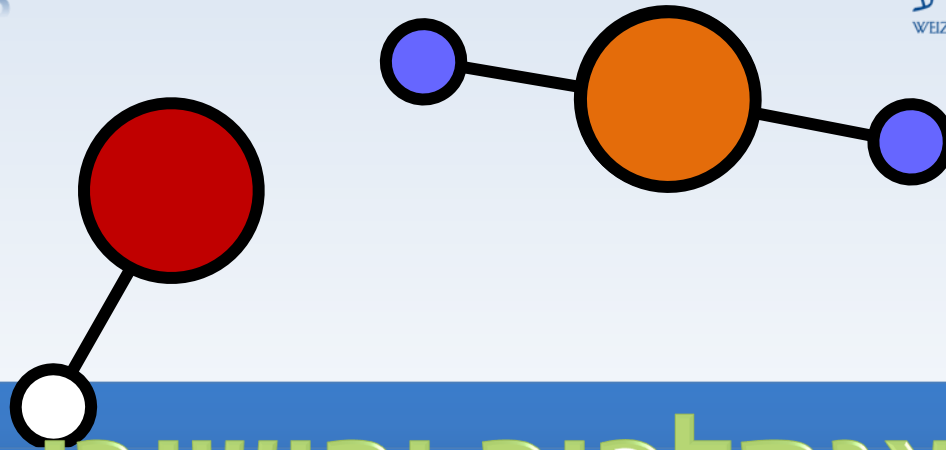
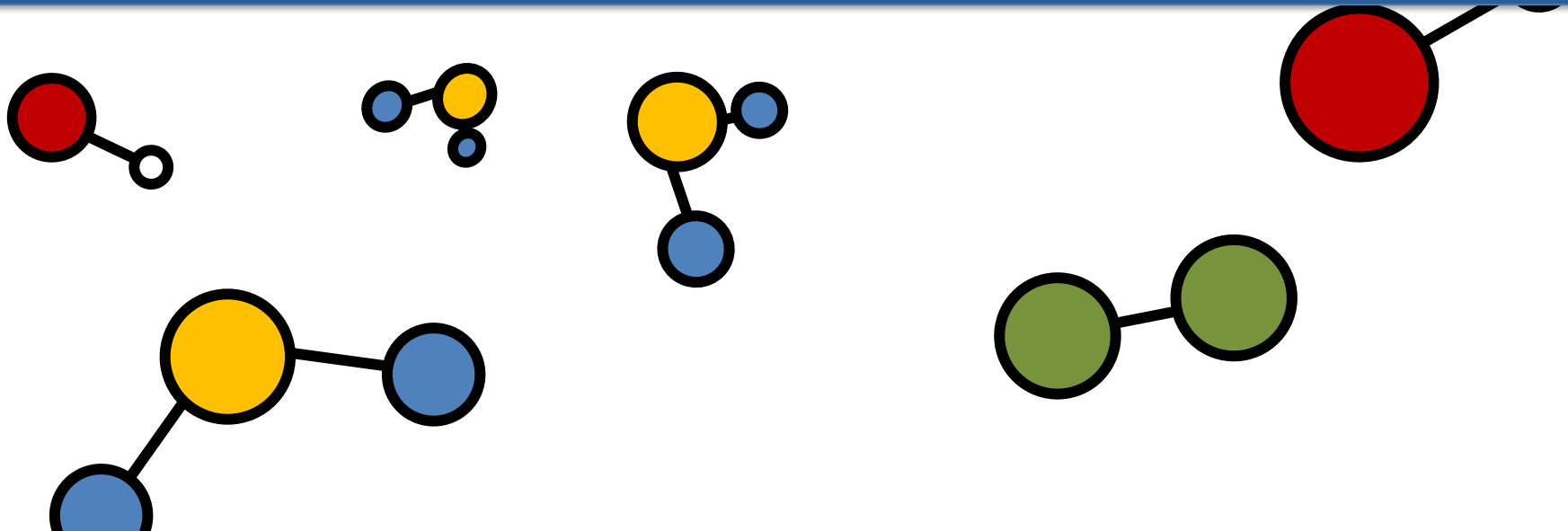
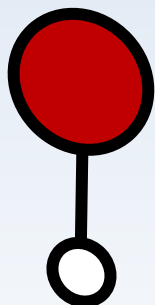




השינוי באנתלפיה וחישובו

אנרגיות קשר



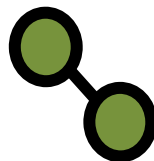
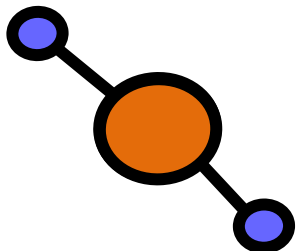


שיטות ייצוג שונות של ΔH 

חישוב האנתלפיה: 

1. באמצעות חוק הס - תרגול

2. באמצעות אנרגיות קשר (בתגובות גזיות)



מה אנחנו צריכים כבר לדעת?

מושגים בסיסיים באנרגיה: 

אנרגיה קינטית, פוטנציאלית, פנימית, קינטית ממוצעת, טמפרטורה, תגובה אנדותרמית ותגובה אקסותרמית.

אנרגיה ותנועה: סוגי תנועה 

מערכת וסביבה: מעברי אנרגיה, מערכת פתוחה, סגורה ומבודדת 

אנתלפיה: אנתלפיה תקנית (סטנדרטית), דיאגרמת אנרגיה, סימון ויחידות מידה 

חישוב השינוי באנתלפיה: על פי חוק הס 

תזכורת: החוק הראשון של התרמודינמיקה

סך האנרגיה נשמרת.
אנרגיה אינה יכולה להיווצר או להיהרס.

