

הבנת מושגים באנרגיה באמצעות מפת מושגים

תמי יחיאלי

אנרגיה - מהי?

"אנרגיה" היא מילה יוונית שמשמעותה המקורית היא "פעולה". במשמעותה המודרנית היא מייצגת מושג מופשט שניתן באמצעותו להסביר תהליכים שונים ומגוונים המתרחשים בטבע, כגון: גוף נופל, נר בוער, נורה נדלקת, קולט שמש מתחמם, כוס תה חמה מתקררת ועוד ועוד. תהליכים אלו שונים מאוד זה מזה ומעורבים בהם גורמים שונים לחלוטין, ואף על פי כן ניתן לתאר את כולם ולהסביר את ההבדל בין המצב של מערכת כלשהי בתחילת התהליך לבין המצב של אותה מערכת בסוף התהליך, באמצעות המושג "אנרגיה". כלומר, המושג "אנרגיה" מאפשר לאחד תופעות שונות ותהליכים שונים תחת קורת גג מושגית אחת ולהסבירם.

בהקשרים שונים נוהגים לדבר על "סוגים" שונים של אנרגיה, לדוגמה: אנרגיה קינטית, אנרגיה פוטנציאלית, אנרגיית אור, אנרגיית קול, אנרגיה כימית ועוד כל ה"סוגים" הללו הם מופעים שונים של אותה ישות מופשטת ואותו מושג המכונים בשם "אנרגיה".

הערה:

בתהליכים שונים מתרחשים שינויים בסוגי האנרגיה השונים, ולכן אין משמעות להתייחס לאנרגיה המסוימת של גוף מסוים, אלא לשינוי החל בסוג האנרגיה כתוצאה משינוי שחל בגוף או בחומר. אף על פי כן, כדי לא לסרב לאת המפה, מוצגים בה סוגי אנרגיה ולא שינויים בסוגי האנרגיה.

הקדמה

מפות מושגים הן מארגן גרפי להצגת תחום ידע מסוים, צר או רחב. המפה מכילה מושגים המוצגים בדרך כלל בתוך תיבות, ומילים המקשרות ביניהם וכתובות על חיצים. את מפות המושגים הציעו Novak & Gowin (1984) כאמצעי להגברת הלמידה המשמעותית של מושגים ולייצוג ידע של תלמידים. מאז, נעשה בהם שימוש רחב בהקשרים שונים ובתחומים שונים. רעיון מיפוי המושגים מעוגן בתיאוריות קונסטרוקטיביסטיות של למידה, לפיהן כדי שתתרחש למידה משמעותית, על הלומד לבנות באופן פעיל את הידע שלו (לדוגמה: ברוקס וברוקס, 1997; יחיאלי, תשס"ח 2008).¹

במאמר זה ייעשה ניסיון להציג היבטים מסוימים של המושג "אנרגיה" באמצעות מפת מושגים. המושג "אנרגיה" כולל בתוכו מושגים רבים ומתקשר למושגים רבים נוספים, ולכן אי אפשר להציג את כולם במפת מושגים אחת. כדי להקל ולפשט את הבנת המושגים מתחום האנרגיה בהם עוסק מאמר זה, תוצג המפה בהדרגה ולבסוף תוצג המפה השלמה.

מפת המושגים בנושא "אנרגיה" מיועדת לכל מי שהנושא מעניין אותו, ובמיוחד להעשרת הידע המדעי של מורי מדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים. המפה אינה מיועדת לתלמידי חטיבת הביניים, אך ניתן לגזור ממנה מפות חלקיות העשויות לשמש ככלי להוראת המושג "אנרגיה" בחטיבת הביניים.

ד"ר תמי יחיאלי, מרצה להוראת המדעים, מכללה ירושלים.

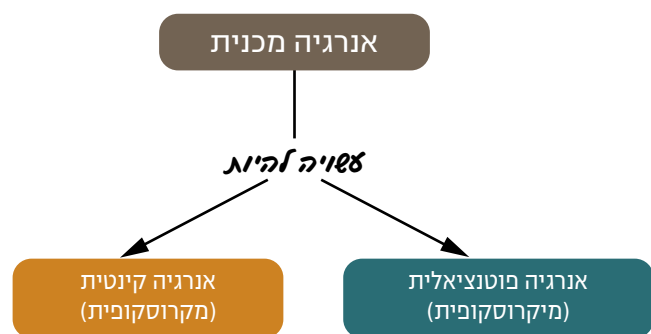
1 יש סוגים רבים של מפות מושגים. מפת המושגים המופיעה במאמר זה מבוססת על סוג מפות המושגים שפיתחו Novak & Gowin (1984), בה כל שני מושגים והמילים הכתובות על החץ המקשר אותם, צריכים להוות משפט בעל משמעות. למידע נוסף על מפות מושגים ראו [כאן](#) נדלה ב 15.3.2012



נהוג לכנות את האנרגיה המקרוסקופית - האנרגיה המיוחסת לגוף כולו - בשם "אנרגיה מכנית" (Mechanical Energy), ואילו את האנרגיה המיוחסת לצבר החלקיקים שמהם החומר מורכב מכנים "אנרגיה פנימית" (Internal Energy).

אנרגיה מכנית

נתיב תחילה באנרגיה המכנית. כפי שאנו רואים במפה שבאיור 3, נהוג לחלק את האנרגיה המכנית לשני סוגים: אנרגיה פוטנציאלית ואנרגיה קינטית.



איור 3: שני הסוגים של האנרגיה המכנית - אנרגיה פוטנציאלית ואנרגיה קינטית

אנרגיה קינטית

ניתן לייחס אנרגיה קינטית לכל גוף שנע. גודלה של האנרגיה הקינטית תלוי במסת הגוף (ככל שלגוף שנע יש מסה גדולה יותר - תהיה האנרגיה הקינטית שלו גדולה יותר) ובצורה חזקה יותר - במהירות הגוף (ככל שריבוע המהירות של הגוף גדול יותר - מייחסים לו אנרגיה קינטית גבוהה יותר).

הביטוי המתמטי לאנרגיה הקינטית הוא:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

(כאשר m היא מסת הגוף ו- v היא מהירות הגוף). חשוב לשים לב שמדובר באנרגיה קינטית של גופים מקרוסקופיים (שולחן, אדם, מכונת, רוח, מפל וכדומה).

לגוף שאינו נע יחסית לכדור הארץ - אין אנרגיה קינטית מקרוסקופית. מבחינה היסטורית הראשון שהבין את החשיבות של מכפלת המסה בריבוע המהירות היה גוטפריד לייבניץ, שהגה בסוף המאה ה-17 את המושג ויס ויוה ("כוח חי"), אולם

אנרגיה - היבט מקרוסקופי והיבט מיקרוסקופי

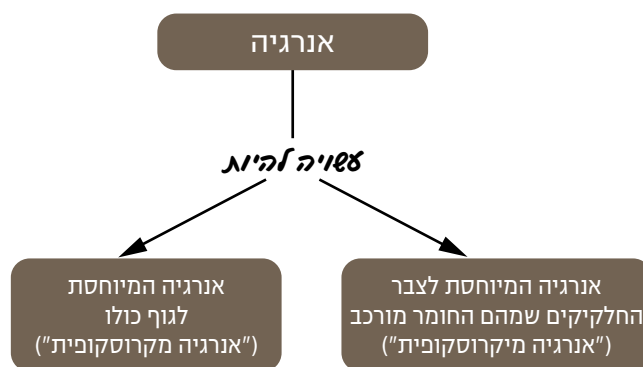
מטרתה של מפת המושגים שבה עוסק מאמר זה היא להציג את "סוגי" האנרגיה ואת הקשרים ביניהם.

נהוג להבחין בין תופעות המתרחשות בטבע, שאותן ניתן לקלוט באמצעות החושים, ובין ההסברים המדעיים לתופעות אלו.

המודל המקובל להסבר מבנה החומרים ותופעות הקשורות לחומרים, הוא המודל החלקיקי של החומר, שלפיו ניתן להסביר את כל התופעות המתרחשות בטבע באמצעות הרעיון שלפיו החומר בנוי מחלקיקים שביניהם יש ריק. החלקיקים נמצאים בתנועה מתמדת, וביניהם פועלים כוחות.

עולם התופעות יכונה במאמר זה בשם "העולם המקרוסקופי", ועולם ההסברים על פי המודל החלקיקי של החומר יכונה בשם "העולם המיקרוסקופי".

