

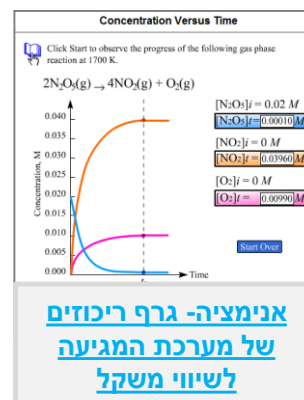
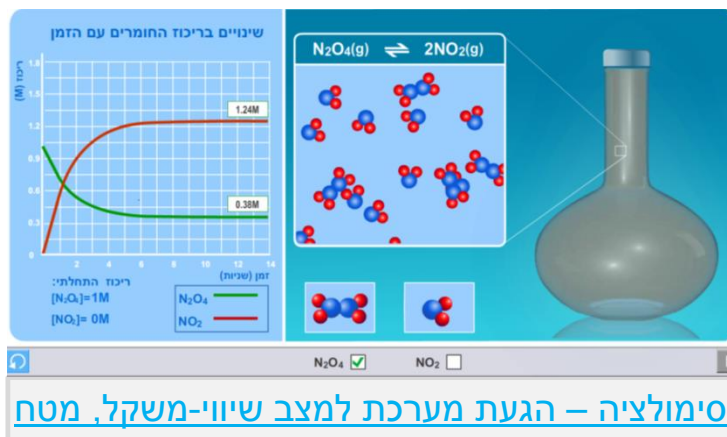
שיווי משקל כימי 1

חלק א'

נושאי השיעור

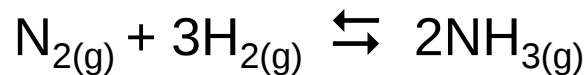
- מאפיינים של מצב שיווי משקל
- השפעת זרז וחימום על מערכת במצב שיווי משקל
- קבוע שיווי המשקל וחישובו
- תרגילים

סימולציות במצגת:



תגובות כימיות רבות אינן מתרחשות עד תום בתנאים מסוימים. ברמה המקרוסקופית, נראה שהתגובה נעצרה אף שכל המגיבים עדיין מצויים במערכת. תצפית על המערכת מראה שלא ניכרים שינויים בריכוזי מרכיבי המערכת. במבט מיקרוסקופי נמצא שהתגובות ההפיכות מתרחשות גם יחד: מגיבים הופכים לתוצרים ותוצרים הופכים למגיבים בקצב שווה. מצב זה נקרא: מצב שיווי משקל, ומסמלים אותו בתגובה בעזרת חצים דו-כיווניים.

דוגמה: תהליך הבר לקיבוע החנקן:



1 מול
חנקן

3 מול
מימן

← **כאשר מכניסים לכלי סגור**

0.8 מול אמוניה

← **מתקבלים רק**

על פי יחסי האיזון, היה צפוי שיתקבלו 2 מול תוצרים, אך התקבלו רק 0.8 מול.
התגובה לא התרחשה עד תום כי היא הגיעה למצב שיווי משקל!

לפנינו כלי ובו ברום נוזל- $\text{Br}_{2(l)}$. מעל הנוזל נמצא גז חום, $\text{Br}_{2(g)}$.

הכלי סגור. חומר אינו יוצא ואינו נכנס.

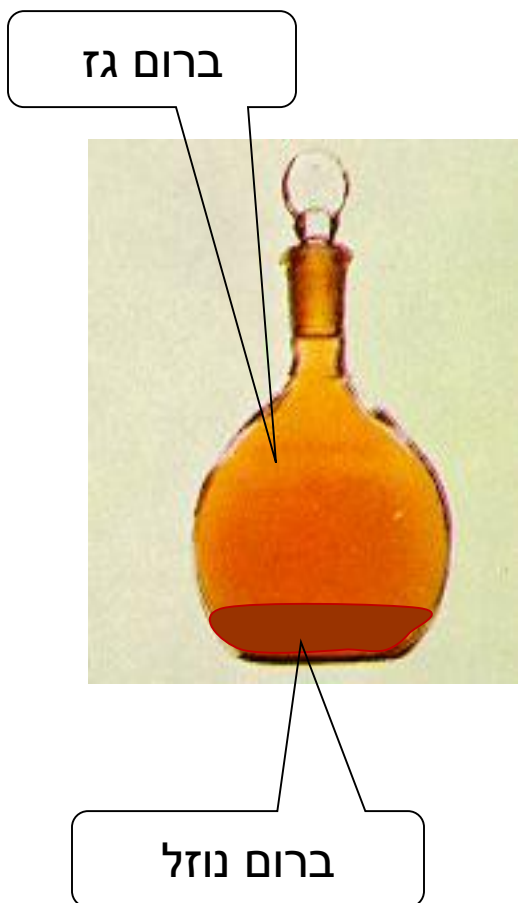
מיקרוסקופית, אין שינוי בגובה הנוזל, צבע הגז מעל הנוזל אינו משתנה.

אפשר להגיע למצב זה בעזרת הכנסת ברום נוזל לכלי, או בדחיסת גז ברום עד שחלק ממנו יהפוך נוזל.

מיקרוסקופית, על שטח הפנים של הנוזל, יש כל הזמן מעבר מולקולות ברום מן הנוזל לגז ולהפך.

התהליך המתרחש: $\text{Br}_{2(l)} \rightleftharpoons \text{Br}_{2(g)}$

מסקנה: במערכת מתקיים מצב שיווי משקל!



ברמה מקרוסקופית:

- ◀ שיווי משקל מתקבל רק במערכת סגורה.
- ◀ במערכת חייבים להיות גם מגיבים וגם תוצרים.
- ◀ הריכוז של כל אחד ממרכיבי המערכת קבוע לאורך זמן .
- ◀ אפשר להגיע למצב שיווי משקל ממגיבים בלבד או מתוצרים בלבד, או מתערובת של שניהם.

ברמה מיקרוסקופית:

- ◀ מתקיימות שתי תגובות הפוכות זו לזו בו-בזמן ובקצב שווה.
- ◀ קיימת דינמיות – כל הזמן יש התנגשויות בין מולקולות. כל המולקולות והתצמידים המשופעלים מתפרקים ונוצרים כל הזמן, אף שריכוזם קבוע.

שאלה 1:

את המשקה המכונה "סודה" מכינים בדחיסה של פחמן דו-חמצני, $\text{CO}_{2(g)}$ לבקבוק המכיל מים.

א. נסחו את התהליך שהתרחש בזמן הכנת "הסודה".

ב. נסחו את התהליך המתרחש בבקבוק הסגור של "סודה" והסבירו אותו ברמה מקרוסקופית וברמה מיקרוסקופית.

ג. מדוע חשוב להשאיר את בקבוק הסודה סגור?

שאלה 1:

את המשקה המכונה "סודה" מכינים בדחיסה של פחמן דו-חמצני, $\text{CO}_{2(g)}$ לבקבוק המכיל מים.

א. נסחו את התהליך שהתרחש בזמן הכנת "הסודה".

ב. נסחו את התהליך המתרחש בבקבוק הסגור של "סודה" והסבירו אותו ברמה מקרוסקופית וברמה מיקרוסקופית.

ג. מדוע חשוב להשאיר את בקבוק הסודה סגור?

