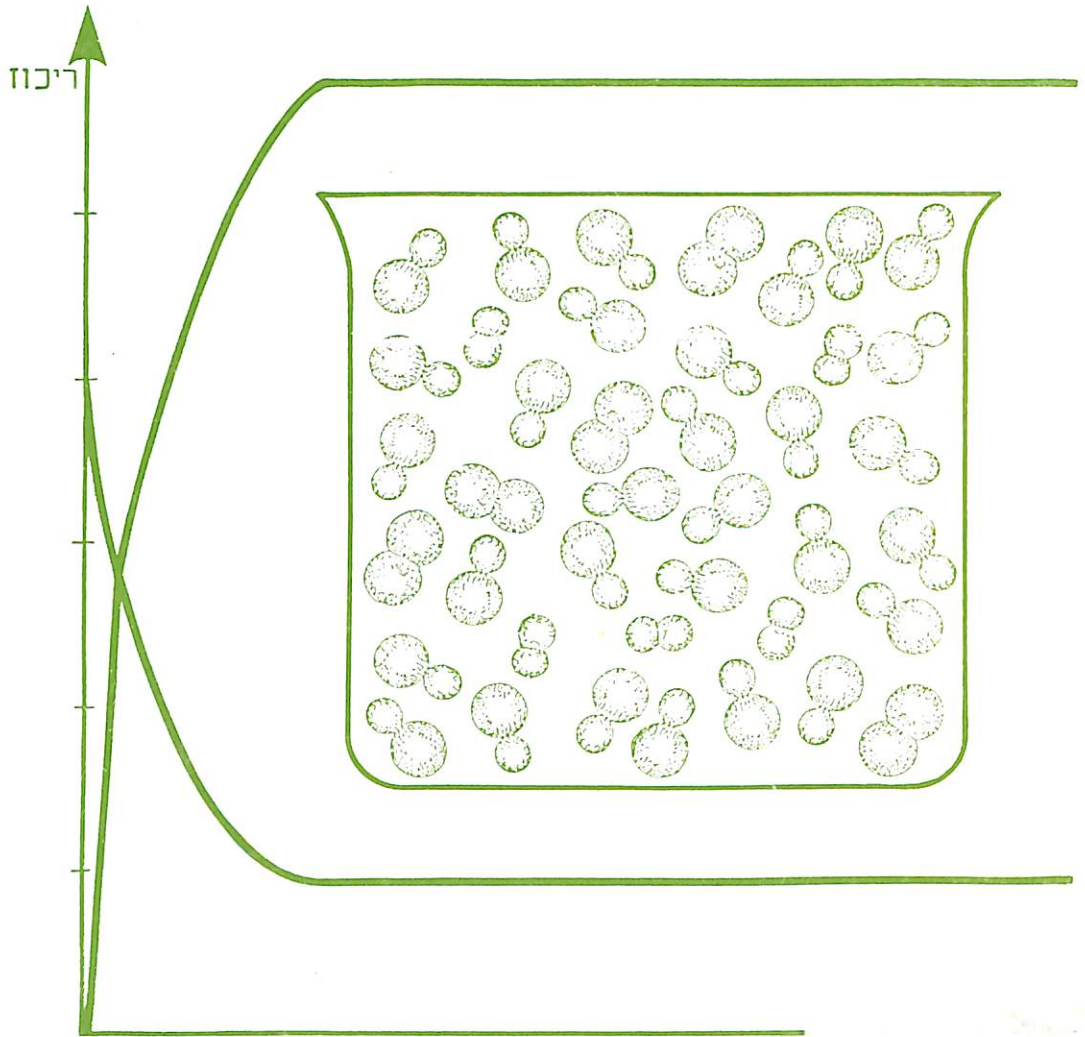


שיווי משקל כימי



איטה כהן

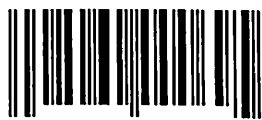
540.712

COH

הדורה ניסויית

המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע





00806000695

שיווי משקל כימי

איטה כהן



ספרית הוראת המדעים

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

SYSTEM NO. מס' מערכת

80600-1

5740,712
C04

גרפיקה: פולינה קרביץ

הדפסה: יעל עמנואל

©

כל הזכויות שמורות

מכון ויצמן למדע

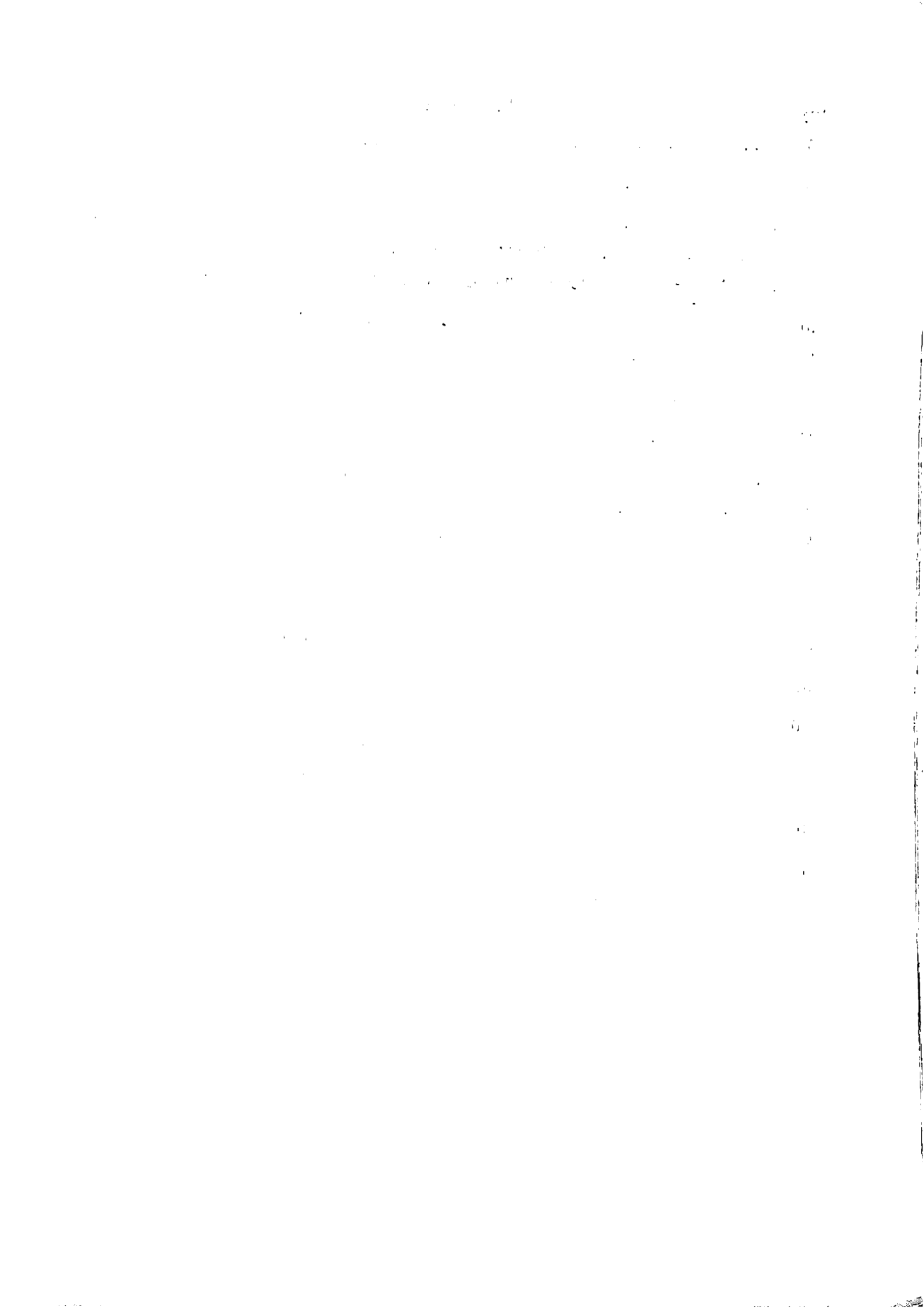
אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם,
לאחסן במאגר מידע, לשרר או לקלוט
בכל דרך או בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני
או אחר - כל חלק שהוא מהחומר שבטפר זה.
שימוש מסחרי מכל סוג שהוא כחומר הכלול בספר ו
אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמירל

נדפס בישראל תשמ"ה - 1985

מהדורה מתוקנת תשמ"ח - 1988

תוכן עניינים

עמ'	
3	א: תגובות הכיכות
3	* ניסוי מס' 1
7	שיווי-משקל כימי
17	היבטים אנרגטיים המשפיעים על מהירות התגובה
20	הצגות גרפיות של שינויי ריכוזים במערכות המגיעות לשיווי-משקל
20	* I השלמת גרפים לפי תגובות נתונות
22	* II ניסוח תהליכים לפי הצגות גרפיות
25	ב: קבוע שיווי המשקל
25	קבוע שיווי-המשקל
28	* הקשר בין ניסוח התגובה ונוסחת הקבוע
29	הניסוח ונוסחת הקבוע
31	* מציאת ערכו המספרי של קבוע שיווי-המשקל
34	* ניסוי מס' 2
36	מה ניתן ללמוד מערכו המספרי של K?
39	ג: הפרעות לשיווי משקל
39	הפרעה לשיווי נשקל
40	* ניסוי מס' 3
41	* I שינויי ריכוזים בטמפרטורה קבועה
45	הפרעה לשיווי-משקל ע"י שינויים בריכוזים בטמפרטורה קבועה
46	* ניסוי מס' 4
47	* II שינוי בנפח הכלי בטמפרטורה קבועה
52	הפרעה לשיווי משקל כתוצאה משינוי נפח הכלי בטמפרטורה קבועה
54	הפרעה לשיווי משקל ע"י שינוי בטמפרטורה
55	* ניסוי מס' 5
57	* III שינוי טמפרטורה בנפח קבוע
60	סיכום
61	מדוע מגיעה מערכת לשיווי-משקל?
64	* השפעת הטמפרטורה על שיווי-המשקל - תירגול
66	* תרגיל מסכם
68	בעיות



א: תגובות הכיכות

ניסוי מס' 1

לפניך תמיסה A המכילה CaCl_2 בריכוז 1M
וכן תמיסה B המכילה NaOH בריכוז 1M.

1. אילו יונים ממויימים נמצאים בתמיסות A ו B?

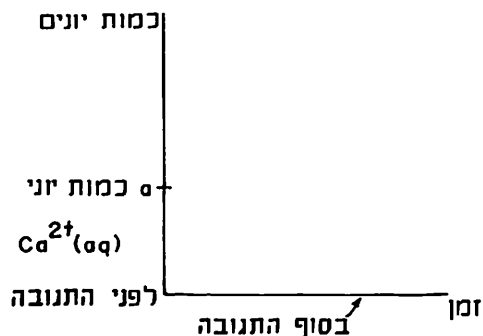
א) ערבב בכוסית 5ml של תמיסה A עם 10ml של תמיסה B.

2. רשום את תצפיותיך.

3. רשום ניסוח נטו לתגובה שהתרחשה.

נסמן את כמות יוני ה- $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ שלקחת, בסימון a .

4. i) הראה בגרף מה תהיה כמות יוני ה- $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ בסוף התגובה.



ii) סמן בגרף את כמות יוני ה- $\text{OH}^-_{(aq)}$ לפני התגובה, ולאחר התגובה.

5. מהם היונים הממויימים שנשארו לדעתך בתמיסה נמק.

ב) העבר חלק מהתמיסה הצלולה לשתי מבחנות (סנן, אם יש צורך).

6. מה יתרחש לדעתך, אם תטבול במבחנה הראשונה נייר לקמוס אדום?
הסבר.

ג) בצע בדיקה זו.

7. תאר את מימצאי הבדיקה.

8. האם הבדיקה אישרה את ציפיותיך?

אם לא - כיצד תסביר את הסתירה?

כידוע, ניתן לזהות יוני $Ca^{2+}_{(aq)}$ ע"י שיקוע המלח $CaCO_3(s)$ שצבעו לבן.

9. מה יקרה, לדעתך, אם נוסיף למבחנה השניה, תמיסת Na_2CO_3 ? נמק.

ד) הוסף למבחנה השניה כמה טיפות של תמיסת $1M Na_2CO_3$.
רשום את תצפיותיך.

10. מהן המסקנות מבדיקה זו?

11. אילו שאלות מתעוררות בעקבות הניסוי?

12. נסה להציע הסברים לשאלות המתעוררות.

13. כיצד ניתן לבדוק אם ההסבר שהצעת נכון? (התייעץ עם המורה).

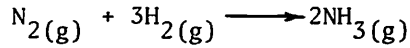
ה) בצע ניסוי שימשש לאישור (או דחיה) של כל הסבר שהצעת, ותאר אותו במילים. באם התרחש תהליך - רשום ניסוח מאוזן.

14. איזו תופעה התגלתה לך בניסוי מס' 7?

15. לאור התופעה שגילית, תקן את הדורש תיקון בתשובותיך לשאלה 4.

התיחס למימצאים הבאים:

א. הפקת אמוניה בתעשייה נעשית לפי התהליך שניסוחו:



למיכל התגובה הוכנסו מול של חנקן ו-3 מולים של מימן.

כמה מולים של אמוניה יתקבלו?

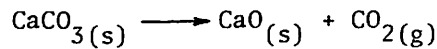
הממצאים מראים שהתקבלו רק 0.8 מולים של אמוניה.

ב. בחימום הגז $\text{HI}(\text{g})$ ניתן לקבל את מרכיביו מימן ויוד.

כמה מולים של $\text{HI}(\text{g})$ לדעתך יש להכניס למיכל סגור כדי לקבל מול אחד של יוד?

המימצאים מראים כי כדי לקבל מול אחד של יוד היה צורך לקחת 8 מולים של $\text{HI}(\text{g})$.

ג. כשמחממים אבן גיר $\text{CaCO}_3(\text{s})$ בכלי פתוח הוא מתפרק לפי הניסוח:



וניתן לפרק את כל כמות הגיר בחימום ממושך.

לעומת זאת, אם נבצע את החימום בכלי סגור, תישאר כמות מסוימת של גיר בתחתית הכלי.

ענה על השאלות הבאות:

1. מהו המשותף למימצאים אלו?

2. כיצד ניתן להסבירם לאור תוצאות ניסוי 1?

3. איזו שאלה מתעוררת לאור התופעה שגילית?

שיווי-משקל כלימי

כאשר מחממים נוזל מגבירים את אידויו, ומאידיך כאשר מקררים גז הוא מתעבה לנוזל. תהליכים אלו הינם תהליכים הפוכים. אם נכניס כמות של נוזל לכוס מכוסה, יתאדה חלק מהנוזל ויהפוך לגז שכמותו תלך ותגדל. לאחר זמן מה נמצא כי טיפות של נוזל מעובות על הדפנות וכן על תחתית המכסה. כלומר בד בבד עם תהליך האידוי, התרחש גם התהליך ההפוך - תהליך העיבוי. מה קרה בעצם בתוך הכוס?

בנוזל שהוכנס לכוס יש מספר עצום של מולקולות הנעות ללא הפסק, ולכל מולקולה מהירות תנועה משלה, החל במולקולות בעלות מהירות תנועה איטית במיוחד ועד למולקולות כעלות מהירות תנועה גבוהה מאוד. מאחר ומספר המולקולות כה גדול, נהוג לדבר על המהירות הממוצעת שלהן. המהירות הממוצעת תלויה בכמות האנרגיה שסופקה למולקולות, שחלקה הפכה לאנרגיה קינטית, שהביטוי לה היא הטמפרטורה הנמדדת. מה גורם לכך שעל אף תנועתן הבלתי פוסקת, נשארות המולקולות קרובות יחסית זו לזו בנוזל? הגורם לכך הינו כוחות המשיכה שבין המולקולות. כוחות אלו מגבילים את טווח התנועה של המולקולות. אבל על פני השטח של הנוזל, קיים מצב מיוחד. המולקולות שם נמשכות ע"י מספר קטן יותר של מולקולות שכנות ולכן באיזור זה קורה שמולקולות שתנועתן מהירה במיוחד, מצליחות תוך תנועתן, להינתק מכוחות המשיכה הבין-מולקולריים, לעזוב את פני הנוזל ולהפוך לגז. במצב זה לא חלים עליהן כל כוחות משיכה בין מולקולריים, ולכן הן חופשיות לנוע במהירות לכל עבר בחלק הפנוי של הכוס.

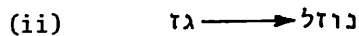
כאשר מחממים את הנוזל - כלומר מוסיפים לו אנרגיה, עולה גם המהירות הממוצעת בה המולקולות נעות, ולכן מספר גדול יותר של מולקולות תהיינה בעלות מהירות מספיק גבוהה שתאפשר להן להתנתק מפני הנוזל ולעבור למצב גזי - כלומר מספר המולקולות בגז יגדל, ולכן יגדל גם הלחץ שיפעילו האדים מעל הנוזל.

התהליך המתואר הינו תהליך האידוי, וניתן לנסחו באופן הבא:

גז \longrightarrow נוזל (i)

גם במצב הגזי יש לכל מולקולה מהירות תנועה משלה, וכאשר מולקולות איטיות יחסית תפגענה תוך תנועתן בפני הנוזל, שוב יפעלו עליהן כוחות המשיכה

הבין מולקולריים, והן תחזרנה להיות חלק מהנוזל (תהליך זה יגבר עם הירידה במהירותן של המולקולות, כלומר עם הירידה בטמפרטורה). גם מולקולות מהירות יותר עשויות לחזור ולהפוך שנית לחלק מהנוזל - זאת אם תוך כדי תנועתן הן תפגענה בפני הנוזל או בדפנות הכלי ובכך תכלמנה ומהירות תנועתן תקטן, ושוב יפעלו עליהן הכוחות הבין-מולקולריים. זו הסיבה שטיפות נוזל מתעבות גם על דפנות הכלי. גם הפעלת לחץ על הגז עשויה להביא להגברת תהליך העיבוי, זאת מאחר והגדלת הלחץ גורמת להקטנת הנפח התפוס ע"י הגז, וכתוצאה מכך ליותר מולקולות המצויות בגז יש סיכויים להבלם תוך פגיעה בדפנות הכלי או בפני הנוזל, ובכך לחזור למצב הנוזלי. את תהליך העיבוי ניתן לנסח באופן הבא:

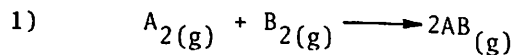


מאחר ובתחילה היה מספרן של המולקולות במצב הגזי, מועט, הרי גם מספרן של אלו שעברו את תהליך מס' (ii) היה קטן יחסית למספרן של אלו שעברו את תהליך מס' (i).

