

עדי פאבלוקס

כימיה פורצת דרך

שיווי-משקל, תרמודינמיקה, סוכרים ופולימרים



רכס

פרויקטים חינוכיים בע"מ

עדי פאבלוקס

כימיה פורצת דרך
שיווי-משקל, תרמודינמיקה, סוכרים ופולימרים

© 2017 כל הזכויות שמורות
לרכס פרויקטים חינוכיים בע"מ ולמחברת
Printed in Israel 2017

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר, כל חלק שהוא מספר זה. שימוש מסחרי, מכל סוג שהוא, בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט. אלא ברשות מפורשת בכתב מן המו"ל.

רכס פרויקטים חינוכיים בע"מ
ת"ד 324 קדימה 6092000
טלפון 073-2550000 פקס 073-2550055
כתובתנו באינטרנט: www.reches.co.il
E-mail: main@reches.co.il

עשינו כמיטב יכולתנו לאתר את בעלי הזכויות של כל החומר ממקורות חיצוניים. אנו מתנצלים על כל השמטה או טעות. אם יובא הדבר לידיעתנו נפעל לתקנו במהדורות הבאות.

מסת"ב 978-965-558-247-5 ISBN

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

הקדמה

תלמידי כימיה יקרים,

הספר שלפניכם נכתב עבור תלמידי כימיה 5 יח"ל במטרה לסייע בהפנמת החומר הנלמד, ובמטרה להדגיש את היישומים המעניינים והמגוונים של נושאי הלימוד בחיי היום-יום ובתעשייה הכימית. הספר מותאם לתוכנית הלימודים החדשה כפי שפרסם משרד החינוך לקראת קיץ 2018.

הספר כולל את שלושת פרקי החובה שבתוכנית ה-30% ופרק בחירה אחד:

1. פרק חובה: שיווי-משקל

2. פרק חובה: תרמודינמיקה

3. פרק חובה: סוכרים

4. פרק בחירה: פולימרים

כל נושא מוצג בפירוט מהקל אל הכבד מלווה בדוגמאות, תרגילים, שאלות מסכמות ותשבץ מסכם.

השאלות מתייחסות לנושאים מגוונים שרלוונטיים לחיי היום-יום, לתעשייה הכימית ולאיכות הסביבה.

בחלק השני של הספר מוצגים פתרונות מפורטים לכל התרגילים ולכל השאלות המסכמות. אני מקווה שתהנו מהספר, ושהוא יסייע לכם ויתרום להצלחתכם.

בברכה,

עדי פאבלוקס

הספר מוקדש לבנותיי האהובות משי, תלתן וספיר ולנכדתי האהובה מעיין.
תודתי נתונה למשפחתי היקרה על התמיכה וההתעניינות הרבה לאורך כל הדרך.

תוכן העניינים

פרק א': שיווי משקל

9	הקדמה
12	קבוע שיווי-משקל: K_c
15	תרגילים
236	פתרונות
18	Q - מנת הריכוזים ברגע מסוים
22	תרגילים
240	פתרונות
26	הפרעות למערכת שנמצאת בשיווי-משקל באמצעות שינוי ריכוז
28	הפרעות למערכת שנמצאת בשיווי-משקל באמצעות שינוי הטמפרטורה
30	תרגילים
245	פתרונות
34	שאלות מסכמות בנושא שיווי-משקל
253	פתרונות

פרק ב': תרמודינמיקה - מדוע תגובות מתרחשות?

63	הקדמה
63	השינוי באנתרופיה של המערכת
68	תרגילים
283	פתרונות
71	השינוי באנתרופיה של הסביבה
73	השינוי באנתרופיה של היקום
73	החוק השני של התרמודינמיקה - ספונטניות של תגובות
74	תרגילים

286	פתרונות
79	יישום החוק השני של התרמודינמיקה - דיון נוסף
81	תרגילים
290	פתרונות
83	שאלות מסכמות בתרמודינמיקה
293	פתרונות
101	שאלות המשלבות שיווי-משקל ותרמודינמיקה
109	תשבץ שיווי-משקל ותרמודינמיקה
315	פתרונות

