

יגובי-ז-גס

הכימיה - אתגר תעשיית האמוניה

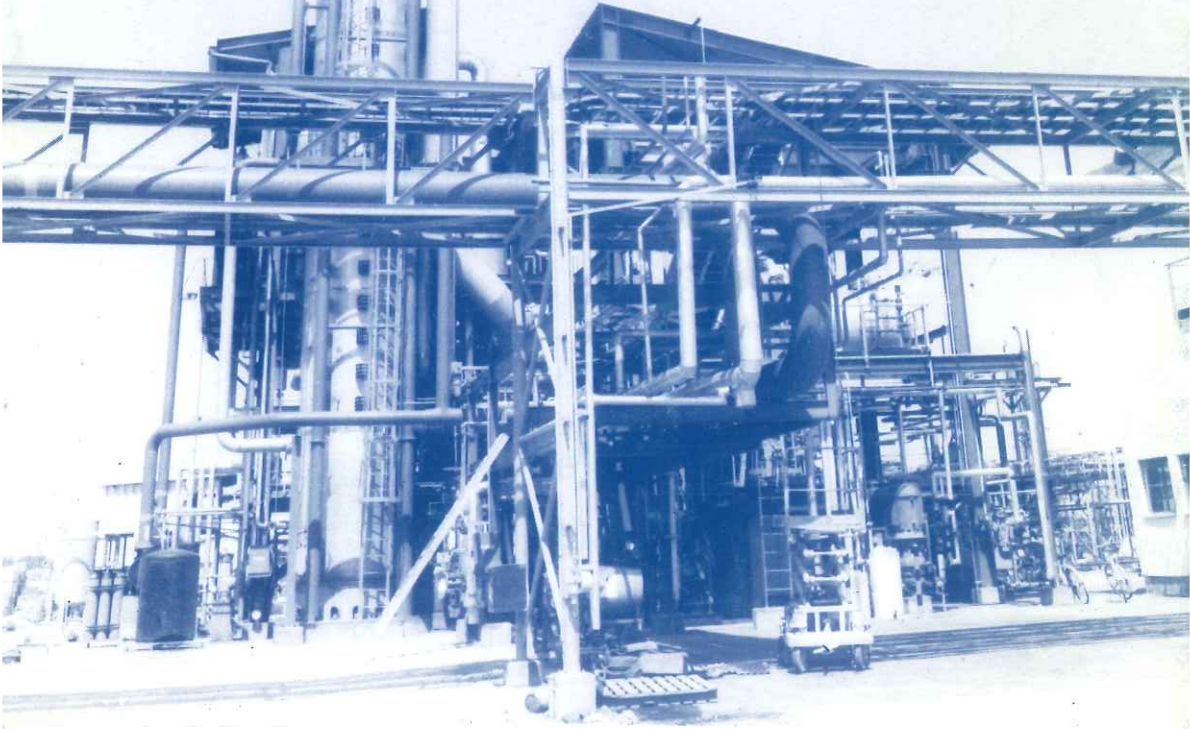
מדריך למורה

יהודית זילברשטיין

מהדורה ניסויית



מכון ויצמן למדע
המחלקה להוראת המדעים



הכימיה - אתגר

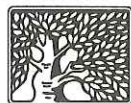
תעשיית האמוניה

מדריך למורה

יהודית זילברשטיין

מהדורה ניסויית

המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע



יוצא לאור ביוזמתו ובפיקוחו של

המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט

מיסודם של

משרד החינוך והתרבות, האוניברסיטה העברית בירושלים ומכון ויצמן למדע, רחובות

עיצוב עטיפה: רחל בוקשפן
הדפסה: זיוה בוטנר, כרמלה רוט-נוב
ניסויים: נורית ארד
צילום: מפעל דשנים וחומרים כימיים בע"מ

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם,
לאכסן במאגר מידע, לשרד או לקלוט
בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני
או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.
שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור
בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.



כל הזכויות שמורות
מכון ויצמן למדע

נדפס בישראל תשנ"ג - ספטמבר 1993
דפוס מאירי בע"מ

פתח דבר

הספר "הכימיה אתגר - תעשיית האמוניה" מיועד לתלמידי 3 ו-5 יחידות לימוד ומותאם לסילבוס הנוכחי.

המלצות לגבי העיתוי של הוראת הנושא:

התלמידים שלמדו את הנושאים אנרגיה ושיווי-משקל בתגובות כימיות לפי הפרקים י"א ו-י"ב של הכימיה-אתגר, ילמדו את הספר בהמשך לפרק י"ב.

