

תעלומה ופתרונה

עבדאללה ח'לאילה*



מעבדה

שמתי את הכוס הכימית מעל תיבת העץ הרטובה במים.

בכל הניסויים ערבבתי את החומרים המגיבים בתוך הכוס הכימית במקל זכוכית. ניסיתי כמיטב יכולתי לערבב במהירות המרבית ובלי להניע את הכוס.

אזכיר כמה מן הניסויים:

א. ערבוב קרח במלח בישול (נוצרת תמיסה מימית של נתרן כלורי).

ב. המסת אמון חנקתי במים.

ג. המסת אמון תיאוציאנאטי במים.

ד. תגובה בין מלחי אמון שונים (במצבם המוצק) לבין הידראט של באריום הידרוקסידי - $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ (בעקבות תגובה זו נוצר בין היתר הגז אמוניה!).

מה שמשך את תשומת לבי במיוחד הוא הניסוי הרביעי, כלומר, התגובה של מלחי אמון שונים עם $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$. ביצעתי את התגובה עם עשרה מלחי אמון. בכולם חלה ירידה בטמפרטורה, משמע, התגובה היתה אינדותרמית. אבל לא בכולם חלה

ירידה של טמפרטורה באותה מידה. מלחי האמון אשר השתמשתי בהם הם: אמון חנקתי, אמון תיאוציאנאטי, אמון כלורי, אמון יודי, אמון אצטטי, אמון גפרתי, אמון פחמתי, אמון אוקסאלאטי, דו אמון מימן זרחתי ואמון דו כרומאטי.

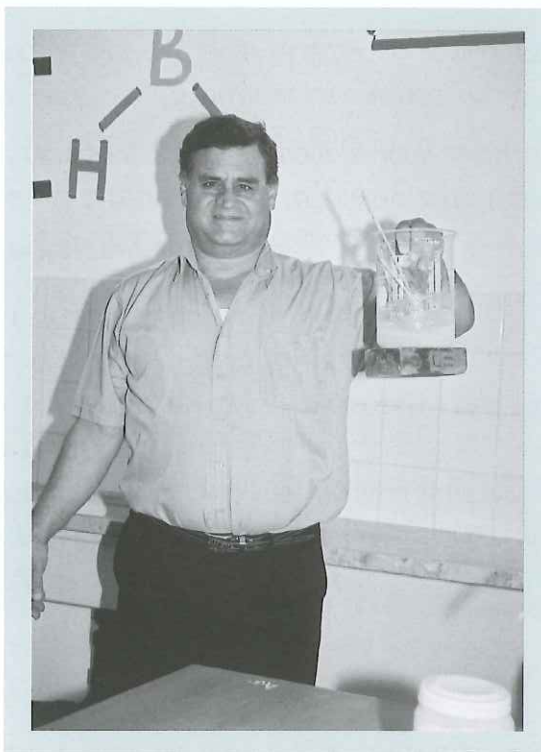
כאשר אני רוצה להמחיש בפני התלמידים שלי את מידת האנדותרמיות של תגובה אנדותרמית קיצונית, אני משתמש בתיבת עץ שממדיה $10 \times 10 \times 4$ ס"מ בערך. אני מרטיב את תיבת העץ במים, מניח מעליה כוס כימית, ומערבב במקל זכוכית את החומרים המגיבים שבתוכה. כאשר טמפרטורת המים יורדת מתחת לאפס, המים המפרידים בינה לבין תחתית הכוס

קופאים, וכתוצאה מכך תיבת העץ נדבקת. כאשר מרימים את הכוס, תיבת העץ נשארת דבוקה לתחתית הכוס. המפרידים בין תחתית הכוס לתיבת העץ הפכו למעין "דבק" שמקשר את התיבה לכוס.

כשמנתחים את ספונטניות התגובה מבחינה תרמודינמית, אין ספק שיש כאן ירידה באנטרופיה של הסביבה, ולכן עלתה האנטרופיה בתוך המערכת בצורה משמעותית עד כדי פיצוי על ירידת האנטרופיה בסביבה. לכן התגובה היא ספונטנית.