תשובה:



ב. $\text{CO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(aq)}$ בכלי הסגור מתקיים מצב שיווי משקל בין פחמן דו-חמצני מומס לפחמן דו-חמצני גז. **מקרוסקופית**, רואים בועות קטנות בתוך הנוזל השקוף וחסר הצבע. מעל הנוזל לא נראה דבר. **מיקרוסקופית**, בתוך הנוזל מומסות מעט מולקולות לא-קוטביות של פחמן דו-חמצני. בבועות הקטנות ובחלל מעל הנוזל יש גז, פחמן דו-חמצני.

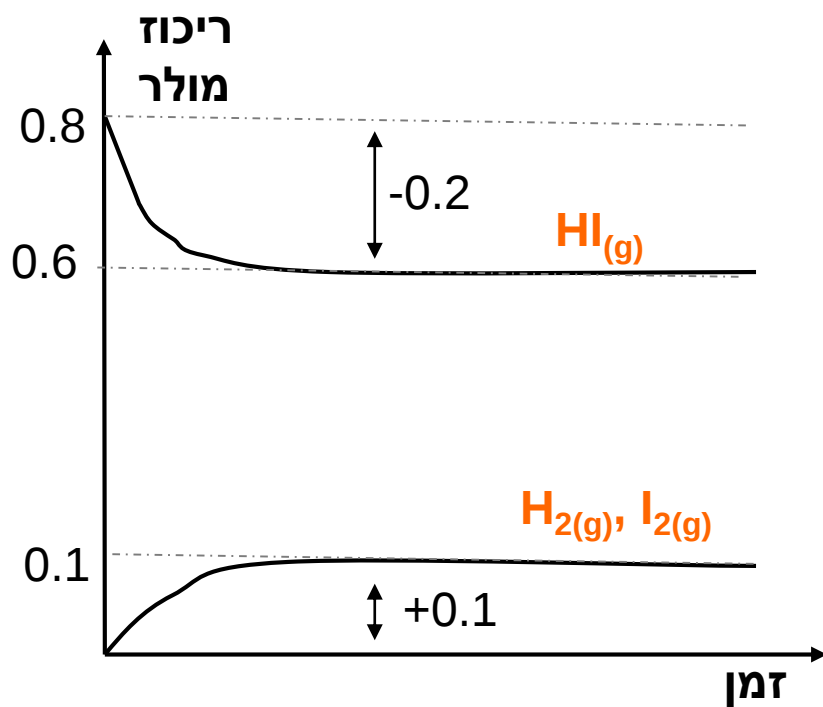
ג. שיווי משקל מתקיים רק במערכת סגורה. (חומרים אינם נכנסים ואינם יוצאים). פתיחת הפקק בבקבוק הסודה תגרום לכך שהגז יצא, שיווי המשקל יופר ובמהלך הזמן יצא מן המערכת כל הפחמן הדו-חמצני. בבקבוק יישארו רק מים.

תיאור גרפי למערכת המגיעה לשיווי משקל

הכניסו לכלי סגור בנפח 1 ליטר 0.8 מול $\text{HI}_{(g)}$. לאחר זמן-מה לא נצפה שינוי ריכוזים. נמצאו בכלי 0.1 מול מכל אחד מן התוצרים ו- 0.6 מול מגיב.



[HI]	[H ₂]	[I ₂]	
0.8	0	0	מצב התחלתי - הוכנסו לכלי (M)
-0.2	+0.1	+0.1	הגיבו / נוצרו (M)
0.8-0.2 = 0.6	0.1	0.1	מצב שיווי משקל - נמצאים בכלי (M)



בתחילה הוכנס לכלי רק HI והחלה תגובה ישירה מהירה להיווצרות H_2 ו- I_2 . כשנוצרו מעט מן התוצרים H_2 ו- I_2 , החלה בו בזמן תגובה הפוכה ליצירת HI.

ככל שריכוז "התוצרים" גדל, הלך וגבר הקצב של התגובה ההפוכה. בו בזמן, קטן קצב התגובה הישירה, כי ריכוז "המגיב" קטן. כאשר קצב התגובה הישירה וההפוכה משתווים, הגרפים מתיישרים, ומושג מצב שיווי משקל.

החומרים מגיבים ונוצרים על פי יחסי האיזון.

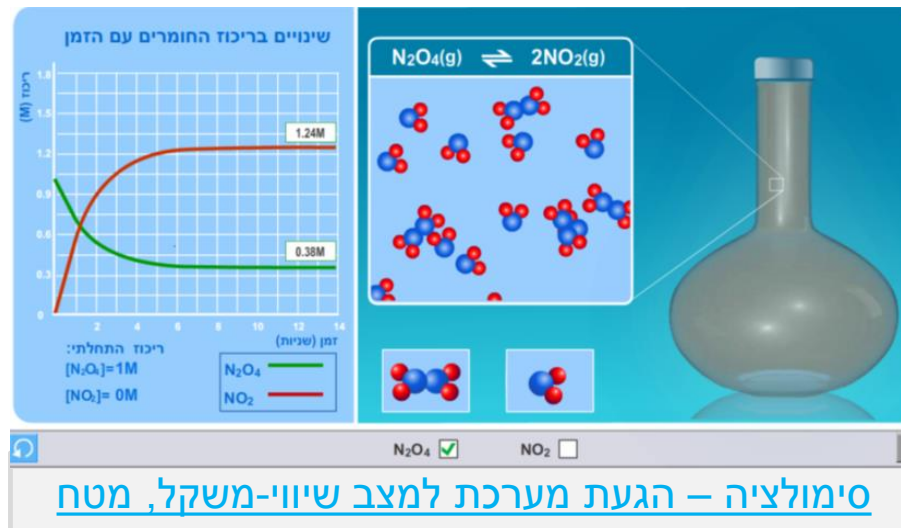
סימולציה- הגעת מערכת למצב שיווי-משקל

לפניכם סימולציה המדמה שלושה ניסויים בהם התגובה $\text{N}_2\text{O}_{4(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(g)}$ מגיעה למצב שיווי-משקל בטמפרטורה קבועה.

הפעילו את הסימולציה בשלושה מצבים התחלתיים שונים:

- הכניסו למערכת $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$ בלבד (סמנו V ליד הנוסחה). כפתור ההפעלה נמצא למטה מימין.
 - הכניסו למערכת $\text{NO}_{2(g)}$ בלבד (סמנו V ליד הנוסחה).
 - הכניסו למערכת תערובת המכילה $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$ ו- $\text{NO}_{2(g)}$ (סמנו V ליד שתי הנוסחות).
- ענו על השאלות הבאות:**

- בחרו אחד המצבים והסבירו מה קורה בו ברמת המקרו וברמת המיקרו.
- מי הוא החומר שצבעו חום? הסבירו קביעתכם.
- האם המערכת הגיעה בכל פעם לאותו מצב שיווי משקל? נמקו.
- האם יחסי האיזון של התגובה נשמרו במהלך התגובה בניסויים השונים? הסבירו.



לפניכם סימולציה המדמה שלושה ניסויים בהם התגובה $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ מגיעה למצב שיווי-משקל בטמפרטורה קבועה.

הפעילו את הסימולציה בשלושה מצבים התחלתיים שונים:

א. הכניסו למערכת $N_2O_{4(g)}$ בלבד.