פרק ג': סוכרים

111	הקדמה
111	הכימיה של המזון
115	חד-סוכרים
116	הסברים ותרגילים
323	פתרונות
122	דו-סוכרים
124	תרגילים
327	פתרונות
133	רב-סוכרים
135	תרגילים
332	פתרונות
139	סוכרים - סיכום המושגים
141	תשבץ סוכרים
143	סוכרים - שאלות לסיכום
334	פתרונות

פרק ד': פולימרים

הקדמה	156
פלמור בדחיסה	158
הסברים ושאלות	159
פתרונות	342
פלמור בסיפוח	175
שאלות	177
פתרונות	354
מצבי צבירה של פולימרים ותכונותיהם	180
קופולימרים	186
שאלות	187
פתרונות	356
הגורמים המשפיעים על גובה T_g , T_m ועל אחוז הגבישיות של פולימרים	
א. הגורמים במבנה של השרשרת עצמה	189
שאלות	192
פתרונות	358
ב. השפעת הקבוצות הצדדיות	197
שאלות	200
פתרונות	365
הידרוליזה ופולימרים מתכלים	204
שאלות	206
פתרונות	368
דרגת פלמור ממוצעת, מסה מולרית ממוצעת של פולימרים	
והשפעתם על תכונות הפולימר	208
שאלות	211
פתרונות	371
סיבים לבגדים	216

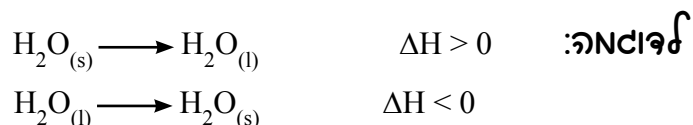
218	שאלות
373	פתרונות
220	הצלבה
223	שאלות
376	פתרונות
226	שאלה מסכמת בפולימרים
229	סיכום המושגים בפולימרים
233	תשבץ פולימרים
379	פתרונות

שיווי-משקל

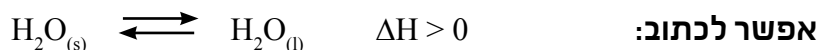
הקדמה

תגובות שיווי-משקל

תגובות שיווי-משקל הן תגובות הפיכות. יש תגובות הפיכות שאנו מכירים מחיי היומיום:



במקרה זה, בטמפרטורות גבוהות מאפס יש עדיפות לתגובת ההיתוך של קרח, ובטמפרטורות נמוכות מאפס יש עדיפות לתגובת הקיפאון. באפס מעלות נמצאים זה לצד זה מים נוזלים וקרח, כלומר המגיבים והתוצרים נמצאים זה לצד זה. באפס מעלות קצב תגובת ההיתוך שווה לקצב תגובת הקיפאון, והמערכת נמצאת בשיווי-משקל.



התגובה משמאל לימין נקראת התגובה הישירה, התגובה מימין נקראת התגובה ההפוכה, וסימנו של ΔH נכתב על פי התגובה הישירה.

כאן יש להזכיר:

$\Delta H > 0$ תגובה אנדותרמית: תגובה שקולטת אנרגיה מהסביבה, וכך הטמפרטורה של הסביבה יורדת.

$\Delta H < 0$ תגובה אקסותרמית: תגובה שפולטת אנרגיה אל הסביבה, וכך הטמפרטורה של הסביבה עולה.

מדוע חשוב לנו ללמוד על תגובות שיווי-משקל?

בתגובות שיווי-משקל המגיבים אינם מגיבים עד תום, שכן ברגע שמתרחשת התגובה הישירה, ונוצרים התוצרים, מתחילה להתרחש התגובה ההפוכה, עד לקבלת שיווי-משקל. לכן לא ברור מאליו מהי כמות התוצרים שנקבל מכמות מסוימת של מגיבים. על כן יש מקום ללמוד על חישובים כמותיים שמתאימים לתגובות שיווי-משקל.

