

# פיזיקה 1 מכניקה

פרק 17 - חום והחוק הראשון של התרמודינמיקה

תוכן העניינים

1. חום טמפרטורה ואנרגיה פנימית ..... 1
2. קיבול חום ושיטת הקלורימטריה ..... 2
3. חום כמוס ..... 5
4. החוק הראשון וניתוח תהליכים פשוטים ..... 8
5. קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה ..... 14
6. הקשר בין לחץ ונפח בהתפשטות אדיאבטית ..... 15
7. הולכה הסעה וקרינה ..... 18
8. סיכום ..... 21

## חום סמפרטורה ואנרגיה פנימית:

### סיכום כללי:

| הערות                                     | תיאור                                                                                                                                                    | הנוסחה                             |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| האנרגיה הפנימית של הגז תלויה רק בטמפרטורה | אנרגיה פנימית של גז אידיאלי<br><u>מונואטומי</u><br>$n$ - מספר המולים<br>$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$<br>$T$ - טמפרטורה בקלווין | $E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nRT$ |
| תלויה רק בטמפרטורה                        | עבור גז אידיאלי <u>דו-אטומי</u>                                                                                                                          | $E_{\text{int}} = \frac{5}{2} nRT$ |

### שאלות:

#### (1) דוגמה - שורפים קלוריות

לאיזה גובה צריך לטפס אדם שמסתו 60 ק"ג בשביל לשרוף 100Cal (100kilocal)?

### תשובות סופיות:

(1) 700m

## קיבול חום ושיטת הקלורимטריה:

סיכום כללי:

| הערות | תיאור                             | הנוסחה           |
|-------|-----------------------------------|------------------|
|       | c - קיבול חום סגולי<br>ליחידת מסה | $Q = mc\Delta T$ |

| קיבול חום סגולי בטמפרטורה 20° ובלחץ 1 atm |               |                    |
|-------------------------------------------|---------------|--------------------|
| c [cal/g · °C]                            | c [J/kg · °C] | חומר               |
| 0.22                                      | 900           | אלומיניום          |
| 0.58                                      | 2400          | אלכוהול (אתילי)    |
| 0.093                                     | 390           | נחושת              |
| 0.20                                      | 840           | זכוכית             |
| 0.11                                      | 450           | ברזל / פלדה        |
| 0.031                                     | 130           | עופרת              |
| 0.21                                      | 860           | שיש                |
| 0.033                                     | 140           | כספית              |
| 0.056                                     | 230           | כסף                |
| 0.40                                      | 1700          | עץ                 |
| 0.50                                      | 2100          | קרח (-5°C)         |
| 1.00                                      | 4186          | מים נוזליים (15°C) |
| 0.48                                      | 2010          | קיטור (110°C)      |
| 0.83                                      | 3470          | גוף האדם (ממוצע)   |
| 0.40                                      | 1700          | חלבון              |

## שאלות:

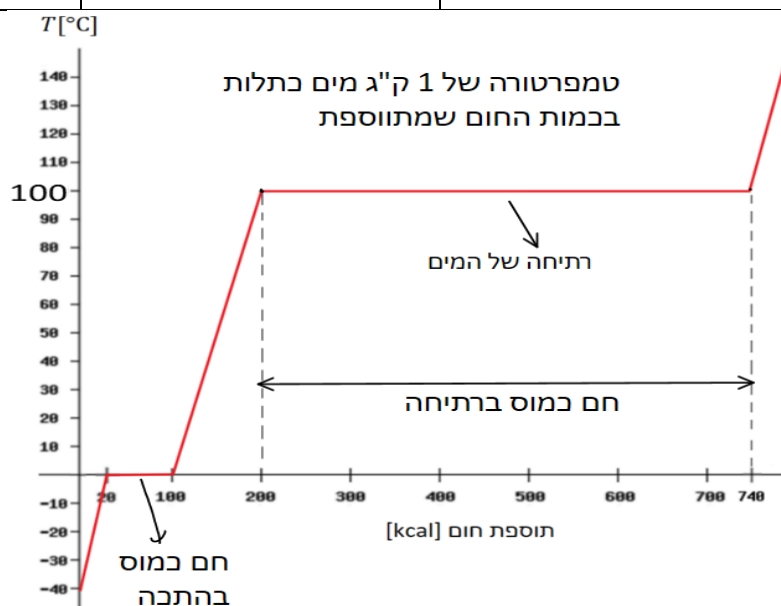
- (1) **דוגמה - מחממים ספל מים**  
 ספל מים שוקל 200 גרם ועשוי מזכוכית.  
 כמה חום דרוש בשביל לחמם את הספל מטמפרטורת החדר ( $20^{\circ}\text{C}$ ) ל-  $80^{\circ}\text{C}$  אם:  
 א. הספל ריק ממים.  
 ב. הספל מכיל 200 גרם מים (הנמצאים גם בטמפרטורת החדר בהתחלה).
- (2) **דוגמה - הקפה מתקרר**  
 מוזגים 200 סמ"ק קפה בטמפרטורה של  $90^{\circ}\text{C}$  לכוס זכוכית בעלת מסה של 150 גרם הנמצאת בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ .  
 מה תהיה טמפרטורת הקפה בכוס במצב שיווי משקל?  
 הנח כי המערכת מבודדת בקירוב.
- (3) **דוגמה - מציאת קיבול חום באמצעות קלורימטר**  
 נרצה למצא את קיבול החום של תרכובת מתכות חדשה.  
 מחממים 100 גרם מהתרכובת ל-  $500^{\circ}\text{C}$  ומעבירים אותה במהירות לתוך קלורימטר.  
 הקלורימטר מורכב ממיכל אלומיניום בעל מסה של 0.200kg המכיל 0.500kg מים  
 בטמפרטורה של  $22.4^{\circ}\text{C}$ . הטמפרטורה הסופית הנמדדת על ידי המדחום היא  $40.8^{\circ}\text{C}$ .  
 מהו קיבול החום הסגולי של התרכובת?  
 ניתן להזניח את החום שהולך למדחום והחום שיוצא מהבידוד.
- (4) **תרגיל וניסוי - קומקום מחמם מים**  
 קומקום חשמלי פועל בהספק של 1850 וואט.  
 כמה זמן ייקח לקומקום לחמם חצי ליטר של מים מטמפרטורה של  $22.2^{\circ}\text{C}$  ל-  $100^{\circ}\text{C}$ ?
- (5) **תרגיל וניסוי - קומקום מחמם מים - הפעם עם הקומקום**  
 המשך של התרגיל הראשון, גם הפעם נחמם חצי ליטר מים באותו הקומקום  
 (1850W) אבל הפעם לא נחמם את הקומקום לפני הניסוי ונחשב שוב, כמה זמן ייקח לחמם את המים?  
 טמפרטורת החדר היא  $21.9^{\circ}\text{C}$  מסת הקומקום היא 754 גרם ונניח כי הוא עשוי  
 נירוסטה וקיבול החום של נירוסטה הוא:  $500 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ .

