

יחידה רביעית בכימיה תרמודינמיקה וקינטיקה



מרדכי וזהבה ליבנה*

הקדמה

ולעומת זאת, עקרונות היסוד הם הבסיס להבנת תכנים חדשים גם בעתיד. עם זאת, התכנית מעודדת לעשות זאת בדרך שאיננה הקניית ידע גרידא, אלא בדרך פתוחה יותר, מסקרנת ומושכת לתלמידים".

לפני כשנתיים התחלנו בכתיבת היחידה בשיתוף עם ד"ר צחי מילגרום ממכללת הדסה בירושלים. כמו כן מייעצים לנו באופן שוטף אוטיליה רוזנברג (תיכון ה"ראשונים" הרצליה ומ"מ מפמ"ר בחלק מתשס"ח) ופרופ' פיטר אטקינס מאוניברסיטת אוקספורד בבריטניה. לפני מספר חודשים הסתיימה כתיבת הטיטה הראשונה, והוראת היחידה הרביעית בכיתות ניסוי צפויה להתחיל בשנת תשס"ט.

תרמודינמיקה נחשבת לאחד מן הנושאים הקשים ללימוד ולהוראה בכל הרמות, והיה עלינו לפיכך לתת את הדעת על כך. נראה לנו שהקשיים נובעים בעיקר מן הסיבות הבאות:

א. מונחי היסוד (אנרגיה פנימית, אנטלפיה, חום, עבודה, אנטרופיה, אנרגיה חופשית וכו') נחשבים מושגים מופשטים וקשים להבנה, כוללים פיתוחים מתמטיים רבים ולפעמים כוללים גם תפיסות שגויות.

ב. אין די המחשות וניסויים.

ג. הנושא "יבש", "משעמם" (רייטינג נמוך), ולכאורה אינו נמצא בחזית המדע המודרני.

בסקר שערכנו, בעיקר בשנה האחרונה, בקרב כ-100 מורים שלימדו את הנושא בעבר בארץ ובחו"ל ומורים נוספים, התברר כי לחלק ניכר מהם תפיסות שגויות בנושאים ומושגים מתחום התרמודינמיקה. נודה כי גם

במסגרת הסילבוס החדש בכימיה החליטה ועדת המקצוע שהיחידה הרביעית בכימיה תעסוק בתרמודינמיקה וקינטיקה, ותהיה זו יחידת חובה לתלמידים שיבחרו להיבחן ב-5 יחידות בכימיה. כמו כן נקבע שהוראת היחידה הרביעית תהיה בגישת "מבנה הדעת" (בשונה מהגישה הלימודית הקיימת בשלוש היחידות הראשונות). על גישת מבנה הדעת (בהשוואה לגישת האוריינות הכימית) נכתב כך:

"גישת האוריינות הכימית באה, כאמור, לידי ביטוי בתכנית הלימודים בהיקף של יחידת הלימוד הראשונה ובחלק מהתכנית בהיקף של שלוש יחידות לימוד. לעומת זאת, תכנית הלימודים בהיקף של חמש יחידות לימוד, המיועדת למתמחים, הולמת את הפרדיגמה של מבנה הדעת וכוללת נושאים חשובים וחדשים מתוך ענפים מרכזיים בתחום-הדעת של הכימיה. אכן, השינויים וההתקדמות בתחום-הדעת כימיה מעודדים תוספת של "עוד ועוד מדע" לתכנית הלימודים.

התכנית בהיקף חמש יחידות לימוד פותחה במגמה להכשיר את הלומדים לעתיד עתיר טכנולוגיה ובו מידע המשתנה כל העת. לכן הושם הדגש על עקרונות היסוד של הכימיה כחלק מהותי ממבנה הדעת שלה, עקרונות החיוניים להבנת התכנים העתידיים. הרי אין טעם בלימוד היבט תוכני עדכני בידיעה שהוא עשוי להשתנות בקרוב,

*ד"ר מרדכי ליבנה, המחלקה לכימיה, אוניברסיטת בר-אילן וזהבה ליבנה, בי"ס ממ"ד יבנה חולון.



