עבודתה. אף שהעלתה את התיאוריה של הביקוע, לא הייתה לה כל דרך לבצע ניסויים כדי להוכיח את נכונותה. גורמים אלה משתקפים בהחלטות המוקדמות של ועדת פרס נובל. האן ומייטנר היו מועמדים לפרס נובל לפיזיקה בתחילת שנות ה-40, אך הוועדה קבעה שתגלית הביקוע שייכת לתחום הכימיה. בדוחות חברי הוועדה נכתב: "עבודתו של האן נחשבה לחשובה, ואילו עבודתם הניסויית של מייטנר והאן לא הייתה יוצאת דופן, ואם הייתה תרומה תיאורטית משמעותית, הרי שיש לתת לבוהר¹⁵ את הקרדיט". לא הייתה גם שום התחשבות בנסיבות הפוליטיות שכפו על מייטנר לפרוש מקבוצת המחקר, או בהשפעה של המדיניות האנטישמית של הנאצים על מה שפורסם במאמרים-תנאים שהשפיעו על התיאור הלקוי של מהלך התגלית. ועדת הכימיה החליטה להעניק את הפרס להאן לבדו על תגלית הביקוע "שלו". אף שהאקדמיה של פרסי נובל לא קיבלה מייד את המלצת הוועדה, קיבל האן את הפרס בסוף שנת 1945.

ב- 1945 וב-1946 הוצגו מייטנר ופריש כמועמדים לקבלת פרס נובל לפיזיקה על תרומתם לגילוי הביקוע.¹⁶ האדם שנבחר להעריך את המועמדים היה אריק הולתן, תלמידו לשעבר של זיגבאן. בשתי השנים, הוא פסק נגד מייטנר ופריש. אף שאותן התפיסות המוטעות שהנחו את הוועדה לכימיה הופיעו בנימוקיו הוא, גם הפוליטיקה הפנימית של הוועדה לפיזיקה השפיעה על החלטתו.

מאן זיגבאן, מארחה הלא אדיב של מייטנר בשטוקהולם, היה פיזיקאי רב השפעה וחבר בוועדת הפיזיקה. נוסף על כך, ועדת הפיזיקה העדיפה ניסיונאים. הולתן ציין זאת בדוח שלו, והמעייט בערכו של ההסבר התיאורטי משום שלא הייתה לו שום השפעה על הניסוי. גורם נוסף שאולי השפיע על החלטת הוועדה היה נטייתה המסורתית של שוודיה להתייחס אל גרמניה כאל הכוח המוביל במדע. אולם, תיאוריית הביקוע של מייטנר ופריש שימשה בסיס לעבודה מוצלחת בארצות הברית ובבריטניה, ולא בגרמניה. הגורם הישיר היה, ללא ספק, חוות דעתו של הולתן, שאותה ביסס כמעט אך ורק על המאמרים המקוריים שנכתבו על-ידי האן ושטרסמן ועל-ידי מייטנר ופריש. הוא לא התייחס לפרסומים אחרים שסיפקו ראיות לתרומתם המכרעת של מייטנר ופריש. הוא פטר כחסרי חשיבות את הניסויים שערך פריש כדי להוכיח את ההסברים התיאורטיים, ולא מצא שום דבר מיוחד בתיאוריה שפיתחו מייטנר ופריש. הוא סבר שהם הותירו שאלות חשובות ללא מענה, שאלות שבוהר השיב עליהן מאוחר יותר. על כן, סיכם, שכל קרדיט נוסף על גילוי הביקוע יש לתת לבוהר. על בסיס חוות הדעת של הולתן, החליטו ועדות הפרס של 1945 ו-1946 שלא להעניק את פרס נובל למייטנר ולפריש.

לסיכום

תגלית הביקוע מייצגת נקודת שיא בקריירה המדעית הארוכה והמזהירה של לזיה מייטנר ואוטו האן. לרוע המזל, האירועים שהתרחשו בתקופת הגילוי מנעו משני המדענים לקבל הכרה שווה. עם חלוף

הזמן והודות לחקירה היסטורית מעמיקה, שב ומכונן השוויון ביניהם. מעניין לציין את הופעתו של המייטנריום והיעלמותו של ההאהניום כשמות ליסודות טרנסאורניים.¹⁷

הערות

1. רתע רדיואקטיבי מתאר את הרתע של אטום אחרי פליטה של חלקיק בהקשר לחוק שמור התנע. יש כאן אנלוגיה לרתע של רובה אחרי יריה. על ידי למידת הרתע, אפשר להבין טוב יותר את האנרגיות והמסות הקשורות לדעיכה רדיואקטיבית.

2. למייטנר ניתן היתר מיוחד להשתתף בהרצאות של פלאנק, וגם מחקריה הניסויים היו בגדר חריגה מן המקובל. בראשית עבודתה עם האן, היה עליה להסתגר במרתף, למען לא תסתופף בחברתם של הסטודנטים ממין זכר. מאוחר יותר, כשהוסרו הגבלות אלה, הביעו רבים מן האחרונים את מחאתם.

3. מייטנר לא קיבלה שכר עד שפלאנק, שהיה לידיד אישי, מינה אותה לעוזרתו. קידומה למעמד שותפה למחקר במעבדה של האן ב-KWI התרחש, קרוב לוודאי, הודות למאמציו של אמיל פישר, ראש המכון וידיד של מייטנר גם הוא.

4. גם מייטנר שירתה בחזית הרוסית, מאוגוסט 1915 עד אוקטובר 1916, כאחות-טכנאית רנטגן בצבא האוסטרי.

5. איזומריה (גרעינית), על פי המילון, היא היחס בין שני גרעיני אטומים או יותר, שהמספר האטומי ומספר המסה שלהם זהים אך רמות האנרגיה וזמן מחצית החיים שונים. מצב איזומרי הוא מצב מעורר ארך-חיים של גרעין אטום.

6. הזוג ז'וליו-קירי הצליחו לחדור לגרעין האלומיניום עם חלקיק α טעון כי המספר האטומי של האלומיניום נמוך יחסית. התנע של חלקיק α מהיר יכול להתגבר על כח הדחייה החשמלי בינו ובין הגרעין. שיטה זו לא תעבוד עם יסודות כבדים יותר. לנויטרון, לעומת זאת, אין מטען חשמלי שצריך להתגבר עליו.

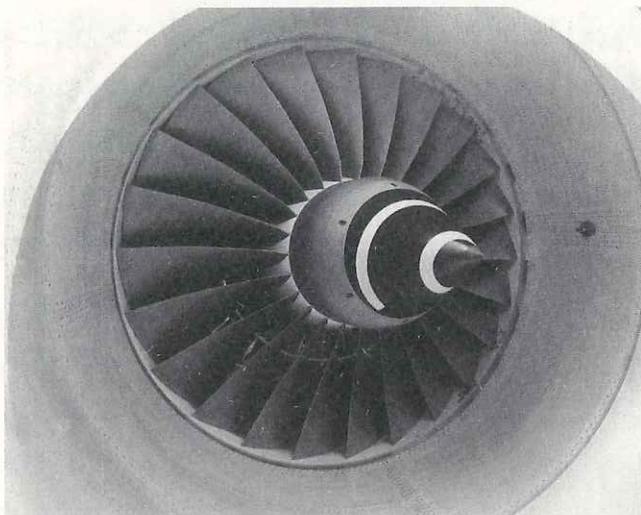
7. כאשר רדיוכימאים מנסים לזהות גרעין לא ידוע, הם מפרידים אותו מתוצרים ומגיבים אחרים בריאקציה, באמצעות תהליכים כימיים. הזיהוי נעשה על-פי מאפייני קרינה כגון אנרגיה או זמן מחצית החיים, מסה אטומית, או מספר אטומי. כמות החומר הרדיואקטיבי שנוצר בריאקציה גרעינית היא קטנה, בדרך כלל. לדוגמה: המסה של ^{39}Si המייצרת 10^8 התפרקות לשניה, היא רק 1×10^{-7} גרם. על כן אין זה אפשרי לשקול את הגרעינים שבודדו בהפרדה רדיוכימית. בדרך כלל, פיזיקאים מפעילים את

- הריאקציה הגרעינית ומתמקדים במדידות, ואילו כימאים מטפלים בתהליכי ההפרדה והניקוי.
8. אף שהתוצאות מברלין נראו כסותרות את התיאוריה הקיימת של איזומרים גרעיניים, איזומריה עדיין היתה מושג חדש יחסית ובלתי מוסבר ברובו.
9. $EkaAu$ זוהה ע"י מקמילן ואבלסון בשנת 1941, וניתן לו השם נפטוניום.
10. אירן קירי בפריז, פיליפ אבלסון באוניברסיטת קליפורניה בברקלי וקבוצה באוניברסיטה של מישיגן קיבלו, כולם, תוצאות דומות מאורניום מוקרן.
11. תפיסה זו של הגרעין בהחלט הגבילה את ראייתם של המדענים המעורבים. היא גם עיוותה את הניסויים. כדי לבודד פליטות שונות, שמו המדענים יריעת מתכת דקה לפני הגלאים, ובזאת חסמו את תוצרי הביקוע הגדולים.
12. בדגם זה, חלקיקי הגרעין לא תפקדו באופן עצמאי, אלא פעלו יחד כ"נוזל" מלוכד באמצעות כוחות גרעיניים חזקים, בדומה למתח הפנים הטיפת מים.
13. בתחילה הם ניסו לחשוב על גרעין האורניום כמעין טיפת נוזל טעונה, שמטענה הגדול מספיק להתגבר על אפקט מתח הפנים. הגרעין דמה איפוא, בתמונה זו, לטיפה מתנוודדת, לא יציבה, הנכונה להתפרק עם כל התגרות, כגון התנגשות של נויטרון יחיד. שתי הטיפות הקטנות יותר, לאחר הפיצול, ירכשו מהירות גבוהה, הכרוכה באנרגיה כוללת של כ-200 מא"ו. למקור האנרגיה הזאת נחשב הפרש המסות בין המגיבים לתוצרים בריאקציה הגרעינית, והיא נקבעה לפי נוסחתו המפורסמת של איינשטיין $E=mc^2$.
14. בתום מלחמת העולם השנייה, העלים האן עין מזוועות הנאצים והתמקד בסבל שעבר הוא עצמו בגרמניה.
15. בוהר שיכלל את התיאוריה שהציעו מייטנר ופריש. הוא וג'ון ווילר פרסמו מאמר בשם "The Mechanism of Nuclear Fission" בגיליון ספטמבר 1939 של *Physical Review*, ובו טענו ש- ^{235}U הוא כנראה האיזוטופ האחראי לביקוע נויטרון איטי.
16. בוהר היה בין הפיזיקאים המכובדים שהציעו את מועמדותם של מייטנר ופריש ב-1946.
17. ב-1997, ניתן באופן רשמי ליסוד שמספרו האטומי 109, שנתגלה ב-1982, השם מייטנריום. יסוד 105, שהתגלה ב-1967, נקרא באופן לא רשמי בשם האהניום עד 1997, שאז ניתן לו השם הרשמי דובניום, על שם אחת המעבדות שבהן נצפה לראשונה, בדובנה שברוסיה.

מתכות: מה גורם להן להיות פעילות?

מעובד לפי:

M. Laing, "Metals: what makes them react?", Education in Chemistry, May 2001. Pp. 77-79



להבים של מנוע סילון עשוי מטיטניום - מתכת בעלת טמפרטורת היתוך גבוהה

אילו שתי תכונות פשוטות של מתכות, המוכרות היטב לתלמידים, מלמדות על הפעילות הכימית של המתכות?

בספרי הלימוד, הפרק על המערכה המחזורית והמחזוריות בתכונות הכימיות מופיע, בדרך כלל, אחרי מבנה האטום והיערכות האלקטרונים. בספרים רבים מוצגים ערכי הרדיוס האטומי והיוני, אנרגיות היינון, ואפילו האלקטרו-שליליות של המתכות השונות. אלה הם, כמובן, נתונים חשובים, אך נשאלת השאלה: האם יש קשר בין ערכים אלה, הנמדדים בעבור אטומי המתכות בפאזה הגזית, ובין התכונות של המתכות שבהן אנו ותלמידינו נתקלים בחיי היומיום? האם יש תכונות פיזיקליות אחרות של מתכות, שהתלמידים מיטיבים להכיר - קלות להבנה ופשוטות למדידה - שיכולות לתת מושג על הפעילות (האקטיביות) היחסית של המתכות? ובכן, קיימות תכונות כאלה - נקודת ההיתוך והצפיפות של המתכת. הדבר היה ברור ללוטר מייר (Luther Mayer) כבר בשנת 1869, כאשר שרטט את גרף הנפחים האטומיים שלו כנגד הערכים הופכיים של צפיפות המתכת. הוא מצא, שכלל שצפיפות המתכת נמוכה יותר, המתכת פעילה יותר; מתכות שצפיפותן גבוהה הן אדישות.

פעילות של מתכות

לא קל להגיע להסכמה על פירוש המונח "פעילות". רובנו חשים אינטואיטיבית, ש"פעילות של מתכות" מתייחסת להתנהגותן בנוכחות חמצן ומים. אנו אומרים "מתכות פעילות", תגובה "נמרצת" ותגובה "איטית" ו"הפעילות עולה עם עליית הטמפרטורה". בדמיוננו עולה התמונה של חתיכת הנתרן הנופלת למים, אפילו קרים, בלוויית קולות נפץ וזיקוקי אש. לעומתה, חתיכת כסף, שגם במים חמים אינה מעוררת אלא קצת גלים. יש המשתמשים במונח "פעילות" או "אקטיביות", ויש המשתמשים במונח "זיקה"; אחרים מתייחסים ל"כוח מניע", ויש שמדברים על נטיית המתכת לדחות יוני מתכת אחרת מתוך תמיסה. אכן ריבוי מונחים.

אחת הדרכים המקובלות לקבוע אם מתכת היא פעילה או לא היא לבדוק את מהירות התגובה ואת הטמפרטורה שבה היא מתרחשת. במתכות, נהוג לבדוק שלושה תהליכים: תגובה עם מים, תגובה עם חמצן ותגובת דחייה של יוני המתכות אחרות מתמיסה מימית. אלא שלתוצאות שאנו רואים ולנתונים שאנו מודדים בכל אחד מהתהליכים יש שני היבטים: הקינטיקה - קצב התגובה, והתרמודינמיקה - יציבות התוצרים המתקבלים. הבעייתיות נובעת מכך שלעיתים אין הם מתיישבים זה עם זה. נשתמש במעגלי בורן-האבר כדי לבחון את ההיבט התרמודינמי של שתיים מהתגובות המקובלות כקריטריונים לפעילות (לשם פשטות, נניח שהמתכת היא דו-ערכית).

1. מתכת + חמצן ← מתכת חמצנית

ΔH_f , אקסותרמי	$M_{(s)} + 1/2O_{2(g)} \rightarrow MO_{(s)}$
ΔH המראה, אנדותרמי	$M_{(s)} \rightarrow M_{(g)}$
$IE_1 + IE_2$, אנדותרמי	$M_{(g)} - 2e \rightarrow M^{2+}_{(g)}$
$1/2\Delta H_{\text{קשר}} = \Delta H$ אטומיזציה, אנדותרמי	$1/2O_{2(g)} \rightarrow O_{(g)}$
$EA_1 + EA_2$, אנדותרמי	$O_{(g)} + 2e \rightarrow O^{2-}_{(g)}$
ΔH סריג, אקסותרמי	$M^{2+}_{(g)} + O^{2-}_{(g)} \rightarrow MO_{(s)}$

$$\Delta H_{\text{ההליך}} = \Delta H_{\text{המראה}} + IE_1 + IE_2 + 1/2\Delta H_{\text{קשר}} + EA_1 + EA_2 + \Delta H_{\text{סריג}}$$

2. פוטנציאל חימצון - הנטייה לדחות מתכת אחרת:

$E_{\text{חימצון}}$	$M_{(s)} \rightarrow M^{2+}_{(aq)} + 2e$
$\Delta H_{\text{המראה}}, \Delta H_{\text{אנדותרמי}}$	$M_{(s)} \rightarrow M_{(g)}$
$IE_1 + IE_2$, אנדותרמי	$M_{(g)} \rightarrow M^{2+}_{(g)} + 2e$
$\Delta H_{\text{מיום}}, \Delta H_{\text{אקסותרמי}}$	$M^{2+}_{(g)} + nH_2O \rightarrow M^{2+}_{(aq)}$

$$\infty \Delta H_{\text{המראה}} + IE_1 + IE_2 + \Delta H_{\text{מיום}} \text{ פוטנציאל חימצון}^*$$

בין אם חושבים על פעילות המתכת במונחים של קלות ההיווצרות של תחמוצת יציבה, ובין אם במונחים של שליליות פוטנציאל האלקטרודה שלה, בשני המקרים מדובר במדדים המבוססים על אותם שני תהליכים אנרגטיים המאפיינים את המתכת: אנתלפיית ההמראה ($\Delta H_{\text{המראה}}$) ואנרגיית היינון (IE). תהליכים אלה משתקפים, איכותית, בטמפרטורת ההיתוך ובצפיפות המתכת.

טמפרטורת ההיתוך

אנתלפיית ההמראה היא האנרגיה הדרושה כדי לתלוש את האטומים מהמוצק ולהעביר אותם לפאזה הגזית. אם צריך להשקיע אנרגיה רבה (התהליך מאוד אנדותרמי), המתכת לא פעילה. התלמידים מבינים, שכדי להפוך את המתכת לגזית יש לפרק קשרי מתכת-מתכת. המראה היא, למעשה, היתוך + אידוי. ברור, שככל שהקשר מתכת-מתכת חזק יותר, טמפרטורת ההיתוך גבוהה יותר, ועל כן גם, ככל שטמפרטורת ההיתוך גבוהה יותר, המתכת פעילה פחות. מגמה זו ניכרת בטמפרטורות ההיתוך של

מתכת	Z	mp ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta H_{\text{המראה}}$ (kJ mol^{-1})	E^0 (וולט)
K	19	64	90	-2.92
Ca	20	850	155	-2.87
Sc	21	1539	376	-2.08
Ti	22	1668	469	-1.63

טבלה 1. טמפרטורת היתוך של כמה מתכות

* מקובל לתת את ערכי E^0 - פוטנציאל חיזור תיקני של יוני מתכת: $M^{2+}_{(aq)} + 2e \rightarrow M_{(s)}$. בטבלאות 1-6 נתונים ערכי E^0 של היונים המתאימים.

סדרת המתכות, מאשלגן עד טיטניום, המוצגות בטבלה 1. תצפיותינו אכן מאששות את ניבוי סדר הפעילות היורד: אשלגן מגיב עם מים בעוצמה רבה, ואילו טיטניום משמש לבניית להבים של מנועי סילון.

הצפיפות

מתכת	Z	צפיפות (גרי ס"מ ⁻³)	IE ₁ (kJ mol ⁻¹)	E ⁰ (וולט)
Rb	37	1.53	403	-2.93
Sr	38	2.60	549	-2.89
Y	39	4.47	616	-2.37
Zr	40	6.45	660	-1.53

טבלה 2. צפיפות של כמה מתכות

במתכת פעילה מבחינה כימית, האטומים מוסרים בקלות אלקטרון אחד לפחות והופכים לקטיונים. ככל שהם מוסרים את האלקטרון/ים בקלות רבה יותר, המתכת פעילה יותר. הכוח שבו האלקטרון נמשך לגרעין האטום מציית לחוק קולון: ככל שהאלקטרון רחוק יותר מהגרעין, המשיכה חלשה יותר. אם נעבור על הטבלה המחזורית ונבחן מתכות בעלות מספר אטומי דומה, נגלה שככל שהרדיוס האטומי גדול יותר, הצפיפות נמוכה יותר. אם כן, ככל שהצפיפות נמוכה יותר, אנרגיית היינון נמוכה יותר, והמתכת פעילה יותר.

בטבלה 2 ניתן לראות את התופעה במתכות מן המחזור החמישי. פעילות המתכות במחזור זה יורדת עם העלייה בצפיפות. זירקוניום, צפיפותו גבוהה מאוד, משמש לציפוי מוטות האורניום בכורים גרעיניים בשל עמידותו הגבוהה בפני קורוזיה (שיתוך) והאינרטיה (האדישות) שלו למים ולחמצן.



האדישות של הזירקוניום הנובעת מהצפיפות-מיושמת בכור גרעיני

אנומליות בתוך מחזור

ערכי הצפיפות וטמפרטורת הרתיחה של מתכות משתנים בהדרגתיות לאורך השורה, אך פה ושם יש חריגות. דווקא בחריגות יש עניין רב, שכן הן מצביעות על תכונות כימיות יוצאות דופן ולא צפויות.

מנגן ומתכות המחזור הרביעי (3d)

כרום משמש לציפוי בגלל קשיותו והאינרסיות שלו; ברזל הוא המתכת הנפוצה ביותר בשימוש בתחום הבנייה; אך לעולם לא נמצא חפצים עשויים מנגן. זאת, משום שמנגן היא מתכת פעילה מאוד בעלת חוזק מתיחה נמוך. בטבלה 3 מוצגות טמפרטורות ההיתוך של כרום, מנגן וברזל.

מתכת	Z	mp ($^{\circ}\text{C}$)
Cr	24	1875
Mn	25	1244
Fe	26	1535

טבלה 3. טמפרטורת היתוך של כמה מתכות מעבר מהשורה השלישית

האנומליה בטמפרטורת ההיתוך של המנגן מעידה, שגם הפעילות הכימית שלו אינה כמצופה בהשוואה לכרום ולברזל. ואכן, גם כרום (II) וגם ברזל (II) הם חומרים מחזרים, ואילו מנגן (II) הוא אדיש. מצד שני, מנגן (III) הוא מחמצן חזק, ואילו כרום (III) וברזל (III) אינם כאלה.

אירופיום והלנתנידים

טמפרטורות ההיתוך והצפיפויות של הלנתנידים הראשונים מוצגות בטבלה 4. התכונות הפיזיקליות של האירופיום חורגות, בבירור, מן המגמה הכללית, וניתן לצפות שגם תכונותיו הכימיות יהיו חריגות. דרגת החמצון האופיינית ללנתנידים היא +3, ואילו דרגת החמצון השכיחה של האירופיום בתמיסות מימיות היא +2, והוא יוצר מלחים יציבים יחסית, כגון EuSO_4 . התנהגותו הלא צפויה באה לידי ביטוי גם בצפיפות ובטמפרטורת ההיתוך, הנמוכות בהשוואה ללנתנידים השכנים.

את החריגות של המנגן והאירופיום אפשר לקשר אל היערכות האלקטרונים שלהם, שהיא בעלת סימטריה כדורית עם ענן s^2 מלא במנגן d^5s^2 ובאירופיום f^7s^2 . כדי לענות על השאלה, מדוע היערכות אלקטרונית זו מובילה לתכונות הכימיות הנצפות של המתכות, יש להעמיק בתיאוריית הקשר הכימי, ולא נעשה זאת במאמר זה.

צפיפות (גרי ס"מ ⁻³)	mp (°C)	Z	מתכת
7.20	1050	61	Pm
7.53	1072	62	Sm
5.25	826	63	Eu
7.89	1312	64	Gd
8.25	1356	65	Tb

טבלה 4. טמפרטורת היתוך וצפיפות של כמה לנתנידים

האם המיתאם איכותי בלבד?

האם אפשר לכמת את המיתאם בין הפעילות ובין הצפיפות ונקודת ההיתוך? ובכן, התשובה היא לא. תהליך ההיתוך איננו תהליך ההמראה. לא טמפרטורת היתוך, ואף לא טמפרטורת רתיחה, שקולות לאנרגיית ההמראה. אולם, טמפרטורת ההיתוך יכולה לתת לנו הערכה די טובה.

אנרגיית היינון של אטום קשורה באופן מורכב להיערכות האלקטרונים ולמטען האפקטיבי של הגרעין, וכן לרדיוס האטום. צפיפות המתכת אינה מתייחסת לכל הפרמטרים הללו, אך עדיין יכולה לתת לנו מידע חיוני על הפעילות.

המדדים הכמותיים של הפעילות התרמודינמית של מתכת, ΔH_f של התחמוצת ופוטנציאל החיזור התקני E^0 , מושפעים, שניהם, על-ידי גורמים אנרגטיים שאינם קשורים אך ורק למתכת עצמה. לדוגמה, אנרגיית הסריג, U , של התחמוצת, היא הקובעת את ערך ΔH_f . אנרגיית הסריג תלויה בצורת האריזה של הקטיונים והאניונים בגביש. אנרגיית המיום של הקטיון, $\Delta H_{\text{מיום}}$, תלויה בהיערכות האלקטרונים של הקטיון ובמספר הקואורדינציה שלו. שימוש במעגלי בורן-הבר מאפשר להעריך נכונה את הערכים המספריים של E^0 של המתכת ושל ΔH_f של התחמוצת, אך נתונים תרמודינמיים אלה אינם יכולים לספק מדד אמיתי לפעילות, משום שאין בהם מידע על מהירות התגובה. לעתים נוצרת על המתכת שכבת מגן אינרטי שובינה המתכת אינה מגיבה, ולאו דווקא מפני שאינה פעילה.

אפשר לסכם ולומר, שצפיפות נמוכה וטמפרטורת היתוך נמוכה מצביעות על פעילות גבוהה; צפיפות גבוהה וטמפרטורת היתוך גבוהה מצביעות על פעילות נמוכה; ערכים חריגים של צפיפות או טמפרטורת היתוך בתוך מחזור מסוים מרמזים על התנהגות כימית לא צפויה.