**תשובות סופיות:**(1) א.  $10^4 \text{ J}$  ב.  $6 \cdot 10^4 \text{ J}$ (2)  $81^\circ \text{C}$ (3)  $911 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}}$ (4)  $90 \text{ sec}$ (5)  $100 \text{ sec}$

## חום כמוס:

### סיכום כללי:

| הערות                                                                                                         | תיאור            | הנוסחה          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| $L_F$ - חום כמוס להתכה<br>(מעבר ממוצק לנוזל או להיפך)<br>$L_V$ - חום כמוס לרתיחה<br>(מעבר מנוזל לגז או להיפך) | $L$ - החום הכמוס | $Q = m \cdot L$ |



| חומר    | נק' היתוך<br>(°C) | $L_f$ היתוך<br>(kJ/kg) | נק' רתיחה<br>(°C) | $L_v$ אידיאלי<br>(kJ/kg) |
|---------|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|
| חמצן    | -218.8            | 14                     | -183              | 210                      |
| חנקן    | -210.0            | 26                     | -195.8            | 200                      |
| אתנול   | -114              | 104                    | 78                | 850                      |
| אמוניה  | -117              | 33                     | -33.4             | 137                      |
| מים     | 0                 | 333                    | 100               | 2260                     |
| עופרת   | 327               | 25                     | 1750              | 870                      |
| כסף     | 961               | 88                     | 2193              | 2300                     |
| ברזל    | 1808              | 289                    | 3023              | 6340                     |
| טונגסטן | 3410              | 184                    | 5900              | 4800                     |

## שאלות:

## (1) דוגמה - קרח במים

מכניסים קוביית קרח בטמפרטורה של  $15^{\circ}\text{C}$  – ומסה של 300 גרם לתוך מיכל מים המכיל 1.5kg מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ .  
מה תהיה הטמפרטורה הסופית של התערובת?

## (2) דוגמה - מציאת חום כמוס של כספית

לוקחים 1kg כספית הנמצאת במצב מוצק ובטמפרטורת ההתכה שלה,  $39^{\circ}\text{C}$  –. מניחים את הכספית בתוך קלורימטר המורכב ממיכל אלומיניום במסה של 0.40kg ומכיל 0.47kg מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ .  
הכספית מותכת והטמפרטורה הסופית של התערובת היא  $12^{\circ}\text{C}$ .  
מהו החום הכמוס הסגולי הדרוש להתכת כספית?  
קיבול החום הסגולי של כספית במצב הנוזלי הוא:  $c = 140 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$ .

## (3) תרגיל וניסוי - מתי יגמרו המים בסיר

מחממים 400ml מים על הגז בסיר נירוסטה שמשקלו 177 גרם.  
מודדים את טמפרטורת המים פעם אחת ורואים שהיא  $60.0^{\circ}\text{C}$ .  
16.68 שניות לאחר מכן הטמפרטורה היא  $63.3^{\circ}\text{C}$ .  
א. מהו קצב מעבר החום למים?  
מחממים את המים עד לנקודת הרתיחה  $100^{\circ}\text{C}$ .  
ב. כמה זמן ייקח לכל המים בסיר להפוך לאדים?

## (4) רוכב אופניים

רוכב אופניים שותה 7 ליטר מים במהלך רכיבה של 3 שעות.  
נניח כי בקירוב כל האנרגיה של הרוכב הולכת לאידוי המים דרך זיעה.  
כמה אנרגיה בקילו-קלוריות השתמש הרוכב בנסיעה?  
(מכיוון שהיעילות של הגוף היא בערך 20% ההערכה שכל האנרגיה הולכת לחום היא לא רחוקה).

## (5) ברזל בקלורימטר

מחממים חתיכה של 300 גרם ברזל ל-180 מעלות צלזיוס ושמים אותה בקלורימטר העשוי ממיכל אלומיניום בעל מסה של 90 גרם שמכיל 285 גרם גליצרין ב-12 מעלות צלזיוס. הטמפרטורה הסופית של התערובת היא 38 מעלות צלזיוס.  
הערך מהו קיבול החום הסגולי של גליצרין.