לנו היו כאלה בבואנו לכתוב את היחידה.

כדוגמה לתפיסה שגויה נפוצה, נצטט כאן קטע מהמסמך של ועדת המקצוע, המתייחס לתוכני היחידה הרביעית החדשה בתרמודינמיקה. וכך נכתב שם:

"...בהיבט האנרגיה, ההסברים מדגישים כי שינויים בחומר מלווים בשינויי אנרגיה, מחד גיסא, וכי שינויי אנרגיה יכולים לגרום לשינוי בהרכב החומר ובמבנהו, מאידך גיסא.

שינויים אלה, הן במבנה החומר והן באנרגיה, חלים כתוצאה מ"נטיית" היקום לאנטרופיה מרבית, ובמקרים רבים מ"נטיית" מערכות להגיע למצב של אנרגיה מזערית. ההסברים ידגישו את ההסתברות לקיומו של מצב מסוים ואת ההסתברות להתרחשותה או אי-התרחשותה של תגובה מסוימת".

המשפט המודגש הוא בוודאי טעות מדעית, ועל אף שיתכן שהדברים נכתבו בהיסח הדעת או ללא מחשבה שנייה, ייתכן מאד שמדובר כאן בתפיסה שגויה. אגב, את הקביעה ש"בטבע יש למערכות שתי נטיות טבעיות סותרות: מחד גיסא נטייה להגדלת אי הסדר (אנטרופיה), ומאידך גיסא נטייה להגיע למינימום באנרגיה", שמענו יותר מפעם אחת ממורים לכימיה.

מכל זה נובע שצריכים היינו, כמענה לקושי א', להקפיד מאד תוך כדי כתיבת הספר, על דיוק רב בהגדרות היסוד ובמושגים המיוחדים של התרמודינמיקה, ולהעמיק את הדיון בחוקי התרמודינמיקה הבסיסיים (שהם למעשה חוקי הטבע היסודיים ביותר שעל פיהם מתנהל העולם). כמו כן צריכים היינו ללוות את כל אלה בניסויים ובדוגמאות לזווניות מחיי היום יום (מענה לקשיים ב' וג').

הספר על תרמודינמיקה וקינטיקה כולל חמישה פרקים:

1. הקדמה וחזרה על מושגי יסוד
2. החוק הראשון של התרמודינמיקה
3. החוק השני של התרמודינמיקה
4. אנרגיה חופשית
5. קינטיקה כימית

ההבדלים העיקריים בין פרקים אלה לבין מה שנלמד כיום בנושא התרמודינמיקה הם כדלקמן:

1. בסילבוס החדש "ירד" הנושא אלקטרוכימיה.

בכל זאת אנו מציעים למורים להראות לתלמידים ניסויים באלקטרוכימיה בסיסית (תא דניאל לעומת אלקטרוליזה) ולקשור אותם לספונטניות ואי-ספונטניות של תגובות. אנו מחשבים לדוגמה את השינוי באנרגיה החופשית עבור תהליך של פירוק מים למימן וחמצן (לא ספונטני), ואת השינוי באנרגיה החופשית עבור התהליך הספונטני של יצירת מים ממימן וחמצן ("תא דלק" שבו מופקת אנרגיה "ירוקה").

2. דגש רב (יותר מבעבר) מושם ביחידה החדשה על החוק הראשון של התרמודינמיקה, המנוסח במונחים של "עבודה" ו"חום" (ראו בהמשך).
3. לסילבוס נוסף פרק חדש: קינטיקה, שלא נלמד בבתי הספר התיכוניים מזה עשרות שנים.

הפרקים השלישי והרביעי הם במתכונת דומה למתכונת הנלמדת כיום.

