



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה



מינהלת מל"מ  
המרכז הישראלי  
לחינוך מדעי וטכנולוגי  
ע"ש עמוס דה שליט

מדריך למורה לספר:

## אנרגיה בקצב הכימיה

מהדורה מעודכנת ומחודשת – יולי 2019

כתיבת המדריך: ירדן קדמי

בהנחיית ד"ר אורית הרשקוביץ

סיוע חלקי: אחלאם זגייר

## תוכן עניינים

עמ'	
3	תשובות לשאלות שנוספו בפרק א
8	תשובות לשאלות שנוספו בפרק ב
14	תשובות לשאלות סיכום לפרקים א, ב
22	תשובות לשאלות שנוספו בפרק ג
27	תשובות לשאלות מסכמות לפרקים א, ב, ג
33	תשובות לשאלות שנוספו לפרק ד
35	תשובות לשאלות שנוספו לפרק ה

## שאלות שנוספו לפרק א

### פסק זמן לחשיבה, עמ' 13-14

1. נשווה באמצעות טבלה:

זוג 1

מסקנה	הפריטים המשווים: כלי א' – 1 מול מים ב- 30 °C כלי ב' - 1 מול מים ב- 10 °C	
לכלי א' אנרגיה קינטית ממוצעת גבוהה יותר.	אנרגיה קינטית ממוצעת תלויה רק בטמפרטורה, ולכן בכלי שבו יש טמפרטורה גבוהה יותר האנרגיה הקינטית הממוצעת גבוהה יותר.	אנרגיה קינטית ממוצעת
לכלי א' אנרגיה קינטית כוללת גבוהה יותר.	אנרגיה קינטית כוללת תלויה בגודל המדגם (מספר המולים/ מסה/ מספר חלקיקים) ובטמפרטורה. בשני הכלים אותו מספר מולים ולכן השוני בין הכלים נובע רק מההבדל בטמפרטורה. בכלי שבו יש טמפרטורה גבוהה יותר האנרגיה הקינטית הכוללת גבוהה יותר.  או: על פי $\frac{E_{K \text{ תלויכ}}}{\text{רפסמ סיקקלחה סגדמב}} = \overline{E_k} \text{ ממוצעת}$ אם האנרגיה הקינטית הממוצעת של כלי א' גדולה יותר ובשני הכלים יש אותו מספר חלקיקים הרי שהאנרגיה הקינטית הכוללת של כלי א' גדולה יותר	אנרגיה קינטית כוללת
לשני הכלים אנרגיה פוטנציאלית זהה.	אנרגיה פוטנציאלית תלויה בסוג החומר, מצב הצבירה ובגודל המדגם (מספר המולים/מסה/ מספר חלקיקים). במקרה זה בשני הכלים מצוי אותו חומר באותו מצב צבירה, ומספר המולים של המים זהה. לכן האנרגיה הפוטנציאלית שלהם זהה.	אנרגיה פוטנציאלית
לכלי א' אנרגיה פנימית גבוהה יותר.	אנרגיה פנימית שווה לסכום האנרגיה הקינטית הכוללת והאנרגיה הפוטנציאלית.  במקרה זה האנרגיה הקינטית הכוללת של כלי א' גדולה יותר והאנרגיה הפוטנציאלית של הכלים זהה.	אנרגיה פנימית

מסקנה	<p><b>הפריטים המשווים:</b>  <b>כלי ג' – 1 מול מים ב- 0 °C</b>  <b>כלי ד' - 1 מול קרח ב- 0 °C</b></p>	
<p>לשני הכלים אנרגיה קינטית ממוצעת זהה.</p>	<p>אנרגיה קינטית ממוצעת תלויה רק בטמפרטורה. בשני הכלים יש טמפרטורה זהה</p>	<p>אנרגיה קינטית ממוצעת</p>
<p>לשני הכלים אנרגיה קינטית כוללת זהה.</p>	<p>אנרגיה קינטית כוללת תלויה בגודל המדגם (מספר המולים/ מסה/ מספר חלקיקים) ובטמפרטורה. בשני הכלים אותו מספר מולים ואותה טמפרטורה</p> <p>או: על פי</p> $\frac{E_K \text{ תללוק}}{\text{רפסמ םיקקלחה םגדמב}} = \overline{E_k} \text{ ממוצעת}$ <p>אם האנרגיה הקינטית הממוצעת של שני הכלים זהה ומספר החלקיקים זהה הרי שהאנרגיה הקינטית הכוללת של שני הכלים זהה</p>	<p>אנרגיה קינטית כוללת</p>
<p>לכלי ג' יש אנרגיה פוטנציאלית גבוהה יותר מאשר כלי ד'.</p>	<p>אנרגיה פוטנציאלית תלויה בסוג החומר, מצב הצבירה ובגודל המדגם (מספר המולים/מסה/ מספר חלקיקים).</p> <p>במקרה זה שני המדגמים הם מאותו חומר, מספר המולים של החומר זהה. אולם למים במצב נוזל אנרגיה פוטנציאלית גבוהה יותר מאשר מים במצב מוצק (משום שבמעבר ממוצק לנוזל מושקעת אנרגיה בשבירת הקשרים בין חלק ממולקולות המים).</p>	<p>אנרגיה פוטנציאלית</p>
<p>לכלי ג' אנרגיה פנימית גבוהה יותר.</p>	<p>אנרגיה פנימית שווה לסכום האנרגיה הקינטית הכוללת והאנרגיה הפוטנציאלית.</p> <p>במקרה זה האנרגיה הקינטית הכוללת של הכלים זהה, והאנרגיה הפוטנציאלית של כלי ג' גבוהה יותר. לכן הסכום שלהם גדול יותר בכלי ג'.</p>	<p>אנרגיה פנימית</p>

2. שאלה מהמהדורה הקודמת

### שאלות, עמ' 15

1. שאלה מהמהדורה הקודמת

2. שאלה מהמהדורה הקודמת

### שאלות, עמ' 28

1. שאלה מהמהדורה הקודמת

2. שאלה מהמהדורה הקודמת

3. . שאלה מהמהדורה הקודמת

4. שאלה מהמהדורה הקודמת

5. שאלה מהמהדורה הקודמת

### פסק זמן לחשיבה, עמ' 37

א. הפכו את התגובה המקורית (הכפלה ב-1) וצמצמו את המקדמים פי 2 (הכפלה בחצי), ולכן  $\Delta H^\circ$  מוכפל ב: -0.5.

$$\Delta H^\circ_x = -0.5 \cdot \Delta H^\circ = -0.5 \cdot 180.8 = -90.4 \text{ kJ}$$

ב. הפכו את התגובה המקורית (הכפלה ב-1) והכפילו פי 2, ולכן  $\Delta H^\circ$  מוכפל ב: -2.

$$\Delta H^\circ_2 = -2 \cdot \Delta H^\circ = -2 \cdot (-57.2) = 114.4 \text{ kJ}$$

### שאלות עמ' 37-38

1. א. נתון: נוסחא מה צריך למצוא?

$$Q = ?$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$\Delta H^\circ = -3.8 \text{ kJ}$$

$$m(\text{Cl}_2) = 71 \text{ gr}$$

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{71}{71} = 1 \text{ mole}$$

מאחר שהמקדם של כלור הוא  $\frac{1}{2}$ , נבחר את המולים של  $\text{CH}_4$  או  $\text{CH}_3\text{Cl}$  שהם בעלי מקדם 1. על פי הניסוח. עפ"י יחס המקדמים בין הכלור ל  $\text{CH}_4$  אם מספר המולים של הכלור 1, הרי שמס' המולים של  $\text{CH}_4$  הוא 2.

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 2 \cdot (-3.8) = -7.6 \text{ kJ}$$

ב. נתון: נוסחא מה צריך למצוא?

$$n(\text{H}_2) = ?$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$\Delta H^\circ = -3.8 \text{ kJ}$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$Q = -76 \text{ kJ}$$

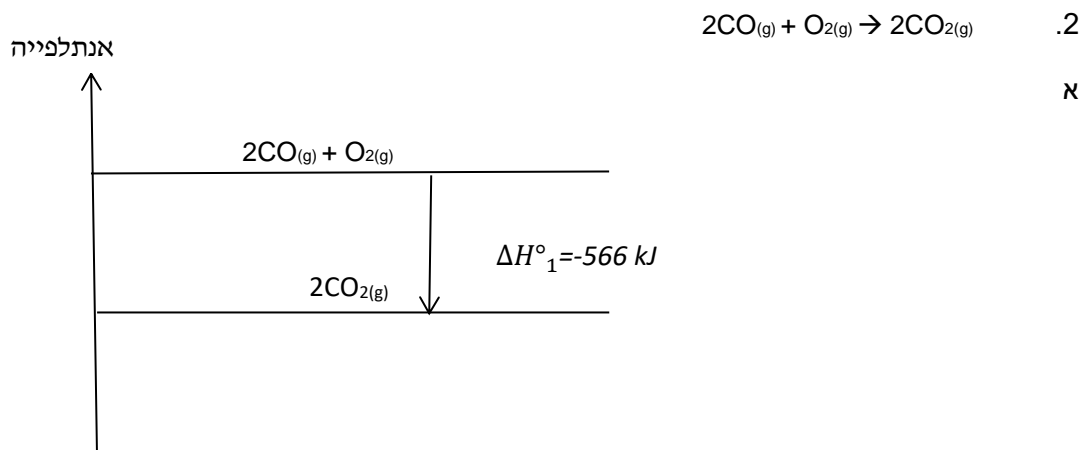
\*נפלטתה=המשמעות ש-Q שלילי

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = n \cdot (-3.8) = -76 \text{ kJ}$$

$$n = \frac{Q}{\Delta H^\circ} = \frac{-76}{-3.8} = 20 \text{ mole}$$

מאחר שהמולים שחושבו הם המולים של המרכיב בניסוח התגובה שהמקדם שלו 1 ( $\text{CH}_3\text{Cl}$  או  $\text{CH}_4$ ), אז יש לחשב את מספר מולי המימן עפ"י יחס המקדמים של התגובה. עפ"י הניסוח, יחס המקדמים בין המימן ל- $\text{CH}_4$  הוא  $\frac{1}{2}$  ל-1, ולכן מספר המולים של המימן הוא חצי ממספר המולים שחישבנו קודם (של  $\text{CH}_3\text{Cl}$  או  $\text{CH}_4$ )

$$n(\text{H}_2) = 0.5 \cdot 20 = 10 \text{ mole}$$



מה צריך למצוא?

נוסחא

ב. נתון:

$Q = ?$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$\Delta H^\circ = -566 \text{ kJ}$$

$$m(\text{CO}_2) = 220 \text{ gr}$$

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{220}{44} = 5 \text{ mole}$$

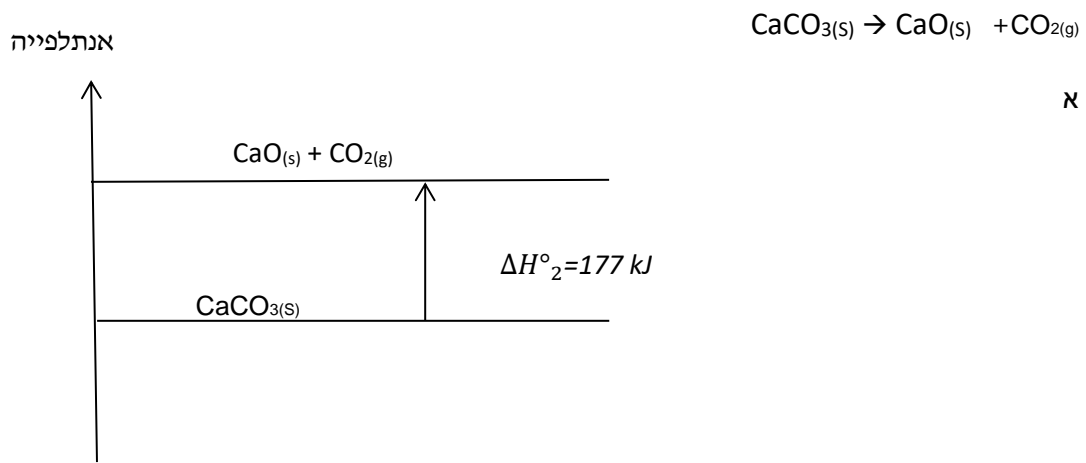
מאחר שהמקדם של פחמן דו חמצני הוא 2, נבחר את המולים של  $\text{O}_2$  (בעל מקדם 1). על פי הניסוח. עפ"י יחס המקדמים בין הפחמן הדו חמצני לחמצן הוא 2 ל-1 ולכן אם מספר המולים של פחמן הדו חמצני הוא 5, הרי שמס' המולים של ה- $\text{O}_2$  הוא 2.5

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 2.5 \cdot (-566) = -1415 \text{ kJ}$$

כלומר **נפלטת** אנרגיה בשיעור 1415 קילוג'אול.