**תשובות סופיות:**

**(1)**  $2^{\circ}\text{C}$

**(2)**  $11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

**(3)** א.  $300 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$  ב. בערך 40 דקות.

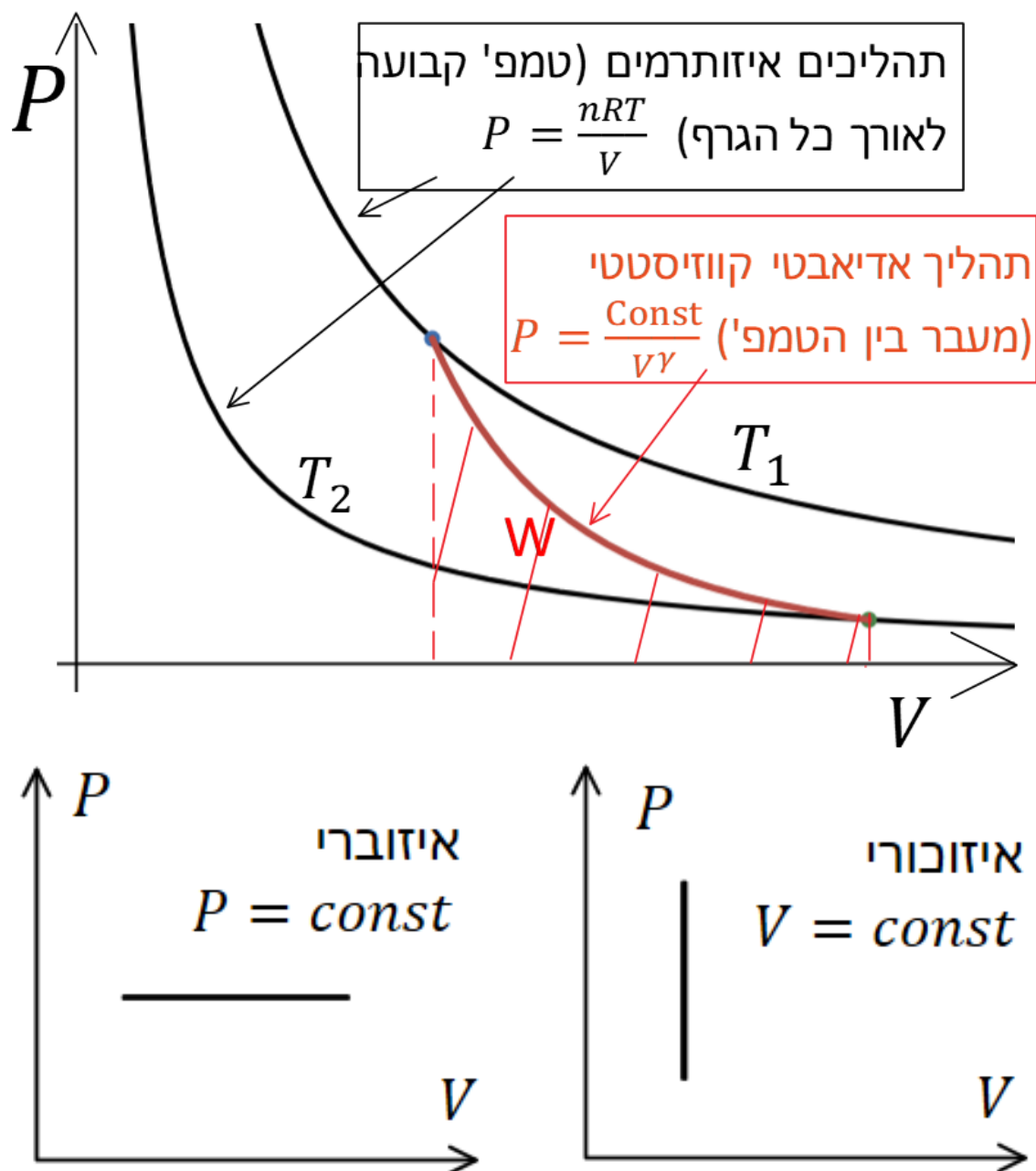
**(4)** 4500kcal

**(5)**  $2.3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

## החוק הראשון וניתוח תהליכים פשוטים:

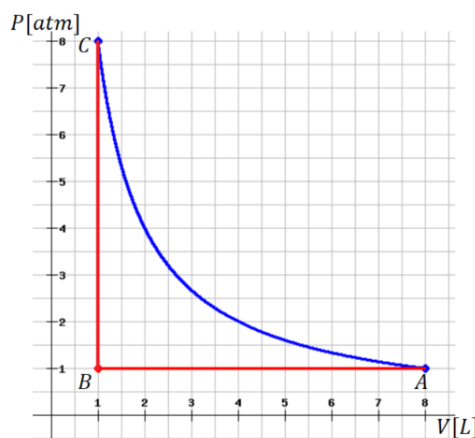
### סיכום כללי:

| הערות                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | תיאור                                                                                                      | הנוסחה                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <p>חום היא אנרגיה שעוברת רק בגלל הפרשי טמפרטורות. עבודה היא אנרגיה שעוברת מכל סיבה אחרת.</p> <p>אם המערכת מבצעת עבודה אז <math>W</math> יהיה חיובי ואם מתבצעת עבודה על המערכת אז <math>W</math> יהיה שלילי.</p> <p>אם חום נכנס למערכת אז <math>Q</math> חיובי ואם חום יוצא מהמערכת אז <math>Q</math> שלילי.</p> | החוק הראשון                                                                                                | $\Delta E_{\text{int}} = Q - W$                         |
| <p>כולל אנרגיה קינטית ופוטנציאלית של כל המערכת כגוף אחד (או של מרכז המסה שלה).</p> <p>בדרכ מתייחס למערכות מכניות כמו גופים קשיחים (אבן שנזרקת לדוגמה).</p>                                                                                                                                                      | חוק ראשון נוסחה מורחבת                                                                                     | $\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_{\text{int}} = Q - W$ |
| מתרחש כאשר המערכת צמודה למאגר חום גדול והתהליך הוא קוויזיסטטי (מאוד איטי).                                                                                                                                                                                                                                      | $T = \text{const}$<br>$Q = W, \Delta E_{\text{int}} = 0$                                                   | תהליך איזותרמי - טמפרטורה קבועה                         |
| מתרחש אם המערכת מבודדת או אם התהליך מהיר והחום לא מספיק לעבור.                                                                                                                                                                                                                                                  | $\Delta E_{\text{int}} = W$                                                                                | תהליך אדיאבטי - $Q = 0$                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                            | תהליך איזוברי (לחץ קבוע) ואיזוכורי (נפח קבוע)           |
| <p>חיובי כאשר הנפח גדל ושלילי כאשר הנפח קטן</p> <p>הנוסחה נכונה לגזים, נוזלים ולמוצקים</p>                                                                                                                                                                                                                      | <p><math>W</math> - עבודה שמבצעת המערכת על הסביבה</p> <p><math>P</math> - לחץ<br/><math>V</math> - נפח</p> | $W = \int P dV$                                         |
| אי אפשר לצייר התפשטות חופשית בדיאגרמת $P$ - $V$ מכיוון שמשתני המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות.                                                                                                                                                                                                                   | תהליך שבו גז מתפשט במרחב בצורה אדיאבטית ומבלי לעשות עבודה.                                                 | התפשטות חופשית - (free expansion)                       |