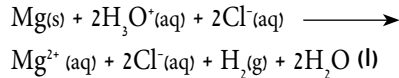
למרות שאין מדובר בשינויים רבים (תרמודינמיקה היא תרמודינמיקה), אנו מוצאים חשש אצל המורים מן היחידה החדשה ומהעומס הרב הנוסף שתטיל עליהם. גם אם חשש זה מוצדק במידת מה, אנו ננסה להפיג אותו באמצעות השתלמויות מתאימות, שבהן ננסה לשכנע את המורים בחשיבותה של היחידה וגם ננסה לחבב את היחידה על המורים (ובאמצעותם גם על התלמידים).

מטבע הדברים המאמר הנוכחי אינו יכול להתייחס או להציג את כל פרקי הספר ולפיכך נצמצם את הכתוב בהמשך לשני המושגים המרכזיים בפרק השני, העוסק כאמור בחוק הראשון של התרמודינמיקה: "עבודה" ו"חום" וכך נדגים את רוחה המיוחדת של המבנית.

I. הצגת המושגים עבודה וחום כשתי צורות העברה של אנרגיה

הבנה מלאה של המונחים "עבודה" ו"חום" היא תנאי עיקרי להבנה יסודית של חוקי התרמודינמיקה (הראשון והשני). בהנחה שבבואם ללמוד תרמודינמיקה ביחידה הרביעית, התלמידים כבר מבינים את המושגים: "חום", "חומי תגובה" ואת ההבדל בין "חום" ל"טמפרטורה", (אלה מטופלים בהרחבה ביחידה השלישית), נותר לנו לברר כאן היטב את המשמעות הפיזיקלית של "עבודה" בכימיה, ואת יחסי הגומלין בינה לבין "חום". נעשה זאת כאן בקיצור. נתחיל בהבהרת המונח "אנרגיה".

ניסוח יוני של התגובה:



מבצעים את הניסוי בשני אופנים:

א. בכלי סגור בלחץ קבוע. בראשו של כלי התגובה ישנה משקולת היכולה לנוע פנימה או החוצה כתוצאה מלחץ שמופעל עליה (תמונה 1). במקרה זה, חלק מהאנרגיה המשתחררת בתגובה עובר לסביבה בצורת חום וחלק אחר בצורת עבודה. לחץ גז המימן שנוצר בתגובה דוחף את המשקולת כלפי מעלה, ומבצע תוך כדי כך עבודה על הסביבה. העבודה מתבצעת נגד הלחץ החיצוני וכובד המשקולת. בתום התגובה יש למערכת אנרגיה (פוטנציאלית) גדולה יותר מזו שהיתה לה במצב ההתחלתי – לפני ביצוע התגובה.

ב. בכלי סגור בעל נפח קבוע (כאשר המשקולת קבועה ואינה יכולה לנוע). במקרה זה כל האנרגיה המשתחררת בתגובה עוברת לסביבה בצורת חום.



תמונה 1

אם נמדוד את הטמפרטורה במערכת בשני המקרים (לפני שהאנרגיה המשתחררת בתגובה בצורת חום מתפזרת לסביבה), נמצא שבמקרה ב' עליית הטמפרטורה גדולה יותר.

II. עבודה וחום ברמה המולקולרית

לאחר הסבר המושגים עבודה וחום ברמת ה"מקרו", אנו עוברים לדיון במושגים אלו ברמת ה"מיקרו".

עבודה: $\int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ אנרגיה הנדרשת לגנוע מכוון \mathbf{e} חלקיקים בגוף הסביבה (תמונה 2).

חום: $\int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ אנרגיה הנדרשת לגנוע מכוון \mathbf{e} חלקיקים בסביבה (תמונה 2).

האנרגיה הכוללת שגוף כלשהו אוצר בתוכו, מורכבת משני סוגים:

- אנרגיה קינטית, E_K .
- אנרגיה פוטנציאלית, E_P .

אנרגיה קינטית נובעת מתנועה של גופים. לגוף בעל מסה m ומהירות v יש אנרגיה קינטית השווה ל:

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

לגוף שמסתו 1 ק"ג הנע במהירות של 1 מטר לשנייה, אנרגיה קינטית של בערך 0.5J.