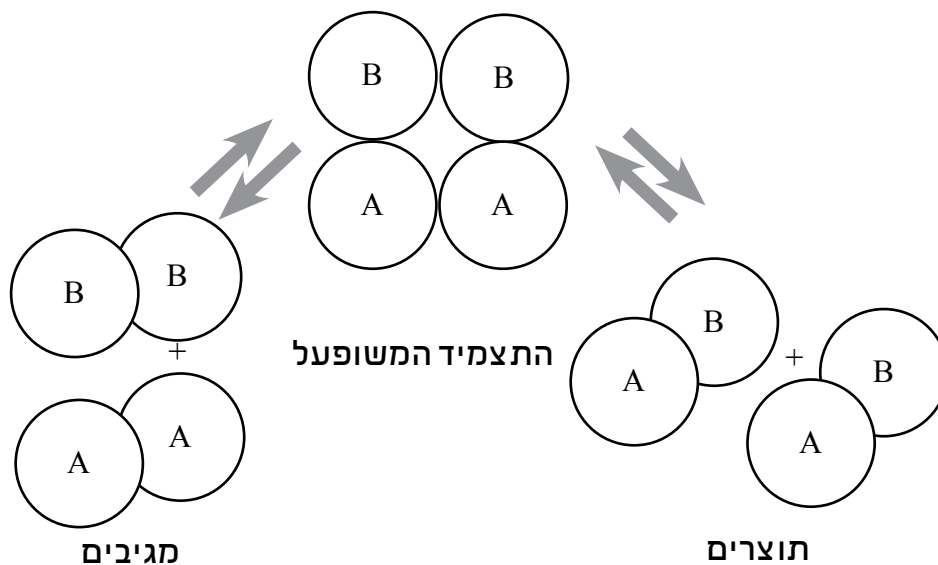
נוסף על כך, חומרים חשובים רבים נוצרים בתגובות שיווי-משקל, ונשאלת השאלה: כיצד אפשר להגדיל את ריכוז התוצרים הרצויים בשיווי-משקל? האם כדאי לחמם את כלי התגובה או לקרר אותו? האם יש חומר, שכדאי להוסיף לכלי התגובה?

כיצד מערכת מגיעה לשיווי-משקל?

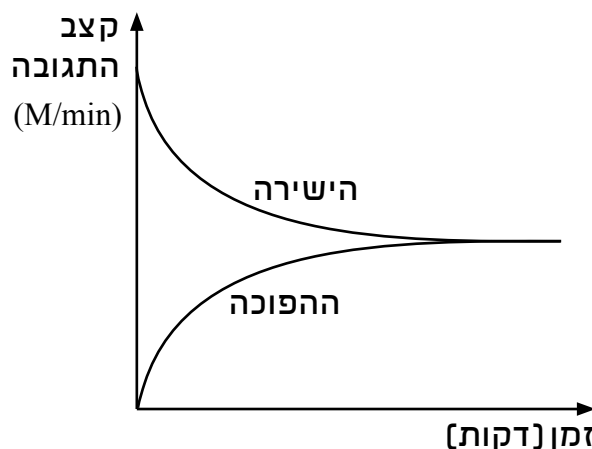
נתונה תגובת שיווי-משקל: $A_{(g)} \rightleftharpoons 2B_{(g)}$

נתאר ניסוי שבו מכניסים לכלי סגור את המגיבים הבאים: $A_{2(g)} + B_{2(g)}$.

מולקולות המגיבים נעות בכלי, ולעתים הן מתנגשות זו בזו. חלק מההתנגשויות יוצר התנגשויות פוריות לקבלת התצמיד המשופעל [שמופיע במרכז האיור שלפניכם]. התצמיד המשופעל עשוי להתפרק לקבלת התוצר, וכן עשוי להתפרק לקבלת המגיבים חזרה.



בניסוי זה יש להתחלה רק מגיבים, לכן קצב התגובה הישירה, כלומר קצב ההתנגשויות של המגיבים לקבלת התצמיד המשופעל והתוצרים, גבוה יותר מקצב התגובה ההפוכה. עם הזמן ריכוז המגיבים פוחת, וקצב התגובה הישירה פוחת. מנגד, ריכוז התוצרים עולה, וקצב התגובה ההפוכה עולה, עד שמגיעים למצב שבו קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה, ועל כן כל החומרים נשארים בריכוז קבוע. זהו מצב שיווי-משקל.



בשיווי-משקל קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה, ועל כן הריכוזים נשארים קבועים.

מצב שיווי-משקל

אפשר לתאר מצב של שיווי-משקל ברמה המאקרוסקופית וברמה המיקרוסקופית. ברמה המאקרוסקופית: כל גודל שאפשר למדוד נשאר קבוע: הלחץ של הגזים בכלי, הגוון של הצבע, עוצמת הצבע, ובתמיסות: ה-pH והמוליכות החשמלית נשארים קבועים בשיווי-משקל, ובעצם כך אפשר לדעת שהמערכת הגיעה לשיווי-משקל.

