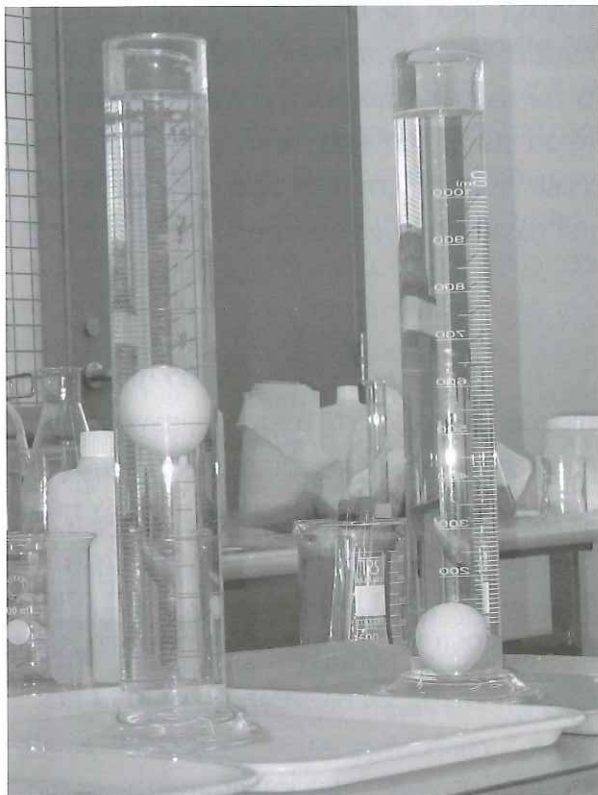


ניסוי הביצה המרקדת

עבדאללה ח'לאילה*



מעבדה



- מדי. במקרה זה מעלים מעט את הריכוז ע"י הוספת תמיסה מרוכזת יותר של חומצת מלח ורואים מה קורה.
- לפעמים הביצה עולה פעם אחת למעלה. גם לא נורא. זה אומר שריכוז החומצה גבוה מדי. אז מוהלים (מעט) את התמיסה במים ורואים מה קורה.
- ניתן להשתמש באותה ביצה כמה פעמים.
- אפשר לערוך את הניסוי בטמפרטורות שונות ולעקוב אחרי המתרחש.
- יש לדאוג שהמשורה לא תהיה מלאה לחלוטין, אלא מלאה עד כ-5 ס"מ מגובה המשורה, על מנת

הניסוי מרתק ולוקח שיעור שלם. מה שמעניין בניסוי זה הוא פשטותו, זמינות החומרים, המוטיבציה והעניין שהוא מעורר אצל התלמידים, אפשרויות החקר הרבות, הגלומות בו וגם היבטיו הרב תחומיים: כימיה, פיזיקה, סביבה, גשם חומצי וביולוגיה.

תיאור מהלך הניסוי

לוקחים ביצה טרייה, משורה של 1000 מ"ל. (אם אין לכם משורה של 1000 מ"ל, אתם יכולים לאלתר כלי דומה שמקורו בבקבוק שתייה עשוי פלסטיק ושנפחו ליטר וחצי, ולסמן עליו בעט ובסרגל). תמיסת חומצה מלחית בריכוז של 0.25-0.3M. מכניסים את כל תמיסת החומצה המלחית לתוך המשורה וטובלים את הביצה בתוך המשורה. (מן הראוי שגודל הביצה יהיה כזה, שיאפשר לביצה להיכנס בקלות לתוך המשורה בלי להתחכך בדפנותיה).

תצפיות

בהתחלה הביצה שוקעת. לאחר כמה דקות היא מתחילה לעלות לגובה מסוים ושוב יורדת לתחתית המשורה. כעבור כמה דקות הביצה עולה שוב, הפעם יותר, ושבה ויורדת בדומה לפעם הקודמת. התהליך חוזר על עצמו מספר מחזורים. בכל פעם הביצה עולה יותר, עד אשר מגיעה לפני המים בראש המשורה, ושם תהיה תחנתה הסופית.

(בסוף הניסוי מומלץ לזרוק את הביצה או לשמור אותה לניסוי נוסף. אין להשתמש בביצה לצורכי מאכל).

טיפים

- לפעמים כאשר טובלים את הביצה, היא שוקעת ונתקעת, לא נורא! זה אומר שריכוז החומצה נמוך

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



הנוזל. לכן היא הולכת והופכת לקלה יותר עד שנעשית קלה מספיק היות שהפסידה עוד ועוד ממשקלה, וזה דוחף אותה יותר ויותר כלפי מעלה.