בשלב מסוים משתווה מהירות האידוי למהירות העיבוי, כלומר מספרן של המולקולות העוזבות את פני הנוזל בתהליך האידוי ביחידת זמן, שווה למספרן של המולקולות החוזרות אל הנוזל בתהליך העיבוי באותו פרק זמן. הניסוח המתאים למצב זה הינו:

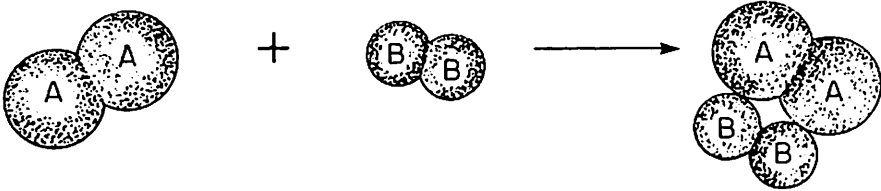


(מצב זה לא יתקבל אם הכלי יהיה פתוח, שכן חלק מהמולקולות שעוזבות את פני הנוזל, תעזובנה גם את הכלי ולכן יפחת מספרן של אלו שיחזרו ויתעבו. כתוצאה מכך יתאדה עוד ועוד מהנוזל עד שהכלי ייבש). גם בתגובות כימיות רבות שבהן משנים חומרים את הרכבם, ניתן להבחין בתופעה דומה. המדובר בתגובות שבהן אין המגיבים נעלמים כליל, בגלל התרחשותה של התגובה בכיוון ההפוך. נתיחס לשם הסבר, לתגובה כללית שניסוחה:



כאשר נכניס את המגיבים $\text{A}_2(\text{g})$ ו- $\text{B}_2(\text{g})$ לתוך כלי סגור, תימצאנה המולקולות של שני החומרים בתנועה בלתי פוסקת בכל חלקי הכלי, כפי שאופייני הדבר

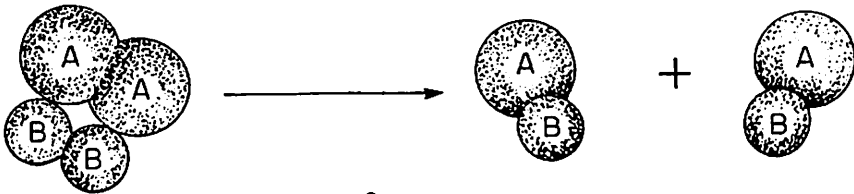
לכל חומר גזי. תוך כדי תנועתן עשויות המולקולות, כמוכן, גם להתנגש זו בזו. כאשר מתנגשת המולקולה A_2 במולקולה B_2 התנגשות מספיקה חזקה, עשוי הדבר להוביל למעין "התלכדות" של שתי המולקולות, ליצירת תוצר ביניים כפי שיראה הדבר בתרשים הבא:



תרשים 1

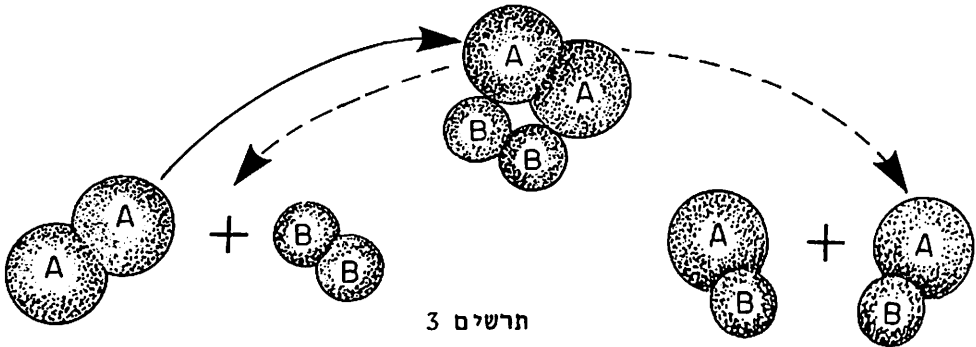
התנגשות חזקה כזו נקראת "התנגשות פוריה". "התלכדותן" של שתי המולקולות לא תימשך לזמן ארוך, ועשויה לקרות לתוצר ביניים זה, אחת משתי האפשרויות:

- א. להיפרד, וליצור שנית את המולקולות $B_2 + A_2$.
- ב. להיפרד, וליצור שתי מולקולות שהרכבן AB , כפי שיראה בתרשים הבא:



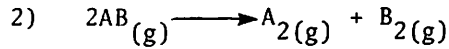
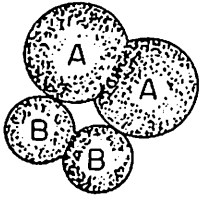
תרשים 2

התרחשויות אלו ניתנות לתיאור באופן הבא:



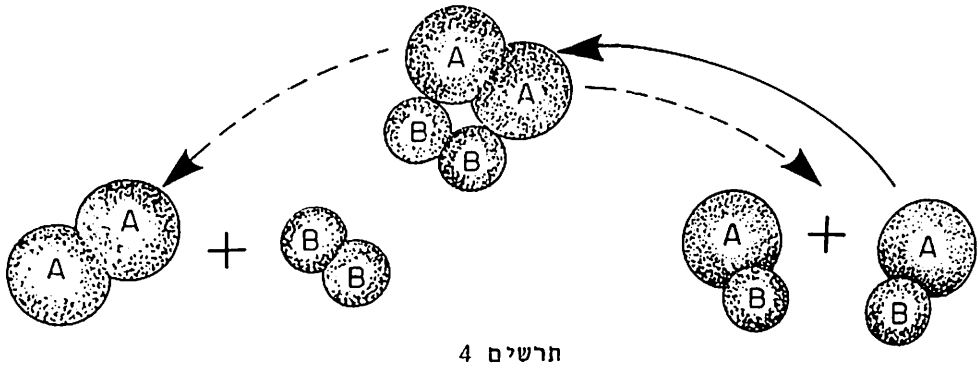
ככל שרב מספר המולקולות A_2 ו- B_2 שבכלי, רב גם מספר ההתנגשויות ביניהן, ולכן גם רבים הם הסיכויים להתנגשויות פוריות ולכן לקבלת התוצר AB . כלומר מהירות התגובה ליצירת AB (המתבטאת במספר המולים של AB הנוצרים ביחידת זמן), תלויה בריכוזי החומרים A_2 ו- B_2 והאנרגיה שלהם. מזה יובן כי מהירות התגובה תהיה בתחילה גבוהה יחסית, אך היא תלך ותרד ככל שירד מספר המולקולות A_2 ו- B_2 שבכלי.

מאידך, מולקולות התוצר AB, גם הן נעות בכלי, ותוך כדי תנועתן מתקיימות גם ביניהן התנגשויות. גם התנגשות ביניהן עשויה, בהיותה פוריה, ליצור את תוצר הביניים. וכפי שתואר לעיל, עשוי תוצר ביניים זה, לחזור וליצור את AB, או את $B_2 + A_2$, כלומר מתחילה להתרחש גם התגובה בכיוון ההפוך:



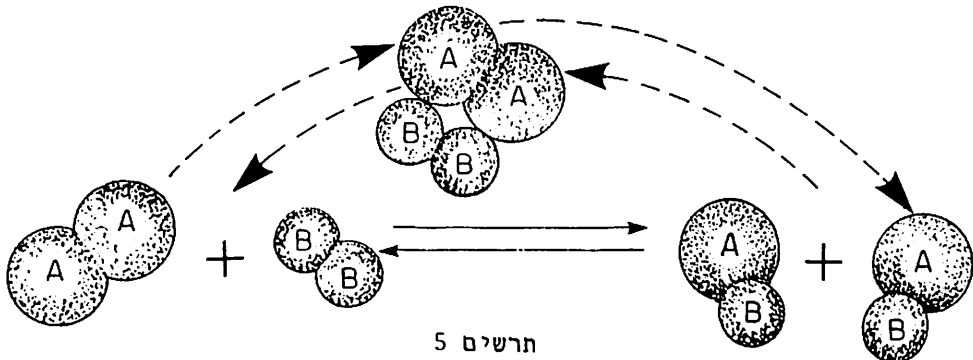
שהיא התגובה ההפוכה לתגובה הראשונה (מס' 1).

ניתן לתאר זאת בעזרת התרשים הבא:

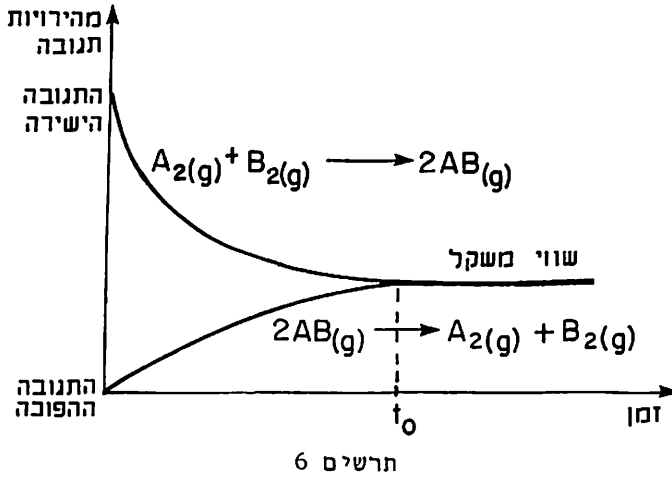


ברור כי ככל שריכוזו של AB יגדל, יעלה גם הסיכוי להתנגשויות בין המולקולות AB, ועמו יעלה גם הסיכוי להתרחשות התגובה ההפוכה. מכאן, שתגובה זו (מס' 2) תתרחש בתחילה עדיין במהירות מאוד נמוכה, זאת מאחר וריכוז הגז AB עדיין נמוך מאוד בתחילה. אך עם העליה בריכוז AB, תעלה גם מהירותה של תגובה זו.

במצב זה, ניתן לסכם את התגובות המתרחשות, בעזרת התיאור הבא:

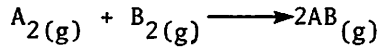


ניתן לסכם כי מהירות התגובה ליצירת AB תלך ותקטן, ואילו מהירות התגובה ההפוכה, ליצירת $B_2 + A_2$, תלך ותגדל. בשלב מסויים תשתוונה מהירויות שני התהליכים ההפוכים. ניתן להציג את השתנות המהירויות של התגובות 1 ו 2 גם באופן גרפי:

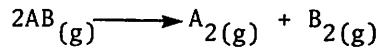


החל מהדקה t_0 שוות המהירויות לשני התהליכים ההפוכים.

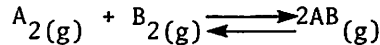
מהי המשמעות של מצב זה? במצב זה מספר המולקולות של AB שנוצרות ביחידת זמן בתגובה שניסוחה:



משתווה למספר המולקולות של AB המתפרק באותו פרק זמן לפי התגובה שניסוחה:



כלומר, החל משלב זה, לא יובחנו יותר שינויים בריכוזי החמרים השייכים לתגובה זו. אנו מכנים את המצב הנוצר בשם שיווי-משקל כימי, אותו ניתן להציג ע"י הניסוח:



מה מאפייין מצב זה?

א. כאמור, ריכוזי החומרים אינם משתנים יותר.

כתוצאה מהקביעות בריכוזי החומרים, תשארנה קבועות גם כל התכונות הניתנות למדידה בתערובת זו, כגון: צבע, pH, טמפרטורה (בכלי מבודד), מוליכות חשמלית וכו'.

ב. למרות הקביעות כתכונות החיצוניות של התערובת השרויה בשיווי משקל, הרי במצב של שיווי-משקל כימי אין המצב סטטי, אלא מתרחשות שתי התגובות בו זמנית באותה מהירות. כלומר, מספר המולים של מגיבים הנעלמים ביחידת זמן בתגובתם ליצירת "תוצרים", שווה למספר המולים של "מגיבים" שנוצרו באותו פרק זמן מתגובת ה"תוצרים" בתגובה ההפוכה. מסיבה זו מסמנים בניסוח התגובה את המצב של שיווי משקל, ע"י שני חיצים הפוכים עבור שתי התגובות ההפוכות:

תוצרים \rightleftharpoons מגיבים

ומכנים מצב זה בשם שיווי משקל דינאמי.

ג. במצב זה קיימת הפיכות. כלומר יכולת של המערכת להגיב בתגובה הישירה וההפוכה. הדבר מבטא כי המערכת במצב זה רגישה מאוד לשינויים.

ד. מצב של שיווי-משקל מתקיים רק במערכת סגורה, כלומר מערכת שכמויות החומרים בה אינן משתנות. מערכת שחומרים מוספים אליה, או יוצאים ממנה, נקראת מערכת פתוחה, ובה לא יתכן מצב של שיווי-משקל.

מאחר ומצב של שיווי משקל מתקבל כתוצאה מקיומן של שתי התגובות ההפוכות, הרי נוכל להגיע למצב כזה בכל אחד מן המקרים הבאים:

- (i) אם נכניס לכלי התגובה את החומרים הרשומים כמגיבים בניסוח התגובה.
- (ii) אם נכניס לכלי התגובה את החומרים הרשומים כתוצרים בניסוח התגובה.
- (iii) אם נכניס לכלי התגובה צרוף כל שהוא של חמרים הרשומים כמגיבים וכתוצרים בניסוח התגובה.

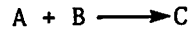
מכאן יובן כי המונחים מגיבים ותוצרים אינם משמעותיים כאשר מדובר בתגובה המגיעה לשיווי-משקל, מאחר וגם החמרים המסומנים כתוצרים, הינם המגיבים בתגובה ההפוכה, ואילו החומרים המסומנים כמגיבים, הינם התוצרים בתגובה ההפוכה.

הסימון מגיבים ותוצרים מתקשר, בעצם, רק למצב ההתחלתי. מקובל לכנות את החמרים שריכוזם פחת עד שהושג מצב של שיווי, בכלנוי מגיבים, ואת נוסחותיהם לרשום באגף השמאלי של ניסוח התהליך.

נסכם כמה מן המושגים שהכרנו

עבור תגובות המגיעות למצב של שיווי-משקל יש להבחין בין שלושה מושגים:

א. ניסוח התגובה שמתרחשת. הדבר אפשרי כאשר מדובר בתגובה שהתרחשותה ניכרת על פי ההפחתה בריכוזי המגיבים ועליה בריכוזי התוצרים. לדוגמה:



ניסוח זה מלמד כי ריכוזי A ו B פחתו, ואילו ריכוזו של החומר C גדל. בד בבד עם היווצרות החומר C מתחילה להתרחש גם התגובה ההפוכה.

ב. מצב של שיווי-משקל. במצב זה אין יותר שינויים בריכוזי המגיבים והתוצרים. לא ניכרת כל התרחשות של תגובה, מאחר ומהירויות שתי התגובות ההפוכות משתוות. מצב זה מסומן כך:



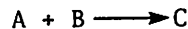
ניסוח זה מציין כי שורר מצב של שיווי-משקל דינאמי, מצב שבו קיימת הפיכות.

ג. המערכת. מושג זה מייצג את תכולת המיכל מבחינת ריכוזיהם של החומרים A, B ו C.

לכן ניתן לתאר את המערכת במצבים שונים כמו:

המערכת במצב התחלתי

אם הכנסנו למיכל רק את החומרים A ו B, הרי תאור המערכת במצב התחלתי יציג את הריכוזים ההתחלתיים של החומרים A ו B. במצב זה תתרחש רק התגובה:



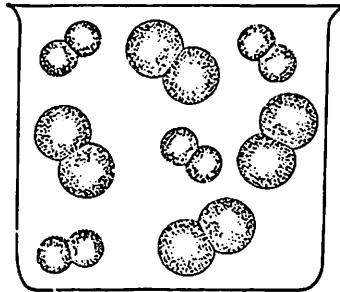
המערכת בזמן מוגדר כל שהוא מתאר את ריכוזי החומרים A, B ו C ברגע נתון שבו מתעניינים. אם ברגע נתון זה, לא שורר מצב של שיווי-משקל, תתרחשנה שתי התגובות ההפוכות במהירויות שונות.

המערכת במצב של שיווי-משקל - תציג את ריכוזי החומרים A, B ו C כאשר התגובה הגיעה לשיווי-משקל. במצב זה תתרחשנה שתי התגובות ההפוכות במהירות שווה, ולא יובחנו כל שינויים בריכוזי החומרים.

דוגמה

ננתח את השתנות ריכוזי החומרים $H_2(g)$ ו- $I_2(g)$ בכלי סגור שנפחו ליטר, שלתוכו הוכנסו 0.4 מילימול $H_2(g)$ וכן 0.4 מילימול של $I_2(g)$ (בכלי נשמרה כל העת טמפרטורה קבועה).

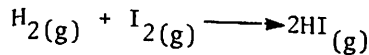
תרשים 7 מייצג את תכולת הכלי במצב ההתחלתי.



תרשים 7

התגובה

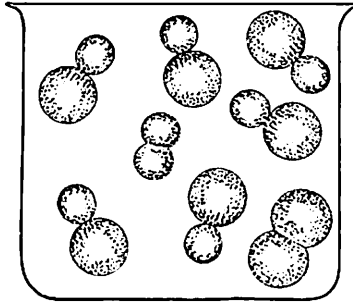
מולקולות המימן והיוד הגיבו ליצירת הגז מימן יודי לפי הניסוח:



מצב של שיווי משקל

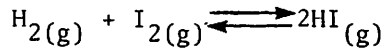
לאחר 35 דקות לא הובחן יותר כל שינוי בריכוזי החומרים (כלומר השתרר מצב של שיווי משקל), ונמצא כי כמות היוד בכלי הוא 0.1 מילימול. (מתוך נתון זה ניתן ללמד גם את כמותם של המימן וה- $HI(g)$ בשיווי משקל).

תרשים 8 מייצג את תכולת הכלי במצב של שיווי משקל.

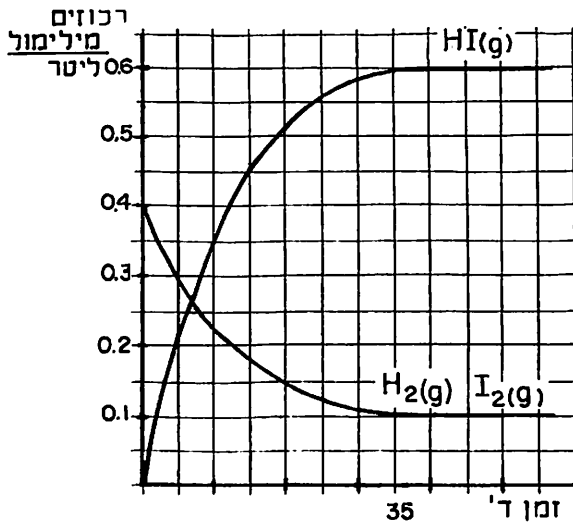


תרשים 8

במצב זה מתרחשות שתי התגובות ההפוכות במהירויות שוות, והניסוח הינו:



ניתן להראות את השתנות ריכוזי החומרים גם בצורה גרפית:



תרשים 9

המערכת

ניתן להציג את הרכבי המערכת במצבים שונים, בעזרת הטבלה הבאה:

$H_2(g)$	$I_2(g)$	$HI(g)$	ריכוזים ב מילימול ליטר
0.4	0.4	0	המערכה 1. במצב התחלתי
0.29	0.29	0.22	2. בדקה ה-5 (לדוגמה)
0.1	0.1	0.6	3. במצב של שיווי-משקל

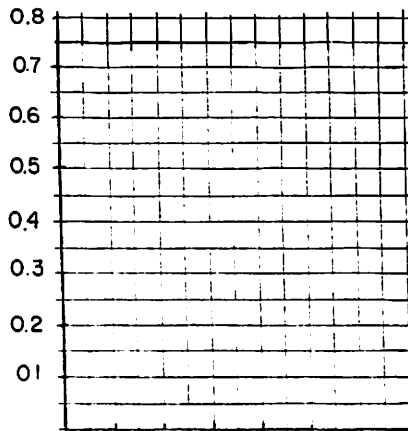
כמו כן ניתן לסכם את התגובות המתרחשות, וכן את מהירותן היחסית במצבים השונים של המערכת, בעזרת הטבלה הבאה:

המהירות	התגובה המתרחשת	ה מ ע ר כ ת
גבוהה	$H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$	1. במצב התחלתי
גבוהה	$H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$	2. בדקה ה-5 (לדוגמה)
נמוכה	$2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$	
מהירויות שוות	$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$	3. במצב של שיווי משקל

ניתן להגיע אל אותה מערכת שיווי-משקל גם אם במערכת ההתחלתית יימצא רק $HI(g)$ בריכוז של 0.8 $\frac{\text{מילי מול}}{\text{ליטר}}$. הראה בהצגה גרפית את שינויי הריכוזים

של $HI(g)$, $H_2(g)$ ו- $I_2(g)$ במקרה זה. (גם הפעם הושג מצב של שיווי משקל תוך 35 דקות).