ברמה המיקרוסקופית: בשיווי-משקל קצב ההתנגשויות הפוריות של המגיבים לקבלת התצמיד המשופעל והתוצרים, שווה לקצב ההתנגשויות הפוריות של התוצרים לקבלת התצמיד המשופעל והמגיבים. לכן בשיווי-משקל כל מרכיבי המערכת, כלומר כל המגיבים וכל התוצרים, נמצאים יחד בכלי.

במערכות שיווי-משקל עם חומרים במצב צבירה גזי, הכלי צריך להיות סגור, כדי להגיע לשיווי-משקל.

קבוע שיווי-משקל K_c

קבוע שיווי-משקל מבטא את היחס בין ריכוזי התוצרים לבין ריכוזי המגיבים בשיווי-משקל. קבוע שיווי-משקל של תגובה תלוי רק בטמפרטורה שבה המערכת נמצאת.

באופן כללי לתגובה: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

$$K_c = \frac{[C_{(g)}]^c \cdot [D_{(g)}]^d}{[A_{(g)}]^a \cdot [B_{(g)}]^b}$$

דוגמה: נתונה תגובת ייצור האמוניה: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

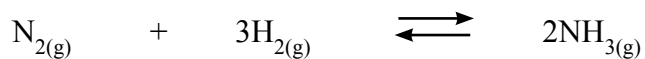
$$K_c = \frac{[NH_{3(g)}]^2}{[N_{2(g)}] \cdot [H_{2(g)}]^3}$$

הביטוי לקבוע שיווי-משקל K_c עבור תגובה זו:

דוגמה לחישוב K_c :

לכלי A בנפח ליטר הוכנסו 1.0 מול $N_{2(g)}$ ו-3.0 מול $H_{2(g)}$. אילו התגובה הייתה מתרחשת עד תום, היו מתקבלים 2 מול מולקולות $NH_{3(g)}$. אולם התגובה מגיעה לשיווי-משקל, שבו נמצאו 1.8 מול אמוניה. נערוך טבלת ריכוזים, ונחשב את קבוע שיווי-משקל של התגובה בטמפרטורת הניסוי.

תגובה 1:

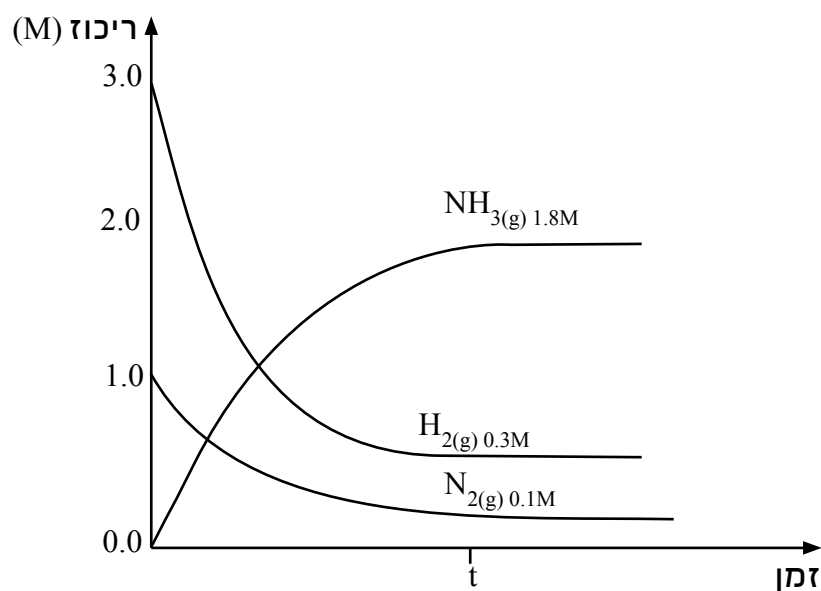


$\text{N}_{2(g)}$	$\text{H}_{2(g)}$	$\text{NH}_{3(g)}$	
1.0	3.0	0	ריכוזים התחלתיים
-0.9	-2.7	+1.8	* השינויים בריכוזים
0.1	0.3	1.8	ריכוזים בשיווי-משקל

* יחס השינויים בריכוזים עד קבלת שיווי-משקל שווה ליחס המקדמים 1 : 3 : 2
בחישוב קבוע שיווי-משקל נציב את הריכוזים שבמצב שיווי-משקל:

$$K_c = \frac{[\text{NH}_{3(g)}]^2}{[\text{N}_{2(g)}] \cdot [\text{H}_{2(g)}]^3} = \frac{1.8^2}{0.1 \cdot 0.3^3} = 1200$$

תיאור גרפי:



מה ניתן ללמוד מערכו של K_c ?