בכימיה אנו מעוניינים בחום ובתגובות כימיות.



ג'יימס פ. ג'אול 1818-1889.
מנצ'סטר, אנגליה.
מנסח חוק שימור האנרגיה

החוק הראשון של התרמודינמיקה קובע,
שסכום החום והאנרגיה הכימית חייב
להיות קבוע (בלחץ קבוע).

החום בלחץ קבוע נקרא: אנתלפיה.

אנתלפיה, שינוי (דלתא)

האנרגיה הפנימית בתגובות בהן הלחץ נשמר קבוע.

$$\Delta H_x^0$$

Δ = השינוי

H = אנרגיית חום פנימית

0 = תנאים תקינים (סטנדרטיים)

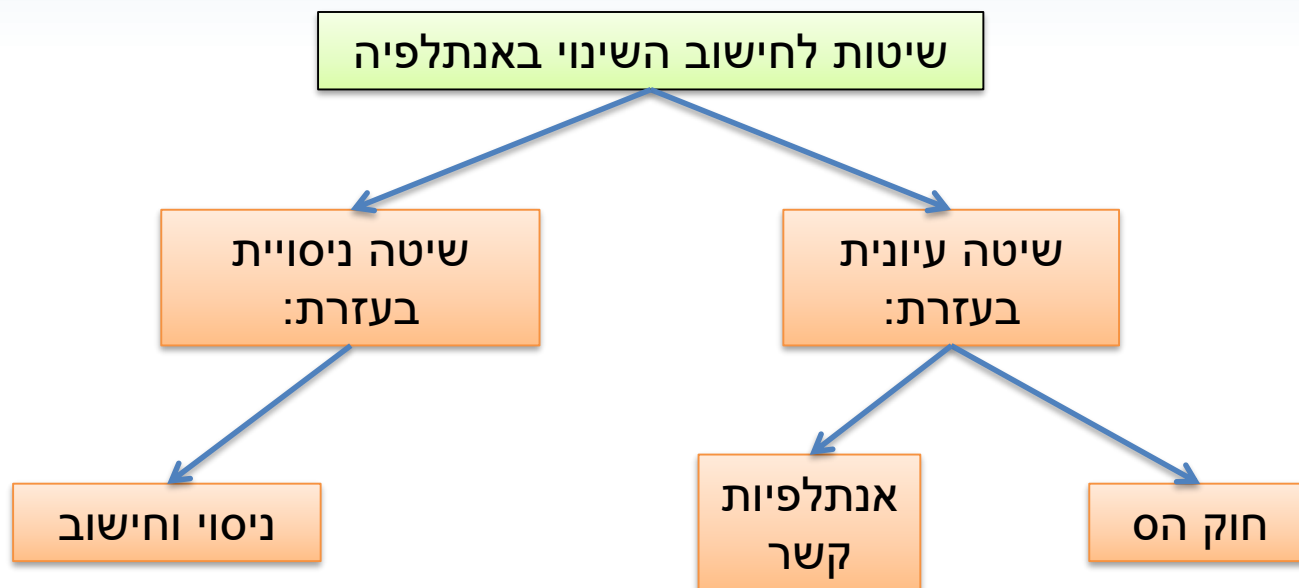
x = סוג השינוי

H_1 היא האנתלפיה של המצב ההתחלתי (מגיבים).

H_2 היא האנתלפיה של המצב הסופי (תוצרים).

ההפרש בין האנתלפיה של המצב הסופי וההתחלתי נרשם ב- ΔH (דלתא H), והוא השינוי באנתלפיית התגובה.

תזכורת: שיטות לחישוב השינוי באנתלפיה



אנתלפיות:
 ΔH_s : המראה, ΔH_b : אידוי, ΔH_m : היתוך

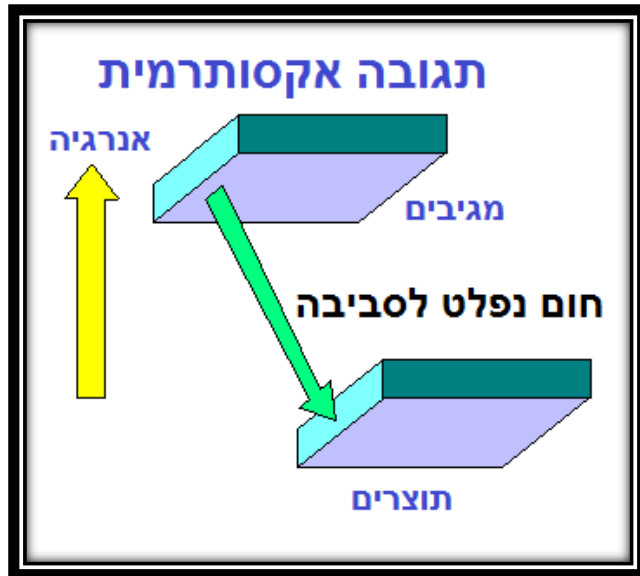
אנתלפיות:
 ΔH_a : (atomization) היווצרות, ΔH_f : (formation) אטומיזציה