ניסיתי להפוך את המים ל"דבק" בכמה ניסויים. התנאים בכל הניסויים היו דומים, ובכולם השתמשתי בחומרים האלה:

- כוס כימית של 250 מ"ל.
- כמויות מספיקות וסבירות של החומרים המגיבים.
- תיבת עץ שממדיה $10 \times 10 \times 4$ ס"מ בערך, לאחר שהרטבתי אותה במים.



* עבדאללה ח'לאילה, מורה לכימיה בתיכון סכנין, מדריך לכימיה במגזר הערבי.

ערכיים כמו: יון גפרתי, פחמתי, אוקסאלטי חד מימן זרחתי, דו כרומאטי אז אכן נוצרים משקעים. היות שהאנתלפיה של תגובות השיקוע הנ"ל היא שלילית (תגובות אקסותרמיות), אז האנרגיה אשר נפלטת מן התגובות האלה מקזזת חלק מן האנרגיה הנקלטת במערכת מן הסביבה, וכתוצאה מכך הסביבה מתקררת פחות. מאזן אנרגטי זה גורם לכך שהמים המפרידים בין תיבת העץ לבין תחתית הכוס לא יקפאו ולא יעבדו כ"דבק", כי הטמפרטורה לא ירדה אל מתחת לאפס.

למשל אנתלפיית התגובה שבה נוצר באריום גפרתי מן היונים שלו הוא -17.7 קילוג'ול, ואילו אנתלפיית התגובה שבה נוצר באריום פחמתי היא -3.5 קילוג'ול. זאת אומרת שבמקרה של באריום פחמתי נפלטה פחות אנרגיה בתגובת השיקוע אשר מקזזת את האנרגיה הנקלטת בתגובה בין האמון פחמתי לבין $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ פחות ממה שמקזזת האנרגיה הנפלטת בתגובה שבה נוצר באריום גפרתי. כאשר חישבתי את אנתלפיית התגובה של מלחי האמון ההלוגניים (כלור, ברום ויוד) עם $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ הם היו דומים מאד זה לזה. (הערכים הם $158, 162.5, 163.5$ קילוג'ול בהתאמה).

וכך סביר להניח שרק עם מלחי אמון שבהם היון השלילי הוא חד ערכי, יעבדו המים כמו "דבק" ויגרמו להידבקות תיבת העץ לתחתית הכוס; ואילו במלחי האמון אשר בהם היון השלילי הוא דו ערכי, לא ישמשו המים כ"דבק" ולא יגרמו להידבקות תיבת העץ לתחתית הכוס.



רק בחמשת המלחים הראשונים נדבקה תיבת העץ לתחתית הכוס. בחמשת המקרים חלה ירידה משמעותית בטמפרטורה (הטמפרטורה הסופית הייתה נמוכה מ- 10°C מתחת לאפס!); בכולם הפכו המוצקים המגיבים בתוך הכוס למעין עיסה תוך כדי ערבוב, ובכולם קפאו המים מעל תיבת העץ במהירות יחסית, כאילו היו מעין "דבק מהיר". כאשר חישבתי את אנתלפיית התגובה לתגובות הנ"ל, היא נעה בין 158 ל- 182 קילוג'ול. ככל שאנתלפיית התגובה היתה יותר גבוהה, קפאו המים מהר יותר ועבדו כ"דבק מהיר" ביתר יעילות. יעילות ה"דבק המהיר" בשני מלחי האמון הראשונים – אמון חנקתי ואמון תיאוציאנאטי – הייתה המרשימה ביותר, בגלל ההידבקות המהירה יחסית של תיבת העץ לתחתית הכוס.

ומה עם חמשת מלחי האמון האחרונים?

בחמשת המלחים היה הערבוב קשה יותר והופיעה בהם רטיבות ורכות, אבל לא נוצרה עיסה כמו בחמשת המלחים הראשונים. בחמשת המלחים האחרונים הורגשה האנדותרמיות של התגובה פחות מאשר בחמשת הראשונים, המים המפרידים בין תחתית הכוס לבין תיבת העץ לא קפאו ותיבת העץ לא נדבקה לתחתית הכוס. התגובה האנדותרמית ביותר בין חמשת המלחים האחרונים הופיעה באמון פחמתי, שבו הפכו המוצקים המעורבבים למעין "בצק".