ריכוזים
במילימול
ליטר



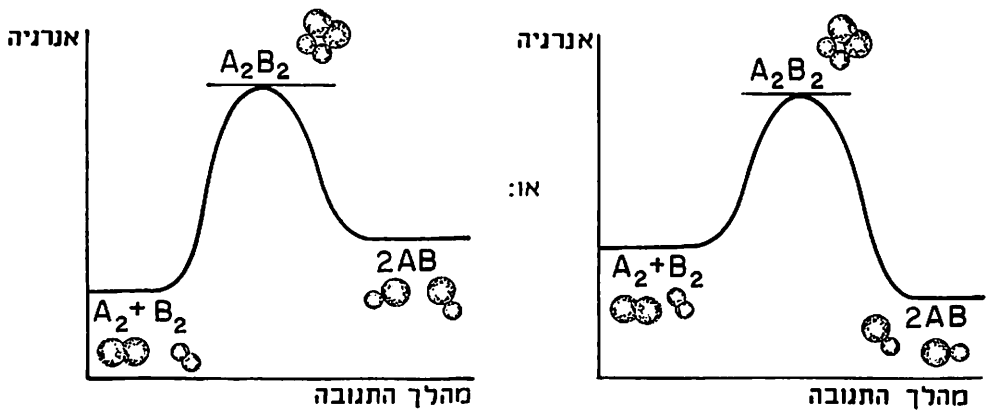
זמן ד' 35

הבטים אנרגטיים המשפיעים על מהירות התגובה

כפי שהוסבר לעיל, כדי שתתרחש תגובה יש צורך שהמולקולות תתנגשנה, אך אין זה תנאי מספיק לתגובה כיוון שלא כל ההתנגשויות הן פוריות.

התנגשות פוריה היא זו היוצרת תוצר ביניים. תוצר הביניים מאופיין בכך שמערכת הקשרים שבו רופפת למדי: הקשרים שהיו במולקולות לפני התנגשותן מתרופפים תוך ריחוק האטומים זה מזה (תהליך הדורש השקעת אנרגיה), וקשרים חדשים טרם נוצרו במלואם. האנרגיה שנדרשה לשם כך סופקה למערכת ע"י המולקולות המתנגשות עצמן: האנרגיה הקינטית שלהן נוצלה בעת ההתנגשות להרחקתם של האטומים הקשורים זה מזה. כפי שהוסבר, לא לכל האטומים אותה אנרגיה קינטית, לכן רק אותן מולקולות שהיו בעלות אנרגיה קינטית מספיק גבוהה, עשויות בעת התנגשותן ליצור את תוצר הביניים, שלו אנרגיה גבוהה במיוחד.

זאת ניתן לראות כתאור הבא:



תרשים 10

הפרש האנרגיה שבין תוצר הביניים לבין המגיבים נקרא "אנרגיית השפעול", והיא מהווה מחסום אנרגטי לתגובה. ככל שלתוצר הביניים אנרגיה יותר גבוהה, עולה גם אנרגיית השפעול, ואז הסיכוי להשגת מצב המעבר קטן, ואיתו קטן גם הסיכוי לתגובה, התוצאה היא ירידה במהירות התגובה.

כיצד ניתן להתגבר על אנרגיית השפעול ולהגדיל את מהירות התגובה?

שתי דרכים מתאימות לכך:

1. חימום

כיצד משפיע החימום על מהירות התגובה?
כידוע החימום מוסיף אנרגיה לחמרים, חלק מהאנרגיה מתבטאת בעליה

בטמפרטורה בכך שמשמשת לעליה באנרגיה הקינטית של המולקולות, כלומר להגדלת המהירות הממוצעת שלהן, וחלקה משמש לתוספת באנרגיה הפוטנציאלית של המולקולות, המתבטאת בהחלשתם של הקשרים הכימיים שבהן. לכל אחת משתי תוצאות אלו יש השפעה על מהירות התגובה: העליה במהירות הממוצעת מעלה את מספר ההתנגשויות בזמן נתון, והעליה באנרגיה הקינטית והפוטנציאלית מעלה את הסיכוי להתנגשויות פוריות. התוצאה היא שמהירות התגובה תגבר (נמצא כי חימום של 5-10 מעלות, מעלה את מהירות התגובה בערך פי 2).

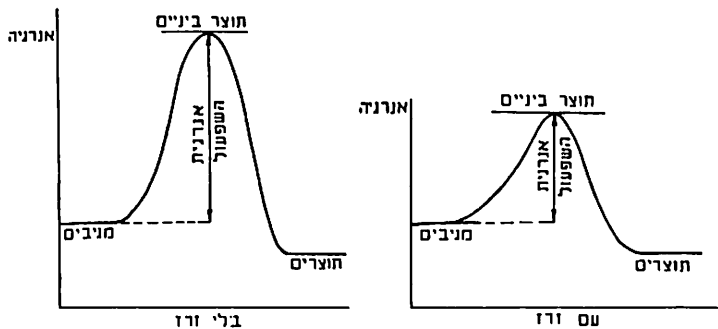
בחיי היום-יום יש חשיבות רבה ליכולת להשפיע על מהירות התגובה בעזרת חימום או קירור:

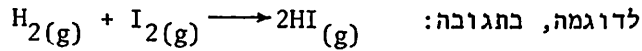
הכל יודעים כי הנפט הינו חומר דליק, אך ללא הצתה (חימום של חלק מהמגיבים המאפשר להם תגובה שמספקת אנרגיה לחימום כמות נוספת של מגיבים), הנפט יוכל להימצא בנוכחות חמצן ללא תגובה לזמן בלתי מוגבל. דוגמה הפוכה היא השימוש במקרר לשימור טריותו של המזון. הדבר אפשרי רק בגלל השפעת הקירור על הקטנת מהירויות התגובות האחראיות לריקבון. מנסיונך תוכל לחשוב על דוגמות נוספות להשפעה זו.

2. הוספת זרז

מהו זרז, וכיצד נוכחותו משפיעה על מהירות התגובה? הזרז הינו חומר שהמגיבים נקשרים אליו, ותוך כדי התקשרותם אליו נחלשים בהם הקשרים. מסיבה זו תוצר הביניים מתקבל אז ביתר קלות, וכבר אין צורך באנרגיה גבוהה לשם החלשת הקשרים שבו, כלומר אנרגיית השפעול הדרושה להשגתו נמוכה מזו של תוצר הביניים שהתקבל ללא זרז. לכן תוכלנה להשתתף בהתנגשות פוריה גם מולקולות בעלות אנרגיה נמוכה מהנדרש ללא נוכחות זרז, כלומר ליותר מולקולות יהיה סיכוי ליצור את תוצר הביניים בהתנגשותן, והתוצאה היא עליה במהירות התגובה.

התיאור הבא מראה את השפעת הזרז על אנרגיית השיפעול:



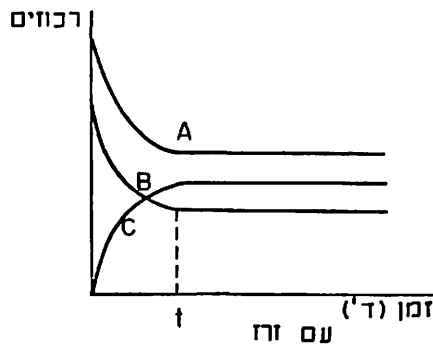
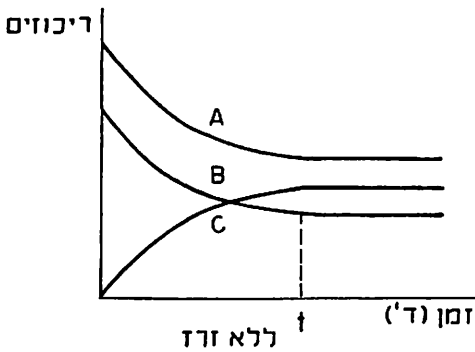


שימוש בזהב כזרז מוריד את אנרגיית השפעול ב-52kJ, ואילו שימוש בפלטינה מוריד אותה ב-100kJ.

כל התהליכים הכימיים המתרחשים בגופנו, מתרחשים בטמפרטורה של 37°C. לעומת זאת, אם ננסה לבצעם במבחנה באותה טמפרטורה, לא נבחין כלל בתגובה. ההסבר לכך הוא כי בגוף נמצאים זרזים מיוחדים - אנזימים, המאפשרים גם בטמפרטורה נמוכה, מהירות גבוהה לתגובה. בתעשייה יש חשיבות רבה למהירות התגובה, ולכן משקיעים עבודה רבה במציאת תנאים להגברתה. למשל, הפקת אמוניה ממרכיביה בתעשייה, התאפשרה רק לאחר שהכימאי היהודי פריץ הבר (Fritz Haber 1868-1934) מצא כי תחמוצת הברזל Fe_2O_3 , מתאימה לשמש כזרז בתגובה זו.

שים לב כי נוכחות הזרז תקצר את הזמן הדרוש להשגת שיווי-משקל, אך לא תהיה לנוכחותו כל השפעה על הרכב המערכת לכשיושג בה שיווי משקל*.

התיאור הבא מראה את השפעת הזרז על הרכב מערכת המגיעה לשיווי משקל עבור התגובה:
$$\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C}$$



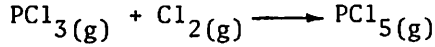
תרשים 12

* חשוב לציין כי בעוד שנוכחות הזרז אינה משפיעה על הרכב המערכת בשיווי משקל, אין הדבר כך כשמדובר בחמום, ועל כך תלמד בהמשך.

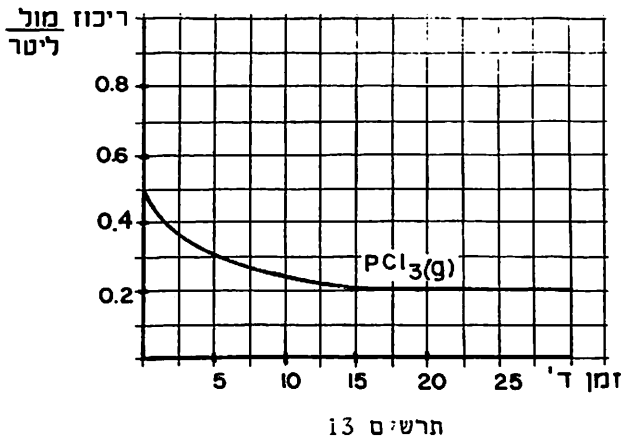
הצגות גרפיות של שינויי ריכוזים במערכות המגיעות לשיווי-משקל

I. השלמת גרפים לפי תגובות נתונות

1. התיחס לתגובה:



הכניסו לכלי התגובה שנפחו ליטר, 0.5 מול של $\text{PCl}_3(\text{g})$ וכן 0.8 מול של $\text{Cl}_2(\text{g})$. לאחר 15 דקות נמצא כי ריכוז $\text{PCl}_3(\text{g})$ הוא 0.2M. ריכוז זה לא השתנה יותר. ניתן להציג נתונים אלו באופן גרפי:



א. מה ניתן ללמד מנתונים אלו על השתנות ריכוז $\text{Cl}_2(\text{g})$ באותו פרק זמן?

ב. השלם בשרטוט את התשתנות הריכוז של $\text{Cl}_2(\text{g})$ עם הזמן.

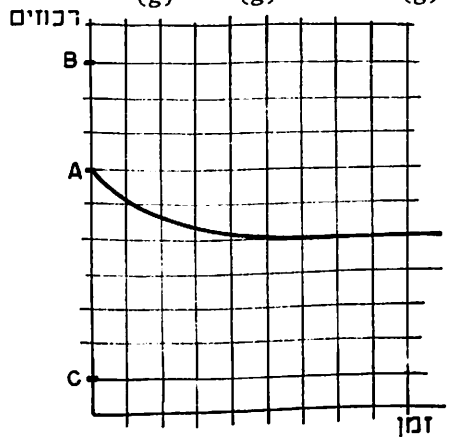
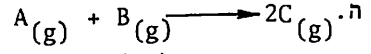
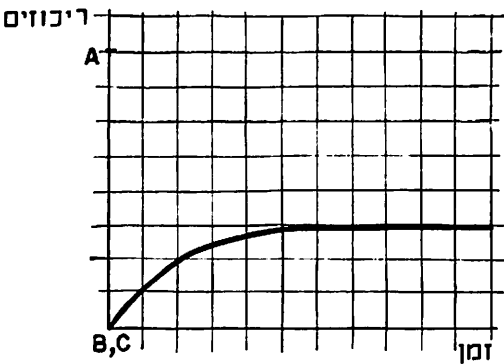
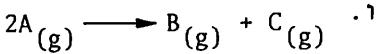
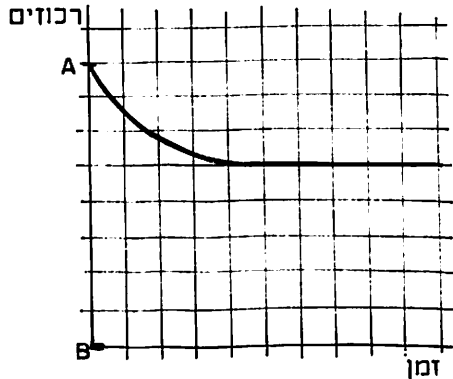
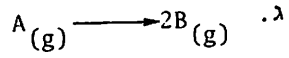
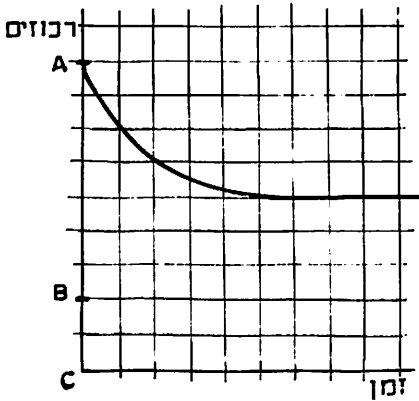
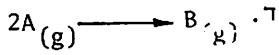
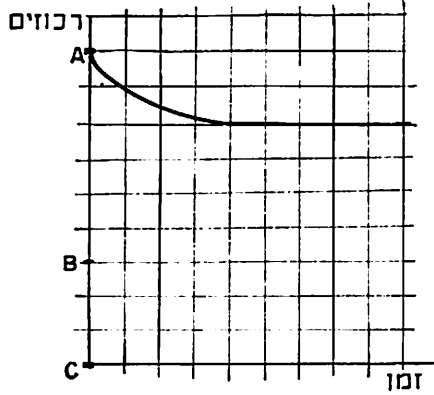
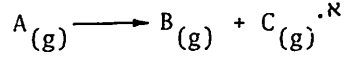
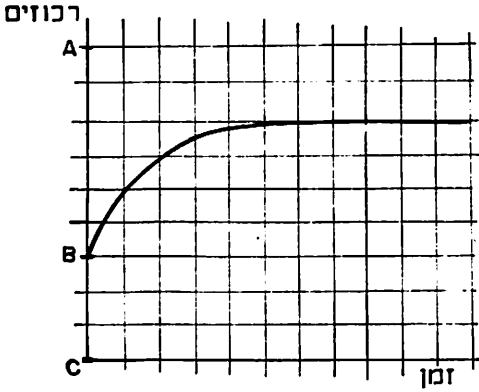
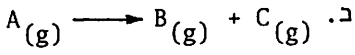
ג. מה ניתן ללמד מנתוני השאלה על השתנות ריכוז $\text{PCl}_5(\text{g})$ באותו פרק זמן?

ד. השלם בשרטוט את השתנות הריכוז של $\text{PCl}_5(\text{g})$ עם הזמן.

ה. מהו הרכב המערכת בדקה החמישית?

ו. מהו הרכב המערכת לאחר שהגיעה לש"מ?

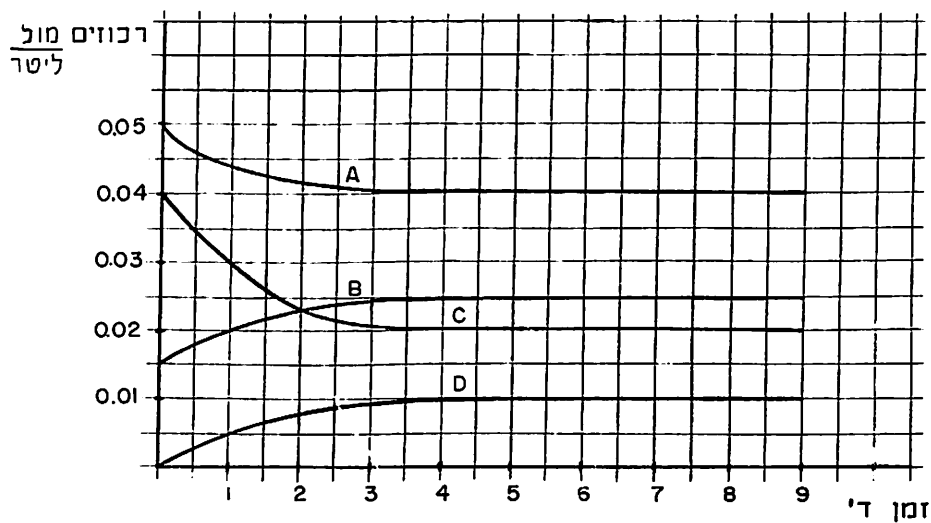
2. לפניך מספר תגובות המנוסחות באופן כללי, וכן נתונים על ריכוזים, המוצגים בצורה גרפית. השלם כל אחת מההצגות הגרפיות ע"י שרטוט השתנות ריכוזיהם של יתר החומרים המשתתפים בתגובה.



II. ניסוח תהליכים לפי הצגות גרפיות נתונות

1. לפניך תיאור גרפי של השתנות ריכוזי

החומרים $A(g)$, $B(g)$, $C(g)$ ו- $D(g)$



תרשים 14

א. מהם המגיבים ומהם התוצרים?

ב. מהו הרכב המערכת במצב ההתחלתי?

ג. מתי הושג ש"מ במערכת?

ד. מהו הרכב המערכת במצב של שיווי-משקל?