## שאלות:

- (1) **דוגמה - חוק ראשון**  
 מוסיפים למערכת 1500J של חום ועושים על המערכת עבודה של 1000J.  
 מה השינוי באנרגיה הפנימית של המערכת?
- (2) **דוגמה - אנרגיה קינטית לחום**  
 קליע במסה של 3.0 גרם חודר לתוך עץ במהירות של 300 מטר לשנייה.  
 כמה חום נוסף למערכת קליע ועץ?
- (3) **דוגמה - חישוב חום בתהליך איזוברי ואיזוכורי**  
 גז אידיאלי מתחיל מהמצב המתואר בנקודה A בגרף.  
 דוחסים את הגז בתהליך איזוברי עד לנקודה B ולאחר מכן מחממים את הגז בתהליך איזוכורי עד לנקודה C.  
 הגרף המחבר בין A ל-C הוא גרף איזותרמי.  
 א. מהי העבודה הכוללת שנעשתה בכל התהליך A עד C?  
 ב. מהו החום שנוסף לגז בכל התהליך?

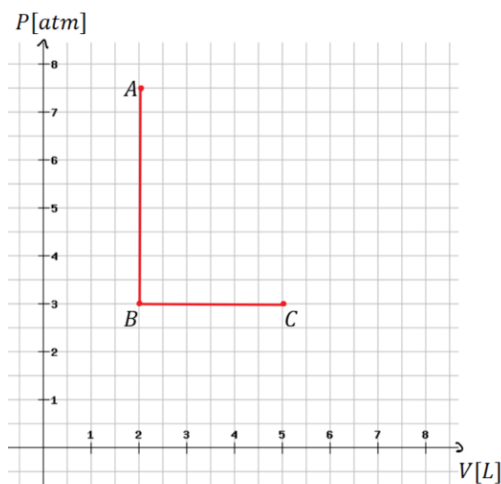


- (4) **דוגמה - עבודה של גז במנוע**  
 במנוע 0.4 מול של גז אידיאלי מונואטומי מתרחבים במהירות ובצורה אדיאבטית כנגד הבוכנה. בתהליך, הטמפרטורה של הגז יורדת מ-1100K ל-400K.  
 כמה עבודה ביצע הגז?
- (5) **מכונת בולמת**  
 מכונת במשקל 1300 ק"ג נוסעת במהירות 80 קמ"ש.  
 כמה חום נוצר במהלך הבלימה עד לעצירה מוחלטת?  
 רשמו את התשובה בגאול ובקילו קלוריות.

### 6) תהליך נפח קבוע ולחץ קבוע

גז אידיאלי עובר תהליך המורכב משני שלבים.  
בשלב הראשון, AB, בגרף, מאפשרים לחום לצאת מהגז תוך שמירה על נפח קבוע.  
כתוצאה מכך הלחץ של הגז יורד מ-7.5atm ל-3atm.  
בשלב השני, BC, הגז מתרחב בלחץ קבוע מנפח 2.0L לנפח 5.0L ובכך חוזר  
לטמפרטורה שהייתה לו בתחילת כל התהליך.  
חשבו את :

- העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז בתהליך.
- השינוי באנרגיה הפנימית של הגז.
- כמות החום הכוללת שיצאה או נכנסה לגז.



### 7) גז מתפשט איזותרמית

1.50 מולים של גז אידיאלי בנפח  $2.50\text{m}^3$  ובטמפרטורה  $280^\circ\text{K}$  מתפשטים  
איזותרמית עד לנפח  $5.00\text{m}^3$ .  
א. מהי העבודה שעושה הגז?  
ב. מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?  
ג. מהו החום שנוסף לגז?

### 8) גז מתפשט אדיאבטית

שניים וחצי מולים של גז אידיאלי מונואטומי מתפשטים אדיאבטית  
ומבצעים  $1.3 \cdot 10^4\text{ J}$  של עבודה בתהליך.  
מהו השינוי בטמפרטורה של הגז במהלך ההתפשטות?

**9) גז בתהליך ריבועי\***

גז אידיאלי עובר תהליך כפי שמתואר באיור, התהליך מתחיל במצב A ועושה סיבוב שלם עם השעון עד לחזרה למצב A.

בתהליך אחר שבו הגז עבר מהנקודה D לנקודה C בלחץ קבוע ידוע

$$\text{כי: } W_{D \rightarrow C} = 38 \text{ J}$$

בתהליך שלישי שהתרחש מהנקודה B לנקודה D ידוע כי:  $Q_{B \rightarrow D} = -85 \text{ J}$

$$\text{ו- } W_{B \rightarrow D} = -55 \text{ J (סוג התהליך לא ידוע).}$$

$$\text{כמו כן ידוע כי: } E_B - E_A = 15 \text{ J ו- } P_A = 2.2 P_D$$

כל התהליכים התרכשו על אותו הגז.

א. תאר במילים כל שלב בתהליך הראשי, מהו סוג התהליך, האם נעשתה

עבודה, האם האנרגיה הפנימית גדלה או קטנה, האם נכנס או יצא חום

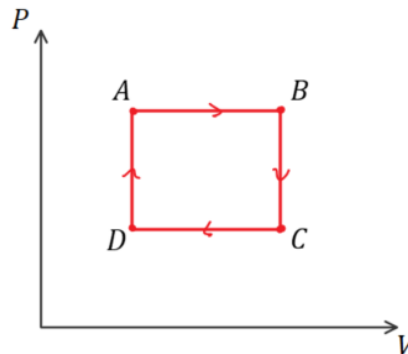
מהמערכת?