ג. עבור התגובה  $\text{CO}_{2(g)} \rightarrow 0.5 \text{ O}_{2(g)} + \text{CO}_{(g)}$ : בהשוואה לתגובה (1), הפכו את התגובה וחילקו את המקדמים ב-2, ולכן יש להכפיל את  $\Delta H^\circ$  ב: -0.5.

$$\Delta H^\circ = -0.5 \cdot \Delta H^\circ_1 = -0.5 \cdot (-566) = 283 \text{ kJ}$$



מה צריך למצוא?

נוסחא

ב. נתון:

$$Q = ?$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$\Delta H^\circ = 177 \text{ kJ}$$

$$m(\text{CO}_2) = 220 \text{ gr}$$

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{220}{44} = 5 \text{ mole}$$

מאחר שהמקדם של פחמן דו חמצני הוא 1, מספר המולים שחושב, הוא גם מספר המולים של פחמן הדו חמצני

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 5 \cdot (177) = 885 \text{ kJ}$$

כלומר **נקלטת** אנרגיה בשיעור 885 קילוג'אול.

#### **שאלות עמ' 46 - 44**

כל השאלות מהמהדורה הקודמת

#### **פעילות סיכום לפרק - עמ' 47**

כל השאלות מהמהדורה הקודמת

## פתרון שאלות שנוספו לפרק ב'

### שאלות בנושא חוק הס. עמ' 53-56

שאלות 1-3 מהמהדורה הקודמת

4. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_3$  עפ"י חוק הס : יש להפוך את תגובה 2 ולהשאיר ללא שינוי את תגובה 1 ולכן:

$$=\Delta H^\circ_1 - \Delta H^\circ_2 = -393.5 - (-110.5) = -283 \text{ kJ} \Delta H^\circ_3$$

5. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_4$  עפ"י חוק הס : יש להשאיר ללא שינוי את תגובה 1, להפוך את תגובה 2, ולהשאיר ללא שינוי את תגובה 3 ולכן:

$$=\Delta H^\circ_1 - \Delta H^\circ_2 + \Delta H^\circ_3 = 117.7 - (-393.5) + (1112.9) = 1624.1 \text{ kJ} \Delta H^\circ_4$$

6. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_4$  עפ"י חוק הס : יש להשאיר ללא שינוי את תגובה 1, להשאיר ללא שינוי את תגובה 2, ולהפוך את תגובה 3 ולכן:

$$=\Delta H^\circ_1 + \Delta H^\circ_2 - \Delta H^\circ_3 = 14 + (-410.8) - (-285.9) = -110.9 \text{ kJ} \Delta H^\circ_4$$

### שאלות בנושא שינוי אנתלפיה במהלך שינויים במצבי צבירה- עמ' 61 - 60

1-4 כולן ממהדורה קודמת

5. א. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_1$  עפ"י חוק הס : יש להפוך את תגובה 2 ולהשאיר ללא שינוי את תגובה 3 ולכן:

$$=\Delta H^\circ_2 - \Delta H^\circ_3 = -822.2 - (-1675.7) = 853.5 \text{ kJ} \Delta H^\circ_1$$

ב. נתון: נוסחא מה צריך למצוא?

$$Q = ?$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$\Delta H^\circ = 853.5 \text{ kJ}$$

$$m(\text{Al})=108$$

$$\text{Kg}=108,000$$

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{108000}{27} = 4000 \text{ mole}$$

מאחר שהמקדם של Al הוא 2, נבחר את המולים של המרכיב שהוא בעל מקדם 1 על פי הניסוח (למשל המגיב  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ . עפ"י יחס המקדמים בין ה-Al ל  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ , מס' המולים של  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$  הוא חצי ממספר מולי ה-Al, כלומר 2000 מול.

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 2000 \cdot (853.5) = 1,707,000 \text{ kJ}$$

ג. נתון: נוסחא מה צריך למצוא?



$$m(\text{Fe})=?$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$\Delta H^\circ = 853.5 \text{ kJ}$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$Q = -1707 \text{ kJ}$$

\*נפלטה=המשמעות ש-Q שלילי

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = n \cdot (853.5) = 1707 \text{ kJ}$$

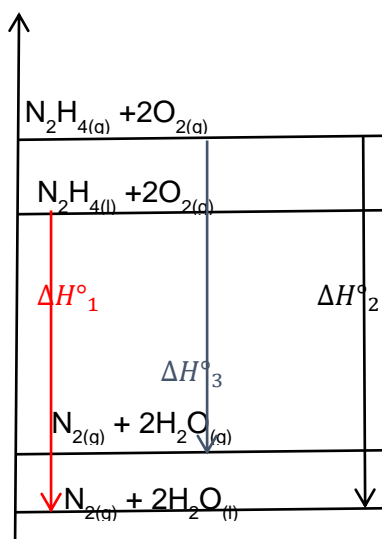
$$n = \frac{Q}{\Delta H^\circ} = \frac{1707}{853.5} = 2 \text{ mole}$$

מאחר שהמולים שחושבו הם המולים של המרכיב בניסוח התגובה שהמקדם שלו 1 ((למשל המגיב  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ ), אז יש לחשב את מספר מולי הברזל עפ"י יחס המקדמים של התגובה. עפ"י הניסוח, יחס המקדמים בין  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$  ל-Fe הוא 1 ל-2 ולכן מספר המולים של הברזל הוא פי 2 ממספר המולים

$$n(\text{Fe}) = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mole}$$

$$m(\text{Fe}) = 4 \cdot 55.85 = 223.4 \text{ gr}$$

6. על פי ההצגה הגרפית תהליך 2 הוא התהליך שבו תיפלט כמות האנרגיה הגדולה ביותר. האנתלפיה של המגיבים היא הגבוהה ביותר והאנתלפיה של התוצרים היא הנמוכה ביותר. אנתלפיה



### שאלות בנושא מציאת $\Delta H^\circ$ בעזרת אנתלפיות קשר - עמ' 67

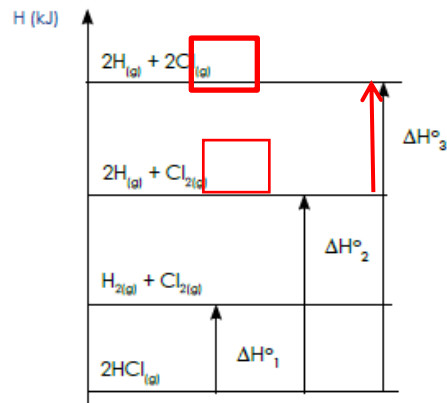
כולן ממהדורה קודמת

### שאלות נוספות בנושא מציאת $\Delta H^\circ$ בעזרת אנתלפיות קשר - עמ' 67

1. תשובה ג'.

התהליך המתאים לאנרגיית הקשר של Cl-Cl הוא:  $\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}(\text{g})$

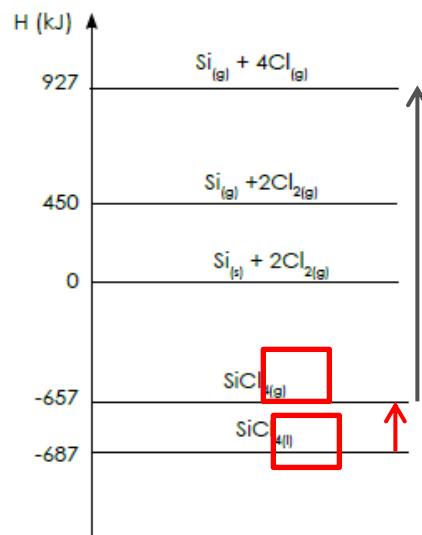
בגרף הנתון התהליך מתאים למעבר המצוין באדום בגרף:



שינוי האנתלפיה המתאים הינו  $\Delta H^\circ_3 - \Delta H^\circ_2$

2. א. תהליך האידיוי של  $\text{SiCl}_4(l)$  :  $\text{SiCl}_4(l) \rightarrow \text{SiCl}_4(g)$

ב. בגרף הנתון התהליך מתאים למעבר המצוין באדום בגרף:

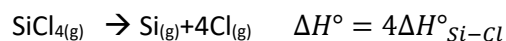


עפ"י הגרף:  $\Delta H^\circ = -657 - (-687) = 30 \text{ kJ}$

(שימו לב החישוב הוא האנתלפיה של המצב הסופי פחות האנתלפיה של המצב ההתחלתי)

ג. התגובה המתאימה לניתוק הקשר הקוולנטי  $\text{Si-Cl}$  :  $\text{Si-Cl} \rightarrow \text{Si}(g) + \text{Cl}(g)$

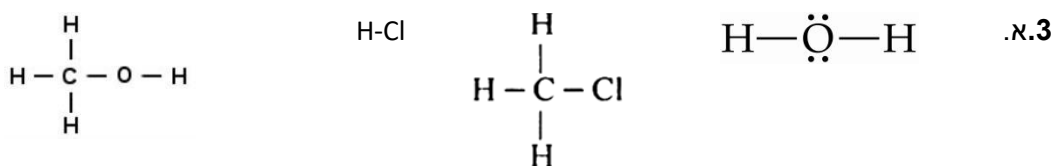
ד. בגרף הנתון כאשר מולקולה של  $\text{SiCl}_4(g)$  במצב גז מתפרקת לאטומים, מתקבלים אטום Si במצב גז ו-4 אטומי Cl במצב גז. בתהליך ניתקים 4 קשרי  $\text{Si-Cl}$ .



השינוי באנתלפיה לניתוק 4 קשרי  $\text{Si-Cl}$  מצוין בקו ירוק בגרף.  $\Delta H^\circ = 927 - (-657) = 1584 \text{ kJ}$

לפיכך אנתלפיית הקשר  $\text{Si-Cl}$  הינה  $\frac{1}{4}$  מההפרש,  $\frac{\Delta H^\circ}{4} = \frac{1584}{4} = 396 \text{ kJ}$

ההערך של אנתלפיית הקשר Si-Cl גדול פי 13 (וקצת) מאנתלפיית האידוי של החומר  $SiCl_4$ , משום שבאידוי ניתקות אינטראקציות ו.ד.ו. ואילו הקשר Si-Cl הוא קשר קוולנטי. קשר קוולנטי חזק מאינטראקציות ו.ד.ו., ולכן נדרשת השקעת אנרגיה רבה יותר בנייתו. הקשר הקוולנטי לעומת ניתוק אינטראקציות ו.ד.ו. שבין מולקולות החומר  $SiCl_4$ .



ב.

קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)		קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)	
3*C-H	3*413	3*C-H	3*413
C-O	358	C-Cl	346
H-O	437	2*O-H	2*463
H-Cl	431		

ג.

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 3 * 413 + 358 + 437 + 431 - (3 * 413 + 346 + 2 * 463) = -46kJ$$

ד. לא ניתן לחשב את אנתלפיית התגובה במקרה שהמים יהיו במצב צבירה נוזל שום שניתן להשתמש בשיטה לחישוב שינוי האנתלפיה בתגובה באמצעות אנתלפיות קשר רק אם כל החומרים במצב גז. הנתון הנוסף שחסר הוא אנתלפית הרתיחה של מים.

$$\Delta H^\circ = -126 kJ \quad .4$$

אם בודקים אלו קשרים נוצרו ואלו קשרים נשברו בשתי התגובות (1), (2) – מגלים שבשתי התגובות ניתקו ונוצרו אותם קשרים ולכן גם ערכו של  $\Delta H^\circ$  יהיה זהה.

מה צריך למצוא?	נוסחא	נתון:
$\Delta H^\circ = ?$	$Q = n \cdot \Delta H^\circ$	$m(PH_3) = 0.68 \text{ gr}$
	$n = \frac{m}{M.W}$	$Q = -7.08 \text{ kJ}$

\*נפלטה=המשמעות ש-Q שלילי

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{0.68}{34} = 0.02 \text{ mole}$$

$$\Delta H^\circ = \frac{Q}{n} = \frac{-7.08}{0.02} = -354kJ$$

ב.

$$\Delta H^\circ_{P-Br} = ?$$

קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)		קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)	
3*P-Br	3* $\Delta H^\circ_{P-Br} = 3x$	3*P-H	3*322
3*HBr	3*363	3*Br-Br	3*197

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 3 * 322 + 3 * 197 - (3X + 3 * 363) = -354 \text{ kJ}$$

$$1557 - 3X - 1089 = -354$$

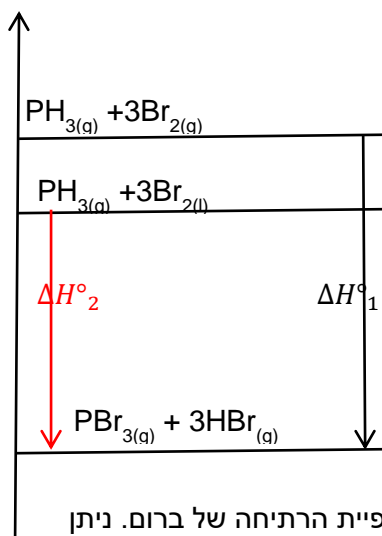
$$-3X = -822$$

$$X = 274 \text{ kJ/mol}$$

ג. כמות האנרגיה שנפלטת בניסוי השני נמוכה יותר כי שתי התגובות אקסותרמיות, ואנתלפיית המגיבים בתגובה השנייה נמוכה יותר (כי הברום מופיע במצב צבירה נוזלי).