אנתלפיות:
 ΔH_c : (combustion) שריפה

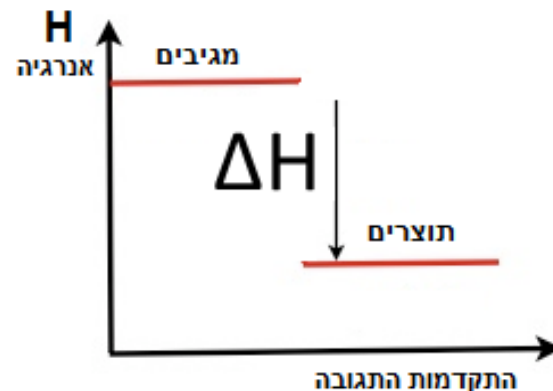
תזכורת: מעברי אנרגיה בין מערכת לסביבה ולהיפך

• תגובה אקסותרמית:

תגובה בה חלה ירידה באנתלפיית המערכת (אנתלפיית התוצרים נמוכה מאנתלפיית המגיבים).
הפרש האנתלפיה נפלט לסביבה.
אנרגיית הסביבה-עולה.



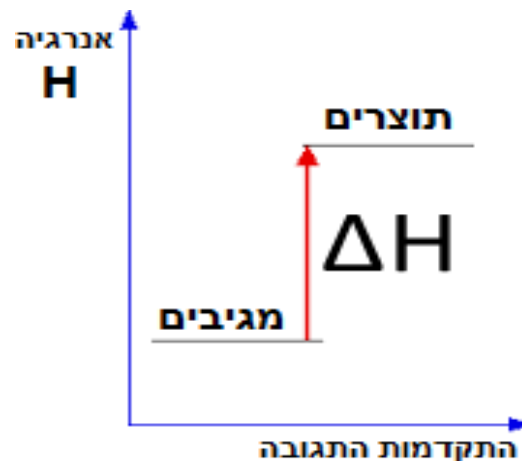
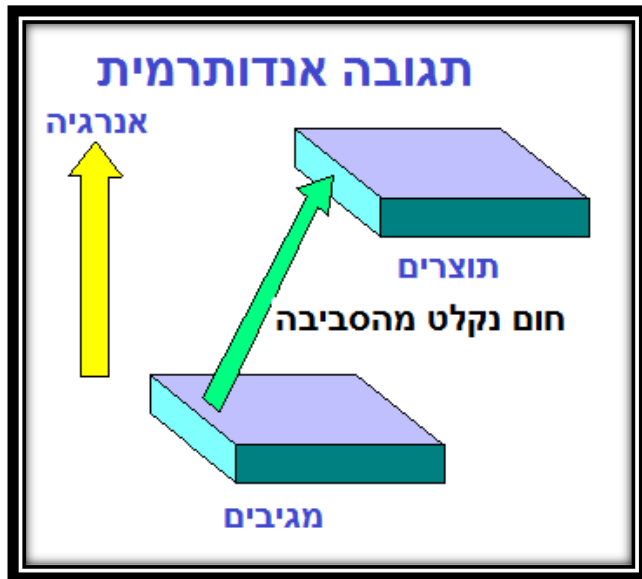
• דיאגרמת האנרגיה: (ייצוג גרפי)



תזכורת: מעברי אנרגיה בין מערכת לסביבה ולהיפך

• תגובה אנדותרמית:

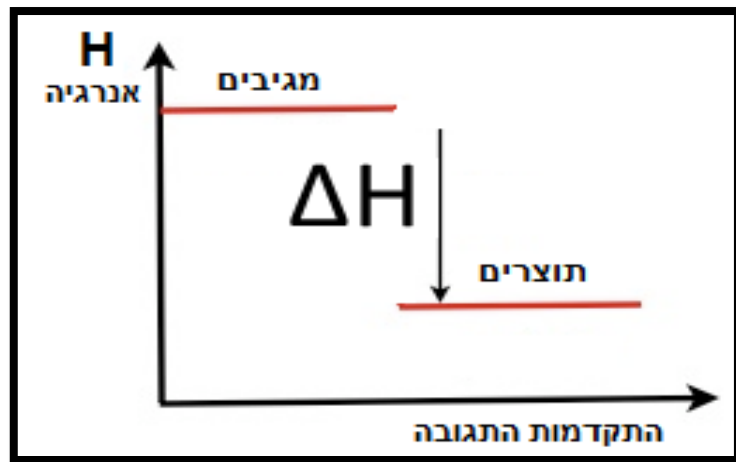
תגובה בה חלה עלייה באנתלפיית המערכת (אנתלפיית התוצרים גבוהה מאנתלפיית המגיבים).
הפרש האנתלפיה נקלט מהסביבה.
אנרגיית הסביבה-יורדת.



• דיאגרמת האנרגיה: (ייצוג גרפי)

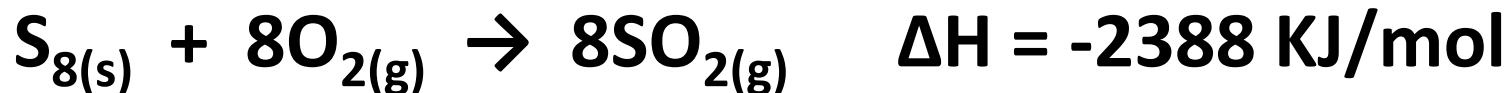
תזכורת: שיטות ייצוג שונות של השינוי באנתלפיה

השינוי באנרגיה ניתן לביטוי בצורות שונות:



1. על ידי גרף:

2. לצד התגובה המנוסחת:

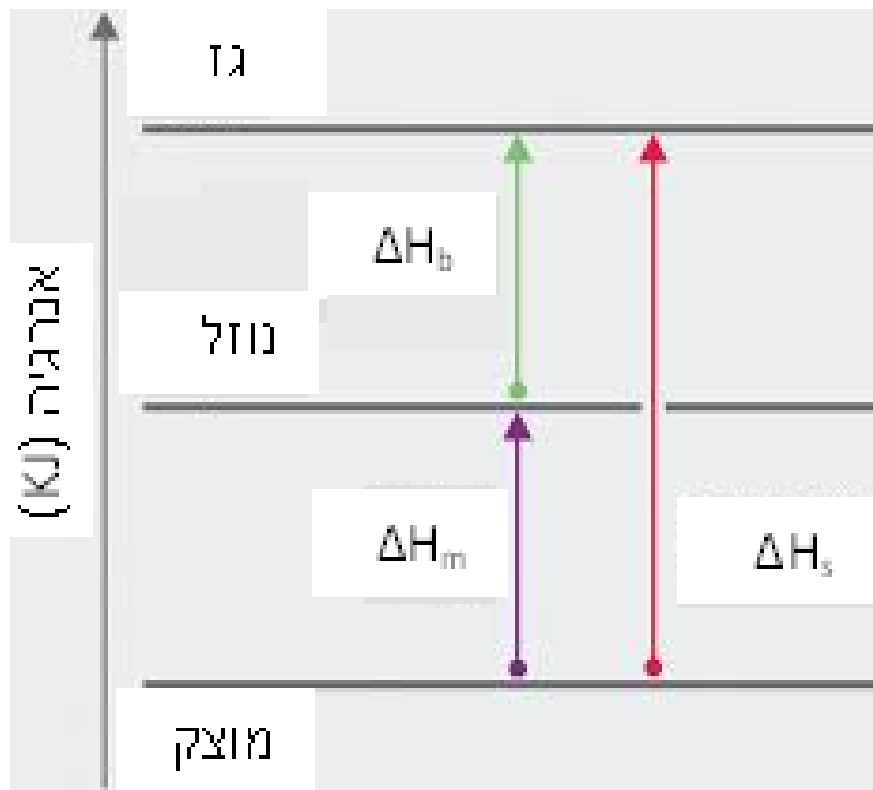


3. בתוך התגובה המנוסחת:



תזכורת: גרף מעבר מצבי צבירה

ניתן לשרטט דיאגרמת אנרגיה לאותו חומר על פי השינוי באנרגיה המושקעת (או הנלקחת) במעבר מצב הצבירה.



הפרש האנטלפיה בתהליך ההיתוך.

$$\Delta H_m = (\text{melting})$$

הפרש האנטלפיה בתהליך הרתיחה.

$$\Delta H_b = (\text{boiling})$$

הפרש האנטלפיה בתהליך ההמראה.

$$\Delta H_s = (\text{sublimation})$$

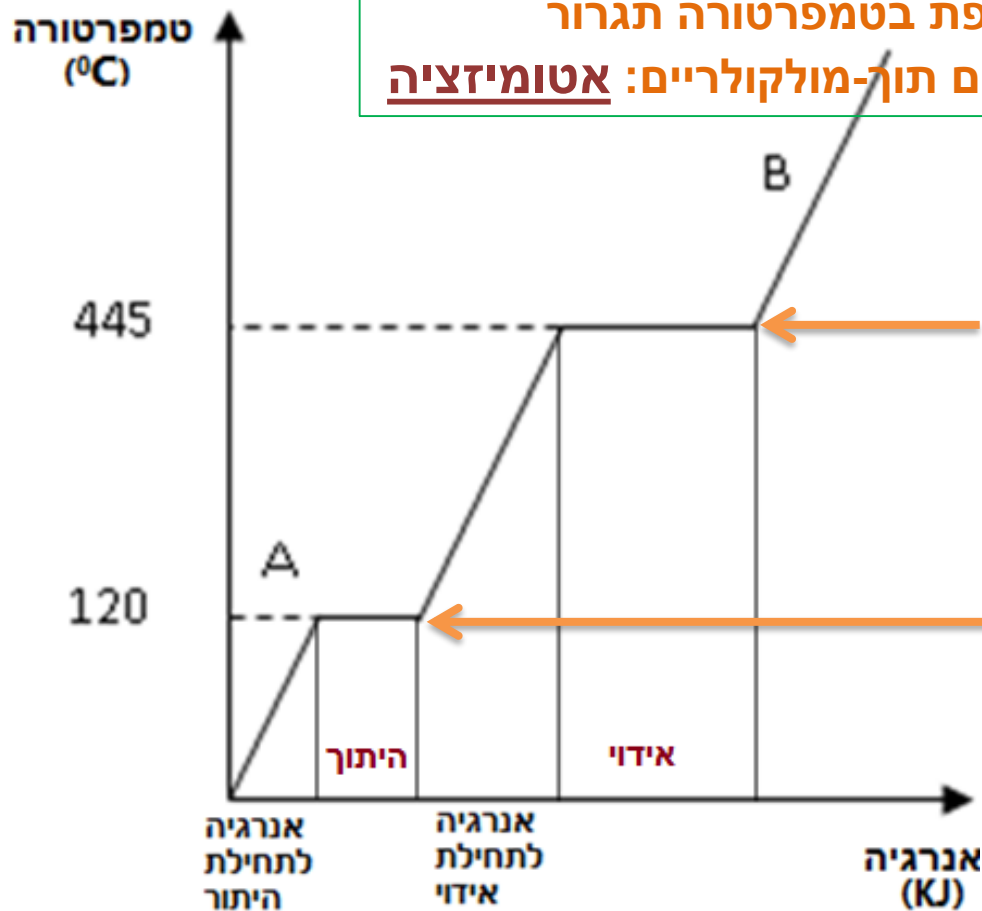
ניתן לשרטט גרף מעבר מצבי צבירה לאותו חומר על פי השינוי באנרגיה המושקעת (או הנלקחת) במעבר מצב הצבירה.