מתכות אחרות

נוכל ליישם את הרעיונות הפשוטים הללו גם למתכות מאזורים שונים במערכה המחזורית.

אלומיניום

בטבלה 5 נעשית השוואה של תכונות מתכת זו לאלה של שכנותיה, מגנזיום ונתרן. העלייה ההדרגתית בצפיפות מראה על ירידה הדרגתית בפעילות, אך טמפרטורת ההיתוך הנמוכה יחסית למגנזיום מצביעה על חריגות. עם זאת האלומיניום, כמו מגנזיום, בוער באדי מים. דוגמה להשפעה הקינטית נראתה במלחמה באיי פוקלנד. אוניות בריטיות, שהמרכב שלהן היה עשוי אלומיניום, התפוצצו כאשר התזו עליהם מים בניסיון לכבות את הלהבות. הבעיה אינה קיימת בבישול במחבתות ובסירי אלומיניום, משום שהם מצופים בשכבה אינרטי של Al_2O_3 , שמגינה על המתכת מתגובה עם חמצן או מים.

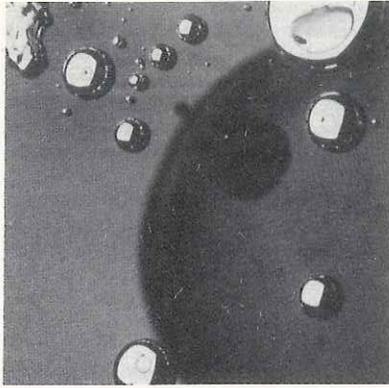
Al	Mg	Na	
660	644	98	mp ($^{\circ}C$)
2.74	1.74	0.97	צפיפות (גר' ס"מ ³)
-1.66	-2.37	-2.71	E° (וולט)
578	738	496	IE_1 (קג'אול מול ⁻¹)
326	146	107	המראה ΔH (קג'אול מול ⁻¹)

טבלה 5. תכונות פיזיקליות של אלומיניום ושכניו

כספית

את המתכת הזו יש להשוות למתכות המוכרות המקיפות אותה: אבץ מעליה (קבוצה 12), זהב ועופרת משני צדיה (קבוצות 11 ו-14, בהתאמה). הנתונים מוצגים בטבלה 6. צפיפות של 13.5 ג' ס"מ³ מעידה שהכספית תהיה פעילה יותר מזהב אך פחות מעופרת. ערכי E° תואמים נתונים אלה. כמו כן ידוע, ש-HgO מתפרקת בקלות בחימום לכספית וחמצן, ואילו PbO יציבה עד לטמפרטורה של $900^{\circ}C$.

טמפרטורת ההיתוך של כספית היא $-39^{\circ}C$. מהי משמעות הטמפרטורה הנמוכה הזו בהשוואה ל- $419^{\circ}C$ של אבץ ו- $1064^{\circ}C$ של זהב? באטום הכספית, אלקטרוני s^2 קשורים לאטום חזק כל כך, עד שאינם חופשיים לנוע וליצור את "ים האלקטרונים" הלא מאוחר של הקשר המתכתי הטיפוסי. מאפיין ייחודי זה של הכספית מסביר מדוע האטומים לא מוסרים בקלות את האלקטרונים שלהם ליצירת קטיון, ולכן, כצפוי, פעילות הכספית נמוכה.



כספית - צפויה פעילות נמוכה

Zn	Pb	Hg	Au	
419	327	-39	1064	mp(°C)
7.1	11.3	13.5	19.3	צפיפות (גר' ס"מ ⁻³)
-0.76	-0.13	0.82	1.68	E ⁰ (וולט)
906	716	1007	890	E ₁ (קג'אול מול ⁻¹)
131	195	64	368	ΔH _{המראה} (קג'אול מול ⁻¹)

טבלה 6. תכונות פיזיקליות של כספית ושכניה

תוריום ואורניום

תוריום מתכתי הופק לראשונה על ידי ברצליוס בשנת 1828, ואורניום מתכתי על ידי פליגוט בשנת 1841. בשנת 1869 מיקם מנדלייב את היסודות האלה בקבוצות IV ו-V בטבלה המחזורית שלו, בהתבסס על ההקבלה הסטוכיומטרית בין תרכובותיהם לאלה של זירקוניום וטונגסטן. התכונות הפיזיקליות של תוריום, אורניום ושכניהם מוצגים בטבלה 7.

U	W	Mo	Th	Hf	Zr	
92	74	42	90	72	40	Z
1180	3380	2160	1750	2220	1857	mp (°C)
19	19.3	10.3	11.8	13.3	6.5	צפיפות (גר' ס"מ ⁻³)
590	770	685	596	654	660	E ₁ (קג'אול מול ⁻¹)
482	860	659	575	621	605	ΔH _{המראה} (קג'אול מול ⁻¹)

טבלה 7. תכונות פיזיקליות של תוריום ואורניום וכמה מהשכנים בטבלה המחזורית

אם תוריום היה היסוד הכבד הבא בקבוצה IV, היינו מצפים שטמפרטורת ההיתוך תהיה בערך 3000°C, והצפיפות בסביבות 20 גר' x ס"מ⁻³. באופן דומה, טמפרטורת ההיתוך של אורניום הייתה אמורה להיות בערך 4000°C והצפיפות כ- 25 גר' x ס"מ⁻³. הערכים במציאות נמוכים הרבה יותר. עובדה זו נובעת מכך שהאטומים גדולים הרבה יותר, ולפיכך הקשר M-M חלש הרבה יותר מהמצופה. אפשר

לנבא אפוא, שתוריום ואורניום יהיו מתכות פעילות מאוד, שיגיבו במהירות עם החמצן שבאוויר לקבלת תחמוצות ושיגיבו במים. כך קורה במציאות- ThO_2 הוא אינרטי ומצוי בטבע, ואילו UO_3 נוצר בקלות והוא יציב ב- 600°C . שתי המתכות "אוהבות חמצן", כצפוי לאור מיקומן בחלק השמאלי של הטבלה המחזורית.

ולבסוף

מטרתנו היא לעזור לתלמידים לנבא נכונה תכונות כימיות של מתכות, תוך שימוש במעט מידע המובן ומוכר להם היטב. יחד, שתי תכונות מאקרוסקופיות אלו, צפיפות וטמפרטורת רתיחה, יכולות לתת תמונה איכותית על הפעילות של המתכת, מכיוון שהן מקשרות בין העולם המאקרוסקופי לעולם המיקרוסקופי-האטומי.

הקישור בין מגמת ההשתנות של הפרמטרים האטומיים ובין מגמת ההשתנות של התכונות המאקרוסקופיות הוא אתגר לכל מורה. המלצת מאמר זה היא להתחיל בעולם המאקרוסקופי-העולם הנתפס בחושים (טמפרטורות היתוך וצפיפות), ורק אחר כך להיכנס לעולם המיקרוסקופי - (אנרגיית יינון, זיקה אלקטרונית וכו')-עולם האטום. זה היה גם סדר ההתפתחות ההיסטורי.

אלקטרוניקה מולקולרית

פרופ' רון נעמן, המחלקה לפיזיקה כימית, מכון ויצמן למדע



חלום שמתגשם?

מאמץ רב מוקדש כיום לפיתוח מערכות אלקטרוניות המבוססות על

מולקולות אורגניות. מדענים מקווים שמערכות אלה יאפשרו להמשיך וליעל את



הרכיבים המיקרואלקטרוניים, שכן הטכנולוגיה הקיימת מתקרבת למיצויה.

האלקטרוניקה מבוססת על רכיבים שהזרם העובר דרכם נשלט על ידי אות חיצוני. הדור הראשון של האלקטרוניקה המודרנית החל עם המצאת שפופרת הריק והטריודה, שאפשרו את פיתוח המחשבים הראשונים בתקופת מלחמת העולם השנייה. שפופרות הריק נעלמו עם המצאת הטרנזיסטור. הטרנזיסטורים, שהם הדור השני של האלקטרוניקה, אפשרו למזער את ההתקנים האלקטרוניים והפכו אותם למהירים וזולים. כל רכיב אלקטרוני, או שבב, כפי שהוא נקרא כיום, מכיל מיליוני טרנזיסטורים.

השבבים מיוצרים בתהליך של "הדפסת" פסי מתכת על גבי לוחות מוליכים למחצה, תהליך המתבצע בשלבים. הדפסת המעגל האלקטרוני נעשית על ידי ציפוי של משטח המוליך למחצה במתכת ומעליה בשכבת פולימר. כל המערך הזה נחשף לאור דרך "מסכה" שהוכנה מראש בתבנית המעגל החשמלי המבוקש. במסיכה יש חורים, המאפשרים חדירת אור במקומות שאותם אנו מבקשים להשאיר כקווי מתכת. המתכת שלא נחשפה לאור נשטפת מפני המשטח. ככל שקווי המתכת צרים יותר ניתן לצופף מספר רב יותר של טרנזיסטורים על יחידת שטח וכך לעשות את הרכיב האלקטרוני מהיר יותר. בעשורים האחרונים התפתחה תעשיית רכיבי המיקרואלקטרוניקה בצעדי ענק והצליחה להגביר את מהירות הרכיבים מדי שנה. כיום, הטכנולוגיה הגיעה לשיאה ברכיבים המבוססים על "הדפסה", כאשר הפרדה (רזולוציה) היא 0.18 מיקרון, או 180 ננומטר.

כדי להאיץ עוד יותר את פעולת הטרנזיסטורים, נחוצים פסי מתכת דקים יותר. לשם כך דרושה הפרדה טובה בתהליך ה"הדפסה". כאמור, בתהליך משתמשים באור. ככל שאורך הגל של האור קצר יותר, ניתן למקד אותו בשטח קטן יותר, וכך לקבל הפרדה גבוהה יותר. הבעיה היא, שקשה להפיק אור בעוצמה מספקת באורכי גל קצרים. כמו כן, הרכיבים האופטיים (עדשות ומראות) הנדרשים לשם כך יקרים מאוד.

המזעור גורם לבעיות נוספות:

- מעבר הזרם בפסי המתכת יוצר חום. ככל שהרכיב צפוף יותר, נוצר יותר חום בכל יחידת שטח. חום זה עשוי להרוס, בסופו של דבר, את הרכיב.
- בגלל המזעור, הרגישות לשגיאות הולכת וגדלה, ואילו אמצעי הבדיקה הקיימים חסרים את היכולת לגלות שגיאות ביעילות.

לאור הקשיים האלה, קודם הרעיון לבנות אלקטרוניקה על בסיס שונה, ולהשתמש במולקולות אורגניות כתחליף לטרנזיסטורים המבוססים על מוליכים למחצה. בסקירה זו יידונו יתרונות (למראית עין, לפחות) השימוש במולקולות אורגניות, הבעיות העולות מכך וכמה רעיונות לעקיפת חלק מהבעיות.

יתרונות המולקולות האורגניות

מולקולות אורגניות הן בעלות תכונות פיזיקליות וכימיות מגוונות. אורכן הטיפוסי כ- 1 ננומטר, כלומר פחות מאחוז אחד מגודלו של הטרנזיסטור החדש ביותר. יש להניח, שאם נצליח להשתמש במולקולה כבטרנזיסטור, נצליח להקטין את גודל הרכיב הבסיסי במידה ניכרת. כמו כן, למולקולות יש תכונות פיזיקליות רבגוניות יותר משל הטרנזיסטורים הקיימים. תכונות אלה עשויות ליעל ולהרחיב את שימושי הטרנזיסטור [1].

לדוגמה: בליעת האור של הטרנזיסטורים הקיימים מאופיינת בפס בליעה רחב מאוד וחסר מבנה; בליעת האור של מולקולות מאופיינת, בדרך כלל, על ידי מבנה המורכב ממספר רב של קווי בליעה. תכונה זו תאפשר, למשל, להעביר מידע אל המולקולה באמצעות אור ולהשתמש בצבעים שונים כדי להעביר במקביל כמה יחידות מידע שונות. הדבר יאיץ את העברת המידע ואת עיבודו. יהיה אפשר גם להשתמש בשפה מורכבת יותר מהשפה הבינרית, שבנויה רק על 0 ו-1, אשר משמשת בטרנזיסטורים הקיימים. תכונה ייחודית נוספת היא, שלמולקולות יש יכולת "להכיר" מולקולות אחרות. הודות לתכונה זו, ייתכן שיהיה אפשר לשלב ביתר קלות גלאים במערכות אלקטרוניות.

יתרון חשוב נוסף של המולקולות הוא היכולת לייצר מהן כמויות עצומות ללא שגיאות. כמו כן, ההיגיון אומר שכאשר מגיעים למזעור כה רב, כדאי לבנות את הרכיבים "מהבסיס למעלה", ולא על ידי גריעה מלמעלה למטה. במיקרואלקטרוניקה המקובלת מתחילים ממבנה גדול ומחלקים אותו למבנים קטנים, ואילו במולקולות מתחילים מאטומים ובונים מהם מבנה גדול ומורכב יותר.

לפי המתואר עד כאן, נראה שלמולקולות אורגניות עשויים להיות יתרונות על פני מוליכים למחצה בבניית טרנזיסטורים. ואולם, יישום היתרונות הללו במערכת בת ייצור מעלה בעיות לא פשוטות.

חסרונות המולקולות האורגניות

הבעיות המתעוררות בשימוש במולקולות אורגניות הן בתחומי המזעור ועמידות המולקולות. ראשית נתייחס למזעור. נכון שהמולקולה קטנה הרבה יותר מכל טרנזיסטור, אך עלינו לזכור שיש לחבר את המולקולה אל הסביבה כדי למסור ולקבל מידע. את הקשר אל הסביבה מספקים מגעים חשמליים, ובהעדר חלופות ראויות, שוב נייצר מבנים חשמליים באותה הצורה שבה מיוצרים הרכיבים הקיימים. הטרנזיסטור שנייצר אולי יהיה קטן יותר, אבל החיבור אליו יעשה בטכנולוגיה הישנה. מכיוון שהרכיב מכיל גם את הטרנזיסטור וגם את המגעים שלו, יקבעו ממדי המגעים את גודלו הסופי של הרכיב. לא די אפוא להראות שמולקולה יחידה יכולה לפעול כטרנזיסטור, אלא יש לפתח גם שיטה הולמת לחיבור המולקולה אל המערכת האלקטרונית.

בעיה נוספת המחייבת התייחסות היא העמידות של מולקולות אורגניות למעבר זרם דרכן. רוב המולקולות נוטות להתפרק כאשר עובר דרכן זרם חזק. גם אם מניחים שבביצוע פעולה לוגית אחת עובר דרך המולקולה רק אלקטרון אחד, צריכים לעבור דרך המולקולה כ- 10^8 אלקטרונים בשנייה כדי שהרכיב יעבוד במהירויות המקובלות היום. בשטף כזה של אלקטרונים, רוב המולקולות ייהרסו (הקשרים בין האטומים שלהן יתפרקו) בתוך כמה שניות.

שילוב מולקולות אורגניות בטכנולוגיה הקיימת

למרות המגרעות שצוינו לעיל, האפשרות לייצר כמות גדולה של מולקולות ללא שגיאות ומגוון התכונות שתוארו לעיל מצדיקים את המאמץ לפתח רכיבים אלקטרוניים הבנויים ממולקולות אורגניות. אולם, ייתכן שהשימוש במולקולות יחייב שינוי מושגי בבניית רכיבים אלקטרוניים, וקרוב לוודאי שלא ניתן יהיה להחליף רכיב כפי שהוא מיוצר היום ברכיב שהוא מולקולה.

כדי לנצל את התכונות של מולקולות אורגניות ולהתגבר על חסרונותיהן, פותחו במעבדתנו התקנים המשלבים מולקולות אורגניות עם רכיבים של מוליך למחצה רגיל [2]. ההתקן החדש הוא "טרנזיסטור מוליך למחצה הנשלט על ידי תכונות מולקולריות" (MOCSER)-

Molecular Controlled Semiconductor Resistor

הרכיב מבוסס על טכנולוגיית GaAs הידועה, ובנוי כך שהזרם דרכו זורם קרוב מאוד לפני השטח. כתוצאה מכך, הזרם העובר דרך הטרנזיסטור רגיש מאוד לכל שינוי הקורה על פני השטח של הרכיב. אל פני השטח קשורות מולקולות אורגניות שתוכננו והוכנו כך שהן מסוגלות לבצע שני תפקידים. חלק אחד של המולקולה נספח אל פני השטח של הטרנזיסטור, וחלק אחר מסוגל לקשור באופן ספציפי חומר

כימי מסוים, כפי שנבחר מראש. בגלל הרגישות הרבה של הזרם למתרחש על פני השטח, כל שינוי שחל במולקולות גורם לשינוי בזרם שעובר דרך הטרנזיסטור.

תופעה זו מאפשרת להשתמש בטרנזיסטור כגלאי באופן זה: כאשר המולקולה קושרת חומר מסוים, משתנה חלוקת המטען החשמלי על פני המולקולה, ועל כן משתנה הזרם העובר דרך הטרנזיסטור. ניתן לספוח מולקולות המגיבות באופן שונה עם חומרים כימיים שונים. בחירה נכונה של המולקולות מאפשרת לשלוט בזרם לפי הצורך. יתרונה של המערכת בכך, שזרם אינו עובר דרך המולקולות האורגניות, ולכן הן אינן מתפרקות כתוצאה מעבודה ממושכת של הרכיב.

המולקולות המשמשות לגילוי מסתדרות על פני המוליך למחצה בשכבה חד-מולקולרית מסודרת, ותגובת הרכיב פרופורציונית למספר המולקולות שנקשרו על פניו. על פני שטח של רכיב טיפוסי שגודלו כ- 0.1 ממ"ר נקשרות כ- 10^{12} מולקולות. די בשינוי של פחות מאלפית מטען אלקטרון במולקולה כדי שהזרם ברכיב ישתנה במידה ניכרת.

רגישות ה- MOCSEER מאפשרת להשתמש בו גם כ"מחשב כימי", שכמות הזרם העובר דרכו תלויה בסביבה המכילה מספר רכיבים. לדוגמה, נבנה רכיב שהזרם דרכו גדל כאשר הוא נחשף למים וקטן כאשר הוא נחשף לחמצן. ברכיב כזה ניתן לבצע פעולה לוגית "כימית": כאשר הטרנזיסטור נחשף לחמצן בלבד הזרם קטן (-1), כאשר הוא נחשף למים בלבד הזרם גדל (+1), וכאשר הוא נחשף לשני החומרים גם יחד הזרם אינו משתנה (0). נקבל את הטבלה הלוגית הבאה:

אות חשמלי	מים	חמצן
1	+	0
-1	0	+
0	+	+

"מחשב כימי" כזה עשוי לשמש, לדוגמה, כחלק ממערכת אינטראקטיבית להזרקת תרופה המושתלת בתוך הגוף. הוא יוכנס לגוף יחד עם מערכת הזרקת תרופה, וזו תופעל בהתאם לתגובת ההתקן לסביבה המכילה כמה רכיבים חשובים למינון התרופה.

מבט לעתיד

מהדוגמה ברור, שהשימוש במולקולות אורגניות כחלק מהתקן אלקטרוני, אינה מהווה פתרון כללי לבעיית מזעור האלקטרוניקה. היא יכולה לשמש לרכיבים בעלי פונקציות מיוחדות, ובייחוד לפעולה במערכות ביולוגיות.

הגלאי שפותח יכול לשמש גם בשילוב עם מולקולות ביולוגיות. כאשר ייספחו על פניו מולקולות ביולוגיות בעלות יכולת הכרה ספציפית, יהיה אפשר להשתמש בו כגלאי ביולוגי. מעבדות מחקר שונות מפתחות רעיונות נוספים לשילוב מולקולות אורגניות ברכיבים אלקטרוניים, אך רובם טרם הבשילו לכלל בניית אב-טיפוס. למשל, הוצע להשתמש במולקולות לא להולכת זרם אלא להעברת מידע על ידי שינוי של חלוקת המטען עליהן. הפעלת שדה חשמלי על מולקולה משנה את חלוקת המטען עליה, והשינוי תלוי במבנה הכימי של המולקולה. ניתן אפוא לבצע פעולות לוגיות על ידי שינוי חלוקת המטען על המולקולות.

השיטה המוצעת פותרת שתי בעיות חשובות:

א. מכיוון שלא עובר זרם דרך המולקולות, הן אינן מתפרקות.

ב. מכיוון שלא עובר זרם לא נוצר חום, ובעיית ההתחממות של הרכיבים נפתרת.

הבעיה החשובה, שלה אין כרגע פתרון, היא כיצד לחולל שינויים מבוקרים בחלוקת המטען על המולקולות וכיצד לקרוא שינויים אלה, כלומר, כיצד לדעת שאמנם השתנתה חלוקת המטען. לעת-עתה, עלינו להתמקד בפיתוח רכיבים המשלבים בתוכם מולקולות אורגניות ומאפשרים שימוש בתכונות הכימיות של המולקולות למטרות חישה.



לסיכום:

השימוש במולקולות כרכיבים אלקטרוניים נראה מבטיח, אבל הדרך להגשמת רעיון מהפכני זה ארוכה. כרגע נראה שחסרים כמה מרכיבים בסיסיים (כמו יצירת המגע עם המולקולות), שבלעדיהם לא תיתכן התקדמות משמעותית בתחום. כפי שקרה בשעתו עם המצאת הטרנזיסטור וכטבען של המצאות, הדור השלישי של האלקטרוניקה המודרנית עשוי להופיע מכיוון בלתי צפוי. האלקטרוניקה המולקולרית אמנם אינה חלום באספמיה, אך שימוש נרחב במולקולות אורגניות כתחליף לטרנזיסטורים הקיימים עדיין אינו מציאות הממתינה מעבר לפינה.

1. a) Molecular Electronic Devices, ed. F.L. Carter, Marcel Dekker, New York (1982);
b) G.J. Ashwell ed. "Molecular Electronics", Research Studies Press Ltd. (1992).
2. Gartsman, K., D. Cahen, A. Kadyshevitch, J. Libman, T. Moav, R. Naaman, A. Shanzer, V. Umansky, and A. Villan, "Molecular control of GaAs transistor", Chem. Phys. Lett., 283 , 301, (1988); Vilan, A., R. Ussyshkin, K. Gartsman, D. Cahen, R. Naaman, and A. Shanzer, "Real-Time Electronic Monitoring of Adsorption Kinetics: Evidence for Two-Site Adsorption Mechanism of Dicarboxylic Acids on GaAs (100)", J. Phys. Chem. B, 102, 3307, (1988).

פחמימות ברפואה

מעובד לפי:

H. Osborn, "Carbohydrates in Medicine", Education in Chemistry, July 2001, pp 96-98.

www.public.iastate.edu/~pedro/carbhtd.html



עד לאחרונה, נחשבו
הפחמימות
(carbohydrates)
למחסן האנרגיה של
הטבע ולאחד המרכיבים

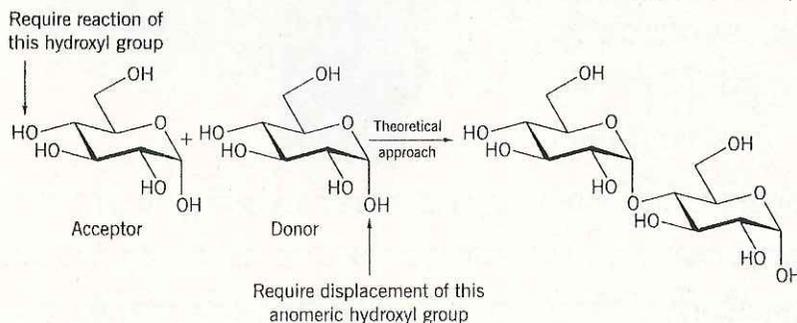
המבניים של בעלי-חיים וצמחים. שיטות חדשות לסנינתזה ולאנליזה גילו שלפחמימות יש תפקידים רבים נוספים במערכות ביולוגיות. הפחמימות הן המולקולות הביו-אורגניות הנפוצות ביותר; הן מהוות 75% מהמסה היבשה של הצמח. למרות זאת, הן נחקרו אך מעט מאוד, ואחת הסיבות לכך היא המבנה המסובך שלהן, המקשה על הסינתזה והאנליזה שלהן.

הפחמימות מערימות קשיים

הפחמימות הביולוגיות הגדולות (הרב-סוכרים) מורכבות מיחידות מונומר רבות הקשורות זו לזו. במערכות ביולוגיות, הקישור בין היחידות נעשה על ידי אנזימים. במעבדה, הכימאים "מעתיקים" שיטות מן הטבע ומשתמשים באנזימים הטבעיים, או שהם מבצעים תהליכים כימיים. הגישה היעילה ביותר בסינתזה משלבת את שתי השיטות.

יתרונם של האנזימים בכך, שבאמצעותם המונומרים מתחברים באופן אחד בלבד, ומתקבל איזומר אחד ויחיד. אלא שהאנזימים זמינים בכמויות קטנות בלבד, ולכן ניתן להכין באמצעותם רק כמויות קטנות של הפחמימות הרצויות. יש חשיבות לייצור איזומר אחד של התוצר המבוקש, משום שלאיזומרים שונים יש פעילות ביולוגית שונה. בשל הספציפיות של פעולת האנזים, דרושים אנזימים שונים להכנה של פחמימות שונות. לעתים נחוץ אנזים שעדיין לא בודד, או כזה שזמינותו מוגבלת, ולכן, במקרים רבים, הסינתזה בסיוע אנזימים היא יקרה.