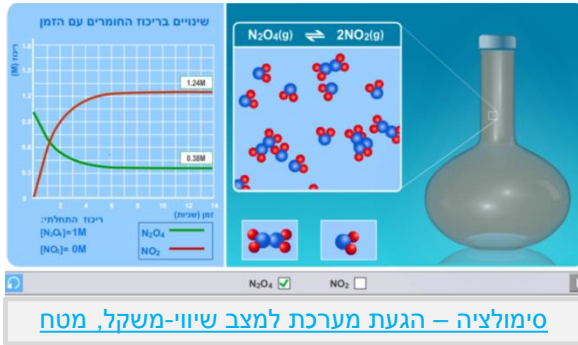
ב. הכניסו למערכת $NO_{2(g)}$ בלבד.

ג. הכניסו למערכת תערובת המכילה $N_2O_{4(g)}$ ו- $NO_{2(g)}$.

ענו על השאלות הבאות:

י. בחרו אחד המצבים והסבירו מה קורה בו ברמת המקור וברמת המקור.

ii. מי הוא החומר שצבעו חום? הסבירו קביעתכם.



תשובה:

י. **רמת מקור:**

בנוכחות $N_2O_{4(g)}$ בלבד תוכן הבקבוק חסר צבע. במהלך התגובה מתחיל להופיע צבע חום בתוך הבקבוק שהולך ומתחזק עד הדקה השביעית בערך. מדקה זו הצבע לא משתנה יותר.

רמת מקור:

בנוכחות $N_2O_{4(g)}$ בלבד. חלק ממולקולות $N_2O_{4(g)}$ מתפרקות בקצב מהיר (נשבר הקשר הקוולנטי בין שני אטומי החנקן) ויוצרות $NO_{2(g)}$. מתחיל תהליך הפוך בו מתחברות מולקולות $NO_{2(g)}$ ליצירה של מולקולות $N_2O_{4(g)}$. קצב התגובה הישירה מועט, קצב התגובה ההפוכה גובר. כאשר קצב ההתחברות משתווה לקצב ההתפרקות מושג מצב שיווי-משקל דינמי. שתי התגובות הישירה וההפוכה מתרחשות בקצב שווה.

ii. החומר החום הוא $NO_{2(g)}$. בכל המצבים יש התאמה בין עוצמת הצבע החום לריכוז $NO_{2(g)}$.

לפניכם סימולציה המדמה שלושה ניסויים בהם התגובה $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$

מגיעה למצב שיווי-משקל בטמפרטורה קבועה.

הפעילו את הסימולציה בשלושה מצבים התחלתיים שונים:

א. הכניסו למערכת $N_2O_{4(g)}$ בלבד.

ב. הכניסו למערכת $NO_{2(g)}$ בלבד.

ג. הכניסו למערכת תערובת המכילה $N_2O_{4(g)}$ ו- $NO_{2(g)}$.

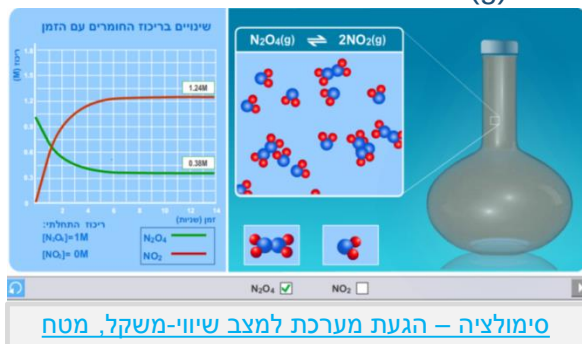
ענו על השאלות הבאות:

I. בחרו אחד המצבים והסבירו מה קורה בו ברמת המקרו וברמת המיקרו.

II. מי הוא החומר שצבעו חום? הסבירו קביעתכם.

III. האם המערכת הגיעה בכל פעם לאותו מצב שיווי משקל? נמקו.

IV. האם יחסי האיזון של התגובה נשמרו במהלך התגובה בניסויים השונים? הסבירו.



תשובה:

III. לא. בכל פעם הגיעה המערכת למצב שיווי-משקל אחר. ריכוזי מרכיבי המערכת שונים בכל

אחד ממצבי שיווי המשקל.

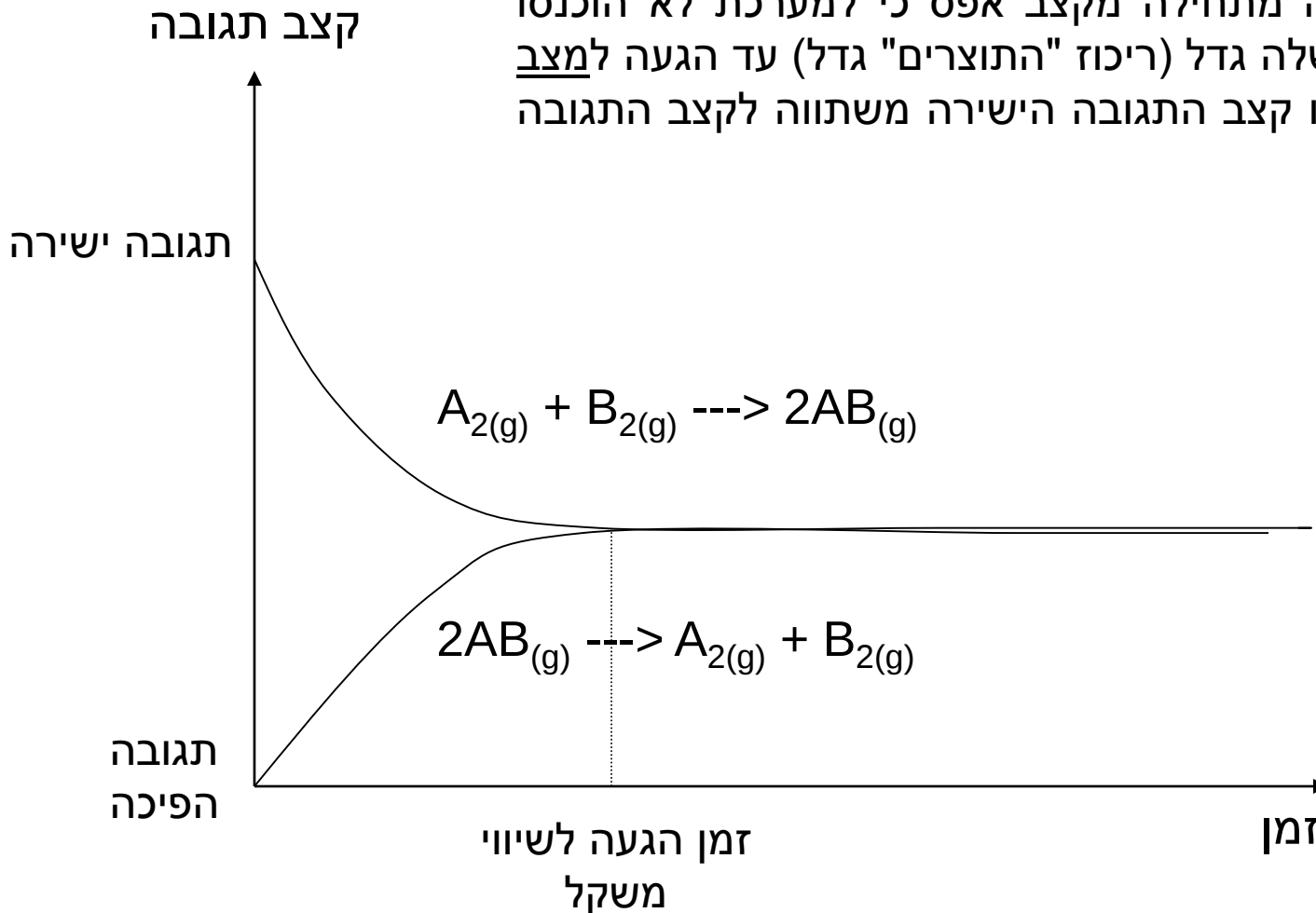
IV. יחסי האיזון של התגובה נשמרו. בכל ניסוי השינוי בריכוז $NO_{2(g)}$ הוא כפול מהשינוי

בריכוז $N_2O_{4(g)}$. שינוי זה נמצא בהתאמה ליחסי האיזון בתגובה: $1 : 2$

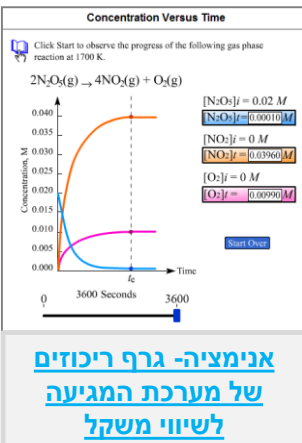


גרף שינוי קצב התגובה והגעה לש.מ.