1. קבוע שיווי-משקל מאפשר להעריך אם בשיווי-משקל יש יותר תוצרים או יותר מגיבים.
לדוגמה: נתונים ערכי K_c של תגובה 1 בטמפרטורות שונות לתגובת שיווי-המשקל:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

טמפרטורה °K	298	500	1100
K_c	$3.6 \cdot 10^8$	300	$8.3 \cdot 10^{-3}$

מנתונים אלו ניתן ללמוד שבטמפרטורת החדר: $298^\circ K$ ריכוז האמוניה במערכת שיווי-משקל גבוה במיוחד, ואילו בטמפרטורה: $1100^\circ K$ ריכוז האמוניה בשיווי-משקל נמוך יחסית [מעלות צלזיוס + 273 = מעלות קלווין].

2. בהמשך נראה שקבוע שיווי-משקל מאפשר לקבוע אם מערכת נמצאת בשיווי-משקל, ואם לא - איזו תגובה תועדף עד שיווי-משקל: הישירה או ההפוכה. בנוסף - ניתן לחשב באמצעותו את הריכוזים של החומרים בשיווי-משקל.

טיפ: מה קורה ללחץ בכלי?

- אם עד שיווי-משקל מועדפת התגובה שבה יש עלייה במספר מולקולות הגז אז הלחץ בכלי עולה. לדוגמה, אם מועדפת התגובה הישירה במערכת:

$$A_{(g)} \rightleftharpoons 2B_{(g)}$$
- אם עד שיווי-משקל מועדפת התגובה שבה יש ירידה במספר מולקולות הגז אז הלחץ בכלי יורד. לדוגמה, אם מועדפת התגובה הישירה במערכת:

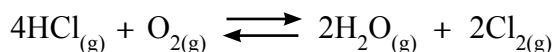
$$2A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$$
- אם אין שינוי במספר מולקולות הגז בתגובה, הלחץ בכלי לא משתנה.
 לדוגמה:
$$A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons 2C_{(g)}$$
- אם המערכת בשיווי-משקל: קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה ולכן אין שינוי במספר מולקולות הגז בכלי, ולכן אין שינוי בלחץ בכלי.
- אם מספר מולקולות הגז משתנה בתגובה, אפשר לקבוע מתי המערכת מגיעה לשיווי-משקל על ידי מעקב אחר הלחץ: ברגע שהלחץ יתייצב, נדע שהמערכת הגיעה לשיווי-משקל.

תרגילים בנושא חישוב קבוע שיווי-משקל:



1. כדי לייצר $\text{Cl}_{2(g)}$, הכניסו למכל בנפח 100 ליטר: 300 מול $\text{HCl}_{(g)}$ ו-300 מול $\text{O}_{2(g)}$.

המערכת הגיעה לשיווי-המשקל, ובשיווי-משקל היו במכל 20 מול $\text{HCl}_{(g)}$.



א. הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל וחשבו את ערכו.

ב. האם הלחץ בכלי עולה, יורד או לא משתנה עד קבלת שיווי-משקל? נמקו.

2. הכניסו לכלי בנפח 2 ליטרים: 0.8 מול $\text{CO}_{(g)}$ ו-0.8 מול $\text{COF}_{2(g)}$.

המערכת הגיעה לשיווי-משקל: $\text{CO}_{(g)} + \text{F}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{COF}_{2(g)}$

בשיווי-משקל נמצאו בכלי 0.4 מול $\text{F}_{2(g)}$.

א. הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל וחשבו את ערכו.

ב. האם הלחץ בכלי עולה, יורד או לא משתנה עד קבלת שיווי-משקל? נמקו.