לא פשוט גם לסנתז פחמימות בשיטות כימיות, כי במקרים רבים הפעילות (הריאקטיביות) של קבוצות ההידרוקסיל שצריכות להיקשר זו לזו דומה לפעילות של קבוצות ההידרוקסיל האחרות שעל טבעת המונומר. כדי לקבל קישור לאתר המבוקש בלבד, יש להגן על קבוצות ההידרוקסיל האחרות, כלומר להפחית את יכולתן ליצור קשרים חדשים. לעתים קשה לקשור את קבוצות ההגנה, ויש גם צורך לסלקן בתום הסינתזה. תהליכים אלה מאריכים ומסבכים את הסינתזה כולה. מלבד זאת, גם אם מאפשרים רק לקבוצת ההידרוקסיל אחת להגיב, מתקבלים שני תוצרים - שני סטריאו-איזומרים - ויש להפרידם זה מזה ולבודק כל אחד בנפרד.



איור 1. הגישה התיאורטית להכנת פחמימות

גם אנליזה כימית לפחמימות איננה תהליך פשוט. אחד הקשיים נעוץ בכך, שפעמים רבות ניתן לבדוד מתוך מערכות ביולוגיות רק כמויות קטנות של החומר הרצוי. כמו כן, בשל האופי ההידרופילי של הפחמימות, הן אינן מתקבלות, בדרך כלל, בצורה גבישית. לכן לא הצליחו עד לאחרונה לבחון את מבנה המולקולות האלה בשיטות ספקטרוסקופיות רגילות, כגון תהודה מגנטית גרעינית (תמ"ג; NMR). השיטות לבדיקת פחמימות הרסו את מבנה המולקולות. לא ייפלא אפוא, בהתחשב בכל הקשיים הללו, שהפחמימות נחקרו פחות ממולקולות ביולוגיות אחרות.

לאחרונה פותחו שיטות אנליטיות חדשות, בייחוד בתחום ספקטרוסקופיית תמ"ג, ואלה מאפשרות לקבוע את המבנה של פחמימות בתמיסה. כיום אפשר לקבל ספקטרום גם מכמויות קטנות מאוד של פחמימות מורכבות ולקבוע את הסידור המרחבי של האטומים במולקולה, ומכאן את הסטריאוכימיה של הפחמימה. התפתחויות אלה הגבירו את התעניינות המדענים בפחמימות ויצרו תחום מחקר חדש, הנקרא "גליקוביולוגיה".

תפקידים חדשים

הגליקוביולוגיה חושפת את אט את מעורבות הפחמימות בתהליכים ביולוגיים רבים ומשלימה חוליות חסרות בהבנת מגוון של תהליכים ומחלות.

בטבלה 1 מוצגים מספרי האיזומרים השונים שאפשר לקבל מחיבור מונומרים של פחמימות. ממספר קטן יחסית של יחידות מונומר ניתן לקבל מספר עצום של חומרים שונים, כי בכל מונומר יש כמה קבוצות הידרוקסיל שיכולות להתחבר ליחידות האחרות. מכל קישור יכולים להתקבל שני סטריאו-איזומרים. הדבר מרמז על האפשרות שפחמימות מעורבות באחסון מידע ביולוגי, שכן ממספר מצומצם של אבני בניין ("אותיות/מילים") נבנה מגוון עצום של מולקולות ("מילים/משפטים").



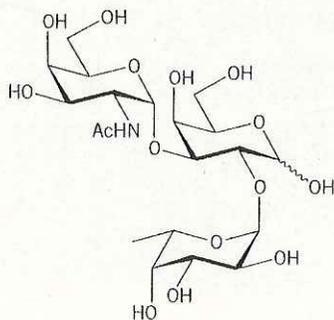
כיום ידוע, שניתן למצוא פחמימות גם כשהן מומסות בסביבה המימית האופפת את כל התאים בגוף וגם כשהן קשורות לפולימרים אחרים פפטידים וליפידים. פולימרים אלה המקושרים לפחמימות נקראים גליקופפטידים וגליקוליפידים. בשל האופי ההידרופילי של הפחמימות, הן ממוקמות, בדרך כלל, בצדן החיצוני של ממברנות התאים. השערה שהעלו מדענים לאור עובדה זו היא, שמהות המפגש הראשון בין תאים היא אינטראקציה בין הפחמימות. ואם כך, הרי שהפחמימות מעורבות במידה רבה בזיהוי הדדי של תאים ובהבחנה ביניהם.

מספר הפחמימות	המונומרים
11	שני מונומרים זהים, דימר A-A
176	שלושה מונומרים זהים, טרימר A-A-A
1,056	שלושה מונומרים שונים, טרימר C,B,A
2,144,640	חמישה מונומרים שונים, פנטמר D,C,B,A,E

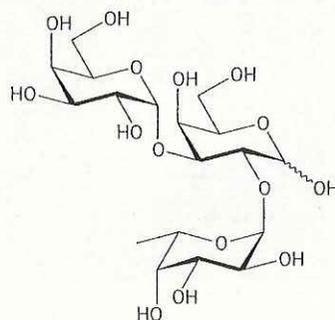
טבלה 1. מספר האיזומרים האפשריים של פחמימות בהרכבים שונים

דוגמה אחת להבחנה בין תאים הנעשית בתיווכן של פחמימות מספקים האנטיגנים של סוגי הדם השונים. אנטיגנים הם קבוצות כימיות, שהימצאן בגוף גורם לו לייצר נגדן נוגדנים. האנטיגנים של סוג דם מסוים אחראיים לכך שהגוף מייצר נוגדנים לסוגי דם אחרים. לדוגמה, בסרום של סוג דם A נמצאים נוגדנים

לסוג דם B. סוג הדם נקבע על פי סמנים הקבועים בממברנות תאי הדם האדומים. הסמנים הם חלבונים, שלקצותיהם מחוברת פחמימה הבולטת מהממברנה. ההבדל בין סוג דם A לסוג דם B הוא בסוג הפחמימה. בדם AB ישנן שתי הפחמימות, ובדם O אין פחמימות כלל. האנטיגנים השונים נבדלים רק במבנה הפחמימות שעל פניהם. מבנים (1) ו-(2), למשל, מצויים בבסיס ההבחנה בין שני סוגי הדם הללו.



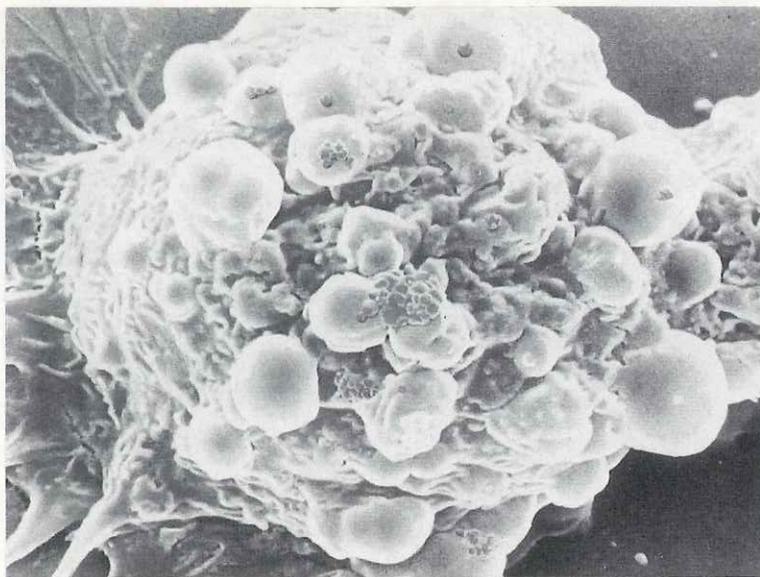
A סוג דם (1)



B סוג דם (2)

בתאים סרטניים מוצאים דוגמה נוספת להבחנה בין תאים באמצעות פחמימות. המדענים סבורים, שעל פני תאים סרטניים יש יותר פחמימות מסוג מסוים, ודבר זה מבדיל מתאים בריאים. הפחמימות מקנות לתאים הסרטניים תכונות הדרושות להם כדי להתקיים. לדוגמה, יש גידולים שמתפשטים מהאתר הראשוני שלהם לאיברים אחרים בגוף בתהליך הקרוי "שליחת גרורות" (מטסטאזה). בתאי גרורות, הפחמימות שעל פני התא יכולות להגיב עם קולטנים קושרי פחמימות הנמצאים על הריפוד הפנימי של כלי הדם. קולטנים אלה - הסלקטינים (selectins) - הם תת-קבוצה של הלקטינים (lectins), שהם חלבונים קושרי פחמימות. קשירת הגידולים אל הסלקטינים שעל הריפוד הפנימי של כלי הדם מגבירה את נידותם בתוך הגוף. זהו בעצם חיקוי של התהליך הנדידה של תאי דם לבנים לאתר פגוע כדי להילחם בדלקת. בשני המקרים, הפחמימות שעל פני התא מסייעות לנדידת התאים בכלי הדם. מולקולות (3) - (6) הן דוגמאות של פחמימות שנמצאו בעלות קשר לסרטן.

נוכחות פחמימות לא שגרתיות על פני תאים סרטניים עשויה להועיל בתכנון חומרים חדשים לטיפול במחלת הסרטן, משום שהן מסמנות תאים ממאירים. כימאים מחפשים כיום דרכים להשתמש בסמנים פחמימתיים כדי לייצר נוגדנים לתאי סרטן. בדרך זו הם מקווים להגיע לפיתוח חיסון לסרטן. ניסוי באנטיגן גלובו-H, שהוא פחמימה של פני התא בגידולים בערמונית, במעי הגס, בשדיים ובלבלב, הראה שאין אלה חלומות באספמיה. עכברים שטופלו באנטיגן גלובו-H הקשור לנשא חלבוני ייצרו כמויות גדולות של נוגדנים, ואלה זיהו לאחר מכן תאים סרטניים. הגליקופורוטאין סונתז באמצעים כימיים, בשיטות סינתזה חדשניות.

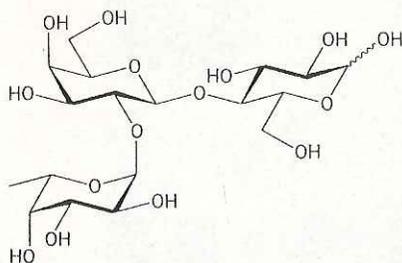


שטח הפנים הדביק של הפחמימות על פני התא עוזרות לסרטן להתפשט בגוף.

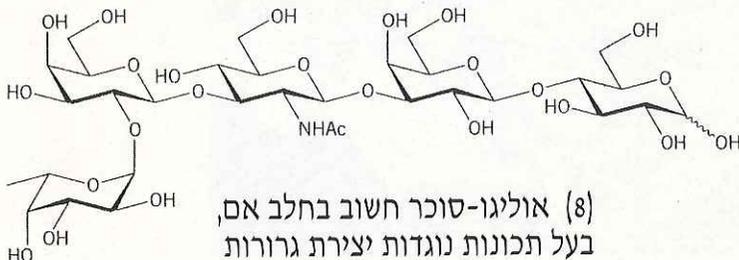
מחלות אחרות

סרטן איננה המחלה היחידה שפחמימות מסייעות בהתפשטותה. גם חיידקים פתוגניים (גורמי מחלות) רבים משתמשים בפחמימות כדי לחולל זיהום. לדוגמה, זיהומים חיידקיים שנגרמים על ידי חיידקי E.coli וזני סלמונלה מסוימים מזהים בגוף קולטני פחמימות שעליהם נמצאות פחמימות ספציפיות. על התאים נמצאות גם מולקולות של קולטנים (רצפטורים) שאליהן נקשרת הפחמימה של התא האחר, במקרה זה הפחמימה של החיידק. הקולטן שאליו נקשר נגיף השפעת על פני התא זוהה כגליקופרוטאין, שבקצהו קשורה פחמימה שהיא דימר. מכיוון שהשלב הראשון בהתפשטות זיהום הוא היקשרות הפולש אל פני תא הפונדקאי, אחת הגישות למניעת מחלה עשויה להיות חסימה ברירנית של ההיקשרות הזאת. כרגע נמצא בשלבי פיתוח דור חדש של תרופות - חומרים המונעים מן הזיהום להתפשט. תרופות אלה אמורות לשבש את תהליכי ההתפשטות. המטרה היא לפתח תרופות שיכילו פחמימות הדומות לאלה שעל הקולטנים בגוף, ויתחרו אתן על הקישור לחיידקים.

אם החיידקים ייקשרו לתרופה ולא לתאים, תימנע התפשטות הזיהום. הטבע משתמש במנגנון כזה כדי להגן על תינוקות היונקים חלב אם מלהידבק במחלות. בחלב האם מומסות פחמימות רבות, שסבורים כי הן מגינות על הרך הנולד מכמה מחלות מידבקות, כולל כאלה הפוגעות במערכת העיכול. מולקולות (7) - (8).

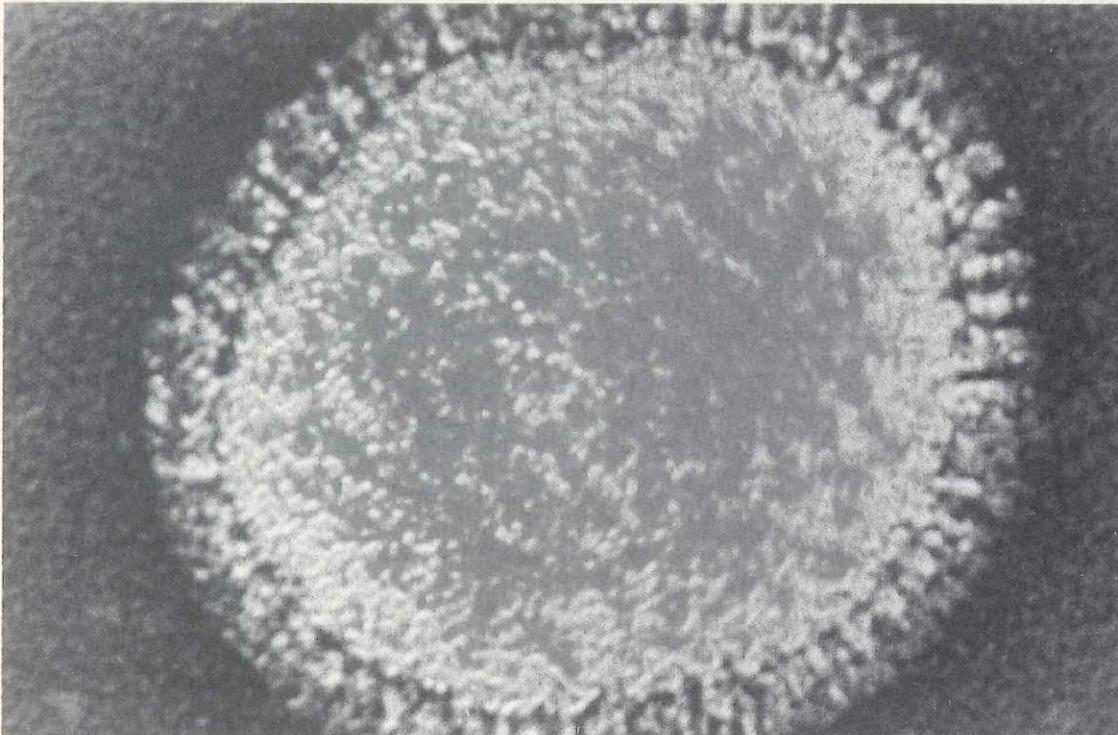


(7) מייצגת שליש עד חצי מכלל האוליגו-סוכרים בחלב אם



(8) אוליגו-סוכר חשוב בחלב אם, בעל תכונות נוגדות יצירת גרורות

מדענים חוקרים כיום גישות לטיפול בתאים נגועים המבוססות על פחמימות פני התא. על פני תאים נגועים נמצאות, לעתים קרובות, פחמימות שנוצרו בשל התבטאות יתר של הגן שמקודד את האנזימים האחראיים לסינתזה של אותן הפחמימות. אם יעוכבו אנזימים אלה, יהיה אפשר, תיאורטית, לשנות את מבנה הפחמימות שעל פני התא. בדרך זו יסולקו מהתאים "תכונות המחלה" שהוקנו להם על ידי הפחמימות. לדוגמה, כימאים הראו שניתן להקטין מלנומה בעכבר מ- 4.5 סמ"ק בערך ל- 0.1 סמ"ק, רק על ידי עיכוב כמה מהאנזימים שאחראיים לסינתזה של פחמימות פני התא. כתוצאה מהעיכוב, סונתזו על פני התא פחמימות אחרות, שלא יוחסו להן תכונות סרטניות. נוסף על צמצום ממדי הגידול, המלנומות גם איבדו את היכולת להתפשט לאתרים אחרים בגוף. מחקרים כאלה תומכים ברעיון, שפחמימות פני התא הן המשפיעות על האינטראקציה בין תאים סרטניים. מעכבי אנזימים דומים נוסו במאבק נגד נגיף האיידס, HIV, שגם על פניו מצוי גליקופרוטאין לא שגרתית. לגליקופרוטאין זה תפקיד חשוב ביכולת ההדבקה של HIV: הוא מעורב בקשירה ההתחלתית של הנגיף ללקטינים שעל תאי-T, שבעקבותיה מתאפשרת החדירה לתוך התאים. גם כאן, שינוי החלק הפחמימתי בגליקופרוטאינים עשוי להפחית את יכולת ההדבקה של הנגיף.



נגיף השפעת - האם יתעתעו בו תרופות המונעות התפשטות זיהום?

ולבסוף...

כיום ברור כי ההשלכות של תפקידי הפחמימות במערכות ביולוגיות הן אדירות. ככל שיכירו יותר בחשיבותן של מולקולות אלה, תידרשנה כמויות גדולות יותר שלהן כדי להבין לאשורם את התפקידים הביולוגיים שהן ממלאות. מכיוון שלכל סוג תא יש פחמימות שונות, הרבה חומרים טבעיים חדשים מחכים לסינתוזם במעבדה. הדבר עשוי לאפשר ייצור של חיסונים נגד מחלות מסוימות. לכימאים העוסקים בסינתזה יש הרבה להציע בתחום מרתק זה, הנמצא בראשית דרכו.



הערכה של הבנת הנושא "מבנה וקישור כימי" באמצעות שאלון המבוסס על ניתוח מאמר מדעי

ד"ר ניצה ברנע, מפמ"ר כימיה, משרד החינוך, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון

רקע

מאז תחילת שנות השמונים של המאה העשרים, עולה המודעות לצורך בשינוי דרכי ההערכה המקובלות בבתי הספר. מכולן, הנפוצה ביותר היא המבחן הניתן בתום תקופת הוראה-מבחן מסכם. ציוני מבחנים כאלה מרכיבים את הציון הסופי והקובע של התלמיד ועשויים להשפיע על קבלתו ללימודים גבוהים (1). חוקרים ואנשי חינוך מצביעים על הבעיות הנובעות מההערכה המסכמת. הם טוענים שהציון הסופי אינו משקף את תהליך הלמידה, ושטעות היא להעריך כישורים ויכולות של תלמידים רק על סמך ביצוע יחיד. חוקרים אלה ממליצים לעקוב אחר דפוסי הכישלון וההצלחה לאורך זמן ולהתמקד בגורמים המשפיעים על כל תלמיד. ההמלצה היא לשנות את שיטת ההערכה ולהשתמש בחלופות הערכה בנוסף על המבחן הסופי. ההערכה המוצעת היא אותנטית ומעצבת. הערכה זו מתבצעת במצבי אמת, או בסימולציות למצבים כאלה, והיא בוחנת את תהליך הלמידה, מאבחנת את הקשיים שבהם נתקל התלמיד וקובעת באיזו מידה הצליח להתמודד עם המשימות שהוטלו עליו.

זוהי הערכה מתמשכת המתבצעת בבית הספר, וממצאיה עוזרים בעיצוב תהליך ההוראה/למידה. חלופות בהערכה יכולות להוות מקור לעניין ואתגר לתלמידים, ולשמש בסיס ללמידה בעלת משמעות. העברת סמכויות הערכה לבתי הספר אמורה לסייע ביצירת אקלים ותנאי לימוד שבהם יוכלו תלמידים רבים יותר לממש את הפוטנציאל האישי שלהם ולהגיע להישגים. כמו כן, ההערכה הפנימית בבית הספר מאפשרת יצירת תקשורת אישית עם התלמיד שלא בתנאי לחץ.

פרויקט "בגרות 2000" יצא לדרך לאחר פרסום דו"ח ועדת בן פרץ (יולי 1994) (2) כדי לתת מענה לבעייתיות של בחינות הבגרות. בפרויקט השתתפו 22 בתי ספר, שבכל אחד מהם נבחרו 2-3 מקצועות להערכה בית ספרית. המטרה היתה להעמיק את הלמידה ולמצות את מרב הפוטנציאל שבה, תוך פיתוח כשרי חשיבה מורכבת וביקורתית בקרב הלומדים.

פרויקט החלופיות בהערכת הישגים, "בגרות 2000", השלים שש שנות פעילות. במהלכן הוכשרו 43 צוותי מקצוע, ב-22 בתי ספר ברחבי הארץ, להפעלתן ולהטמעתן של דרכי הוראה והערכה חלופיות. במסגרת הפרויקט, שהוגדר כניסוי, נבחן היישום הרעיוני והמעשי של התפיסה הפדגוגית הנוגעת להערכה חלופית במסגרת בית ספרית.

מעריך המחקר ואוכלוסיית המחקר

המחקר המתואר להלן הוא חלק ממחקר ההערכה של פרויקט בגרות 2000. מחקר זה, שהוזמן על-ידי משרד החינוך, בדק משתנים רבים ושונים של הפרויקט. הוא הקיף את כל המורים והמנהלים שהשתתפו בו ומדגם גדול של תלמידים, אשר למדו מגוון רחב מאד של מקצועות בדרכים חלופיות והוערכו בהתאם. המחקר נערך לאחר 5 שנות הפעלה של הפרויקט על-ידי צוות מהטכניון (4).

המחקר המתואר להלן התמקד בלימודי הכימיה ובהערכת מיומנויות למידה בתחום זה. נבדקו תלמידי כימיה בתיכון אשר השתתפו בתכנית הייחודית - פרויקט בגרות 2000. התלמידים נחשפו לדרכי הוראה והערכה חדשניות, שהחליפו את הדרכים המסורתיות. הם הוערכו על-ידי מוריהם באופן מתמשך, לכל אורך תקופת הלימוד. התלמידים השתתפו בפעילויות חקר, בעבודה בקבוצות, בהגשת פורטפוליו, בהגשת פרויקט ועוד. כלי הערכה במהלך הלימוד כללו משימות ביצוע, עבודות מעבדה, פרויקטים, ניתוח מאמרים והצגת הממצאים לפני הכיתה. דרך הוראה זו כוונה לפיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה: אנליזה, חשיבה ביקורתית, יצירתיות וכישורי חקר. הציונים נאספו ונאגרו במשך שלוש שנות לימודיהם בכיתות י' - י"ב, והם שקבעו את הציון הסופי לתעודת הבגרות. תלמידים אלה לא נגשו לבחינת בגרות חיצונית בכימיה.

המחקר כוון לבדוק מיומנויות חשיבה ולמידה של תלמידי הפרויקט בהשוואה לתלמידים הלומדים בדרך המסורתית - שעיקרה שיעורים פרונטליים (המורה מרצה והתלמידים מעורבים בעיקר בפתרון בעיות), והציונים בה נקבעים על סמך מבחנים. בסוף כיתה י"ב, תלמידים אלה ניגשים לבחינת הבגרות הארצית, וציונם הסופי מתקבל כממוצע בין ציון בית הספר לציון ביום הבחינה. קבוצת הניסוי כללה 3 כיתות י"ב בבית ספר אחד, ובהן 55 תלמידים שלמדו בשיטה החדשה. קבוצת הביקורת כללה 2 כיתות י"ב בבית ספר אחר, ובהן 38 תלמידים שלמדו והוערכו בדרך הקונבנציונלית. לשני בתי הספר רקע סוציאקונומי דומה.

כלי המחקר

כלי המחקר היה שאלון, שהתייחס למאמר מדעי אשר דיווח על תגלית חדשה בתחום הכימיה. התלמידים נדרשו ליישם ידע קודם, כמו גם מיומנויות חשיבה, כדי לפתור את הבעיות שהוצגו להם. נבחרו מאמרים שנושאים מתקשר לחיי היומיום, שכן אחד הגורמים לקשיי תלמידים בלימודי הכימיה הוא העדר קשר בין הנלמד בכיתה למציאות. בדרך כלל, תלמידים לומדים את הנושאים באמצעות הסברים של המורה ופתרון בעיות מתוך ספרי הלימוד, ואלה, ברובן, אינן מקשרות את החומר למציאות. מסיבות לוגיסטיות, נבנו שני שאלונים מקבילים. כל תלמיד ענה על נוסח אחד של השאלון. בנספחים 1 ו-2 מופיעים שני דגמי השאלון.