בגרף זה אפשר לעקוב אחרי שינוי קצב התגובות, הישירה וההפוכה. כמו שהוסבר, בהתחלה, התגובה הישירה מהירה, ואחר כך הקצב שלה יורד (ריכוז "המגיבים" קטן). לעומתה, התגובה ההפוכה מתחילה מקצב אפס כי למערכת לא הוכנסו תוצרים. הקצב שלה גדל (ריכוז "התוצרים" גדל) עד הגעה ל**מצב שיווי משקל**, שבו קצב התגובה הישירה משתווה לקצב התגובה ההפוכה.



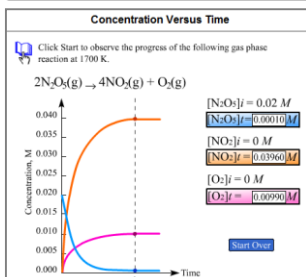
אנימציה – תאור גרפי של מערכת המגיעה לשיווי משקל



- התבוננו באנימציה הבאה והשלימו את הטבלה.
- מהו זמן ההגעה של המערכת למצב שיווי משקל?
- האם הריכוזים באנימציה מדויקים? נמקו.

החומרים			
ריכוז התחלתי (M)			
השינוי בריכוז (M)			
הריכוז במצב שיווי משקל (M)			

אנימציה – תאור גרפי של מערכת המגיעה לשיווי משקל



אנימציה- גרף ריכוזים
של מערכת המגיעה
לשיווי משקל

תשובה:

א.

החומרים וניסוח התגובה	$\text{O}_{2(\text{g})}$	$4\text{NO}_{2(\text{g})}$	$2\text{N}_2\text{O}_{5(\text{g})}$
ריכוז התחלתי (M)	0	0	0.02
השינוי בריכוז (M)	+0.0099 +X	+0.0396 +4X	-0.0198 -2X
הריכוז במצב שיווי משקל (M)	0.0099	0.0396	0.0002 (הריכוזים באנימציה לא מדויקים)

ב. זמן ההגעה לשיווי משקל – 2700 שניות בערך.

(יש לעצור את האנימציה בדיוק כאשר העקומה מתישרת).

ג. הריכוזים באנימציה לא מדויקים. אם מניחים שריכוז התוצרים מדויק צריכים להשאר 0.0002 מולר N_2O_5 ולא 0.0001 מולר כפי שרשום באנימציה.

שאלה 2:

נתונה התגובה: $2A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$. לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 3 מול A. במצב שיווי משקל נמצאו במערכת 0.25 מול B. ציירו גרף איכותי המתאר את שינוי הריכוז של מרכיבי המערכת כפונקציה של הזמן. **רמז:** ציירו תחילה טבלה מסכמת של שינוי הריכוזים במערכת.

שאלה 2:

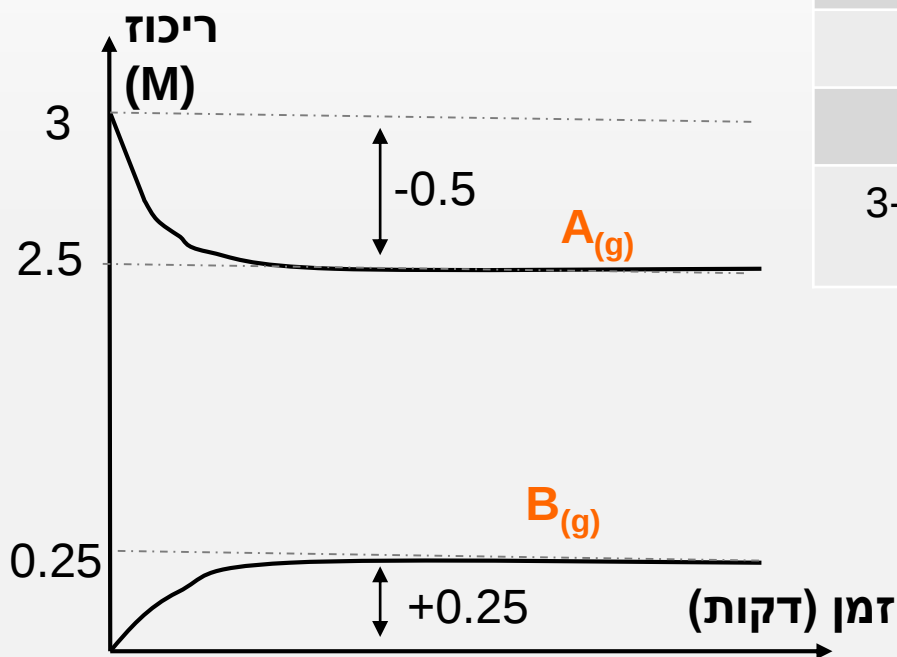
נתונה התגובה: $2A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$. לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 3 מול A. במצב שיווי משקל נמצאו במערכת 0.25 מול B.

ציירו גרף איכותי המתאר את שינוי הריכוז של מרכיבי המערכת כפונקציה של הזמן.

תשובה:



[A]	[B]	
3	0	הוכנסו לכלי (M)
?	0.25	במצב ש"מ (M)
-2X	X	הגיבו/נוצרו (M)
$3-2X = 2.5$	$X = 0.25$	במצב ש.מ. נמצאים (M)



שאלה 3:

נתונה התגובה: $2A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons 2C_{(g)}$.

לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 2 מול C. בשיווי משקל, נמצא שהיו במערכת 0.5 מול C נוסף על המרכיבים האחרים של התגובה.

ציירו גרף ריכוז כנגד זמן בעבור התהליך שהתרחש.

רמז: ציירו תחילה טבלה מסכמת של שינוי הריכוזים במערכת.