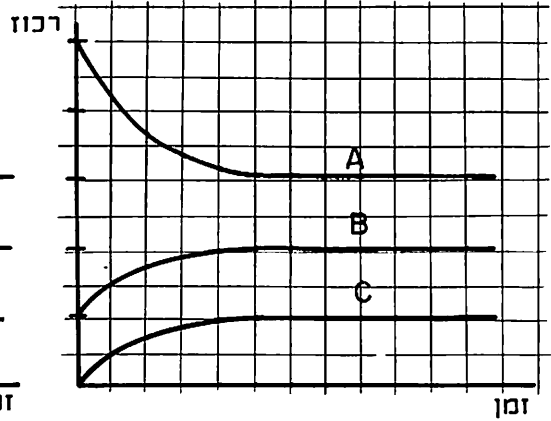
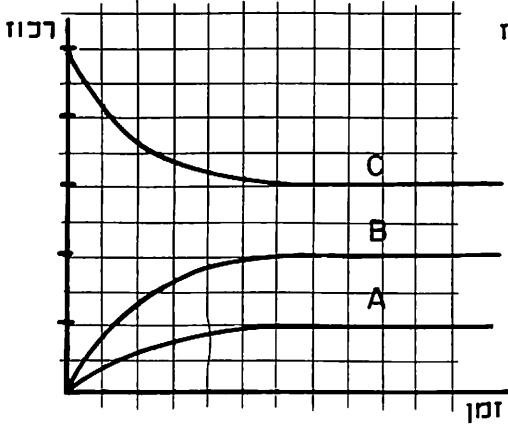
ה. בכמה השתנה ריכוזו של כל אחד מהחומרים במשך התגובה?

ו. רשום ניסוח מאוזן לתגובה.

2. לפניך מספר הצגות גרפיות המתארות את השתנות ריכוזי החומרים עם הזמן בתוך כלי סגור. רשום מתחת לכל אחת מההצגות את הניסוח המאוזן של התגובה שהתרחשה בכלי.

ב.

א.

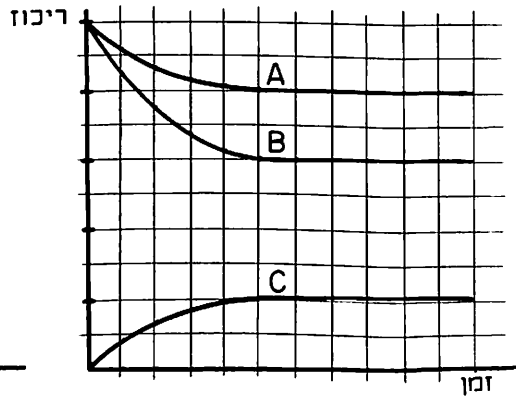
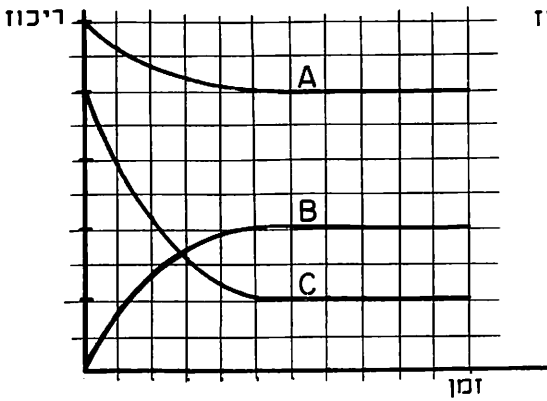


הניסוח:

הניסוח:

ד.

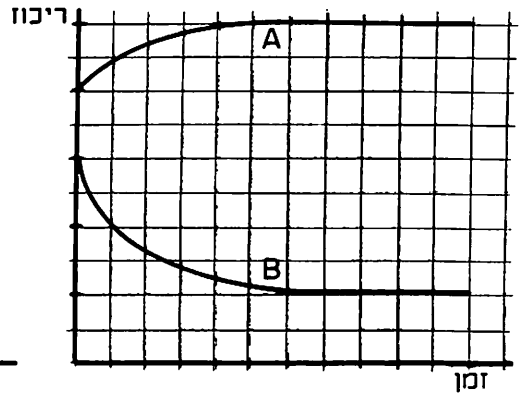
ג.



הניסוח:

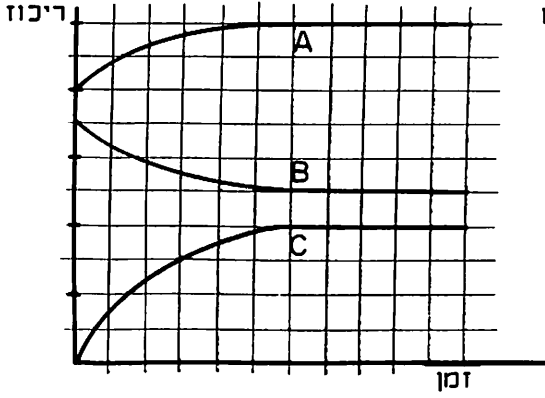
הניסוח:

ה.



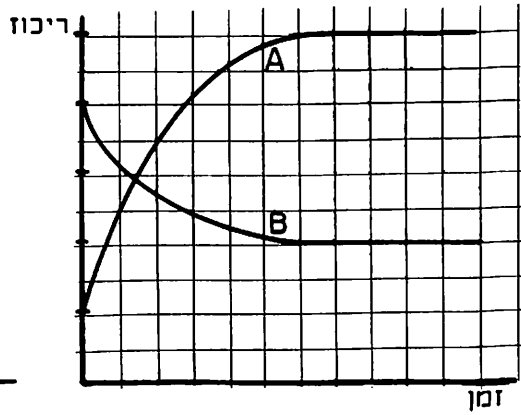
הניסוח: _____

ו.



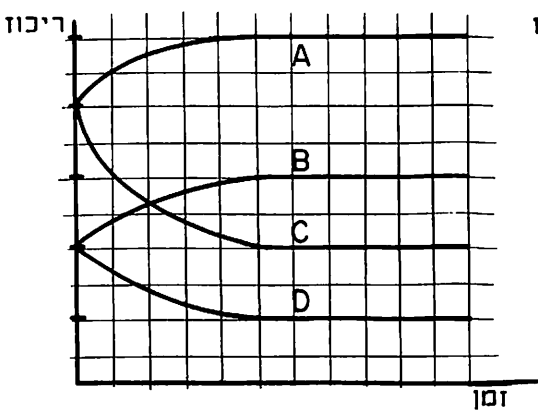
הניסוח: _____

ז.



הניסוח: _____

ח.



הניסוח: _____

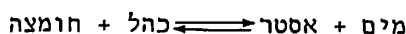
ב: קבוע שיווי המשקל

קבוע שיווי המשקל

בשיעורים האחרונים נוכחת בכך שתגובות כימיות רבות אינן מתרחשות עד תום, אלא מגיעות למצב של שיווי משקל. כימאים הצביעו על תופעה זו עוד לפני למעלה ממאה שנה. דוגמאות בולטות שהסבו את תשומת ליבם של הכימאים לתופעה זו, היו תהליכי המסת מלחים במים. תהליכים אלו נמשכו רק עד שהתמיסה הגיעה לריכוז. במצב של ריכוז, הוספת עוד מלח מוצק לא שינתה יותר את ריכוז היונים בתמיסה. תופעה דומה נמצאה גם בדוגמאות רבות אחרות של תהליכים כימיים, ונעשה נסיון לתת ביטוי כמותי עבור מידת התקדמות התגובה עד להשגת מצב של שיווי משקל.

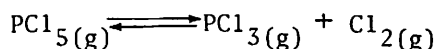
בשנים 1863-1867 פירסמו הכימאים הנורווגים גולדברג וווגה (Guldberg & Waage), סידרת מאמרים מדעיים שעסקו בתופעה זו.

אחת התגובות שנחקרה על ידם היתה תגובת האיסטור:

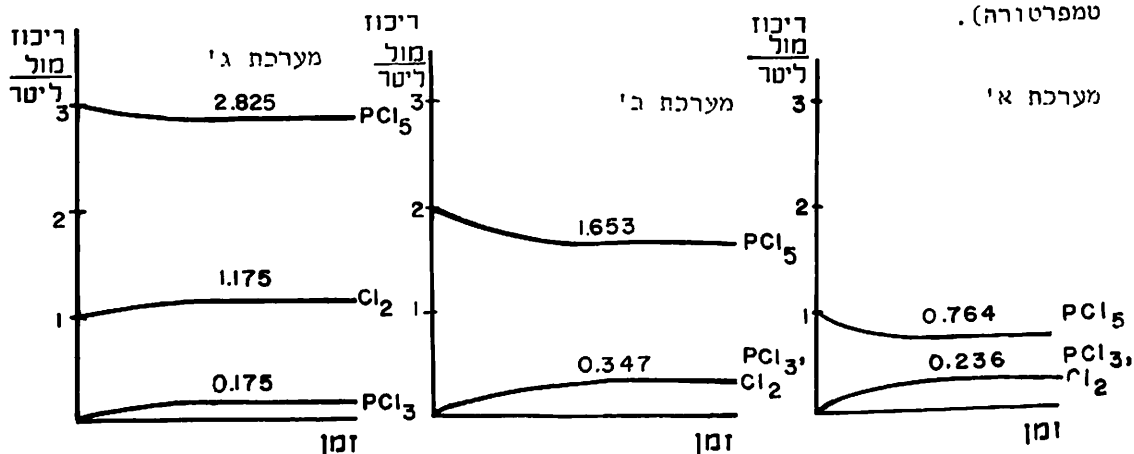


תגובה זו תחקור גם אתה בניסוי מס' 2.

נבחן כאן לדוגמה, את התגובה המגיעה לשיווי משקל:



להלן דיאגרמות המתארות את השינויים בריכוזי החומרים, שהתרחשו במהלך התגובה עד להשגת שיווי-משקל בשלוש מערכות (כל התהליכים בוצעו באותה טמפרטורה).



תרשים 15

האם קיים קשר בין ריכוזי החומרים שנמצאו במצב של שיווי-משקל במערכות אלו?

נמצא כי הקשר המתאים לכל המערכות הללו הוא

$$\frac{\left[\begin{array}{c} \text{ריכוז} \\ \text{PCl}_3(\text{g}) \\ \text{בשיווי משקל} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{ריכוז} \\ \text{Cl}_2(\text{g}) \\ \text{בשיווי משקל} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{ריכוז} \\ \text{PCl}_5(\text{g}) \\ \text{בשיווי משקל} \end{array} \right]} = \text{גודל קבוע}$$

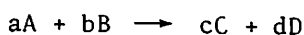
- חשב את ערכו של הגודל הקבוע המתקבל בשלוש המערכות שתוארו בתרשים 16.

- מערכת א' _____
- מערכת ב' _____
- מערכת ג' _____

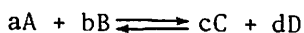
גודל זה מהווה מדד להרכב המערכת במצב של שיווי משקל. מדד זה מכונה בשם קבוע שיווי המשקל. בטמפרטורה קבועה, ערכו לא ישתנה, גם אם נשנה את הריכוזים ההתחלתיים שהכנסנו לכלי התגובה.

ובאשר לתגובות אחרות -

אם בכלי סגור וטמפרטורה נתונה, מתרחשת תגובה כללית שניסוחה המאוזן הוא:



הרי כאשר המערכת מגיעה למצב של שיווי משקל נרשום:



כפי שלמדנו, במצב זה ריכוזי החומרים A, B, C ו D לא ישתנו יותר. נסמן את ריכוזו של חומר A $\left(\frac{\text{במולים}}{\text{ליטר}}\right)$ במצב של שיווי-משקל, בסימון [A], ובאופן דומה עבור ריכוזי B, C ו D בשיווי משקל: [B], [C] ו-[D]. לפי מימצאיהם של גולדברג ווגה, מציבים את ריכוזי החומרים בשבר, שבמונהו תימצא מכפלת ריכוזי התוצרים, ובמכנה - מכפלת ריכוזי המגיבים. כל אחד מהריכוזים יועלה לחזקה ע"י מעריך השווה למקדם בניסוח המאוזן. למנה זו ערך קבוע בטמפרטורה קבועה, עבור התגובה הנתונה, בניסוח הנמוך.

קבוע זה הינו קבוע שיווי המשקל של התגובה הנתונה.
עבור הדוגמה הכללית שלעיל, נקבל עבור קבוע שיווי המשקל את הביטוי:

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

המימצאים הראו כי ערכו של K קבוע עבור התגובה, כל עוד גם הטמפרטורה קבועה. עם שינוי הטמפרטורה, משתנה גם ערכו של K.
גולדברג ווגה הגיעו להצעתם בדבר קבוע שיווי-המשקל בעזרת המימצאים שאספו מניסויים רבים שערכו במעבדה. מענין לציין שבמשך השנים נמצאה התאמה בין ההצעה שלהם, שהתבססה על עובדות ניסוייות, לבין המסקנות שהוסקו מתוך שיקולים תיאורטיים.

הקשר בין ניסוח התגובה ונוסחת הקבוע

בתוך כלי סגור שורר שיווי-משקל, והרכב המערכת הינו:

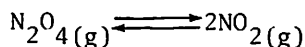
$$[\text{NO}_2] = 0.1 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 0.55 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

ניתן לנסח את המתרחש בכלי באופן הבא: $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$

1. השתמש בנוסחה הכללית עבור קבוע שיווי המשקל, וחשב את ערכו של K.

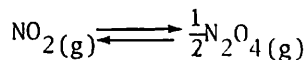
מאחר והמערכת מצויה בשיווי משקל, מתרחשות שתי התגובות ההפוכות במהירויות שוות, ולכן נוכל לרשום את הניסוח גם באופן הבא:



2. השתמש בנוסחה הכללית עבור קבוע שיווי המשקל, וחשב את ערכו של K.

3. מה הקשר בין הקבועים שמצאת בסעיפים 1 ו-2.

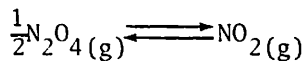
ניתן לרשום את המקדמים בניסוח התגובה גם באופן הבא:



4. השתמש בנוסחה הכללית עבור קבוע שיווי-המשקל, וחשב את ערכו של K.

5. מה הקשר בין הקבועים שמצאת בסעיפים 1 ו-4.

כמובן ניתן לרשום את ניסוח התגובה גם באופן אחר:



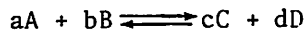
6. השתמש בנוסחה הכללית עבור קבוע שיווי המשקל, וחשב את ערכו של K.

הניסוח ונוסחת הקבוע

הנוסחה עבור קבוע שיווי המשקל, קשורה בצורת הניסוח של התגובה שבה מדובר, ולכן חשוב מאוד לשמור על עקביות ברישומים אלו. הדבר בא לידי ביטוי מיוחד בשני המקרים הבאים:



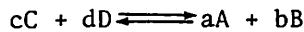
א. למדת כי ניתן להגיע למצב של שיווי משקל הן מתגובת החומרים A ו B והן מתגובת החומרים C ו D. כאשר בניסוח התגובה נרשמו A ו B כמגיבים:



נתאים את נוסחת הקבוע:

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

אבל אם נבחר לרשום את C ו-D כמגיבים, כלומר:



נצטרך בהתאם, גם לשנות את נוסחת הקבוע, ולרשום עבורו:

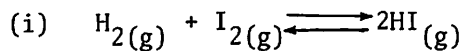
$$K' = \frac{[A]^a \cdot [B]^b}{[C]^c \cdot [D]^d}$$

שים לב כי ל-K' ערך הופכי לזה של K, כלומר:

$$K' = \frac{1}{K}$$

ב. מאחר והמקדמים בניסוח התגובה המאוזן מופיעים כמעריכים בנוסחת הקבוע, חשוב לשים לב לאופן איזון ניסוח התגובה

לדוגמה, התגובה שבין מימן ויוד גזי מגיעה לשיווי-משקל, וניתן לבססה באופן הבא:



אם במצב של שיווי-משקל ריכוזי החומרים הינם:

$$[H_2] = 0.04 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad : H_2(g) \text{ ריכוז}$$

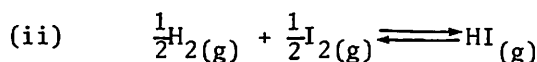
$$[I_2] = 0.04 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad : I_2(g) \text{ ריכוז}$$

$$[HI] = 0.28 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad : HI(g) \text{ ריכוז}$$

נוכל להביע את הנוסחה עבור הקבוע כך:

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2] \cdot [I_2]} = \frac{0.28^2}{0.04 \times 0.04} = 49$$

לעומת זאת ניתן לנסח את התגובה שבין מימן ויוד גזי גם בדרך הבאה:



במקרה זה נקבל באופן עיקבי את הנוסחה הבאה עבור הקבוע:

$$K'' = \frac{[HI]}{[H_2]^{1/2} \cdot [I_2]^{1/2}} = \frac{0.28}{0.4^{1/2} \cdot 0.4^{1/2}} = 7$$

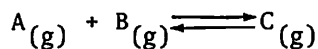
שים לב כי הקשר שבין K ו-K'' הוא: $K'' = \sqrt{K}$

יודגש כי שני קבועים אלו דנים באותו מצב של שיווי-משקל, עבורו נתונים הריכוזים של H_2 , I_2 ו-HI. נוסחת הקבוע וערכו המספרי יהיו תלויים בדרך בה ניסחנו את התגובה שהתרחשה, ולכן יש להקפיד על התאמה בין הצגת הניסוח המאוזן של התגובה לבין נוסחת קבוע שיווי-המשקל.

בשיעורים הבאים תלמד לחשב את ערכו של הקבוע על-פי נתונים שונים הקשורים במערכת.

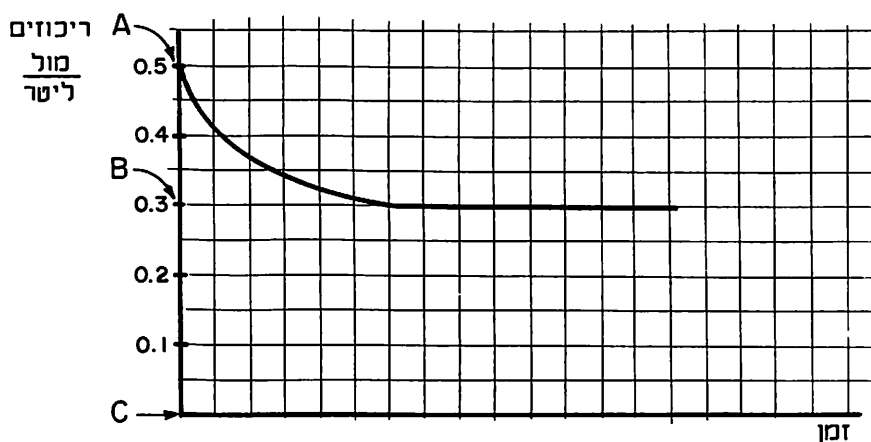
מציאת ערכו המספרי של קבוע שיווי-המשקל

1. נתיחס לתגובה $A(g) + B(g) \longrightarrow C(g)$, אשר לאחר זמן מסויים הגיעה לשיווי-משקל, שאותו ננסח ע"י הוספת החץ ההפוך:



החומרים $A(g)$ ו- $B(g)$ הוכנסו לכלי התגובה בריכוזים של $0.5 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ ו- $0.3 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ בהתאמה.