כל שאלון כלל 10 שאלות, וחולק לשני חלקים. בחלק הראשון, שעסק במיומנויות ידע והבנה, היה על התלמיד לענות על 4 שאלות. החלק השני עסק במיומנויות חשיבה ברמה גבוהה יותר, ובו היה על התלמיד לבחור 3 שאלות. בסך הכל, נדרש התלמיד לענות על 7 שאלות. להלן תיאור של הנדרש מהתלמידים בכל אחד מהנוסחים.

המאמר של נוסח א (ראו נספח 1) עוסק במולקולה NO ובהיבטים של פעילותה בגוף האדם. כדי להתמודד עם המאמר ולענות על שאלות, היה צורך לעשות שימוש בידע קודם. מכיוון שבתכנית הלימודים לא עוסקים במבנה לואיס של מולקולת NO, נדרשה הוספת מידע על מולקולה זו, שהיא מולקולה רדיקלית. ניתנה גם תזכורת מהו רדיקל. לתלמידים היו הכלים המתאימים להבין את המבנה המיוחד של המולקולה, ומכאן את תכונותיה. בחלקו הראשון של השאלון נשאלו שאלות על חמצון-חיזור, והתלמידים נדרשו ליישם ידע זה לתרכובות חנקן. בחלקו השני של השאלון נדרשה הבנה של ההסברים על פעילות החנקן החד-חמצני בגוף לויסות לחץ הדם ולמניעת זיהומים. התלמידים התבקשו להציע מחקר שיבדוק את יעילותו של החנקן החד-חמצני במניעת מחלות סרטן, או כל מחקר בנושא אחר.

השאלון בנוסח ב (ראו נספח 2) עוסק בתרכובות שונות, שהוצגו באמצעות נוסחתם הכימית או כמודל (כדור ומקל, קשרים בלבד). השימוש בצורות ייצוג שונות נועד לבחון את תפיסות התלמידים ויכולתם לעבור מצורת ייצוג אחת לאחרת. השאלון התייחס למאמר שמתאר את השפעותיה המזיקות של החומצה האמינית הומוציסטאין על בריאות האדם. במאמר נידונו ההשפעות שיש לרמות גבוהות של הומוציסטאין בדם והמנגנון שהופך חומצה זו לאחת משתי חומצות אמיניות אחרות, בלתי מזיקות.

המטלה הראשונה של התלמידים היתה לפענח את המבנה המשותף של החומצות האמיניות. יש לציין כי תלמידים אלה לא למדו על חלבונים. הוצגו להם שני מודלים מטיפוס כדור ומקל של חומצות אמיניות, והם התבקשו להסיק מהם מה המשותף לשתי החומצות ומה השונה ביניהן, וכן לרשום את נוסחת לואיס של החומצות. התלמידים נדרשו גם לנתח מודל של מולקולה לא מוכרת, להשוות אותו עם חומרים מוכרים ולנסות לקשר בין מבנה החומר לתכונותיו. משימות אלה תואמות את הדרישות והפעילויות שבהן מתנסים תלמידי תיכון במהלך לימודי הכימיה. המשימות דרשו הבנה של קישור ומבנה כימי, והיה צורך ליישם ידע קודם לחומרים לא מוכרים. שלב ראשון זה הוביל להבנת העקרונות שהוצגו במאמר.

החלק השני של השאלון כלל הסברים מילוליים לגבי הקטנת כמות ההומוציסטאין בגוף על-ידי תגובה עם הוויטמינים B₆ או B₁₂. התלמידים התבקשו להסביר מה הבינו מהקטע שקראו ולהציע דרכים ליישם את המידע שקיבלו למניעה של מחלות לב וכלי דם.

ממצאי המחקר

הממצאים סוכמו ונותחו בשלושה ממדים: ציון על ידע, ציון על יצירתיות וציון כולל. הניתוח נעשה במטרה למקד את תרומת הפרויקט ולבחון, אם השפעתו על מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה (יצירתיות), דומה לתרומתו למיומנויות חשיבה ברמת ידע והבנה או שונה ממנה.

1. מיומנויות למידה; שאלות ברמה של ידע והבנה

בהשוואה של ציוני הידע וההבנה בין קבוצת הניסוי לקבוצת הביקורת, התקבלו הבדלים מובהקים בין הקבוצות. הממצאים מורים כי התמודדות תלמידי קבוצת הניסוי (הפרויקט) עם הבנת קטע בלתי ידוע טובה יותר מזו של תלמידי קבוצת הביקורת, כפי שבאה לידי ביטוי בשאלות ידע והבנה. תלמידי הניסוי קיבלו ציון ממוצע 62.9, ותלמידי הביקורת 50.4. ניתוח סטטיסטי העלה כי ההפרש הוא מובהק. אף שהתלמידים בשתי הקבוצות למדו כימיה ברמת 5 יחידות, והרקע שלהם היה דומה, תלמידי הניסוי היטיבו מתלמידי הביקורת ליישם את הידע שלהם בחקר אירוע חדש.

2. מיומנויות למידה; שאלות ברמה גבוהה

בשאלון מיומנויות הלמידה בכימיה היו 3 שאלות המעידות על יצירתיות ומיומנויות חשיבה ברמה גבוהה. התלמידים התבקשו לבחור 3 שאלות מתוך חמש שהופיעו בחלק זה של השאלון, לפיכך היה עליהם לענות על שאלה יצירתית אחת לפחות. השאלות שלהלן הופיעו בשני נוסחי השאלון.

1. אם תתבקש/י להציג בפני חבריך את הרעיונות המרכזיים בקטע, באיזו דרך מקורית תבחר/י להציג אותם? (שאלה 6 נוסח 1, שאלה 7 נוסח 2).
2. אילו שאלות מתעוררות למקרא הקטע הזה? רשום/מי שלוש והצע/י דרכים לפתרון אחת מהן. (שאלה 7 נוסח 1, שאלה 9 נוסח 2).
3. הוצע לך להצטרף לקבוצת מחקר העוסקת בנושא שהוצג במאמר. הצע/י ניסוי/מחקר שהיית מעוניין/נת לבצע. פרטי/י מהי שאלת המחקר, מהם המשתנים ומה תנאי המחקר. (שאלה 10 נוסח 1, שאלה 10 נוסח 2).

להלן דוגמאות מספר של תשובות לשאלות יצירתיות בכימיה והניקוד עבורן:

שאלה: אם תתבקש/י להציג בפני חבריך את הרעיונות המרכזיים בקטע, באיזו דרך מקורית תבחר/י להציג אותם?

* תשובה יצירתית (נוסח א'): *אני אבחר להציג את הרעיונות המרכזיים בקטע בדרך של בניית מודל באמצעותו אאחיש את האפקט שקראתי עליו בקטע של מעבר NO דרך קרומי התאים לתאי השריר העוטפים את העורקים דבר שאורס להרכיית התאים ובכך התרחכות העורקים*

ולחץ הדם יורד. לשם כך אני יכולה ליצור טבעת העשויה מבלון שבתוכו אויר דחוס כך שהטבעת תהיה חסומה ולשחרר מעט אויר עם שסתום ואז החוזר הטבעת יתרחב - זה ירגיש את התופעה הנידונה בקטע. (11 נקודות מתוך 14 אפשריות).

* תשובה לא יצירתית ובלי פירוט (נוסח א'): באמצעות שרטוט (1 נקודה מתוך 14).

* תשובה יצירתית בחלקה (נוסח ב'): אני אציג ניסוי בו ניתן לראות את התפרקות ההומוזיסטאין בעזרת הויטמינים לאחר מכן אראה כיצד שוקם ההומוזיסטאין כאשר הוא לא מתפרק ולאחר מכן אראה דגם של עורק עם משקעים טרשתיים. (9 נקודות מתוך 14).

שאלה: אילו שאלות מתעוררות למקרא הקטע הזה? רשום/מי שלוש והצע/י דרכים לפתרון אחת מהן.

תשובה יצירתית (נוסח ב'):

1. האם ניתן לעצור ואף לרפא את הטרשת הנגרמת מחוסר ויטמינים על ידי צריכת ויטמינים אלה או בכאלו?

2. מדוע לחץ דם גבוה ועיסון הם גורמים מאיצים למחלות כלי דם?

3. כיצד ניתן למנוע מהומוזיסטאין לגרום להיצרות כלי דם, הופעת קרישי דם וכו'?

תשובה לשאלה 3: כדי למנוע כיוצא בזה ניתן לנטרל את ההומוזיסטאין והשפעותיו הקטלניות אבוגד אותו בסביבה למה (הדג) ואחזור למה בדיוק נקשרת חומצה זו, לאיפה מרכיב בכדוריות הדם, הדפנות העורקים, נימים וכו'. כאשר אמצא את "גורם המשיכה" אנסה למצוא דרך לנטרל את הקשר בין השניים ועל ידי הנדסה גנטית להכניס שינוי במקום אליו נקשר ההומוזיסטאין כדי שלא יוצר שום קשר כזה והמחלות ימנעו (14 מתוך 14).

השאלות שחיבר תלמיד זה עוסקות בנושאים שאינם מופיעים בקטע, הן מעוררות מחשבה, וההצעה לחיפוש אחר פתרון מלווה בתכנון ניסוי מעניין ובר ביצוע.

שאלה: הוצע לך להצטרף לקבוצת מחקר העוסקת בנושא שהוצג במאמר. הצע/י ניסוי/מחקר שהיית מעוניין/נת לבצע. פרטי/י מהי שאלת המחקר, מהם המשתתפים ומה תנאי המחקר.

* תשובה ברמה נמוכה (נוסח א'): לחשוף אותם לרמות שונות של NO ולבדוק את תוצאתם.

כיצד רמות שונות של NO משפיעות על תאי סרטן? כל זאת במקביל להשפעה של הכמויות

השונות של NO על תאי אדם. (4 מתוך 14).

בתשובה אין התייחסות לכל סעיפי השאלה, התשובה אינה מובנית אין הגדרה של אוכלוסיית מחקר, ותיאור הניסוי אינו מלא.

* תשובה ברמת חשיבה גבוהה (נוסח ב'):

שאלת המחקר: כיצד ריכוז ההומוזיסטאין באור משפיע על מחלות כלי דם קשות בקרב אוכלוסייה בעלת יתר לחץ דם?

משתנים:

א. ריכוז ההומוזיסטאין

ב. התפתחות מחלות כלי דם קשות

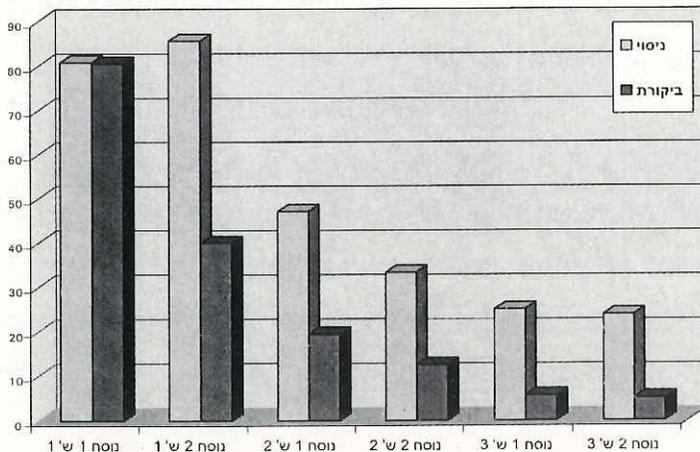
ניסוי - הפרקת הומוזיסטאין או מניעת נטרולו בקרב אוכלוסיות עכברים בעלות הבעיות עציינת ומעקב אחר הבעיות הנגרמות להם.

תנאי המחקר - המחקר יערך במעבדה. לעכברים יופרס הומוזיסטאין ויימנע נטרולו באופן שלא יאפשר לאור לנטרלו. העכברים יחוברו למכשירי ניטור אשר יאפשרו מעקב אחרי התפתחויות בכלי הדם שלהם. (12 מתוך 14).

ניתן למצוא בתשובה את כל השלבים שנדרשו בשאלה, את המשתנים, וכן שלבי הניסוי הגיוניים. מכיוון שהתלמיד לא ציין איזה מהמשתנים הוא המשתנה התלוי ואיזה הבלתי תלוי, הוא לא קיבל את מלוא הנקודות.

2.1 הבחירה בשאלות היצירתיות

לגבי כל אחת מהשאלות הנ"ל, נבדקו אחוז התלמידים שבחרו לענות עליה, היחס בין אחוז המשיבים בקבוצת הניסוי ובקבוצת הביקורת והמובהקות של יחס זה. בנוסף, נערכו מבחנים סטטיסטיים כדי לבדוק אם קיימים הבדלים מובהקים בין נוסח 1 לנוסח 2 של השאלון, עבור כל שאלה. הממצאים מלמדים כי רק בשאלה הראשונה, שבה התלמידים מתבקשים להציג את הרעיונות המרכזיים בקטע, היו הבדלים מובהקים בין שני נוסחי השאלון. בכל שאר השאלות לא נמצאו הבדלים בין הנוסחים השונים ונמצאו הבדלים מובהקים בין קבוצת הניסוי לקבוצת הביקורת.



מן הגרף ניתן לראות כי שאלה 1 בנוסח 1 נבחרה במידה שווה כמעט על-ידי תלמידי הניסוי והביקורת: כ-83% מהתלמידים בשתי הקבוצות בחרו לענות על שאלה זו, והיחס בין הסיכויים לענות בקבוצת הניסוי ובקבוצת הביקורת הוא 0.98. בנוסח 2 קיימים הבדלים ניכרים במידת הבחירה של השאלה. בקבוצת הניסוי בחרו לענות עליה 85.7% מהתלמידים, ואילו בקבוצת הביקורת רק 40% בחרו בשאלה זו. היחס בין הסיכויים לענות בקבוצת הניסוי ובקבוצת הביקורת הוא 2.14, וניתן לומר בביטחון של 95% כי היחס הוא בין 1.2 ל-3.7. מן הגרף רואים כי שאלה 1, בשני הנוסחים, היא השאלה שנבחרה על-ידי אחוז גבוה ביותר, הן של תלמידי הניסוי והן של תלמידי הביקורת.

לגבי שאלות 2 ו-3, רואים כי אחוז תלמידי הניסוי שבחרו בשאלות אלה, בשני הנוסחים, גבוה בהרבה מאחוז תלמידי הביקורת. בשתי שאלות אלה נמצא, כי לא היה הבדל מובהק בין שני הנוסחים, ולפיכך ניתן לאחד את הממצאים שהתקבלו. היחס בין הסיכויים לענות על שאלה 2 בקבוצת הניסוי ובקבוצת הביקורת הוא 2.16, ואפשר לומר בוודאות של 95% כי היחס הוא בין 1.03 ל-4.5. בשאלה 3 היחס הוא 4.76, ואפשר לומר בוודאות של 95% כי היחס הוא בין 1.14 ל-19.9. בכל השאלות, למעט שאלה 1 בנוסח 1 ושאלה 2 בנוסח 2, קיימים הבדלים מובהקים בין אחוזי הבוחרים בשאלות היצירתיות בקבוצת הניסוי ובקבוצת הביקורת.

2.2 השוואת ציוני השאלות ה"יצירתיות" בין קבוצות הניסוי והביקורת

הציון ליצירתיות הוגדר כסכום הציונים שהתלמידים קיבלו על השאלות 1-3 שתוארו לעיל. מהשוואת הציונים נראה, כי קיים הבדל סטטיסטי מובהק בין תלמידי קבוצת הניסוי (ממוצע 41.2) לתלמידי קבוצת הביקורת (ממוצע 18.1) באשר לציון הכולל על השאלות היצירתיות בשני נוסחי השאלון. תוצאות אלה מצביעות על כך שמיומנויות החשיבה ברמה גבוהה, כמו יצירתיות ומיומנויות חקר, מפותחות יותר בקרב תלמידים שהשתתפו בפרויקט "בגרות 2000".

הציונים עצמם אינם גבוהים במיוחד (ציון כולל 65.3 לקבוצת הניסוי ו 42.2 לקבוצת הביקורת). גם לתלמידי הניסוי היתה זו חשיפה ראשונה לדרך ההערכה באמצעות שאלון המבוסס על מאמר מדעי, אך הם היטיבו להתמודד עם המטלות מתלמידי קבוצת הביקורת, שלא עסקו כלל בקריאת מאמרים, ובוודאי שלא נחשפו למבחנים המבוססים עליהם.

פרויקט "בגרות 2000" בא לענות על הפקפק במהימנותן ובתקפותן של בחינות הבגרות החיצוניות הארציות. בחינות אלה, הנהוגות גם כיום, מכוונות את ההוראה בעיקר לתוכני דעת ולרכישת מידע. לעומת זאת, גישות חלופיות להוראה ולהערכה מתמקדות במיומנויות חשיבה ברמה גבוהה ובפיתוח היצירתיות של התלמידים. ממצאי המחקר מורים חד משמעית שאפשר לפתח מיומנויות אלה באמצעות שילוב של דרכי הוראה מגוונות, כגון ניתוח מאמרים, מעבדות חקר ופרויקטים.

יש לציין, כי כמות החומר הנלמד בכל מקצוע במסגרת הפרויקט נמוכה יותר בהיקפה (כ- 80%), אך עצם ההעמקה מפתחת מיומנויות חדשות ומוסיפה נושאים מעבר לחומר הלימוד הרגיל. ההמלצה היא לעודד מורים להשתמש בשיטות אלה בזמן ההוראה, ובכך להשביח את ההוראה ולצייד את תלמידיהם בכלים נאותים לפיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה. כל זה ילווה, כמובן, בשילוב של שאלונים מהסוג שתואר כאן בבחינת הברגרות.

מקורות:

1. בירנבאום, מ. (1997). חלופות בהערכת הישגים. רמות, אוניברסיטת תל אביב
2. בן-פרץ מ. (1994). דין וחשבון הועדה לבדיקת המתכונת של בחינות הברגרות והגמר (ועדת בן-פרץ - "בגרות 2000").
3. בר דב זיוה עורכת (2000). ניתוח בחינת הברגרות שאלון 918651, 037201 תש"ס. מכון וייצמן למדע רחובות
4. דורי, י. ברנע, נ. וקברמן צ. (1999) הערכת פרויקט 22 בתי הספר " בגרות 2000". דו"ח מחקר מוגש ללשכת המדען הראשי. משרד החינוך והתרבות.
5. Barnea, N. and Dori, Y.J. (1999). High-School chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modelling learning environment, *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271.
6. Levy, A. (1996). Postmodernism in the fields of achievement testing. *Studies in Educational Evaluation*, 22, 223-224.



נספחים

תלמיד/ה יקרה

שאלון זה הוא חלק ממחקר במסגרת פרויקט בגרות 2000. הנך מתבקש/ת להשיב על השאלון כמיטב יכולתך. בסך הכל עליך לענות על שבעה סעיפים, כולם שווי ערך.

שם התלמיד/ה:

תאריך:

שם המורה המלמד/ת:

שם בית הספר:

מין: ז נ

כיתה:

מהי לדעתך רמת הישגך במקצוע: גבוהה בינונית נמוכה

נספח 1, שאלון מיומנויות למידה בכימיה נוסח א'

פרס NO בל

שלושה מדענים זכו השנה בפרס נובל לרפואה. המשותף לכולם הוא מעורבותם בחשיפת מנגנון פעולתה של מולקולת גז קטנה חנקן חד חמצני - NO. גז זה מוכר לכימאים כגז שנפלט ממנועי המכוניות ומהווה את אחד הגורמים העיקריים לזיהום האוויר. איש לא תיאר לעצמו כי מולקולה קטנטונת זו תתגלה כבעלת חשיבות בתפקודי הגוף הבסיסיים ביותר. המולקולה NO היא מולקולה רדיקלית.

חלק א' - ענה/י על ארבע מתוך חמש השאלות א' - ה'

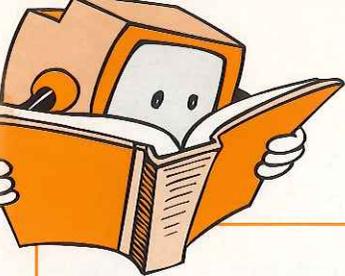
- הבא/י דוגמא מלימודיך הקודמים לרדיקלים. מה ידוע לך על התנהגותם הכימית?
- איזה סוג קשר קיים במולקולה NO ומה תוכל/י להגיד על תכונות התרכובת NO.
- תחמוצת חנקן רעילה יותר היא NO₂ והיא נוצרת בתהליך חמצון של הגז NO על ידי החמצן שבאוויר. נסח/י תגובה וציין/ני את מספרי החמצון של החנקן בתהליך.
- אילו דרגות חמצון נוספות של החנקן קיימות? ציין/י אותן ותן/י דוגמא לתרכובת שבה קיימת דרגת חמצון שהצעת.

ה. אילו סוגי תחמוצות את/ה מכיר/ה? הבא/י דוגמאות לשלוש תחמוצות והסבר/י את סוג הקשרים הקיימים ואת תכונות החומרים.

חלק ב' - קרא/י את הקטע הבא וענה/י על שלוש מתוך חמש השאלות ו' - י'

אצל אנשים הלוקים במחלת לב כלילית, שריר הלב אינו מקבל אספקת דם נאותה בשל היצרות העורקים המזינים את הלב. ניטרוגליצרין משמש מזה שנים רבות לטיפול במחלה על ידי הגדלת קוטר העורקים תוך שיפור באספקת הדם ללב. במחקרו של פרדי מוראד (רופא ופרמקולוג), כיצד משפיע ניטרוגליצרין על הרחבת כלי הדם, הוא גילה שניטרוגליצרין משחרר בגוף חנקן חד תמצני, וזהו החומר אשר גורם להרפיית השרירים. מחקרים נוספים שנעשו בהשראת מחקרו של מוראד גילו כי NO הוא שליח תאי במערכת הלב וכלי הדם, הוא ממלא תפקיד מפתח בפעולת מערכת החיסון כנגד זיהומים, הוא משתתף בוויסות לחץ הדם בגוף, ובזרימת הדם לאיברים שונים. כיצד מצליח NO להשתתף במספר כה רב של תפקודים תאיים? כאשר הוא נוצר על ידי השכבה הפנימית של העורקים, הוא עובר במהירות דרך קרומי התאים לתאי השריר העוטפים את העורקים וגורם להרפיית תאי השריר. כתוצאה מכך מתרחבים העורקים ולחץ הדם יורד.

- ו. הסבר/י את פעילותו של NO בגוף כפי שמתוארת בקטע שקראת.
- ז. אילו שאלות מתעוררות למקרא הקטע הזה? רשום/מי שלוש והצע/י דרכים לפתרון אחת מהן.
- ח. אם תתבקש/י להציג בפני חבריך את הרעיונות המרכזיים בקטע באיזו דרך מקורית תבחר/י להציג אותם?
- ט. NO נוצר בכמויות גבוהות על ידי תאים בלעניים המהווים חלק ממערכת החיסון. בכמויות אלו הוא רעיל ובכך מחסל חיידקים וטפילים. הצע/י הסבר מדוע כמויות גבוהות של NO הן רעילות והרסניות לחיידקים?
- י. אנשים הסובלים מזיהום עשויים לפתח תופעה של ירידה מסוכנת בלחץ הדם הנקראת "הלם זיהומי". הסבר/י כיצד מתפתחת הפרעה זו?
- יא. תאי מערכת החיסון מייצרים NO לא רק במצבים של זיהומי חיידקים, אלא אף כמנגנון הגנה בפני גידולים סרטניים.
- יב. הוצע לך להצטרף לקבוצת מחקר העוסקת ב-NO. הצע/י ניסוי/מחקר שהיית מעוניינת לבצע. פרט/י מהי שאלת המחקר, מהם המשתנים ומה תנאי המחקר.

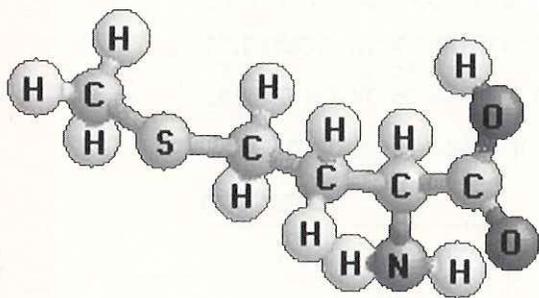


נספח 2 שאלון מיומנויות למידה בכימיה נוסח ב'

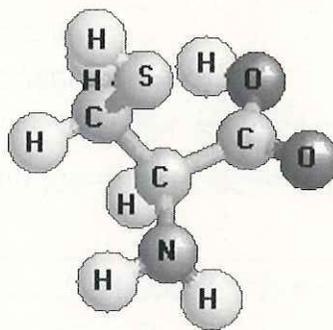
ניבוי גורלי

הומוציסטטאין, חומצת אמינו הנמצאת בגוף בכמויות זעירות, עשויה להעיד על הסיכוי להופעת מחלות לב וכלי דם קשות (מתוך מאמר בגליליאו גליון ינואר פברואר 99)
הומוציסטטאין היא חומצה אמינית הנוצרת בגופנו במסלול המטבולי של חומצת האמינו החיונית מתיונין, וריכוזה בנוזל הדם של אנשים בריאים נמוך בהשוואה לריכוזן של רוב חומצות האמינו, אך כאשר עולה ריכוזה היא הופכת למפגע בריאותי. לפניך המבנה של 2 חומצות אמיניות:

מתיונין:



ציסטאין:



חלק א' - ענה/י על ארבע מתוך חמש השאלות א' - ה'
א. רשום/י נוסחת מבנה מולקולרית לשתי החומצות. ציין/י מה המשותף לשתיהן (התייחס/י לתכונות כמו: המסה במים, תגובות עם חומרים אחרים, נקודות רתיחה)
שתי המולקולות המתוארות הן בעלות אטום פחמן אסימטרי.