לתלמידים שלומדים לפי החוברת שיווי-משקל כימי (של איטה כהן):
ללמד את הפרקים א, ב, ו-ג (כולל ניסויים) של הספר תעשיית האמוניה במהלך הדיון בהיבטים אנרגטיים המשפיעים על מהירות התגובה (פרק א בחוברת שיווי-משקל כימי).

את הפרקים ד ו-ה של ספר תעשיית האמוניה ללמד בסיום הוראת הנושא שיווי משקל כימי.

תוכן

| | |
|----|-----------------------------------|
| 7 | מבוא |
| 8 | מהירותן של תגובות |
| 14 | כיצד ניתן לשנות את מהירות התגובה? |
| 20 | מהירות התגובה וייצור אמוניה |
| 21 | סיכום: תעשיית האמוניה |
| 22 | אוסף שאלות |



מטרות הפרק:

1. להציג בפני התלמידים את תרומתה של התעשייה הכימית מן ההיבט הלאומי ביצוא התעשייתי ומן ההיבט האישי בכל הנוגע לחיי היום-יום ותלותנו בתוצרים התעשייתיים.

2. להציג את חשיבותה של תעשיית האמוניה כבסיס לייצור דשנים כימיים.

3. לדון בהיבטים שונים של הקמת מפעל תעשייתי ותפעולו.

שני האיורים הראשונים מציגים בפני התלמידים את עיסוקה של התעשייה הכימית והפיכת חומרי הגלם לתוצרים שימושיים שהם חלק ממכלול התוצרים הללו.

האמוניה שהופקה לראשונה ב-1914 על ידי הכימאי האבר מופקת בישראל במפעל "דשנים וחומרים כימיים". מפעל זה מובא כדוגמה להצגת כמה מהבעיות הקשורות לתכנון, הקמתו ותפעולו של מפעל כימי.

הרווחיות של המפעל מוצגת כאחת הבעיות המייחדת ענף ייצור. רווחיות זאת תלויה בין היתר בהקטנת הוצאות הייצור ואלה האחרונות תלויות בזמן הדרוש לקבלת כמות גדולה יותר של מוצר משובח בזמן קצר ככל שאפשר.

הפרק הבא מוקדש לדיון בגורמים המשפיעים על הזמן הדרוש להתרחשותה של תגובה בה אנו מעוניינים, כלומר על מהירות התגובה.



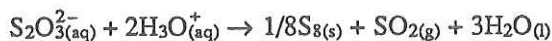
מהירותן של תגובות

מטרות הפרק:

להציג בפני התלמידים את המושג מהירות תגובה ואת הגורמים השונים המשפיעים עליה. בין הגורמים האלה:

- אופי המגיבים.
- ריכוז המגיבים.
- הטמפרטורה בה מתבצעת התגובה.

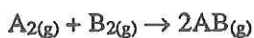
בניסוי הראשון נחקרים שלושת הגורמים המשפיעים על מהירות התגובה:



בתגובה זו המגיבים הם חומרים יוניים והתוצרים-מולקולריים.

מהירות התגובה מוגדרת כזמן הנדרש להופעתו של אחד התוצרים - $\text{S}_8(\text{s})$.

הדיון שלאחר הניסוי יערך על מערכת כללית מן הסוג:



הוראות מעבדה

ניסוי 1 - גורמים המשפיעים על מהירות התגובה

מטרת הניסוי: לעקוב אחר תגובה כימית והגורמים השונים המשפיעים על מהירותה.

ציוד וחומרים (לכל זוג תלמידים)

חלק ראשון: השפעת הריכוז

3 כוסות בנפח 100 מ"ל

2 משורות בנפח 50 מ"ל

משורה בנפח 5 מ"ל

גליון נייר לבן

עפרון "לורד"

שעון עצר

מים מזוקקים

כ-100 מ"ל תמיסת $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ בריכוז 0.15M

כ-20 מ"ל תמיסת HCl בריכוז 2.0M

חלק שני: השפעת הטמפרטורה

4 ארלנמיירים (ממוספרים) בנפח 50 מ"ל

2 כוסות בנפח 100 מ"ל

3 משורות בנפח 25 מ"ל

פלטה חשמלית או מבער בונזן

אמבט מים

גליון נייר לבן

עפרון "לורד"

שעון עצר

מד-טמפרטורה

מים מזוקקים

כ-50 מ"ל תמיסת HCl בריכוז 0.5M

כ-30 מ"ל תמיסת $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ בריכוז 0.15M

מהלך הניסוי ודיון לאחר הניסוי: כמתואר בספר התלמיד.
דיון זה עוסק, במערכת שבה גם המגיבים וגם התוצרים הם חומרים מולקולריים. המנגנון של תגובה זאת מציג את המולקולות בתנועה מתמדת שכתוצאה ממנה קיימות התנגשויות בין המולקולות לבין עצמן (וגם בדפנות הכלי בו החומר נתון). ההתנגשויות עשויות להיות אלסטיות - אם למולקולות המתנגשות אנרגיה קינטית נמוכה (איור ראשון) או פוריות - אם למולקולות המתנגשות אנרגיה קינטית גבוהה דיה ליצירת התצמיד המשופעל (איורים 2, 3 ו-4).