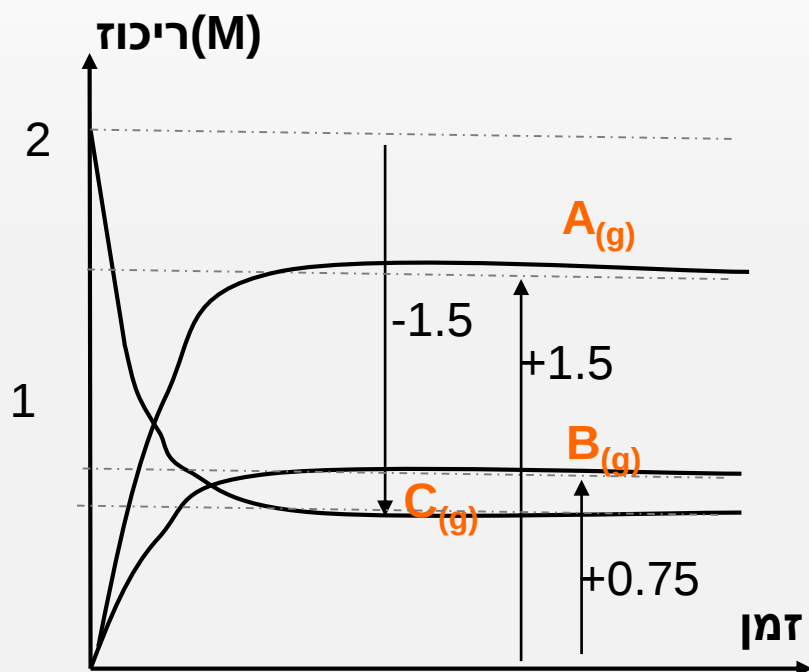
שאלה 3:

נתונה התגובה: $2A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons 2C_{(g)}$.
 לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 2 מול C. בשיווי משקל, נמצא שהיו במערכת 0.5 מול C נוסף על המרכיבים האחרים של התגובה.
 ציירו גרף ריכוז כנגד זמן בעבור התהליך שהתרחש.



תשובה:

[A]	[B]	[C]	
0	0	2	הוכנסו לכלי
?	?	0.5	במצב ש"מ
+2X	+X	-2X	הגיבו/נוצרו
2X=1.5	X=0.75	2-2X=0.5 X=0.75	במצב ש.מ. נמצאים

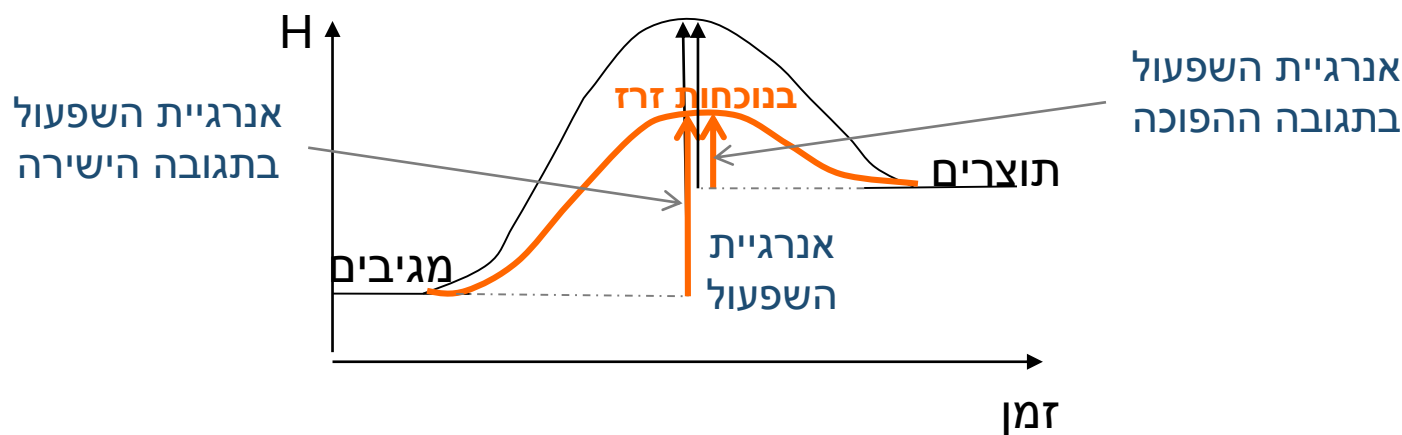


כיצד ישפיעו זרז וחימום על מערכת בשיווי משקל?

זרז – מוריד את אנרגיית השפעול של התגובה, כי הוא גורם לתגובה להתרחש במנגנון* אחר. בנוכחותו, ליותר חלקיקים תהיה אנרגיה מספיקה כדי לעבור את מחסום אנרגיית השפעול. התגובה תגיע מהר יותר למצב שיווי משקל. שיווי המשקל שאליו תגיע המערכת **זהה** לשיווי המשקל בלא זרז, מבחינת ריכוז מרכיבי המערכת.

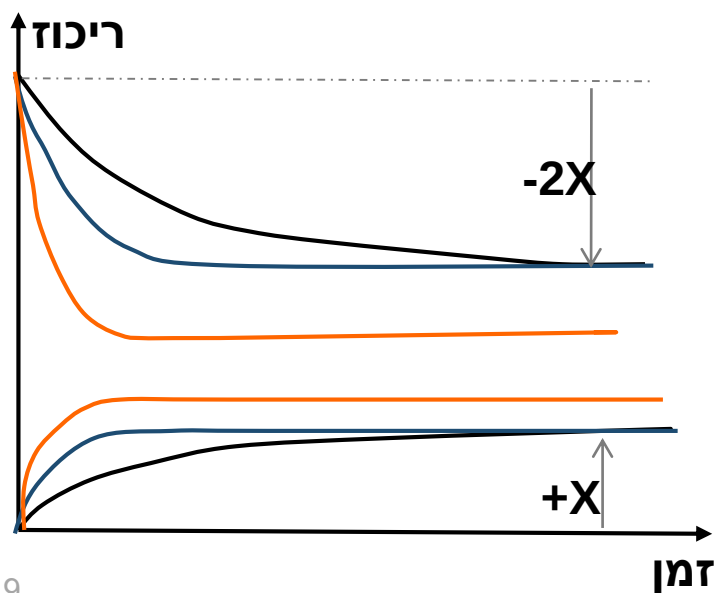
חימום – בחימום, האנרגיה הקינטית הממוצעת של החלקיקים עולה, ייווצרו יותר התנגשויות פוריות, יותר חלקיקים יעברו את מחסום אנרגיית השפעול, אף שאין שינוי בגודל אנרגיית השפעול. התגובה תגיע מהר יותר לשיווי משקל, אך ריכוז מרכיבי המערכת יהיה **שונה** מריכוזם בשיווי המשקל שלפני החימום. (ההסבר יינתן בהמשך הפרק).

***מנגנון התגובה** - השלבים שבהם התגובה מתרחשת



סיכום ותיאור גרפי של מערכת עם זרז ובחימום

זרז	חימום	
מגדיל את קצב התגובה הישירה וההפוכה כאחד	מגדיל את קצב התגובה הישירה וההפוכה כאחד	קצב תגובה
אנרגיית השפעול קטנה גם לתגובה הישירה וגם לתגובה ההפוכה	אנרגיית השפעול אינה משתנה	אנרגיית שפעול
האנרגיה הקינטית אינה משתנה	האנרגיה הקינטית גדלה	אנרגיה קינטית של החלקיקים
א. שיווי המשקל יושג מהר יותר. ב. יושג מצב שיווי משקל זהה עם ריכוז חומרים שווה	א. שיווי המשקל יושג מהר יותר ב. יושג מצב שיווי משקל אחר ובו ריכוז חומרים שונה	מצב שיווי משקל



גרף שינוי ריכוז כפונקציה של הזמן בתגובה:



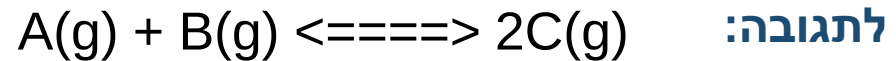
בטמפרטורת החדר

עם זרז

בטמפרטורה גבוהה

◀ תגובה כימית, המתרחשת בטמפרטורה קבועה, תגיע למצב שיווי משקל אחר בכל פעם שיהיה שינוי ריכוזים התחלתי.