אטום פחמן אסימטרי - זהו אטום פחמן שאליו קשורות ארבע קבוצות שונות של אטומים.

- אתר/י את אטום הפחמן האסימטרי בכל אחת מהחומצות.
- רשום/י מולקולה אורגנית אחרת בה קיים אטום פחמן אסימטרי. חומצה אמינית חייבת לכלול קבוצת אמין וקבוצה קרבוכסילית. כיצד תשנה/י את החומצות הנ"ל כך שלא יכלו אטום פחמן אסימטרי? מספיק להציע לגבי אחת מהחומצות. רשום/י נוסחת מבנה לחומצה שיצרת.
- החומצה האמינית הומוציסטטאין שמתוארת במאמר נוסחתה היא:

$\text{CH}(\text{NH}_2)(\text{COOH})(\text{CH}_2)_2\text{SH}$ צייר/י נוסחת מבנה מולקולרית והראה/י במה דומה ובמה שונה

חומצה זו מכל אחת משתי החומצות המתוארות לעיל.

- ה. כל אחת משלוש החומצות שתוארו יכולה להשתתף ביצירת פפטיד. זהו תהליך דחיסה בין חומצות אמיניות תוך יציאת מולקולת מים. רשום/י שתי דוגמאות לפפטידים הבנויים מרצף של 3 חומצות אמינו, מ - 2 סוגים לפחות.

חלק ב' - קרא/י את הקטע הבא וענה/י על שלוש מתוך חמש השאלות ו' - י'

מולקולת הומוציסטאין יכולה להשתלב בשני מסלולים תפקודיים:

המסלול הראשון בסופו נוצרת חומצת האמינו ציסטאין. בתהליך זה משתתף ויטאמין B_6 .

מסלול שני מביא את ההומוציסטאין ליצירה מחודשת של חומצת האמינו מתיונין. במסלול זה משתתפים בין השאר הוויטאמין B_6 , חומצה פולית והוויטאמין B_{12} .

ו. בחרי/י באחד משני המסלולים שתוארו. נסח/י תהליך אחד ונסה/י לשער מה תפקיד הויטמינים בתהליך.

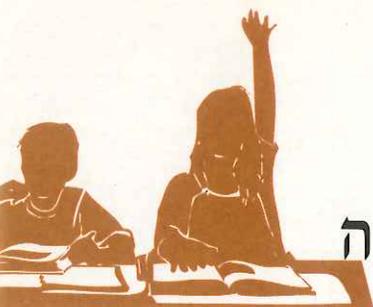
חוסר בכל אחד מהמרכיבים האלו יכול לגרוע מעילות האנזימים הפועלים במסלולים המטבוליים של הומוציסטאין וכך יכולה הומוציסטאין להצטבר בגוף ולהגיע לריכוזים הפוגעים קשות בבריאות. אנשים הסובלים מיתר הומוציסטאין והם גם בעלי רמה גבוהה של כולסטרול בדם, מועדים ללקות במחלות כלי דם בתדירות גבוהה יותר. אם בנוסף לקיום ריכוז גבוה של הומוציסטאין הם מעשנים או סובלים מיתר לחץ דם הסיכון ללקות במחלות כלי דם קשות הוא גבוה הרבה יותר. דיווחים ממחקרים קליניים מראים קשר בין רמות גבוהות של הומוציסטאין בדם לבין היצרות כלי דם, הופעת קרישי דם, שכיחות מחלות לב טרשתיות, ואירועים של אוטם או שבץ מוחי.

ז. אם תתבקש/י להציג בפני חבריך את הרעיונות המרכזיים בקטע באיזו דרך מקורית תבחר/י להציג אותם?

ח. כיצד ניתן להשתמש בממצאים של המחקרים שתוארו לעיל כדי למנוע מחלות של כלי דם כגון: היצרות כלי דם, הופעת קרישי דם ועוד?

ט. אילו שאלות מתעוררות למקרא הקטע הזה? רשום/י שלוש והצע/י דרכים לפתרון אחת מהן.

י. הוצע לך להצטרף לקבוצת מחקר העוסקת בהומוציסטאין. הצע/י ניסוי/מחקר שהיית מעוניינת לבצע. פרטי/י מהי שאלת המחקר, מהם המשתתפים ומה תנאי המחקר.



"כימיה בגישה חוקרת": יחידה בהשלמה מ-3 יח"ל ל-5 יח"ל בכימיה

היכרות ראשונית

רלי שור, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן למדע

ntshore@wisemail.weizmann.ac.il

מבוא

הכימיה היא מדע ניסויי, אך בחטיבה העליונה של בית הספר התיכון, ובייחוד בכיתות המתמחות בכימיה, ממעיטים בדרך כלל בחשיפה לעבודה מעשית, בטענת חוסר זמן. לפיכך הורגש צורך בהגברת המרכיב הניסויי בלימודי הכימיה. העבודה המעשית - אם בצורת הדגמות ואם בצורה הרצויה יותר, של עבודה עצמית של התלמידים - היא דרך חשובה לשיפור איכות ההוראה במדעי הטבע, ופועלת גם בתחום המוטיבציה ללמידה בהציגה מגוון אסטרטגיות הוראה.

אחת המטרות של הפרויקט הייתה להציע עבודת מעבדה "אחרת", שבה יתנסה התלמיד בהדגמה/ חיקוי של התהליכים שבאמצעותם מתפתח המדע בכלל ומדע הכימיה בפרט. העבודה המעשית תגרה את עניינו של התלמיד ותהיה רלוונטית ועדכנית ככל האפשר.

ההוראה באמצעות חקר במדעים קיבלה תאוצה רצינית בעשור האחרון, בארץ ובעולם. לפעילויות הכרוכות בעבודה מעשית ניתן מקום מרכזי בתכניות הלימודים בכימיה, ובייחוד הודגשו היתרונות הרבים של פעילות תלמידים במעבדה (Hofstein & Lunetta, 1982, Lunetta, 1998). פעילויות חקר המתוכננות כהלכה משפיעות על הלמידה בכך שהן מסייעות בהבניית עולם המושגים של התלמידים ובהבנת טבעו של המדע. פעילויות החקר מועילות במיוחד כשהן צמודות לתוכנית הלימודים. ניסויים המבוצעים על ידי תלמידים, כשהם מוגשים בצורה הולמת, משפיעים במידה רבה גם בתחום המוטיבציה. ניסויי חקר הוגדרו (Hofstein & Walenberg, 1995) כניסויים שבהם התלמיד בוחר שאלה שברצונו לחקור, מעלה ומנסח השערה, מתכנן ניסוי ומבצע אותו, אוסף תצפיות ומנתח נתונים, מסיק מסקנות בנוגע לתופעות מדעיות ומפתח מיומנויות חקר.

מטרת התכנית היא לפתח לומד בוגר בעל חשיבה עצמאית, שמסוגל להשתלב בפיתוח שיטות חדשות ובייעול דרכים קיימות, להבין תופעות, לדעת לבחון חלופות ולבחור את המתאימה ביותר כדי לענות על שאלה מסוימת, לדווח בצורה בהירה ומקובלת על תוצאות עבודתו ולהתמצא גם בנושאים שלא נכללו בתכנית הלימודים. התוכנית גם משתלבת בכוונות משרד החינוך להעביר חלק מתחומי ההערכה לרמת בית הספר.

הדגש צריך להיות בפיתוח מיומנויות חקר ומחקר. מיומנויות אלה ניתן לפתח לא רק במעבדה, בעקבות ניסוי שהתלמיד מבצע, אלא גם בעקבות מאמר, סרט, הדגמה, לימוד חומר עיוני וכד'. כדי להצליח בהפעלת תכנית לימודים כלשהי, חשוב ביותר לתת למורים כלים להתמודדות עם מטרות התכנית ועם הדרכים להפעלתה, ובכלל זה הכשרת המורים להכנת חומרי למידה חדשים ולהסבת חומרי למידה ישנים לרוח התוכנית. כללית, ידוע שצריך להיות תיאום בין דרכי ההערכה לדרכי ההוראה. לפיכך יש להתאים את הדרכים להערכת העבודה המעשית לדרכי ההוראה. עד כאן, הרקע להולדתה של תכנית הלימודים "כימיה בגישה חוקרת".

מידע על התכנית

התכנית כוללת הנחלת מיומנויות חקר בכל הזדמנות אפשרית וגם גיוון בעבודה המעשית, בניסיון לתת מענה לכל אחת מן הנקודות שהוזכרו לעיל. נקודת המוצא היא: המורה אוטונומי לבחור ולהתאים את חומרי הלמידה לתלמידיו, ויש באפשרותו ליצור חידושים משלו, עם דגש מיוחד על רלוונטיות לעולם הסובב.

קהל היעד

הנושא המוצע מיועד לתלמידים בכיתות י"א ו-י"ב הלומדים כימיה בהיקף של 5 יחידות לימוד. התכנית היא דו-שנתית למרות שההערכה מהווה חלק מן ההשלמה מ-3 ל-5 יל. היקף: יחידת לימוד אחת מתוך שתי יחידות ההשלמה מ-3 ל-5 יח"ל. ביחידה הנוספת התלמידים לומדים תרמודינמיקה, שיווי משקל של חמצון-חיזור ונושא אחד מתוך מגוון הנושאים לבחירה. התלמידים עונים בכתב על שתי שאלות בשאלון 037203 ההשלמה מ-3 ל-5 יח"ל. ההערכה בתכנית "כימיה בגישה חוקרת" נעשית על ידי המורה עצמו, עם בקרה מטעם משרד החינוך.

מטרות התכנית

בתחום הקוגניטיבי, לפתח:

הכרה של שיטות חקר ומחקר כדרך של התפתחות המדע
חשיבה מדעית
יכולת להגדיר שאלות מחקר
מיומנויות חקר, כגון:

תיאור ותיעוד של תצפיות
העלאה וניסוח של השערות
הצעת דרכים/תכנון ניסויים לאישוש/הפרכה של השערות
דיון בתוצאות והסקת מסקנות
הצעת שאלות חדשות המתעוררות בתוך כדי ביצוע החקר
יכולת להתמודד עם ספרות מקצועית ו/או מקורות מידע ממוחשבים, לנתח פרסומים מדעיים, להתייחס
בביקורתיות לכתבות ולפרסומים אחרים בנושאים מדעיים.
הבנה של הקשרים בין ההתפתחויות במדע ובין נסיבות חייהם ההיסטוריות/חברתיות של המדענים.

בתחום האפקטיבי:

שיפור היחס למדע בכלל ולכימיה בפרט
שיפור מיומנויות העבודה בצוות

פירוט מרכיבי התכנית

1. לימוד בגישה חוקרת של נושאים שונים הכלולים בתכנית הלימודים:
הצגה של תיאוריות וחוקים מדעיים בדרך ובהקשר שבהם הופיעו ושל הדרך הדינמית שבה השתנו
והתפתחו מבחינה מדעית ומבחינה היסטורית.
2. ביצוע **ניסויי חקר** בדרגות קושי שונות וברמות חקר שונות (חקר פיתוח, חקר מודרך, גילוי):
רישום ודיווח של תצפיות
הגדרת שאלה לחקר
העלאה וניסוח של השערה
תכנון ניסוי לבדיקת ההשערה
דיווח על תוצאות הניסוי
הסקת מסקנות
דיווח על הניסוי כולו בפרסום מדעי לכל דבר או בדרך אחרת שתיבחר
3. הכרת השפה המדעית והדרכים לתקשורת במדע - הכרה וניתוח של פרסומים מדעיים.*
לימוד ותרגול של הדרכים לתקשורת מדעית על ידי שימוש במאמרים ובכתבות מתוך פרסומים מדעיים
ומתוך אמצעי התקשורת הכתובים והאלקטרוניים - האפשרויות בלתי ממוגבלות כמעט.
איך לכתוב?
איך לבחור?
איך לקרוא?
איך להבין?

* הפרסומים בנושא מדעי ספציפי, בנושא הכרוך בהתפתחות המדע, בהיבטים היסטוריים/פילוסופיים של התפתחות המדע - מרשימה נתונה או על פי בחירה אישית.

איך להציג נושא מדעי בדרך ברורה לקהלי יעד שונים (כולל תוספות להמחשה, הבהרה וכו')?
בשלב מסוים של רכישת מיומנויות חקר/מחקר ניתן להוסיף:
4. ביצוע מחקר/נושא שנבחר על ידי התלמידים עצמם (בשלב זה רק כחלק מהתכנית הקיימת) ואף
הוספת יחידת לימוד נוספת (שישית?) שתכלול מחקר/פרויקט - בנושא שנבחר על ידי התלמידים.
אפשרות נוספת היא הרחבה:

* ביצוע עבודת מחקר/פרויקט בהיקף של עבודת גמר (4 יל).

לצורך זה, ניתן להוסיף גם מיומנויות מחקר כגון:

כתיבת הצעת מחקר

תכנון וביצוע מחקר/פרויקט

דיווח ודיון בתוצאות המחקר/הפרויקט

הכנת רשימה ביבליוגרפית

הצגת המחקר/הפרויקט בפני קהלים שונים (מקצועי, לא מקצועי)

דרכי ההערכה

מאחר שהמטרה היא להעריך גם את תהליכי למידה, ולא רק את תוצריה, הוחלט לקיים בתכנית הערכה חלופית. הערכת התלמידים נעשית על ידי המורה עצמו.
ההערכה נעשית בצורה מתמשכת.
הערכת עבודתו השוטפת של התלמיד נעשית בשתי דרכים ובכלי הערכה ייחודיים שפותחו במשולב עם התכנית:

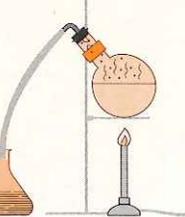
הערכת דוחות מעבדה "חמים"

הערכה מתוך צפייה בתלמידים בזמן ביצוע ניסויים

כמו כן: על כל תלמיד להכין תיק עבודות.

לכל אחת מן המשימות השונות נקבעים קטגוריות וקריטריונים ברורים להערכה.

כלים ייחודיים להערכה פותחו על ידי תמי לוי נחום במסגרת עבודתה לקבלת תואר Sc..M במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, בהנחייתם של ד"ר רות בן צבי ופרופ' אבי הופשטיין ובשיתוף פעולה הדוק עם מורי הניסוי.



להלן דוגמה לניסוי חקר :

ניסוי בבקבוק

כלים וחומרים:

כלי סגור בנפח 500 מ"ל ובו 300 מ"ל תמיסה מימית A ו- 1 מ"ל תמיסה כהלית B.

הקפידו לא להזיז את המערכת!

הוראות כלליות:

קראו היטב את מהלך הניסוי. בתום כל שלב שתבצעו עליכם לתאר את המתרחש. הקפידו על דיווח ברור ומאורגן של תצפיותיכם.

שלב א': מהלך הניסוי

I 1. טלטלו את המערכת מספר טלטולים נמרצים ואחר כך הניחו את המערכת ללא תנועה.

תארו את המערכת על כל פרטיה ורשמו תצפיות כל 10-15 שניות, במשך 3 דקות.

2. חזרו על השלבים שבסעיף (1) פעמיים נוספות.

3. השוו בין תוצאות שלושת הניסויים.

II 4. העבירו בזהירות את התמיסה לכלי אחר. סגרו בפקק. הניחו את המערכת ללא תנועה.

תארו את המערכת על כל פרטיה ורשמו תצפיות כל 10-15 שניות, במשך 3 דקות.

5. החזירו כמחצית מן התמיסה לכלי המקורי, פתחו בזהירות את הפקק, הוסיפו 100 סמ"ק

מים מזוקקים, החזירו את הפקק והניחו את המערכת ללא תנועה.

תארו את המערכת על כל פרטיה ורשמו תצפיות כל 10-15 שניות, במשך 3 דקות.

שלב ב': מהלך החקר

I ❖ אילו שאלות מתעוררות בקבוצה בעקבות התצפיות שנערכו?

❖ מתוך השאלות שהעלתם בחרו שאלה אחת שברצונכם לחקור.

❖ נסחו השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם לחקור.

❖ תכננו ניסוי שיבדוק את השערתכם.

❖ פרטו את בקשתכם לציוד ולחומרים על גבי טופס בקשת הציוד.

❖ התייעצו עם המורה.

❖ העבירו את רשימת הציוד והחומרים ללברנטית.

II ❖ בצעו את הניסוי שהצעתם, ובכל שלב: רשמו את כל התצפיות הציגו ונתחו את התוצאות.

❖ סכמו את מסקנותיכם (שלב בדיווח התייחסות לכל שלבי החקר).

❖ אילו שאלות ורעיונות נוספים מתעוררים בעקבות פעילות החקר שבצעתם בשלב II?

צבוצה (דילמה)!

המאפיינים המודגשים בהוראת התכנית :

- ביצוע העבודה המעשית בקבוצות קטנות - שהרכבן מוחלף לפי הצורך - תוך תשומת לב גם להיבט החברתי ולפיתוח מיומנויות של עבודת צוות. רק לעתים רחוקות מתבצעות משימות בצורה יחידנית.

- שאילת שאלות: גיוון של הדרכים שבהן שואלים את התלמידים שאלות, עונים להם ומעודדים אותם לשאול שאלות.

- טכניקות של פתרון בעיות והבחנה בין "שאלות" ל"בעיות".

- גישה הומניסטית המשלבת היבטים פילוסופיים, היסטוריים, פסיכולוגיים ואישיותיים.

- מציאת הקשרים לתחומים אחרים הנלמדים בבית הספר - קרובים יותר, כגון פיזיקה וביולוגיה, אך גם רחוקים יותר, כגון אנגלית וצרפתית (על ידי מאמרים בנושאים מדעיים וכימיים בשפות אלה), גיאוגרפיה, אמנות, מוזיקה, ספורט, וכמעט כל תחום קרוב ללבו של התלמיד. זאת, מתוך ההנחה שהלמידה פורייה יותר כשהלומד עוסק בדברים שיש לו עניין בהם.

- מתן אוטונומיה למורים ולתלמידים.

המשאבים הדרושים :

קבוצות לימוד קטנות יחסית

מספר שעות מספיק, שכן עבודה מסוג זה גוזלת זמן רב

לבורנט/ית מנוסה ומוכן/נה לעבודה המגוונת הדרושה

הכשרת מורים :

בשלבים הראשונים, החשיפה לתכנית נעשתה - בצורה חלקית - בפני מורים שהשתתפו בהשתלמויות שונות, כחלק אינטגרלי של ההשתלמויות. המוטו של ההשתלמויות והקורסים המאורגנים בנושא, "דוגמה אישית היא ההרצאה הטובה ביותר", מתייחס במקרה זה לא רק למתרחש בהשתלמות, אלא גם לעובדה שכל מרכיבי התכנית נוסו תחילה על ידי מפתחיה.

בשלב זה ההשתלמויות הן חובה למורים המבקשים להפעיל את התכנית, ומהוות למעשה שדה ניסוי למה שיקרה בכיתה, המורים המשתלמים מקבלים אוטונומיה וזמן נרחב ליצירתיות. התברר, שמורים רבים העדיפו לקבל בהתחלה "מרשמים בדוקים" מן המוכן וחומרים תכליתיים שאפשר להעבירם מיידית לשימוש בכיתה. קשה במיוחד היה לשכנע את המשתלמים, שלהבדיל מתכניות אחרות שבהן הורגלו, כאן הדגש הוא על המיומנויות, ואילו התכנים נקבעים על ידי המורים עצמם. לפיכך היה חשוב להבהיר למורים, שהם באים להשתלמות שאיננה תכנית סגורה, עם חומרי הלמידה מתוכננים מראש ומוכנים להפעלה.

בהשתלמויות, המורים מתנסים בכל המיומנויות ובכל שלבי העבודה שהתלמידים יתנסו בהם בכיתה.

הם גם מתרגלים מיומנויות המאפיינות את עבודתו של המורה בתכנית זו - בראש ובראשונה, רכישת כלים לקבלת אוטונומיה, כמו גם "אומץ" לתת אוטונומיה לתלמידים. בשילוב בין צורכי התכנית לצורכי המורים, הפכו ההשתלמויות להשתקפות של מה שאמור לקרות בכיתה. למשל, כחלק אינטגרלי מההשתלמות, המורים מקבלים הנחיות כיצד להכין חומרי למידה בעצמם ו/או להתאים חומרים קיימים לתלמידיהם ולצורכי ההוראה והלימוד שלהם.

מכיוון שהתכנית עדיין מוגדרת כניסויית, מורשים, בשלב זה, להיכנס לתכנית רק מורים שעברו השתלמות אינטנסיבית של 56 שעות במתכונת הנ"ל. עם הפעלת התכנית, הוחלט לתת תמיכה למורי הניסוי וללוות אותם בעבודה היום-יומית על ידי יצירת מסגרת שבה הם נפגשים ויכולים להחליף דעות.

סיכום הפעלה: (נכון ל- 1.11.2001)

שנת הלימודים	מספר המורים	מספר התלמידים
תשנ"ח	3	60
תשנ"ט	5	~160
תש"ס	12	~282
תשס"א	25	~600
תשס"ב	60	~1800

דיון ומסקנות

מהנתונים הנ"ל, ומן העובדה שמתוך כלל המורים שעברו השתלמויות אינטנסיביות (כ-200 מורים), רק 60 מפעילים את התכנית, עולה שהתוכנית אינה קלה לעיכול מיידית על ידי כלל המורים, וזאת בגלל היבטים מספר:

אין למורה "שליטה" מוחלטת על הנעשה, הן מבחינת הנושאים הנבחרים על ידי תלמידים לצורך חקר (והן מבחינת המשמעת) כשעובדים בקבוצות, יש מה שניתן להגדיר כ"רעש חיובי" (ולא כל מורה מוכן לכך).

המורה חייב להיות מנוסה על מנת שיוכל לגלות פתיחות. מאידך, אם הוא "מנוסה מדי", (מקובע?),

הדבר עלול להיות לו לרועץ.

הלימוד כחקר דורש זמן - הגיוון גוזל זמן יקר

הערה : אין הכוונה לחקור בכל זמן וכל הזמן! בהתחלה, אולי כדאי לעשות זאת לעתים רחוקות בלבד,

כדי לראות את הברק המיוחד בעיני התלמידים - שאיננו דבר של מה בכך!

הערה : לפני זמן מה, במסגרת פעילות שקראנו לה "המדען בטריטוריה שלו", התארכה קבוצת

משתתפים בקורס למנהיגות בקרה באחת ממחלקות מכון ויצמן. שני מדענים בעלי שם עולמי בתחום

הרצו לנו על הנעשה בחזית המדע, וגם אפשרו לנו לסייר במעבדות המחלקה. שניהם ציינו, שחשוב יותר

שהאנשים המגיעים ללימודי M.Sc. או Ph.D. (אין לימודי תואר ראשון במכון ויצמן) יהיו בעלי מיומנויות

חשיבה, וחשוב פחות כמה מידע צברו.

לסיכום:

לפי כל האמור לעיל, עדיף לדעתי שהנושא יישאר נושא בחירה. יש להזכיר כאן את דברי קארל פופר:

"כל פתרון של בעיה מעלה בעיות חדשות שטרם נפתרו".

התכנית דינמית ומשתנה כל הזמן, בניסיון לשפרה, גם על פי המשוב מן השטח.

מתקיים מגע שוטף עם מורי הניסוי, ניתנת להם תמיכה, והערותיהם נלקחות בחשבון. כך, לדוגמה,

חלו שינויים רבים בכל הקשור לכלי ההערכה (ועוד היד נטויה).

REFERENCES

- Gabel, D.L. & Bunce, D.M. (1994). Research on Problem Solving in Chemistry. In Dorothy Gabel (ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, (pp.301-326). New-York. Macmillan.
- Herron, D. (1978). Piaget in the Classroom. *Journal of Chemical Education*, Vol 55, No3, pp.165-173
- Hofstein, A., & Walberg, H, J. (1995). Instructional strategies, in B.J. Fraser. & H.J. Walberg., (eds.) *Improving Science Education: an International Perspective*. The NSSE Yearbook (pp. 1-20) Chicago; Chicago University Press.
- Hofstein, A. & Lunetta, V, N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of Research. *Review of Educational Research* 52, 201-217.
- Hofstein, A., Ben-Zvi, R. & Carmeli, M. (1990). Classroom Behaviour of Exemplary & Non-exemplary Teachers. *Research in Science & Technological Education*, Vol. 8, No. 2, pp.185-193.

Kempa,R.F.(1992). Matching Instructional Strategies to Students Learning Styles : Keele University,Staffordshire,UK.

Lunetta,V.&Novick,S.(1989).*Problem Solving in the Physical Sciences*. Dubuque,Iowa : Purdue.

Steiner,R.(1980). Encouraging Active Student Participation in the Learning Process. *Journal of Chemical Education*, vol 57,No.6, pp.433-434.

בעברית: בירנבוים,מ.(1997) חלופות בהערכת הישגים. רמות - אוניברסיטת תל-אביב.