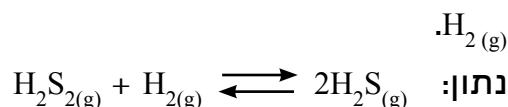
3. הכניסו לכלי בנפח ליטר אחד: 2 מול $\text{CO}_{(g)}$ ו-4 מול $\text{H}_{2(g)}$. המערכת הגיעה לשיווי-משקל.

בשיווי-משקל התקבל $\text{CH}_3\text{OH}_{(g)}$ בריכוז 1.8 מול לליטר (רשמו במקדמים מספרים שלמים).

א. רשמו ניסוח מאוזן לתגובה. רשמו במקדמים מספרים שלמים.

ב. הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל, וחשבו את ערכו.

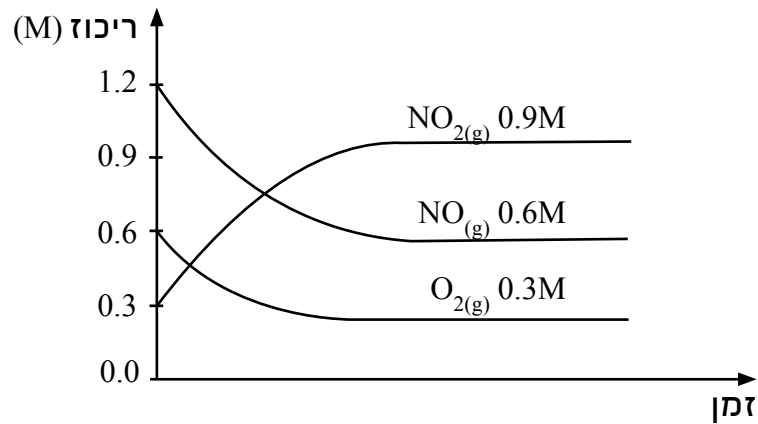
4. הכניסו לכלי בנפח 10 ליטרים: 8 מול $\text{H}_2\text{S}_{2(g)}$ ו-8 מול $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$. בשיווי-משקל נמצאו 2 מול $\text{H}_{2(g)}$.



א. הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל וחשבו את ערכו.

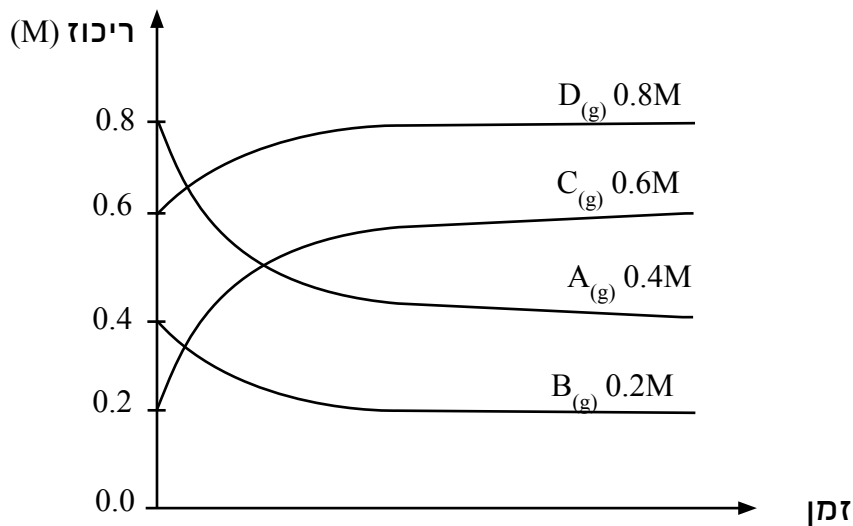
ב. האם הלחץ עולה, יורד או לא משתנה עד קבלת שיווי-משקל? נמקו.

5. נתון הגרף:



- רשמו ניסוח מאוזן לתגובה [השתמשו במספרים שלמים במקדמים].
- הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל וחשבו את ערכו. שימו! ♥ החומרים שריכוזם יורד - במגיבים, ואלה שריכוזם עולה - בתוצרים. היחס בין השינויים בריכוזים שווה למקדמים.

6. נתון הגרף:



- רשמו ניסוח מאוזן לתגובה [השתמשו במספרים שלמים במקדמים].
- הכינו טבלת ריכוזים, רשמו ביטוי לקבוע שיווי-משקל וחשבו את ערכו.