אנרגיית השפועל מוגדרת כהפרש בין תכולת האנרגיה של המגיבים לבין זו של התצמיד המשופעל.

לאחר הצגת המנגנון המתאים גם לתגובה אקסותרמית וגם לתגובה אנדותרמית ניתנת ההגדרה של מהירות התגובה ומוסבר הקשר בינה לבין אנרגיית השפועל.

בהמשך נבחנים שלושת הגורמים המשפיעים על יצירת התצמיד המשופעל ומכאן על מהירות התגובה:

- א. אופיים של המגיבים במונחים של אופי הקשרים הקיימים בחלקיקי המגיבים.
 - ב. ריכוז המגיבים - במונחים של הקשר בין מספר ההתנגשויות הכולל, למספר ההתנגשויות הפוריות.
 - ג. הטמפרטורה - במונחים של הקשר בין מספר ההתנגשויות הכולל, למספר ההתנגשויות הפוריות.
- הפרק מסתיים בקשר בין ריכוז המגיבים ומהירות התגובה הישירה, בין ריכוז התוצרים ומהירות התגובה ההפוכה.
- במצב שיווי-משקל** אשר בו ריכוזי המגיבים והתוצרים אינם משתנים, מהירות התגובה הישירה שווה למהירותה של התגובה ההפוכה. עקרונות אלה מסוכמים בטבלה.

לפרק זה מתאימים:

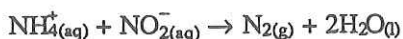
ניסוי 1, ניסוי בחירה 1 ו-2.

שאלות בספר התלמיד: 2,3,4,7 ו-9.

שאלות באוסף: 1 ו-2.

ניסוי בחירה 1 - השפעת הטמפרטורה על מהירות התגובה

מטרת הניסוי: להדגים את השפעת הטמפרטורה על מהירות התגובה:



ציוד וחומרים

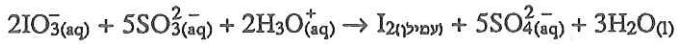
- 2 כוסות בנפח 1 ליטר - (אמבט מים)
- 2 ארלנמיירים בנפח 250 מ"ל
- 2 ארלנמיירים בנפח 100 מ"ל
- 2 פלטות חשמליות
- משורה בנפח 50 מ"ל
- מד-טמפרטורה
- 20 גרם $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$
- 20 גרם $\text{NaNO}_2(\text{s})$
- מים מזוקקים

מהלך הניסוי:

- שקול פעמיים 10 גרם $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$ וכמו כן פעמיים 10 גרם $\text{NaNO}_2(\text{s})$.
 - הכנס לכל אחד מהארלנמיירים בנפח 250 מ"ל מנה אחת של $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$ ומנה אחת של $\text{NaNO}_2(\text{s})$.
 - שים מים בשתי הכוסות והנח אחת מהן על פלטה חשמלית מכוונת ל- 55°C והשניה ל- 85°C .
 - שים 50 מ"ל מים בכל אחד מהארלנמיירים בנפח 100 מ"ל והכנס את הארלנמיירים לכוסות שעל הפלטות.
 - כאשר תגיע טמפרטורת המים באחד הארלנמיירים ל- 55°C ובשני ל- 85°C צוק בו-זמנית את המים לארלנמיירים המכילים את המוצקים, נער והכנס אותם לכוסות המים המתאימות.
 - בקש מהתלמידים לרשום את תצפיותיהם.
- דיון לאחר הניסוי:** ניסוי זה מדגים תהליך בו המגיבים הם יונים אך התגובה היא איטית בגלל שלבי היצירה של הקשרים הקוולנטיים בתוצרים המולקולריים.
-

ניסוי בחירה 2 - השפעת הטמפרטורה על מהירות התגובה

מטרת הניסוי: להדגים את השפעת הטמפרטורה על מהירות התגובה:



ציוד וחומרים

- להכנת תמיסה A: בקבוק מדידה בנפח 1 ליטר
- להכנת תמיסה B: בקבוק מדידה בנפח 1 ליטר
- כוס בנפח 250 מ"ל
- כוס בנפח 100 מ"ל
- משורה בנפח 5 מ"ל

לניסוי:

- 2 פלטות חשמליות מכוונות לטמפרטורות הניסוי
- 3 ארלנמיירים בנפח 100 מ"ל
- 2 משורות בנפח 50 מ"ל
- 3 כוסות בנפח 0.5 ליטר - (אמבטי מים)
- מים מזוקקים
- קוביות קרח
- 4 גרם עמילן
- 2 גרם KIO_3
- 0.4 גרם Na_2SO_3
- 5 מ"ל תמיסת H_2SO_4 בריכוז 1.0M

הכנת תמיסה A

המס את ה- KIO_3 ב-1 ליטר מים

הכנת תמיסה B

- הרתח 150 מ"ל מים בכוס שנפחה 250 מ"ל.
- שקול 4 גרם עמילן בכוס שנפחה 100 מ"ל, הוסף 50 מ"ל מים, ערבב וצוק למים הרותחים והמשך להרתיח כדקה תוך כדי ערבוב.
- תן לתמיסה להתקרר.
- המס 0.4 גרם $Na_2SO_3(s)$ ב-0.5 ליטר מים, בתוך בקבוק המדידה, הוסף את תמיסת העמילן, הוסף את תמיסת ה- H_2SO_4 והשלם עם מים עד לנפח של 1 ליטר.

מהלך הניסוי:

- ערבב בו זמנית את תמיסות A ו B ביחס 1:1 כל פעם בטמפרטורה שונה. הטמפרטורות המומלצות: כ- $0^{\circ}C$, כ- $20^{\circ}C$ וכ- $45^{\circ}C$.

דיון לאחר הניסוי: ראה דיון לניסוי 1 בספר התלמיד.



כיצד ניתן לשנות את מהירות התגובה

מטרת הפרק: להציג בפני התלמידים גורם נוסף שמשפיע על מהירות התגובה - והוא הזרז.

גם כאן נעשה הדיון ברמה מולקולרית ונעזרים באיורים שבאים להמחיש את המנגנון בתגובה מן הסוג: $A_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2AB(g)$. השלבים השונים שמובאים באיור מתאימים אומנם לזרז מתכתי בתגובה בה המרכיבים הם חומרים מולקולריים פשוטים במצב צבירה של גז, אך כפי שמוסבר בהמשך: "בכל התגובות המתרחשות בנוכחות זרז נוצר התצמיד המשופעל בו קשורים יחד חלקיקי המגיב והזרז". נחזור ונדגיש זאת לאחר ביצוע ניסוי 2.

ניסוי 2 - גורמים המשפיעים על מהירות התגובה

מטרת הניסוי: לעקוב אחר תגובת הפרוק של מימן על-חמצני והגורמים השונים המשפיעים על מהירותה.

ציוד וחומרים (לכל זוג תלמידים)

חלק ראשון: השפעת זרז

ספטולה

5 מבחנות ממוספרות

עלים סגולים של "היהודי הנודד"

כ-20 מ"ל תמיסת H_2O_2 בריכוז 6%

PbO_2 , MnO_2 ו- PbO בצורת אבקות

חלק שני: השפעת הריכוז

ספטולה

3 מבחנות ממוספרות

כ-5 מ"ל תמיסת H_2O_2 בריכוזים: 1%, 3%, ו-6%

אבקת PbO

חלק שלישי: השפעת הטמפרטורה.

2 כוסות בנפח 100 מ"ל

2 מבחנות

ספטולה

מד-טמפרטורה

מבער בונון

כ-10 מ"ל תמיסת H_2O_2 בריכוז 1%

אבקת PbO

מים מזוקקים

חלק רביעי: עדות למנגנון פעילותו של זרז.

מבחנה

3 משורות בנפח 10 מ"ל

מים מזוקקים

כ-5 מ"ל תמיסת H_2O_2 בריכוז 6%

כ-5 מ"ל תמיסת $K_2Cr_2O_7$ בריכוז 0.1M

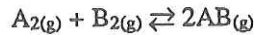
מהלך הניסוי ודיון לאחר הניסוי: כמתואר בספר התלמיד.

ל סגור האנליזה ראי:
S. G. BORN The II law of thermal a cataly
problem and an opportunity May 1975 p 664-665

כי. סג. ב. מאי 75 :

J.chem ed sept 96 p 528

בדיון זה משווים את השפעתם של זרזים שונים על מהירות התגובה של פרוק מימן-על חמצני. באיור המובא בשוליים מוצגות עקומות המתארות את תגובה הפרוק ללא זרז ובנוכחות שני זרזים שונים. השוואה דומה נעשית גם לגבי התגובה:



חשוב מאד לחזור ולציין את העובדה שבנוכחות זרז מתקבל תצמיד משופעל שהוא שונה מזרז לזרז ושונה מהתצמיד המשופעל שמתקבל בתגובה ללא נוכחות זרז. מכאן שאנרגיית השפעול שונה בכל מקרה ולכן גם שונה מהירות התגובה.