הכימיה בשירות המשטרה טביעת אצבעות על משטחי מתכת: ניסוי חקר לפרק חמצון חיזור

אילנה זהר, מדריכה לכימיה במחוז ובמה"ד, רכזת הכימיה בתיכון בויר בירושלים
הניסוי חובר בעקבות הרצאה של פרופ' דני מנדלר מהמכון לכימיה באוניברסיטה העברית

רקע כללי

על עור כפות ידינו ואצבעותינו מצויים חומרים שמקורם בבלוטות הזיעה ובבלוטות שומן. מרכיבי החומרים הם תרכובות אי-אורגניות (מים ומלחים) ותרכובות אורגניות (שומנים וחומצות אמינו). כאשר אנו נוגעים במשטח כלשהו, אנו מותירים עליו חותם של חומרים אלה בתבנית הרכסים שעל אצבעותינו. זוהי טביעת האצבעות.

טביעת אצבעותיו של אדם היא ייחודית לו (אפילו אם יש לו תאום זהה), ולכן היא מהווה אמצעי לזיהוי אנשים.

Basic Fingerprint Patterns



Loop לולאה

Arch קשת

Twirl מערבולת

זיהוי אדם על פי טביעות אצבעות מתבצע כיום במשטרה באמצעות מחשב: מזינים למאגר שבמחשב טביעות אצבעות של חשודים שנעצרו בהזדמנויות שונות, וכאשר נמצאת טביעת אצבע בזירת פשע, משווים אותה לטביעות שבמאגר.



סימון של נקודות מאפיינות

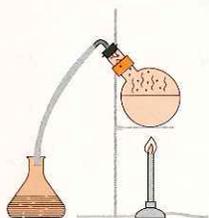
בטביעת אצבע

מסמנים נקודות אופייניות בטביעת האצבע, ורק אותן מזינים למחשב, יחד עם הצורה הבסיסית של הטביעה ועם נתונים נוספים של בעל הטביעה. הזיהוי מתבצע על סמך זהות של כ-12 נקודות אופייניות. קיימות כמה שיטות לצביעה של טביעות אצבעות. חלקן מבוססות על קשירת החומר הצובע לחומרים

שנדבקו למשטח, ובאחרות נצבעים דווקא חלקי המשטח הגלויים.

מכיוון שחומר הטביעה הוא שומני, הוא מונע מתמיסות מימיות להגיע אל המשטח שמתחתיו. ניתן אפוא לגלות את הטביעה על ידי תגובה של חלקי המשטח הגלויים עם תומרים המומסים בתמיסה מימית. כאשר הטביעה נמצאת על משטח מתכתי, אפשר לנצל את תכונות החמצון-חיזור של אותה מתכת כך שתחזר יוני מתכת אחרת הנמצאים בתמיסה. אלה ישקעו על חלקי המשטח הגלויים ויגרמו להבלטת הטביעה.

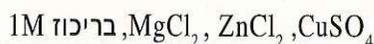
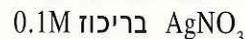
במחלקה לכימיה של האוניברסיטה העברית בירושלים נערך, בשיתוף עם המחלקה לזיהוי פלילי של המשטרה (המז"פ), מחקר שמטרתו לפתח שיטות לזיהוי טביעות אצבע על תרמילי כדורים. בזמן טעינת הכדורים למחסנית, האדם הטוען משאיר עליהם את טביעות אצבעותיו. מסתבר שטביעות אלה נשארות על התרמילים גם לאחר הירי. תרמילי הכדורים עשויים סגסוגת של אבץ ונחושת, וניתן לשקע על פניהם מתכות אחרות (שצבען שונה) בעזרת תגובות חמצון חיזור.



המשימה

אתם מתבקשים להתגייס לעזרת המז"פ ולמצוא את התמיסה המתאימה, מבין התמיסות הנתונות, לצביעת טביעות אצבע על לוח מתכת ועל תרמיל של כדור.

לרשותכם החומרים הבאים:



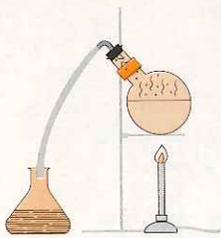
פסי מתכת: אבץ, נחושת, ברזל, אלומיניום, תרמילי כדורים, נייר דבק שקוף

לפני תחילת העבודה

חשבו על שיטה למהול את התמיסות כך שריכוזן הסופי יהיה ידוע (התייעצו במורה).

הוראות עזר

1. בחרו שתיים מהמתכות הנתונות.
2. שייפו ונקו את משטח המתכת לפני שאתם מטביעים עליו טביעות אצבע.
3. לפני הטבעת הטביעה, געו באצבע במצח או באזור האף (באזורים אלה יש בלוטות שומן).



ונתחיל במשימה, המשטרה זקוקה לנו:

העלו השערה (איזו מהתמיסות הנתונות תתאים ואיזו לא) ונמקו אותה.

תכננו ניסוי בהתאם למשימה שהוגדרה לעיל.

הכינו רשימת כלים וחומרים והגישו לאישור המורה.

רשמו תצפיות, תוצאות ומסקנות, בליווי הסברים ובהקפדה על לשון מדעית.

אם נתקלתם בקשיים, פרטו.

רשמו שאלות חדשות שעולות בעקבות הניסוי.

בתום הניסוי, לאחר שיבשו טביעות האצבעות הצבועות, הורידו אותן מהמשטח בעזרת נייר דבק

שקוף וצרפו לדו"ח.



נקודות להעמקה ולמחקרים נוספים

יש פרמטרים רבים היכולים להשפיע על יכולת הגילוי והזיהוי של טביעות אצבע כדוגמת גיל הטביעה,

האדם המטביע, התנאים שהטביעה היתה תשופה אליהם (חום, שמש, לחות וכד').

ניתן לתכנן סידרת ניסויים לבדיקה של השפעת הפרמטרים הנ"ל.

אתרים באינטרנט לקריאה נוספת על הנושא:

1. המחלקה לזיהוי פלילי של משטרת ישראל:

http://www.police.gov.il/default.asp?pagename=010201g_abd.html

2. Evidence - אתר באנגלית, מרכז מידע והדרכה בנושא זיהוי פלילי, מכיל מאמרים בנושא טביעות

אצבעות. <http://library.thinkquest.org/17049/gather/search/>

3. מקור נוסף: האנציקלופדיה העברית, כרך יח', עמ' 204

תודה לפרופ' דני מנדלר על הערותיו המועילות.



השפעה של לעיסת מסטיק "אורביט" על רמת החומציות בפה

נעמי חרמוני, בית חינוך "שער הנגב" ומדריכה אזורית במחוז דרום

הקדמה

במסגרת לימודי בקורס "מורים מובילים בכימיה", נחשפתי לראשונה להוראה בגישה חוקרת. הקורס התקיים בשנים תשנ"ז-תשנ"ח במכון ויצמן למדע, במחלקה להוראת המדעים. ריכזה את הקורס ד"ר אורלי רמות, ואת נושא עבודות החקר הנחתה רלי שור. המאמר סוקר את ההתנסות שלי בביצוע החקר ובתוצאותיו.

השותפות להתנסות זו היו:

דבורה קצביץ - מורה לכימיה בתיכון אזורי גדרה, וכיום גם מדריכה אזורית במחוז המרכז.

דבורה הייתה הרוח החיה בקבוצה.

שרה אקונס - מורה לכימיה בתיכון "ברנר" בגבעת ברנר.

נעמי חרמוני - מורה בבית חינוך "שער הנגב", וכיום גם מדריכה אזורית במחוז הדרום.

ההתנסות הייתה מלהיבה ומעשירה, והיא הכרחית, לדעתי, למי שמעוניין ליישם את הפעילות בכיתה. לקראת הצגת העבודה בפני משתתפי הקורס, כתבה דבורה "מחזה" על שני חיידיקים היושבים על שן ומשוחחים ביניהם. אנו הפכנו, לצורך העניין, לשחקניות. במקביל, הגישה שרה את החלק התיאורטי - המחקר, תוצאותיו ומסקנותיו. הכל צולם ותועד ושמור עד היום במכון ויצמן, במחלקה להוראת המדעים קבוצת הכימיה.

בהמשך המאמר מובאת תמצית של עבודת הסיכום שלנו. אני מאמינה שבתום הקריאה תחשבו, כמוני, שהפעילות הזו מומלצת בחום.

מבוא

בשנים האחרונות אנו חשופים ל"מתקפת" פרסומות, המזהירה אותנו מפני סכנת העששת ומסבירה שעליית החומציות בפה מגבירה סכנה זו.

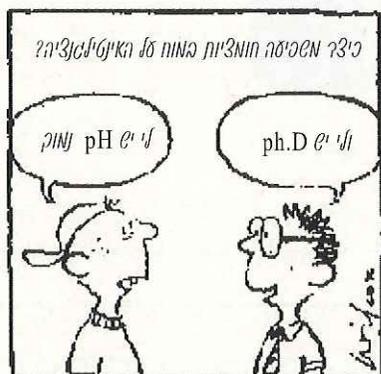


לפי דבר המפרסם:

אחרי האכילה, רמת ה-pH בפה יורדת לרמה מסוכנת, שבה מתחילה מתקפת חומציות על השיניים העלולה לזרוק לעשת. לעיסת מסטיק אורביט ללא סוכר מחלירה את רמת ה-pH לתחום הבטוח ומונעת עשת. לעיסת מסטיק אורביט ללא סוכר שומרת על בריאות השיניים!

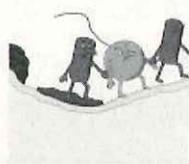
הפרסומת אולי משכנעת, אך אנו, חוקרות צעירות וסקרניות שכמונו, לא נאמין כך סתם לדבר המפרסם. לכן החלטנו לבדוק את האמת שמאחורי הפרסומת.

טעם נוסף לבחירת הנושא היה הקשר להוראת נושא ה-pH בכיתות. בדרך כלל, התלמידים מתחילים לדקלם את דבר המפרסם מיד עם החשיפה לנושא. המחקר, כפי שנראה בהמשך, יאפשר לתלמידים להעמיק במושגים כמו: הרכב השיניים והרוק, מחלת העששת, מקור החומציות בפה לאחר הארוחה ומנגנונים טבעיים להגנה בפני עששת. מושגים אלו מקשרים את לימודי הכימיה אל חיי היומיום והופכים את המקצוע לרלוונטי ומושך בעבור התלמידים. לכן, היה חשוב לנו להכין את התשתית למחקר דומה בכיתות.



רקע מדעי והיסטורי

כדי לבדוק את האמת שמאחורי הפרסומת של מסטיק אורביט, כפי שהוצגה במבוא, עלינו להתייחס לכמה גורמים: השן, חיידקי הפה ורמת החומציות, הרוק, מחלת העששת ולעיסת מסטיק.



מבנה השן

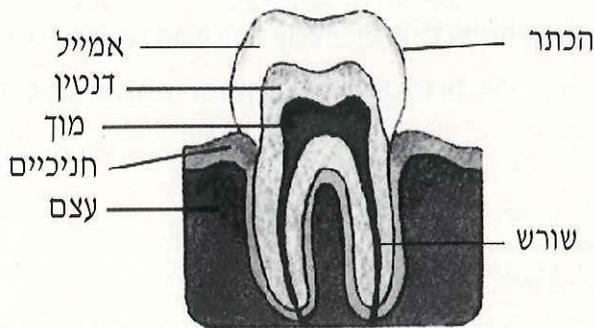
השכבה החיצונית של השן, זגוגית או אמיל, היא החומר הקשה ביותר בגוף האדם. היא מורכבת מ-:

* 97% פאזה מינרלית (אי-אורגנית) הידרוקסיאפטיט $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

* 1% קולגן (פאזה אורגנית) סוג של חלבון

* 2% מים

שכבה זו מגינה על השכבות הפנימיות, הרכות יותר, הדנטין ומוך השן. פגיעה בשכבת האמיל גורמת להופעת מחלת עששת השן (ריקבון שיניים).

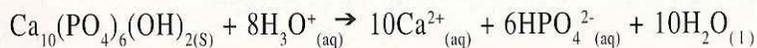


איור 1. מבנה השן

עששת השן

זוהי מחלה זיהומית עתיקת יומין. שכיחותה החלה עולה במאה ה-18, עם פיתוחם של מוצרי מזון המכילים סוכר ושל תעשיית הממתקים. עד לאחרונה סבלו ממנה בין 85 ל-98 אחוז מהאוכלוסייה. בעשרים השנים האחרונות יש מגמת ירידה בתחלואה.

גורמי המחלה הם חיידקים הנמצאים בחלל הפה. אלה יוצרים רובד דביק (פלאק) ונצמדים לשיניים. פעילות החיידקים יוצרת חומצה, וזו נשארת על השן וגורמת להרס זגוגית השן בתהליך של דה-מינרליזציה:

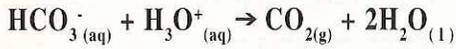


אמנם התהליך איטי בהתחלה, אך מרגע שהחיידקים חודרים אל תוך השן, ההרס ממשיך בקצב נמרץ יותר. את הכאב חשים כאשר החיידקים מגיעים לשכבת הדנטין. כאשר החומציות יורדת, מתרחש תהליך של רה-מינרליזציה - גיבוש מחדש של מינרלים על זגוגית השן.

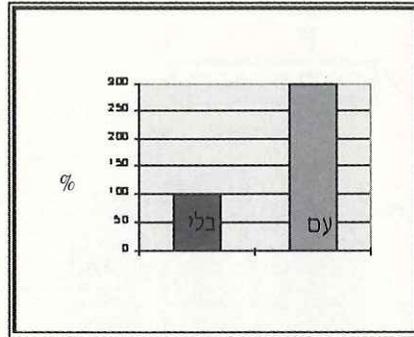
כיצד נוצרת החומצה?

המזון שנכנס לפה מספק (ישירות או אחרי פירוק ראשוני) גלוקוז, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. חיידקי הפה מפיקים מן

הרוק הבסיסי מנטרל את החומציות:



לאדם שלושה זוגות של בלוטות רוק, המפרישות כ-1 עד 1.5 ליטר רוק ביום. הפרשת הרוק מופעלת על ידי עצבים מהמערכת האוטונומית ומוגברת על ידי גירוי חוש הטעם וחוש הריח (מיץ לימון גורם לגירוי חזק), ואף על ידי ראיית מזון או מחשבה עליו. בייחוד מגבירה את הפרשת הרוק פעולת ה**לעיסה**. לעיסת מסטיק מעלה את קצב הפרשת הרוק ב-300%, כפי שניתן לראות באיור 2



איור 3 שיעור הפרשת הרוק עם ובלי לעיסת מסטיק

לעיסת מסטיק

לאחרונה חלה תפנית חדה בהרגלי לעיסת המסטיק בישראל. עד לפני כ-6 שנים, נחשב מאוד לא מנומס ללעוס מסטיק, והתנהגות זו הייתה נחלתם של הצעירים בלבד. היום, כולם - צעירים, מבוגרים, חברי כנסת, מנכ"לים, עורכי דין ורופאים - לועסים מסטיק! הישראלי הממוצע לועס 180 מסטיקים לשנה, לעומת 80 לפני 6 שנים.



עץ המסטיק

היסטוריית הלעיסה מגיעה עד ליוונים הקדמונים. עץ המסטיק מפריש שרף, שבו נהגו נשות יוון לצחצח שיניים ולרענן את נשימתן. האמריקנים למדו ללעוס מהאינדיאנים בניו-אינגלנד, ומאז לא חדלו (280 מסטיקים לאדם בשנה). ב-1850 התחילו האמריקאים להמתיק שעווה וללעוס אותה. שנת 1860 נחשבת לתחילת העידן המודרני

בלעיסה. בשנה זו התגלה התוסף chicle, המופק מעצים הגדלים ביערות הגשם בדרום אמריקה. תוסף זה העניק למסטיק את תכונות הלעיסות הנחוצות.



את בית החרושת המודרני הראשון בעולם לגומי לעיסה יסד בשיקגו, ב-1892, ויליאם ריגלי הבן.

היום מגלגלת החברה מחזור של שני מיליארד דולר.

בישראל משווק מסטיק ריגליס כבר 40 שנה.

בעקבות פתיחת ערוץ הטלוויזיה המסחרי, יצאה לאקרנים הפרסומת

של מסטיק אורביט. אנשי הפרסום מצאו את הגומחה הנכונה במודעות האופנתית והרימו את נס הבריאות:

"חומציות ועששת", "מאושר על ידי הסתדרות רופאי השיניים בישראל"; המכירות לא איחרו לפרוח.

מנכ"ל החברה כהן: "עשרים דקות של לעיסה רצופה אורחות להכרעת רוק, ורוק הוא המינרל הטוב ביותר

לניקוי השיניים מחיידקים ולמניעת עששת".

הצגת עבודת המחקר שלבים, תוצאות עיקריות וסיכום

שאלות המחקר

1. כיצד משתנה ה-pH בפה לאחר איסוף זאקוז (כמוצאה אלמון) ולשווקאז אלב.
2. כיצד משתנה לעיסת מסטיק אורביט, או כל מסטיק אחר, על השתנות ה-pH בפה לאחר איסוף זאקוז או לשוקאז אלב.

השערות המחקר

1. איסוף השיניים לזאקוז מראה את האומציות בפה.
2. פדואל האדיסה, היא הזורחא להפריש רוק שלמטאל את האומציות; במסטיק אורביט עצמו אין אומציות למטאל אומציות.

בחירת דרכי העבודה

ערכנו ניסויים מוקדמים לצורך קביעת תנאי הניסוי. המשתנים שנבדקו הם:

ריכוז תמיסת הגלוקוז;

מרווחי הזמן המיטביים (אופטימליים) לבדיקת רמת ה-pH בפה;

היה עלינו להחליט אם להשתמש בנייר pH או במקל pH, בהתחשב בכך שיש להכניסו לפה.

בעקבות הניסויים המוקדמים נבחרו החומרים ודרכי העבודה, כפי שיפורט בהמשך.

כלים וחומרים

מברשת שיניים

תמיסת גלוקוז 10%

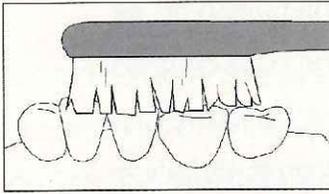
שוקולד חלב

מסטיק אורביט מנטה כחול

מסטיק עלית (עם סוכר) בטעם תות

מקלות לבדיקת pH MACHERY-NAGEL / pH-Fix 5.1-7.2

3 פיות - של שרה, של נעמי ושל דבורה



מהלך העבודה

א. 1. צחצוח שיניים ומדידת pH.

2. גרגור תמיסת גלוקוז 10% במשך 30 שניות ומדידת pH.

3. מדידת pH אחרי דקה ולאחר מכן כל 2 דקות, במהלך חצי שעה.

ב. חזרה על שלבים א1 ו-א2. מיד אחרי הגרגור מתחילים ללעוס מסטיק אורביט. מתחילים למדוד את ה-pH

דקה אחת אחרי תחילת הלעיסה ובמהלך 5 דקות נוספות.

ג. חזרה על שלב א, כולל לעיסת מסטיק אורביט מרגע שה-pH הגיע למינימום.

ד. חזרה על שלב ב עם מסטיק אחר (עם סוכר) במקום מסטיק אורביט.

ה. חזרה על שלב ג עם מסטיק אחר (עם סוכר) במקום מסטיק אורביט.

ו. חזרה על שלב א1, אכילת קוביית שוקולד חלב ומדידת pH אחרי דקה, ולאחר מכן כל שתי דקות, כולל

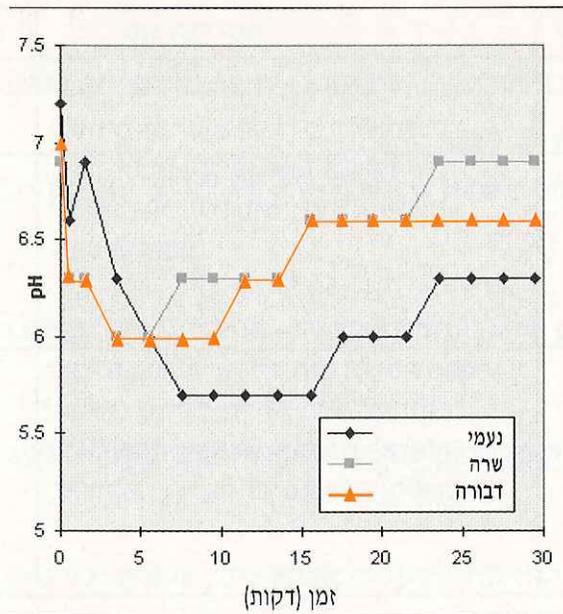
לעיסת מסטיק אורביט מרגע שה-pH הגיע למינימום.

תוצאות ודיון

ריכזנו את תוצאות הניסוי בטבלאות (pH כתלות בזמן בעבור כל נבדק), וכמו כן שרטטנו גרפים. נציג

לדוגמה גרף לניסוי אחד, וכן טבלה מסכמת ובה כמה תוצאות ומסקנות:

זמן (דקות)	0.0	0.5	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5	11.5	15.5	17.5	21.5	23.5	25.5	29.5
נעמי pH	7.2	6.6	6.9	6.3	6.0	5.7	5.7	5.7	5.7	6.0	6.3	6.3	6.3	6.3
שרה pH	6.9	6.3	6.3	6.0	6.0	6.3	6.3	6.3	6.6	6.6	6.6	6.9	6.9	6.9
דבורה pH	7.0	6.3	6.3	6.0	6.0	6.0	6.0	6.3	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6



גרף 1 שינוי pH כתלות בזמן בעקבות גירגור תמיסת גלוקוז

מגרף 1 ניתן להסיק, שבכל אחת מהנבדקות:

ה-pH ההתחלתי בפה היה שונה;

קצב ירידת ה-pH היה שונה;

ה-pH המינימלי היה שונה;

משך הירידה לערך המינימום של ה-pH שונה;

קצב החזרה ל-pH ההתחלתי (או לערך דומה) שונה אצל כל אחת מהנבדקות.

בטבלה הבאה מובאת רשימת הבדיקות הנוספות שבצענו והמסקנות שהסקנו:

ניסוי	סוג הבדיקה	מסקנות שהוסקו
ב.	גרגור תמיסת גלוקוז 10% ולעיסת מסטיק אורביט מייד לאחר מכן.	בעיקבות לעיסת מסטיק אורביט, עליית ה-pH היא מיידי
ג.	גרגור תמיסת גלוקוז 10% ולעיסת מסטיק אורביט מהרגע שה-pH הגיע למינימום.	<p>1. מגמת השינוי של ה-pH בפה בתלות בזמן דומה עבור 3 הנבדקות;</p> <p>2. קצב שינוי ה-pH בפה עם לעיסת מסטיק אורביט מהיר בהשוואה לקצב השינוי ללא לעיסת מסטיק אורביט;</p> <p>3. לעיסת מסטיק אורביט קיצרה את זמן החזרה של ה-pH לערכו ההתחלתי (או לערך דומה).</p> <p>4. העליה ב-pH מיידי.</p>

ניסוי	סוג הבדיקה	מסקנות שהוסקו
ד.	גרגור תמיסת גלוקוז 10% ולעיסת מסטיק אחר (עם סוכר) מייד לאחר מכן.	התוצאות המתוארות בניסוי ג. חזרו על עצמן.
ה.	גרגור תמיסת גלוקוז 10% ולעיסת מסטיק אחר (עם סוכר) מהרגע שה-pH הגיע למינימום.	1. התוצאות כמו בניסוי ג. 2. מהשוואת התוצאות בסעיפים ב. ו-ד. ובסעיפים ג. ו-ה. ניתן להסיק, שעצם הלעיסה היא המשמעותית לגבי שינוי ה-pH, ולא סוג המסטיק.
ו.	אכילת קוביית שוקולד חלב ולעיסת מסטיק אורביט מהרגע שה-pH הגיע למינימום והשוואת התוצאות שהתקבלו לאלו שהתקבלו בגרגור תמיסת גלוקוזה 10%.	1. ה-pH המינימלי זהה בשתי הבדיקות; 2. ירידת ה-pH לערך המינימום נמשכת זמן שונה עבור מזונות שונים; 3. מגמת השינוי ב-pH דומה עבור מזונות שונים; 4. קצב החזרה ל-pH התחלתי אינו תלוי בסוג המזון.

סיכום

ה"מחקרון" שערכנו סיפק לנו תשובות לשאלות המחקר שהצגנו לעצמנו. מצאנו ש-:

אחרי חשיפת השיניים לגלוקוז או לשוקולד עולה רמת החומציות בפה (כדבר המפרסם). ה-pH ההתחלתי בפה, קצב ירידת ה-pH, ה-pH המינימלי וכן זמן החזרה ל-pH הרגיל לאחר חשיפה למזון הם אינדווידואליים. ככל הנראה, גורמים אלה תלויים במצב השיניים, בכמות הפלאק ובפעילות החיידקים בפה, והם שונים מאדם לאדם. (נמצא במחקרים, כי ה-pH הממוצע של נבדקים שאינם חולים בעששת הוא בסביבות 7, ואילו בנבדקים ששיניהם פגועות מאוד בעששת, ה-pH הממוצע הוא בסביבות 6.2). אין ספק, שלעיסת מסטיק מנטרלת מיידית את החומציות בפה. לא הרכב המסטיק היה משמעותי, אלא פעולת הלעיסה עצמה (לגבי שני סוגי המסטיקים שבדקנו ההתנהגות הייתה זהה).