לאור זאת גם המושג "אנרגיה" ממוין להיבט מקרוסקופי ולהיבט מיקרוסקופי. מן ההיבט המקרוסקופי האנרגיה מיוחסת לגוף מקרוסקופי (כגון: שולחן, אדם, מכונת, כדור ועוד) בשל היותו תחת השפעה של כוח או בשל תנועתו (כפי שנראה בהמשך). האנרגיה מן ההיבט המיקרוסקופי שלה מיוחסת לצבר החלקיקים (מולקולות ואטומים) שמהם החומר מורכב. לא לכל גוף יש אנרגיה מקרוסקופית (לדוגמה: שולחן העומד על רצפה. אם אנו מתייחסים לרצפה כאל נקודת הייחוס - הרי לשולחן אין אנרגיה פוטנציאלית יחסית לרצפה; ואם השולחן אינו בתנועה יחסית לרצפה - ממילא גם אין לו אנרגיה קינטית), לעומת זאת, לכל גוף ניתן לייחס אנרגיה מיקרוסקופית, כפי שנראה בהמשך.

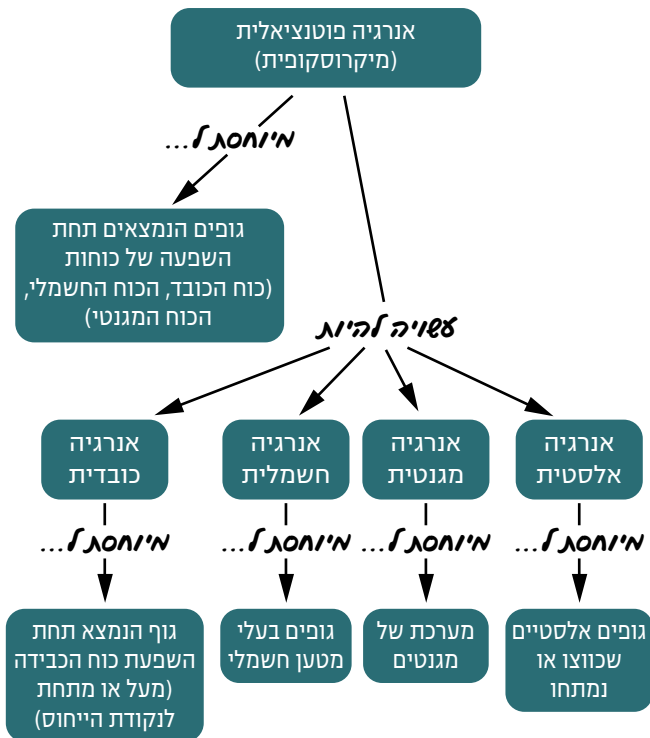


איור 2: שני ההיבטים של האנרגיה - אנרגיה מקרוסקופית ואנרגיה מיקרוסקופית



(כאשר m היא מסת הגוף, g הוא תאוצת הכובד ו- h הוא הגוף אליו הורם הגוף יחסית לנקודת הייחוס).

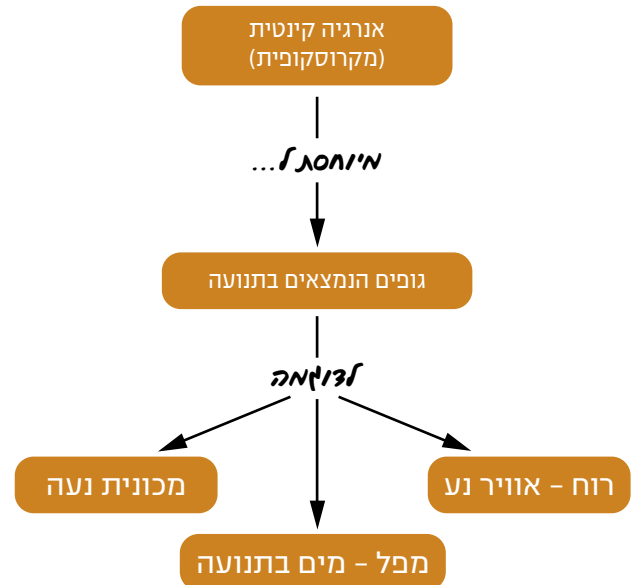
הראשון שקישר בין הגודל $\frac{1}{2}mv^2$ לאנרגיה היה תומאס יאנג (בשנת 1807).



איור 5: אנרגיה פוטנציאלית מקרוסקופית

המילה "פוטנציאלית" בתוך המונח "אנרגיה פוטנציאלית" רומזת שאנרגיה פוטנציאלית היא אינה אנרגיה הבאה לידי ביטוי וקיים בה פוטנציאל ההתבטאות). כדי לממש את הפוטנציאל הזה - על האנרגיה הפוטנציאלית להפוך לאנרגיה קינטית. בדוגמה של הגוף המורם - הרי אם יתאפשר לגוף ליפול בחזרה למקומו הקודם, האנרגיה הכובדית שלו תהפוך בשל תנועתו לאנרגיה קינטית, וכאשר יגיע חזרה לאדמה - לא יהיה עוד בעל אנרגיה כובדית.

ניתן לייחס אנרגיה פוטנציאלית גם לגופים שעליהם נעשתה עבודה על ידי הכוח החשמלי. אמנם יש כוח אלקטרו-מגנטי אחד, אולם מטעמי נוחות נהוג להבחין בין 3 סוגי אנרגיה פוטנציאלית חשמלית: 1. אנרגיה חשמלית; 2. אנרגיה מגנטית; 3. אנרגיה אלסטית.



איור 4: אנרגיה קינטית מקרוסקופית

אנרגיה פוטנציאלית

אנרגיה פוטנציאלית היא האנרגיה שבפיזיקה נוהגים לייחס לגופים שכוח פועל עליהם לאורך דרך מסוימת, כלומר, כאשר נעשית עליהם עבודה במובן הפיזיקלי של המילה.

מנקודת מבט פיזיקלית, פועלים בעולם המקרוסקופי רק שני סוגי כוחות: כוח הכבידה והכוח החשמלי, ולכן את האנרגיה הפוטנציאלית המקרוסקופית ניתן לייחס לגופים הנמצאים תחת אחד משני כוחות אלו.

הסוג המוכר ביותר של אנרגיה פוטנציאלית הוא אנרגיה פוטנציאלית כובדית (המכונה גם בשם אנרגיה כובדית, אנרגיה גרביטציונית ואנרגיית גובה. אנו נשתמש במאמר זה בשם "אנרגיה כובדית").

אם גוף מועלה מהאדמה (המשמשת במקרה זה כנקודת ייחוס) לגובה מסוים - נעשית עליו עבודה כנגד כוח הכובד, וניתן לייחס לו אנרגיה כובדית יחסית לנקודת הייחוס.

הביטוי המתמטי לאנרגיה הכובדית הוא:

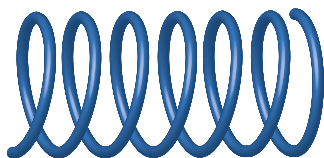
$$E_p = mgh$$



איור 8: אנרגיה פוטנציאלית שאפשר לייחס למערכת של שני מגנטים שקוטביהם זהים פונים זה כלפי זה

ניתן לייחס למערכת זו אנרגיה פוטנציאלית מגנטית שכן אם נעזוב את שני המגנטים - הם יתרחקו זה מזה (כלומר, האנרגיה הפוטנציאלית המגנטית תהפוך לאנרגיה קינטית).

3. אנרגיה פוטנציאלית אלסטית ניתן לייחס לגוף המגלה תכונות של קפיץ. מקורה של אנרגיה זו הוא בכוחות חשמליים פנימיים שבין חלקיקי מוצק.



איור 9: לגוף קפיצי מיוחסת אנרגיה פוטנציאלית אלסטית

כאשר קפיץ נמתח או נדחס ומוחזק - ניתן לייחס לו אנרגיה פוטנציאלית אלסטית שכן אם ישחררו אותו מהאחיזה שלו - הוא ינוע.

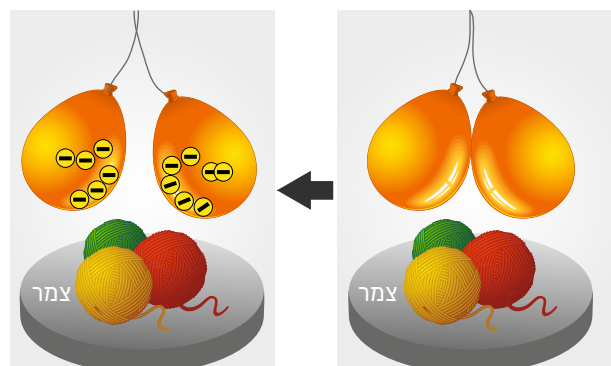
לסיכום:

בחלק זה הוצגו הסוגים המקרוסקופיים של האנרגיה. סיכום סוגי האנרגיה המקרוסקופית מוצג באיור 10.