אין ספק שעלייה בריכוז הגז פחמן-דו-חמצני בתוך הנוזל עקב התגובה בין הסיידן הפחמתי לבין חומצת המלח, גורם לכך שיותר ויותר בועות גז "יתלבשו" על קליפת הביצה ויגדילו עוד ועוד את נפחה. לכן בכל פעם שהיא יורדת ושבה ועולה, היא נדחפת יותר כלפי מעלה בהשוואה לפעם הקודמת. גורם אחר שלדעתי הוא חשוב פחות אך תורם להעלאת צפיפות הנוזל, הוא היווצרות המלח סידן כלורי בתגובה הני"ל, שהרי ידוע שכל מלח שנמש במים מעלה את צפיפותם.

מה הקשר בין ניסוי זה לבין כלל ארכימדס?

לפי כלל זה, כל גוף הטבול בתוך נוזל מאבד ממשקלו. גודל הערך שהוא מאבד ממשקלו שווה לנפח הגוף הטבול בנוזל כפול צפיפות הנוזל. אם אנחנו מדברים ברוב המקרים על הנוזל "מים" או על תמיסותיו המהולות, אז תמיד הגוף מאבד ממשקלו ערך ששווה לנפח כפול 1, כי צפיפות הנוזל במקרה זה היא 1 גרם לסמ"ק. המשקל שמאבד כל גוף טבול בנוזל משמש ככוח עליו אשר דוחף את הגוף הטבול בנוזל למעלה.

שהתמיסה לא תישפך החוצה כאשר טובלים את הביצה בתוך התמיסה.

6. ככל שפתח המשורה רחב יותר וככל שהביצה קטנה יותר, יהיה הניסוי מוצלח יותר. (כנראה ישנה השפעה אלקטרוסטטית הדדית בין דפנות המשורה לבין קליפת הביצה שהיא חומר יוני ואשר מפריעה לתהליך. אם הביצה גדולה או פתח המשורה צר, כי אז המרחקים בין דפנות הכלי לבין קליפת הביצה קצרים, ויש חשש שהביצה תיתקע והתהליך ייעצר). לכן עדיף שיהיה מרחק סביר בין קליפת הביצה לבין דפנות המשורה.

הרקע המדעי לניסוי

יש לצפות שצפיפות הביצה גדולה במקצת מצפיפות הנוזל שהיא נמצאת בתוכו, אחרת לא הייתה הביצה שוקעת לתחתית הנוזל בתחילת הניסוי, ולא היינו צופים בתופעה. כאשר הביצה נמצאת בתמיסת החומצה מתחילה תגובת חומצה-בסיס בין חומר הקליפה שהוא בעיקרו סידן פחמתי, לבין החומצה לפי הניסוח הבא:



בעקבות התגובה משתחררות בועות הגז פחמן-דו-חמצני, אשר "מתלבשות" על הקליפה ומגדילות למעשה את נפח הביצה. לפי כלל ארכימדס, לביצה עם הבועות יש נפח גדול יותר, והצירוף הזה מפסיד יותר ממשקלו, וכתוצאה מכך הביצה בתוך הנוזל הופכת לקלה יותר. עקב כך היא מתחילה לעלות, ובעלייה קטן לחץ עמוד הנוזל. חלק מבועות הגז משתחררות מן הקליפה, עד שהנפח המשותף לביצה ולבועות הגז יהיה קטן דיו. כך הביצה הופכת לכבדה בתוך הנוזל, כי עם הבועות נפחה קטן, ולפי כלל ארכימדס היא נעשית כבדה יותר בתוך הנוזל, שכן היא מפסידה ממשקלה פחות ממה שהפסידה קודם לכן. כתוצאה מכך הביצה שוקעת.

במשך הזמן הקליפה נשחקת בגלל התגובה הני"ל, ויותר בועות גז "מתלבשות" על הקליפה ומגדילות את נפח הביצה. כך היא מאבדת יותר ויותר ממשקלה בתוך

25 ליטר, אז השתחררו במהלך התגובה 25 מ"ל מן הגז פחמן-דו-חמצני. סביר להניח שלא כולם "התלבשו" על הקליפה.

מדוע לא עם מי חמצן?