אנרגיה פוטנציאלית היא אנרגיה הקשורה למיקום של גופים. לגוף בעל מסה m הנמצא בגובה h מעל פני כדור הארץ יש אנרגיה פוטנציאלית השווה ל:

$$E_P = m \cdot g \cdot h$$

כאשר g היא תאוצת הכובד: $9.8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}$.

אנרגיה יכולה **לעבור** מגוף לגוף (או ממערכת לסביבה או להיפך) באחת משתי צורות:

- על ידי עבודה, w .
- על ידי חום, q (חימום).

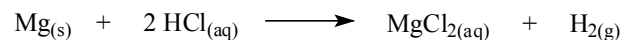
עבודה, היא הפעלת כוח למרחק מסוים. מערכת מבצעת עבודה על הסביבה כאשר היא פועלת נגד כוח חיצוני. למשל, כאשר מרימים גוף לגובה, מתבצעת עבודה נגד כוח הכובד.

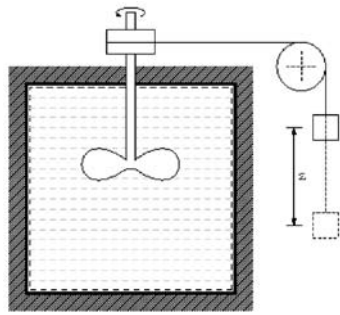
חימום הוא תהליך של העברת אנרגיה מגוף בעל טמפרטורה גבוהה לגוף אחר הנמצא בטמפרטורה נמוכה יותר (הגוף הקר מתחמם). חום הוא לפיכך צורה של מעבר אנרגיה המתרחש כתוצאה מהבדלי טמפרטורה בין שני גופים (או בין מערכת לסביבה). העברת האנרגיה בצורת חום מתבצעת תוך כדי התנגשויות בין חלקיקי שני הגופים או בין חלקיקי החומר לחלקיקי הסביבה.

חשוב מאד להבין ולזכור שעבודה וחום אינן צורות של אנרגיה אלא **דרכים שונות של העברת האנרגיה בטבע**.

ניתן לתאר את שתי הצורות הנ"ל של העברת אנרגיה בניסוי שבו מגיב מגנזיום עם חומצת מלח, $\text{HCl}_{(\text{aq})}$. בתגובה זו משתחרר גז מימן.

ניסוח "מולקולרי" של התגובה





ב



א

תמונה 3 צד ימין: הירידה באנרגיה הפוטנציאלית של המשקולת מתורגמת לעבודת בחישה באמבט המים. טמפרטורת המים באמבט עולה וכך ניתן להראות ש"עבודה" הופכת ל"חום".



תמונה 4 מפלי האיגואסו במפגש הגבולות של ברזיל-ארגנטינה-פרגוואי. טמפרטורת המים בתחתית המפל גבוהה מעט מהטמפרטורה בראשו.

דוגמה נוספת של הפיכת עבודה לחום ניתן להביא מקומקום חשמלי. בלשון לא מדעית אפשר לומר שאלקטרונים "נדחפים" בצורה מסודרת לכיוון אחד בגלל מפל מתח (כוח למרחק) והעבודה (החשמלית) המתבצעת עקב כך, עוברת למים בצורת חום וגורמת לעליית הטמפרטורה בהם.

ועוד דוגמה מעניינת: במהלך ההיסטוריה הפיקו בני האדם אש ואור בצורות שונות. החל מסוף המאה ה-19 ועד אמצע המאה ה-20, ניתן היה למצוא בקטלוגים מדעיים מתקן שנקרא: Fire syringe (בוכנת אש, תמונה 5).



תמונה 5 fire syringe (בוכנת אש)

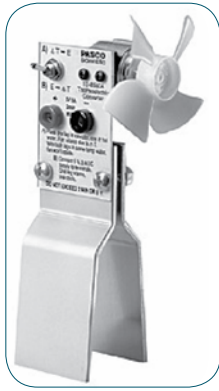
תמונה 2: המחשה של העברת אנרגיה בצורת עבודה ובצורת חום ממערכת לסביבה

פיזור בלתי אחיד זה של האנרגיה העוברת כחום נעשה על ידי התנגשויות של חלקיקי מערכת עם חלקיקי סביבה. האנרגיה הקינטית של החלקיקים שאליהם מועברת האנרגיה עולה, והדבר בא לידי ביטוי בעליית הטמפרטורה.

