

ניסוי בחלל - "הגן הכימי"

דליה צ'שנובסקי*



ב-16 בינואר 2003, ניתן האות לאסטרונאוט הישראלי הראשון אל"מ אילן רמון להתחלת הניסוי "הגן הכימי": "הפעל ניסוי - בהצלחה"

הכימי". בנוסף נתונות הפניות לאתרים רבים שבהם מידע אודות מעבורת החלל והניסויים, אודות אילן רמון וצוות המעבורת זכרם לברכה ואודות ישראל בחלל.

הפעילות "ניסוי בחלל - הגן הכימי" מוצגת באתר הלימודי של מכון ויצמן "כימיה ותעשייה כימית בשירות האדם"

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/learnchem/attachedfiles/chemicalgard.doc>

ובאתר המרכז הארצי למורי הכימיה, המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/center/homer%20morin/ganchemi.doc>

הפעילות המתקשבת "ניסוי בחלל - הגן הכימי" משולבת בכיתות עם ניסוי במעבדה לכימיה. בכל פעילות משתתפת קבוצה של כעשרים תלמידים. השיעור נפתח בעריכת הניסוי "הגן הכימי". הניסוי יפה ומרשים. אני מספרת לתלמידים על ביצוע הניסוי במעבורת החלל "קולומביה" ומבקשת מהם להעלות שאלות שמתעוררות בעקבות הניסוי. שאלותיהם מתייחסות הן לניסוי במעבדה והן לניסוי שבוצע במעבורת החלל. בהמשך השיעור עוסקים התלמידים בפעילות המתקשבת "ניסוי בחלל - הגן הכימי" במעבדת המחשבים. לאחר שהם עונים על שאלות הסיכום נערך דיון. כשיעורי- בית התלמידים מתבקשים לצפות במספר אתרים, שכתובותיהם נתונות בפעילות. התלמידים מגלים עניין רב ונהנים מאוד מהניסוי ומהפעילות המתקשבת.

מאמר זה דן בפעילות המתקשבת "ניסוי בחלל - הגן הכימי", שפתחתי בשנת הלימודים תשס"ג.

בשנה זו נפתחה תכנית הניסוי של המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע "שילוב סביבה לימודית מתקשבת בהוראת הכימיה"**. ושיתפתי בה את תלמידי בכיתות י' ו"א במשך שנתיים. במסגרת זו הוספתי לעבודה המתקשבת בשיעורי הכימיה גם פעילויות בנושאי כימיה בחיי היומיום ובתעשייה מהאתר הלימודי "כימיה ותעשייה כימית בשירות האדם"***. חלק מהפעילויות שולבו כפתיחה לנושא הנלמד, חלקן במהלך הלימוד וחלקן בסיומו. תהליך הלמידה מבוסס על מעורבות פעילה של התלמידים. על-סמך שאלוני משוב שמולאו על-ידי התלמידים וריאיונות עמם, ניתן לקבוע כי הוראה מתקשבת מגוונת את הלימודים ותורמת להבנת הנושאים הנלמדים ולהעמקת הידע. היא גם תורמת לעניין, להנאה ולמוטיבציה של התלמידים בלימודי הכימיה.

הפעילות "ניסוי בחלל - הגן הכימי" מתארת את ניסוי "הגן הכימי", שהוצע על-ידי קבוצת תלמידים בישראל ושבוצע על-ידי אל"מ אילן רמון ז"ל במעבורת החלל "קולומביה" בשנת 2003. הפעילות מציגה את מטרת הניסוי ואת השוואת תוצאות הניסוי בסביבה של כבידה זעירה לתוצאות שהתקבלו על-פני כדור הארץ. באתר מוצגים צילומים שהגיעו לנאס"א ממעבורת החלל, לפני התרסקותה במהלך כניסתה לאטמוספירה. בפעילות נתונות גם שאלות לסיכום והנחיות לביצוע הניסוי "הגן

* ד"ר דליה צ'שנובסקי, רכזת כימיה בתיכון אוסטרובסקי ברעננה.