שאלות מעניינות נוספות שכדאי או מעניין לחפש עליהן תשובות (כנראה שלא במסגרת מחקרונים בית ספריים)

במהלך המחקר, התעוררו אצלנו שאלות מסקרנות נוספות:

1. כיצד משפיעים סוגי מזון אחרים, גם כאלה שאינם מכילים פחמימות, על רמת החומציות בפה?
2. האם יש השפעה לבסיסיות השונה של הרוק באנשים שונים על התחלואה בעששת?
3. כיצד משפיעה הלעיסה על הפרשת הרוק באופן כמותי?

ברצוננו להודות:

- ◆ **לרלי שור**, על המטלה עצמה ועל העניין הרב שעוררה בנו בכל הקשור למיני-מחקרים, לניסויי חקר ולשאר דרכים לגיוון ההוראה.
- ◆ **לנציגות חברת ריגליס בישראל**, יצרנית מסטיק אורביט, על חומר העזר ששלחו לנו.

ביבליוגרפיה

- אדלר יונתן ואחרים, **פרקי ביולוגיה וחקלאות - אנרגיה וגלגוליה בעולם הצומח והחי**, המרכז הישראלי להוראת המדעים.
- זהר ע. ואחרים, **פרקים בפיסיולוגיה של האדם, מערכות ומסלולים מטבוליים**, יח' 1-4, האוניברסיטה הפתוחה.
- זיו-בוסנאי דפנה, "מה אתה יודע על עששת השיניים", **איתנים**, מאי 1993, עמ' 22-24.
- יעקובסון רונה, מחלת העששת, **ידיעון כימיה טכנולוגיה וחברה**, 59/60, ניסן 1994, האוניברסיטה העברית בירושלים - המרכז להוראת המדעים, עמ' 35-39.
- לורי אביבה, כולנו פה אחד, **הארץ**, 23.4.96.
- בתיה גלעד, פרח שרה, **כימיה בתהליכי החיים - תגובות בפעולה, פרק: בסיסים וחומצות**, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים, תשנ"ט, 1999.
- **תזונה באדם ובבעלי חיים**, ת"ל, האוניברסיטה העברית - הפקולטה לחקלאות.
- Leo M. et all, Saliva: its role in health and disease, International Dental Journal, Volume 42/4 1992.



הפעלת העשרה בנוסח Webquest

ד"ר תרצה דה וריס - מקיף הבשור, מרסל פרייליך* - מעלה הבשור, מינה שגב - מקיף א' באר שבע.

מבוא

במאמר זה ברצוננו להציג הפעלת העשרה בנושא ריאקציות גרעין ויישומיהן. ההפעלה נכתבה ועובדה על ידינו במסגרת הקורס "שילוב האינטרנט בהוראת הכימיה" של פרויקט "תמיד" - האוניברסיטה הפתוחה. (על פרויקט "תמיד", ראו במסגרת נפרדת). הפעלה לימודית בסגנון Webquest, או "חקרשת", היא תהליך למידה הניזון ממקורות באתרי אינטרנט. זהו כלי נוסף וחשוב, שמאז שנת 1995 קונה לו מקום בקרב מורים ומפתחי תוכניות לימודים. מאז נכנס האינטרנט לשימוש נרחב בבתי ספר ובקהילות למידה בכלל, ניתן למצוא ברשת מאמרים רבים על השיטה, מאגר הולך וגדל של הפעלות שהוכנו על-ידי מורים, וכן מתכונים לכתבת הפעלות. ראו, לדוגמה, מאמריהם של עמי סלנט (2), יעל אולמר (1), March (4), ואתרים המציעים הדרכה בבניית פעילויות מסוג זה (5). קיימים דגמים שונים של Webquest, והם מסווגים על פי מטרות הלמידה (ראו דיווחו של עמי סלנט (3)).

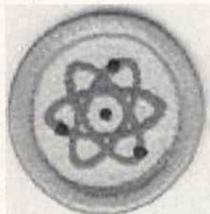
סיכום קצר על מאפייני השיטה:

- א. סיפור מסגרת, המציב תלמיד או קבוצה בעמדה שבה הם חייבים לדווח על תוצאות מחקרם.
- ב. שאלות מנחות, שבצדן כתובות אינטרנט מכוונות וממקדות בנושא הלימוד.
- ג. מחקר באמצעות מקורות עדכניים הנמצאים ברשת (אינטרנט).
- ד. הכנת "מוצר סופי" המשקף את הנושא הנלמד ואת ההתייחסות של המבצע.
- ה. המורה משמש כמנחה.
- ו. הערכה על-פי מחוון ייחודי לעבודה.

כמה ממטרותיה החינוכיות של השיטה הן:

- א. לפתח כישורי מיזוג (אינטגרציה) בין מקורות תוך שימוש בכמה אתרים.
- ב. לאפשר למידה גמישה בקצב האישי של הלומד.

* סטודנטית לתואר שלישי במחלקה להוראת המדעים של מכון וייצמן למדע



- ג. לפתח כישורי למידה שיתופית ואחריות (חלוקת תפקידים, עמידה בל"ז).
- ד. לפתח למידה על פי נושאים ולא על פי דיסציפלינה. אתרי אינטרנט רבים הם רב-תחומיים ומציגים היבטים שונים של הנושא (לדוגמה, פן סביבתי-ביולוגי ופן חברתי).
- ה. לאפשר ללומדים להתקשר ישירות למומחים וכך להפגיש אותם עם העולם האמיתי.
- ו. לאלץ את התלמידים להשתמש בשפה האנגלית. חשוב לתלמידים בארץ!
- ז. להגביר את ההנעה (מוטיבציה) ללמידה (כך סבורים כותבים רבים).
- מכיוון שמטרתו של מאמר זה היא להציג את הפעילות, לא נעמיק בשאלות הנובעות מן הנקודות שהועלו. אולם, נראה לנו שהרבה מן הנאמר לעיל הוא תוצר של התבוננות, היגיון בריא והתלהבות מהעשייה. יש מקום למחקר רציני ומבוקר, שיעריך את תוצאות הלמידה בדרך זו.
- פעילות "הגרעין ואנחנו" נבנתה כנושא העשרה לפרק "מבנה האטום" הנלמד בכתה י'. הפעילות נמצאת ברשת האינטרנט באתר של פרויקט "תמיד" האוניברסיטה הפתוחה.

הנושאים הם: ריאקציות גרעיניות, קרינה רדיואקטיבית, כורים גרעיניים, טיפול בפסולת גרעינית, טכנולוגיות גרעין ופצצות גרעיניות.

לפתיחת הנושא, וכדי לעורר את המוטיבציה, קוראים עם התלמידים את כתבתו של ד"ר נח ברוש, "גרעין איננה מלה גסה", שהופיעה במעריב ב-5/8/2001 (המאמר מופיע באתר). הכתבה עוסקת באנרגיה גרעינית ובהשפעתה על איכות הסביבה, בהשוואה לאנרגיה מדלק מחצבי. הדיון בעקבות הכתבה מבהיר נקודות ומעלה שאלות רלוונטיות לסיפור המסגרת.

על פי סיפור המסגרת, הכיתה היא גוף מחוקק, שחייב לקבל החלטה על הכנסת טכנולוגיות גרעין למדינה. הגוף מתחלק לוועדות, אשר בודקות היבטים שונים של סוגייה זו. התלמידים יכולים ללמוד בעצמם וגם להיוועץ במומחים. בתום תקופת התחקיר, עליהם להגיע למליאה, להציג בפניה את ממצאיהם ולקיים הצבעה. הצגת הממצאים היא התוצר הסופי.

הפעילות המובאת ברשת כוללת איורים, קישורים והפניה לכתובות. כל דפי העבודה הם אינטראקטיביים, עם מראי מקום לכתיבת התשובות, כך שתלמידים יוכלו להעביר את דפי העבודה לבדיקה ולהתייעצות דרך הרשת.

כתובת הפעילות ברשת: <http://telem5.openu.ac.il/tsol/ts.exe?tsurl=0.4966.127691.0.0>
בהמשך נביא דוגמאות מתוך הפעילות.

נקודות שראינו לנכון לציין מתוך המדריך למורה:

- קהל היעד: תלמידי י' הלומדים את הפרק מבנה האטום, או תלמידי י"א כפעילות מיזם.
- ניתן לעבד, לקצר ולהוסיף בעבור תלמידים הלומדים תוכניות רלוונטיות במסגרת מוט"ב.

פעילות העשרה לתלמידים המרחיבים בתחומי הדעת כימיה, פיזיקה ומדעי החיים.
הקשר לתוכנית הלימודים: הרחבה והעשרה לפרק "מבנה האטום".
רקע קודם: מושג בסיסי על מבנה האטום, ההיסטוריה של התפתחות מודל האטום, חלקיקי יסוד, איזוטופים, קרינה, סוגי קרינה, רדיואקטיביות.

רצף הוראה:

1. פעילות פתיחה: קריאת המאמר "גרעין איננה מלה גסה", מאת ד"ר נח ברוש. דיון והעלאת דילמות כפתיח לנושא.
2. מעבר לתהליך העבודה על פי הכתוב בהנחיות עבודה לתלמיד.
3. העבודה תכלול לפחות 3 מפגשי מורה ותלמידים:
 - א. מפגש פתיחה - שיעור כפול ;
 - ב. פגישות ביניים קבוצתיות עם המורה כעבור שבועיים, לבדיקת ההתקדמות העבודה השיתופית ובירור בעיות;
 - ג. פגישת סיכום (כשלושה שיעורים) - הצגת הנושאים במליאה (תוצר סופי), סיכום והצבעה.

פעילות פתיחה

- א. קריאת המאמר ממעריב בשיטת סיכום פסקאות (לסכם כל פסקה ב"סיסמה" - מילה או משפט קצר).
- ב. רישום כל הסיסמאות על הלוח.
- ג. דיון ותמצות, שבסופם יועלו הנקודות הרשומות מטה:

אפקט החממה - ביאור מונחים וגורמים
אפקט החממה ונזקים ("שואה אקולוגית")
הקשר בין אפקט החממה לשריפת דלקים
צריכת אנרגיה גוברת - סיבות
מקורות אנרגיה כיום: סוגי דלקים, אנרגיה אטומית, אנרגיית רוח, אנרגיית מים
סכנות הדלקים הפחמימניים
סכנות האנרגיה הגרעינית (אסונות, השפעת קרינה, נשק אטומי)
יתרונות השימוש בחומרים רדיואקטיביים
- ד. דיון בדרכים לברור מקורות אנרגיה עדיפים (ועדת חקירה, ועדה פרלמנטרית, ועדות מומחים)

ה. דיון בגורמים שבהם יש להתחשב בעת קבלת החלטות בנושא (כלכליים, חברתיים, אקולוגיים, בריאותיים)

ו. קבלת החלטות וביצוע - באחריותו של מי? כיצד? (משרדי ממשלה, חקיקה וכו')

דוגמאות לפעילות תלמידים

נציג רק שלושה נושאים מבין כלל הנושאים שבהם עוסקים התלמידים: קרינה רדיואקטיבית, פצצות גרעיניות וטיפול בפסולת גרעינית.

כאמור, ההפעלות מלוות בהוראות עבודה מפורטות. שאר הנושאים מוצגים באתר העיתון.

קרינה רדיואקטיבית

בפרק זה תלמדו על סוגי קרינה שונים, על רמות החשיפה המותרות ועל הנזקים הנגרמים ברמות חשיפה גבוהות יותר. סכנות הקרינה יושו לסכנות אחרות שאנו חשופים להן בחיי היום יום.

1. באתר <http://www.shalhevet.co.il/b/bkrinal.html>, קראו את המאמר (בעברית) קרינה.

היכנסו גם לאתר <http://www.nei.org/scienceclub/nuclearworld.html>, והתבוננו באיורי הנזקים הנגרמים לרקמות.

כדאי להיעזר גם באתר <http://www.uic.com.au/ral.htm>. האתר ידידותי מאוד, עשיר במידע ומשופע באיורים, בגרפים ובטבלאות.

השיבו על השאלה:

אילו נזקים גורמת קרינה רדיואקטיבית לגוף האדם (לעור, לדם, לריאות וכו')?

2. באתר <http://www.w-angle.galil.k12.il/studio/mada/mamarim/sviva/cherno.html> יש מאמר בעברית

על נזקי אסון צ'רנוביל. קראו את המאמר והשיבו על השאלות:

א. אילו נזקים גורמת קרינה רדיואקטיבית לגידולים חקלאיים?

ב. תארו את כלל הנזקים שגרם הפיצוץ הגרעיני בצ'רנוביל.

3. היכנסו לאתר http://www.bergen.org/AAST/manhattan_proj/projects.mp/bio_asms.html. באתר

זה יש שאלות ותשובות בנוגע לקרינה רדיואקטיבית וסרטן. השיבו על השאלות:

א. כיצד משפיעה הקרינה על התא?

ב. כיצד נוצרים היונים?

ג. מהי השפעת היינון?

ד. מה קורה לתאים הפגועים?

- ה. מה קורה אם התאים מתים?
ו. הגדירו מוטציה.

אתר מומלץ נוסף: http://www.ccnr.org/alpha_in_lung.html

4. היכנסו לאתר <http://www.physics.isu.edu/radinf/risk.htm>. באתר מופיע מאמר מקיף על הקרינה וסכנותיה, מנות חשיפה והשפעותיהן, השוואה בין הסיכון שבחשיפה לקרינה רדיואקטיבית ובין סיכונים אחרים, כגון עישון, נסיעה במכונית (תאונות), טיסה ועוד.

השיבו על השאלות:

- א. מהי מנת הקרינה השנתית הממוצעת אשר לה נחשף תושב ארה"ב? מהם המקורות לחשיפה זו?
- ב. איזה נזק נגרם לגוף הנחשף ליותר מ- 100 רם (rem)?
- ג. איזה נזק נגרם לגוף הנחשף ליותר מ- 300 רם?
- ד. מהו הנזק הנגרם לגוף שנחשף ליותר מ- 1000 רם?
- ה. השוו בין הנזק הנגרם מחשיפה לקרינה של 10 מילירם ליום ובין נזקים אחרים שאנו נחשפים להם באורח יומיומי, כגון עישון סיגריות, אכילת שומנים, זיהום אוויר, תאונות דרכים, תאונות מטוסים ועוד.
- ו. סכמו: האם חשיפה לקרינה רדיואקטיבית מהווה סיכון גדול יותר מכל סיכון אחר שאליו אנו נחשפים בחיי היומיום?
- ז. בעמוד האחרון של האתר נתונים ערכים של קרינת סף מותרת בשנה. כמו כן, מופיעים המקורות לקרינה ומידת החשיפה להם. עיינו בנתונים, התרשמו ושתפו אותנו בערכים שעניינו אתכם במיוחד.

אתרים נוספים המכילים מידע רב ויכולים לסייע במתן התשובות:

<http://www.triumf.ca/safety/rpt/rpt.html>

<http://radefx.bcm.tmc.edu/ionizing/ionizing.htm>



מילון מונחים

הכינו מילון של המונחים שלמדתם בפרק זה.

שאלה מסכמת

בעקבות חקירתכם את הסיכונים והנזקים שצופנת הקרינה הרדיואקטיבית, האם אתם בעד או נגד שימוש בחומרים רדיואקטיביים למטרות חיוביות (רפואה, תעשייה, ייצור חשמל וכו')? הסבירו את דעתכם מן ההיבט החברתי והכלכלי.

המלצה: גבשו סופית את תשובתכם לשאלה זו רק לאחר שתלמדו על שימושיה המועילים של הרדיואקטיביות.

לפניכם מקור מומלץ נוסף, בעברית, לעיון ולהשלמת תשובותיכם. המאמר מסכם היטב את הנושא:
<http://www1.snunit.k12.il/heb.journals/chimia/7017.html>

פצצות אטומיות

בפרק זה תלמדו על מבנה הפצצה האטומית, סוגי פצצות גרעיניות ועקרון פעולתן. כמו כן, תמצאו מידע על הטלת הפצצות האטומיות על הירושימה ונגסקי במלחמת העולם השנייה, על האנרגיה המשתחררת בפיצוץ גרעיני ועל הנזקים שהוא גורם.

לפניכם שלושה אתרים העוסקים בנושא.

פתחו את האתר שכתובתו: <http://www.atomicarchive.com/main.shtml> שוטטו בו וענו על המטלות הבאות:

1. לפניכם מונחים שבהם תיתקלו במהלך העבודה. הכינו מילון למונחים אלה ועיינו בו כאשר תיתקלו בהם במהלך העבודה. תוכלו להיעזר במילון המונחים (glossary) שבאתר (הכניסה אליו דרך הדף הראשי של האתר, ברשימת הנושאים משמאל).

המונחים:

מיזוג fusion	ביקוע fission
פצצת מימן hydrogen bomb	תגובת שרשרת chain reaction
נשק גרעיני nuclear weapon	מסה קריטית critical mass
	פצצת אטום atomic bomb

2. פתחו בצד שמאל את הנושא nuclear fission.

תוכלו להיעזר גם באנימציות של ביקוע גרעין המופיעות באתרים הבאים:

<http://www.nei.org/scienceclub/nuclearworld.html>

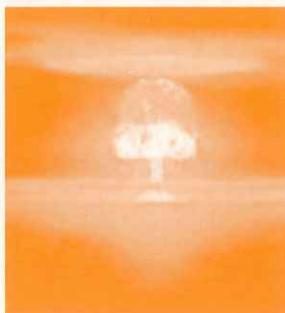
<http://www.nei.org/scienceclub/nuclearworld.html>

השיבו על השאלות:

- א. הסבירו את תהליך הביקוע הגרעיני, בלוויית איור (ניתן להוריד מן האתרים ברשת).
- ב. הסבירו את תגובת השרשרת, בלוויית איור.
- ג. מדוע משתמשים באורניום או בפלוטוניום לפצצות אטום?
- ד. מהו ביקוע ספונטני?
- ה. תארו את מבנה הפצצה Little Boy, ציינו את עקרון פעולתה והוסיפו איור.
- ו. תארו את מבנה הפצצה Fat Man, ציינו את עקרון פעולתה והוסיפו איור.
3. הסבירו את תהליך המיזוג הגרעיני, בלוויית איור.
 - א. תארו את מבנה פצצת המימן, ציינו את עקרון פעולתה והוסיפו איור.
 - ב. הסבירו את עקרון פעולתה של פצצת הניטרון.
4. גלשו באתר <http://www.csi.ad.jp/ABOMB/data.html> והשיבו על השאלות הבאות:
 - א. מהי כמות האנרגיה שמשחררת בפיצוץ גרעיני ואיך היא מתפזרת?
 - ב. מהי הטמפרטורה במרכז הפיצוץ?
 - ג. אילו סוגי קרינה נפלטים בזמן פיצוץ גרעיני? פרטו והסבירו.
 - ד. מה היה מספר ההרוגים בהירושימה?
5. גלשו באתר <http://www.ort.org.il/year/hiro/hiro1.htm> של רשת אורט (בעברית). באתר מסופר על הטלת הפצצה האטומית בהירושימה ועל נזקיה, ויש קישורים לאתרים נוספים.
6. לאחר שלמדתם וחקרתם את נושא פצצות הגרעין, חוו דעתכם באשר לשימוש בנשק גרעיני. ציינו היבטים חברתיים, כלכליים וטכנולוגיים.

המלצה חמה:

מומלץ ביותר לקרוא את הספר *שבעתיים כאור החמה*, מאת רוברט יונק. זהו ספר קריאה המתאר את פרויקט הפיתוח של פצצת האטום, פרויקט מנהטן.



נלקח מאתר האינטרנט של הספר:
"כימיה ללא הפסקה",
אריאלה וינר וחיה פרומר
המרכז להוראת המדעים,
האוניברסיטה העברית בירושלים
בפרק 3 מופיעה משימה:
הדילמה המוסרית - שימוש בנשק גרעיני
<http://chemtech.huji.ac.il>

הטיפול בנשורת גרעינית ובפסולת גרעינית

קרינה רדיואקטיבית נמצאת בכל מקום בסביבתנו, אפילו בתוך גופנו.
את הקרינה שלה אנו חשופים כיום ניתן לסווג ל-:

א. קרינה ממקורות טבעיים;

ב. קרינה ממקורות מעשה ידי אדם.

1. בררו לעצמכם מהם מקורות הקרינה בחיים המודרניים.

2. בררו לעצמכם מהם מקורות הקרינה הטבעיים ומהם מקורות הקרינה מעשה ידי אדם.

3. מה עלינו לעשות כדי להימנע מנזקי קרינה (ממקורות טבעיים ומלאכותיים)?

עיינו באתרים:

<http://www.uic.com.au/ral.htm>

<http://www.nei.org/scienceclub/nuclearworld.html>

<http://www.uic.com.au/ral.htm>

4. מהי נשורת גרעינית (nuclear fallout)?

<http://www.infoplease.com/ce6/sci/A0818205.html>

בתחנות כוח גרעיניות משתמשים באורניום כחומר דלק גרעיני. כדי להבין את האמצעים

הננקטים לטיפול בפסולת גרעינית, עלינו להבין תחילה את הדרך שעושה הדלק הגרעיני ממקום

כרייתו מן האדמה ועד לטיפול בשאריות.

5. בררו לעצמכם את המסלול ואת השלבים שבהם נוצרת פסולת.

אתר: <http://www.uic.com.au/nfc.htm>

התבוננו בתרשים של "מעגל הדלק הגרעיני" באתר שכתובתו:

<http://www.uic.com.au/graphics/nfc1-3.gif>

ובררו לעצמכם:

6. מהם אמצעי הזהירות הננקטים בכל אחד מן השלבים.

7. האם אפשר למחזר פסולת גרעינית?

8. כיצד נמנעת דליפת קרינה מן הכור הגרעיני עצמו?

היעזרו באתר <http://www.nei.org/scienceclub/nuclearworld.html>

בסעיף What makes Nuclear Plants safe?

ומה עם הפסולת שאינה ממוחזרת?

את הפסולת הנוצרת בשימוש בטכנולוגיות גרעין (בתחנות כוח גרעיניות, ברפואה, בתעשייה, בחקלאות) מחלקים ל-:

א. פסולת רדיואקטיבית ברמה נמוכה;

ב. פסולת רדיואקטיבית ברמה גבוהה.

9. בררו לעצמכם את המאפיינים של כל קבוצה.

10. כיצד מטופלת הפסולת בכל קבוצה?

11. ממה נובעים ההבדלים באופן הטיפול (רמת קרינה, סיכון, וכו')?

היעזרו באתר:

<http://www.uic.com.au/wast.htm>

ראו גם אתר בעברית של אוניברסיטת בן גוריון נהלים לטיפול בפסולת שמקורה במחקר.

<http://www.bgu.ac.il/radiation/tutor/p15.htm>

12. תארו את שלבי הטיפול בפסולת וכיצד מבטיחים שלא יוחזרו חומרים רדיואקטיביים

לסביבה.

העזרו באתר:

<http://www.uic.com.au/wast.htm>

13. מהו שלב ה-vitrification? מדוע מצפים את מוטות האורניום בזכוכית דווקא?

14. מדוע קוברים את הפסולת במכלי עופרת?

היעזרו באתר <http://www.uic.com.au/ra1.htm>

ראו תיאור גרפי http://www.ccnr.org/decay_U238.html

15. לאחר כל הברורים שערכתם ולאור כל הידע שרכשתם, האם אתם מרוצים מאמצעי

הזהירות והבטיחות?

ערכו רשימה של יתרונות וחסרונות של השיטות הקיימות היום וסכמו את המלצותיכם במוצר הסופי.

לסיכום: נשמח לקבל משוב ממורים שהעבירו את הפעילות בכיתותיהם.

כתובת ליצירת קשר devries@inter.net.il.

מקורות:

1. אולמר, י. "הגדרה של Webquest"

<http://www.amalnet.k12.il/sites/hadshanut/shitotho/had00119.htm>

2. סלנט, ע. "Webquest המסע הוירטואלי – עוגן דידקטי למידענות חוקרת"

<http://www.amalnet.k12.il/sites/hadshanut/shitotho/had00111.htm>

3. סלנט, ע. "דגמים של Webquest"

<http://www.amalnet.k12.il/sites/hadshanut/shitotho/had00132.htm>

4. March, T. (1998) "Webquests for Learning , Why Webquests, an Introduction".

<http://www.ozline.com/webquests/intro.html>

5. אתרים להדרכה בכתיבה

<http://edweb.sdsu.edu/webquest>

<http://www.ozline.com/webquests>

פרויקט "תמיד" מיסודה של האוניברסיטה הפתוחה, הנו פרויקט לקידום הלימוד המתקשב בניהולה של ד"ר דפנה רביב. הפרויקט מנהל השתלמויות למורים, בהן משולבות למידה ממרחק עם פגישות פנים אל פנים. ההשתלמויות מונחות ע"י מנחים, מרביתם מורים בפועל, והם ברי סמכא בתחום הדעת שלהם.

ההשתלמויות כוללות: רכישת מיומנויות עבודה ברשת, קבוצות דיון, הצגת אסטרטגיות למידה מתקשבת, ובחלקן גם הרצאות ולמידה עיונית. תחומי הדעת כללו (עד כה) מדעים (כימיה, פיסיקה, מדעי החיים, ביוטכנולוגיה, ואסטרונומיה) ואזרחות. במסגרת ההשתלמות, מתבקשים המשתתפים להכין פעילות מתקשבת כמטלות סיכום, המצטרפת למאגר פעילויות העומד לרשות ציבור המורים כולו.