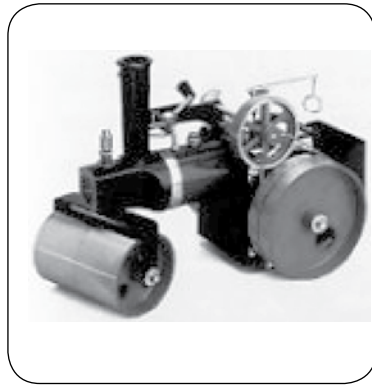
מעניין לציין שההבדל ברמה המולקולרית בין עבודה לחום כפי שתואר להלן, בא לידי ביטוי גם בהתפתחות השימוש הטכנולוגי שנעשה בהם במהלך ההיסטוריה של ההתפתחות הטכנולוגית. השימוש הישיר באנרגיה המועברת כחום בתהליכי שריפה הוא פשוט יחסית ובלתי מתוחכם, ואולי עקב כך ידוע משחרר האנושות. לעומת זאת, קבלת אנרגיה בצורת עבודה מתהליכי שריפה היא מורכבת יותר. כאן כבר יש לגרום למספר רב של אטומים לנוע בצורה אחידה לאותו כיוון ולכך הגיעה האנושות רק כמה אלפי שנים מאוחר יותר. הטבע כמובן "חכם" יותר מאיתנו. בגופנו "נשרפים" סוכרים ושומנים בתגובות אקזותרמיות ומספקים לגוף באופן כזה אנרגיה בצורת חום. חלק מאנרגיה זו הגוף יודע להפוך לעבודה מכנית, הבאה לידי ביטוי בפעולות כגון: הליכה, בעיטה, אכילה, חשיבה וכדומה.

III. הפיכת "עבודה" ל"חום"

מכיוון שעבודה וחום הן שתי צורות העברה של אנרגיה, קל להבין שאם גוף כלשהו מבצע עבודה על גוף אחר (מעביר לו אנרגיה בצורת עבודה), חלקיקי הגוף השני יכולים לקלוט את האנרגיה גם בצורת חום. כלומר החלקיקים לא ינועו בצורה מאורגנת לכיוון אחד, והדבר יתבטא בעליית טמפרטורה. כך קבע ג'יימס ג'אול (1818-1889) שהטמפרטורה בתחתית מפל גבוהה יותר מאשר בראשו (ואף בדק את הדבר במפלי הניאגרה בעת ששהה במקום עם אשתו בירח הדבש שלהם).



תמונה 8



תמונה 7

מנוע סטירלינג פועל במעגל תרמודינמי המורכב מהשלבים הבאים: חימום-התפשטות-קירור-דחיסה. האוויר בחלק התחתון של המנוע מתחמם על ידי כף היד, מתפשט ודוחף עקב כך את גליל הקלקר כלפי מעלה. בינתיים הבוכנה עולה עם גליל הקלקר והגלגל מסתובב. תוך כדי סיבוב הגלגל, יורדת הבוכנה שוב למטה ואתה גליל הקלקר, והאוויר נדחס עקב כך. המעגל התרמודינמי ממשיך כל עוד קיים הפרש טמפרטורות בין שני הקצוות של המתקן. מבחינה עקרונית, כאמור, האנרגיה שמועברת מן היד כחום, הפכה לעבודה (תנועת גליל הקלקר ואחר כך תנועת הגלגל).

גם במנועי קיטור שבהם השתמשו רבות בזמן המהפכה התעשייתית אנו מוצאים את המעבר הזה מחום לעבודה. לא ניכנס כאן לפרטי הפעלת המנוע, רק נציין שמבחינה עקרונית התהליך הופך, על ידי חימום, מים לקיטור. הקיטור דוחף בוכנה, ובהעברת תנועה מתאימה ניתן להניע באופן כזה רכבות, ספינות ומכשבים, כגון זה המתואר בציור.