הערות:

1. אנרגית קול גם היא סוג של אנרגיה מכנית. ראו התייחסות לאנרגיית קול בעמוד 46 להלן.
2. במפת המושגים הכללית המופיעה בסוף המאמר מופיעים בתחום העולם המקרוסקופי מושגים נוספים: טמפרטורה, חום, קרינה, עבודה וחיסום, קיבול חום סגולי וחום כמוס - אבל אין הם סוגי אנרגיה שניתן לייחס אותם לגופים או לחומרים. מושגים אלו יוצגו בהמשך.

1. את האנרגיה החשמלית ניתן לייחס למערכת של גופים טעונים חשמל², לדוגמה: באיור 6 מצוירים שני בלונים ששופשפו בצמר, והם תלויים על חוטים ומוחזקים במקומם. ניתן לייחס למערכת זו אנרגיה פוטנציאלית חשמלית, כי אם נעזוב את הבלונים, הם יתרחקו זה מזה כי הם בעלי מטענים חשמליים זהים.



איור 6: אנרגיה פוטנציאלית חשמלית הגורמת לבלונים להתרחק זה מזה. הדמית התהליך ניתנת לצפייה באתר "סוגרים מעגל" של מט"ח

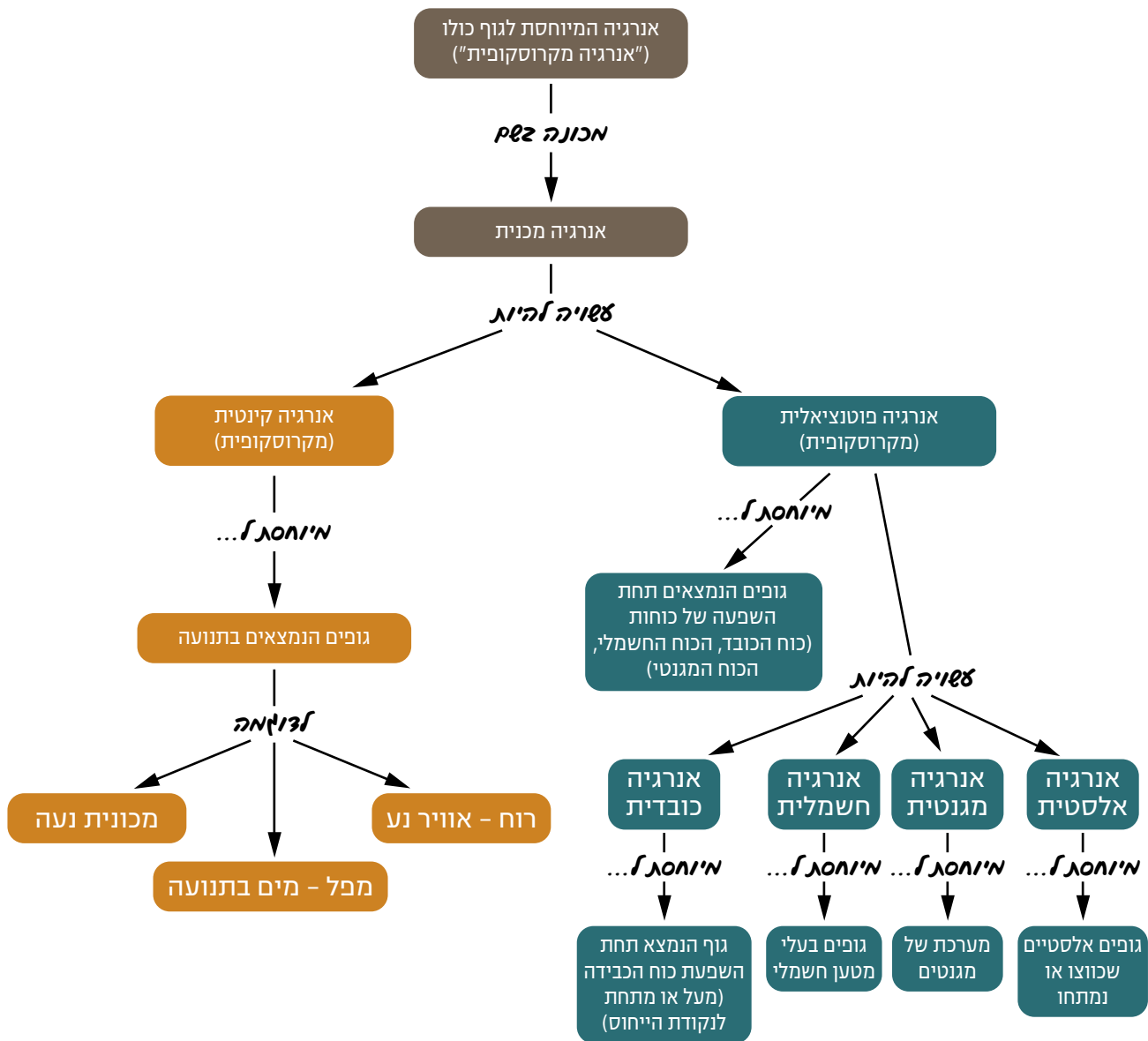
2. את האנרגיה הפוטנציאלית והמגנטית ניתן לייחס למערכת של מגנטים, לדוגמה: 2 מגנטים המונחים על שולחן ומוחזקים כאשר הקטבים המנוגדים פונים זה אל זה (איור 7).



איור 7: אנרגיה פוטנציאלית הניתנת לייחוס למערכת של שני מגנטים שקוטביהם המנוגדים פונים זה כלפי זה

ניתן לייחס למערכת זו אנרגיה פוטנציאלית מגנטית, שכן אם נעזוב את שני המגנטים - הם ינועו זה כלפי זה (כלומר, האנרגיה הפוטנציאלית המגנטית תהפוך לאנרגיה קינטית). הוא הדין בשני מגנטים המונחים על השולחן כאשר קטבים זהים פונים זה לזה (איור 8).

2 בפזיקה נהוג להבחין בין אנרגיה פוטנציאלית אלקטרוסטטית שהיא האנרגיה הפוטנציאלית של מטענים במנוחה, לבין אנרגיה פוטנציאלית אלקטרודינמית שהיא אנרגיה פוטנציאלית שנובעת מכך שהחלקיקים הטעונים חשמל נמצאים בתנועה. במסגרת מאמר זה לא ניכנס להבחנות הללו.

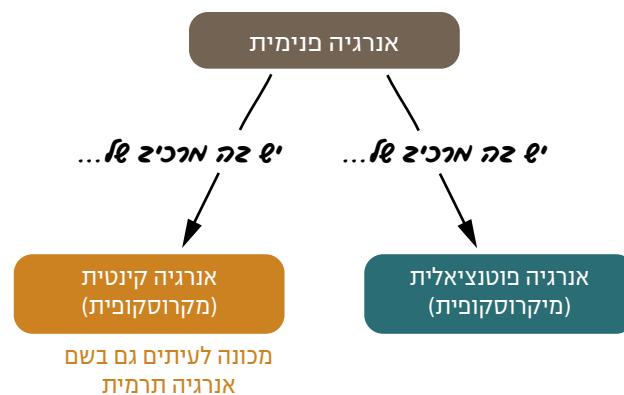


איור 10: סוגי אנרגיה - מבט מקרוסקופי



אנרגיה פנימית

ככתוב לעיל, נהוג לכנות את האנרגיה המיוחסת לחומר בשל מבנהו המיקרוסקופי בשם "אנרגיה פנימית" (Internal Energy). כפי שנהוג לחלק את האנרגיה המכנית (האנרגיה המיקרוסקופית) לאנרגיה קינטית ולאנרגיה פוטנציאלית, כך ניתן לחלק את האנרגיה הפנימית לשני סוגים אלו - אנרגיה קינטית פנימית ואנרגיה פוטנציאלית פנימית.