היה מעקב אחר ריכוזו של חומר A, וההצגה הגרפית הבאה מסכמת את המידע:



- א. השלם בגרף את השתנות ריכוזו של החומר $B(g)$ עם הזמן.
- ב. השלם בגרף את השתנות ריכוזו של החומר $C(g)$ עם הזמן.
- ג. רשום את הנוסחה עבור קבוע שיווי המשקל של תגובה זו.

ד. הצב בנוסחה את ערכם המספרי של ריכוזי החומרים $A(g)$, $B(g)$ ו- $C(g)$ בשיווי משקל, וחשב את ערכו של K.

2. ניתן להציג את הנתונים הנוגעים למערכת זו, גם ברישום בטבלה המסכמת, באופן הבא:

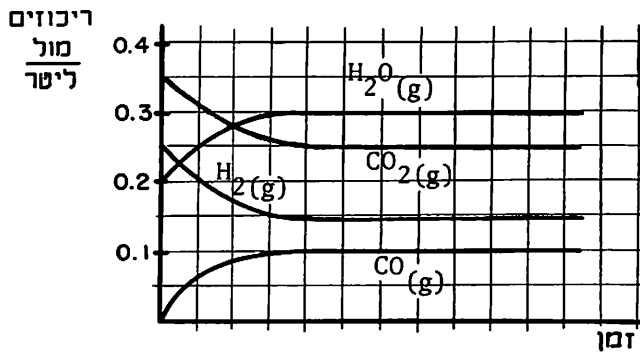
$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$ הניסוח:

0.5	0.3	0	ריכוזים התחלתיים	במול ליטר
-0.2	-0.2	+0.2	השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל	
0.3	0.1	0.2	הריכוזים בשווי-משקל	

ולכן:

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.2}{0.3 \times 0.1} = 6.7$$

ההצגה הגרפית הבאה מתארת מעקב אחר תגובה מסויימת.



א. מהם המגיבים ומהם התוצרים?

ב. הכך טבלה מסכמת עבור נתוני המערכת.

הניסוח המאוזן:

			ריכוזים. התחלתיים	במול ליטר
			השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל	
			הריכוזים בשווי-משקל	

ג. חשב את ערכו של K.

3. התגובה שבין מימן ויוד גזי מגיעה לשינוי-משקל תוך זמן מסויים. הכניסו לכלי ככלי 0.06 $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ של מימן, ו-0.05 $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ של יוד גזי. בשינוי משקל נמצאו בכלי 0.01 $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ של יוד גזי.

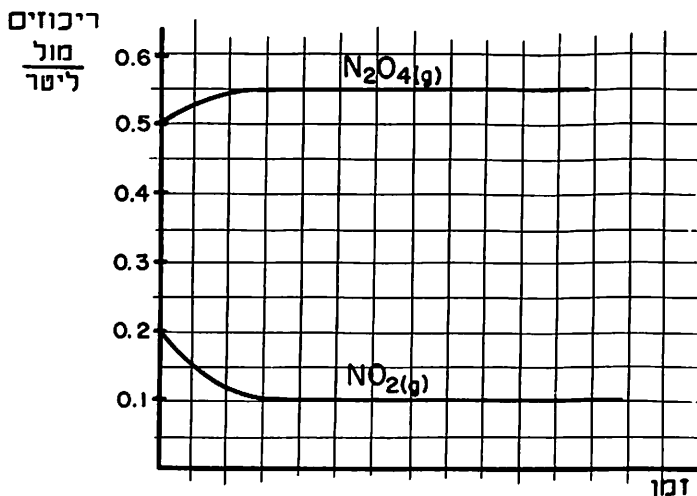
א. הצג בטבלה מסכמת את נתוני המערכת.

הניסוח המאוזן:

			ריכוזים התחלתיים	$\frac{\text{במול}}{\text{ליטר}}$
			השינוי בריכוז עד להשגת שיווי-משקל	
			הריכוזים בשיווי-משקל	

ב. הבע את הנוסחה עבור K וחשב את K .

4. ההצגה הגרפית הבאה מראה את השתנות הריכוזים של $\text{NO}_2(\text{g})$ ו- $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ עם הזמן:



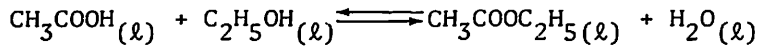
א. הצג בטבלה מסכמת את נתוני המערכת.

הניסוח המאוזן:

			ריכוזים התחלתיים	$\frac{\text{במול}}{\text{ליטר}}$
			השינוי בריכוז עד להשגת שיווי-משקל	
			הריכוזים בשיווי-משקל	

ב. הבע את הנוסחה עבור קבוע השינוי-משקל וחשב את ערכו של K .

מציאת ערכו של קבוע שיווי-המשקל עבור תגובת האסטור:



מאחר ותגובה זו יוצאת לפועל בנוכחות תמיסה חומצית, כזרז, נשתמש לשם כך ב- 2ml תמיסת 6M HCl.

ערבב בארלנמייר שניפחו 50 ml, חומרים בהתאם לאחת התערובות שלהלן:

תערובת מס'	6M HCl (ml)	CH ₃ COOH (ml)	C ₂ H ₅ OH (ml)	CH ₃ COOC ₂ H ₅ (ml)	H ₂ O (ml)
1	2	2	6	-	-
2	2	2	2	4	-
3	2	1	-	7	-
4	2	-	2	6	-
5	2	-	2	4	2
6	2	-	-	4	4
7	2	-	-	6	2
8	2	-	-	8	-

סגור את הארלנמייר היטב, ערבב והנח ליומיים לפחות (הזמן הדרוש למערכת להגיע לשיווי-משקל). לאחר יומיים או יותר, טטר את התערובת עם תמיסת 2M NaOH בנוכחות 2-3 טיפות פנולפתלאין.

טטר בנפרד 2ml תמיסת 6M HCl (מהתמיסה המקורית) עם תמיסת 2M NaOH בנוכחות 2-3 טיפות פנולפתלאין.

העזר בנתונים הבאים:

א. ב-2ml תמיסת 6M HCl יש 1.76g מים.

ב. צפיפות חומצת החומץ CH₃COOH היא: $1.05 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$

ג. צפיפות האתאנול C₂H₅OH היא: $0.749 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$

ד. צפיפות האסטר CH₃COOC₂H₅ היא: $0.894 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$

- רשום את הביטוי עבור קבוע שיווי-המשקל.

חשב:

א. מספר המולים שהכנסת לתערובת מכל אחד מהחומרים הקשורים לתהליך האיסטור (הבא בחשבון גם את המים שבתמיסת ה-HCl).

CH_3COOH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	H_2O

ב. ריכוז התחלתי של כל אחד מהחומרים שהכנסת לתערובת (במולים לליטר).

CH_3COOH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	H_2O

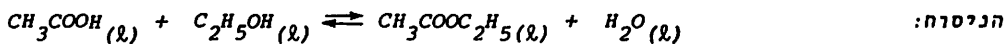
ג. ריכוז חומצת החומץ בתערובת לאחר יומיים (יחושב בעזרת הפחתת נפח תמיסת הבסיס שנדרש לטטור ה-HCl מנפח תמיסת הבסיס שנדרש לטטור

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} :$$

ד. ריכוז שאר החומרים במצב של שיווי-משקל.

$$[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} ; [\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} ; [\text{H}_2\text{O}] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

- רכז בטבלה הבאה את הנתונים עבור הרכבי המערכת במצב ההתחלתי ובמצב של שיווי משקל.



				ריכוזים התחלתיים
				השינוי בריכוז עד להשגת שיווי-משקל
				הריכוזים בשיווי-משקל

במול
ליטר

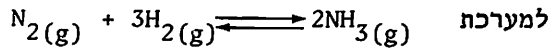
ה. חשב את ערכו של קבוע שיווי המשקל למערכת שבדקת _____

- השווה את ערכו של הקבוע שמצאת, עם הערכים שקבלו יתר התלמידים.

ו. האם ההרכב ההתחלתי של המערכת משפיע על הרכבה בשיווי משקל? כן/לא.

ז. האם ההרכב ההתחלתי של המערכת משפיע על ערכו של הקבוע? כן/לא.

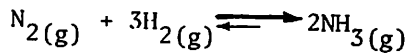
מה ניתן ללמוד מערכו המספרי של K?



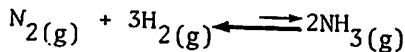
המגיעה לשיווי משקל ב- 400°K מתאים קבוע שיווי משקל שערכו $K = 4.3 \times 10^{-3}$.

לעומת זאת, אם התגובה תתרחש ב- 900°K , הרי למצב של שיווי משקל יתאים אז קבוע שערכו $K = 5.5 \times 10^{-3}$.

מה ניתן ללמוד מקבועים אלו על הרכב שתי המערכות במצב של שיווי משקל? ברור כי ב- 400°K , ריכוז התוצר במערכת שיווי המשקל, יהיה גדול יחסית לריכוז המגיבים. לעיתים מציגים זאת ע"י רישום של חיצים באורכים שונים בין המגיבים לתוצרים:



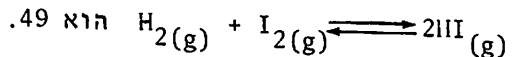
לעומת זאת ב- 900°K תכיל מערכת שיווי המשקל ריכוז תוצר נמוך, יחסית לריכוזי המגיבים. גם מצב כזה ניתן להציג ע"י אורך החיצים:



אם ערכו של K גדול במיוחד (גדול מ- 10^{10}), הרי שריכוז המגיבים בשיווי משקל כה קטן, עד שניתן להתיחס אל התגובה כאילו אינה יוצרת מצב של שיווי משקל, אלא כתגובה עד תום, כלומר כתגובה שתיצור תוצרים עד שלפחות אחד המגיבים יעלם כליל. כאשר ערכו של K קטן במיוחד (קטן מ- 10^{-10}), הרי שריכוזי התוצרים בשיווי משקל שנוצר, הינם כה זעירים, עד שניתן במקרים רבים להזניחם, ולהתיחס אל התגובה כאילו לא התרחשה כלל.

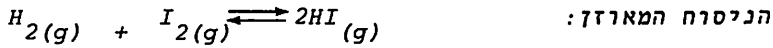
כאשר ערכו של K נמצא בין הערכים 0.01-100, מדובר במערכות שבהן ניתן לזהות בקלות יחסית במעבדה גם מגיבים וגם תוצרים הנמצאים בשיווי משקל. כאשר ערכו המספרי של K נתון, אפשר בתנאים מסוימים לחשב את הרכב המערכת במצב של שיווי משקל, כפי שניתן ללמוד מתוך הדוגמה הבאה.

נניח כי מבקשים להפיק את הגז $\text{HI}(\text{g})$ ע"י תגובת מימן עם יוד גזי, ידוע כי בטמפרטורה של 450°C ערכו של קבוע שיווי המשקל עבור התהליך



כיצד נעזר ב-K כדי למצוא כמה $\text{HI}(\text{g})$ ניתן לקבל בשיווי-משקל, בטמפרטורה של 450°C , אם נצא מ- $0.05 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ של מימן ו- $0.05 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$ של יוד גזי? ניתן לרכז את הנתונים בטבלה מסכמת, כפי שנהגנו בסעיפים קודמים.

נסמן ב-x את מספר המולים של H_2 שהגיבו עד לקבלת מצב של שיווי-משקל.



0.05	0.05	0	ריכוזים התחלתיים	$\frac{\text{במול}}{\text{ליטר}}$
-x	-x	2x	השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל	
0.05 - x	0.05 - x	2x	הריכוזים בשווי-משקל	

מאחר וערכו של K נתון עבור טמפרטורה של 450°C , הרי ניתן להשתמש בו לשם מציאת הרכב המערכת במצב של שיווי-משקל:

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

$$49 = \frac{(2x)^2}{(0.05-x)^2}$$

קיבלנו משוואה רבועית פשוטה, שנ ניתן לפתרה באופן הבא:

$$49 = \left(\frac{2x}{0.05-x}\right)^2$$

$$7 = \frac{2x}{0.05-x}$$

$$2x = 7(0.05-x)$$

$$2x = 0.35 - 7x$$

$$x = 0.04 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

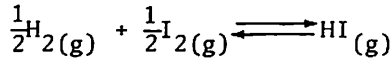
כלומר, המערכת מכילה בשיווי-משקל:

$$[\text{H}_2] = 0.05 - 0.04 = 0.01 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

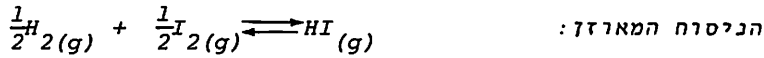
$$[\text{I}_2] = 0.01 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

$$[\text{HI}] = 2 \times 0.04 = 0.08 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

אם נבחר לרשום את הניסוח באופן הבא:



ונסמן הפעם ב-x את מספר המולים של $\text{HI}(\text{g})$ שנוצרו עד לקבלת מצב של שיווי-משקל.



0.05	0.05	0	ריכוזים התחלתיים
$-\frac{1}{2}x$	$-\frac{1}{2}x$	x	השינוי בריכוז עד להשגת שיווי-משקל
$0.05 - \frac{1}{2}x$	$0.05 - \frac{1}{2}x$	x	הריכוזים בשיווי-משקל

במול
ליטר

הקבוע המתאים לניסוח זה הינו:

$$K' = \frac{[\text{HI}]}{[\text{H}_2]^{1/2} [\text{I}_2]^{1/2}} = \sqrt{49} = 7$$

נציב עבור ריכוזי החומרים את הנתונים המתאימים:

$$7 = \frac{x}{(0.05 - \frac{1}{2}x)^{1/2} \cdot (0.05 - \frac{1}{2}x)^{1/2}} = \frac{x}{0.05 - \frac{1}{2}x}$$

$$x = 7(0.05 - \frac{1}{2}x)$$

$$x = 0.35 - 3.5x$$

$$x = 0.08$$

כלומר המערכת מכילה בשיווי משקל:

$$[\text{H}_2] = 0.05 - \frac{1}{2} \cdot 0.08 = 0.01 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

$$[\text{I}_2] = 0.01 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

$$[\text{HI}] = 0.08 \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

אין זה מפתיע, כמובן, שהרכב המערכת במצב של שיווי משקל אינו תלוי בדרך האיזון של ניסוח התגובה, וכן גם לא בגודל שעבורו הוצב המשתנה x.

ג : הפרעות לשיווי משקל

הפרעה לשיווי משקל

הפרעה לשיווי משקל הינה פעולה הנעשית במערכת המצויה בשיווי-משקל כימי, אשר בעקבותיה אין החומרים נמצאים יותר במצב של שיווי משקל. מהי משמעות ההפרעה?

הפרעה לשיווי-משקל הינה פעולה הגורמת לכך שמתבטל אותו איזון עדין בין התגובה הישירה וההפוכה, וכתוצאה - מהירויותיהן של שתי התגובות ההפוכות אינן שוות יותר זו לזו.

כלומר ההפרעה לשיווי-משקל עשויה לגרום לאחת מהתוצאות הבאות:

- שינוי במהירותה של התגובה הישירה בלבד.

- שינוי במהירותה של התגובה ההפוכה בלבד.

- שינוי במהירותן של שתי התגובות, אך לא במידה שווה.

כל אחת מהתוצאות תגרום לכך שיתהוו שינויים גם ברכוזי החומרים שבמערכת: יגדלו ריכוזיהם של תוצרי התגובה המהירה מבין השתיים, ויקטנו ריכוזי המגיבים בתגובה זו, עד אשר שוב תשתוונה המהירויות והמערכת תשיג שנית מצב של שיווי-משקל.

איך נדע אם שינוי מסויים מהווה הפרעה לשיווי-משקל?

(א) ע"י תצפיות ומדידות.

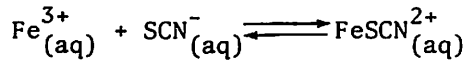
בניגוד למערכת המצויה בשיווי-משקל שבה אין להבחין בשינויים חיצוניים, הרי אם מתבוננים במערכת שבה ביצענו הפרעה לשיווי משקל, נבחין בשינויים הניתנים למדידה. שינויים אלו יפסקו רק כאשר המערכת תשיג מחדש מצב של שיווי משקל.

(ב) ע"י חישובים.

כל עוד נמצאת המערכת במצב של שיווי-משקל, מתאימה מנת ריכוזי החומרים המשתתפים בתגובה, לערכו של הקבוע K. הפרעה לשיווי-משקל, גורמת לכך שריכוזי החומרים אינם מתאימים יותר למצב של שיווי-משקל, כלומר כאשר נציב את הריכוזים לאחר שינוי כזה, בנוסחת הקבוע, לא נקבל ערך המתאים ל-K.

ניסוי מס' 3 - הפרעה לשיווי משקל עייל שינויי ריכוזים

לפניך מערכת הנמצאת בשווי-משקל*:



חלק את התמיסה ל-4 מבחנות.

א. למבחנה ראשונה הוסף כמה טיפות של תמיסת $0.2\text{M Fe}(\text{NO}_3)_3$; רשום תצפיות.

ב. למבחנה שניה הוסף גביש של $\text{KSCN}_{(\text{s})}$; רשום תצפיות.

ג. למבחנה שלישית הוסף גביש של $\text{K}_2\text{HPO}_4^{**}$; רשום תצפיות.

השווה כל אחת מהמבחנות, לתמיסה שנותרה במבחנה הרביעית. כיצד תפרש את תצפיותיך?

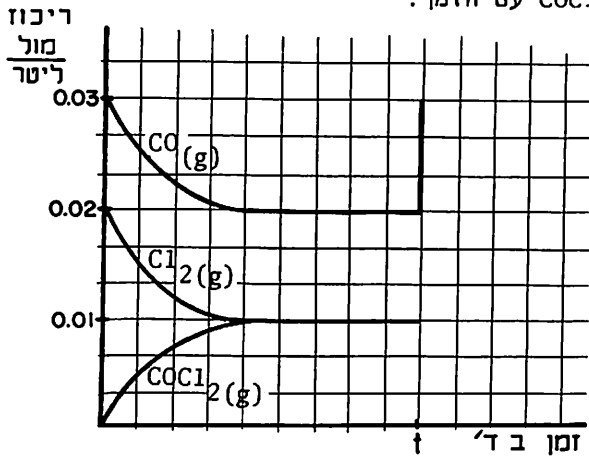
- תאר ברמה מולקולרית את השפעתה של כל אחת מהפעולות שביצעת.

*מערכת זו מתקבלת עייל הוספת 2-3 טיפות תמיסת $0.2\text{M Fe}(\text{NO}_3)_3$ ל-50 מ"ל תמיסת 0.001M KSCN .

**היון HPO_4^{2-} יוצר עם יוני Fe^{3+} יון קומפלקסי מסים.

I. שינויי ריכוזים בטמפרטורה קבועה

1. ההצגה הגרפית הבאה מראה את ריכוזי החומרים CO(g) , $\text{Cl}_2(\text{g})$ ו- $\text{COCl}_2(\text{g})$ עם הזמן:



(א) מהי התגובה שהתרחשה?

(ב) רשום ביטוי עבור קבוע שיווי-המשקל, וחשב את ערכו.

(ג) מה השתנה במערכת בדקה t?

(ד) איך ניתן לבצע שינוי זה?