ב. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז?

ג. מהי הנצילות של התהליך?

נצילות היא העבודה הכוללת שנעשתה חלקי החום שהושקע

(כלומר נכנס לגז), כפול 100%.



## תשובות סופיות:

- (1) 2500J
- (2) 135J
- (3) א. -710J    ב. 710J
- (4) 3500J
- (5)  $Q = 3.2 \cdot 10^5 \text{ J} = 77 \text{ kcal}$
- (6) א. 910J    ב. 0    ג. 910J
- (7) א. 2420J    ב. 0    ג. 2420J
- (8)  $-0.042^\circ\text{K}$
- (9) א.  $A \rightarrow B$  - תהליך בלחץ קבוע, הגז עושה עבודה על הסביבה, האנרגיה הפנימית גדלה, נכנס חום למערכת.  
 B  $\rightarrow$  C - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית קטנה, חום יוצא מהמערכת.  
 C  $\rightarrow$  D - תהליך בלחץ קבוע, נעשית עבודה על הגז, האנרגיה הפנימית קטנה, חום יוצא מהמערכת.  
 D  $\rightarrow$  A - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית גדלה, חום נכנס למערכת.    ב. 46J    ג. 40%

## קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה:

### סיכום כללי:

| הערות | תיאור                                                                                            | הנוסחה                                       |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|       | $Q_P/Q_V$ - כמות החום שעוברת בתהליך בנפח/לחץ קבוע.<br>$C_P/C_V$ - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע (למול) | $Q_V = nC_V\Delta T$<br>$Q_P = nC_P\Delta T$ |
|       | $m_{mol}$ - מסה מולרית.<br>$c_P/c_V$ - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע (ליחידת מסה)                      | $C_V = m_{mol}c_V$<br>$C_P = m_{mol}c_P$     |
|       | ההפרש בין קיבול החום בלחץ קבוע לקיבול החום בנפח קבוע תמיד שווה לקבוע $R$                         | $C_P - C_V = R$                              |

### שאלות:

#### (1) אנשים מחממים אולם קולנוע

אולם קולנוע מכיל 1800 מקומות ישיבה. נפח האולם הוא:  $2.0 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ . בערב הבכורה של הסרט "תרגיל חם" האולם היה מלא ומערכת האוורור התקלקלה. בכמה מעלות תעלה הטמפרטורה במשך השעתיים של הקרנת הסרט אם אדם ממוצע פולט חום בקצב של 70 וואט. הנח שהאווריר הוא גז אידיאלי דואטומי וטמפרטורת החדר היא בערך  $20^\circ\text{C}$ .

#### (2) לחץ לינארי בטמפרטורה\*

גז אידיאלי דו אטומי מכיל 3.00 מולים בלחץ של 1.00 atm ובטמפרטורה של  $430^\circ\text{K}$ . הגז עובר תהליך שבו הלחץ שלו גדל לינארית עם הטמפרטורה. הטמפרטורה הסופית היא  $680^\circ\text{K}$  והלחץ הסופי הוא 1.80 atm. הנח שבכל התהליך יש 5 דרגות חופש פעילות.  
א. מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?  
ב. מהי העבודה שנעשתה על ידי הגז?  
ג. החום שנוסף לגז?

### תשובות סופיות:

(1)  $53^\circ\text{C}$

(2) א. 15600J ב. -1720J ג. 13900J

## הקשר בין לחץ ונפח בהתפשטות אדיאבטית:

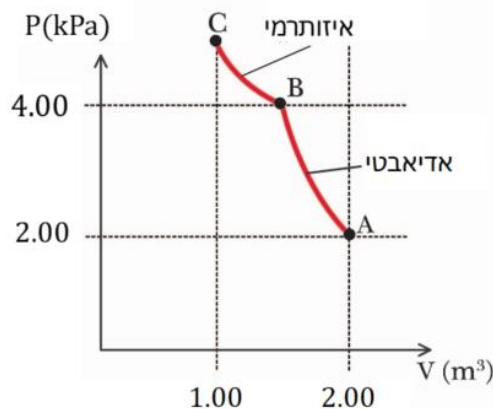
סיכום כללי:

| הערות | תיאור                                       | הנוסחה                            |
|-------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
|       | הקשר בין לחץ ונפח בתהליך אדיאבטי קוויזיסטטי | $P \cdot V^\gamma = \text{const}$ |

שאלות:

### (1) דוגמה - מכווצים גז אדיאבטית ואיזותרמית

גז אידיאלי מונואטומי עובר תהליך כפי שמתואר בגרף. התהליך מתחיל מהמצב A והגז עובר כיווץ אדיאבטי עד למצב B ומשם הוא מכווץ איזותרמית עד לנקודה C. נתון:  $P_A = 2.00 \text{ kPa}$ ,  $V_A = 2.00 \text{ m}^3$ ,  $P_B = 4.00 \text{ kPa}$ ,  $V_C = 1.00 \text{ m}^3$ .  
 א. מצא את  $V_B$  ו- $P_C$  אינם ידועים.  
 ב. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על הגז בתהליך?



### (2) לחץ וטמפרטורה בהתפשטות אדיאבטית

1.00 mol של גז מונואטומי אידיאלי בלחץ של 1.00 atm ובטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$  מתפשט אדיאבטית לנפח הגדול פי 2.25 מנפחו בהתחלה. מהם הלחץ והטמפרטורה הסופיים של הגז?

### (3) גז דו-אטומי מתפשט אדיאבטית

גז דו-אטומי מתפשט אדיאבטית. הטמפרטורה בהתחלה היא  $15^\circ\text{C}$  והטמפרטורה בסוף היא  $-25^\circ\text{C}$ . הנפח בהתחלה הוא:  $0.036 \text{ m}^3$ . מהו נפח הגז בסוף התהליך?

**(4) גז עובר תהליך בשלושה שלבים**

1.00mol של גז אידיאלי מונואטומי שנמצא בלחץ 1.00atm עובר את התהליך הבא:

שלב 1 - הגז מתפשט אדיאבטית מ-  $T_A = 578^\circ\text{K}$  עד ל-  $T_B = 388^\circ\text{K}$ .