איור 11: סוגי האנרגיה המיקרוסקופית

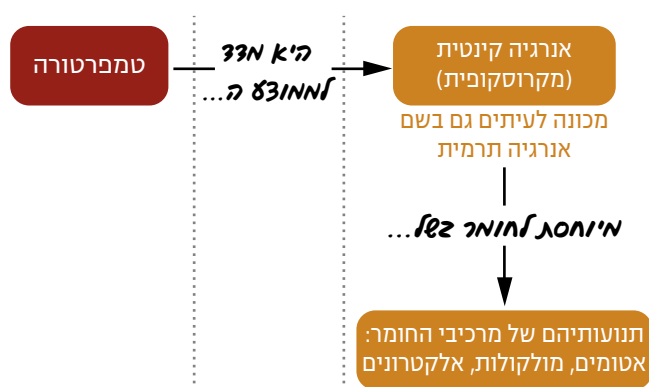
אנרגיה קינטית פנימית (אנרגיה תרמית)

כבר ציינו כי את האנרגיה הקינטית המיקרוסקופית ניתן לייחס לגופים בשל תנועתם. גם את האנרגיה הקינטית המיקרוסקופית ניתן לייחס לגופים בשל תנועה, אולם אין המדובר בתנועת הגוף כולו, אלא בתנועת מרכיבי החומר: אטומים ומולקולות. לפי התאוריה המקובלת - המודל החלקיקי של החומר - כל מרכיבי החומר נעים (מדובר בכמה סוגי תנועות של מולקולות: מעתק - טרנסלציה, סיבוב - רוטציה ותנודה - ויברציה). תנועות אלו הן אקראיות מבחינת הכיוון שלהן (אין לתנועות אלו כיוון מועדף ויש מולקולות שנעות לכל כיוון). בשל תנועות אלו ניתן לייחס לחומר אנרגיה קינטית³. כמו האנרגיה הקינטית המיקרוסקופית, גם גודלה של האנרגיה הקינטית הפנימית תלוי במסת החלקיקים ובריבוע מהירותם.

לאנרגיה הקינטית הפנימית (האנרגיה התרמית) יש ביטוי בעולם

המקרוסקופי - הטמפרטורה.

טמפרטורה היא תכונה של גופים שאנו חשים בה ומסוגלים למדוד אותה. בשל כך היא ממוקמת במפת המושגים בתחום של "העולם המקרוסקופי". אך יש לטמפרטורה קשר לעולם המיקרוסקופי. לפי המודל החלקיקי של החומר, הטמפרטורה היא ביטוי ומדד לממוצע האנרגיה הקינטית הפנימית (לאנרגיה התרמית)⁴.



איור 12: הקשר בין האנרגיה הקינטית הפנימית ובין הטמפרטורה

הנוסחה המתמטית המקשרת בין הגודל המיקרוסקופי (טמפרטורה) לבין הגודל המיקרוסקופי (אנרגיה קינטית פנימית)

$$T = \frac{2}{3} \frac{\bar{E}_k}{k_b}$$

היא:

כאשר T היא הטמפרטורה בסולם קלווין, E_k היא האנרגיה הקינטית הממוצעת ו- E_b היא קבוע המכונה קבוע בולצמן. מהנוסחה ניתן לראות שאכן הטמפרטורה שהיא גודל מיקרוסקופי פרופורציונלי לגודלה של האנרגיה הקינטית הפנימית שהיא גודל מיקרוסקופי.

זאת אומרת שבכל פעם שאנו מודדים עליית טמפרטורה - אנו יכולים לומר כי האנרגיה הקינטית הממוצעת עלתה, ובכל פעם שאנו מודדים ירידה בטמפרטורה - אנו יכולים לומר כי האנרגיה הקינטית הממוצעת ירדה.

3. אנרגיה זו מכונה לעיתים גם בשם "אנרגיה תרמית" (Thermal Energy) או "אנרגיית חום" (Heat energy). שמות אלו הם בעייתיים כי הם קושרים בין האנרגיה הקינטית הפנימית לבין המושג "חום", וכפי שנראה בהמשך - קישור זה אינו חד-ערכי.

4. חלקיקי החומר אינם בעלי מסה אחת ואינם נעים באותה מהירות, ולכן יש היגיון בהתייחסות לממוצע האנרגיה הקינטית.

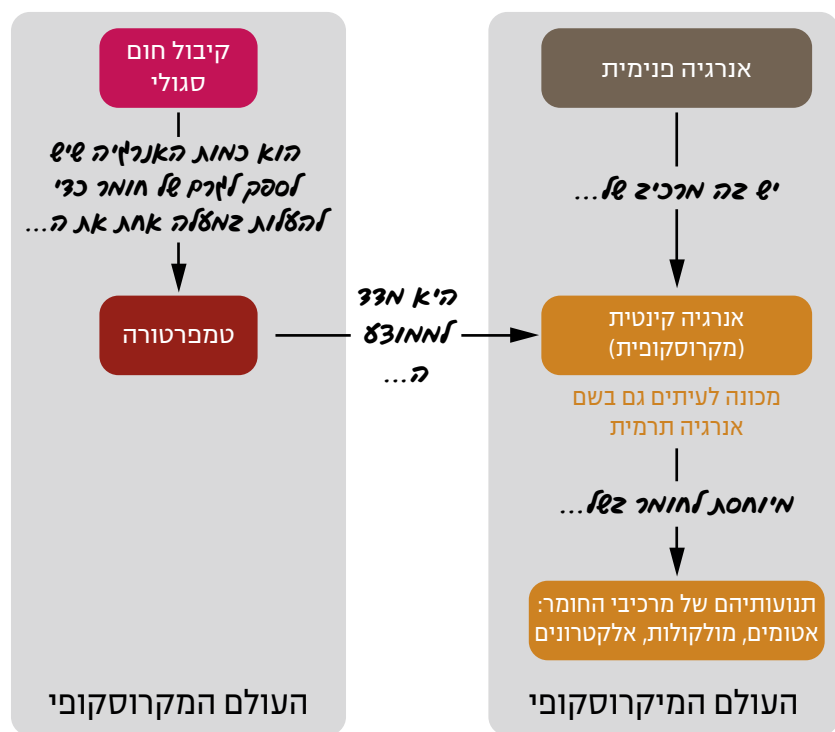


אנרגיה פוטנציאלית פנימית

צינו לעיל כי את האנרגיה הפוטנציאלית ניתן לייחס לגופים שעליהם פועל כוח לאורך דרך מסוימת, כלומר, כאשר נעשית עליהם עבודה במובן הפיזיקלי של המילה.

בעוד שבעולם המקרוסקופי פועלים כוח הכבידה והכוח החשמלי, הרי בעולם המיקרוסקופי פועלים הכוח החשמלי והכוחות הגרעיניים (הכוח הגרעיני החזק והכוח הגרעיני החלש), וניתן לייחס לגופים חומריים אנרגיה פוטנציאלית פנימית בשל כוחות אלו הפועלים בין חלקיקי החומר.

חום סגולי (או קיבול חום סגולי)⁵ - צוין לעיל שהטמפרטורה היא מדד לאנרגיה הקינטית הממוצעת של חלקיקי החומר. כדי להעלות את הטמפרטורה של גוף מסוים (כלומר, את האנרגיה הממוצעת של חלקיקיו), יש לספק לו אנרגיה. כמות האנרגיה שיש לספק לגרם של חומר מסוים כדי להעלות את הטמפרטורה שלו במעלה אחת צלזיוס מכונה בשם **חום סגולי** (או קיבול חום סגולי). גודלו של החום הסגולי שונה מחומר לחומר, ונהוג לסמנו באות c . בטבלת ערכי החום הסגולי שמופיעה בתרשים 1, ניתן לראות כי החום הסגולי של המים הוא ערך גבוה יחסית לערכי החום הסגולי של חומרים אחרים⁶



איור 13: קיבול חום סגולי

Substance	c in J/gm K
Aluminum	0.900
Bismuth	0.123
Copper	0.386
Brass	0.380
Gold	0.126
Lead	0.128
Silver	0.233
Tungsten	0.134
Zinc	0.387
Mercury	0.140
Alcohol(ethyl)	2.4
Water	4.186
Ice (-10 C)	2.05
Granite	.790
Glass	.84

תרשים 1: טבלת ערכי החום הסגולי עבור חומרים נפוצים

(מתוך: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

5. יש מונחים רבים בהקשר לאנרגיה שאינם מבטאים בדיוק את משמעותם (חום, חום סגולי וכו'). מושגים אלו מבטאים למעשה אנרגיה ולא דווקא חום. לפי גליליו ועובדיה (תשנ"ה 1995), אי דיוקים אלו הם שרידים לתקופות שבהן לא הובנה בדיוק מהות החום כתופעה פיזיקלית, ואנשים שייכו את תכונות החום והקור של גופים לנוכחותו של חומר מסוים שכונה "קאלוריק".