אנתלפיה

מצרפת דיאגרמת אנרגיה :

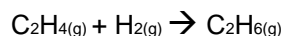


ד. לא ניתן לחשב את השינוי באנתלפיה של התגובה השנייה ללא אנתלפיית הרתיחה של ברום. ניתן להשתמש בשיטה לחישוב שינוי האנתלפיה בתגובה באמצעות אנתלפיות קשר רק אם כל החומרים במצב גז.

6. א. אנתלפיית הקשר C-C צפויה להיות נמוכה מאנתלפיית הקשר C=C, משום שסדר הקשר הכפול גדול מסדר הקשר היחיד. ככל שסדר הקשר גבוה יותר, יש יותר אלקטרוני קשר שנמשכים במקביל לשני הגרעינים ולכן יש יותר כוחות משיכה, דבר שגורם לכך שתידרש השקעת אנרגיה רבה יותר לניתוק הקשר.

ב.

$$\Delta H^\circ_{C-C} = ?$$



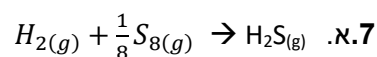
	קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)		קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)
C=C	610	C-C	$\Delta H^\circ_{C-C} = x$
4*C-H	4*413	6*C-H	6*413
H-H	436		

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 610 + 4 * 413 + 436 - (X + 6 * 413) = -126kJ$$

$$220 - X = -126$$

$$X = 346 \text{ kJ/mol}$$



ב.

$$\Delta H^\circ = ?$$

	קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)		קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)
$8 * \frac{1}{8} = 1$ S-S	265	2*H-S	2*368
H-H	436		

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 265 + 436 - (2 * 368) = -35kJ$$

מה צריך למצוא?

נוסחא

ג. נתון:

Q=?

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$m(S_8) = 2.56 \text{ gr}$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$$\Delta H^\circ = -35 \text{ kJ}$$

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{2.56}{256} = 0.01 \text{ mole}$$

J

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 0.01 * (-35) = -0.35 \text{ k}$$

ד. כמות האנרגיה שתעבור לסביבה תהיה קטנה יותר במקרה שבו הגופרית תהיה במצב מוצק, משום שהגופרית במגיבים וזו תגובה אקסותרמית. אם האנתלפיה של המגיבים תהיה נמוכה יותר השינוי באנתלפיה יהיה קטן יותר (ייתכן אפילו שתידרש השקעת אנרגיה במקום שתפלט אנרגיה).

## שאלות סיכום לפרק א ו-ב' – עמ' 76-82

1-4 כולן ממהדורה קודמת

5. א. המערכת: כל החומרים המופיעים בניסוח התגובה:  $KNO_3(s)$ ,  $K^+(aq)$ ,  $NO_3^-(aq)$ . הסביבה – המים

ב. על פי הגרף, ניתן לראות שטמפרטורת המים יורדת מ-25 ל-20 מעלות צלזיוס. לכן ניתן להסיק שהאנרגיה הקינטית הממוצעת של המים קטנה.

ג. על פי הגרף ניתן לראות שגם לאחר זמן רב הטמפרטורה של המים בניסוי נותרה קבועה. המים הם הסביבה ואם הטמפרטורה שלהם לא משתנה, הרי שהכלי מבודד ואין מעבר אנרגיה אל הכלי או ממנו.

ד. התגובה אנדותרמית. אם טמפרטורת המים, שמשמשים כסביבה, יורדת, הרי שהם מסרו אנרגיה למערכת. כאשר בתגובה יש מעבר אנרגיה מהסביבה למערכת היא אנדותרמית.

ה.  $\Delta H^\circ_1 = \Delta H^\circ_2$  שינוי האנתלפיה בתגובה תלוי רק בניסוח התגובה. אם מדובר באותה תגובה  $\Delta H^\circ$  זהה.

ו. הטמפרטורה הסופית של המים בניסוי 2 תהיה גבוהה יותר.

בשני המקרים מסת המים זהה. המים מאבדים אנרגיה למערכת בשני המקרים. בניסוי ה-1 מספר המולים של המערכת גדול יותר, ולכן להמסת כל המוצק נדרשת יותר אנרגיה (שמקורה במים). מאחר שבשני הכלים אותו מספר מולקולות מים כל מולקולת מים תאבד יותר אנרגיה בניסוי ה-1, וכל הירידה באנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולות המים בניסוי 1 תהיה גדולה יותר. לפיכך גם טמפרטורת המים הסופית בניסוי 1 תהיה נמוכה יותר (הטמפ' היא מדד לאנרגיה הקינטית הממוצעת).

6.

א. חישוב אנתלפיית הקשר P-F:

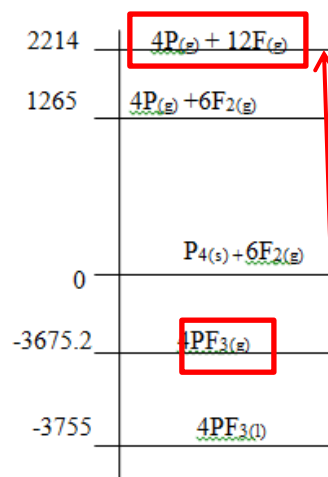
כאשר מולקולה במצב גז של  $PF_3$  מתפרקת לאטומים נשברים 3 קשרים קוולנטיים מסוג P-F.

כש-4 מולקולות של  $PF_3$  מתפרקות לאטומים נשברים 12 קשרים קוולנטיים מסוג P-F.

$$\Delta H^\circ = 2214 - (-3675.2) = 5889.2 \text{ kJ}$$

לפיכך אנתלפיית הקשר P-F הינה  $\frac{1}{12}$  מההפרש,  $\Delta H^\circ = \frac{5889.2}{12} = 490.77 \text{ kJ}$

אנתלפיה [kJ/mole]



ב. חישוב אנתלפיית האידוי של  $\text{PF}_3$

התהליך המסומן בגרף הוא של אידוי 4 מול של  $\text{PF}_3$

ולכן את ההפרש צריך לחלק ב-4:

$$= -3675.2 - (-3755) = 79.8 \text{ kJ} \Delta H^\circ$$

לפיכך אנתלפיית הקשר P-F הינה  $\frac{1}{4}$  מההפרש,  $\frac{\Delta H^\circ}{4} = \frac{79.8}{4} = 19.95 \text{ kJ}$

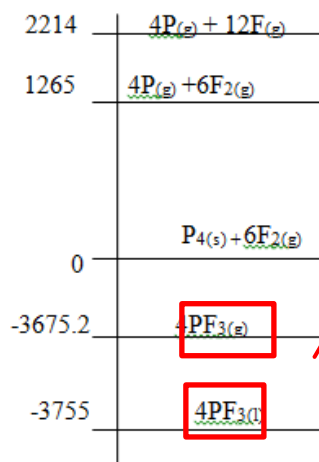
ג. חישוב אנתלפיית הקשר F-F

התהליך המסומן בגרף הוא של שבירת 6 מול קשרי F-F, ולכן את ההפרש צריך לחלק ב-6.

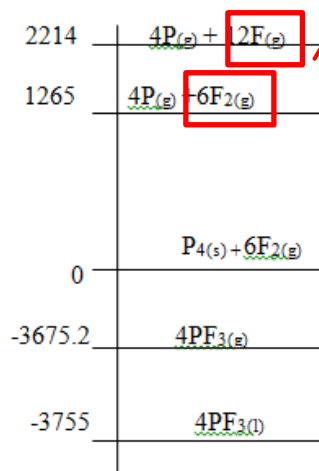
$$= 2214 - 1265 = 949 \text{ kJ} \Delta H^\circ$$

לפיכך אנתלפיית הקשר F-F הינה  $\frac{1}{6}$  מההפרש,  $\frac{\Delta H^\circ}{6} = \frac{949}{6} = 158.17 \text{ kJ}$

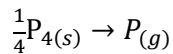
אנתלפיה [kJ/mole]



אנתלפיה [kJ/mole]



ד. חישוב השינוי באנתלפיה עבור התהליך:

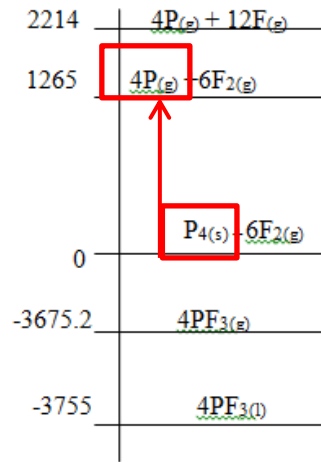


השינוי באנתלפיה עבור התהליך המסומן בגרף הוא פי 4 מאשר השינוי באנתלפיה של התהליך המבוקש, לפיכך:

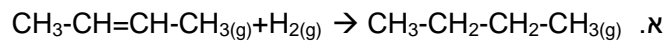
$$=1265-0=1265 \text{ kJ}\Delta H^\circ$$

$$\frac{\Delta H^\circ}{4} = \frac{1265}{4} = 316.25 \text{ kJ}$$

אנתלפיה [kJ/mole]



.7



קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)		קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)	
C=C	610	<del>3*</del> C-C	3 * 346
<del>8*</del> C-H	4*413	2 10*C-H	10*413
H-H	436		
<del>2*</del> C-C			

ניתן להבחין שיש במגיבים ובתוצרים אותם קשרים שנשברים ונוצרים ולכן ניתן "לצמצם אותם".

הקשרים שנשברים ונוצרים ב"נטו"

קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)		קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)	
C=C	610	C-C	346
H-H	436	2 *C-H	2*413

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 610 + 436 - (346 + 2 * 413) = -126 \text{ kJ}$$



ב. אם עורכים בדיקה, ניתן לראות כי הקשרים שנשברים ונוצרים "בנטו" הם אותם קשרים כמו בתהליך הקודם ולכן השינוי באנתלפיה עבור תהליך זה יהיה זהה.

$$\Delta H^\circ = -126 \text{ kJ}$$

8. א. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_4$  עפ"י חוק הס: יש לכפול פי 2 את תגובה 1, לכפול פי 3 את תגובה 2, ולהפוך את תגובה 3 ולכן:

$$= 2\Delta H^\circ_1 + 3\Delta H^\circ_2 - \Delta H^\circ_3 = 2 * (-393.5) + 3(-241.8) - (-277) = -1235.4 \text{ kJ} \Delta H^\circ_4$$

ב.1. תהליך האידיוי של אתאנול: (5)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(l)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(g)}$

2. נתון: נוסחא מה צריך למצוא?

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ$$

$$n = \frac{m}{M.W}$$

$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(l)}) = 23 \text{ gr}$   
 $Q = +21.16 \text{ kJ}$

Q חיובי כי נדרשת אנרגיה

$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{23}{46} = 0.5 \text{ mole}$$

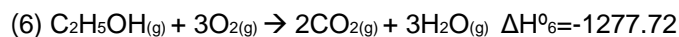
$$Q = 0.5 \cdot \Delta H^\circ = 21.16 \text{ kJ}$$

$$\Delta H^\circ = 42.32 \text{ kJ}$$

ג. צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_6$  עפ"י חוק הס: יש להפוך את תגובה 5 (=כלומר לכפול ב: -1), ולהשתמש בתגובה 4 ללא שינוי. ולכן:

$$= -3\Delta H^\circ_5 + \Delta H^\circ_4 = -3(42.32) + (-1235.4) = -1277.72 \text{ kJ} \Delta H^\circ_6$$

ד.1.



קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)		קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)	
4 * C=O	4 * 803	C-C	346
6 * H-O	6 * 463	5 * C-H	5X ( $\Delta H^\circ_{C-C} = x$ )
		C-O	358
		O-H	437
		3 * O=O	3 * 497

2.ד

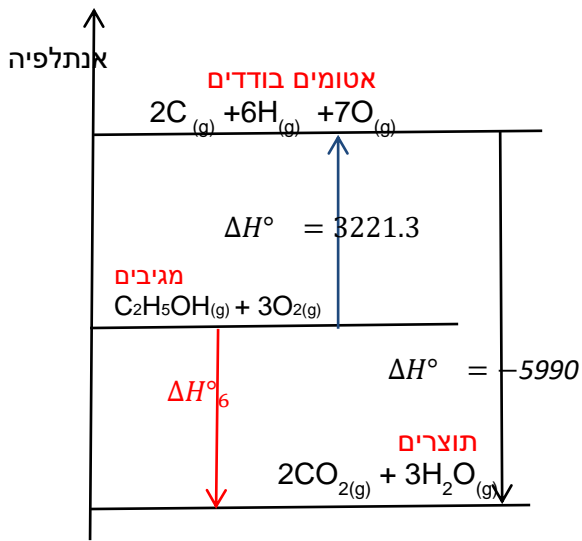
$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

$$\Delta H^\circ = 346 + 5X + 358 + 437 - (4 * 803 + 6 * 463) = -1227.72$$

$$-3358 + 5X = -1227.72$$

$$5X = 2080.28$$

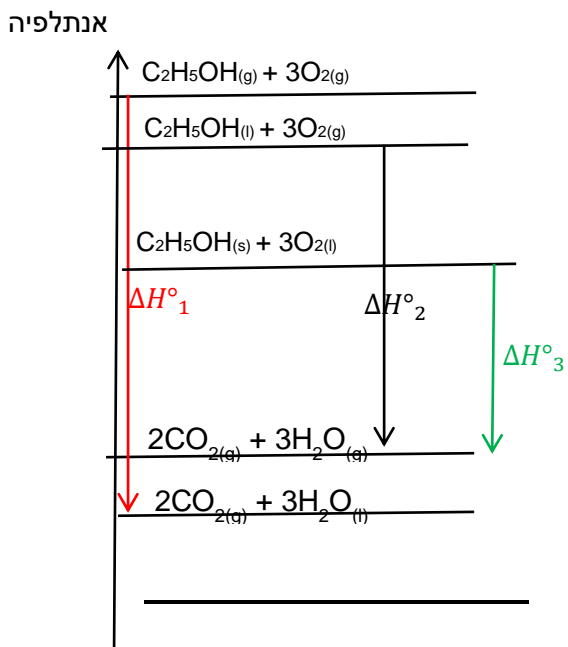
$$X = 416.06 \text{ kJ/mole}$$



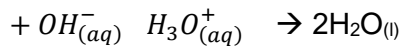
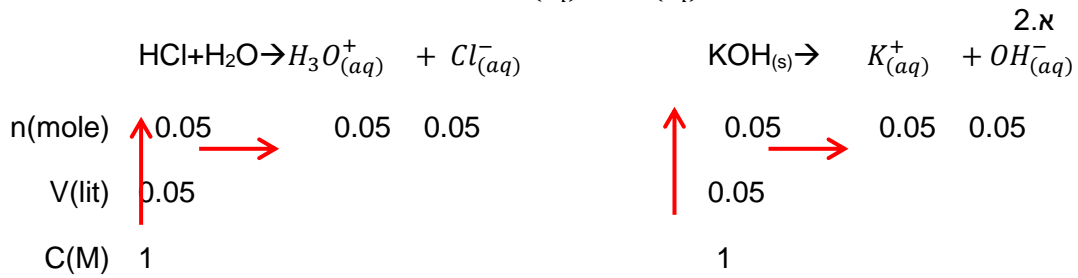
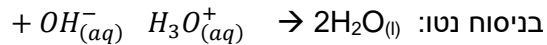
3.ד

ה. נציג גרף אנרגיה לכל התגובות:

בהתרחשות תגובה 1 נפלטת כמות האנרגיה הגבוהה ביותר



9. א. התגובה המתרחשת בערבוב התמיסות היא תגובת סתירה.

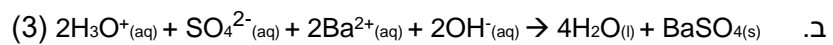


n(mole) מוכנס	0.05	0.05
n(mole) מגיב	0.05	0.05

א. 3. נתון: נוסחא  $n=0.05$  mole  
 מה צריך למצוא?  $Q = n \cdot \Delta H^\circ$   
 $\Delta H^\circ = ?$   $n=0.05$   
 $Q = -2856 \text{ J} = -2.856 \text{ kJ}$

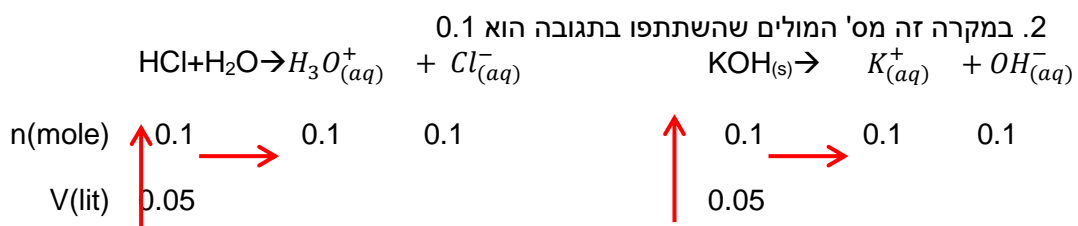
\*נפלטה = המשמעות ש-Q שלילי

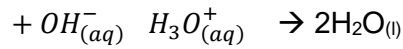
$$\Delta H^\circ = \frac{Q}{n} = \frac{-2.856}{0.05} = -57.12 \text{ kJ}$$



ניתן לבנות את התגובה (3) מתגובה 2 (ללא שינוי) ותגובה 1 מוכפלת פי 2.  
 $=\Delta H^\circ_2 + 2\Delta H^\circ_1 = -16.8 + 2 * (-57.12) = -131.04 \text{ kJ} \Delta H^\circ_3$

ג. 1. המערכת- כל החומרים בניסוח התגובה המאוזנת (תגובה 3).  
 הסיבה - המים (הממס).





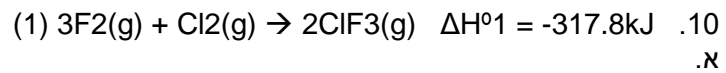
n(mole) מוכנס	0.1	0.1
n(mole) מגיב	0.1	0.1

$$n=0.1 \text{ mole}$$

$$Q = n \cdot \Delta H^\circ = 0.1 * (-57.12) = -5.712 \text{ kJ}$$

בהשוואה לניסוי 1- נפח המים הכולל לא השתנה, אך מס' המולים שהגיבו גדל פי 2, ולכן עברה אנרגיה למים בכמות גדולה פי 2 (בניסוי 1 עברו למים 2.856 קילוגאול, בניסוי 2 –עברו למים 5.712).

לכן טמפרטורת המים בניסוי זה תעלה יותר מאשר בניסוי ה-1, כלומר השינוי באנרגיה הקינטית הממוצעת בניסוי 2 יהיה גדול יותר מניסוי 1.



קשרים נוצרים (בין האטומים בתוצרים)      קשרים ניתקים (בין האטומים במגיבים)

3*F-F	3*158	6*Cl-F	6X
Cl-Cl	242		

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{\text{שבירת קשרים}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{יצירת קשרים}}$$

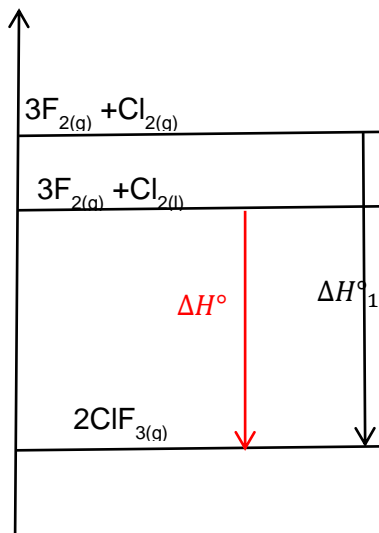
$$\Delta H^\circ = 3 * 158 + 242 - (6X) = -317.8$$

$$6X=1033.8$$

$$X=172.3 \text{ kJ/mol}$$

ב. כאשר הכלור מופיע במצב צבירה נוזל, האנרגיה המשתחררת בתגובה תהיה נמוכה יותר, משום שתגובה 1 היא תגובה אקסותרמית וכלל שהמגיבים יהיו בעלי אנתלפיה נמוכה יותר, השינוי באנתלפיה בתגובה יהיה קטן יותר.

אנתלפיה



מצרפת דיאגרמת אנרגיה :

ג. אנתלפיית האידוי של  $\text{Cl}_2(\text{l})$  נמוכה מאנתלפיית הקשר  $\text{Cl}-\text{Cl}$  באידוי 1 מול כלור נוזלי נשברות אינטראקציות ו.ד.ו. בשבירת הקשר  $\text{Cl}-\text{Cl}$  נשבר קשר קוולנטי. אינטראקציות ו.ד.ו. חלשות מהקשר הקוולנטי, ולכן זה מתבטא בכך שנדרשת פחות אנרגיה בשבירתם.

ד. ניתן למצוא את  $\Delta H^\circ_4$  עפ"י חוק הס: יש להפוך את תגובה 2, להשאיר ללא שינוי את תגובה 3, ולכן:

$$= -\Delta H^\circ_2 + \Delta H^\circ_3 = -268.2 + (-1) * 78.3 = -346.5 \text{ kJ} \Delta H^\circ_4$$

## שאלות שנוספו לפרק ג

### שאלות על קצב תגובות עמ' 88

1-3 שאלות שהופיעו במהדורה קודמת

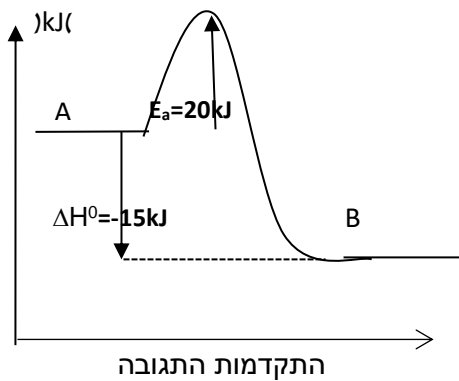
4. תשובה א'.

הם התוצרים. מאחר שהאנתלפיה של C + D הם המגיבים ו A+B שלפי הגרף היא תגובה אקסותרמית, ו- $A+B \rightarrow C+D$  המגיבים גבוהה מהתוצרים, התגובה הנתונה:  $\Delta H^0 = -330 \text{ kJ}$ .

אנרגיית השפעול מוגדרת כאנרגיה שיש להשקיע מהמגיבים עד לשיא הגרף. הערך שלה חיובי כי החץ פונה למעלה. הגודל של אנרגיית השפעול הוא:  $250 = 580 - 330$  קילוגאול.

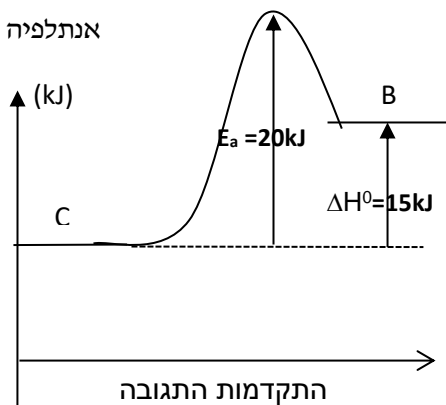
5. א.

אנתלפיה



$$E_a = 20 + 15 = 35 \text{ kJ} \quad \Delta H^0 = +15 \text{ kJ}$$

אנתלפיה

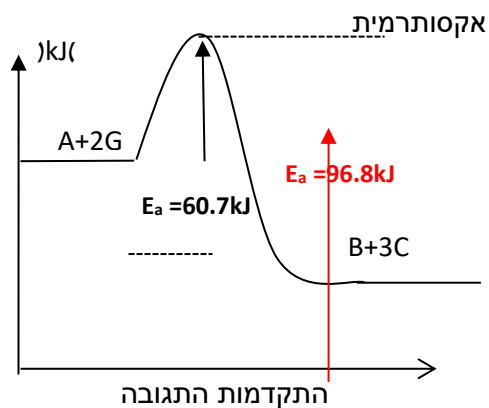


ג.

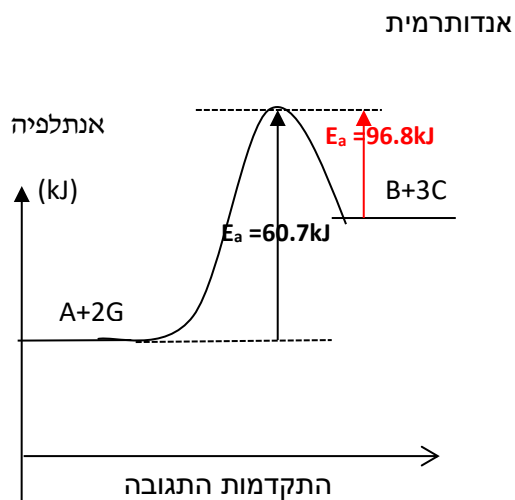
$$E_a = 20 - 15 = 5 \text{ kJ} \quad \Delta H^0 = -15 \text{ kJ}$$

התהליך של השפעול מאנרגיית יותר גבוהה תהיה התהליך האנדותרמי של השפעול 6. אנרגיית האקסותרמי, ולכן ניתן להסיק כי התגובה הפוכה היא אנדותרמית, ומכאן שהתגובה הישירה אקסותרמית.

נשרטט את אנרגיית השפעול של התגובה הישירה (בשחור) ושל התגובה הפוכה (באדום) במידה שהתגובה הישירה אנתלפיה



נשרטט את אנרגיית השפעול של התגובה הישירה (בשחור) ושל התגובה הפוכה (באדום) במידה שהתגובה הישירה



במידה והתגובה אקסותרמית הציור הגיוני כי החץ הארוך יותר, בעל אנרגיית השפעול הגדולה יותר.

