



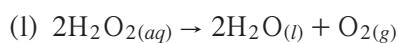
חמצון-חיזור בתגובות מצומדות

יוסף ליבנה*

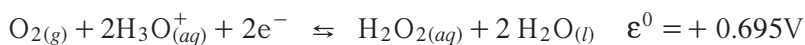
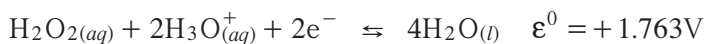
ההתייחסות בכתבה זו, היא למערכות של תגובות חימוזור (redox) שבהן נערכות תגובות בזו אחר זו. נקרא לתופעה זו "צימוד תגובות"; באנגלית התופעה מכונה coupling. הצימוד מדגים עקרון חשוב: חשיבות יחסי פוטנציאלי החיזור במנגנון המוצע. בהמשך, תוצג גם תגובה מוכרת ("בקבוק כחול") בהקשר שונה ומפרה.

חמצון חיזור עצמי של מי-חמצן

מימן על-חמצני מומס עובר חמצון חיזור עצמי אגב שחרור חמצן היסוד. תכונה זו היא מקור הכינוי "מי-חמצן":

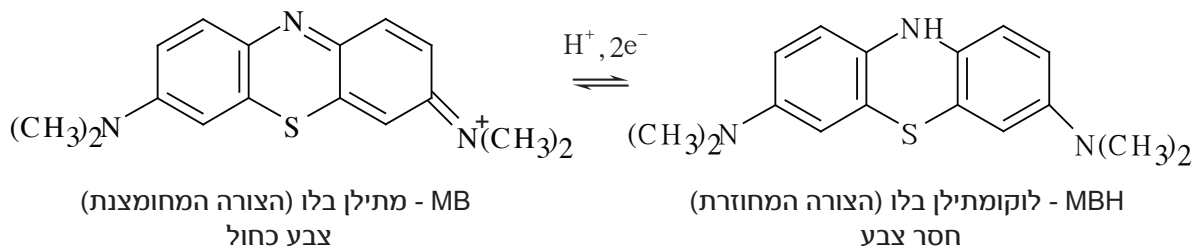


תגובה זו היא מעין סיכום של שני חצאי תגובה, בהם משתתף מימן על חמצני כמחמצן וכמחוזר:



שילוב נכון של הניסוחים מוליד את הניסוח הכולל הנ"ל (1), כאשר הפרש הפוטנציאליים הוא חיובי כנדרש.

* יוסף ליבנה, המרכז לקידום ההוראה, הטכניון, חיפה



[מתוך אתר הויקיפדיה](#)

$$\text{pH} = 0 \quad \varepsilon^0 = +0.53\text{V}$$

$$\text{pH} = 7 \quad \varepsilon^0 = +0.01\text{V}$$

מן העובדה שהחמצון של תמיסת הגלוקוז גורם לאבדן הצבע הכחול של מתילן בלו, נובע כי פוטנציאל החיזור של חומצה גלוקונית קטן מהערך 0.5V.

ההמשך לתגובת החמצון של תמיסת הגלוקוז בניסוי הוא חמצונה של הצורה המחוזרת של האינדיקטור (MBH), ועל ידי כך מתאפשר חמצון נוסף של יתרת הגלוקוז בתמיסה. המחמצן לצורך העניין הוא החמצן המומס בתמיסה: הנוכחות של מחמצן חזק יחסית ($\text{O}_2(\text{aq})$) מטה את השיווי-משקל חזרה לצורן הכחול (MB). תגובת החמצון החוזרת של האינדיקטור ("ההשבה") אט-אט מחזירה לתמיסה את הצבע הכחול האופייני. התגובה אפשרית כי פוטנציאל החיזור של חמצן גדול מזה של הצורן הכחול של האינדיקטור (MB).

אנלוגיה המקשרת בין עקרונות רבים

בניסוי "הבקבוק הכחול" ממלא האינדיקטור תפקיד דומה לזה של יוני $\text{Fe}^{+2}_{(\text{aq})}$ בפירוק מי-חמצן: לא במובן של זירוז אלא במובן של "מתווך" בין חמצון הגלוקוז לבין חיזור החמצן המומס בתמיסה. הוא מתאים לתפקיד כי יש לו פוטנציאל חיזור בעל ערך ביניים בין פוטנציאל החיזור של החומצה הגלוקונית לבין זה של החמצן המומס.

בנוסף, ובדומה לזרז, האינדיקטור משתתף, אך אינו נצרך: כמות האינדיקטור הדרושה אינה עומדת ביחס כלשהו לכמות המגיבים בתגובה.

יודגש שוב: כדי להסיר כל ספק, המתילן בלו אינו משמש כזרז של תגובת החמצון של תמיסת גלוקוז, אלא משמש סמן בלבד. זוהי תמצית תפקידו של אינדיקטור כלשהו: לספק עדות להתרחשותה של תגובה כימית בלי להשפיע עליה.

תפקיד האינדיקטור אנלוגי לזה של המערכת NAD^+/NADH בתהליך הגליקוליזה. הוא מחוזר במהלך חמצון תמיסת הגלוקוז ומחומצן חזרה על ידי חמצן, כפי שקורה בסופו של דבר ל-NADH במערכות ביוכימיות.

קיבלנו, אפוא, באמצעות התגובות המתרחשות ב"בקבוק הכחול" המחשה המקיפה מספר עקרונות כימיים.

– הדרישה התרמודינמית ממתווך במערכות חמצון מצומדות.

– חוסר הקשר בין הדרישה התרמודינמית לבין התוצאות במובן של מהירות תגובה.

– אפיונו של זרז.

– תפקידו ואפיונו של אינדיקטור.

– ההטיה של מערכת בשיווי משקל על ידי הוצאת אחד המרכיבים.

– אנלוג in-vitro לפעולה in-vivo של NADH.