העלאה נוספת בטמפרטורה תגרור פירוק קשרים תוך-מולקולריים: אטומיזציה

עבור הגפרית

אנרגיה מושקעת בפירוק הקשרים הבינמולקולריים במצב הנוזל

אנרגיה מושקעת בפירוק הקשרים הבינמולקולריים במצב המוצק

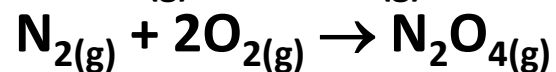
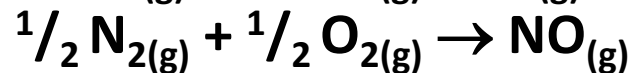


שאלה 1



חשב ΔH עבור התגובה הבאה

בעזרת הנתונים הבאים:



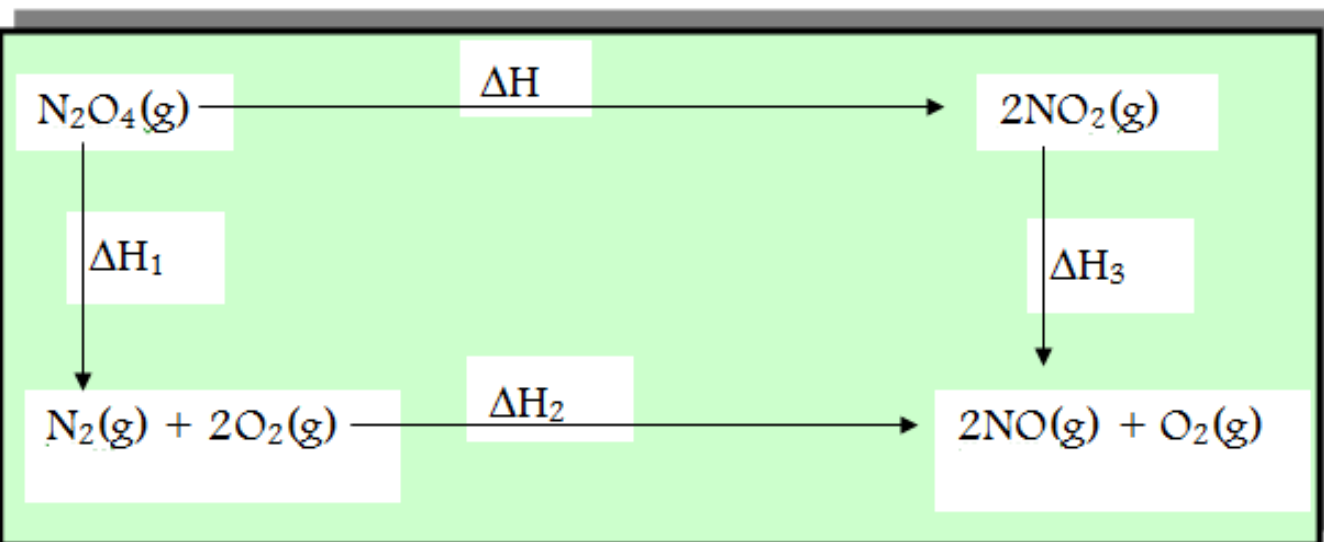
$$\Delta H^0 = +109 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H^0 = +90.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H^0 = +8.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

פתרון שאלה 1

בשיטה בראשונה נקבל:



$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

נפתור את הבעיה על ידי שימוש בחוק הס:

$$\Delta H_1 = -(+8)$$

$$\Delta H_2 = 2(+90)$$

$$\Delta H_3 = -(+109)$$

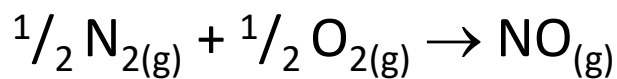
ובהצבת הערכים המתאימים נקבל:

$$\Delta H = -8 + (2 \times 90) - 109 = +63 \text{ kJ mol}^{-1}$$

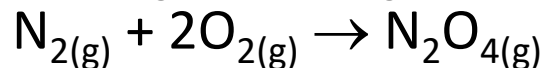
פתרון שאלה 1

בשיטה השנייה נקבל:

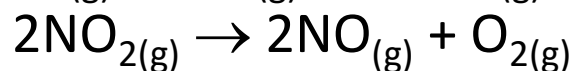
נתון:



$$\Delta H^0 = +90.0 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [4]$$

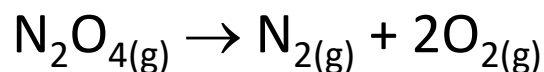


$$\Delta H^0 = +8.0 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [5]$$



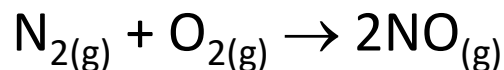
$$\Delta H^0 = +109 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [6]$$

נהפוך את תגובה [5]:



$$\Delta H^0 = -8.0 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [7]$$

נכפיל את תגובה [4] פי 2:



$$\Delta H^0 = 180 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [8]$$

נצרף את [7] ו- [8] ונקבל:



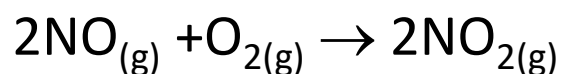
[9]