במידה והתגובה אנתלפיה הציור יוצא לא הגיוני כי החץ הארוך יותר, בעל אנרגיית השפעול הקטנה יותר.

$$\Delta H^\circ = 60.7 \text{ kJ} - 96.8 \text{ kJ} = -36.1 \text{ kJ}$$

### תרגיל עמ' 91 תגובה 1+2+3:

א. מדידת נפח זג נפלט: ניתן לבדוק דרך מזרק או משורה הפוכה. חסרון: לא מדויק. יתרון: ניתן לשימוש וזמין.

ב. PH: בדיקת

: ניתן לבדוק ריכוז יוני הידרוניום. חסרון: לא מדויקת. יתרון: זמינה ומהירה. PH.1.נייר

: ניתן לבדוק ריכוז יוני הידרוניום. חסרון: לא זמין. יתרון: מדויק. PH.2.חיישן

### תגובה 1:

א. מוליכות חשמלית דרך חיישן: ניתן לבדוק רק עם תגובה מספר 1 לעומת 2 או 3 כי בתגובה 1 רואים שיש יונים רק בחומרים המגיבים והתוצרים אין יונים, לכן ניתן לבדוק את מוליכות התמיסה כך שהיא אמורה לרדת עם התקדמות התגובה. חסרון: עניין הזמינות. יתרון: מדויק.

. חסרון: לא  $S_8$  ב. מסת מוצק נוצר / מגיב ליחידת זמן: בדיקת עכירות התמיסה דרך קבלת מדויקת. יתרון: דרך העין ניתן לבדוק.

## תגובה 2:

עוצמת צבע: דרך ספקטרופוטומר (בליעה): חסרון: זמינות המכשיר. יתרון: מדויק.

### שאלות בעמ' 93

1. א. קצב תגובה 1 גדול מקצב תגובה 2.  
תגובה מספר 1 מתרחשת למרות שמקררים את תערובת הגזים. הקירור מונע את התרחשות תגובה 2. לפיכך ניתן להסיק שהקצב תגובה 2 איטי מאד עד שלא מבחינים שהיא מתרחשת. לעומת זאת, ידוע שתגובה 1 כן מתרחשת בקירור מהיר של תערובת הגזים כלומר יש לה קצב שלה גדול יותר.

ב. אנרגיית השפעול של תגובה 1 נמוכה יותר מאנרגיית השפעול של תגובה 2.  
ניתן להסיק שאנרגיית השפעול של תגובה 2 גדולה יותר, כי אם מקררים את הכלי, יש פחות מולקולות המגיבים שיש להן די אנרגיה לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה, כך שהקצב שלה איטי מאד ולא מבחינים שהיא מתרחשת.  
לעומת זאת, ידוע שתגובה 1 כן מתרחשת בקירור מהיר של תערובת הגזים כלומר במקרה שלה יש מספיק מולקולות מגיבים שהן בעלות די אנרגיה לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה (כנראה שהוא נמוך ביחס לתגובה 2).

2. א. לשלב 1 אנרגיית השפעול גבוהה יותר כיוון שהתהליך איטי יותר. כשהתהליך איטי יותר המשמעות היא שיש רק מעט מולקולות מגיב שיכולות לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה באותה יחידת זמן.

(הרחבה לתשובה, לאחר למידת מודל ההתנגשויות: ולכן יש פחות סיכויים להיווצרות תצמידים משפועלים שיתפרקו לתוצרים כלומר יובילו להתנגשות פורייה, וכך כמות התוצרים המתקבלים ביחידת זמן קטנה יחסית ולוקח זמן עד שמבחינים בהתרחשותה).  
, אך לא באותה המידה. העלייה בקצב II, ו.ב. העלייה בטמפרטורה מגדילה את קצב התגובה לשלב (לאחר החימום) II (לאחר החימום) גדולה מן העלייה בקצב התגובה של שלב I (התגובה של שלב II גבוהה יותר מאנרגיית השפעול של שלב I) משום שאנרגיית השפעול של שלב I משינוי יותר משמעותי באופן מושפע התגובה קצב, יותר גבוה אנרגיית השפעול שערך כאמור, ככל עליית עם יותר רבה במידה יעלה יותר גבוהה שפעול אנרגיית תגובה בעלת של הקצב. בטמפרטורה יותר נמוכה שפעול בעלת אנרגיית תגובה לעומת טמפרטורה

### פתרונות לשאלות רב ברירה בעמ' 104-106

- א.1
- ב.2
- ג.3
- א.4
- ג.5
- ב.6
- ג, ד.7
- ג, ד.8



### פתרונות לשאלות פתוחות בעמ' 106-107

1. א. לא נכון, עם הוספת זרז התגובה מתרחשת במסלול שונה שאנרגיית השפעול שלו נמוכה יותר.  
ב. אינו מדויק. עם הוספת זרז אנרגיית התצמידים המשופעלים נמוכה יותר ולכן הסיכוי להיווצרות תצמידים משופעלים ליחידת זמן גדולה יותר.  
ג. אינו נכון. אנרגיית השפעול היא גודל קבוע ובלתי תלוי בטמפרטורה. חימום כלי התגובה הדרושה המינימלית מהאנרגיה קינטית גדולה אנרגיה תהייה מולקולות גורם לכך שליותר נמוכה יותר. גורם שני בטמפרטורה שלהן הקינטית האנרגיה לעומת פורייה להתנגשות פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, להתפרק שעשויים משופעלים תצמידים ליצירת סיכויים יותר יש יותר גבוהה בטמפרטורה יותר גדול יהיה התגובה קצב כלומר, זמן ליחידת תוצרים יותר יתקבלו הכל לתוצרים ובסך ד. אינו נכון. הגדלת שטח הפנים גורמת להגדלת קצב התגובה כיוון ששטח המגע גדול ולכן מספר ההתנגשויות הפוריות גדול יותר. הגדלת שטח הפנים אין פירושה הגדלת כמות החומר.

2. לתגובה 2 אנרגיית שפעול גדולה יותר.

כדי שתגובה תתרחש למולקולות המגיבים נדרשת אנרגיה על מנת לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה וליצור תצמידים משופעלים המתפרקים לתוצרים. אם הקירור של כלי התגובה מונע את התרחשות תגובה 2, כנראה שאין מספיק מולקולות המגיבים בעלות די אנרגיה לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה, כך שהקצב שלה איטי מאד ולא מבחינים שהיא מתרחשת. או במילים אחרות:

קירור כלי התגובה מקטין את האנרגיה של מולקולות המגיבים. רק תגובה בעלת אנרגיית שפעול נמוכה תוכל להתרחש בתנאים אלו כי אם אנרגיית השפעול תהיה גבוהה מידי לא יהיו מולקולות מגיבים שיוכלו לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה וליצור התנגשויות פוריות שתיצורנה תוצרים. אם אנרגיית השפעול של התגובה תהיה נמוכה, יהיו מספיק מולקולות המגיבים שיוכלו לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה וליצור התנגשויות פוריות שיובילו לקבלת תוצרים.

3. א. לשלב 2 אנרגיית השפעול גבוהה יותר כיוון שהתהליך איטי יותר. כשהתהליך איטי יותר המשמעות היא שיש רק מעט מולקולות מגיב שיכולות לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה באותה יחידת זמן. ולכן יש פחות סיכויים להיווצרות תצמידים משופעלים שיתפרקו לתוצרים כלומר יובילו להתנגשות פורייה, וכך כמות התוצרים המתקבלים ביחידת זמן קטנה יחסית ולוקח זמן עד שמבחינים בהתרחשותה.

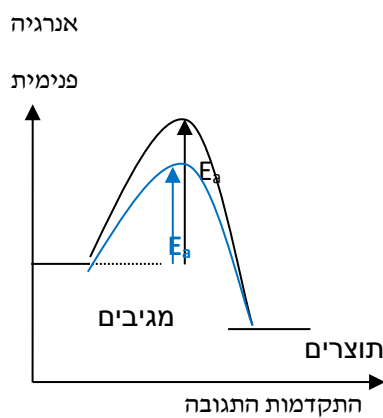
. אנרגיית השפעול היא האנרגיה ההתחלתית להתרחשות X אנרגיית השפעול מסומנת על ידי i.ב. התגובה. זו האנרגיה הנדרשת למגיבים על מנת ליצור תצמיד משופעל שיתפרק לתוצרים. לכן זו האנרגיה שיש להשקיע מהמגיבים עד לשיא הגרף (התצמיד המשופעל).

התגובה בשלב 2 היא אקסותרמית רואים בגרף שהאנתלפיה של התוצר נמוכה משל המגיבים. ii של התגובה.  $\Delta H^0$  לא, הוספת זרז לא משפיעה על  $\Delta G$ .

הינו השינוי באנתלפיה במהלך התרחשותה של התגובה. הוספת הזרז מגדילה את קצב  $\Delta H^\circ$  התגובה אך לא משפיעה על השינוי באנתלפיה משום שהזרז אינו מגיב בתגובה. אם אין שינוי במגיבים ובתוצרים אז גם השינוי באנתלפיה לא ישתנה.

ii נכון, הוספת זרז תגרום לכך שניתן יהיה לבצע את התגובה בטמפרטורות נמוכות יותר. טמפרטורות נמוכות עשויות לגרום לכך שלפחות מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה (לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה גבוהה יותר). גם תדירות ההתנגשויות בין המגיבים ליחידת זמן קטנה. לכן, בטמפרטורה נמוכה יותר יש פחות סיכויים ליצירת תצמידים משופעלים שעשויים להתפרק לתוצרים ובסך הכל יתקבלו פחות תוצרים ליחידת זמן, כלומר קצב התגובה יהיה קטן יותר. הוספת זרז במקרים אלו עשויה להקטין את המחסום האנרגטי לתגובה כך שיהיו יותר מולקולות מגיבים שיהיו עם אנרגיה גבוהה ממחסום אנרגיית השפעול ולכן יתקבלו יותר תצמידים משופעלים שיתפרקו לתוצרים ביחידת זמן וקצב התגובה יגדל, באופן ש"יפצה" על הירידה בקצב בעקבות הטמפרטורה הנמוכה ואכן בגוף האדם מתרחשות תגובות כימיות שונות בטמפרטורת הגוף (37 מעלות, נמוכה יחסית), על ידי אנזימים (זרזים ביולוגיים). אילו התגובות היו מתרחשות ללא האנזימים היה נדרש להן טמפרטורות גבוהות, ולחץ גבוה.

4 א. גרף ג. התגובה היא אקסותרמית: האנרגיה הפנימית של התוצרים נמוכה מהאנרגיה הפנימית של המגיבים. גרף א מתאר תגובה אנדותרמית: האנרגיה הפנימית של התוצרים גבוהה מהאנרגיה הפנימית של המגיבים. גרף ב מתאר תגובה אתרמית: האנרגיה הפנימית של התוצרים שווה לאנרגיה הפנימית של המגיבים.  
 ב. נתון שתגובה I איטית ביותר. המסקנה: אנרגיית השפעול של התגובה גבוהה. לכן מבצעים את התגובה בנוכחות זרז מתאים. הזרז גורם לתגובה להתרחשות במסלול שונה, כך שנדרשת אנרגיית שפעול קטנה יותר, וקצב התגובה יגדל.



- ג.
- גרף המתאר התרחשות התגובה ללא זרז.
  - החץ השחור מייצג את אנרגיית השפעול ללא זרז.
  - גרף המתאר התרחשות התגובה עם זרז
  - החץ הכחול מייצג את אנרגיית השפעול עם זרז.

פתרון שאלות מסכמות לפרקים א, ב, ג עמ' 108

שאלה 1



קשרים שנוצרו (בין האטומים בתוצרים)	קשרים שנשברו (בין האטומים במגיבים)
N 163-N	$\equiv$ N N 945
4*N-H 4X	2*H-H 2*436
X163+4	945+872

$$\Delta H^\circ = ([945 * 1] + [2 * 436]) - ([4 * x] + [1 * 163]) = 98 \text{ kJ}$$

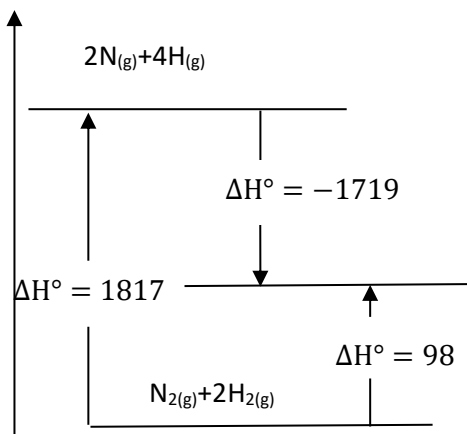
$$x = 389 \text{ kJ/mole}$$

H-N אנרגיית הקשר הממוצעת היא: 389 kJ/mole

2.א

אנתלפיה

(kJ)



(a.ב) ככל שריכוז גז המימן גדול יותר יהיו יותר מולקולות של מימן ליחידת נפח, ולכן תהיינה יותר התנגשויות בין מולקולות המגיבים באותה יחידת זמן, ייווצרו יותר תצמידים משופעלים שעשויים להתפרק לתוצרים, ומכאן שגם יהיו יותר התנגשויות פוריות. לכן ריכוזי התוצרים שיתקבלו ליחידת זמן יהיו גדולים יותר וקצב התגובה יגדל.