הממיר התרמואלקטרי המתואר בתמונה 8 מנצל גם הוא אנרגיה העוברת כחום מזרוע אחת שלו לזרוע השנייה. מעבר זה מתבצע ללא מגע בין הזרועות, כאשר זרוע אחת טובלה במים חמים והאחרת במים קרים. כולנו (כולל תלמידינו) יודעים שכאשר גוף בטמפרטורה גבוהה נמצא במגע עם גוף שני בטמפרטורה נמוכה יותר, מתרחש מעבר חום מהגוף ה"חם" לגוף ה"קר". מסתבר שמעבר החום מתרחש גם אם שני הגופים המתוארים אינם נמצאים במגע ישיר. במקרה זה, של מעבר חום עקיף, קיימת אפשרות להפעיל "בדרך" את המאוורר המחובר למנוע

לתוך המתקן המתואר בציור מכניסים פיסת צמר גפן שעברה ניטרציה (צלולוז ניטראט) או ראש של גפרור ודוחפים במהירות את הבוכנה פנימה. עבודת הדחיסה של הגז הופכת עקב כך לחום, הטמפרטורה עולה באופן משמעותי ופיסת צמר הגפן או ראש הגפרור נדלקים מיד. על עיקרון זה של הפיכת "עבודה" ל"חום" פועל מנגנון ההצתה במנועי דיזל.

IV. הפיכת "חום" ל"עבודה"

מעבר זה של אנרגיה בצורת חום לעבודה הוא מרכזי בחיי היום-יום שלנו. כבר הזכרנו את הדוגמה של גוף האדם שהופך "חום" ל"עבודה". תהליכים דומים מבחינה עקרונית מתרחשים בפעולת מנוע של מכונית, חללית או רכבת קיטור. הבעיה כאן (או האתגר) היא להפיק ככל שניתן יותר עבודה מהאנרגיה שאנו מפיקים כ"חום". בעניין זה אנו מוגבלים על ידי החוק השני של התרמודינמיקה שקובע כי **אי אפשר להפוך בשלמות חום לעבודה**. ההבדלים בין חום לעבודה ברמה המולקולרית מבהירים חוק זה היטב. אפשר להעביר רק חלק מן התנועה האקראית של חלקיקים (חום) לצורך קבלת תנועה מאורגנת של חלקיקים אחרים (עבודה).

ה"חום" שאותו מייצרת האנושות ושאותו רוצים להפוך ל"עבודה", מגיע בעיקר מתהליכי שריפה של פחם ודלקים. המכונות ההופכות אנרגיה בצורת חום לעבודה נקראות "מכונות חום", והן נמצאות סביבנו כל הזמן, על אף שלא תמיד אנו מודעים לכך (בעיקר אם לא למדנו תרמודינמיקה או פיזיקה).

ניתן להדגים מעבר זה של אנרגיה בצורת חום לעבודה על ידי מספר "צעצועים מדעיים" שנציג כאן. בין אלה ניתן למצוא למשל מנוע סטירלינג, כלי תחבורה מיניאטוריים הפועלים על מנועי קיטור וממיר תרמואלקטרי.



תמונה 6



חשמלי קטן. כלומר, מעבר החום הופך כאן, בסופו של דבר, לעבודה (מזכיר תא אלקטרוכימי).

V. אנרגיה פנימית והחוק הראשון של התרמודינמיקה

לסך כל האנרגיה האצורה במערכת כלשהי אנו קוראים **אנרגיה פנימית** וסימנה הוא U . האנרגיה הפנימית של מערכת כלשהי היא סכום האנרגיות, הקינטית והפוטנציאלית, של כל החלקיקים שבמערכת (אטומים, מולקולות, יונים). כאשר מועברת אנרגיה מהסביבה אל המערכת (בצורת חום או בצורת עבודה, או בשתי הצורות יחד), האנרגיה מתווספת אל האנרגיה הפנימית הקיימת של המערכת. כאשר המערכת מעבירה לסביבה אנרגיה בצורת חום או בצורת עבודה, האנרגיה הפנימית שלה יורדת. שינויים אלה באנרגיה הפנימית של מערכת, ניתנים למדידה.