והשאלה המתבקשת היא: מדוע עבדו המים כ"דבק" רק בחמשת מלחי האמון הראשונים?

כדי לענות על השאלה ננתח את השוני בין מלחי האמון. בחמשת המלחים הראשונים היון השלילי של מלח האמון הוא חד ערכי, ובחמשת האחרונים הוא דו ערכי. יש להניח שתוך כדי הערבוב נוצרה תמיסה בתוך המים שיצאו מן ההידראט $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$. בתוך תמיסה זו נפגשו יונים שונים חיוביים ושליליים. אחד היונים החיוביים הבולטים הוא יון הבאריום הדו ערכי. כאשר יון זה נפגש עם יון שלילי חד ערכי כמו יוני חנקתי, תיאוציאנאט, כלוריד, יוד או אצטט – אין נוצר משקע. וכאשר נפגש יון הבאריום החיובי עם יונים שליליים דו

הטבלה הבאה מסכמת באופן כללי את הנתונים שהובאו לעיל.

מס	מלח האמון שהגיב עם $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	הסימן של ΔH	הערך המוחלט של ΔH	מצב התוצרים בכוס לאחר ערבוב	קפיאת המים	הידבקות תיבת העץ	היווצרות משקע	הערך המוחלט של ΔH בתגובת השיקוע
1	NH_4NO_3	+	גבוה	עיסה	קפאז	+	-	
2	NH_4SCN	+	גבוה	עיסה	קפאז	+	-	
3	NH_4Cl	+	גבוה	עיסה	קפאז	+	-	
4	NH_4I	+	גבוה	עיסה	קפאז	+	-	
5	$\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$	+	גבוה	עיסה	קפאז	+	-	
6	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	+	בינוני	כמו "בצק"	לא קפאז	-	+	נמוך
7	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	+	נמוך	רך ורטוב	לא קפאז	-	+	גבוה
8	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	+	נמוך	רך ורטוב	לא קפאז	-	+	גבוה
9	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	+	נמוך	רך ורטוב	לא קפאז	-	+	גבוה
10	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	+	נמוך	רך ורטוב	לא קפאז	-	+	גבוה

"דבק מהיר" ושמו מים

חומרים וציוד

30 גרם של באריום הידרוקסיד $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$

15 גרם של אמון חנקתי $\text{NH}_4\text{NO}_{3(s)}$

מקל זכוכית

תרמומטר

כוס כימית של 250 מ"ל

משטפת מים

תיבה מעץ בממדים של 10x10x4 ס"מ בערך

מהלך הניסוי

1. התיזו בעזרת משטפת מים כמה טיפות מים על תיבת העץ.
2. הניחו את הכוס הכימית על תיבת העץ.
3. הניחו את שני המוצקים זה אחר זה בתוך הכוס הכימית.

ולמרות מה שנזכר לעיל, אל תופתע אדוני הקורא אם בתגובת המלח $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ עם $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_{4(s)}$ לא יעבדו המים כ"דבק", כי כאן עלולות להתרחש שתי תגובות אקסותרמיות זו אחרי זו, הראשונה היא בין היון החומצי $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}(\text{aq})$ השלילי והחד ערכי לבין היון $\text{OH}^{-1}(\text{aq})$ ונוצרים בעקבותיה מים והיון $\text{HPO}_4^{-2}(\text{aq})$; ואילו התגובה השנייה היא תגובת השיקוע בין היון הנוצר מהתגובה הקודמת $\text{HPO}_4^{-2}(\text{aq})$ בין היון $\text{Ba}^{+2}(\text{aq})$ ונוצר בעקבותיה המשקע $\text{BaHPO}_{4(s)}$.

שתי התגובות האקסותרמיות הנ"ל לא יגרמו למים המפרידים בין תחתית הכוס לתיבת העץ להתקרר מספיק, וכך צפוי שהתיבה לא תידבק לתחתית הכוס, כי המים לא יגיעו לקיפאון.