(b) העלאת הטמפרטורה בכלי התגובה: גורמת לכך שליותר מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה נמוכה יותר. גורם שני פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, בטמפרטורה גבוהה יותר יש יותר סיכויים ליצירת תצמידים משופעלים שעשויים להתפרק לתוצרים ובסך הכל יתקבלו יותר תוצרים ליחידת זמן, כלומר קצב התגובה יהיה גדול יותר

ג. הופכים את התגובה מספר 1, הופכים תגובה מספר 3 ומכפילים ב-2, תגובה מספר 4 מכפילים ב-4 ומחברים.

$$\Delta H^\circ_2 = -\Delta H^\circ_1 - 2\Delta H^\circ_3 + 4\Delta H^\circ_4$$

$$\Delta H^\circ_2 = -98 + (2 * 187.6) + (4 * -241.5) = -688.8 \text{ kJ}$$

ד. נחשב את מספר המולים של המים, עפ"י הנתון:

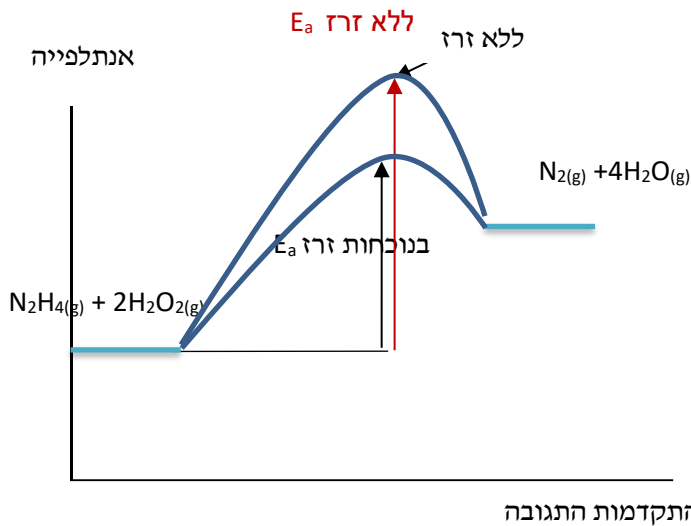
$$n = \frac{m}{M.w} = \frac{720000[\text{gr}]}{18[\text{gr/mol}]} = 40000 \text{ mol}$$

מאחר שמס' המולים מתייחס לחומר שהמקדם שלו אינו 1 אלא 4, הרי שיש לחלק את מספר המולים במקדם שלו. כלומר מס' המולים שנציב בנוסחא יהיה 10,000

$$Q = n * \Delta H^\circ = 10000 * (-688.8) = -6888000 \text{ kJ}$$

ה. תגובה 2 היא תגובה אקסותרמית כך שאנרגיית השפעול שלה יותר נמוכה מאשר אנרגיית השפעול של התגובה ההפוכה שהיא אנדותרמית.

ו. 1. גרף של השתנות האנתלפיה בתגובה 2 במהלך התרחשות התגובה עם וללא זרז



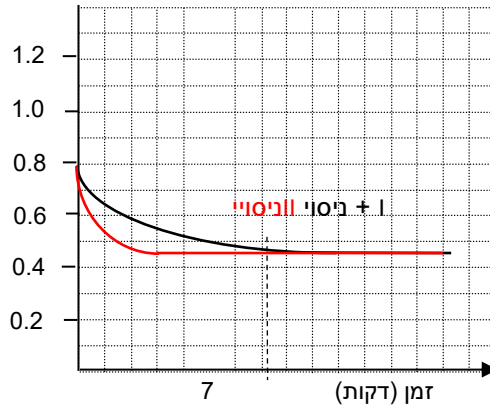
2. הוספת זרז גורמת להתרחשות התגובה במסלול שונה, שבו נוצר תצמיד משופעל אחר (מאשר ללא זרז), שליצירתו נדרשת אנרגיה נמוכה יותר. לכן לחלק גדול יותר של מולקולות המגיבים תהיה אנרגיה גבוהה מהמחסום האנרגטי לתגובה, ולכן יהיו יותר תצמידים משופעלים שיתפרקו לתוצרים באותה יחידת זמן וסך הכל קצב התגובה יגדל.

3. זרז הוא חומר המגדיל את קצב התגובה, אך לא אינו מגיב בתגובה. מסת הזרז בתחילת התגובה ובסופה זהה. הוספת הזרז לא משנה את הריכוז הסופי של המגיבים או התוצרים בכלי התגובה אלא רק את הזמן עד שיתקבל ההרכב הסופי של המערכת. לפיכך הריכוז הסופי של המגיב בכלי יהיה זהה לניסוי 1 אך הוא יתקבל בזמן קצר יותר

השתנות ריכוז  $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$

עם הזמן במהלך התגובה:

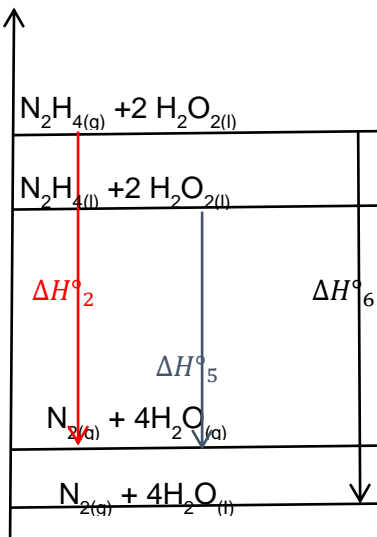
ריכוז  
 $N_2H_4(g)$   
 )M(



שינוי האנטלפיה הגדול ביותר הוא בתגובה 6. האנטלפיה של המגיבים היא הגבוהה ביותר (כי ז. שני המגיבים במצב גז), והאנטלפיה של התוצרים היא הנמוכה ביותר (כי אחד התוצרים, מים, במצב נוזל) וכידוע עבור אותו חומר האנטלפיה של הגז גבוהה משל הנוזל, והאנטלפיה של הנוזל גבוהה משל המוצק.

$\Delta H^\circ_6 > \Delta H^\circ_2 > \Delta H^\circ_5$  ניתן לראות גם עפ"י הצגה גרפית כי:

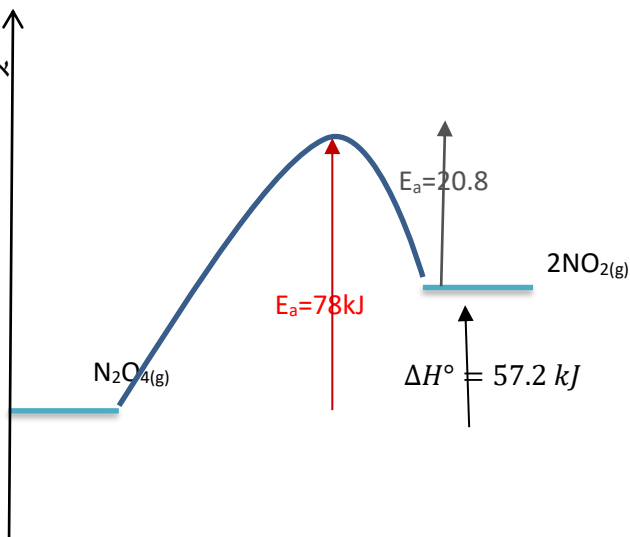
אנטלפיה



**שאלה 2**

1.א

אנטלפיה



2. אנרגיית השפעול של התגובה ההפוכה היא  $20.8 \text{ kJ} = 78 - 57.2$ . מוצגת בגרף בקו בצבע ירוק.  
 (אנרגיית השפעול של התהליך הפוך מוגדרת כאנרגיה שיש להשקיע מהמגיבים של התגובה ההפוכה, שהם התוצרים, עד לאנרגיה של התצמיד המשופעל המצוי בנקודת השיא בגרף).

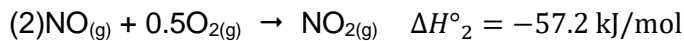
ב. נתון:  $m(\text{NO})=90 \text{ gr}$ ,  $Q=-171.6 \text{ Jk}$  (נתון שנפלטת אנרגיה ולכן  $Q$  בסימן שלילי)

$$Q = n \times \Delta H^\circ$$

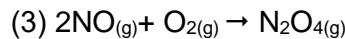
$$n = \frac{m}{M.W} = \frac{90}{30} = 3$$

$$\Delta H^\circ_2 = \frac{Q}{n} = \frac{-171.6}{3} = -57.2 \text{ kJ/mol}$$

ג. נשתמש בחוק הס:



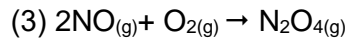
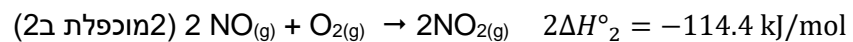
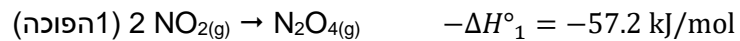
צריך למצוא את  $\Delta H^\circ_3$  עפ"י חוק הס:



צריך להפוך את תגובה 1 ולהכפיל את תגובה 2 ולכן:

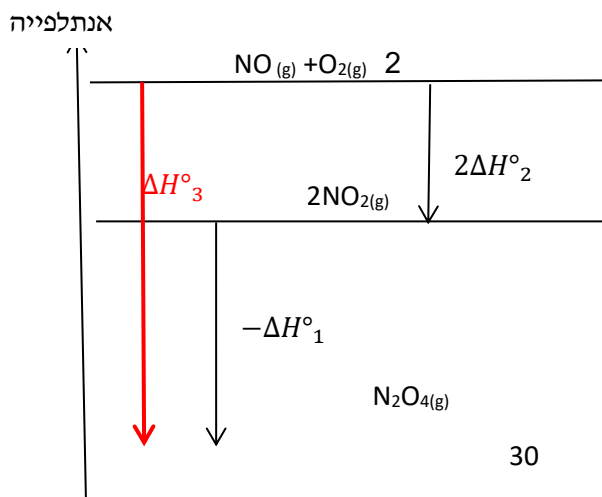
$$= -\Delta H^\circ_1 + 2\Delta H^\circ_2 = -57.2 + 2 * (-57.2) = -171.6 \text{ kJ} \Delta H^\circ_3$$

ד. בהצגה גרפית, נהוג להציג את התגובות 1,2 לאחר המניפולציות המתמטיות (על פי חוק הס) שמבצעים על התגובות המקוריות:



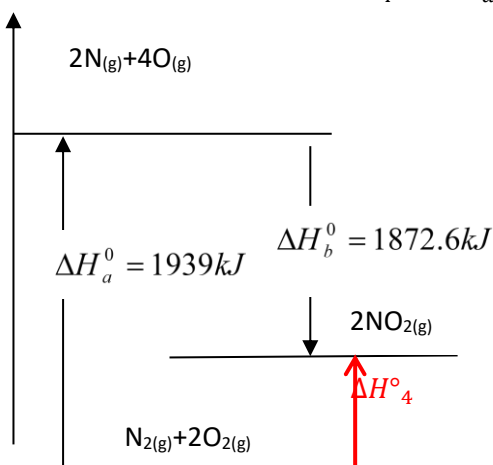
$$\Delta H^\circ_3 = -\Delta H^\circ_1 + 2\Delta H^\circ_2$$

נציג תגובות אלו בגרף:



## אנרגיה

$$\Delta H_4^\circ = \Delta H_a^\circ - \Delta H_b^\circ = 1939 - 1872.6 = 66.4 \text{ kJ}$$



ו. בניסוי 2 קצב התגובה גדול יותר מאשר בניסוי 1 משום שהטמפרטורה של הניסוי גבוהה יותר.

בניסוי 2 התגובה מתבצעת ב-30 מעלות, דבר שגורמת לכך שליותר מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה של 20 מעלות (ניסוי 1). גורם שני פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, בטמפרטורה גבוהה יותר יש יותר סיכויים ליצירת תצמידים משופעלים שעשויים להתפרק לתוצרים ובסך הכל יתקבלו יותר תוצרים ליחידת זמן, כלומר קצב התגובה יהיה גדול יותר

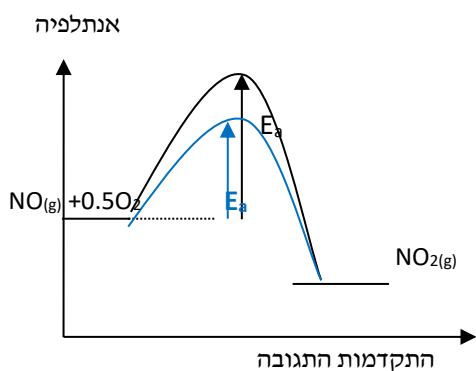
ז. בניסוי 3 קצב התגובה צפוי להיות קטן יותר מאשר בניסוי 1 משום שריכוז המגיב NO נמוך יותר.