ככל ש"מחסום האנרגיה" נמוך יותר התגובה תהיה מהירה יותר. עקרון זה נכון לגבי התגובה הישירה וגם לגבי התגובה ההפוכה. מכאן - הוספת זרז למערכת המגיבים גורמת להגברת מהירותה של התגובה הישירה אך במהלך התגובה גם להגברת מהירותה של התגובה ההפוכה, לכן: נוכחות זרז במערכת שאינה נמצאת בשיווי משקל, מקצרת את הזמן להשגת שיווי המשקל אך הוספת זרז למערכת הנמצאת בשיווי משקל אינה משנה את הרכבה. שני האיורים שבסוף הפרק באים להמחיש עקרונות אלה שחשיבותם תתברר בהמשך.

לפרק זה מתאימים:

ניסוי 2, ניסויי בחירה 3 ו-4.

שאלות בספר התלמיד: 1, 5, 6 ו-8.

שאלות באוסף: 3, 4 ו-5.

ניסוי בחירה 3 - פרוק $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ בנוכחות יוני $\text{Co}^{2+}_{(\text{aq})}$

מטרת הניסוי: ניסוי צבעוני להדגמת תגובה בנוכחות זרז

ציוד וחומרים

מטול עילי

פלטה חשמלית

מד-טמפרטורה

כוס בנפח 600 מ"ל

משורה בנפח 100 מ"ל

10 מ"ל $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ בריכוז 6%

3 גרם $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{NaK} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (אשלגן-נתרן טרטרט - מלח רושל)

0.3 גרם $\text{CoCl}_2(\text{s})$

מים מזוקקים

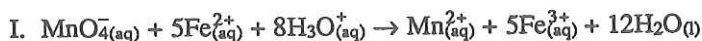
מהלך הניסוי ותצפיות:

- המס בכוס 3 גרם מלח רושל ב-50 מ"ל מים וחמם לטמפרטורה של 70°C .
- הורד את הכוס מעל הפלטה החשמלית והוסף 10 מ"ל תמיסת $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ ואת ה-
- $\text{CoCl}_2(\text{s})$.
- מבחינים בפליטת גז ושינוי צבע התמיסה מסגול לירוק וחזרה לסגול ההתחלתי.

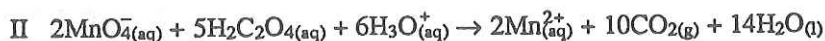
דיון לאחר הניסוי: ראה ניסוי 2 חלק רביעי.

ניסוי בחירה 4 - השפעת הגורמים השונים על מהירות התגובה

מטרת הניסוי: להדגים את השפעתם של שלושת הגורמים-ריכוז, טמפרטורה ונוכחות זרז על מהירות התגובה:



בהשוואה למהירות התגובה:



ציוד וחומרים

4 משורות בנפח 100 מ"ל

8 כוסות בנפח 250 מ"ל

פלטה חשמלית או מבער

מד-טמפרטורה

מים מזוקקים

800 מ"ל תמיסת KMnO_4 בריכוז 0.005M - תמיסת A

100 מ"ל תמיסת FeSO_4 בריכוז 0.5M בתמיסת H_2SO_4 בריכוז 1.0M - תמיסת B

700 מ"ל תמיסת $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ בריכוז 0.5M בתמיסת H_2SO_4 בריכוז 1.0M - תמיסת C
כמה גבישים של MnCl_2 או MnSO_4

מהלך הניסוי תצפיות ודיון:

אופי המגיבים

- ערבב בכוס, 100 מ"ל תמיסת A ו-100 מ"ל תמיסת B. הצבע הסגול של תמיסת A "נעלם" מיד.

- ערבב בכוס, 100 מ"ל תמיסת A ו-100 מ"ל תמיסת C. אין שינוי צבע מידי אלא מעבר הדרגתי מסגול לאדום, כתום, צהב ולבסוף חסר צבע במשך כ-10-15 דקות (טמפרטורה של 25°C).

- הדגש את השינוי באופי המגיבים והתוצרים: בתגובה I המים הם החומר המולקולרי היחיד. בתגובה II יש צורך בשבירה ויצירה של קשרים קוולנטיים גם במולקולות הבמגיבים וגם במולקולות התוצרים.

תגובה II השפעת הריכוז

- הכנס 100 מ"ל תמיסת A לכוס אחת ו-100 מ"ל תמיסת A + 100 מ"ל מים לכוס שניה.
- צוק בו זמנית 100 מ"ל תמיסת C לכל אחת הכוסות.