פתרון שאלה 1

תוספת למשוואה [9]

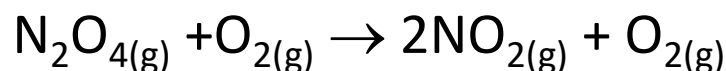
$$\Delta H = +180 + (-8) = +172 \text{ kJ mol}^{-1}$$

הפיכת משוואה [6]

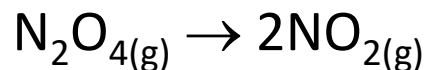


$$\Delta H^0 = +109 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [10]$$

צירוף ל- [9] נותן:



וכך מתקבל [11]



$$\Delta H = (+172) + (-109) = +63 \text{ kJ mol}^{-1}$$

והכל מסתכם ב

בדיוק אותו הדבר כמו קודם!

שאלה 2:

שלב שבירת הקשרים הוא תהליך:

א. אנדותרמי

ב. אקסותרמי

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

פתרון שאלה 2:

שלב שבירת הקשרים הוא תהליך:

א. אנדותרמי

ב. אקסותרמי

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

שאלה 3:

שלב יצירת הקשרים הוא תהליך:

א. אנדותרמי

ב. אקסותרמי

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

פתרון שאלה 3:

שלב יצירת הקשרים הוא תהליך:

א. אנדותרמי

ב. אקסותרמי

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

שאלה 4:

השינוי באנתלפיה של תהליך היא בסך הכל:

א. חיובית

ב. שלילית

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

פתרון שאלה 4:

השינוי באנתלפיה של תהליך היא בסך הכל:

א. חיובית

ב. שלילית

ג. לא ניתן לקבוע ללא נתונים נוספים

אנתלפיית הקשר היא האנרגיה הדרושה לשבירת מול קשרים
ובדרך כלל מבוטאת ביחידות של קג"ל (קילוג'ול למול: KJ/mol).

הטמפרטורה היא תיקנית (סטנדרטית) ועומדת על
טמפרטורת החדר: $25^{\circ}\text{C} = 298\text{ K}$.

אנתלפיית הקשר המדויקת תלויה בסביבה המולקולרית בה
מתקיים הקשר, לכן בספרות המקצועית מופיעים בדרך כלל
ממוצעי אנתלפיות הקשר של הקשרים השונים.

בלימודינו נתייחס אך ורק לחישובים בתגובות
המכילות חומרים גזיים.

Average Bond Enthalpies (kJ/mol)

Single Bonds

C—H	413	N—H	391	O—H	463	F—F	155
C—C	348	N—N	163	O—O	146		
C—N	293	N—O	201	O—F	190	Cl—F	253
C—O	358	N—F	272	O—Cl	203	Cl—Cl	242
C—F	485	N—Cl	200	O—I	234		
C—Cl	328	N—Br	243			Br—F	237
C—Br	276			S—H	339	Br—Cl	218
C—I	240	H—H	436	S—F	327	Br—Br	193
C—S	259	H—F	567	S—Cl	253		
		H—Cl	431	S—Br	218	I—Cl	208
Si—H	323	H—Br	366	S—S	266	I—Br	175
Si—Si	226	H—I	299			I—I	151
Si—C	301						
Si—O	368						

Multiple Bonds

C=C	614	N=N	418	O ₂	495
C≡C	839	N≡N	941		
C=N	615			S=O	523
C≡N	891			S=S	418
C=O	799				
C≡O	1072				

שאלה 5:

בשלב הראשון בחישוב בעזרת אנרגיות קשר:

- א. יש לחשב את סך האנרגיה המושקעת בשבירת הקשרים
- ב. יש לחשב את סך האנרגיה הנפלטת ביצירת הקשרים

פתרון שאלה 5:

בשלב הראשון בחישוב בעזרת אנרגיות קשר:

א. יש לחשב את סך האנרגיה המושקעת בשבירת הקשרים

ב. יש לחשב את סך האנרגיה הנפלטת ביצירת הקשרים

שאלה 6:

בשלב השני בחישוב בעזרת אנרגיות קשר:

- א. יש לחשב את סך האנרגיה המושקעת בשבירת הקשרים
- ב. יש לחשב את סך האנרגיה הנפלטת ביצירת הקשרים

פתרון שאלה 6:

בשלב השני בחישוב בעזרת אנרגיות קשר:

א. יש לחשב את סך האנרגיה המושקעת בשבירת הקשרים

ב. יש לחשב את סך האנרגיה הנפלטת ביצירת הקשרים

לחישוב אנתלפיית התגובה יש להשתמש במשוואה הבאה:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{(\text{קשרים הנשברים})} - \sum \Delta H_{(\text{קשרים הנוצרים})}$$

שינוי
האנתלפיה של
כל התגובה

סיגמא (אות
יוונית) = סכום

המשמעות היא:

סכום אנתלפיות כל הקשרים הנשברים (האנרגיה מושקעת)

לפחיתה מסלול לפה את

סכום אנתלפיות כל הקשרים הנוצרים (האנרגיה נפלטת)

חישוב באמצעות אנרגיות קשר

דוגמא 1:

נתונה התגובה הבאה:



מצא את השינוי באנתלפיה התיקנית ΔH° עבור תגובה זו, באמצעות אנתלפיות הקשר הנתונות:

אנתלפיית הקשר (KJ/mol)

436

499

463

הקשר

H-H

O=O

O-H

קשרים הנשברים: 2 קשרי H-H וקשר אחד O=O
קשרים הנוצרים: 4 קשרי O-H (2 קשרים כאלה בכל מולקולת מים)