האנרגיה הפנימית של כל מערכת תלויה בעיקר בטמפרטורה שבה נמצאת המערכת (וגם בלחץ, כאשר מדובר בגזים). האנרגיה הפנימית U היא **תכונה אקסטנסיבית**, כלומר תכונה שתלויה בכמות החומר. כך לדוגמה, האנרגיה הפנימית של 100 גרם קרח, $H_2O_{(s)}$ בתנאי תקן, כפולה מן האנרגיה הפנימית של 50 גרם קרח באותם תנאים.

באופן מעשי אי אפשר למדוד (וממילא אי אפשר לדעת) את הערך המוחלט של האנרגיה הפנימית של מערכת כלשהי. זאת מכיוון שהאנרגיה הפנימית היא כאמור סכום כלל האנרגיות (פוטנציאלית וקינטית) של כל חלקיקי המערכת. מסיבה זאת הדיון בתרמודינמיקה מתייחס לשינוי שחל באנרגיה הפנימית, ΔU .

האנרגיה הפנימית היא **פונקצית מצב**, כלומר הדרך שבה מגיעים אליה אינה חשובה. הדבר משול לטיפוס על הר. ניתן להגיע לפיסגת ההר בכמה שבילים, אך הפרשי הגובה בין הפסגה לנקודת ההתחלה - קבוע, ללא תלות בשביל שבו מטפסים. על פי עיקרון זה ניתן לכתוב את המשוואה הבאה:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

U_i ו- U_f הן האנרגיה הפנימית הסופית והאנרגיה הפנימית ההתחלתית של המגיבים והתוצרים. את השינוי באנרגיה הפנימית, ΔU ניתן גם לבטא באמצעות המשוואה הבאה:

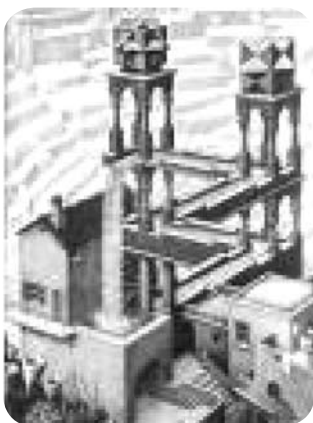
$$\Delta U = q + w$$

במשוואה זו q מציין את האנרגיה המועברת מהסביבה אל המערכת, או מהמערכת אל הסביבה, בצורת חום. w מציין את האנרגיה המועברת מהסביבה אל המערכת, או מהמערכת אל הסביבה, בצורת עבודה. האנרגיה הפנימית של המערכת תגדל כאשר בסיכום הסופי מועברת אליה אנרגיה מן הסביבה ($\Delta U > 0$), ותקטן כאשר בסיכום הסופי אנרגיה עוברת ממנה אל הסביבה ($\Delta U < 0$).

מכך נובע שבמערכת **מבודדת** (שבה לא מתאפשרים חילופי אנרגיה עם הסביבה), האנרגיה הפנימית קבועה ואינה משתנה לעולם. זהו הבסיס לניסוח הבא של **החוק הראשון של התרמודינמיקה**:

האנרגיה הפנימית U של מערכת סגורה היא קבועה
 $\Delta U = 0$ כאשר מערכת סגורה

מהחוק הראשון נובע שניתן לשנות את האנרגיה הפנימית של מערכת אך ורק על ידי חילופי אנרגיה בינה לבין הסביבה, והדבר יכול להתרחש רק במערכת **לא מבודדת**. העדות הניסויית לנכונותו של החוק הראשון מתקבלת רק בדרך השלילה. מעולם לא הומצאה מכונה שיכולה לעבוד לנצח ("פרפטום מובילה"), בלי שתושקע בה אנרגיה חיצונית כלשהי. הדבר יכול לקרות רק באגדות (או כתעתוע בציור של הצייר ההולנדי Escher, תמונה 9).