6. לעובדה זו יש משמעות רבה. ראו לדוגמה: <http://chemtech.huji.ac.il/crystal/water1.html> וכן: <http://linetpro.d-campus.net/>



לסביבה (בדרך כלל בצורת חום אך גם בצורת אור וקול). תגובות אלו מכונות בשם **תגובות אקסותרמיות**. בתגובות כימיות אחרות גדלה האנרגיה הכימית באמצעות קליטת אנרגיה מהסביבה. תגובות כאלו מכונות **תגובות אנדותרמיות**. האנרגיה הכימית היא צורת האנרגיה החשובה ביותר לקיום חיים בכלל והאדם בפרט.

חום כמוס

המעבר של חומר ממצב צבירה אחד לאחר כרוך אף הוא בשינויים באנרגיה הפנימית. בתהליכי המעבר בין מצבי צבירה, החומר נשאר אותו חומר מבחינה כימית, כלומר, לא חל כל שינוי במבנה המולקולות או בהרכבן. השינוי שחל הוא שינוי בכוחות החשמליים הבין-מולקולריים: במצב מוצק - הכוחות הם החזקים ביותר, ובמצב גז - הכוחות הם החלשים ביותר. לא יוחד בפיזיקה שם לאנרגיה המיוחסת לחומר בשל הכוחות הבין-מולקולריים, והיא מכונה במפת המושגים בשם "אנרגיה המיוחסת למצב הצבירה של החומר".

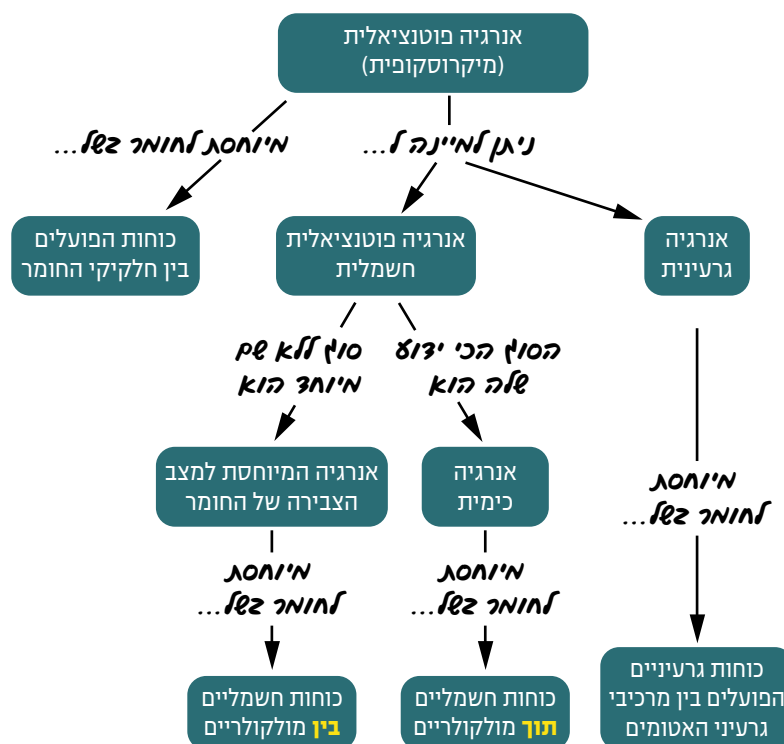
כדי להתייך חומר (כלומר, להעבירו ממצב מוצק למצב נוזל) וכדי להרתיח חומר (כלומר, להעבירו ממצב נוזל למצב גז) - יש להשקיע אנרגיה (כלומר, האנרגיה הפנימית גדלה) וכשחומר מתעבה (כלומר, עובר ממצב גז למצב נוזל) או קופא (כלומר, עובר ממצב נוזל למצב מוצק) - הוא פולט אנרגיה (כלומר, האנרגיה הפנימית קטנה). האנרגיה שיש להשקיע כדי להעביר את החומר ממצב צבירה אחד למשנהו מכונה בשם "חום כמוס" (Latent Heat). השימוש במילה "חום" בביטוי "חום כמוס" נובע מהעובדה שבדרך כלל מעבר בין מצבי צבירה כרוך בקליטת חום או בפליטת חום (אם כי אפשר להתייך חומר גם על ידי קרינה או עבודה, כפי שיצוין בהמשך). השימוש במילה "כמוס" בביטוי זה נובע מהעובדה שבזמן המעבר בין מצבי צבירה, אין שינוי בטמפרטורת החומר, ולכן נראה כאילו האנרגיה המסופקת בצורת חום מסתתרת במקום כלשהו בחומר, כלומר, היא כמוסה⁷.

ניתן להבחין ב-3 סוגים של אנרגיה פוטנציאלית פנימית: אנרגיה כימית, אנרגיה המיוחסת למצב הצבירה של החומר ואנרגיה גרעינית.

אנרגיה כימית

הסוג הידוע ביותר של האנרגיה הפוטנציאלית הפנימית הוא סוג האנרגיה המכונה בשם "**אנרגיה כימית**". זוהי בעצם אנרגיה פוטנציאלית חשמלית, אך משום שהיא משתנה בכל האקציה (תגובה) כימית, היא מכונה בשם "אנרגיה כימית". בכל תגובה כימית נערכים אטומי החומר מחדש בצורה שונה. השינוי יכול להיות במבנה המולקולות או בהרכב שלהן. השינוי המתרחש במבנה המולקולות או בהרכבן נובע משינוי בחוזקם של הקשרים (הכוחות החשמליים) בין האטומים, ולכן מעורבים בשינויים אלו גם שינויים באנרגיה.

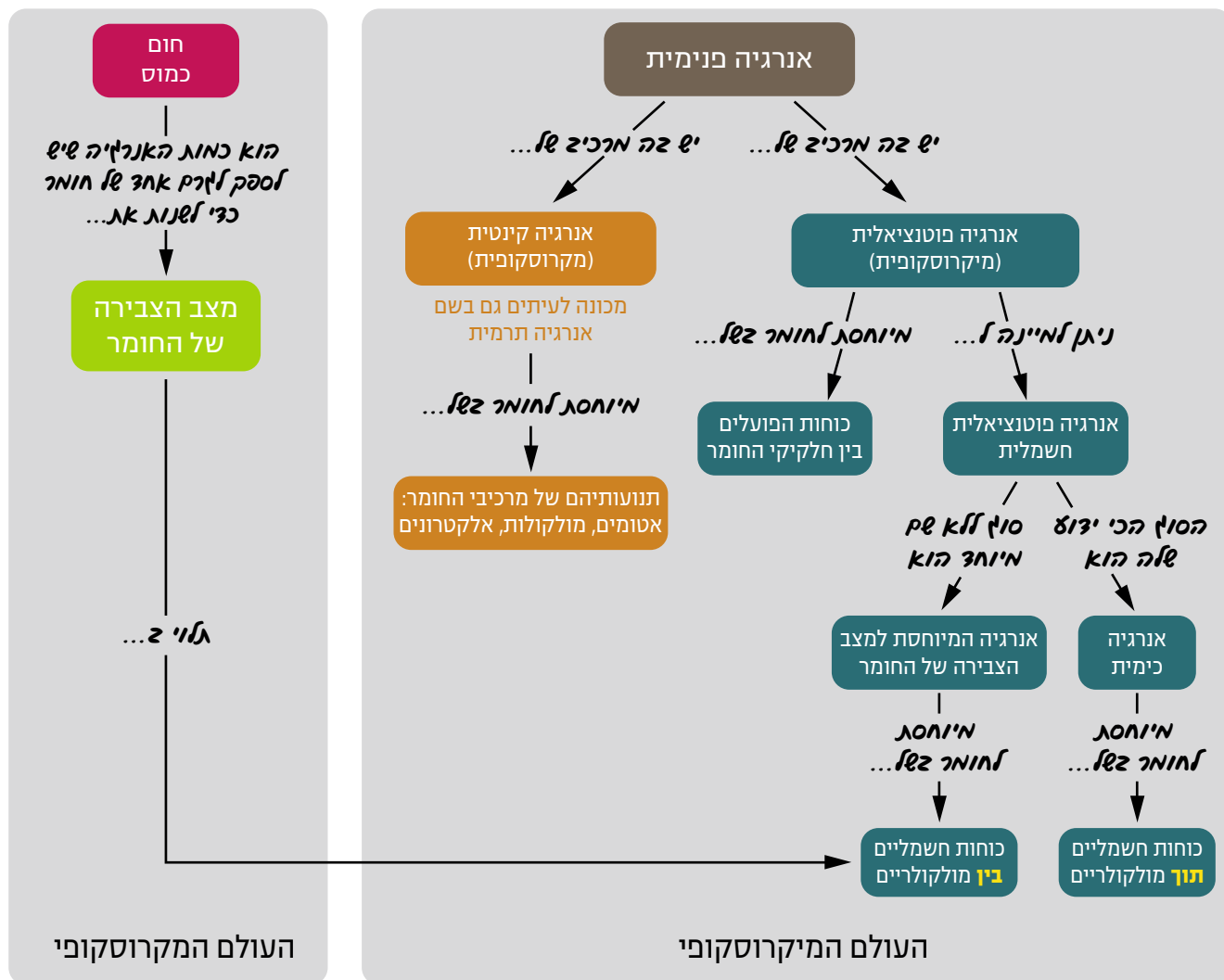
יש תגובות כימיות שכאשר הן מתרחשות - האנרגיה הכימית של החומר קטנה. במקרים כאלו משתחררת אנרגיה מהחומר