וע"מ שהקורא הנכבד יוכל לבצע את התגובות הנ"ל או חלק מהן, אני מביא את מהלך הניסוי של אמון חנקתי עם $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)}$.

יש לבצע את כל הניסויים רק במנדף ועם משקפי מגן.

מקורות:

1. בן צבי, ר. וזילברשטיין, י. (1989), הכימיה-אתגר, אנרגיה ותגובות כימיות, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, פרק י"א, ניסוי 1, חלק שני.

<http://chemed.chem.purdue.edu/demos/2.moviesheets/5.1.html>

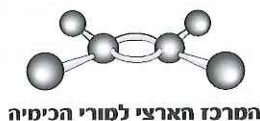
4. ערבבו היטב לכמה דקות במקל הזכוכית. הערבוב צריך להתבצע במהירות ובזריזות עד שהתערובת המוצקה תהפוך לנוזלית (במידת האפשר). אל תסירו את הכוס הכימית מעל תיבת העץ. אל תאפשרו לכוס לנוע על תיבת העץ תוך כדי הערבוב.

5. שימו את התרמומטר בתוך הכוס ומדדו את הטמפרטורה.

6. החזיקו את הכוס הכימית ביד והרימו אותה כאשר היא על תיבת העץ. צפו במתרחש ורשמו תצפיותיכם.

עבודה נעימה - עבדאללה ח'לאילה

מכון דוידסון לחינוך מדעי
DAVIDSON INSTITUTE
OF SCIENCE EDUCATION



השתלמות מתוקשבת להטמעת הסילבוס החדש, בשילוב טכנולוגיות למידה חדשניות

בשנת תשס"ו מתוכננת השתלמות מתוקשבת המיועדת בעיקר לבוגרי קורסים מורים מובילים, רכזים בבתי הספר, מדריכים אזוריים ומורי מורים במרכזי פסגה. ההשתלמות תתקיים בשיתוף עם ד"ר ניצה ברנע וצוות המרכז הארצי להוראת הכימיה, במכון ויצמן למדע.

בהשתלמות נשלב מספר מפגשים פנים אל פנים (כולל סיורים במעבדות מחקר) במהלך השנה (21 שעות), מפגשים סינכרוניים ברשת (בעזרת תוכנת INTERWISE (4 שעות), פעילות/למידה א-סינכרונית ברשת (בסביבת HIGHLEARN) תוך שימוש בטכנולוגיות מגוונות א-סינכרוניות לשיח/למידה שיתופית/העשרה מדעית/עיבוד חומרי למידה והוראה (26 שעות). ההשתלמות בת 56 שעות תעסוק בהיבטים שונים של תוכנית הלימודים החדשה ברמה של 3 יחידות והשלמה ל-5 יח"ל, ותכלול העשרה מדעית ושיח לקראת מכלול השינויים הצפויים בהוראת הכימיה.

את ההשתלמות ילווה אתר אינטרנטי שבו ירכזו משאבי הלמידה והוא יוכל לשמש אתכם בעבודתכם בשטח. האתר יכלול מאגר הרצאות מומחים שלהן תוכלו להאזין בזמנכם החופשי בבית, להשתמש בהן לצורכי ההדרכה בשטח ולהוראה בכיתה.

השתלמות זו תעזור לכם להתעדכן, להשתלב ולהעשיר את עצמכם, הן בידע מדעי והן בחומרי הוראה והדרכה, הנוגעים ליישום תוכנית הלימודים החדשה בשטח.

אנו מזמינים אתכם להשתתף בהשתלמות מיוחדת זו שבה מרבית ה"מפגשים" יהיו בזמנכם החופשי ומהבית. בואו וננצל את טכנולוגיות התקשוב החדשות ליצירת קהילה מתוקשבת של מנהיגות כימית המשתפת פעולה באופן מתמשך תוך ניצול מרבי של משאבי הרשת.

לברורים ניתן לפנות אל ד"ר מירי קסנר 08-9378315, או ב- [e-mail: ntkesner@wisemail.weizmann.ac.il](mailto:ntkesner@wisemail.weizmann.ac.il)