נציב בנוסחה ונפתור:

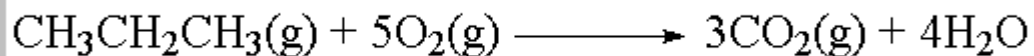
$$\Delta H^\circ = [2(\underbrace{436}_{\text{H-H}}) + \underbrace{499}_{\text{O=O}}] - 4(\underbrace{463}_{\text{O-H}})$$

$$\Delta H^\circ = 1371 - 1852$$

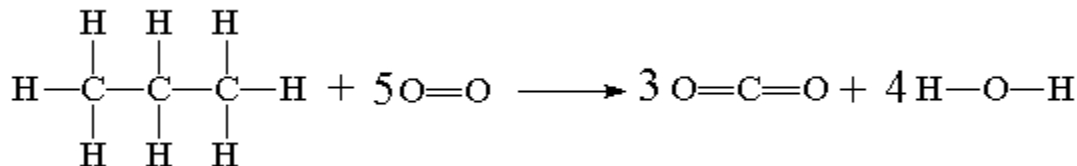
$$\boxed{\Delta H^\circ = -481 \text{ kJ}}$$

חישוב באמצעות אנרגיות קשר

דוגמא 2:



התגובה לשריפת גז פרופאן נתונה:



נוכל גם לצייר את המולקולות:

נתונות אנתלפיות הקשר בטבלה הבאה:

סוג הקשר	אנתלפיית הקשר kJ/mol
C-H	+413
C-C	+347
O=O	+498
C=O	+805
H-O	+464

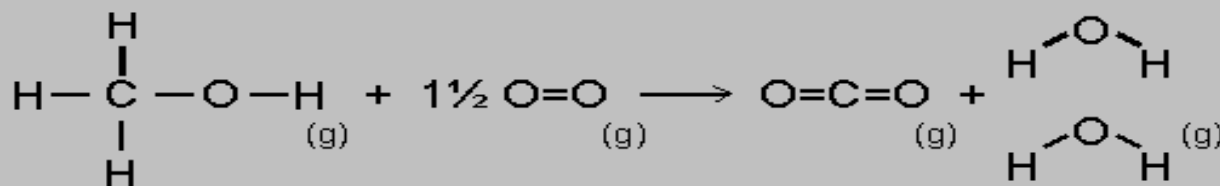
הפתרון:

סק השניוי האנפותרמי פצירת הקשרים: 8xC-H 2xC-C 5xO=O = (8 x +413) + 2(+347) + 5(+498)	סק השניוי האקסותרמי פיצירת הקשרים: 6 x C=O 8 x O-H = (6 x -805) + (8 x -464)	$\Delta H = [(8 \times 413) + (2 \times 347) + (5 \times 498)] \dots$ $[(6 \times 805) + (8 \times 464)] =$ <u>$- 2054 \text{ kJ mol}^{-1}$</u>
---	--	---

חישוב באמצעות אנרגיות קשר

דוגמא 3:

הקשרים במגיבים נשברים (בקליטת אנרגיה אל תוך התגובה. לכן שלב זה הוא שלב אנדותרמי).
הקשרים בתוצרים נוצרים (ונפלטת אנרגיה. לכן שלב זה הוא שלב אקסותרמי).



נתונה הטבלה:

סק השינוי האנדרמאי
צבור הקשרים הנשברים:

3 x C-H
1 x C-O
1 x O-H
1½ x O=O

= (3 x +413) + +336 + +464 + (1½ x +498)
= +2786 kJ

סק השינוי האקסותרמי
צבור הקשרים הנוצרים:

2 x C=O
4 x O-H
= (2 x -805) + (4 x -464)
= -3466 kJ

אנרגיות הקשר

kJ/mol

C-H = 413
C-O = 336
O-H = 464
O=O = 498
C=O = 805

$\therefore \Delta H = + 2786 + - 3466 = - 680 \text{ kJ/mol}$

חישוב באמצעות אנרגיות קשר

סק השינוי האנדותרמי
צפוי בקשרים הנשברים:

3 x C-H
1 x C-O
1 x O-H
1½ x O=O

$$= (3 \times +413) + +336 + +464 + (1\frac{1}{2} \times +498) \\ = +2786 \text{ kJ}$$

סק השינוי האקסותרמי
צפוי בקשרים הנוצרים:

2 x C=O
4 x O-H

$$= (2 \times -805) + (4 \times -464) \\ = -3466 \text{ kJ}$$

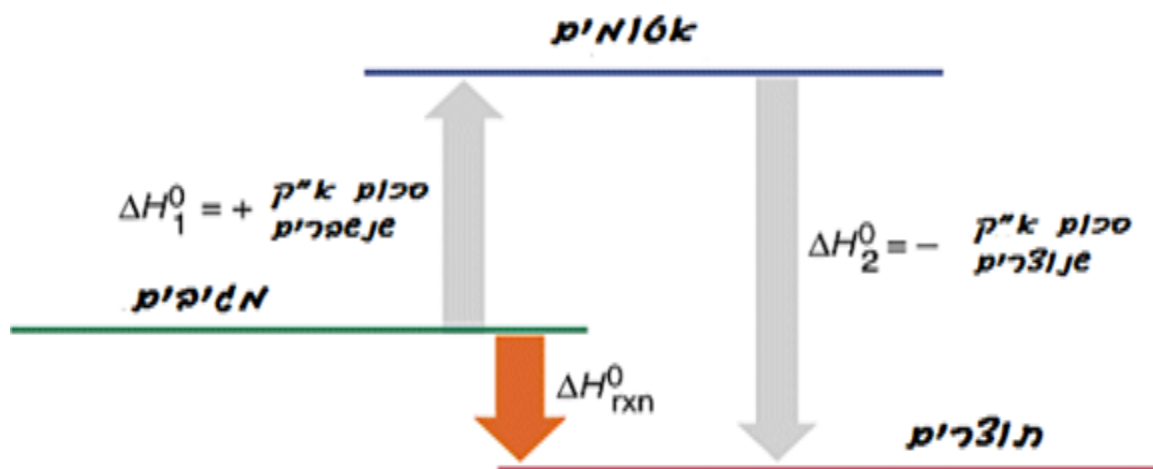
אנרגיות הקשר

kJ/mol

C-H = 413
C-O = 336
O-H = 464
O=O = 498
C=O = 805

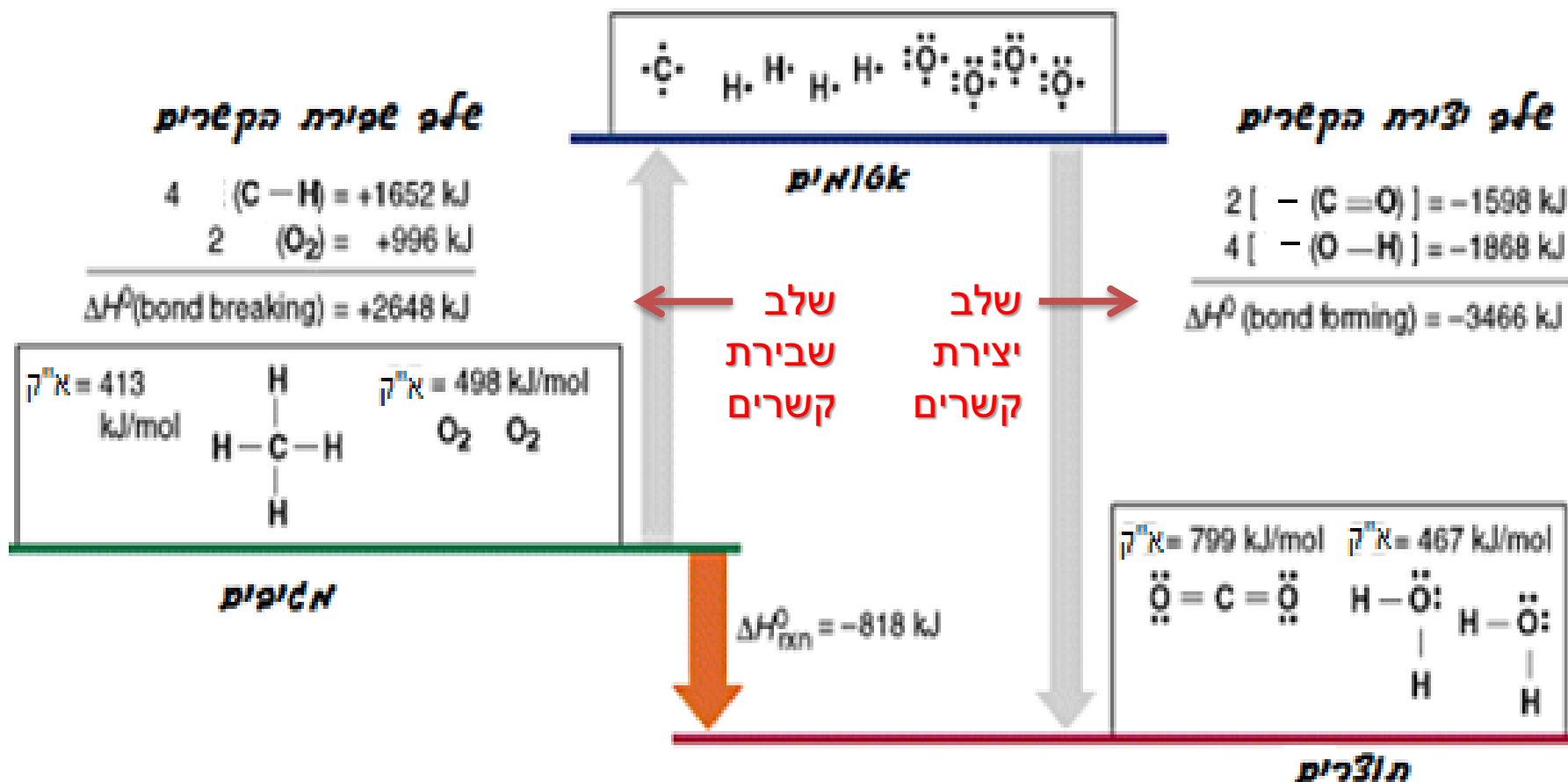
$$\therefore \Delta H = + 2786 + - 3466 = - 680 \text{ kJ/mol}$$

תצוגה גרפית של החישובים:



חישוב באמצעות אנרגיות קשר

תצוגה גרפית עבור תגובת השריפה של גז המתאן $\text{CH}_4(\text{g})$:



תרגלנו חישוב שינוי באנתלפיה באמצעות חוק הס 

למדנו ששלב שבירת הקשרים הוא שלב אנדותרמי 

למדנו ששלב בניית הקשרים הוא שלב אקסותרמי 

שיטות לחישוב השינוי באנתלפיה 

2. אנתלפיות קשר