שלב 2 - הגז נדחס בלחץ קבוע עד שהטמפרטורה שלו מגיעה ל-  $T_C$ .

שלב 3 - הגז חוזר לטמפרטורה והלחץ הראשוניים שלו בתהליך של נפח קבוע.

א. שרטטו את התהליך בדיאגרמת  $P - V$ .

ב. מהו  $T_C$ ?

ג. חשבו את השינוי באנרגיה הפנימית, את העבודה שביצע הגז ואת החום

שנוסף לגז בכל שלב בנפרד ובתהליך כולו.

**(5) צבר אוויר עולה בגובה \*\***

צבר אוויר הוא אוסף של מולקולות בעלי משתני מצב אחידים (לחץ וטמפ').

כשצבר אוויר עולה בגובה הוא משנה את הלחץ שלו בהתאם ללחץ של האוויר

$$\text{מסביבו, ולפי הנוסחה: } \frac{dP}{dy} = -\rho g$$

כאשר  $\rho$  הוא צפיפות המסה של הצבר והוא תלוי בגובה.

במהלך התנועה כלפי מעלה, הנפח גדל, ומכיוון שאוויר הוא מוליך חום גרוע

אפשר להניח שההתפשטות היא אדיאבטית.

א. הראה שעבור גז אידיאלי שעובר תהליך אדיאבטי:  $P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{const}$

ב. הראה כי הקשר בין הלחץ לטמפרטורה של הצבר נתון לפי

$$\text{הנוסחה: } (1 - \gamma)(-\rho g) + \gamma \frac{P}{T} \frac{dT}{dy} = 0$$

ג. הראה כי התלות של הטמפרטורה בגובה היא:  $\frac{dT}{dy} = \frac{1-\gamma}{\gamma} \frac{mg}{k}$ ,

כאשר  $m$  היא מסה ממוצעת של מולקולה ו- $k$  הוא קבוע בולצמן.

ד. בהינתן שאוויר הוא גז דו אטומי עם מסה ממוצעת של  $29u$ ,

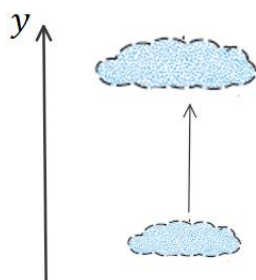
$$\text{הראה ש- } \frac{dT}{dy} = -9.8^\circ\text{C/k}$$

ה. בקליפורניה ישנם רוחות שמגיעות מההרים של מדבר סירה בנבדה.

גובה ההרים הוא כ-4000m. הרוחות מגיעות לעמק המוות שגובהו -100m,

ביחס לפני הים. אם טמפרטורת הרוח היא  $5^\circ\text{C}$  בהרים של נוודה מה תהיה

הטמפרטורה של הרוח בעמק?



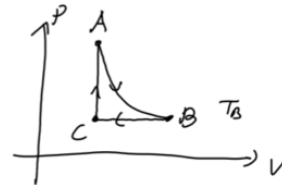
## תשובות סופיות:

(1) א.  $1.32 \cdot \text{m}^3$  ב.  $3.4 \cdot 10^3 \text{ J}$

(2)  $P = 0.258 \text{ atm}$ ,  $T = -103^\circ \text{C}$

(3)  $0.052 \text{ m}^3$

(4) א. ב.  $214^\circ \text{K}$



ג. שלב AB:  $Q = 0$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = -2370 \text{ J}$ ,  $W = 2370 \text{ J}$

שלב BC:  $Q = -2170 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = -2170 \text{ J}$ ,  $W = -1450 \text{ J}$

שלב CA:  $Q = 3030 \text{ J} = \Delta E_{\text{int}}$ ,  $W = 0$

כל התהליך:  $Q = 920 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = 0$ ,  $W = 920 \text{ J}$

(5) א. הוכחה. ב. הוכחה. ג. הוכחה. ד. הוכחה. ה.  $35^\circ \text{C}$

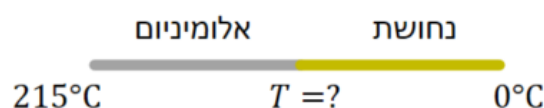
## הולכה הסעה וקרינה:

### סיכום כללי:

| הערות                                                                                                                                                                                                                   | תיאור                                                                                                                                                                                                                     | הנוסחה                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| אם אחד מהמשתנים אינו קבוע אז עוברים לנוסחה דיפרנציאלית<br>$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$ המינוס בנוסחה אומר שקצב הולכת החום הוא בכיוון הפוך לגרדיאנט הטמפרטורה (כלומר קצב הולכת החום הוא מהטמפרטורה הגבוהה לנמוכה) | $-\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ - קצב הולכת חום<br>$k$ - מוליכות תרמית - תלוי בסוג החומר, מופיע בטבלה.<br>$A$ - שטח חתך.<br>$l$ - אורך.                                                                                      | $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$                                       |
| $R$ גבוה אומר מבודד טוב. לשים לב ש- $R$ תלוי גם באורך של החומר ולא רק בסוג.                                                                                                                                             | R- value                                                                                                                                                                                                                  | $R = \frac{l}{k}$                                                                            |
| שימו לב שהקצב תלוי בטמפרטורה ברביעית.<br>$\epsilon$ - תכונה של פני הגוף שקורן בגופים שחורים (לדוגמה פחם)<br>$\epsilon \approx 1$ ,<br>במתכות מבריקות<br>$\epsilon \approx 0$                                            | משוואת סטפן בולצמן - קצב החום הנפלט מגוף ע"י קרינה.<br>$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ קבוע סטפן בולצמן.<br>$T$ - הטמפרטורה של הגוף הפולט.<br>$\epsilon$ - קירורן (אמיסיביות)<br>$0 < \epsilon < 1$ | $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$                                          |
| האמיסיביות זהה לקליטה ופליטה.<br>הקצב של קליטה קשור לטמפרטורה של הסביבה ברביעית.                                                                                                                                        | קצב קליטה של קרינה.<br>$T_2$ - הטמפרטורה של הסביבה.                                                                                                                                                                       | $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T_2^4$                                        |
|                                                                                                                                                                                                                         | הנטו של קצב פליטת הקרינה (פליטה פחות קליטה)<br>$T_1$ - הטמפרטורה של הגוף הפולט.<br>$T_2$ - הטמפרטורה של הסביבה.                                                                                                           | $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$                              |
| הקבוע הסולרי $1350 \frac{W}{m^2 \cdot s}$<br>האטמוספירה יכולה לספוג עד 70% מהקרינה.<br>ביום בהיר הקבוע בערך $1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}$                                                                                | כמות החום שסופג גוף כתוצאה מקרינת השמש ביום בהיר                                                                                                                                                                          | $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \left(1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}\right) \epsilon A \cos \theta$ |