הכן את הטבלה הבאה ורשום בה את תצפיותך*

| שינוי הצבע התחיל לאחר: | |
|------------------------|--------------------|
| 4.0 דקות | תמיסה מהולה |
| 2.5 דקות | תמיסה מרוכזת |
| 2.5 דקות | תמיסה ב- 25°C |
| 15 שניות | תמיסה ב- 60°C |
| 2.5 דקות | תמיסה בלי זרז מוצק |
| 10 שניות | תמיסה עם זרז מוצק |

תגובה II השפעת הטמפרטורה

- חמם 100 מ"ל תמיסת A לטמפרטורה של 60°C בקירוב.
- בכוס שניה הכנס 100 מ"ל תמיסת A בטמפרטורת החדר.
- צוק 100 מ"ל תמיסת C, בו-זמנית לשתי הכוסות.

תגובה II השפעת הזרז

- הכנס 100 מ"ל תמיסת A לכל אחת משתי הכוסות.
- צוק 100 מ"ל תמיסת C בו זמנית לשתי הכוסות.
- לאחת הכוסות הוסף כמה גבישים של $MnCl_2$ או $MnSO_4$.

דין לאחר הניסוי: כמתואר בספר התלמיד.

* בטבלה מופיעות תצפיות במהלך הניסוי שבוצע במעבדתנו.



מהירות תגובה וייצור אמוניה

מטרות הפרק

לדון בבעיות השונות הנוגעות לתעשיית האמוניה ולהציג כמה מן הדרכים בהן מנסים הכימאים בתעשייה להתמודד עם הבעיות הללו.

בפרק מוצג מנגנון אפשרי לתהליך היצירה של אמוניה בנוכחות זרז. הדיון נערך סביב הנקודות הבאות:

I: תגובת היצירה של אמוניה איטית ביותר. במונחים שנלמדו בפרקים ב' ו-ג של ספר זה: ניתן להגדיל את מהירות התגובה על ידי הגדלת מספר ההתנגשויות הפוריות ו/או הקטנת אנרגיית השפעול.

א. כפי שניתן לראות באיור הראשון - ככל שהטמפרטורה בה מבוצעת התגובה גבוהה יותר, כמות האמוניה הנוצרת קטנה יותר. כדי להתגבר על בעיה זאת עובדים בטמפרטורה נמוכה אך בנוכחות זרז.

ב. כפי שניתן לראות באיור השני - ככל שהלחץ המופעל על המערכת גדול יותר כך גדלה גם כמות האמוניה המתקבלת.

II: כל השיקולים הנוגעים לתגובת היצירה של אמוניה מתאימים גם לתגובה ההפוכה, תגובת פרוק האמוניה. מכאן הצורך בתיחכום של הכימאי על מנת למצוא את התנאים הטובים ביותר האפשריים בתעשייה, כמתואר בפרק הבא.



סיכום: תעשיית האמוניה

מטרת הפרק: לדון בחלק מן התהליכים של הפקת האמוניה במפעל "דשנים וחומרים כימיים".

בתחילת הפרק מובא תרשים שמראה את השלבים השונים במעבר מן הרעיון של ייצור האמוניה ועד ליישומו במפעל התעשייתי ובהמשך נידונים שניים מן ההיבטים שהוצגו בתרשים: בחירת חומרי הגלם ומערכות התגובה.

הבעייתיות שמאפיינת את ייצור האמוניה יחד עם הדרכים בהן מתמודדים עם הבעיות הללו במפעל מסוכמות באיור שמציג את התנאים להפקת האמוניה: טמפרטורה של 500°C , לחץ של 300 אטמוספרות ונוכחות הזרז $\text{Fe}_{(s)}$. בנוסף לתנאים אלה מוצג המיחזור כשיטה להגדלת כמות האמוניה המתקבלת בתהליך.

באיור האחרון מוצגים השלבים העיקריים בייצור האמוניה: הכיתוב בתוך החיצים מתייחס לחומרים שמשותפים והכיתוב במלבנים השחורים מתייחס לפעולות המבוצעות בכל שלב.

לפרק זה מתאימות:

שאלות בספר התלמיד: 10 ו-11

שאלות באוסף: 6 עד 11.

אוסף שאלות

1. התייחס לניסח הכולל: $A + B \rightleftharpoons C + D$

נתון שעבור התגובה הישירה, אנרגיית השפעול היא 32kJ ועבור התגובה ההפוכה 58kJ .