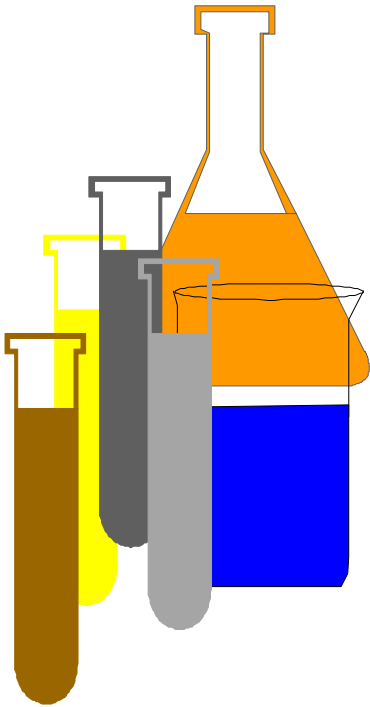
◀ כל מצבי שיווי המשקל השונים יהיו בעלי אותו קבוע שיווי משקל. (באותה טמפרטורה)



קבוע שיווי משקל:
$$K = \frac{[C]^2}{[A] \cdot [B]}$$

◀ קבוע שיווי המשקל מאפיין מערכת ומבטא את נטיית התגובה להתרחש.

K תלוי בניסוח איזון התגובה ובטמפרטורה !!!



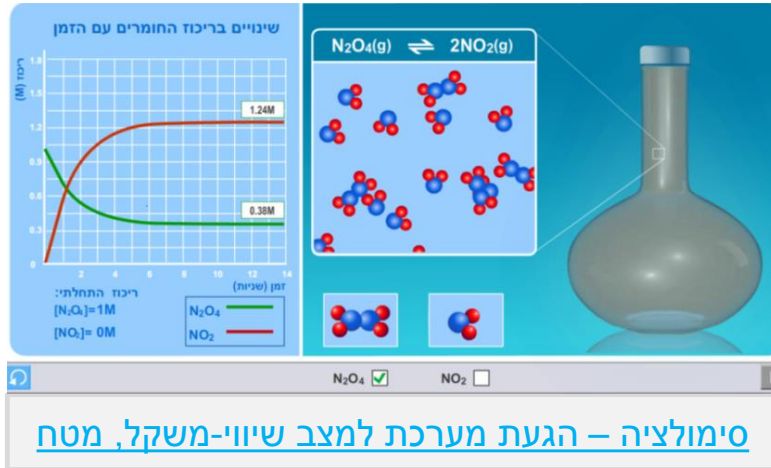
- ◀ קבוע שיווי המשקל הוא מאפיין של תגובה.
- ◀ אם הקבוע הוא מספר גדול מאוד, פירוש הדבר שהתגובה מתרחשת במידה רבה - מתקבל מצב שיווי משקל עם ריכוז תוצרים גבוה יחסית למגיבים.
- ◀ אם הקבוע הוא מספר קטן מאוד (שבר קטן), פירוש הדבר שהתגובה מתרחשת מעט ומגיעה למצב שיווי משקל שבו ריכוז המגיבים גבוה יחסית לריכוז תוצרים.
- ◀ אם לקבוע ערך ביניים, סביב 1, פירוש הדבר שבשיווי משקל יימצאו תוצרים ומגיבים בריכוזים דומים.

שימו ♥! אין קשר בין גודלו של הקבוע (המבטא את מידת התרחשות התגובה) לבין מהירות התגובה!

דוגמה – אפשרי מצב שהתגובה תתרחש במהירות כלומר, היא תגיע מהר למצב שיווי משקל, אך קבוע שיווי המשקל יהיה קטן, כלומר, יהיו במערכת מעט תוצרים, ולהפך.

סימולציה - חישוב קבוע שיווי משקל

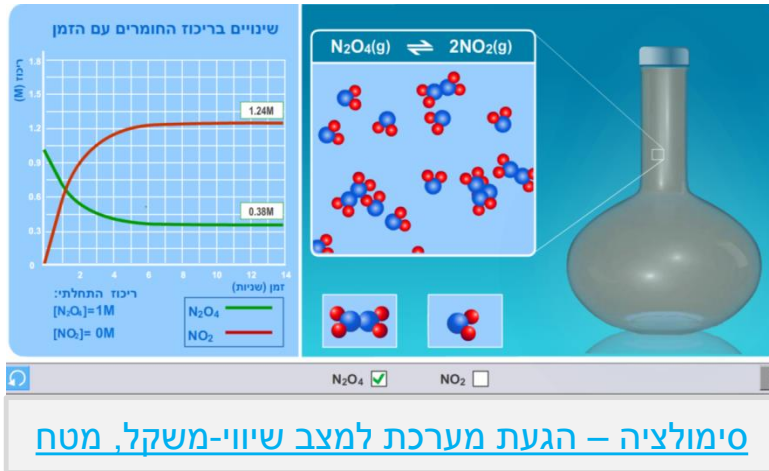
הפעילו את הסימולציה בשלושת המצבים האפשריים, רכזו את הנתונים בטבלה וחשבו את קבוע שיווי-המשקל בכל מצב.



הניסוי	ריכוז $\text{NO}_{2(g)}$ בשיווי-משקל (M)	ריכוז $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$ בשיווי-משקל (M)	קבוע שיווי-המשקל
מגיב בלבד			
תוצר בלבד			
מגיב+תוצר			