תמונה 9

יצירת אנרגיה פוטנציאלית "יש מאין". המים נראים זורמים ממקום גבוה למקום נמוך בגלל כוח הכובד. אך אם מתבוננים היטב בתמונה, מבחינים שהמים נמצאים למעשה באותו מפלס.

ב-11 בנובמבר העלה חבר הכנסת יוסי שריד הצעה לדיון בכנסת בנושא "מקורות האנרגיה שהודיע עליהם השר מרידור". שריד תקף בלעג מושחז את מרידור וכינה אותו בין השאר: "מר פנטזיה, מר תמהוני ואולי יותר מזה:" "האם מישהו מכם יכול באמת ובתמים להישבע בינו לבין עצמו שלא עולה לנגד עינינו בעצם הימים האלו ממש, קמה ומזדקרת דמות משכמה ומעלה, גבוהה מכל העם, אולי דמות שמזכירה לנו עוד דמות אגדית שנחרטה בלוח הלאומי שלנו, ואני מתכוון לדמותו של מוישה ונטילטור, ואם אמנם כך, האם אנחנו לא נרצה באחד הימים להנציח ולרשום גם את דמותו של יעקב מרידור באותו לוח שבו נרשם מוישה ונטילטור, ונקרא לו 'יעקב בוילר'?" בין השאר ציטט שריד מ"שיר הפטנטים" של אורי זוהר, על המצאת "התריס הזו":

"התריס הזה נותן שלוש מינים של צלליות
התריס הזה שובר קרניים אולטרה-סגוליות
לא מדינה נידחת, לא עסק מפוקפק
הארץ מתפתחת בצעדי ענק,
זה עסק יסודי, מספיק עם סנטימנטים
הראש היהודי ממציא לנו פטנטים".

ובהקשרים שבין המדע ליום-יום, נזכיר כאן בקצרה את הסיפור שהסעיר את המדינה בשנת 1981 שממנו ניתן אולי ללמוד מה קורה לשר בממשלה שאינו מבין את החוק הראשון של התרמודינמיקה (כימיה ועיתונות).

ב-28 ביוני 1981, ערב הבחירות לכנסת העשירית, התראיין לרשתות הרדיו יעקב מרידור, מבכירי המועמדים ברשימת הליכוד, והודיע כי בידי מדען העובד עמו עלה להמציא מתקן לייצור אנרגיה המתבסס על תהליך כימי, בעל יעילות ותפוקה בלתי רגילות. להמחשת אופיה של ההמצאה, "מהפכה עולמית שעדיין לא ניתן לתפוס אותה", אמר למראיינת: "זה כאילו לקחת נורה רגילה של בית ואת מאירה במנורה הזאת עיר שלמה כמו רמת גן". בזיכרון הקולקטיבי הישראלי שובש המשפט והפך להבטחה לנורה שתאיר את כל רמת גן.

על יעילות ההמצאה אמר: "ב-23 קילו קלוריות מייצרים 17 אלף קילו קלוריות. זה כאילו לקחת את הנורה של 150, או 100, או 50 ואט, נורה רגילה של בית ואת מאירה בנורה הזאת, בכוח האנרגיה שהנורה הזאת מייצרת, את מאירה עיר שלמה כמו רמת גן".



הציפור השותה

ונסיים בחידה: בתמונה 10 מתוארת "הציפור השותה" (drinking bird) שהיא מעין צעצוע לילדים (גם למבוגרים). כאשר מכופפים את ראש הציפור לתוך כוס מים היא מתחילה לנוע הלוך ושוב בתנועה בלתי נפסקת. לכאורה על ידי השקעת מעט אנרגיה ראשונית (בכיוון ראש הציפור לתוך כוס המים) יוצרים כאן תנועה מתמדת (perpetuum mobile). זה איננו אפשרי כמובן. אז מהו ההסבר לתנועה המתמדת כאן?