כאשר ריכוז אחד המגיבים יורד, המשמעות היא שיהיו פחות חלקיקים (מולקולות NO) באותו נפח, ולכן יהיו פחות התנגשויות בין מולקולות המגיבים בכלי התגובה. כתוצאה מכך ייווצרו פחות תצמידים משופעלים שיתפרקו לתוצרים, ומכאן שגם יהיו פחות התנגשויות פוריות. לכן יתקבלו פחות תוצרים ליחידת זמן וקצב התגובה ירד

ח. 1. ניתן לראות מתוך ערכי קצב התגובה ההתחלתי הנתונים בטבלה שקצב התגובה ההתחלתי של ניסוי 4 גדול משמעותית מקצב התגובה ההתחלתי של ניסוי 1.

כנראה שבניסוי 4 הוסיפו זרז לכלי הניסוי. הזרז מאפשר לתגובה להתרחש במסלול חילופי, בו אנרגיית השפעול נמוכה יותר. לפיכך יהיו יותר מולקולות מגיב שתוכלנה לעבור את המחסום האנרגטי לתגובה וליצור תצמידים משופעלים שיתפרקו לתוצרים. כלומר יתקבלו יותר תוצרים ליחידת זמן וקצב התגובה יהיה גדול יותר.

2.



גרף המתאר התרחשות התגובה ללא

זרז - ניסוי 1

החץ השחור מייצג את אנרגיית השפעול

ללא זרז - ניסוי 1

גרף המתאר התרחשות התגובה עם זרז

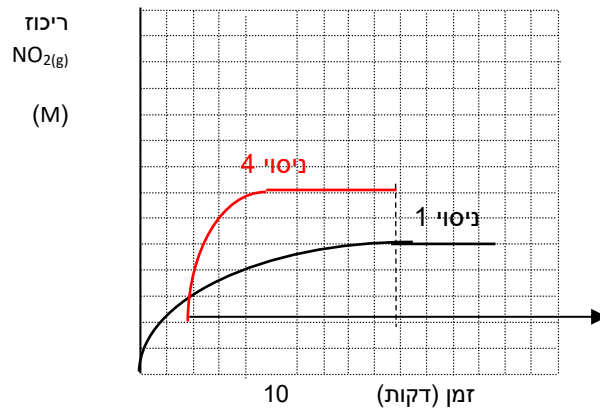
ניסוי 4 -

החץ הכחול מייצג את אנרגיית השפעול

עם זרז - ניסוי 4

3. בהוספת זרז המערכת תגיע לריכוז תוצר זהה (למערכת ללא זרז) אך בזמן קצר יותר.

עם הזמן במהלך התגובה:  $\text{NO}_2$  השתנות ריכוז





## פתרון שאלות שנוספו לפרק ד'

### שאלות בעמ' 124

1-4 שאלות ממהדורה קודמת.

### שאלות בעמ' 130-131

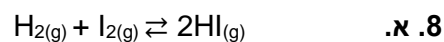
שאלות ממהדורה קודמת

### שאלות בעמ' 133

שאלות ממהדורה קודמת

### שאלות בעמ' 143-147

1-7 שאלות ממהדורה קודמת



מרכיב במע'	$H_{2(g)}$	$I_{2(g)}$	$HI_{(g)}$
היחסים בניסוח	1	1	2
מס' המולים ההתחלתי- עפ"י נתונים	0	0	2.4
השינוי במספר המולים	+0.4	+0.4	-0.8
מספר המולים בשו"מ	0.4	0.4	1.6
נפח הכלי	2		
ריכוז בשו"מ	0.2	0.2	0.8

$$K_C = \frac{[HI]^2}{[H_2] * [I_2]} = \frac{0.8^2}{0.2 * 0.2} = 16$$

ב. בתנאים החדשים, ערך  $K_C$  יהיה שונה.

$$K_C = \frac{[HI]^2}{[H_2] * [I_2]} = \frac{1^2}{0.167 * 0.167} = 36$$

ידוע כי:  $T_2 > T_1$  וגם  $K_{c2} > K_{c1}$  לפיכך מדובר בתגובה אנדותרמית.

נימוק: בחימום מועדפת התגובה האנדותרמית, ואם ידוע שערך  $K_C$  עלה, הרי שהועדפה התגובה הישירה. לפיכך הישירה היא האנדותרמית. (יש יחס ישר בין השינוי בטמפרטורה לבין השינוי בערך של  $K_C$ )

## 9. ניתוח כללי של הגרפים:

\*בשני הכלים שבהם ריכוז המגיב NO זהה במצב שו"מ (ב', ג')- יש אותה טמפרטורה. בכלי שבו ריכוזי המגיב NO שונים הטמפרטורה תהיה שונה, דבר שיתבטא בריכוזים שונים של מרכיבי המערכת בשו"מ וגם בערך שונה של הקבוע.

\*אם משווים את זמן ההגעה לשו"מ בשני הכלים ב', ג', שמצוים באותה טמפרטורה נבחין שבכלי ב' זמן ההגעה למצב שו"מ קצר יותר ולכן נסיק שבכלי זה יש זרז.

\*אם משווים את כלי ב' לכלי א' – בשני הכלים התקבל שו"מ באותו זמן, אך בכלי ב' זה הודות לזרז, ואילו בכלי א' זה הודות לחימום הכלי (ואכן זמן ההגעה לשו"מ של כלי א' קצר משל כלי ג'-אותה מערכת ללא זרז, בטמפ' נמוכה יותר).

א. לכלי ב' הוכנס זרז .

2. בכלים ב', ג' שררה אותה טמפרטורה (כי ריכוזי המגיב בשו"מ היו זהים)

3. הטמפרטורה בכלי השלישי (א') גבוהה יותר, כי זמן ההגעה לשו"מ היה קצר יותר מהכלי ללא חימום.

ב. נשווה את כלי ג' לכלי א' (חימום)

בכלי א' הטמפרטורה גבוהה יותר כי זמן ההגעה לשו"מ התקצר.

בכלי א' הערך של קבוע שו"מ גבוה יותר, כי ריכוזי המגיבים נמוכים יותר והם במכנה בביטוי של הקבוע לפיכך, ניתן להסיק שכאשר מחממים את המערכת, ערך הקבוע גדל  $\leq$  התגובה אנדותרמית.

נימוק: בחימום מועדפת התגובה האנדותרמית, ואם ידוע שערך  $K_c$  עלה, הרי שהועדפה התגובה הישירה. לפיכך הישירה היא האנדותרמית. (או: יש יחס ישר בין השינוי בטמפרטורה לבין השינוי בערך של  $K_c$ )

## פתרון שאלות שנוספו לפרק ה'

### שאלות עמ' 168-169

כל השאלות ממהדורה קודמת (בחוברת הנפרדת של פרק ה')

### שאלות עמ' 172-173

כל השאלות ממהדורה קודמת (בחוברת הנפרדת של פרק ה')

### שאלות לסיכום פרק ה' עמ' 182-185

השאלות 1-7 ממהדורה קודמת (בחוברת הנפרדת של פרק ה')

8. תשובה 3.

אם ידוע שהאנרגיה הפנימית של התוצרים גבוהה משל המגיבים הרי ש  $\Delta H^\circ > 0$

אם התגובה ספונטאנית בטמפרטורות מסוימות הרי ש:  $\Delta S^\circ_{\text{מכרכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} > 0$   $\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{מכרכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}}$

אם  $\Delta H^\circ > 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} < 0$  ולכן על מנת שהתגובה תהיה ספונטאנית בטמפרטורות מסוימות  $\Delta S^\circ_{\text{מכרכת}} > 0$ . רק בתגובה 3  $\Delta S^\circ_{\text{מכרכת}}$  חיובי כי מספר המולים של הגז גדל מ-2 ל-4 (בהנחה שהאנטרופיה של מוצקים זניחה לעומת גזים, יש להזניח את מספר המולים של המוצק)

9. תשובה 3.

אם  $\Delta H^\circ > 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} < 0$

אם ידוע שגם  $\Delta S^\circ_{\text{מכרכת}}$  חיובי, אז הרי ש:  $\Delta S^\circ_{\text{מכרכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} > 0$   $\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{מכרכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}}$

עפ"י החוק השני של התרמודינמיקה התגובה תהיה תמיד ספונטאנית כי שינוי האנטרופיה ביקום חיובי.

### שאלות מסכמות בנושאים: שיווי משקל ותרמודינמיקה עמ' 185-188

1. א. על מנת להחליט האם הלחץ בכלי עלה, ירד או לא השתנה יש לחשב את מנת הריכוזים ולהשוות אותה עם ערך קבוע שיווי המשקל באותה טמפרטורה:

$$Q = \frac{[NO]^2[O_2]}{[NO_2]^2} \rightarrow \frac{[0.2 \cdot 0.2 \cdot 0.2]}{[0.5][0.5]} = 0.032$$

$$1.2 \cdot 10^{-13} = K_c < Q = 0.032$$

ערך ה-Q שהתקבל הוא גדול מה- $K_c$ . עד למצב שו"מ, ערכו של Q יקטן ולכן ריכוזי התוצרים צריכים לרדת, וריכוזי המגיבים לעלות. הדבר יקרה אם תתגבר התגובה בה ריכוזי התוצרים יקטן וריכוזי המגיבים יגדלו. כלומר תתגבר התגובה ההפוכה.

עפ"י ניסוח התגובה, כשתתגבר התגובה ההפוכה, מכל 3 מולקולות גז, יתקבלו 2 מולקולות של גז ולכן מספר המולקולות בכלי יקטן, ולכן יהיו פחות התנגשויות של מולקולות עם דפנות הכלי, מכאן שהלחץ בכלי יירד.

ב. עד הגעה למצב שו"מ אנטרופיית הסביבה תעלה.

$$\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{מערכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} > 0 \quad \text{עפ"י נימוק:}$$

עד למצב שו"מ, מועדפת ההפוכה, ולכן האנטרופיה של המערכת יורדת (מכל 3 מולקולות מתקבלות 2 מולקולות). היות וכדי שתהליך יהיה ספונטאני חייב להתקיים שהשינוי באנטרופיה של היקום יגדל (עפ"י החוק ה-2 של התרמודינמיקה), ולכן חייבת להיות עלייה באנטרופיה של הסביבה כדי שהשינוי באנטרופיה של היקום יהיה חיובי.

דרך שניה:

מהנתונים של ערכי קבועי שו"מ ניתן ללמוד שבחימום ערכו של  $K_c$  קטן. לפיכך ניתן להסיק שבחימום הועדפה התגובה ההפוכה. אם התגובה ההפוכה אנדותרמית הרי שהישרה אקסותרמית.

$$\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} > 0 \quad \text{אם } \Delta H^\circ < 0 \text{ הרי ש-}$$

ג. א. על פי עיקרון לה שטלייה חימום מערכת יגרום להעדפת התגובה האנדותרמית. מהנתונים של ערכי קבועי שו"מ ניתן ללמוד שבחימום ערכו של  $K_c$  קטן. לפיכך ניתן להסיק שבחימום הועדפה התגובה ההפוכה. אם התגובה ההפוכה אנדותרמית הרי שהישרה אקסותרמית.

משמעות הדבר שהחימום גרם להתרחשות התגובה ההפוכה – האנדו תרמית, ולכן:

I) ריכוז של  $\text{NO}_{(g)}$  יקטן, כי הוא מופיע בתוצרים בניסוח.

II) זמן ההגעה לשיווי משקל במערכת שחוממה מעל 275 מעלות צלזיוס קצר יותר מאשר במערכת שהטמפרטורה שלה היא 275 מעלות צלזיוס.

נימוק: עפ"י תורת ההתנגשויות, העלאת הטמפרטורה בכלי גורמת לכך שליותר מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה נמוכה יותר. גורם שני פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, בטמפרטורה גבוהה יותר קצב התגובה הישרה וההפוכה גדול יותר, ובסך הכל זמן ההגעה למצב שו"מ קצר יותר.

2. א



1	1	1	יחס המגיבים
0.02	0.02	0.02	מספר מולים בהתחלה
1 lit			נפח
0.02	0.02	0.02	ריכוז התחלתי M

נחשב את Q ונשווה ל- $K_c$ .

$$K_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3] * [Cl_2]} = \frac{0.02}{0.02 * 0.02} = 50$$

$Q > K_c$  ולכן עד למצב שו"מ תתגבר התגובה הישירה.

מאחר שתתגבר התגובה הישירה מכל מולקולה במגיבים יתקבלו 2 מולקולות בתוצרים (כל החומרים במצב גז) ולכן מספר החלקיקים בכלי יגדל. יגדל מספר המצבים המיקרוסקופיים של המערכת (או: פיזור החלקיקים יגדל) והאנטרופיה של המערכת תגדל.