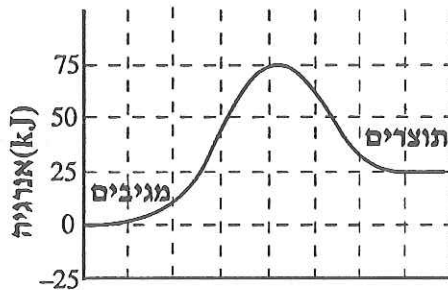
האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית?

2. בטבלה הבאה מובאים ערכי ΔH° וערכים של אנרגיית שפעול של שלוש תגובות:

| אנרגיית שפעול | ΔH° | |
|----------------|------------------|-----|
| 250kJ | $+200\text{kJ}$ | I |
| 250kJ | -200kJ | II |
| 160kJ | -10kJ | III |

איזו מבין התגובות I עד III תהיה המהירה ביותר בטמפרטורה של 298kJ ?

3. התייחס לעקומה הבאה וענה על השאלות אי עד ג'.



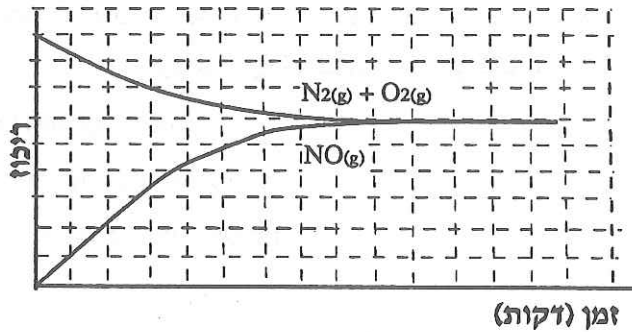
א. מהי סימנו של ΔH° עבור התגובה הישירה?

ב. מהו ערכה של אנרגיית השפעול עבור התגובה הישירה?

נמצא שזרז מוריד את ערכה של אנרגיית השפעול של התגובה הישירה ב 10kJ .

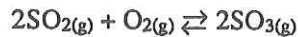
ג. מה תהיה השפעת הזרז על מהירות התגובה ההפוכה?

4. התייחס לתהליך: $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ שמוצג בעקומה הבאה ללא נוכחות זרז.



העתק את העקומה למחברתך והצג באמצעות קווים מרוסקים את התהליך בנוכחות זרז.

5. השאלה הבאה דנה במערכת:



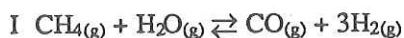
בטמפרטורה נתונה ערכו של קבוע שיווי-המשקל $K=4.0$.

בטבלה הבאה רשומים הריכוזים המולריים של מרכיבי המערכת בסידרת ניסויים שבוצעו בטמפרטורה זו.

| ריכוזים בשיווי-משקל (M) | | | ריכוזים התחלתיים (M) | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------------|---|
| SO ₂ | O ₂ | SO ₃ | SO ₂ | O ₂ | SO ₃ | |
| 2 | 1 | 4 | 6 | 3 | 0 | 1 |
| 1.1 | 3.3 | 4 | 5.1 | 5.3 | 0 | 2 |
| 0.75 | 7.11 | 4 | 4.75 | 9.11 | 0 | 3 |
| 4.0 | 0.25 | 4 | 8.0 | 2.25 | 0 | 4 |

- א. באיזה הרכב התחלתי יבחר הכימאי במטרה להפיק SO₃? נמק
- ב. בהפקה התעשייתית של SO_{3(g)} מקובל להשתמש ביחס מול דומה לזה שבניסוי 3. מהן הסיבות לכך, לדעתך?

6. כפי שלמדת מפיקים את האמוניה מחנקן שמקורו באוויר ומימן שמופק מפחמימנים. לפניך ניסוח התהליך להפקת מימן מהפחמימן הפשוט ביותר, מתאן, שיוצא לפועל בתנאים הבאים: טמפרטורה של 750°C נוכחות $\text{Ni}_{(s)}$ וקיסור בעודף.



א. חשב ΔH° של התגובה הישירה.

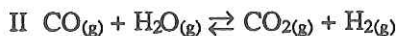
ב. אלו מבין התנאים שהוצגו משפיעים על:

i הזמן שדרוש להשגת שיווי-המשקל?

ii ריכוז ה- $\text{H}_2(g)$ בשיווי-משקל?

ג. האם לפי דעתך, כדאי לעבוד בלחץ נמוך או לחץ גבוה? נמק

ה- $\text{CO}(g)$ שנוצר בתהליך I מגיב אף הוא עם קיסור:



תהליך II מבוצע בכמה שלבים:

בשלב הראשון מיכל התגובה בטמפרטורה של 480°C . לאחר מכן מועברת תערובת הגזים למיכל שני בו עובדים בטמפרטורה של 315°C וקיסור בעודף.

ד. העזר ב ΔH_f° של המרכיבים וחשב ΔH° של התגובה הישירה.