## שאלות:

- (1) **דוגמה - איבוד חום דרך חלונות בבית**  
מקור רציני לאיבוד החום בבית הוא דרך החלונות.  
חשבו את קצב איבוד החום דרך חלון זכוכית בגודל  $1.0\text{m} \times 1.5\text{m}$  ועובי  $2.8\text{mm}$  אם הטמפרטורה בצד הפנימי של החלון היא  $18^\circ\text{C}$  ובצד החיצוני היא  $17^\circ\text{C}$ .
- (2) **דוגמה - קירור באמצעות קרינה**  
אדם יושב בחדר לובש בגד ים בלבד.  
הקירות של החדר נמצאים בטמפרטורה של  $15^\circ\text{C}$ .  
הערך את כמות החום שהאדם מאבד כתוצאה מקרינה.  
הנח שטמפרטורת העור היא בערך  $34^\circ\text{C}$  ו- $\varepsilon = 0.70$ .  
שטח הפנים של האדם שבמגע עם האוויר הוא:  $1.5\text{m}^2$ .
- (3) **דוגמה - הערך את הרדיוס של הכוכב ביטלגוס**  
כוכב הענק ביטלגוס פולט קרינה בקצב שהוא פי  $10^4$  גדול מהקצב של השמש שלנו.  
הטמפרטורה על פני הכוכב ביטלגוס היא בערך חצי מזו של השמש.  
הערך את הרדיוס של הכוכב אם  $\varepsilon = 1$  עבור השמש וביטלגוס ורדיוס השמש הוא:  $R_s = 7 \cdot 10^8\text{m}$ . הנוסחה לשטח פני כדור היא:  $4\pi R^2$ .
- (4) **מוט נחושת עם טמפרטורות שונות בקצוות**  
מוט נחושת באורך של  $42\text{cm}$  וקוטר  $2.6\text{cm}$  מוחזק בצד אחד בטמפרטורה של  $320^\circ\text{C}$  ובצידו השני המוט טבול במים בטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$ .  
חשבו את קצב מעבר החום במוט.
- (5) **מוט נחושת מחובר למוט אלומיניום**  
מוט נחושת מחובר בקצה למוט אלומיניום, שני המוטות בעלי אותו שטח חתך ואותו האורך. הקצה השני של האלומיניום נמצא בתוך תנור בטמפרטורה קבועה של  $215^\circ\text{C}$  והקצה השני של הנחושת נמצא בתוך קרח בטמפרטורה קבועה של  $0^\circ\text{C}$ .  
חשבו את הטמפרטורה בנקודת החיבור של המוטות.

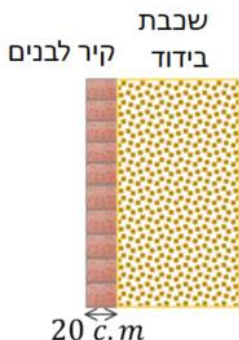


**(6) קרח נמס בצידנית**

ציידנית בגודל  $20\text{ c.m} \times 30\text{ c.m} \times 50\text{ c.m}$  עשויה מקלקר.  
 הקירות של הציידנית הן בעובי  $1.5\text{ c.m}$ . ממלאים את הציידנית בקרח ב- $0^{\circ}\text{C}$ .  
 כמה זמן ייקח לקרח להתמוסס אם הציידנית נמצאת בחדר בו הטמפרטורה היא  $32^{\circ}\text{C}$ ?  
 המוליכות התרמית של קלקר היא:  $0.033 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$  והצפיפות של קרח היא:  $9.17 \cdot 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**(7) קרח נמס בשמש**

כמה זמן לוקח לשמש להמיס קוביית קרח ביום בהיר אם הקרח נמצא בטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  וצורתו היא משטח ישר בגודל  $1.0\text{ m}^2$  ובעובי  $1.0\text{ c.m}$ .  
 הנח שהזווית של הקרניים עם האנך למשטח היא  $30^{\circ}$  והאמסיביות של הקרח היא  $0.050$ .

**(8) איבוד חום דרך קיר עם שכבת בידוד**

בידוד של קיר מורכב משכבה של לבנים ברוחב של  $20\text{ c.m}$  שצמודה לשכבת בידוד נוספת בעלת:  $\text{value} = 3 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}^{\circ}}{\text{J}} \cdot R$ .  
 מהו קצב החום המועבר אם השטח של הקיר הוא  $15\text{ m}^2$  והפרש הטמפרטורות הוא  $30^{\circ}\text{C}$ .