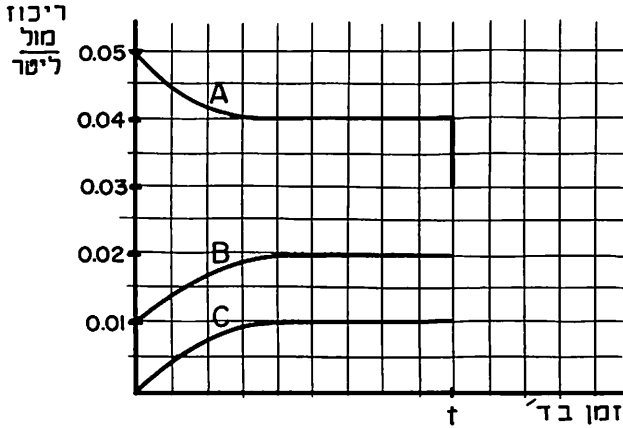
(ה) האם השינוי מהווה הפרעה לשיווי משקל? נמק.

(ו) מה יתרחש במערכת כתוצאה משינוי זה?

(ז) הראה באופן כללי בתרשים את ההצגה הגרפית של ריכוזי החומרים

CO(g) , $\text{Cl}_2(\text{g})$ ו- $\text{COCl}_2(\text{g})$ אחרי הדקה t.

2. ההצגה הגרפית הבאה מתארת שינויי ריכוזים של החומרים $B(g)$, $A(g)$ ו- $C(g)$ עם הזמן:



(א) רשום את ניסוח התגובה שהתרחשה.

(ב) חשב את ערכו של קבוע השינוי-משקל.

(ג) מה השתנה במערכת בדקה t ?

(ד) איך ניתן לבצע שינוי זה?

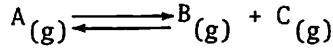
(ה) האם השינוי מהווה הפרעה לשינוי משקל? נמק.

(ו) מה ישתנה במערכת כתוצאה משינוי זה?

(ז) הראה באופן כללי בתרשים איך תיראה ההצגה הגרפית של ריכוזי החומרים $B(g)$, $A(g)$ ו- $C(g)$ אחרי הדקה t ?

נסה להכליל: כיצד מגיבה מערכת המצויה בשינוי-משקל כאשר משנים בה את ריכוזו של אחד החומרים.

3. לעיתים חיתכן הוספת חומר למערכת השרויה במצב של שיווי-משקל, בלי שריכוזו ישתנה (הדבר כרוך כמובן בהגדלת נפח המערכת). לדוגמה: נתון מיכל בנפח של ליטר המכיל 0.02 מול חומר $A(g)$, 0.04 מול חומר $B(g)$ ו- 0.03 מול של חומר $C(g)$. בכלי מתקיים שיווי משקל המתאים לניסוח:



א) רשום את נוסחת קבוע שיווי-המשקל.

ב) חשב את ערכו של K .

נניח כי 10 דקות לאחר שהשתרר שיווי משקל בכלי, מחברים למיכל הנתון, מיכל נוסף בנפח של ליטר, שבו 0.02 מול של החומר $A(g)$:

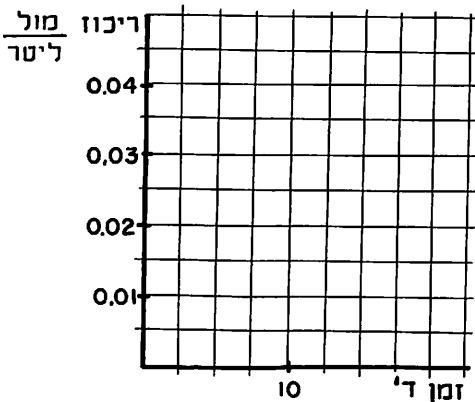
ג) ברגע חיבור המיכל הנוסף, ריכוז החומר $A(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

ריכוז החומר $B(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

ריכוז החומר $C(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

ד) האם השינוי מהווה הפרעה לשיווי-משקל? נמק.

ה) הראה בהצגה גרפית את ריכוזי החומרים:



(i) עד חיבור המיכל הנוסף.

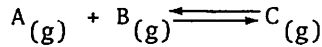
(ii) ברגע חיבור המיכל הנוסף.

(iii) לאחר חיבור המיכל הנוסף.

(לא במדויק).

ו) הסבר כיצד הסקת את תשובתך לשאלה ה-iii?

4. עחה עיין במערכת שבה שורר שיווי-משקל בהתאם לתגובה:



המערכת מצויה במיכל שנפחו ליטר המכיל 0.02 מול של $A(g)$, 0.04 מול של $B(g)$ ו-0.03 מול של $C(g)$.
(א) רשום את נוסחת הקבוע.

(ב) חשב את ערכו של קבוע שיווי-המשקל.

בניח כי גם הפעם, 10 דקות לאחר שהשתחרר שיווי משקל במערכת, חיברו למיכל הנתון מיכל נוסף שניפחו ליטר, המכיל 0.02 מול של $A(g)$.

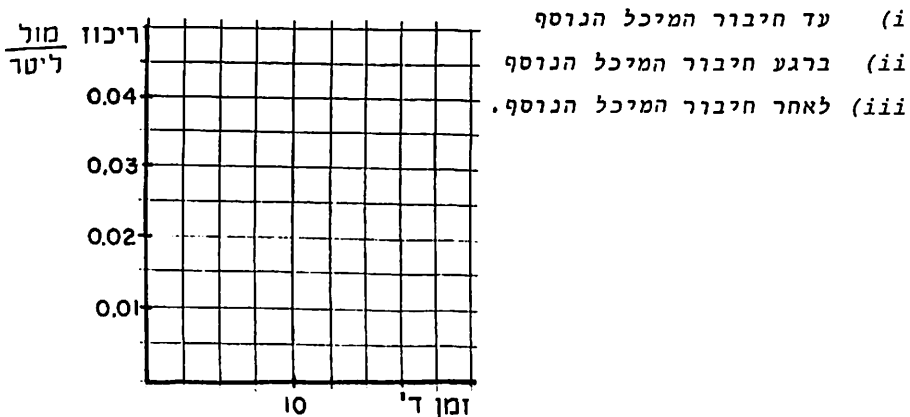
(ג) ברגע חיבור המיכל הנוסף, ריכוז החומר $A(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

ריכוז החומר $B(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

ריכוז החומר $C(g)$ יהיה: _____ $\frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$

(ד) האם השינוי מהווה הפרעה לשיווי-משקל? נמק.

(ה) הראה בהצגה גרפית את ריכוזי החומרים:



(ו) הסבר כיצד היסקת את תשובתך לשאלה ה-iii.

הפרעה לשיווי משקל ע"י שינויים בריכוזים בטמפרטורה קבועה

ניתן לסכם כי אם מערכת נמצאת במצב של שיווי משקל, ומשנים בה את ריכוזו של אחד החומרים, שינוי זה מהווה הפרעה לשיווי משקל, כיון שבקבוצתו מתבטל האיזון בין נטית שתי התגובות להתרחש, ואין המערכת שרויה יותר במצב של שיווי-משקל. כן גם ריכוזי החומרים אינם מתאימים יותר לערכו של קבוע שיווי-המשקל, בעקבות ההפרעה שנושטה.

מהי משמעות הדבר ברמה מולקולרית?

כל עוד שרר במערכת מצב של שיווי משקל, היו מהירויותיהן של שתי התגובות ההפוכות שוות זו לזו. ברגע ששונה ריכוזו של אחד החומרים, אין המהירויות שוות יותר האחת לשניה. אם הוגדל ריכוזו של חומר מסויים, תגדל גם מהירות התגובה שבה הוא משתתף, ולכן ריכוזו יפחת עד ששוב תשתוינה המהירויות של שתי התגובות ההפוכות, והמערכת תשוב למצב של שיווי משקל. מאידך, אם הוקטן ריכוזו של אחד החומרים, הדבר יגרום להקטנת המהירות של התגובה שבה הוא משתתף, ולכן ריכוזו יגדל בעקבות התגובה ההפוכה. עד אשר תשתוינה המהירויות של שתי התגובות ושיווי משקל ישוב לשרור במערכת. כאשר המערכת שבה למצב של שיווי-משקל, תתאים מנת ריכוזי כל החומרים בה לערכו של קבוע שיווי המשקל K.

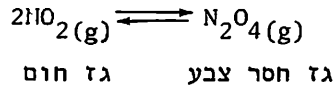
ולסיכום - אם ההפרעה לשיווי משקל התבטאה בהגדלת ריכוזו של אחד החומרים, תתרחש תגובה שתגרום לכך שריכוזו יפחת (כלומר יגדלו ריכוזי החומרים הרשומים באגף השני בניסוח התגובה). אם ההפרעה לשיווי משקל התבטאה בהקטנת ריכוזו של אחד החומרים, תתרחש תגובה שתגרום לכך שריכוזו יגדל (כלומר יגדלו ריכוזי החומרים הרשומים באגף שבו רשום גם חומר זה בניסוח התגובה).

באופן כללי, אם נעשית הפרעה לשיווי משקל ע"י שינוי בריכוזו של אחד החומרים השייכים למערכת שיווי המשקל, המערכת תגיע מחדש למצב של שיווי-משקל, תוך התרחשות תגובה, שתקטין את השינוי שנעשה בריכוז.

שים לב כי אם משנים את ריכוזיהם של כנוה חומרים במערכת שיווי המשקל, יש לבדוק תחילה בכל מקרה ומקרה, אם הדבר מהווה הפרעה לשיווי-המשקל, ובאם נמצא שאומנם היתה הפרעה, יש לבחון איזה שינוי יביא את המערכת שנית למצב של שיווי משקל. כלומר, אם תתרחש תגובה שתיצור יותר תוצרים (חומרים הרשומים באגף ימין בניסוח התגובה), או יותר מגיבים (חומרים שנוסחתיהם רשומות באגף השמאלי בניסוח התגובה).

ניסוי מס' 4: הפרעה לשיווי משקל ע"י שינוי בנפח הכלי בטמפרטורה קבועה

במזרק סגור המונח על רקע לבן נמצאת מערכת בשיווי משקל:



א. לחץ במהירות על הבוכנה והקטן את הנפח התפוס ע"י הגזים.
תאר תצפיות.

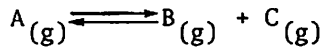
ב. שחרר במהירות את הבוכנה והגדל את הנפח התפוס ע"י הגזים.
תאר תצפיות

(ניתן לחזור על פעולות אלו שוב ושוב).
כיצד תפרש את תצפיותיך?

תאר ברמה מולקולרית את השפעתה של כל אחת מהפעולות שבוצעו.

II. שינוי בנפח הכלי בטמפרטורה קבועה

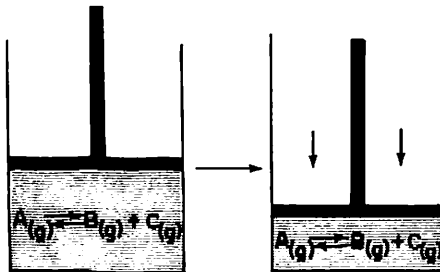
1. נתון מיכל שנפחו ליטר, ובו שורר שיווי-משקל בהתאם לתגובה:



המיכל מכיל במצב זה 0.02 מול $A(g)$ 0.04 מול $B(g)$ ו-0.03 מול $C(g)$.

(א) רשום את נוסחת הקבוע, וחשב את ערכו של K .

5 דקות לאחר שהשתרר שיווי משקל במיכל, הפעילו עליו לחץ, והקטינו את נפחו לחצי ליטר, תוך שמירת טמפרטורה קבועה.

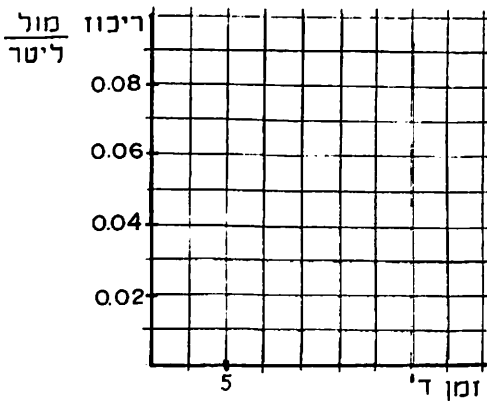


(ב) חשב את ריכוזי החומרים המתקבלים בגלל הפעלת הלחץ:

$$[A] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad ; \quad [B] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad ; \quad [C] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

(ג) האם עדיין מתקיים שיווי-משקל בכלי? נמק.

(ד) הראה בהצגה גרפית את ריכוזי החומרים:



- (i) עד הפעלת הלחץ על המיכל.
 - (ii) ברגע הפעלת הלחץ על המיכל.
 - (iii) לאחר הפעלת הלחץ על המיכל.
- (לא במדוייק).

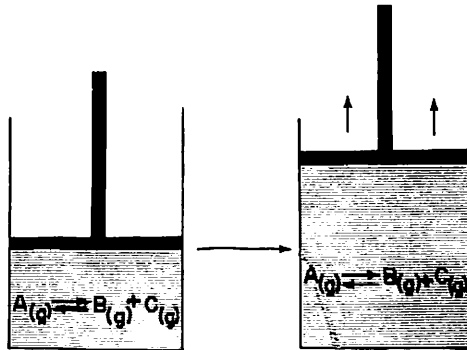
ה) הסבר כיצד הסקת את תשובתך לשאלה ד iii.

ו) לפי תשובתך לשאלה ד iii, ציין:

i) האם וכיצד ישתנה מספר המולים הכולל שבמיכל, מרגע הפעלת הלחץ ועד להשגת שיווי משקל מחודש?

ii) האם וכיצד ישתנה הלחץ השורר בכלי, מרגע הפעלת הלחץ ועד להשגת שיווי משקל מחודש?

2. נדון שנית במיכל המקורי שהוצג בסעיף 1, ונניח כי הפעם 5 דקות לאחר שהשתרר בו מצב של שיווי משקל, הפחיתו את הלחץ מעל למכסה, וכתוצאה מכך גדל נפח הכלי ל-2 ליטר תוך שמירה על טמפ:טורה קבועה.



א) רשום את ריכוזי החומרים A, B ו-C לאחר הגדלת נפח הכלי.

$$[A] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad ; \quad [B] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}} \quad ; \quad [C] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

ב) האם עדיין מתקיים שיווי משקל בכלי? נמק.

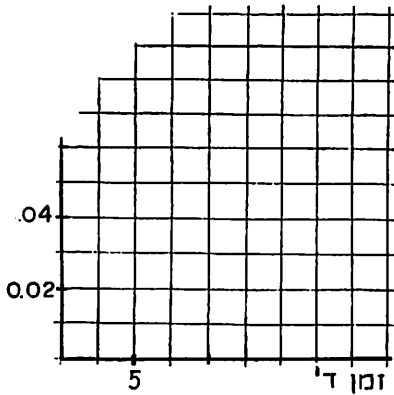
ג) הראה בהצגה גרפית את ריכוזי החומרים.

(i) עד רגע הפחתת הלחץ על המיכל.

(ii) ברגע הפחתת הלחץ על המיכל.

(iii) לאחר הפחתת הלחץ על המיכל

(לא במדוייק).



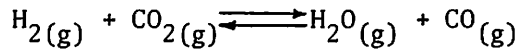
ד) הסבר כיצד היסקת את תשובתך לשאלה ג.iii.

ה) לפי תשובתך לשאלה ג.iii,

(i) האם וכיצד ישתנה מספר המולים הכולל שבמיכל, מרגע הפחתת הלחץ עליו ועד להשגת שיווי משקל מחודש

(ii) כיצד ישתנה הלחץ השורר בכלי מרגע הפחתת הלחץ עליו ועד להשגת שיווי משקל מחודש

3. במיכל שנפחו ליטר שורר מצב של שיווי משקל לפי הניסוח:



המיכל מכיל במצב זה 0.04 מול $\text{H}_2(\text{g})$, 0.01 מול $\text{CO}_2(\text{g})$, 0.02 מול $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ו-0.06 מול $\text{CO}(\text{g})$.

רשום את נוסחת הקבוע, וחשב את ערכו של K.

נבצע על כלי זה שינויים דומים לאלו שתוארו בסעיפים הקודמים, דהיינו: נקטין את נפחו ע"י דחיסה, או נגדיל את נפחו ע"י הרפיית הלחץ עליו, כל זאת תוך שמירה על טמפרטורה קבועה, נדון עתה בכל אחד משינויים אלו:

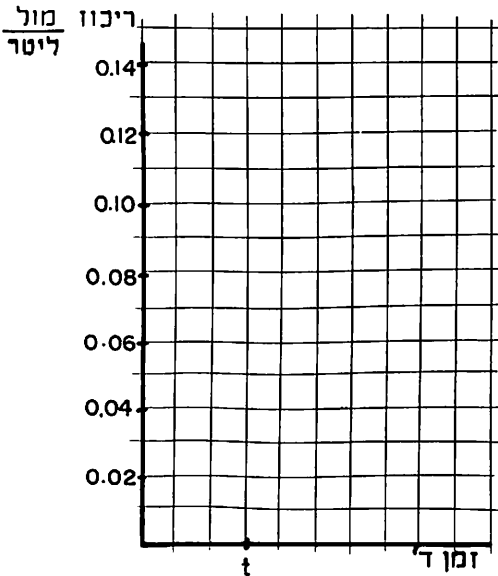
I. הקטנת הנפח לחצי ליטר (תוך דחיסה).

א) רשום את ריכוזי החומרים שיתקבלו כתוצאה מהקטנת נפח הכלי.

$$[\text{H}_2] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [\text{CO}_2] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [\text{H}_2\text{O}] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [\text{CO}] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

ב) האם עדיין מתקיים בכלי מצב של שיווי משקל? נמק.

ג) הראה בהצגה גרפית את ריכוזי החומרים:



(i) עד הקטנת נפח הכלי.

(ii) ברגע הקטנת נפח הכלי.

(iii) לאחר הקטנת נפח הכלי.

ד) הסבר כיצד היסקת את תשובתך לשאלה ג-iii?

ה) במה שונה השפעת הגדלת הלחץ על המיכל במקרה זה, מן המקרה הקודם המתואר בסעיף 1?

ו) האם תוכל להציע הסבר לשוני זה?

II. הגדלת נפח המיכל ל-2 ליטר (תוך הרפיית הלחץ עליו).

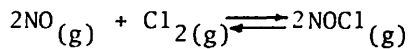
א) רשום את הריכוזים שיתגבלו כתוצאה מההרפיה בלחץ.

$$[H_2] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [CO_2] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [H_2O] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [CO] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

ב) האם עדיין מתקיים שיווי משקל בכלי? נמק.

ג) נסה להכליל: באילו מקרים מהווה השינוי בנפח הכלי הפרעה לשיווי משקל, ובאילו מקרים אין בו כדי להפריע למצב של שיווי-משקל?

4. במיכל שניפחו ליטר מתקיים שיווי-משקל לפי הניסוח:



המיכל מכיל במצב זה 0.03 מול $NOCl(g)$, 0.01 מול $NO(g)$ ו-0.02 מול $Cl_2(g)$.

א) רשום את נוסחת הקבוע וחשב את K .

הוסיפו למיכל, בלי לשנות את ניפחו, 0.01 מול של הגז האציל Ne .