** מחקר בתכנית הניסוי נערך במסגרת עבודת הדוקטורט של מרסל פרייליך בהנחיית פרופ' אבי הופשטיין וד"ר מירי קסנר.

*** האתר הלימודי בכימיה פותח בקבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

ניסוי "הגן הכימי"

כלים וחומרים

ארלנמייר או כוס כימית בנפח 600 מיליליטר, 7 כפיות או ספטולות, מקל זכוכית, "מי זכוכית" (תמיסה מימית של נתרן סיליקט, Na_2SiO_3), מספר גבישים של החומרים הבאים:
סידן כלורי, CaCl_2 , נחושת כלורית, CuCl_2 , ברזל תלת-כלורי, FeCl_3 , קובלט כלורי, CoCl_2 , מנגן כלורי, MnCl_2 , ברזל דו-כלורי, FeCl_2 , וניקל כלורי, NiCl_2 .
אזהרה: התרכובות קובלט כלורי, CoCl_2 , וניקל כלורי, NiCl_2 , מותרות לשימוש להדגמת המורים בלבד. המורים יכניסו גבישים של תרכובות אלה לכלי המכיל "מי זכוכית".
הערה: ניתן להכניס גם גבישים של מלחים המכילים יוני NO_3^- ויוני SO_4^{2-} .

מהלך הניסוי

הכניסו בזהירות, לכלי המכיל "מי זכוכית", מספר גבישים קטנים, לפי בחירתכם, של חלק מהחומרים היוניים הבאים: NiCl_2 , CaCl_2 , CuCl_2 , FeCl_3 , CoCl_2 , MnCl_2 , FeCl_2 .
אם הגבישים אינם שוקעים, דחפו אותם בעזרת מקל זכוכית. הניחו את הכלי והקפידו שלא לטלטלו.

תצפיות וסיכום

- רשמו את תצפיותיכם במשך כ-15 דקות. התייחסו לצבע, גודל, צורה ולהופעת בועות גז זעירות בקצות הענפים.
- רשמו שאלות המתעוררות בעקבות הניסוי.
- דונו בתוצאות הניסוי ובמסקנותיו.

סידן כלורי, CaCl_2 , וקובלט כלורי, CoCl_2 , לתוך תמיסת "מי זכוכית" והתגובה הכימית בין המלחים לבין "מי הזכוכית" החלה.

הניסוי "גן כימי" תוכנן על ידי קבוצה של 35 תלמידים עוד בהיותם תלמידי חט"ב אורט מוצקין בראשות מורתם לפיזיקה ד"ר אמירה בירנבאום (דוקטור לכימיה) ובהנחיית פרופ' אלי קולודני מן הפקולטה לכימיה בטכניון, האחראי המדעי על הניסוי. הפרויקט נוהל ע"י פרופ' יגאל קומם ופרופ' משה גלמן מהטכניון בשיתוף המנהל למדע ולטכנולוגיה במשרד החינוך וסוכנות החלל הישראלית בראשות אבי הר-אבן. חברת "Spacehab" האמריקנית הבונה את תאי המטען למעבורת, ניהלה את הפרויקט (STARS) בארה"ב ובנתה את תא הגידול לניסוי.

"הגן הכימי" נבחר לייצג את ישראל בעקבות תחרות של רעיונות מקוריים ומעניינים לניסויים בחלל בתחומי כימיה, פיזיקה וביולוגיה. ניסוי זה היה אחד מלמעלה משמונים

ניתן לבצע את ניסוי "הגן הכימי" כניסוי חקר.