מה שמעניין הוא שכאשר ביצעתי את אותו ניסוי עם מי חמצן במקום חומצת מלח בנוכחות הזרז אשלגן יודי, לא זכיתי לצפות באותה תופעה. ריכוז המי חמצן היה בסביבות 4% ונוצר מספיק חמצן לזמן ממושך. שתי המולקולות של חמצן ושל פחמן-דו-חמצני אינן קוטביות, אבל כנראה הסיבה נעוצה בכך שהדו קוטב הרגעי של שתי המולקולות אינו שווה, ובמקרה זה הוא גדול יותר אצל מולקולת הפחמן-דו-חמצני מאשר אצל מולקולת החמצן. ההפרש בדו קוטב הרגעי בין שתי המולקולות הוא כנראה הסיבה לכך שבועות הפחמן-דו-חמצני נדבקו לקליפת הביצה, שהיא חומר יוני המורכב מיוני סידן חיוביים ומיונים פחמתיים שליליים. סיבה נוספת לכך שבועות החמצן אינן מתלבשות על קליפת הביצה ובורחות מהר למעלה, היא שמולקולות החמצן קלות יותר ממולקולות הפחמן-דו-חמצני. בשתי התגובות השתחרר חום ושררה טמפרטורה דומה.

ניסוי זה - בנוסף להיותו ניסוי מעורר מוטיבציה ותשומת לב מצד התלמידים - ניתן לקשר אותו לנושאים כמו קינטיקה, חומצות וביססים וחישובים סטוכיומטריים.

ולבסוף, הערה חשובה מאוד: לא היינו זוכים לצפות בתופעה הזאת ובתופעות דומות, לולא הייתה צפיפות הגוף הטבול בנוזל (ביצה במקרה זה) קרובה מאוד לצפיפות הנוזל. במילים אחרות, כאשר מנסים לבצע ניסוי מסוג זה, יש למדוד תחילה את צפיפויות הגוף והנוזל ולוודא שהם קרובים מאוד זה לזה אחרת לא תהיה תופעה כזאת.

לפני ביצוע הניסוי יש לנקוט כמובן באמצעי בטיחות מתאימים כמו שימוש בכפפות ומשקפי מגן.

מקורות:

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/heker/index.html> .1

ניסוי מספר 7 - הצימוקים.

ניקח דוגמה מהביצה. המספרים שבחרתי לצורך ההסבר קרובים למציאות. נתונה ביצה שנפחה 59 סמ"ק ומשקלה 60 גרם, ז"א צפיפותה שווה ל-60:59, כלומר, ל-1.02. גרם לסמ"ק. אם טובלים אותה בתמיסה של חומצת מלח מהולה, היא שוקעת בגלל שצפיפותה גבוהה מצפיפות הנוזל, שהיא במקרה זה 1 גרם לסמ"ק. במלים אחרות, היא כבדה יותר מן התמיסה המימית הטבולה בה. במקרה זה קליפת הביצה מגיבה עם התמיסה החומצית וגורמת לשחרור הגז פחמן-דו-חמצני, שחלק ניכר מן הבועות שלו "מתלבש" על קליפת הביצה ומגדיל את נפחה. נניח שנפח הביצה גדל ב-2 סמ"ק בגלל בועות הגז המתלבשות על הקליפה, ואז הפך ל-61 סמ"ק. על פי כלל ארכימדס, היא מאבדת כעת ממשקלה - 61 גרם במקום 59 גרם בהתחלה. אם מחלקים את משקל הביצה שהוא 60 גרם (משקל הקליפה ירד בכמות לא משמעותית בגלל התגובה עם התמיסה החומצית), נפח החדש שהוא למעשה 61 סמ"ק - מקבלים 0.98 גרם לסמ"ק, שהיא צפיפות הביצה לאחר התגובה. זו הסיבה שבגללה הביצה עולה למעלה.

כאשר הביצה עולה למעלה, היא "מרגישה" שהלחץ עליה פחת, כי עמוד הנוזל קטן ככל שעולים למעלה. כך משתחררות מספיק בועות של הגז פחמן-דו-חמצני, ונפח הביצה יורד שוב לערך קרוב ל-59 סמ"ק. משמעות הדבר שהביצה הפכה שוב לכבדה יותר מהנוזל שהיא טבולה בו, שקעה למטה וחוזר חלילה.

אם מקפידים על שקילות הביצה בהתחלה ובסוף (לאחר ייבוש) ומחשבים את הפרש המשקל - שהוא למעשה ירידה במשקל הקליפה כתוצאה מהתגובה - ניתן לחשב את נפח הגז פחמן-דו-חמצני שהשתחרר בתגובה. נניח לדוגמה שהירידה במשקל הייתה 0.1 גרם. במקרה זה מספר המולים שהגיב הוא $0.1:100 = 0.001$ מול של CaCO_3 , כי המסה המולרית שלו היא 100 גרם למול. כך לפי התגובה שהתרחשה:



מספר המולים של $\text{CO}_{2(g)}$ שהשתחרר הוא 0.001 מול. אם ידוע לנו שהנפח המולרי של הגז בתנאי החדר הוא