ב) חשב את ריכוזי החומרים לאחר הוספת ה- $Ne(g)$.

$$[NO] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [Cl_2] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}; [NOCl] = \frac{\text{מול}}{\text{ליטר}}$$

ג) האם עדיין שורר שיווי-משקל בכלי? נמק!

הפרעה לשיווי משקל כתוצאה משינוי נפח הכלי (עיי שינוי הלחץ המופעל עליו)

בטמפרטורה קבועה

כאשר תגובה הכוללת גזים שרויה במצב של שיווי משקל, ומשנים את נפח הכלי, בלי לשנות את הטמפרטורה, כל אחד מהגזים שהיו בתערובת מתפשט (אם הנפח גדל), או נדחס (אם הנפח הוקטן), ובכך משתנה ריכוזו וכן הלחץ שהוא מפעיל על דפנות הכלי.

אם הנפח הוגדל, יהיה מספר המולים בכל ליטר קטן יותר, ואם הנפח הוקטן, יגדל מספר המולים בליטר.

האם ניתן לצפות במקרים אלה מה יקרה במערכת עד להשגת שיווי משקל מחודש?

נתייחס, לשם דוגמה, לשיווי משקל שניסוחו הכללי הוא $A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ כאשר היתה הקטנה בנפח המיכל (כתוצאה מהגדלת הלחץ המופעל עליו), גדל ריכוזו של כל אחד מהגזים שבתוכו (ולכן גדל גם הלחץ שגזים אלו מפעילים על דפנות המיכל).

השינוי בריכוזי הגזים שבמערכת מהווה הפרעה לשיווי משקל. הדבר נובע מכך שההגדלה בריכוזו של $A(g)$ תגרור אמנם הגדלה במהירות התגובה ליצירת $C(g) + B(g)$, אך ההגדלה הכפולה הן בריכוזו של $B(g)$ והן בריכוזו של $C(g)$ בעקבות הקטנת נפח הכלי, תגרום להגדלת מהירות התגובה ליצירת $A(g)$ במידה רבה יותר. כתוצאה מכך יגדל ריכוזו של $A(g)$ ויפחתו ריכוזיהם של $B(g)$ ו- $C(g)$, עד אשר שוב תשתוויה המהירויות של שני התהליכים ההפוכים והמערכת תשיג מחדש מצב של שיווי משקל.

כלומר הפרעה זו גוררת תגובה שמפחיתה את מספר המולים הכולל במיכל, וכתוצאה מכך מקטינה אף את הלחץ השורר בתוכו.

כאשר היתה הגדלה בנפח המיכל, כתוצאה מהפחתת הלחץ המופעל עליו, קטן ריכוזו של כל אחד מהגזים שבתוכו (ולכן קטן גם הלחץ שגזים אלו מפעילים על דפנות המיכל). שינוי זה בריכוזי הגזים שבמערכת מהווה הפרעה לשיווי משקל. ההסבר לכך נובע גם הפעם מן ההשפעה השונה שיש לשינוי הנפח על

מהירויות שתי התגובות ההפוכות: בגלל הקטנת ריכוזי החומרים פוחתת

מהירותן של שתי התגובות, אך המהירות בה נוצר $A(g)$ פוחתת יותר מאשר המהירות בה נוצרים $C(g) + B(g)$. כתוצאה מכך ירד ריכוזו של $A(g)$ ויעלו ריכוזיהם של החומרים $B(g)$ ו- $C(g)$, עד אשר תשתוויה מחדש מהירויות שני התהליכים ההפוכים, והמערכת תשיג מחדש מצב של שיווי משקל.

לכן הפרעה זו תגרור תגובה שתגדיל את מספר המולים הכולל במיכל, וכתוצאה מכך תגדיל אף את הלחץ השורר בו.

עם זאת ראינו כי שינוי הנפח של תערובת גזים הנמצאים בשיווי משקל, לא תמיד מהווה הפרעה לשיווי משקל. מהי הסיבה לכך? כאשר מספר המולים הכולל של המגיבים הרשומים בניסוח המאוזן, שווה למספר המולים הכולל של התוצרים, אומנם שינוי הנפח (כתוצאה משינוי בלחץ על הכלי), יגרום לשינוי בכל אחד מריכוזי החומרים. אך גם אז המערכת תימצא בשיווי משקל, כיון שגם הריכוזים החדשים מתאימים לערכו של קבוע שיווי המשקל. במילים אחרות - המהירויות של התגובות ההפוכות גדלות או קטנות אך נשארות שוות זו לזו. ובאופן כללי: כאשר משנים את נפח הכלי שבו שורר מצב של שיווי משקל, ע"י שינוי הלחץ המופעל עליו, יש לבדוק תחילה אם שינוי זה מהווה הפרעה לשיווי משקל.

אם שינוי בנפח הכלי מהווה הפרעה לשיווי משקל, המערכת תגיע מחדש למצב של שיווי משקל, תוך התרחשות תגובה שתקטין את השינוי בלחץ שנגרם בתוך המיכל כתוצאה משינוי הנפח.

עיקרון לה-שטליה

נראה כי הכלל שקבלנו כאן דומה לכלל שקבלנו לגבי שינוי בריכוזים (ראה עמ' 45). עקרון זה הוצע עוד בשנת 1885 ע"י המדען לה-שטליה (H.L. Le Chatelier), והוא דן בהפרעות למערכת הנמצאת בשיווי משקל, הנגרמות ע"י שינויי ריכוז, שינוי בלחץ השורר בכלי (ע"י שינוי נפחו), או שינוי טמפרטורה.

כאשר נגרמת הפרעה לשיווי-משקל, תתרחש תגובה שתביא את המערכת שנית למצב של שיווי-משקל, ותוך תגובה זו תיקטן ההפרעה שנעשתה במערכת.

הפרעה לשיווי-משקל ע"י שינוי בטמפרטורה

עד כה בדקנו את תגובת המערכת לשינויים בריכוזים וכן לשינוי בלחץ הגורר שינוי בנפח. נבדוק עתה את השפעת שינויי הטמפרטורה על מערכת המצויה בשיווי משקל.

שינוי טמפרטורה מהווה בכל מקרה הפרעה לשיווי משקל. הסיבה נעוצה בכך, ששינויי טמפרטורה יגרמו אמנם לכך שמהירויות שתי התגובות ההפוכות יגדלו (בחמום) או יקטנו (בקירור), אך לא באותה מידה. ולכן כשיושג שיווי-משקל חדש במערכת, יהיה הרכבה שונה מההרכב הקודם, ולכן גם ערכו של K בטמפרטורה החדשה, שונה מערכו הקודם. כלומר, שינוי בטמפרטורה גורם לכך שריכוזי החומרים יהיו במערכת שיווי-המשקל בטמפרטורה הקודמת, שוב אינם מהווים ריכוזי שיווי-משקל, ולכן אינם מתאימים יותר לערכו החדש של K המתאים לטמפרטורה החדשה.

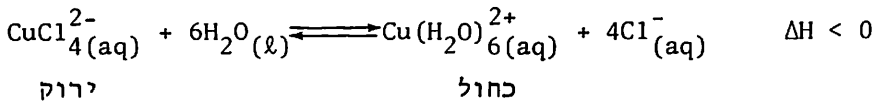
אם נבחן את ניסוחו של עקרון לשטליה, לגבי שינויי טמפרטורה, נמצא כי העלאת הטמפרטורה במערכת שיווי המשקל, תגרום לתגובה שתקטיף את השינוי. כלומר תתרחש התגובה האנדותרמית (זו הקולטת אנרגיה ולכן גורמת לירידה בטמפרטורה), עד שיושג מצב של שיווי-משקל חדש. ואילו קירור המערכת המצויה בשיווי-משקל, יגרום להשגת שיווי משקל חדש תוך התרחשות התגובה ההפוכה - התגובה האקסותרמית.

- התבסס על עקרון לה-שטליה לגבי ההשפעה של שינוי בטמפרטורה של מערכת בשיווי משקל, והשלם את הטבלה הבאה.
(בכל תא בטבלה רשום K גדל/ K קטן).

קיורר	חימום	ההפרעה
		סוג התגובה
		תגובה אקסותרמית
		תגובה אנדותרמית

ניסוי מס' 5 - הפרעה לשיווי משקל עיני שינויי טמפרטורה בנפח קבוע

I. לפניך תמיסה בה מתקיים שיווי המשקל הבא:

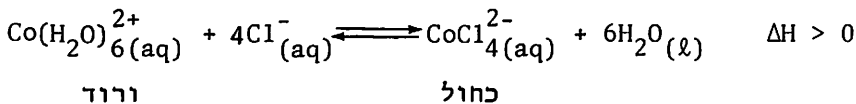


(א) חלק את התמיסה ל-3 מבחנות, חמם מבחנה א' בזהירות מעל ללהבה. הנח מבחנה ב' בתוך אמבט קרח. השאר מבחנה ג' ללא שינוי לשם השוואה.
- רשום תצפיות.

(ב) העבר מבחנה א' לאמבט הקרח.
- רשום תצפיות

(ג) חמם מבחנה ב' בזהירות מעל ללהבה.
- רשום תצפיות

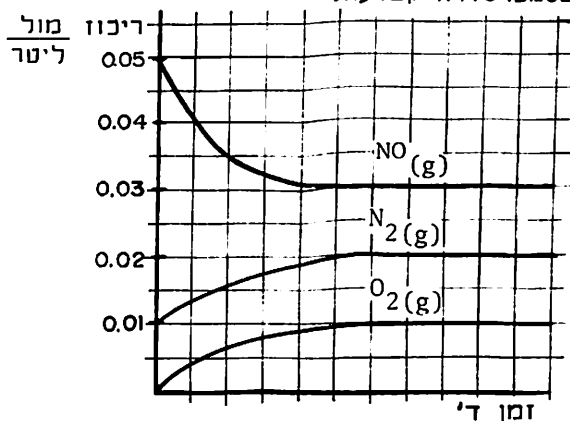
II. לפניך תמיסה בה מתקיים שיווי-המשקל הבא:



בצע פעילויות א, ב ו-ג' דלעיל.
- כיצד תפרש את תצפיותיך?

* מערכת זו מתקבלת עיני המסת 5 גר' NaCl (s) ב-100 מ"ל תמיסת 0.1M CuSO₄.
** מערכת זו מתקבלת עיני עירבוב 20 מ"ל תמיסת 0.5M CoCl₂ עם 16 מ"ל תמיסת NaCl רוויה.

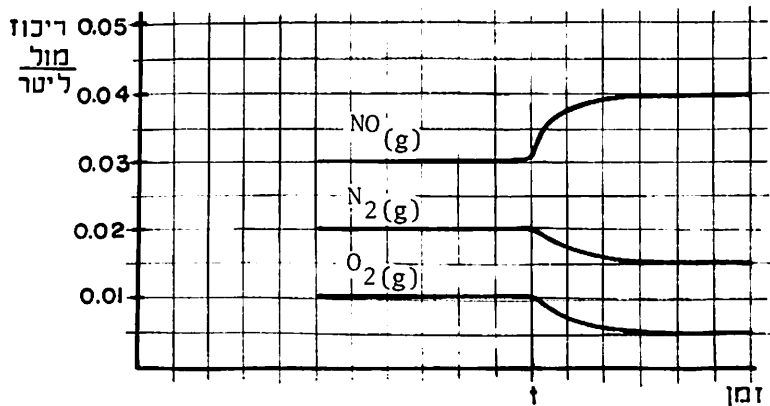
2. התיחס לגרף הבא, המתאר את השינוי שחל בריכוזי החומרים NO(g) , $\text{O}_2(\text{g})$ ו- $\text{N}_2(\text{g})$ עם הזמן, בטמפרטורה קבועה.



(א) נסח את התגובה שהתרחשה בכלי.

(ב) חשב את ערכו של K .

בדקה t חיממו את הכלי, וכתוצאה מכך השתנו הריכוזים בו, לפי המתואר בגרף:

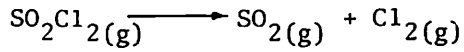


(ג) מה קרה לערכו של K ?

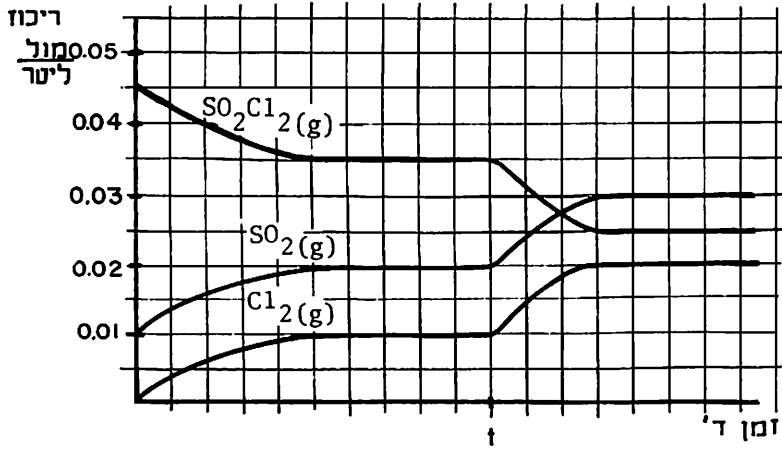
(ד) מהו סימנו של ΔH עבור התגובה שרשמת בתשובה לשאלה א'?

(ה) הסבר את תשובתך בהתבסס על עקרון לה-שטלייה.

3. התיאור הגרפי הבא מציג את שינויי הריכוזים עם הזמן עבור התגובה:



שעבורה: $\Delta H > 0$



(א) מהי ההפרעה לשירוי-משקל, שהופעלה בזמן t?

(ב) הסבר כיצד הסקת את תשובתך זו?

נסכם את השפעת הגורמים השונים על מערכת המצויה בשיווי-משקל

הגורם	התגובה שתרחש עד לקבלת שיווי-משקל שנית	השפעה על K	הערות
א. שינוי ריכוזים	התגובה הישירה	אין השפעה	
	התגובה ההפוכה	אין השפעה	
	התגובה ההפוכה	אין השפעה	
	התגובה הישירה	אין השפעה	
ב. שינוי בנפח הכלי	התגובה שתיצור פחות מולים של גז	אין השפעה	הלחץ לא יגרום להפרעה בשיווי משקל כאשר: א. אין שינוי במספר המולים של גז בין מגיבים ותוצרים. ב. בתגובות שבהן לא משתתפים גזים. ג. בהוספת גז אציל לכלי בנפח קבוע.
	התגובה שתיצור יותר מולים של גז	אין השפעה	
ג. שינוי טמפרטורה	התגובה האנדותרמית	K ישתנה	שיווי-משקל חדש יתקבל תוך זמן יותר קצר.
	התגובה האקסותרמית	K ישתנה	שיווי-משקל חדש יתקבל תוך זמן יותר ארוך.
ד.	אין השפעה	אין השפעה	אם הזרז הוסף לפני קבלת שיווי-משקל, יתקבל מצב של שיווי-משקל תוך זמן יותר קצר. אם הזרז הוסף במצב של שיווי-משקל, הרכב המערכת לא יושפע.

מדוע מגיעה מערכת לשיווי משקל?

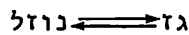
למדת על מערכות כימיות המגיעות לשיווי-משקל כתוצאה מהתרחשותם של שני תהליכים הפוכים במהירויות שוות.

מדוע אפשריים בכלל תהליכים הפוכים?

אילו הם הגורמים האחראיים לכל אחד משני התהליכים ההפוכים?

נדון בדוגמה הראשונה שהובאה להדגמת תהליך הפיך:

שיווי המשקל בין נוזל לגז:

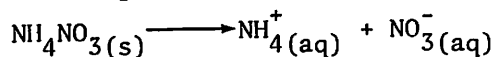
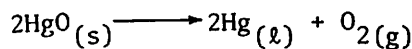
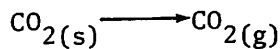


כפי שכבר ידוע לך, בכלי סגור המכיל נוזל, מתקיימים שני התהליכים:

1. $\text{נוזל} \longrightarrow \text{גז}$
2. $\text{גז} \longrightarrow \text{נוזל}$

משני תהליכים אלו נראה כי התהליך השני - תהליך העיבוי, הינו תהליך מובן יותר. בעיבוי משתנה חומר גזי שבו אין כלל קשרים בין-מולקולריים לחומר נוזלי שבו קיימים קשרים כאלו. יצירת הקשרים פולטת אנרגיה, ומלמדת כי למצב הנוזלי תכולת אנרגיה נמוכה יותר מזו של הגז. כלומר בעיבוי יורדת תכולת האנרגיה של החומרים, תוך פליטת אנרגיה (תהליך אקסותרמי). הנטיה ליצירת קשרים, לירידה באנרגיה, הינה נטיה טבעית בטבע, וכבר במאה ה-19 נאמר ע"י תומפסון וברתלוט כי רק תהליכים פולטי אנרגיה יתכנו. אם כך, מהו ההסבר לתהליך האידוי שגם הוא מתרחש באותה מערכת? הן בתהליך זה עוברים מנוזל בעל תכולת אנרגיה נמוכה, לגז - בעל תכולת אנרגיה גבוהה, תוך קליטת אנרגיה (תהליך אנדותרמי). באידוי עוברים מנוזל שבו המולקולות קשורות זו לזו בקשרים בין-מולקולריים, ולכן מצבו מסודר יחסית, לגז שבו לא קיימים קשרים כאלו. לכן המולקולות בגז חופשיות בתנועתן בכל הנפח הפנוי של הכלי, וכתוצאה מתקבל מצב בלתי מסודר, מצב המאופיין ע"י אקראיות גבוהה. לא רק תהליך האידוי מאופיין ע"י ירידה בסדר של המערכת.

לפניך כמה דוגמאות של תהליכים מוכרים נוספים, שגם בהם חל שינוי דומה:



עייך בתהליכים אלה, ובדוק בכל מקרה, במה מתבטאת ירידת הסדר במערכת, בעקבות התגובה.

דוגמאות אלו מיצגות תהליכי היתוך, המראה, תהליכים בהם נוצרים גזים מחומרים שאינם גזים, תהליכים בהם עולה מספר המולים של הגזים וכן תהליכי המסה (שברובם מתרחש שינוי דומה).

בכל התגובות הללו עולה האקראיות במערכת. כמו כן מאופיינות תגובות אלו בתכונה משותפת נוספת - כולן תגובות אנדותרמיות.

נמצא כי כל תהליך אנדותרמי - שאינו מוסבר ע"י ירידה בתכולת האנרגיה (תוך יצירת קשרים חזקים יותר), מאופיין ע"י שינוי הדומה למתואר בתהליך האידיאלי - שינוי שבו יורד הסדר ועולה האקראיות במערכת.

לכן נקבע כי שניים הם הגורמים האחראיים לקיומו של תהליך:

1. הירידה בתכולת האנרגיה של המערכת.
2. הירידה בסדר של המערכת (או העליה באקראיות במערכת).

קיומו של תהליך אקסותרמי מוסבר ע"י הגורם הראשון.

קיומו של תהליך אנדותרמי מוסבר ע"י הגורם השני.

ומהי מערכת המגיעה לשיווי משקל?

לאור האמור לעיל נובע כי מערכת כזו תתכן רק כאשר יתאפשר קיומם של שני התהליכים ההפוכים - זה הנובע מהנטיה לירידה בתכולת האנרגיה, וזה הנובע מהנטיה לירידה בסדר של המערכת.