מצגת של תלמידים שביצעו ניסוי חקר "השפעת ריכוז התמיסה על הסתעפות החומר" נמצאת באתר:

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/Forums1/AttachedFiles/Presentation1.pdf>

פעילות מתוקשבת "ניסוי בחלל – הגן הכימי"

כשש שעות לאחר השיגור של מעבורת החלל "קולומביה", ב-16 בינואר 2003, ניתן האות לאסטרונאוט הישראלי הראשון אל"מ אילן רמון להתחלת הניסוי "הגן הכימי": "הפעל ניסוי – בהצלחה". האות ניתן למעבורת החלל מהארץ על-ידי קבוצת תלמידים מכיתות י"א של קריית החינוך העירונית אורט – קרית מוצקין, דרך הפיקוח של סוכנות החלל האמריקנית (NASA) ביוסטון. האסטרונאוטית קלפאנה צ'וואלה הפעילה תהליך אוטומטי של הכנסת גבישים של התרכובות היוניות:



ניסוי "הגן הכימי" על כדור הארץ
(הצילום באדיבות "ראש גדול" - ירחון מדע לצעירים)

ליחידת שטח). חוקרים הניחו שענפי הגבישים גדלים בטור צומח של מעין חצאי-כדורים קטנים: בתמיסה המימית של נתרן סיליקט - "מי הזכוכית" נוצר קרום חדיר למחצה - ממברנה בצורת כדור, העשויה סיליקה ג'ל. הגביש המוקף קרום ממשיך להתמוסס, ולכן ריכוז תמיסת המלח (למשל תמיסת הסידן הכלורי) גבוה יותר בתוך הכדור המתפתח מאשר מחוצה לו. כתוצאה מכך מים מפעפעים פנימה וגורמים לקרום הכדורי להתנפח. הבדלי הלחצים בין חלקו העליון וחלקו התחתון גורמים לקרום להתפוצץ בחלק העליון וליצור חצי-כדור. מתוך החלק העליון של הקרום ניתן כלפי מעלה זרזיף של תמיסת מלח מרוכזת ונוצר חצי כדור חדש גבוה יותר וכן הלאה. כל חצאי הכדורים מתחברים זה לזה בתהליך רציף ומתפתחת צינורית מוצקה וחלולה.

השערה נוספת היא שכאשר מופיעות בועות גז זעירות בקצות הענפים בעת צמיחת הגבישים, הן מספקות כוח עילוי ומושכות את הענפים כלפי מעלה בקצב מואץ. המנגנון שהוצע לתהליך הצמיחה של הגבישים בתמיסה מימית על-פני כדור הארץ קשור לכוחות המשיכה, שהנם כוחות פיזיקליים. כוחות אלו פועלים יחד עם התהליכים הכימיים. בחלל, בתנאים של כבידה זעירה, כוחות הכבידה זניחים וניתן היה לצפות שהתהליכים הכימיים הנמצאים בבסיס מנגנון הצמיחה ייחשפו בצורה ברורה. מתכנני הניסוי שיערו כי מכיוון שבחלל

ניסויים מדעיים נבחרים בטיסה 107 של מעבורת החלל, שהייתה אמורה לצאת לדרכה בשנת 2000. התלמידים פגשו את אילן רמון ז"ל ודנו עמו על הניסוי. לאחר מחקר ולימוד מעמיק של ההיבטים הכימיים והפיזיקליים הרלוונטיים לניסוי, הוא הוצג באפריל 2002 למדענים ואסטרונוטים במתקני Spacehab בקולורדו בארה"ב על-ידי חמישה תלמידים, מורתם ויונתן מנור, סטודנט לדוקטורט ממעבדתו של פרופ' אלי קולודני. הניסוי נבדק במתקן הדמיה, המשחזר את התנאים במעבורת. שלושה ימים לפני שיגורה של המעבורת "קולומביה" למשימה STS-107 הכינה קבוצה של חמישה תלמידים בהנחייתם של מהנדסי Spacehab, פרופ' אלי קולודני וד"ר אמירה בירנבאום, שלושה ניסויים זהים במעבדה סמוך לכף קנדי בפלורידה. הגבישים הוכנסו לתוך מתקן גידול מיוחד, ותוכן שהכנסתם לתמיסה במעבורת תיעשה באופן אוטומטי.