איור 14: האנרגיה הפוטנציאלית הפנימית

ראינו לעיל כי יש לספק למסה שווה של חומרים

7 הרחבה על המושג "חום כמוס" אפשר למצוא באתר "דוידסון און ליין"



איור 15: חום כמוס

לבין החום הכמוס של התכה? כשחומר עובר ממצב צבירה מוצק למצב צבירה נוזל - יש שבירה חלקית של הקשרים הבין מולקולריים, בעוד שכאשר חומר עובר ממצב צבירה נוזל למצב צבירה גז, מתרחשת שבירה מלאה של הקשרים הבין-מולקולריים ולכן נצרכת יותר אנרגיה.

אנרגיה גרעינית

כל אטום מורכב מגרעין ומאלקטרונים. גרעין האטום מורכב מפרוטונים ונויטרונים הקשורים זה לזה על ידי הכוח הגרעיני החזק. למערכת זו ניתן לייחס אנרגיה גרעינית משום שכאשר

שונים - כמויות חום שונות כדי שהטמפרטורה של החומר תעלה באותה מידה (חום סגולי). גם כדי להעביר מסות שוות של חומרים שונים ממצב צבירה מוצק למצב צבירה נוזל - יש לספק לחומרים אלו כמויות אנרגיה (חום כמוס) שונות.

ניתן למצוא בספרים שונים טבלאות לערכי החום הכמוס של חומרים שונים במעבר בין מצבי צבירה שונים. מן הטבלה בתרשים 2 עולה שהערך המספרי של החום הכמוס של הרתיחה גדול הרבה יותר מהערך המספרי של החום הכמוס של ההתכה. כיצד ניתן להסביר את ההפרש בין החום הכמוס של הרתיחה

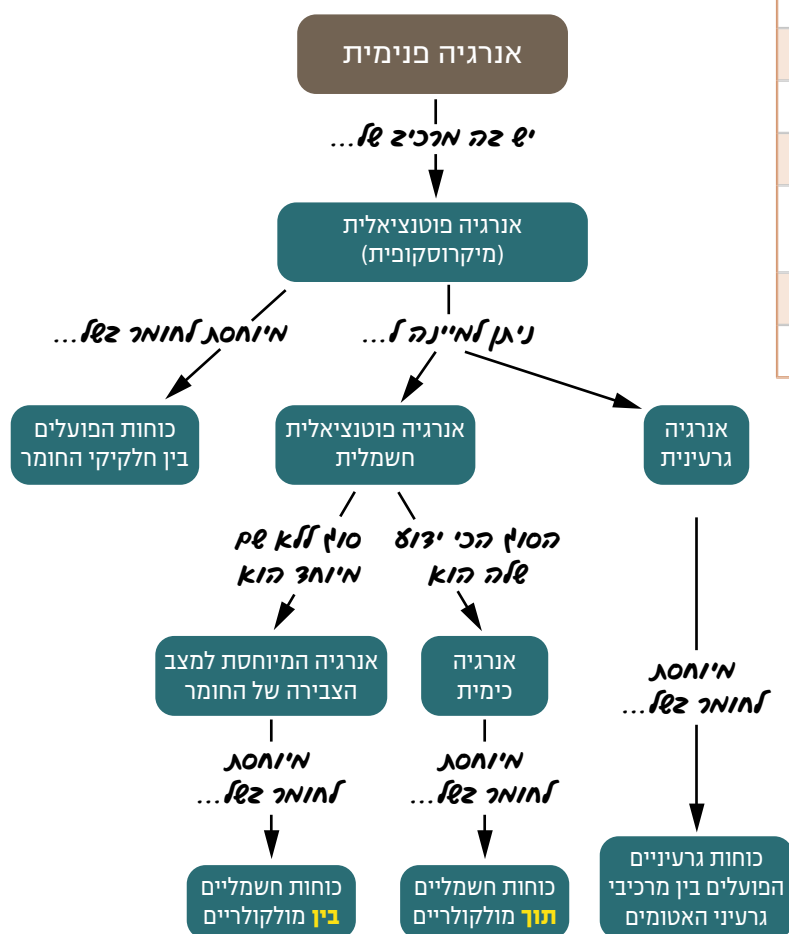


הקול מתבטאים בשינויי לחץ המתפשטים דרך התווך. המקור היוצר את גלי הקול גורם לעליית לחץ בנקודה מסוימת בתווך, מאחר שחלקיקי האוויר נדחקים זה אל זה ונוצרת צפיפות גדולה יחסית של חלקיקי אוויר. עליית הלחץ הזאת מתפשטת משם, כשחלקיקי האוויר באזור הצפוף דוחפים את חלקיקי האוויר שלידם, וכשהם זזים הם הופכים את האזור הבא לצפוף יותר וכך הלאה. באופן כזה "צפיפות החלקיקים" נעה ממקום למקום בעוד שהחלקיקים עצמם מתנוודים ונשארים פחות או יותר במקומם.⁸ אנרגיית קול היא אם כן ביטוי מקרוסקופי לתנודות חלקיקי החומר. אולם בעוד שהטמפרטורה היא ביטוי מקרוסקופי לתנועות האקראיות (מבחינת הכיוון) של החלקיקים, אנרגיית

מופרדים מרכיבי גרעין האטום - האנרגיה הפנימית קטנה משום שאנרגיה רבה משתחררת.

חום כמוס וטמפרטורות שינוי מצב צבירה של נוזלים וגזים נפוצים				
חומר	חום התכה J/g	חום כמוס' התכה °C	חום כמוס' רתיחה J/g	חום רתיחה °C
אלכוהול, אתיל	108	-114	846	78.3
אמוניה	339	-75	1369	
פחמן דו-חמצני	184		574	
הליום			21	
מימן	58	-259	461	-253
חנקן	25.7	-210	199	-196
חמצן	13.9	-219	214	-183
טולואן (מתיל-בנזין)			351	
טרפנטין			293	
מים	335	0	2257	

תרשים 2: חום כמוס וטמפרטורות שינוי מצב צבירה של נוזלים וגזים נפוצים (מתוך ויקיפדיה)



איור 16: סיכום האנרגיה הפנימית

ליסיכום
באיור 16 מוצג כל העולם המיקרוסקופי בהקשר למושג "אנרגיה".

אנרגיית קול
בעמוד 48 צוין כי אנרגיית קול היא סוג של אנרגיה מכנית - מקרוסקופית, אך יש לה קשר לעולם המיקרוסקופי. קול הוא התפשטות של הפרעה מכנית בתווך חומרי, וגלי

8 אנימציה המדגימה יפה את מהותו של הקול כהפרעה המתפשטת בתווך נמצאת באתר. נדלה ב-15.3.2012.



סוגי האנרגיה השונים. שלושת התהליכים הללו הם: חימום, קרינה ועבודה.

חימום - חימום מוגדר כהבאת גוף בעל טמפרטורה גבוהה לידי מגע עם גוף בעל טמפרטורה נמוכה יותר. כאשר שני גופים כאלו באים במגע, הרי תופעת טבע היא שלאחר זמן מה הם יהיו באותה טמפרטורה. אנו מפרשים את התופעה הזו באמצעות הטענה כי כאשר שני גופים כאלו באים במגע - אנרגיה מהגוף ה"חם" (בעל הטמפרטורה הגבוהה יותר) עוברת לגוף ה"קר" (בעל הטמפרטורה הנמוכה יותר). הכינוי המקובל בפיזיקה לאנרגיה שעוברת בתהליך זה הוא "חום" (או אנרגיית חום). יש לשים לב לכך כי חום אינו סוג של אנרגיה שנמצאת בגופים, וכי גופים אינם מכילים "חום" (כי כפי שהוסבר לעיל, האנרגיה הנמצאת בגופים מכונה בשם "אנרגיה פנימית"), אלא שם זה מיוחד לאנרגיה שעוברת מגוף "חם" (כלומר, גוף בעל טמפרטורה גבוהה יחסית) לגוף "קר" (כלומר, גוף בעל טמפרטורה נמוכה יחסית). גוף בעל אנרגיה פנימית מסוימת יכול להעביר חום לגוף בעל אנרגיה פנימית אחרת בתנאי שהטמפרטורה שלו גבוהה יותר מהטמפרטורה של הגוף האחר.