כותבות עבודה זו, ממליצות בחם על השתלמויות הפרויקט, ככלי נפלא לגוון ולהגברת המוטיבציה בקרב תלמידים ומורים.

סיור למורי הכימיה - אמניר תעשיות מיחזור, מפעלי נייר חדרה והמכון לטיהור שפכים של מפעלי נייר חדרה



שרה שני וד"ר מירי קסנר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

תודה לגב' אורית הולצר, יחסי ציבור ודוברות, אמניר תעשיות מיחזור על אירגון הסיור ועל הסיוע בכתיבת המאמר

כמות הפסולת ונפחה הן מהבעיות הסביבתיות הקשות ביותר שעמן מתמודד העולם המערבי, ובכללו גם מדינת ישראל. ישראל מייצרת כ- 4.5 מיליון טון אשפה בשנה, והכמות גדלה כל שנה ב- 4%. כיום, רובה המכריע של האשפה מטופלת באמצעות קבורה במטמנות. שיטה זו גורמת לתפיסת עתודות קרקע ולמפגעים סביבתיים, שעיקרם זיהום מי-תהום, מפגעי ריחות ועשן וריבוי חרקים ומכרסמים מזיקים.

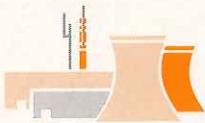
למען שיפור איכות הסביבה, הן בהווה והן בעבור הדורות הבאים, רצוי מאוד להפחית את כמות הפסולת המיועדת להטמנה. אחת השיטות היעילות והטובות לכך היא מיחזור. לא כל סוגי הפסולת ניתנים למיחזור, אולם חלק גדול של פסולת הנייר, הפלסטיק והמתכת ניתן למיחזור. כדי ללמוד מקרוב על הנושא, ארגן המרכז לקשר בין התעשייה הכימית למערכת החינוך, הפועל במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, סיור לימודי למורי כימיה. הסיור נערך במפעלי נייר חדרה, המייצרים סוגי נייר וקרטון שונים, ובאמניר תעשיות מיחזור, הממחזרים פסולת של נייר, קרטון וסוגי פלסטיק מסוימים. הסיור התקיים באסרו חג סוכות, והשתתפו בו מורים שגילו עניין בנושא.

שתי החברות הן חברות-בנות של מפעלי נייר אמריקאיים ישראלים בע"מ (מנא). חלק גדול מחומר הגלם למפעלי הנייר ולחברת חוגלה-קימברלי, שגם היא חברה-בת של מנא בע"מ, מספקת חברת אמניר.

במהלך הסיור במתקנים קיבלו המורים הסברים מנציגי המפעלים והאזינו לשתי הרצאות: בנושא מיחזור מפי מר דוד פחימה, מנהל השיווק של אמניר, ובנושא טיהור שפכים מפי מר נתן שטל, מנהל המכון לטיהור מים. להלן מידע קצר על המפעלים, תמצית הנושאים שבהם התמקדנו ביום העיון ותמונות שצילמנו בשטח.

תמונה 1: בכניסה למפעל אמניר תעשיות מיחזור





אמניר תעשיות מיחזור

מפעל הפלסטיק

כמות החומרים הפלסטיים הממוחזרת במפעל היא כ- 6000-6500 טון בשנה. כמות זו מהווה רק כחצי אחוז מפסולת הפלסטיק המושלכת בארץ (באירופה ממחזרים 20%). חשוב מאד למחזר מוצרי פלסטיק, מכיוון שהשאריות והפסולת תופסות נפח גדול מאוד ביחס למשקלן. כמו כן, מרבית מוצרי הפלסטיק אינם מתכלים ולכן מהווים מטרד אקולוגי חמור.

באמניר ממחזרים רק פלסטיק מסוג פוליאולפינים (פוליאאתילן, פוליפרופילן, פוליסטירן). לפעמים מערבבים מוצרי פלסטיק שונים כדי לקבל חומר גלם חדש בעל תכונות נדרשות. בדרך-כלל משתדלים למיין ולהפריד בין חומרים בעלי צבעים שונים. מיון זה נעשה באופן ידני.

מחצית מכמות הפלסטיק הממוחזרת במפעל היא חומרים שלפני צריכה-שאריות ממפעלי פלסטיק ומוצרי אריזה של מפעלים שונים: יריעות, צינורות וכדומה. המחצית האחרת היא חומרי פלסטיק אחרי צריכה, דוגמת יריעות של חממות ושאריות ממפעלים תעשייתיים.

תהליך המיחזור במפעל הפלסטיק

מתבצע ב- 4 שלבים עיקריים:

1. גריסה,

2. שטיפה,

3. ייבוש,

4. שיחול - היתוך חלקי (בטמפרטורה של כ- 160-200 מעלות צלסיוס) וסינון דרך מתקן שיחול - (אקסטרודר), הדומה למטחנת בשר.

מפסולת זו מייצרים באמניר חומרי גלם הנמכרים בצורת גרגרים לתעשיית הפלסטיק, וזו מייצרת מהם מוצרים שונים כגון יריעות, צנרת ומוצרים נוספים בשיטת ההזרקה. מי השטיפה המשמשים בתהליך מיחזור הפלסטיק מוזרמים למכון הטיהור, ולאחר ניקוי הם משמשים בחקלאות.

מיחזור פסולת נייר וקרטון

חברת אמניר פוקדת, מדי חודש בחודשו, כ- 30,000 נקודות איסוף בכל רחבי הארץ. האיסוף מתבצע באמצעים שונים, כמו מכולות, דחסניות, כלובי איסוף של קרטון ונייר, מתקני שק וקרטוניות להפרדת נייר במשרדים.

במפעל אמניר בחדרה ארבעה אזורים שונים:

מיון - פסולת הנייר, בהגיעה למפעל, עוברת מיון ידני וחלוקה לאיכויות שונות. לאחר המיון, הנייר מועבר במסוע למכש גדול שדוחס את הנייר ל"בלות", שהן חבילות במשקל של כ- 600 ק"ג. הבלות מועברות למנאי ומשמשות כחומר גלם לייצור נייר.

ניצול שאריות נייר - פסולת נייר באיכות טובה, בעיקר סופי גלילים של נייר עיתון, עוברת תהליכי חיתוך ואריזה, על פי דרישת לקוחות, למטרות ספציפיות. נייר זה אינו עובר כל תהליך עיבוד כימי.

אבטחת מידע - אמניר נותנת פתרונות ייחודיים להשמדת מידע ולטיפול בחומר מסווג. יש לאמניר מגרסות ניידות, הגורסות נייר בבית הלקוח, או, לחלופין, הנייר מרוכז אצל הלקוח בתנאים מיוחדים, ומועבר ברכב מוגן למפעל בחדרה. במפעל מצויה מגרסה רבת עוצמה הגורסת, מלבד נייר, גם מוצרים אחרים, כגון מדיומים מגנטיים, ואפילו מוצרים שונים שנתפסו על - ידי המכס ויועדו להשמדה.

מחסן מרכזי - אזור האחסון של הבלות נראה קצת סוריאליסטי. אתה מטייל בין חבילות ענקיות של פסולת נייר ופלסטיק כבושים ודחוסים. בלות הנייר מועברות, כאמור, למנאי לשם ייצור נייר חדש, ואילו בלות הפלסטיק נכנסות לתהליך ייצור של חומר גלם לתעשיית הפלסטיק.



תמונה 2: באזור אחסון "בלות" נייר

מפעלי נייר חדרה - מנאי

תהליך ייצור הנייר במפעלי נייר חדרה

התהליך הוא רציף ומתבצע בכמה שלבים:

1. פסולת הנייר מועברת, בתוספת כמות גדולה של מים, לעיבוד לעיסת סיבים.
2. עיסת הסיבים עוברת ניקוי (באמצעות שטיפה במים וסינון) וערבוב.
3. הסיבים עוברים תהליך של טחינה במתקן דומה למכונת בשר; החומר עובר דרך שורה של דיסקיות מחוררות, שחוריהן הולכים וקטנים).

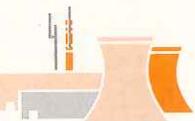
4. פיזור עיסת סיבים מהולה על רשת/ות ליצירת שכבה אחידה של סיבים וניקוז חלקי של מי עיסת הסיבים.
5. כבישת רשת הסיבים הרטובה (עדיין מכילה כ-75% מים) במכבש גלילים כבדים. גיליון הנייר עובר בין הגלילים יחד עם לבד. הלבד קולט את מי הסחיטה וכך מייבש את הנייר לרמה של כ-55%-60 מים.
6. ייבוש הנייר על ידי אידוי מים לרמת היובש הרצויה (4%-10).
7. ציפוי קל של הנייר בחומרים המקנים לו "תכונות שטח" רצויות - מריקה.
8. פעולות גימור שונות בהתאם לסוג הנייר (דחיסה, החלקה, קילוף וכד'); ביקורת טיב.
9. גלילת הנייר, חיתוך ואריזה לצורך שינוע ללקוחות, או להמשך טיפול בתהליכי גימור נוספים (מגללה).

הערות:

1. נייר יבש מתפורר, ולכן לא מייבשים לגמרי את העיסה, אלא משאירים אחוז נמוך של לחות.
 2. לעיסת הסיבים מוסיפים, לפי הצורך, נתרן היפוכלורייט ואמון ברומי להלבנה; עמילן ו/או גיר ו/או אלומיניום גופרתי למילוי ולהקניית חוזק.
 3. שינויים באורך הסיבים, בסוג התוספים ובכמותם מייצרים סוגים שונים של נייר. בדרך כלל, מערבבים סיבים באורכים שונים: סיבים ארוכים להקניית חוזק לנייר וסיבים קצרים למילוי ולאטימה.
 4. ייבוש הנייר מבוצע, בדרך כלל, תוך שימוש בקיטור.
- בתהליכי המיחזור וייצור הנייר משתמשים בכמויות גדולות מאוד של מים. רוב המים מטוהרים ומוחזרים לשימוש נוסף כדי למנוע בזבוז. התהליך מלווה בדיקות איכות של חוזק, אטימות וכד'.

מוצרים של מפעלי נייר חדרה

- במפעלי נייר מייצרים סוגים שונים של נייר הנבדלים בהרכבם, באיכותם ובשימושיהם:
1. נייר לבן - מיוצר מ-100% תאית "בתולית" תאית שהופקה ישירות מעצים. נייר זה הוא היפה והאיכותי ביותר.
 2. נייר אריזה חום ממוחזר - נייר המופק מסוגי פסולת שונים המובאים, באמצעות אמנר, ממפעלי תעשייה, מסופרמרקטים ומפסולת ביתית. איכותו נמוכה יותר, כמובן.
 3. מוצרים ביתיים - נייר טואלט, נייר טישו וכד', המיוצרים מפסולת נייר באיכות גבוהה.



מכון לטיהור שפכים של מפעלי נייר חדרה

כאמור, בתהליכי המיחזור והייצור של נייר משתמשים בכמויות עצומות של מים. לייצור קילוגרם אחד של נייר צריך כ- 300 ליטר מים. כדי לחסוך במים, מסחררים אותם (משיבים אותם לתהליך לשימוש חוזר) כ- 20 מחזורים. הודות לכך, כמות המים המשמשת בפועל לייצור קילוגרם אחד של נייר היא 10 ליטר בלבד.

המים המסוחררים במפעל מועברים, בסופו של דבר, למפעל לטיהור שפכים. המים מכילים חומר אורגני שמתפרק באמצעים ביולוגיים (בתמיסה ובתרחיף) וחומר אורגני לא פריק (בתמיסה ובתרחיף). באתר מבצעים טיפול ביולוגי באמצעות בוצה משופעלת המכילה חיידקים אירוביים (צורכי חמצן). כ- 80% מהחומר האורגני שבשפכים מנצלים החיידקים להתרבות, וכתוצאה מכך חל גידול בביומסה. כ- 20% מהחומר האורגני משמש את החיידקים כמקור אנרגיה למטבוליזם שלהם. כדי לשפר את פעילות הבוצה, דואגים לערבול טוב של התערובת. ההפרדה נעשית בשיטה גרביטציונית: החיידקים מتركזים בתלכידים ושוקעים והמים המטוהרים נמצאים בשכבה העליונה. המים המטוהרים משמשים בחקלאות.



תמונה 3: מכון טיהור המים של מפעלי נייר חדרה

לקריאה נוספת על טיהור שפכים אורגניים:

לא על הברום לבדו, מים המלח לחומרים בשרות האדם, מאת מירי קסנר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע (1999). עמ' 141-138. רקע תיאורטי.

המפעל לטיפול ביולוגי בפסולת תעשייתית אורגנית ברמת חובב, מאת מירי קסנר, קשר לתעשייה הכימית, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע. עלון מס' 6 (1999). עמ' 12-14. חומר נוסף תוכלו למצוא באתר האינטרנט של המועצה האזורית רמת חובב, שכתובתה:

<http://www.ramat-hovav.muni.il/>

<http://www.ramat-hovav.muni.il/environmenth/sewage.htm#biology>

במקום:

מומלץ לגלוש באתרי האינטרנט של המפעלים:

מפעלי נייר אמריקאיים ישראלים בע"מ מנאי

<http://www.aipm.co.il/>

אמניר תעשיות מיחזור

<http://www.amnir.co.il/>

אתר אינטרנט נוסף הוא של חברת אביב פלסטיק למיחזור בקבוקי משקאות מפלסטיק (PET)

<http://www.avivplastic.com>



תיקונים לגיליון מס' 1

לצערנו, הופיעו בגיליון ספטמבר 2001 כמה שגיאות בכתבה: שלוש הנשים היחידות זוכות פרס נובל לכימיה.

1. התמונות ששולבו בטקסט הופיע בסדר לא נכון. יש להחליף את התמונה הראשונה בתמונה האחרונה. מארי קירי מופיעה בתמונה מספר 3 ודורותי הודג'קין בתמונה מס' 1.
2. רישום המקורות לא מסודר ומופיע באופן לא נכון, צריך להיות כך:

מקורות:

1. Wolke, R. L. (1988). Marie Curie Doctoral Thesis: Prelude to a Nobel Prize. Journal of Chemical Education, 65, 7, 561-573.

<http://almaz.com/nobel/women.html> 2.

<http://curie.che.virginia.edu/scientist/hodgkin.html>

3. מתחת לשם המאמר צריך היה להיות רשום:

ד"ר אושרית נבון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

מדוע ניתן לקלף בצל מתחת למים זורמים או לקלף בצל קר שזה עתה הוצא מהמקרר - מבלי לבכות?



המים הזורמים שוטפים את הסולפאוקסיד

וגם מפרקים אותו לפי הנוסחה לעיל.

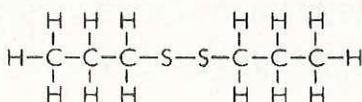
בבצל קר, התהליך האנזימי לפירוק

הסולפאוקסיד איטי מאוד, ועל כן ריכוז החומר המדמיע באוויר קטן מאוד.

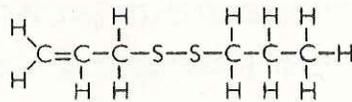
ומנין ריח הבצל?

כמה מולקולות אחראיות לריח. כאשר טיפלו בבצל באדי מים, זיהו את המולקולות שנתנו את ריח

הבצל המבושל כמולקולות של די-סולפידים.



די פרופיל - די סולפיד



אליל - פרופיל די סולפיד

מה טעם מצא הטבע להכניס מולקולות אלה לבצל?

לחלק מתרכובות אלה יש תכונות אנטיביוטיות ואנטיפונגליות (נגד פטריות) המגינות על הבצל מריקבון,

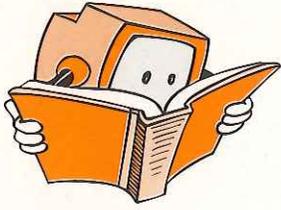
שהרי מהו הריקבון אם לא תהליך פירוק על-ידי חיידקים או פטריות. החומרים המגרים מוציאים

מאכלנים למיניהם את החשק לאכול בצל.

תרכובות דומות יש גם בשום.

הערה: סיפרה לי חברתי חנאן, שבשמש היא יכולה לקלף הרבה מאוד בצלים בלי לבכות, אבל קילוף

בצל אחד בתוך הבית גורם לה לשטף של דמעות.



אתר אינטרנט לשירותך

לשמחתנו הרבה, קיים באינטרנט עוד אתר נפלא, כחול לבן:

אתר הכימיה של מורי ירושלים

אילנה זהר, מדריכה לכימיה במה"ד ובמחוז ירושלים

אתר הכימיה של המורים באזור ירושלים נמצא בתוך האתר של מרכז ההדרכה של עיריית ירושלים. באתר יש חומרים שכתבו מורים במסגרת עבודתם בבית הספר, או בהשתלמויות שהתקיימו במה"ד (מרכז ההדרכה). בין החומרים - מגוון של מצגות, P.P. (PowerPoint), תרגילים ב-Excel ומסמכי Word. אתם מוזמנים להוריד, ללא תשלום, כל אחד מהחומרים ולהשתמש בהם כראות עיניכם. את החומרים ניתן להוריד בקלות, לשנותם ולהתאימם לאוכלוסיות יעד שונות.

האתר אינטראקטיבי, והחומרים עוברים מדי פעם עדכונים והתאמה בעקבות הערות מורים ושינויים בתכנית הלימודים. אפשר לעקוב אחר העדכונים באמצעות תאריכי העדכון המופיעים ליד כל מסמך. מצגות ה-P.P. שבאתר מכילות תקצירים וסיכומים בכל נושאי הלימוד. משולבים בהן תרגילים, תמונות ומודלים שונים, ופה ושם גם קישורים לאתרים נוספים. אפשר ליצור מהן שקפים ולהפנות אליהן תלמידים, לחזרה על החומר או ללימוד עצמי. אפשר גם להדפיס אותן (6 שקופיות בעמוד) ולחלק לתלמידים כדפי סיכום.

חומרי הלימוד שבאתר לא עברו עריכה מדעית או לשונית, אך עברו תיקונים בעקבות הערות של מורים. אנו ממליצים למורים להתייחס לחומרים בביקורתיות, וכן להתאימם לרצף ההוראה שבו בחרו ללמד ולרמת התלמידים.

האתר מכיל גם קישורים לאתרים נוספים, קבצי תרגילים, פתרונות ועוד. לאחרונה, נוסף לאתר מדור המתייחס לתכנית הלימודים החדשה (ת"ל חדשה). מדור זה כולל את הסילבוס החדש ל-3 יחידות לימוד, הבהרות לסילבוס ובחינות בגרות של השנים האחרונות, משוכתבות בהתאם לתכנית הלימודים החדשה. ההבהרות, ההתאמה והשכתוב נכתבו על-ידי צוות המדריכים לכימיה והמפמ"ר, ד"ר ניצה ברנע. במהלך התקופה הקרובה יעודכנו בהדרגה, בהתאם לתכנית הלימודים החדשה, גם חומרי הלימוד האחרים שבאתר.



כתובת אתר המה"ד בירושלים: - <http://mahad.jerusalem.muni.il>

הכניסה לאתר הכימיה - דרך היחידה למדעים וטכנולוגיה/חומרי למידה.

❖ לאתר של יהושע סיון כתובת חדשה: <http://www.tcz.co.il/chimnew1/>

מתי כבר נאכל נקניקיות דלות קלוריות טעימות?

האם הקדשתם זמן ומחשבה לשאלה החשובה והקריטית: "מדוע נקניקיות דלות שומן טעימות פחות מנקניקיות רגילות"? הבעיה איננה בבלוטות הטעם, כנראה, אלא בחוש הריח דווקא. כך פורסם במאמר שהופיע בעיתון "Journal of Agricultural and food chemistry". חוקרים מצפון אירלנד מצאו, שהמולקולות הנדיפות האחראיות לארומה, ובדרך זו גם משפיעות על הטעם, נשארות זמן קצר יותר בנקניקיות דלות שומן. נראה שהחלבונים בנקניקיות עתירות שומן משמשים כ"מאגר" לחומרי טעם וריח, והאחרונים משתחררים באיטיות בזמן האכילה. בנקניקיות דלות שומן מול היתרון של "אין שומן" ניצב החסרון של "אין מי שישמור על הריח". ריחות נוספים התגלו בנקניקיות דלות השומן:



ריחות מעושנים הנובעים מפנולים, ריחות חריפים וסינתטיים של פריחה בגלל סרפנים, ריחות של צלי המגיעים מתרכובות הטרוציקליות מצופות גופרית. עכשיו מתמקדים במחקר שמטרתו לשמור על כל חומרי הריח בנקניקיות דלות שומן, בכדי שיתנדפו לאט יותר. אם יצליחו, בקרוב נוכל לאכול נקניקיות, ליהנות מהטעם ולא להיבהל מהקלוריות. כשאתם נהנים מהריח של הנקניקיות, חשבו גם על כל הכימיקלים המוכנסים לגופכם. בתיאבון!



קוראים כותבים

שלום דליה!

ברצוני להשתמש בעיתון שמגיע אל כל מורי הכימיה כדי להמליץ על משחקים מצוינים שגיליתי. ד"ר ורה מנדלר ז"ל ורחל קירה הכינו מבחר משחקים שנועדו לתלמידי החטיבה העליונה, ביניהם משחקי דומינו חמצון-חיזור, דומינו חלקיקים, בינגו מערכה מחזורית ואחרים. השתמשתי במשחקים אלה בסיום הפרקים חמצון-חיזור וסטוכיומטריה בכיתה י"א ומערכה מחזורית בכיתה י'. באמצעותם חזרתי על החומר בדרך מהנה וחויייתית. התלמידים שיתפו פעולה, עבדו בקבוצות, חזרו על החומר, לעתים גילו דברים חדשים והעיקר - נהנו מאוד. במקרה של חילוקי דעות, התלמידים פנו אלי. בסוף כל משחק קיבלו ממני הזוכים פרס (סוכרייה על מקל, מדליית שוקולד). לדעתי, משחקים אלה מהווים אמצעי מצוין לגיוון דרכי ההוראה וליציאה משגרת ההוראה החזיתית. אני ממליצה עליהם בחום. לפרטים, יש לפנות לרחל קירה בטלפון: 03-9640914.

בכבוד רב,

אורית מולוידזון

כל ההודעות הן באחריות הכותבים בלבד.

לכל מורי הכימיה שלום רב !

לקראת שנת הלימודים תשס"ג ייצאו לאור שתי סבניות המפותחות במכון ויצמן לתלמידי כיתה י' במסגרת התוכנית "כימיה 2000"

סבנית הגרעין "כימיה במנהרת הזמן" תצא לאור כבר לקראת תחילת שנת הלימודים. סבנית הבחירה "כימיה והחיים" תצא לאור לקראת חנוכה. יחד אתה יצאו לאור גם מדריכים למורה לשתי הסבניות.

כימיה במנהרת הזמן

צוות המפתחים: רחל ממלוק-נעמן, רות בן-צבי, תמי לוי-נחום, נאוה מילנר, דבורה קצביץ, דינה רפפורט ושרה שני.

"כימיה במנהרת הזמן", סבנית בנושא התפתחות הכימיה, משלבת עקרונות מדעיים, הסטוריים ופילוסופיים יחד עם רלוונטיות לחיי היום-יום. תוכנית זו מהווה בסיס לחשיבה מדעית והעשרה לתלמיד החושב. מחד-גיסא מעודדת התוכנית עבודה לקראת מצוינות, ומאידך-גיסא התייחסות גם לתלמיד הממוצע. הניסויים מלווים בשאלות לדיון המכימות את התלמידים לחשיבת חקר. התוכנית משולבת בפעילויות מחשב ברשת ומלווה בלומדה "מחפשי הזהב" שפותחה על-ידי ד"ר רות בן-צבי.

כימיה והחיים

צוות המפתחים: מיכל צלטנר, נעמי ארנסט ושלי ליבנה

"כימיה והחיים" מתרכזת בתהליכים הכימיים ביצורים חיים ומדגישה את תרומות הפחמן, שעליהן מבוסס עולם החי, מעברי אנרגיה הדרושים לקיום החיים, ורמת ארגון הגבוהה בעולם החי.

לקבלת מידע נוסף ניתן להתקשר אל ד"ר רחל ממלוק-נעמן 08-9342446
וד"ר מיכל צלטנר 08-9342446



כל ההודעות הן באחריות הכותבים בלבד.

למורים לכימיה

הדרך הקלה והטובה ללימוד הכימיה
מאת ד"ר עמנואל מנזרולה בהוצאת קווים בע"מ

● סדרת ספרים בכימיה לבתי הספר התיכוניים



הסדרה כוללת שלושה כרכים א', ב', ג',
חוברת נתונים ומדריך למורה.
הספרים מאושרים ע"י משרד החינוך
(אישור מס' 4010 מיום 18.6.96)
וכוללים את חומר הלימוד הנדרש
ללימוד ברמות של 3 יח' - 5 יח'.
הספרים כתובים בבהירות קלים ונוחים למורים ולתלמידים.



● סדרת ספרי כימיה למכללות טכנולוגיות אקדמאיות ולאוניברסיטאות.

עקרונות הכימיה כרך א', כרך ב', חוברת נתונים.
כימיה אנליטית
יסודות הכימיה

להזמנות: קווים בע"מ סמילנסקי 38 ת"ד 744 באר-שבע, מיקוד 84106
טלפון: 08-6275588, פקס: 08-6279465 e-mail: Kavim@shani/net