**תשובות סופיות:**

$$450 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \quad (1)$$

$$120 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \quad (2)$$

$$2.8 \cdot 10^{11} \text{ m} \quad (3)$$

$$140 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \quad (4)$$

$$74^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

$$\text{בערך } 58 \text{ שעות.} \quad (6)$$

$$\text{בערך } 20 \text{ שעות.} \quad (7)$$

$$140 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \quad (8)$$

## סיכום:

### טבלאות:

| קיבול חום סגולי (Specific Heats)<br>(ב $1 \text{ atm}$ ו- $20^\circ\text{C}$ אלא אם מצוין אחרת) |                                                                         |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Substance                                                                                       | Specific Heat, c                                                        |                               |
|                                                                                                 | kcal/kg $\cdot$ $^\circ\text{C}$<br>(= cal/g $\cdot$ $^\circ\text{C}$ ) | J/kg $\cdot$ $^\circ\text{C}$ |
| Aluminum                                                                                        | 0.22                                                                    | 900                           |
| Alcohol(ryhyl)                                                                                  | 0.58                                                                    | 2400                          |
| Copper                                                                                          | 0.093                                                                   | 390                           |
| Glass                                                                                           | 0.20                                                                    | 840                           |
| Iron or steel                                                                                   | 0.11                                                                    | 450                           |
| Lead                                                                                            | 0.031                                                                   | 130                           |
| Marble                                                                                          | 0.21                                                                    | 860                           |
| Mercury                                                                                         | 0.033                                                                   | 140                           |
| Silver                                                                                          | 0.056                                                                   | 230                           |
| Wood                                                                                            | 0.4                                                                     | 1700                          |
| Water                                                                                           |                                                                         |                               |
| Ice ( $-5^\circ\text{C}$ )                                                                      | 0.50                                                                    | 2100                          |
| Liquid ( $15^\circ\text{C}$ )                                                                   | 1.00                                                                    | 4186                          |
| Steam ( $110^\circ\text{C}$ )                                                                   | 0.48                                                                    | 2010                          |
| Human body (average)                                                                            | 0.83                                                                    | 3470                          |
| Protein                                                                                         | 0.4                                                                     | 1700                          |

| חום במום (בלחץ של $1 \text{ atm}$ ) |                                       |                |       |                                       |                      |       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------|---------------------------------------|----------------------|-------|
| Substance                           | Melting Point<br>( $^\circ\text{C}$ ) | Heat of Fusion |       | Boiling Point<br>( $^\circ\text{C}$ ) | Heat of Vaporization |       |
|                                     |                                       | kcal/kg*       | kJ/kg |                                       | kcal/kg*             | kJ/kg |
| Oxygen                              | -218.8                                | 3.3            | 14    | -183                                  | 51                   | 210   |
| Nitrogen                            | -210.0                                | 6.1            | 26    | -195.8                                | 48                   | 200   |
| Ethyl alcohol                       | -114                                  | 25             | 104   | 78                                    | 204                  | 850   |
| Ammonia                             | -117                                  | 8.0            | 33    | -33.4                                 | 33                   | 137   |
| Water                               | 0                                     | 79.7           | 333   | 100                                   | 539                  | 2260  |
| Lead                                | 327                                   | 5.9            | 25    | 1750                                  | 208                  | 870   |
| Silver                              | 961                                   | 21             | 88    | 2193                                  | 558                  | 2300  |
| Iron                                | 1808                                  | 69.1           | 289   | 3023                                  | 1520                 | 6340  |
| Tungsten                            | 3410                                  | 44             | 184   | 5900                                  | 1150                 | 4800  |

| קיבול חום של גזים ב 15°C |                                         |       |                                               |       |                                      |                            |
|--------------------------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-------|--------------------------------------|----------------------------|
| Gas                      | Specific heats<br>( $kcal/kg \cdot K$ ) |       | Molar specific heats<br>( $cal/mol \cdot K$ ) |       | $C_V - C_P$<br>( $cal/mol \cdot K$ ) | $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ |
|                          | $c_V$                                   | $c_P$ | $C_V$                                         | $C_P$ |                                      |                            |
| Monoatomic               |                                         |       |                                               |       |                                      |                            |
| He                       | 0.75                                    | 1.15  | 2.98                                          | 4.97  | 1.99                                 | 1.67                       |
| Ne                       | 0.148                                   | 0.246 | 2.98                                          | 4.97  | 1.99                                 | 1.67                       |
| Diatomic                 |                                         |       |                                               |       |                                      |                            |
| $N_2$                    | 0.177                                   | 0.248 | 4.96                                          | 6.95  | 1.99                                 | 1.40                       |
| $O_2$                    | 0.155                                   | 0.218 | 5.04                                          | 7.03  | 2.00                                 | 1.40                       |
| Triatomic                |                                         |       |                                               |       |                                      |                            |
| $CO_2$                   | 0.153                                   | 0.199 | 6.80                                          | 8.82  | 2.03                                 | 1.30                       |
| $H_2O$ (100°C)           | 0.350                                   | 0.482 | 6.20                                          | 8.20  | 2.00                                 | 1.32                       |

| מוליכויות תרמיות |                           |                        |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| Substance        | Thermal Conductivity, k   |                        |
|                  | kcal<br>( $s.m.C^\circ$ ) | J<br>( $s.m.C^\circ$ ) |
| Silver           | $10 \times 10^{-2}$       | 420                    |
| Copper           | $9.2 \times 10^{-2}$      | 380                    |
| Aluminum         | $5.0 \times 10^{-2}$      | 200                    |
| Steel            | $1.1 \times 10^{-2}$      | 40                     |
| Ice              | $5 \times 10^{-4}$        | 2                      |
| Glass            | $2.0 \times 10^{-4}$      | 0.84                   |
| Brick            | $2.0 \times 10^{-4}$      | 0.84                   |
| Concrete         | $2.0 \times 10^{-4}$      | 0.84                   |
| Water            | $1.4 \times 10^{-4}$      | 0.56                   |
| Human tissue     | $0.5 \times 10^{-4}$      | 0.2                    |
| Wood             | $0.3 \times 10^{-4}$      | 0.1                    |
| Fiberglass       | $0.12 \times 10^{-4}$     | 0.048                  |
| Cork             | $0.1 \times 10^{-4}$      | 0.042                  |
| Wood             | $0.1 \times 10^{-4}$      | 0.040                  |
| Goose down       | $0.06 \times 10^{-4}$     | 0.025                  |
| Polyurethane     | $0.06 \times 10^{-4}$     | 0.024                  |
| Air              | $0.055 \times 10^{-4}$    | 0.023                  |