השוואת גודלן של שתי נטיות אלו* יקבע את הרכב המערכת במצב של שיווי-משקל, ולכן ישפיע על גודלו של קבוע שיווי-המשקל.

כאשר הגורם האחראי לתגובה ליצירת התוצרים (התגובה הישירה) גדול יותר מהגורם האחראי לתגובה ההפוכה, יהיה $K > 1$.

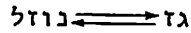
כאשר המצב הפוך יהיה $K < 1$.

רק כאשר שני הגורמים שווים, נקבל מערכת שבה $K = 1$.

*נושא זה נלמד ביחידה הרביעית בכימיה.

כעוד שהגורם האנרגטי - גודלו של ΔH - הינו קבוע ואינו משתנה עם הטמפרטורה, אין הדבר כך לגבי הגורם השני.

נבדוק את הדבר במערכת הקודמת:



אם נעלה את הטמפרטורה בכלי סגור שבו מתקיים שיווי-משקל זה, נקבל, כידוע, לאחר זמן מה, שיווי-משקל חדש שבו ריכוז הגז יהיה גדול יותר.

כמילים אחרות, החימום גרם להגברת תגובת האידיוי, זו שהתרחשה מורידה את הסדר במערכת (ומעלה את האקראיות בה). מכאן שהגורם הקשור בירידת הסדר של המערכת, האחראי לקיומן של התגובות האנדותרמיות, גדל עם העליה בטמפרטורה.

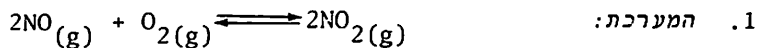
מסיבה זו, שינוי בטמפרטורה, ישנה גם את קבוע שיווי-המשקל, ולכן גם את הרכב המערכת בשיווי-משקל החדש שיושג.

ובעצם בכך הוסבר עקרון לה-שטליה עבור הפרעה לשיווי משקל הנגרם ע"י שינוי בטמפרטורה:

חימום - יגביר את התגובה האנדותרמית - התגובה שמעלה את האקראיות במערכת.
קרור - יגביר את התגובה האקסותרמית - זו שמורידה את האקראיות במערכת.

השפעת הטמפרטורה על שיווי המשקל - תרגול

ענה על השאלות הבאות:



נמצאת בשיווי-משקל.

א) איזה תהליך מביך שני התהליכים ההפוכים מעלה את האקראיות במערכת? נמק.

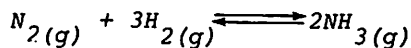
ב) מה ניתן לקבוע לגבי אופיו של התהליך השני?

ג) אם ברצוננו לנצל תהליך זה לשם הפקת NO_2 , האם תציע לחמם או לקרר כדי להגדיל את ריכוזו? הסבר את דבריך: 1. עפ"י עקרון לה-שטלייה.

2. עפ"י השפעת הטמפרטורה על הגורם המתאים.

2. האם לדעתך המסת גז בנוזל תעלה או תרד עם החימום? נמק. (התיחס לשם דוגמה למערכת: $\text{CO}_2(g) \rightleftharpoons \text{CO}_2(aq)$)

3. האם בתהליך הבר להפקת אמוניה:



יעזור חימום או קירור להעלאת ריכוז האמוניה? נמק.

4. לפניך נתונים על ערכו של K בטמפרטורות שונות עבור תגובה מסוימת:

$T^{\circ}C$	K
-30	1.8×10^{-3}
0	2.2×10^{-2}
25	1.5×10^{-1}
100	4.5

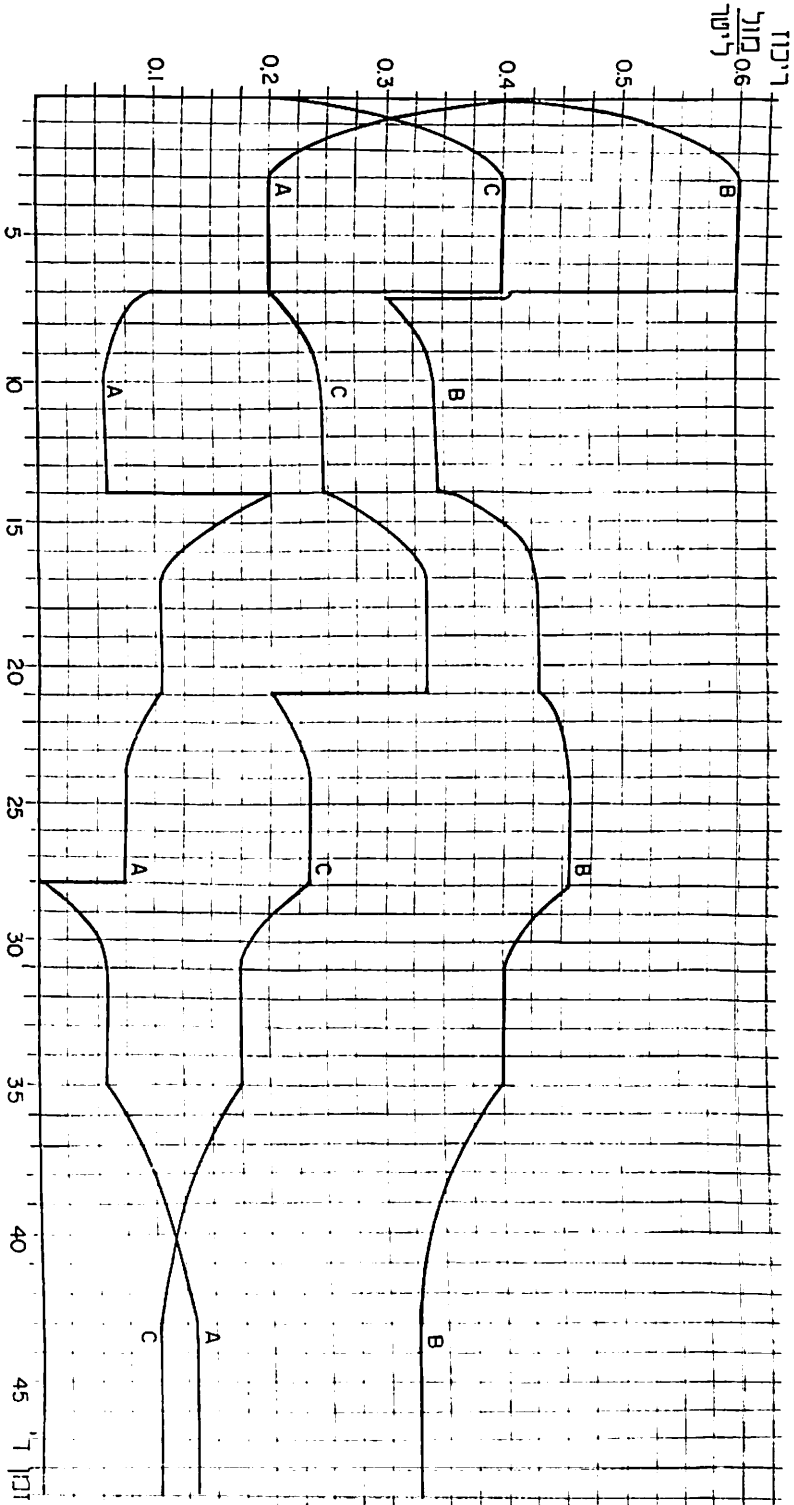
א) אילו מבין התגובות הבאות עשויות להתאים לנתונים אלו? נמק.

- 1) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2$
- 2) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$
- 3) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
- 4) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

ב) קבע לגבי כל אחת מהתגובות, האם התהליך הישיר או ההפוך הוא האקסותרמי. נמק.

תרגיל מסכם

לפניך תרשים המראה את ריכוזי החומרים A, B ו-C, לאורך זמן ממושך.



רשום את סיפור המערכת:

א. ניסוח התגובה שהתרחשה

ב. זמני ההפרעות וסוג ההפרעה בכל מקרה

ג. השינוי במערכת בעקבות כל הפרעה עד להשגת שיווי-משקל מהדט (איזו תגובה התרחשה, האם חל שינוי במספר המולים הכולל במערכת, האם חל שינוי בלחץ הכולל במערכת).

ד. ערכו של K עבור כל מערכת בשיווי-משקל.

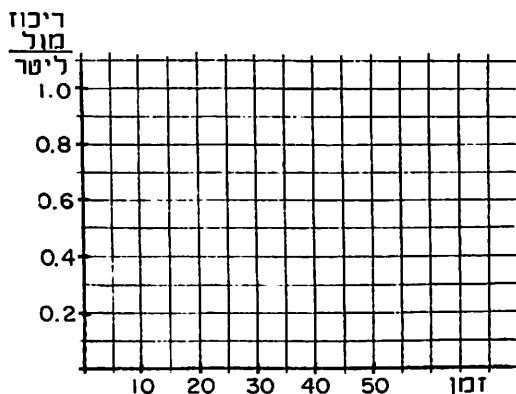
ה. סימנו של ΔH עבור התגובה הישירה.

בעיות

הערה: בכל השאלות הבאות הנתון ΔH° מתיחס עבור התגובה הישירה (משמאל לימין).

1. מול אחד של הגז מימן יודי הוכנס לכלי שנפחו ליטר והוחזק בטמפרטורה קבועה, תוך 20 דקות הושג שיווי-משקל, ונמצאו אז בכלי 0.1 מול של $I_2(g)$.

א. הצג בגרף את השתנות ריכוזי החומרים עם הזמן.



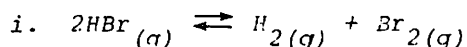
ב. רשום ניסוח לתהליך שהתרחש.

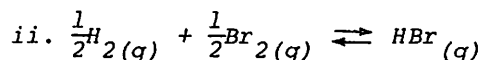
ג. חשב את ערכו של K עבור המערכת.

ד. האם הלחץ בכלי ישתנה במהלך התגובה? נמק.

2. מערכת המצויה בשיווי-משקל בכלי שנפחו 4 ליטר מכילה 2 מול $Br_2(g)$, 1.25 מול $H_2(g)$ ו-0.5 מול $HBr(g)$.

א. חשב את ערכו של K עבור:



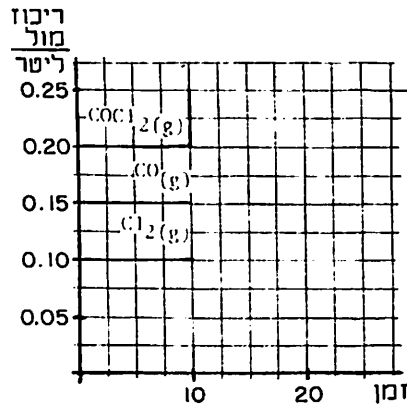


בניסוי אחר שנעשה באותה טמפרטורה, הוכנס $HBr(g)$ לכלי שנפחו 2 ליטר, ובשיווי-משקל נמצאו בכלי, בין היתר, 0.63 מול של $Br_2(g)$.

ב. חשב את ריכוזי כל המרכיבים בשיווי-משקל.

ג. כמה מולים של $HBr(g)$ הוכנסו לכלי בתחילת הניסוי?

3. השאלה דנה במערכת: $CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$ $\Delta H^\circ = -113kJ$

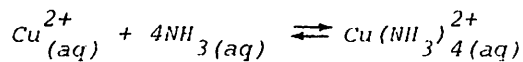


א. חשב את ערכו של K עבור המערכת.

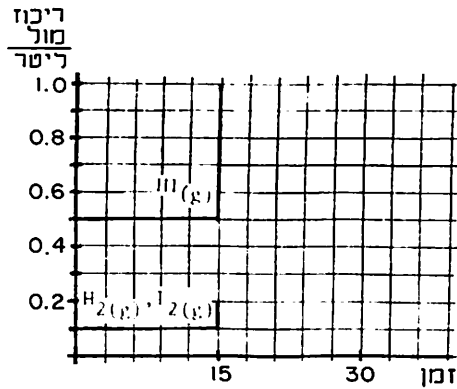
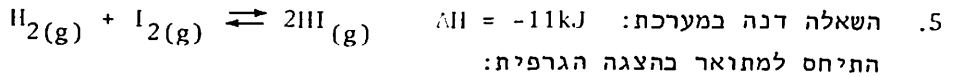
ב. מהו השינוי שנעשה בדקה העשירית?

ד. הראה בתרשים את הרכב המערכת החל בדקה העשירית והלאה.

4. א. רשום את הביטוי עבור K המתאים למערכת:



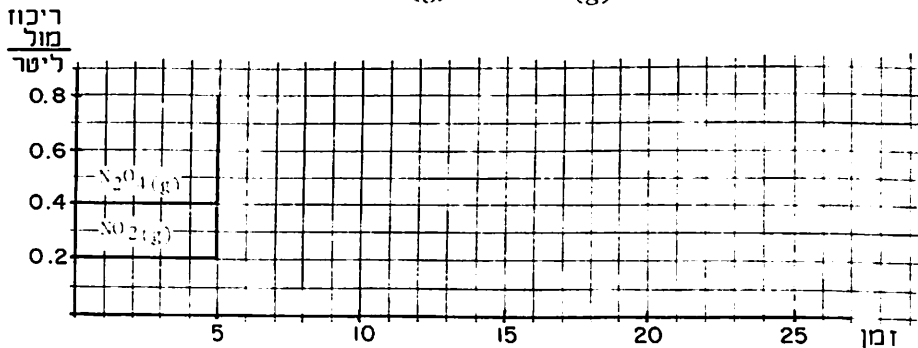
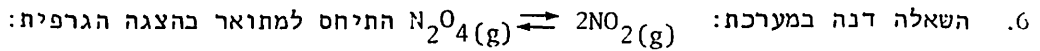
ב. כיצד יוטפע הרכב המערכת כאשר נוסף מים לתמיסה? הסבר את תשובתך.



א. חשב את ערכו של K .

ב. מהו השינוי שנעשה בדקה ה-15?

ג. הראה בתרשים את הרכב המערכת החל בדקה ה-15 והלאה.



א. חשב את ערכו של K עבור המערכת.

ב. מה קרה בדקה החמישית?

ג. הראה בתרשים את הרכב המערכת בין הדקה ה-5 לדקה ה-20, אם ידוע כי תוך 3 דקות הושג שינוי-משקל מחדש.

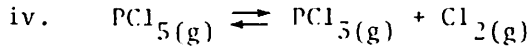
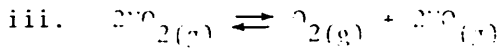
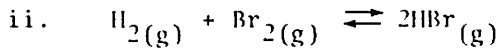
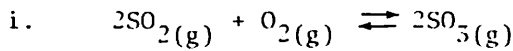
ד. מהו ערכו של K עבור המערכת בדקה ה-15?

בדקה ה-20 התחיל ריכוזו של $N_2O_4(g)$ לקטון, וריכוזו של $NO_2(g)$ לגדול, ותוך זמן הושג שיווי-משקל מחדש.

ה. מה גרם לשינוי?

ג. מהו סימנו של ΔH° לתגובה הישירה? נמק.

7. לפניך מספר מערכות בשיווי-משקל:



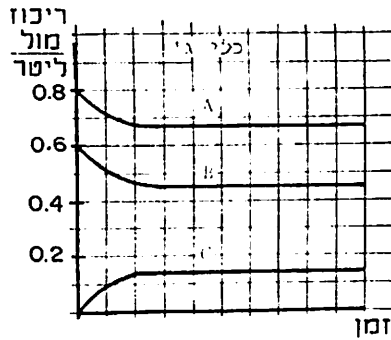
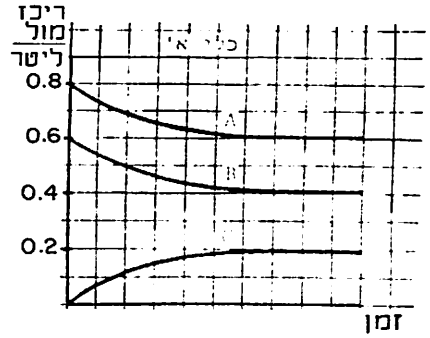
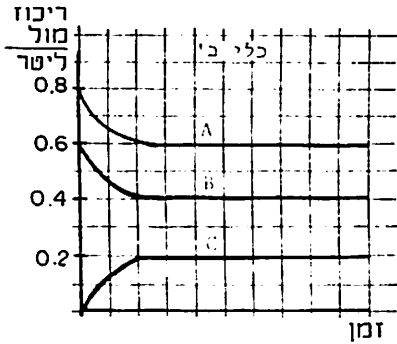
א. חשב את ערכו של ΔH° עבור התגובה הישירה בכל דוגמא.

ב. ציין באילו מהתגובות הנ"ל יעלה ערכו של K עם הטמפרטורה.

ג. i. הסבר מה ישתנה במערכות הנ"ל ברגע שיוכפל בהן הלחץ (ע"י הקטנת הנפח) בטמפרטורה קבועה.

ii. ציין באילו מהתגובות הנ"ל הכפלה הלחץ לא תרווה הפרעה לשינוי-משקל. נמק.

8. שלושה כלים: א', ב' ו-ג' הוכנסו אותם ריכוזים התחלתיים של החומרים $A(g)$, $B(g)$ ו- $C(g)$. הגרפים I, II ו-III מראים את השתנות הריכוזים עם הזמן בכל אחד מהכלים:



א. רשום ניסוח לתהליך שהתרחש.

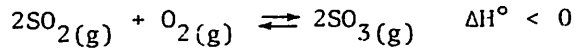
ב. קבע את ערכו של K בכלי א'.

ג. קבע לאיזה מהכלים הוכנס זרז. נמק.

ד. במה שונים התנאים בכלים א' ו-ג'? נמק.

ה. מהו סימנו של ΔH° לתהליך שרשמת ב-א'? נמק.

9. בשני כלים שבהם טמפרטורות שונות מתקיימת המערכת:



א. באיזה משני הכלים התקבל K גבוה יותר? נמק.

ב. באיזה משני הכלים הושג שיווי-משקל תוך זמן קצר יותר? נמק.

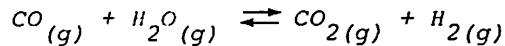
10. המערכת: $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ הגיעה לשיווי-משקל

ב- 900°C . בדיקות הראו כי הריכוזים בשיווי-משקל היו:

$$[\text{CO}] = 0.352\text{M}; [\text{H}_2\text{O}] = 0.352\text{M}; [\text{CO}_2] = 0.648\text{M}; [\text{H}_2] = 0.148\text{M}$$

א. חשב את ערכו של K ב- 900°C .

ב. חשב את ערכו של K ב- 900°C עבור התגובה:



נחון כי ב- 1000°C ריכוזי החומרים במערכת שהגיעה לשיווי-משקל היו:

$$[\text{CO}] = 2.0\text{M}; [\text{H}_2\text{O}] = 0.2\text{M}; [\text{CO}_2] = 0.3\text{M}; [\text{H}_2] = 0.8\text{M}$$

ג. חשב את ערכו של K ב- 1000°C .

ד. האם התגובה בין $\text{CO}_2(\text{g})$ ו- $\text{H}_2(\text{g})$ הינה אקסותרמית או אנדותרמית? נמק.

ה. כיצד ישתנה הרכב המערכת אם תקטין פי 2 את הלחץ בטמפרטורה של 1000°C ? נמק.