ביום השיגור היו התלמידים ומלוויהם במרכז החלל ע"ש קנדי וצפו במעבורת החלל העולה השמימה.

מטרת הניסוי "הגן הכימי" הייתה לחקור את המנגנון של גידול גבישים בתמיסת "מי-זכוכית" (תמיסה מימית של נתרן סיליקט, Na_2SiO_3) בסביבה של כבידה זעירה (כוח משיכה הנמוך בערך פי 10000 מן הכבידה על פני כדור הארץ). כמו זו הקיימת בתנאי המהירות המסלולית של מעבורת החלל בגובה של כ-285 ק"מ מעל פני הים.

על-פני כדור הארץ בתנאי כבידה, שני החומרים סידן כלורי וקובלט כלורי מתחילים "להצמיח" מעין חוטים דקיקים כלפי מעלה מיד לאחר הכנסתם לתוך "מי הזכוכית". כלומר, הצמיחה של הגבישים היא בכיוון המנוגד לכוח הכובד. בעת צמיחת הגבישים ניתן להבחין לעתים קרובות בבועות אוויר זעירות בקצות הענפים. לא ברור מתי ומדוע מופיעות בועות אלה, אך נמצא שבנוכחותן תהליך הצמיחה מהיר יותר ונמשך דקות ספורות.

בעבר הוצע לתהליך הצמיחה על פני כדור הארץ מנגנון הכולל מספר תהליכים כימיים ופיזיקליים, המבוסס על הבדלים בלחץ הידרוסטטי (הכוח שמפעיל עמוד מים

זמן צמיחת הגבישים היה שונה: בכדור הארץ הושלמה הצמיחה תוך שלושים דקות ואילו בחלל היא נמשכה יותר מעשרים וארבע שעות.

כעבור שבעה ימים נערך ניסוי שני על-ידי אילן רמון ז"ל, ונמצא כי התוצאות חזרו על עצמן. הממצאים, שהתאימו בחלקם לתחזיות התלמידים, עוררו התרגשות רבה.

על ביצוע הניסויים דווח באתר של נאס"א:

<http://spaceresearch.nasa.gov/sts-107/>

בנוסף לניסוי "הגן הכימי" של התלמידים מישראל תוכננו חמישה ניסויים נוספים על-ידי קבוצות נוער ממדינות שונות במסגרת תכנית STARS. כשמונים הניסויים המדעיים במעבורת נערכו במשך שישה-עשר יום, עשרים וארבע שעות ביממה, בשתי משמרות על-ידי שבעת האסטרונאוטים: ריק האסבנד, וויליאם מק'קול, מייקל אנדרסון, קלפאנה צ'וואלה, דיוויד בראון, לורל קלארק ואילן רמון.

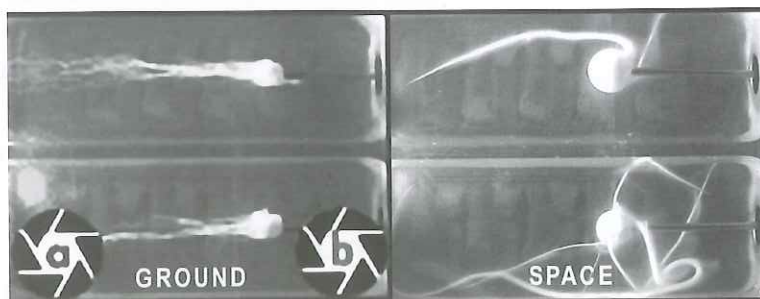
מעבורת החלל "קולומביה" התרסקה בשובה לכדור הארץ במהלך כניסתה לאטמוספירה בתאריך 1 בפברואר 2003, מספר דקות לפני נחיתה, ושבעת האסטרונאוטים חברי צוותה נספו.