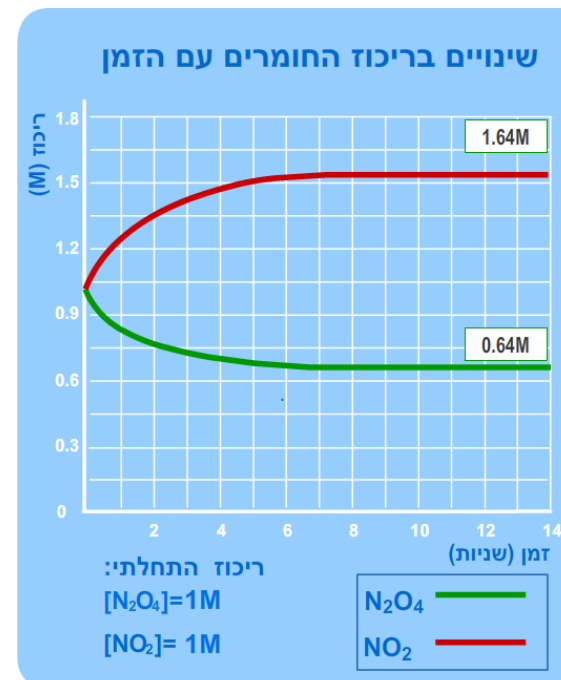
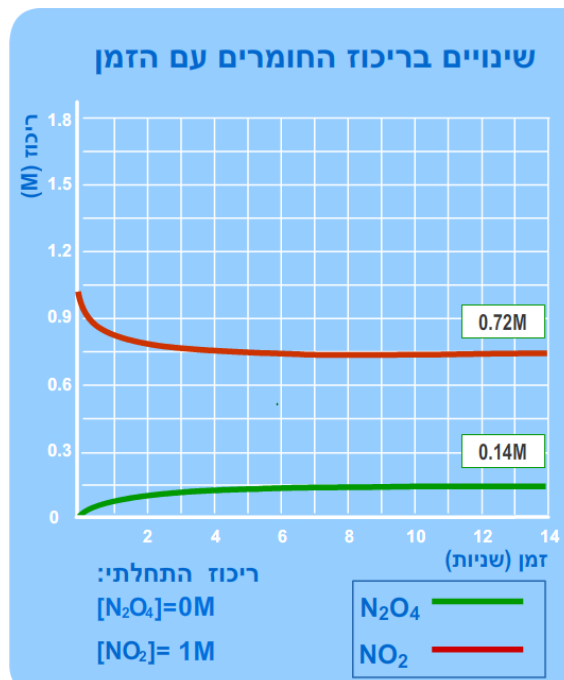
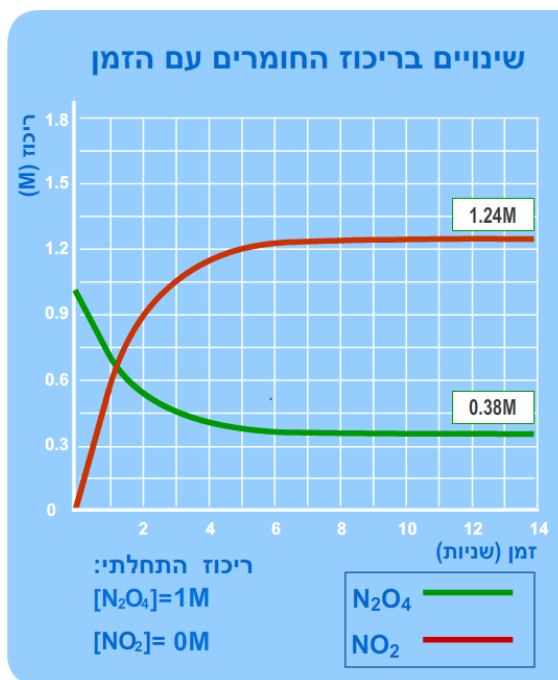
סימולמיה - פתרון לחישוב קבוע שיווי משקל

הפעילו את הסימולציה בשלושת המצבים האפשריים, רכזו את הנתונים בטבלה וחשבו את קבוע שיווי-המשקל בכל מצב.



הניסוי	ריכוז $\text{NO}_{2(g)}$ בשיווי-משקל (M)	ריכוז $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$ בשיווי-משקל (M)	קבוע שיווי-המשקל
מגיב בלבד 1M	1.24	0.38	$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{1.24^2}{0.38} = 4.0$
תוצר בלבד 1M	0.72	0.14	$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{0.72^2}{0.14} = 3.7$
מגיב+תוצר 1M+1M	1.64	0.64	$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{1.64^2}{0.64} = 4.2$

אפשר לראות, זה מול זה, את שלושת הגרפים שצוירו עבור המערכת, $\text{N}_2\text{O}_{4(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(g)}$, באותה הטמפרטורה בשלושת הניסויים השונים. מאחר ובכל ניסוי הריכוזים ההתחלתיים שונים, המערכת הגיעה בכל ניסוי למצב שיווי-משקל אחר. אך בכל המקרים קבוע שיווי-המשקל שווה!



$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{1.24^2}{0.38} = 4.0$$

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{0.72^2}{0.14} = 3.7$$

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{1.64^2}{0.64} = 4.2$$

הקשר בין K שיווי משקל לניסוח התגובה (העשרה!)

שימו לב! K תלוי בניסוח התגובה !!!

כאשר מכפילים את ניסוח התגובה פי 2, K יגדל בריבוע.

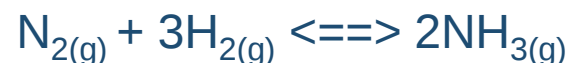
כאשר מחלקים את ניסוח התגובה פי 2, K יקטן ויהיה שורש ה-K הקודם.

כאשר הופכים את ניסוח התגובה, ה-K החדש יהיה ההופכי של ה-K הקודם.

$2A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$ $K_1 = \frac{[B]}{[A]^2}$ $K_1 = \sqrt{K_2}$	$4A_{(g)} \rightleftharpoons 2B_{(g)}$ $K_2 = \frac{[B]^2}{[A]^4}$ $K_2 = K_1^2$	$B_{(g)} \rightleftharpoons 2A_{(g)}$ $K_3 = \frac{[A]^2}{[B]}$ $K_3 = \frac{1}{K_1}$
--	--	---

שאלה 4:

השאלה עוסקת בתגובה:



לכלי בנפח 2 ליטר הכניסו 2 מול מולקולות חנקן ו- 6 מול מולקולות מימן. התקבלו 1.6 מול מולקולות אמוניה.

א. האם הלחץ במערכת יעלה/ירד/לא ישתנה במהלך התגובה? נמקו.

ב. חשבו את K_c למצב שיווי המשקל.

שאלה 4:



לכלי בנפח 2 ליטר הכניסו 2 מול מולקולות חנקן ו- 6 מול מולקולות מימן. התקבלו 1.6 מול מולקולות אמוניה.

א. האם הלחץ במערכת יעלה/ירד/לא ישתנה במהלך התגובה. נמקו.

ב. חשבו את K_c למצב שיווי המשקל.

תשובה:

א. **הלחץ במערכת ירד** היות שבמהלך התרחשות התגובה נוצרים מ- 4 **מול גז** מגיבים רק 2 מול תוצרים. הלחץ מושפע מכמות החלקיקים בכלי התגובה.

החומרים	$[\text{NH}_3]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{N}_2]$
ריכוז התחלתי (M)	0	3	1
הגיבו/נוצרו לפי יחסי האיזון (M)	+2X	-3X	-X
ריכוז בשיווי משקל (M)	2X	3-3X	1-X
	0.8	3-1.2=1.8	1-0.4 = 0.6

ב.

מהטבלה רואים ש

$$2X = 0.8M$$

$$X = 0.4M$$

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2]^1[\text{H}_2]^3} = \frac{0.8^2}{0.6 \cdot 1.8^3} = 0.183$$

- ◀ **מנת הריכוזים - Q** - היא יחס הריכוזים במערכת התגובה ברגע נתון. היא מתקבלת על ידי הצבת ריכוזי החומרים במערכת ברגע נתון, בביטוי של קבוע שיווי המשקל, גם כאשר המערכת איננה בשיווי משקל.
- ◀ **Q** משמשת לזיהוי מצב המערכת. בעזרתה אפשר לקבוע אם המערכת נמצאת במצב שיווי משקל. אם היא איננה בשיווי משקל, לאן היא תִּטָּה, למגיבים או לתוצרים?
- ◀ אם $Q = K$ - המערכת בשיווי משקל.
- ◀ אם $Q > K$ - יש יותר תוצרים יחסית למגיבים, והמערכת תִּטָּה למגיבים עד השגת שיווי משקל. כלומר, עד שיתקיים $K=Q$.
- ◀ אם $Q < K$ - יש יותר מגיבים יחסית לתוצרים, והמערכת תִּטָּה לתוצרים עד השגת שיווי משקל. כלומר, עד שיתקיים $K=Q$.