ה. הצע הסבר לתנאי התגובה בשני המיכלים.

ו. האם לפי דעתך כדאי לעבוד בלחץ נמוך או בלחץ גבוה? נמק

7. בשלב האחרון של הפקת האמוניה בתעשייה מקבלים אמוניה נוזלית $\text{NH}_3(l)$.

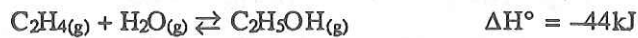
א. איזו תכונה של אמוניה מנוצלת בתהליך הניזול? תן הסבר ברמה מולקולרית.

ב. מהו היתרון באחסנת $\text{NH}_3(l)$ בהשוואה ל- $\text{NH}_3(g)$?

ג. בהתייחס לתכונות המרכיבים המשתתפים בתהליך התעשייתי הצע שיטה נוספת להפרדת האמוניה משאר המרכיבים. דון בשתי השיטות.

שאלות 9,8 ו-10 עובדו מתוך לקט בחינות הבגרות.

8. השאלה עוסקת בתהליך התעשייתי להפקת אתאנול מאתאן.



התגובה מתבצעת בנוכחות זרז, לחץ של 70 אטמוספרות וטמפרטורה של 300°C.

א. מדוע יש צורך ב:

i זרז?

ii העלאת טמפרטורה?

iii הפעלת לחץ?

ב. הצע שתי דרכים להפרדת התוצר מהתערובת.

ג. ציין על אלו תכונות של התוצר מתבססת כל אחת השיטות.

ד. מהם התנאים הנדרשים בזמן ההפרדה עבור כל אחת מהשיטות שהצעת (טמפרטורה, לחץ, חומרים נוספים)?

ה. באיזו מהשיטות שהצעת יש צורך במתקן הפרדה נוסף?

ו. מהו תפקידו של המתקן הנוסף?

9. השאלה עוסקת בתהליך תעשייתי להפקת חומצה אצטית ממתאנול ופחמן חד-חמצני.



א. העזר בערכי ΔH_f° של המרכיבים וחשב ΔH° לתגובה הישירה.

ב. מה הם תנאי הטמפרטורה והלחץ המועדפים לקבלת התוצר? נמק.

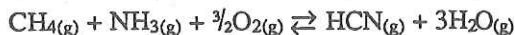
בעבר הופקה החומצה בטמפרטורה של 250°C ולחץ של 600 אטמוספרות.

החל משנת 1967 נמצאה דרך להפיק את החומצה בטמפרטורה של 150°C ולחץ של 40 אטמוספרות.

ג. מהו לדעתך, החידוש שהוכנס? נמק.

10. מימן ציאני $\text{HCN}(\text{g})$ הוא חומר גלם תעשייתי חשוב. נוזל זה, הרוחת ב- 25°C ונמס היטב במים, מגיב כחומצה.

$\text{HCN}_{(g)}$ מופק ע"י העברת זרם של גזים על פני Pt-Rh בטמפרטורה של 1200°C ולחץ של 2 אטמוספרות:



א. העזר בערכי ΔH_f° של המרכיבים וחשב ΔH° של התגובה הישירה.
($\Delta H_f^\circ \text{HCN}_{(g)} = 135 \text{ kJ}$)

ב. מדוע לפי דעתך עובדים ב:

i טמפרטורה גבוהה?

ii לחץ נמוך?

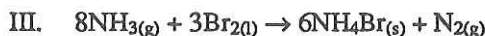
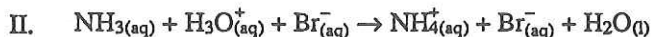
ג. מהו תפקיד ה-Pt-Rh?

תערובת הגזים היוצאת ממגדל התגובה מכילה בין היתר $\text{HCN}_{(g)}$ ו- $\text{NH}_3_{(g)}$ (שלא הגיבה). את התערובת הזאת מקררים ולאחר מכן מעבירים לשני מתקנים: במתקן הראשון נמצאת תמיסה מימית מהולה של חומצה גפרתית ובמתקן השני נמצאים מים.

ד. נסח את התהליך שמתרחש במתקן שבו חומצה גפרתית, והצע שימוש בתוצר התגובה.

ה. מהו החומר שעובר למתקן השני?

11. ניתן לקבל אמון ברומי מוצק בכל אחת משלושת התהליכים הבאים:



א. ציין לפחות שני הבדלים במתקנים המשמשים להפקת המוצר בתהליך II בהשוואה לתהליך I.

תהליך III מבוצע במפעל לתרכובות ברום בארץ.

ב. ציין יתרון אחד וחסרון אחד של תהליך זה בהשוואה לתהליך I.