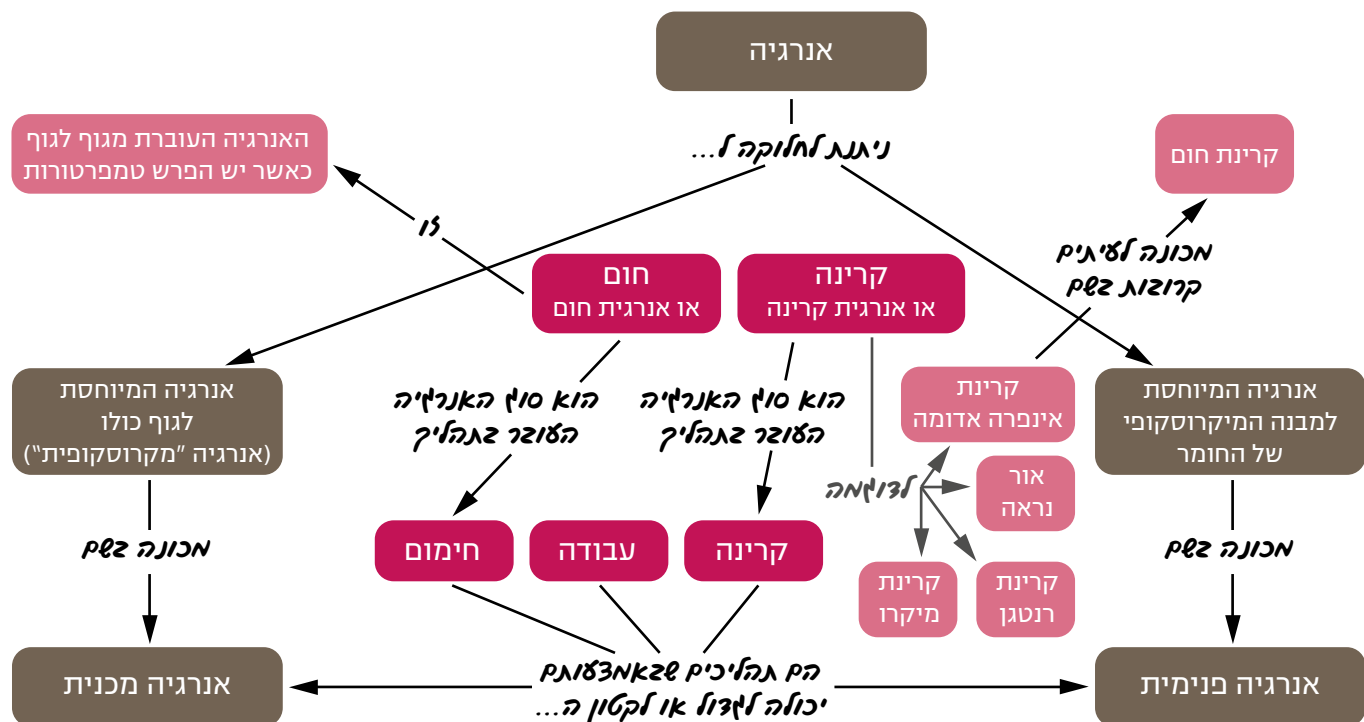
קול היא ביטוי מקרוסקופי לתנודות חלקיקי החומר באותו כיוון - בכיוון התפשטות ההפרעה המכנית בחומר. אנרגיה זו יכולה לגרום לשינויים בחומר ולהיות מומרת לסוגי אנרגיות אחרות (לדוגמה: אם שמים גרגרי אורז ליד רמקול שממנו בוקע קול - הם יקפצו, כלומר: הם יתרחש שינוי באנרגיה הקינטית שלהם). כדי לא לסבך את מפת המושגים יתר על המידה, לא מוצג במפה בצורה גרפית, הקשר בין אנרגיית הקול לתנועות חלקיקי החומר.

חימום, קרינה ועבודה

עד עתה הוצגו סוגי האנרגיה בעולם המקרוסקופי והמיקרוסקופי. נשאלת השאלה: כיצד יכולים סוגי אנרגיה אלו לגדול או לקטון? לשון אחרת - מהם התהליכים הגורמים לגדילה או להקטנה של סוגי האנרגיה השונים?

תהליכים אלו מתרחשים בעולם המקרוסקופי (למרות שיש להם השפעה גם על העולם המיקרוסקופי).

כדי לענות על השאלות הללו, נחזור לחלק המקרוסקופי של המפה. יש שלושה תהליכים הגורמים לגדילה או להקטנה של



איור 17: תהליכים הגורמים להגדלה או להקטנה של האנרגיה המכנית ושל האנרגיה הפנימית



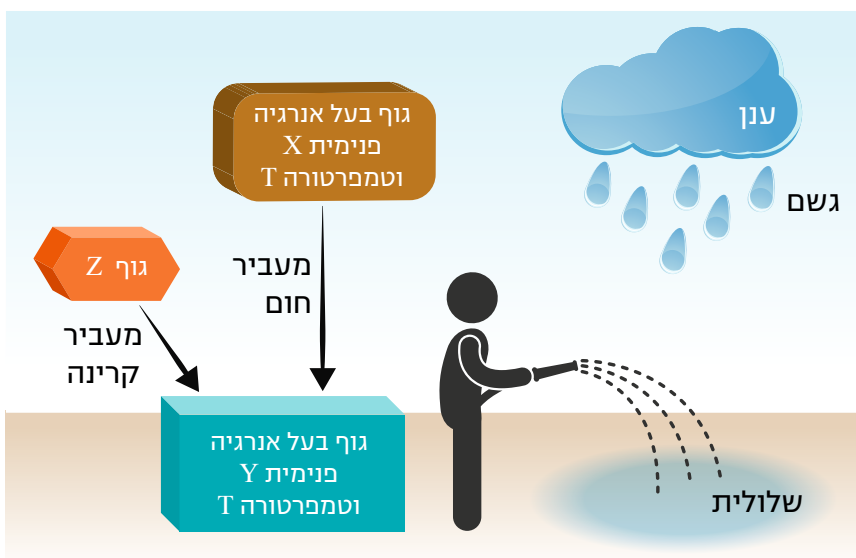
לאור הדברים הללו נראה שניתן להבין מדוע "חום" אינו אחד מסוגי האנרגיה המיוחסים לחומר (אנרגיה מכנית או אנרגיה פנימית), והוא מופיע במפת המושגים בתחום העולם המקרוסקופי (כי זו תופעה מקרוסקופית).

החימום, כלומר מעבר חום, יכול להשפיע הן על האנרגיות ה"מקרוסקופיות" והן על האנרגיות ה"מיקרוסקופיות", כפי שיפורט להלן:

1. חימום הגורם לשינוי באנרגיה המקרוסקופית - לדוגמה: כדור פורח. מקור האש מחמם את האוויר, והאוויר החם עולה למעלה - במקרה זה החום משנה הן את האנרגיה הקינטית של הכדור ואת האנרגיה הפוטנציאלית (אנרגיית גובה) שלו.
2. חימום הגורם לשינוי באנרגיה המיקרוסקופית - כאשר מחממים חומר, הטמפרטורה שלו עולה. כלומר, יש שינוי באנרגיה הקינטית הפנימית של החומר. אולם אם החומר נמצא באחת מטמפרטורות המעבר שלו (טמפרטורת ההתכה או טמפרטורת הרתיחה), יש שינוי באנרגיה הפוטנציאלית הפנימית ("חום כמוס") שלו. ואם בעקבות החימום מתרחש שינוי במבנה החומר (למשל: קרישת חלבון) או בהרכב החומר (כתוצאה מִרְאקציה כימית) - יש שינוי באנרגיה הכימית.