תודות לפרופ' אלי קולודני ולדוקטורנט יונתן מנור על עזרתם ועל הארותיהם והערותיהם החשובות.

לא יהיה כיוון מועדף לצמיחתם, יתפתחו המוצקים במעבורת באופן אקראי לכל הכיוונים בצורה פרועה או בצורה כדורית סימטרית. כן הועלתה השערה כי ייתכן שבגלל תנאי הכבידה הזעירה תהליך הצמיחה יהיה אטי יותר. במסגרת הניסוי תוכננה גם בדיקה של הגבישים במיקרוסקופ אלקטרוני לאחר חזרתה של המעבורת לכדור הארץ.

לא במקרה נבחרו החומרים, סידן כלורי וקובלט כלורי לניסוי. צבעה של התרכובת קובלט כלורי הוא אדום ולאחר הכנסתה ל"מי-זכוכית" צבעה משתנה לכחול. צבעה של התרכובת סידן כלורי הוא לבן. צבעי הכחול-לבן של הגבישים סמלו את צבעי הדגל של מדינת ישראל.

בעת עריכת הניסוי בחלל נערך במקביל ניסוי ביקורת בתנאי כבידה בכדור הארץ. הצילומים ששודרו ממעבורת החלל "קולומביה" לנאס"א בזמן אמת (תוך כדי גידול) הראו הבדלים משמעותיים בין גידול הגבישים בחלל לבין גידולם על פני כדור הארץ: בניסוי שנערך במעבורת החלל התגבש הסיידן הכלורי תחילה בצורה של כדור סימטרי לבן ולאחר מכן התחיל להוציא מחושים עבים בכיוונים אקראיים. הקובלט הכלורי התגבש בצורת כדור פרוע כחול עם בליטות זיפים לצדדים. כיוון הצמיחה בחלל היה שונה אפוא מאשר על פני כדור הארץ. גם



תוצאות הניסוי "הגן הכימי" עם גבישי סידן כלורי על כדור הארץ ובחלל



אילן רמון ז"ל וניסוי "הגן הכימי" במעבורת החלל "קולומביה"

שאלות לסיכום

1. כיצד צומחים גבישי החומרים סידן כלורי וקובלט כלורי ב"מי זכוכית" על-פני כדור הארץ?
2. מה הייתה מטרת הניסוי "הגן הכימי" בחלל?
3. כיצד לדעתכם צומחים גבישים ב"מי זכוכית" בחלל? מדוע?
4. מה יקרה לדעתכם אם תתפתחנה בועות אוויר בזמן צמיחת הגבישים בחלל?
5. על-פני כדור הארץ ניתן לבצע את הניסוי "גן כימי" על-ידי הכנסת גבישי מלח לכלי המכיל "מי זכוכית". אילו בעיות טכניות מתעוררות בתכנון הניסוי בתנאי כבידה זעירה בחלל? מהם הפתרונות שהייתם מציעים?
6. מה הייתה השערתם של מתכנני הניסוי לגבי תוצאות הניסוי בחלל?
7. מה היו תוצאות הניסוי? האם התאימו לציפיות?
8. מה היו המסקנות מהניסוי?

רשימת כתובות לאתרים באינטרנט
אודות מעבורת החלל, הצוות והניסויים:

<http://spaceflight.nasa.gov>

<http://www.starsacademy.com/sts107/>

אודות הניסויים:

<http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/science/index.html>

אודות ניסויי תלמידים:

<http://www.starsacademy.com/sts107/experiments/experiments.htm>

אודות הניסוי "גן כימי":

http://www.starsacademy.com/sts107/experiments/chem_top.htm

http://www.starsacademy.com/sts107/experiments/chem/chem_frameset.htm

אודות אילן רמון ז"ל, המשימה ומעבורת החלל:

<http://izkor.net/Client.cfm?ClientId=124>

<http://www.ynet.co.il/articles/1,7340,L-1929455,00.html>

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-2380234,00.html>