שאלה 5:



- לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 1 מול מימן, 1 מול כלור ו- 1 מול מימן כלורי.
- א. האם המערכת נמצאת בשיווי משקל? נמקו.
- ב. אם לא, לאיזה כיוון מתרחשת התגובה? נמקו.
- ג. האם יהיה שינוי בלחץ המערכת מרגע ערבוב החומרים? נמקו.
- ד. מהם הריכוזים של מרכיבי המערכת בשיווי משקל? פרטו חישובים. (אתגר)

שאלה 5:



לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 1 מול מימן, 1 מול כלור ו- 1 מול מימן כלורי.

- האם המערכת נמצאת בשיווי משקל? נמקו.
- אם לא, לאיזה כיוון מתרחשת התגובה? נמקו.
- האם יהיה שינוי בלחץ המערכת לאחר ערבוב החומרים? נמקו.
- * מהם הריכוזים של מרכיבי המערכת בשיווי משקל? פרטו חישובים. (אתגר)

תשובה:

א. כדי לדעת אם המערכת בשיווי משקל יש לחשב את Q ולהשוותו ל- K שיווי משקל.

$$Q = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{1^2}{1 \cdot 1} = 1$$

- Q=1 והוא קטן מ- K=100. כלומר, **המערכת איננה נמצאת במצב שיווי משקל**.
- התגובה צריכה להתרחש **בכיוון התוצרים**, כדי שמנת הריכוזים תגדל ותשתווה ל- 100.
- לא יהיה שינוי בלחץ. כמות המולים של המגיבים שווה לכמות המולים של התוצרים. הלחץ נמצא ביחס ישר לכמות המולים.

*המשך תשובה לשאלה 5ד'

שאלה 5ד':



לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 1 מול מימן, 1 מול כלור ו- 1 מול מימן כלורי.
מפתרון החלק הראשון עולה שהמערכת אינה בשיווי משקל והיא נוטה לתוצרים.
ד. מהם הריכוזים של מרכיבי המערכת בשיווי משקל? פרטו חישובים.

תשובה:

ד. ניעזר בטבלת הריכוזים לחישוב, ונציב בביטוי ל- K.

החומרים	[HCl]	[Cl ₂]	[H ₂]
ריכוז התחלתי M	1	1	1
הגיבו/נוצרו לפי יחסי האיזון	+2X	-X	-X
ריכוז בשיווי משקל (M)	1+2X	1-X	1-X

$$K = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{H}_2][\text{Cl}_2]} = \frac{(1+2X)^2}{(1-X) \cdot (1-X)} = 100 = \frac{(1+2X)^2}{(1-X)^2}$$

$$\pm 10 = \frac{(1+2X)}{1-X}$$

$$10(1-X) = 1+2X$$

$$10 - 10X = 1 + 2X$$

$$9 = 12X$$

$$X = 0.75$$

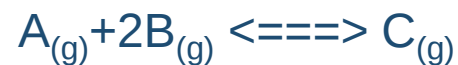
נציב את X שקיבלנו בריכוזים בש"מ:

(הפתרון השני נותן תשובה לא הגיונית)

$$[\text{H}_2] = [\text{Cl}_2] = 1 - X = 1 - 0.75 = 0.25M$$

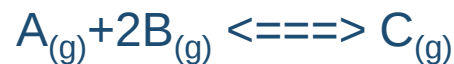
$$[\text{HCl}] = 1 + 2X = 1 + 1.5 = 2.5M$$

שאלה 6:



- לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 5 מול C ו- 2 מול B. במצב שיווי משקל, נמצאו במערכת 0.25 מול A.
- א. שרטטו גרף שיתאר את השינוי בריכוזים של מרכיבי המערכת עד הגעתה למצב שיווי משקל.
- ב. חשבו את K שיווי משקל.

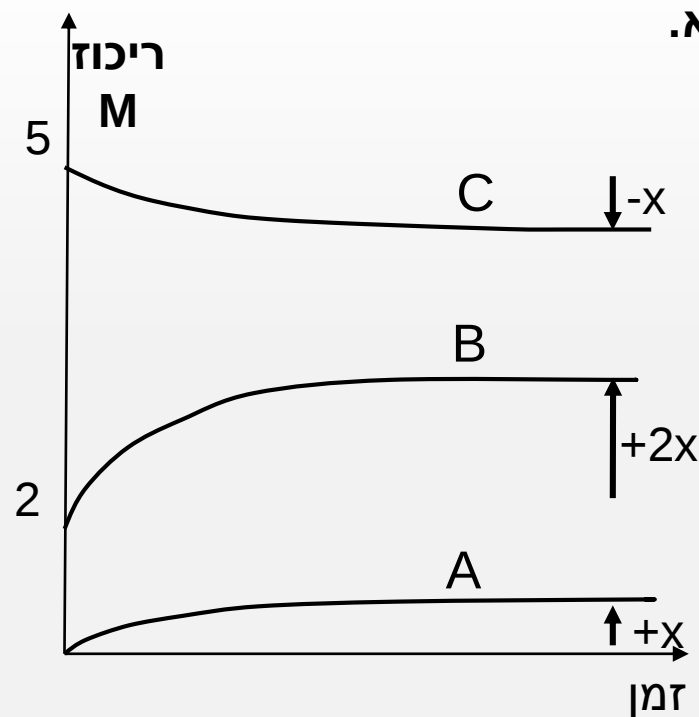
שאלה 6:



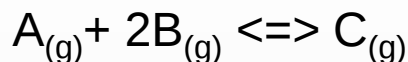
לכלי בנפח 1 ליטר הכניסו 5 מול C ו- 2 מול B. במצב שיווי משקל נמצאו במערכת 0.25 מול A.
א. שרטטו גרף שיתאר את השינוי בריכוזים של מרכיבי המערכת עד הגעתה למצב שיווי משקל.
ב. חשבו את K שיווי משקל.

תשובה:

א.



ב.



[A]	[B]	[C]	החומרים
0	2	5	ריכוז התחלתי M
+X	+2X	-X	הגיבו/נוצרו לפי יחסי האיזון
X	2+2X	5-X	ריכוז בשיווי משקל (M)
0.25	2.5	4.75	

$$X = 0.25$$

$$K = \frac{4.75}{0.25 \cdot 2.5^2} = 3.04$$

סיכום:

- ◀ תגובות רבות יכולות להגיע למצב שיווי משקל כאשר הן מתבצעות במערכת סגורה.
- ◀ מצב שיווי משקל מאופיין בקביעות מקרוסקופית ודינמיות מקרוסקופית.
- ◀ זרז מוריד את אנרגיית השפעול של התגובה, ואילו חימום מעלה את האנרגיה הקינטית של החלקיקים בתגובה.
- ◀ קבוע שיווי המשקל מאפיין תגובה מסוימת בטמפרטורה נתונה.
- ◀ יש אין-סוף מצבי שיווי משקל שונים בטמפרטורה קבועה. לכולם יהיה אותו קבוע.
- ◀ קבוע שיווי המשקל תלוי בניסוח התגובה.
- ◀ אפשר לחשב את הריכוזים במצב שיווי משקל בעזרת הנתונים ההתחלתיים וקבוע שיווי המשקל.
- ◀ חישוב מנת הריכוזים – Q , מאפשר לנו לדעת אם המערכת מצויה במצב שיווי משקל. אם היא אינה במצב שיווי משקל, אפשר לנבא בעזרתה את הכיוון שהמערכת תטו אליו.

מושגים חשובים:

מצב שיווי משקל, זרז, אנרגיית שפעול, קבוע שיווי משקל, מנת ריכוזים