ב. מספר המולים של הגז בכלי יגדל ולכן יהיו יותר התנגשויות של חלקיקים (מולקולות הגז בכלי) עם דפנות הכלי במהלך התגובה ולכן הלחץ יגדל

ג.א

על מנת לדון בהשפעה של שינוי טמפרטורה על מערכת הנמצאת בשיווי משקל עלינו לדעת האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית, מידע זה נקבל מידיעת סימנו של  $\Delta H^\circ$ .

על פי עקרון לה שטלייה: קירור, כלומר איבוד אנרגיה מכלי התגובה, יגרום להטיית המערכת לכיוון התגובה האקסותרמית אשר תפלוט אנרגיה ובכך תקטין את השינוי החיצוני. אם התגובה הישירה אקסותרמית ערך הקבוע יגדל. אם התגובה הישירה אנדותרמית הקירור יקטין את ערך הקבוע (כלומר ערך הקבוע החדש בטמפ' של 200 מעלות צלזיוס יהיה נמוך יותר)

לעומת זאת חימום, כלומר הוספת אנרגיה לכלי התגובה, יגרום להטיית המערכת לכיוון התגובה האנדותרמית. אשר תקלוט אנרגיה ובכך תקטין את השינוי החיצוני. אם התגובה הישירה אנדותרמית ערך הקבוע יגדל. אם התגובה הישירה אקסותרמית החימום יגרום להעדפת התגובה ההפוכה וערך הקבוע יקטן.

ג.א. לא ניתן לנבא את המגמה של אף אחד מהסעיפים i,ii,iv כי ללא ידיעה של שינוי האנתלפיה בתגובה לא ניתן לדעת איזו תגובה תתגבר עד לשו"מ בקירור הכלי.

iii-זמן ההגעה לשו"מ חדש יהיה ארוך יותר כי הטמפרטורה תהיה נמוכה יותר (לפי השפעת הטמפרטורה על קצב התגובה).

ג.א.אם התגובה אקסותרמית, קירור יגרום להעדפת התגובה האקסותרמית, שהיא הישירה ולכן

i. ריכוז  $PCl_{3(g)}$ : יגדל

ii. הלחץ בכלי: יגדל כי אם תועדף התגובה הישירה יגדל מספר החלקיקים בכלי (מכל 1 מולקולת גז במגיבים יתקבלו 2 מולקולות גז בתוצרים), יגדל מספר ההתנגשויות של החלקיקים עם דפנות הכלי ולכן הלחץ עלה.

iii. זמן ההגעה לשיווי משקל מחודש: יתארך (עפ"י מודל קצב תגובה והשפעת הטמפ' על קצב התגובה).

iv. אנטרופיית הסביבה: תגדל כי אם  $\Delta H^\circ < 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} > 0$

3. א.



2	1	2	יחס המגיבים
0.15	225.0	0	מספר מולים בהתחלה
-0.05	-0.025	+0.05	שינוי במספר המולים
0.1	0.2	0.05	מספר מולים בשיווי משקל
0.1	0.2	0.05	ריכוז בשיווי משקל

$$K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}_5]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{[0.05]^2}{[0.1]^2 \cdot [0.2]} = 1.25$$

ב. עד הגעה לשיווי משקל תתגבר התגובה הישירה. מספר החלקיקים בכלי יקטן (מכל 3 מולקולות מגיב יתקבלו 2 מולקולות תוצר), ולכן האנטרופיה של המערכת תקטן ( $\Delta S_{\text{מערכת}}^\circ < 0$ )

ג. עד הגעה למצב שו"מ אנטרופיית הסביבה תעלה.

$$\Delta S_{\text{סביבה}}^\circ = -\frac{\Delta H^\circ}{T} > 0 \quad \text{אם } \Delta H^\circ < 0 \text{, הרי ש-}$$

ד. ניתוח של הנתונים המוצגים בטבלה ובשאלה:

\*אם קבוע שו"מ של תגובה A גדול יותר, הרי שבמערכת A מועדפת התגובה הישירה (ביחס למערכת B).

\*מאחר שהתגובה בכלי A אקסותרמית- עפ"י עיקרון לה שטליה קירור יגרום להעדפת התגובה הישירה.

1.  $t_A$  קטנה מ-  $t_B$

מאחר שמדובר בתגובה אקסותרמית, הרי שבטמפרטורה גבוהה יותר ערך  $K_c$  קטן יותר.

2. בתגובה B המערכת הגיעה לשיווי משקל הכי מהר ביחס לתגובה A וזאת משום שהטמפרטורה בתגובה זו הייתה הגבוהה ביותר.

נימוק: עפ"י תורת ההתנגשויות, העלאת הטמפרטורה בכלי גורמת לכך שליותר מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה נמוכה יותר. גורם שני פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, בטמפרטורה גבוהה יותר קצב התגובה הישירה וההפוכה גדול יותר, ובסך הכל זמן ההגעה למצב שו"מ קצר יותר.

ה. הוספת זרז מזרזת את הגעת המערכת למצב שיווי משקל, אך לא משפיעה על הרכב המערכת במצב שו"מ כלומר ריכוזי התוצרים הסופיים בשו"מ ישארו ללא שינוי.



1	1	1	יחס המגיבים
<b>0.34</b>	<b>0</b>	<b>0.02</b>	מספר מולים בהתחלה
-0.08	+0.08	+0.08	שינוי במספר המולים
0.26	0.08	<b>0.1</b>	מספר מולים בשיווי משקל
<b>0.2 ליטר</b>			נפח
<b>1.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	ריכוז בשיווי משקל ב-M

הריכוז בסוף של הכלור היה 0.5 מול לליטר אבל הנפח הוא 200 מ"ל = 0.2 ליטר. לכן מספר המילים של הכלור בשיווי משקל היא: 0.1 mol. מכיון שהיחס הוא 1:1 לכן גם מהחומר CO יש mol 0.1.

$$K_c = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{COCl}_2]} = \frac{[0.4] \cdot [0.5]}{[1.3]} = 0.154$$

ב. במהלך התגובה עד הגעה לשיווי משקל תתגבר התגובה הישירה ולכן מס' החלקיקים בכלי גדל (כי מכל מולקולה אחת התקבלו 2 מולקולות גז). כתוצאה מכך הלחץ בכלי יעלה כי הגדלת מספר המולקולות בכלי תגדיל את מספר ההתנגשויות של המולקולות בכלי עם דפנות הכלי ליח' שטח.

ג. בניסוי השני זמן ההגעה לשו"מ היה קצר יותר. זמן ההגעה לשו"מ אינו תלוי בריכוז ההתחלתי אלא בטמפרטורה. ההבדל בין תוצאות שני הניסויים נובע משינויי הטמפרטורה בכלי ולא מהוספת זרז לתגובה. הוספת זרז מקצרת את הגעת המערכת למצב שיווי משקל, אך לא משפיעה על הרכב המערכת במצב שו"מ. מאחר שבניסוי 2 התקבל ריכוז שונה של התוצר  $\text{Cl}_2$  הרי שהתרחש שינוי טמפרטורה.

ד. עלינו לחשב את Kc בניסוי השני ולהשוות אותו ל-Kc בניסוי הראשון.



1	1	1	יחס המגיבים
0.34	0	0.02	מספר מולים בהתחלה
-0.10	+0.10	+0.10	שינוי במספר המולים
0.24	0.10	0.12	מספר מולים בשיווי משקל
0.2			נפח
1.2	0.5	0.6	ריכוז בשיווי משקל M

$$K_c = \frac{[CO] \cdot [Cl_2]}{[COCl_2]} = \frac{[0.6] \cdot [0.5]}{[1.2]} = 0.25$$

קבוע שיווי משקל בניסוי 2 יצא גבוה יותר ולכן נסיק שבניסוי זה הייתה טמפרטורה גבוהה יותר מאשר הטמפרטורה הראשונה.

(נימוק : עפ"י תורת ההתנגשויות, העלאת הטמפרטורה בכלי גורמת לכך שליותר מולקולות תהייה אנרגיה קינטית גדולה מהאנרגיה המינימלית הדרושה להתנגשות פורייה לעומת האנרגיה הקינטית שלהן בטמפרטורה נמוכה יותר. גורם שני פחות משמעותי הוא שתדירות ההתנגשויות בין החלקיקים ליחידת זמן גדולה יותר. לכן, בטמפרטורה גבוהה יותר קצב התגובה הישירה וההפוכה גדול יותר, ובסך הכל זמן ההגעה למצב שו"מ קצר יותר)

כלומר בניסוי 2 ביצעו את הניסוי בטמפרטורה גבוהה יותר וגם ערך  $K_c$  גדול יותר ולכן נסיק שזו תגובה אנדותרמית. (יש יחס ישר בין השינוי בטמפרטורה לבין השינוי בערך של  $K_c$ )

### שאלות רבות ברירה עמ' 187-188

1. ב,ה

תהליך ספונטני גורם לעליה באנטרופיה של היקום על פי החוק השני של התרמודינמיקה.  
השינוי באנטרופיה של היקום = השינוי באנטרופיה של המערכת + השינוי באנטרופיה של הסביבה.

2. ג, ז, ט

הנימוק: עם הוספת זרז. התגובה מתרחשת במסלול חלופי שאנרגיית השפעול שלו נמוכה יותר - מחסום אנרגטי קטן יותר. כתוצאה מכך, נוצרים תצמידים משופעלים רבים יותר ביחידת זמן בהשוואה לתגובה שהתרחשה באותם תנאים וללא זרז, קצב תגובה גדול יותר.



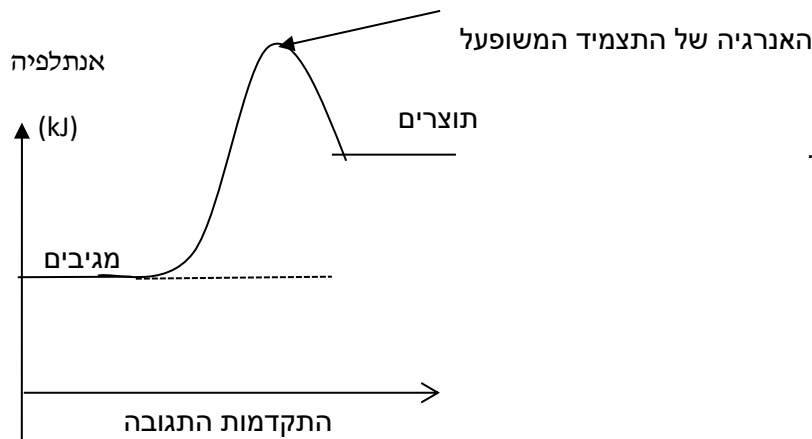
3. א, ד.

נימוק:

$$\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{מערכת}} + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} \geq 0$$

$$\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} > 0 \quad \text{הרי ש-} \Delta H^\circ < 0$$

ד נכון כי אם מס' מולי התצר גדולים ממס' מולי המגיב הרי שגם  $\Delta S^\circ_{\text{מערכת}} < 0$  ואז  $\Delta S^\circ_{\text{יקום}} > 0$  ועפ"י החוק השני של התרמודינמיקה במקרה זה התגובה תמיד ספונטאנית.



4. ב.

נימוק ל-ב' – ע"י הצגה גרפית.

שאר המשפטים שגויים.

ה – שגוי כי גם אם שינוי האנטרופיה של המערכת חיובי, עדיין שינוי האנטרופיה של הסביבה שלילי (כש:  $\Delta H^\circ > 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} < 0$ ) ולכן התגובה תהיה ספונטאנית רק בתחום טמפרטורות מסויים.

ו. שגוי כי אם  $\Delta H^\circ > 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} < 0$ . במקרים שבהם גם שינוי האנטרופיה של המערכת שלילי, שינוי האנטרופיה הכולל ביקום יהיה שלילי והתגובה לא תהיה ספונטאנית.

5. א. משפט נכון.

נימוק: ניתן לראות כי קיים קשר של יחס ישר בין השינוי בטמפרטורה לערכו של  $K_c$ . ככל שהטמפרטורה עולה גם ערכו של הקבוע גדל.

ב. משפט שגוי, כי אם התגובה הישירה אנדותרמית, הרי שירידה בטמפרטורה תגרום להעדפת התגובה האקסותרמית עפ"י לה שטליה, שהיא תהגובה ההפוכה. במקרה זה ריכוז התוצר יקטן.

ג. נכון.

$$\Delta S^\circ_{\text{מערכת}} = +24.6 \text{ J/mol} \cdot \text{K} > 0$$

$\Delta H^\circ > 0$ , הרי ש-  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} < 0$  ולכן קיים תחום טמפרטורות שעבורו  $\Delta S^\circ_{\text{יקום}}$  גדול מאפס

ד. נכון

$$\Delta S^{\circ}_{\text{סביבה}} = -\frac{\Delta H^{\circ}}{T} < 0 \quad \text{הרי ש-} \Delta H^{\circ} > 0$$

ה. שגוי.

$$\Delta S^{\circ} = -24.6 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad \text{מערכת}$$