לאנשים רבים קשה להסכים עם ניסוח זה; אין זה מתקבל על דעתם שלגוף אין "חום", אך הוא יכול להעביר "חום" לגוף אחר, ולאחר ההעברה - גם לגוף האחר לא יהיה "חום". כדי שניסוח זה יתקבל על הדעת, מציע זימנסקי (Zemansky, 1990) אנלוגיה מעניינת. הוא משווה את ה"חום" ל"גשם" (ראו איור 18). נניח שיש בשמים עננים. כתוצאה מתהליכים שונים המתרחשים בעננים - יורד גשם לאדמה ויוצר עליה שלולית. יש לשים לב לכך שכאשר המים הם חלק מהענן - אין אנו מכנים אותם במונח "גשם" (שכן ענן הוא תרחיף של אדי מים, טיפות מים זעירות וגבישי קרח). כאשר המים נמצאים בדרכם לאדמה - הם מכונים "גשם". כאשר הם מצויים בתוך השלולית - אין הם מכונים "גשם" אלא "מי שלולית" (משום שאין ודאות שכל המים בשלולית הגיעו מהגשם - ייתכן שמישהו הוסיף מים לשלולית באמצעות צינור השקיה). כלומר - המונח "גשם" מציין רק את המים שנתונים בתהליך המעבר בין האטמוספירה לאדמה.

הוא הדין ב"חום". כל זמן שהאנרגיה נמצאת בתוך הגוף - היא מכונה בשם "אנרגיה פנימית". כאשר היא עוברת לגוף אחר (בעל טמפרטורה נמוכה יותר) - היא מכונה בשם "חום". כאשר החום נקלט בגוף - הוא מעלה את האנרגיה הפנימית של גוף זה.



איור 18: אנלוגיה בין גשם לחום לפי זימנסקי (1990)

ראוי לשים לב לכך שהמונח "קרינה" מציין הן את התהליך והן את סוג האנרגיה.



הקרינה האינפרה-אדומה היא סוג של קרינה אלקטרומגנטית ומתאפיינת באורך גל שבין 750 ננומטר ל-1 מילימטר. קרינה זו מיוחדת בזה שרוב החומרים בולעים אותה. ברוב המקרים בליעת הקרינה האינפרה-אדומה גורמת לעלייה באנרגיה הקינטית הממוצעת של החלקיקים - כלומר, לעלייה בטמפרטורה; לכן היא מכונה לעתים קרובות בשם "קרינת חום"⁹, למרות שאין היא מעבירה "חום" אלא יכולה לגרום להתחממות.

האור הנראה גם הוא סוג של קרינה, המכונה לעתים בשם "קרינת אור".

עבודה - עבודה היא תהליך נוסף היכול לגרום לשינויים באנרגיה המכנית או הפנימית. אדם הזורק כדור כלפי מעלה - מבצע עבודה על הכדור שבעקבותיה הוא משנה הן את האנרגיה הפוטנציאלית המקרוסקופית שלו והן את האנרגיה הקינטית המקרוסקופית שלו. כמו כן מיקסר הבוחש מים גורם לעליית הטמפרטורה של המים, כלומר, גורם לשינוי באנרגיה הקינטית הפנימית של המים, ואילו אדם המחליק על קרח - גורם להתכת הקרח על ידי לחץ, כלומר, על ידי ביצוע עבודה במובן הפיזיקלי.

לסיכום

בעמוד הבא תוצג מפת המושגים השלמה. בעזרת מפת מושגים זו מוצגים מושגים רבים הקשורים למושג "אנרגיה" כמו גם הקשרים ביניהם. מפה זו מיועדת למורים למדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים ואינה מיועדת לתלמידיהם. על מושגים אלו להיות חלק מהידע של המורים למדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים, שכן הידע שלהם צריך להיות רחב ומעמיק יותר מהידע של תלמידיהם.

קרינה - קרינה היא תהליך נוסף שבאמצעותו יכולה אנרגיה לעבור מגוף לגוף⁹. מקובל לחלק את הקרינה לשני סוגים עיקריים: קרינה אלקטרומגנטית וקרינה גרעינית. אנו נתייחס במאמר זה לקרינה האלקטרומגנטית בלבד. הקרינה האלקטרומגנטית מתוארת כהפרעה מחזורית, או גל היוצא ממקור מסוים ומתפשט במרחב. אחד המאפיינים של תהליך הקרינה הוא שהקרינה יכולה לעבור גם ללא תווך חומרי. לדוגמה: קרינה מגיעה אלינו מהשמש ומהכוכבים כשהיא עוברת בחלל, הריק מחומר.

כאשר קרינה פוגעת בחומר מסוים, היא עשויה להיבלע בחומר, לחזור מהחומר או לעבור דרכו. תוצאות המפגש (האינטראקציה) בין הקרינה האלקטרומגנטית ובין חומר תלויות בסוג הקרינה בסוג החומר.

חומרים שקרינה באורך גל מסוים עוברת דרכם ללא אינטראקציה עם מרכיבי החומר, מכונים בשם חומרים שקופים לקרינה המסוימת הזו. לדוגמה: זכוכית היא שקופה לאור נראה, אך אטומה לקרינה אינפרה-אדומה. כמו כן עור האדם אטום לקרינת אור נראה, אך שקוף לקרינת רנטגן.

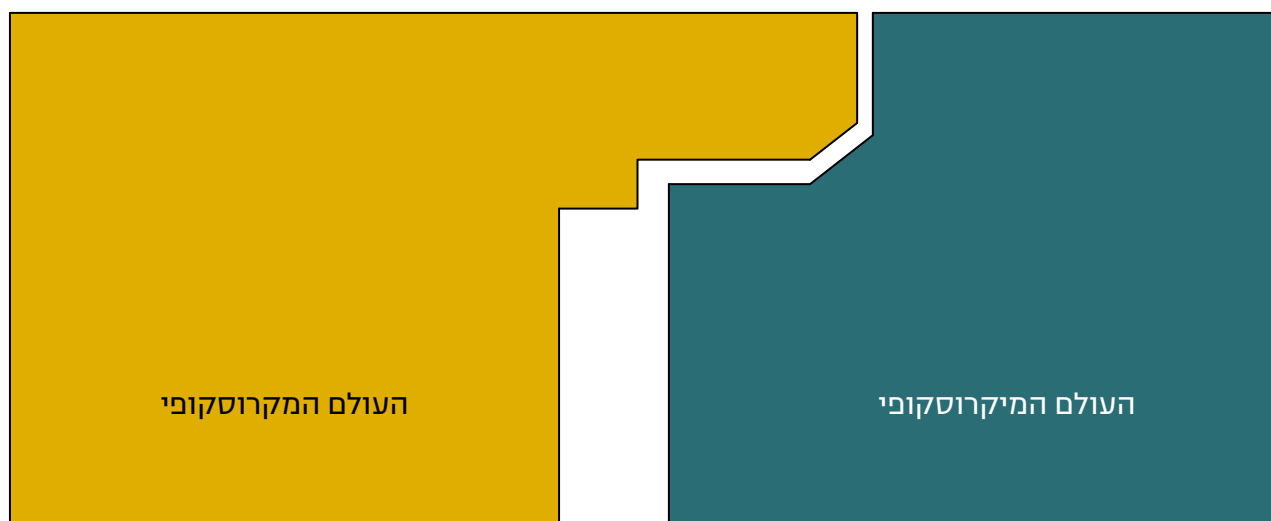
כאשר חומר בולע קרינה - יכולה להתרחש עלייה הן באנרגיות המקרוסקופית שלו והן באנרגיות המיקרוסקופיות שלו. נפרט ונדגים:

1. עלייה באנרגיה המקרוסקופית של גוף כתוצאה מבליעת קרינה - חללית מצוידת במפרש ענק הפונה אל השמש ובולע את הקרינה. בסופו של דבר הפוטונים של הקרינה משנים את מהירות החללית, כלומר, הקרינה משנה את האנרגיה המכנית.
2. עלייה באנרגיה המיקרוסקופית של גוף כתוצאה מבליעת קרינה - עליית הטמפרטורה של המים במיקרוגל.



9 ראו לשים לב לכך שהמונח "קרינה" מציין הן את התהליך והן את סוג האנרגיה.

10 ראו לעיל הערה 3.



איור 19: מפת מושגים להסבר מושגים בנושא "אנרגיה"

ביבליוגרפיה

Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.

Zemansky, M. W. (1970). The use and misuse of the word 'heat' in physics teaching. *The Physics Teacher*, 8, 295-300

ברוקס, ז"ג וברוקס, מ"ג (1997). לקראת הוראה קונסטרוקטיביסטית בחיפוש אחר הבנה. ירושלים: מכון ברנקו וייס לטיפול החשיבה.

גלילי, י' ועובדיה, ד' (תשנ"ה 1995). יסודות הפיסיקה. תל-אביב: מאור.

יחיאלי, ת' (תשס"ח 2008). איך עושים למידה קונסטרוקטיביסטית? *הד החינוך*, 4, עמ' 40-44.