

# מן המטבח של מוטי ויוסף: שובו של המיני-ג'אול

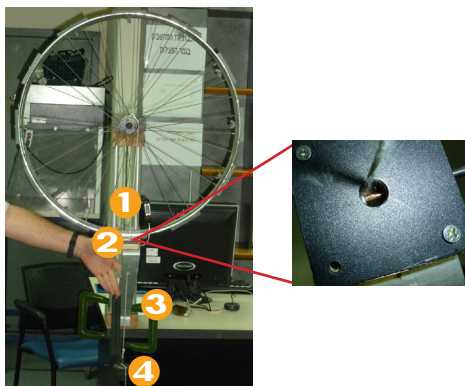
ד"ר ירון להבי, מכון ויצמן למדע, המכללה האקדמית לחינוך ע"ש דוד ילין



בשנת 1850 דיווח ג'יימס פרסקוט ג'אול<sup>1</sup> לחברה המלכותית של לונדון על התוצאות של סדרת ניסויים שבהם הוא קבע את "שווה הערך המכאני של החום". על פי התוצאות שקיבל, קבע ג'אול כי "כמות החום המיוצר על ידי חיכוך של גופים, מוצקים או נוזלים, היא תמיד ביחס ישר לכמות הכוח שהושקע", וכי "כמות החום המסוגלת להעלות את הטמפרטורה של פאונד מים ... במעלה אחת של פרנהייט, דורשת לשם התפתחותה הפעלה של כוח מכני המיוצג על ידי נפילת 772 פאונד לאורך מרחק של רגל אחת". ג'אול השיג בניסוייו תוצאות כה מדויקות, שהפער בין לבין התוצאות המושגות היום (778 פאונד לאורך רגל אחת) אינו עולה על 0.8%.

ניסוי המיני-ג'אול וודאי זכור למורים וותיקים שרבים מהם אהבו את האפשרות לשחזר את הרעיון שעמד בבסיס הניסוי המפורסם שערך ג'יימס פרסקוט ג'אול: למדוד את מידת החימום (עליית הטמפרטורה) הנגרמת על ידי נפילה של גוף. ואולם, הניסוי עצמו זימן קשיים רבים: עליית הטמפרטורה הייתה זעומה וקשה למדידה, התוצאות היו תלויות בהתאמה מיטבית של מערכת הניסוי למשקל הגוף הנפל ועוד. קשיים אלו הביאו לכך שהניסוי החשוב כל כך ננטש ומערכת ניסוי רבות הונחו בארונות בתי הספר כאבן שאין לה הופכין.

לאחרונה, במסגרת פיתוח של גישה חדשה להוראת המושג אנרגיה<sup>2</sup>, נבנתה במכון דוידסון, על ידי יוסף סוסנובסקי ומוטי מושינסקי<sup>3</sup>, מערכת דומה למיני-ג'אול. המערכת מבוססת על משקולת שהחוט אליו היא קשורה מלופף סביב צינורית נחושת קטנה, כך שכאשר המשקולת יורדת הטמפרטורה של הצינורית עולה.



מערכת המדידה: (1) מדחום; (2) המאחז של צינורית הנחושת (נראה בהגדלה מימין); (3) חוט התליה; (4) משקולת

אל הצינורית הוכנס חישן טמפרטורה, המהווה חלק ממדחום, המאפשר למדוד את עליית הטמפרטורה בצינורית כאשר המשקולת יורדת. על מנת שהשינוי בין המצב ההתחלתי לבין המצב הסופי, לאחר ירידת המשקולת, יכלול אך ורק שינוי בגובה (ולא במהירות), חובר החוט לגלגל אופניים. המערכת כוונה כך שהמשקולת הגיעה קרוב מאוד לרצפה, אך לא נגעה בה, עלתה בחזרה וירדה שוב עד שהגיעה לעצירה מוחלטת. המערכת מופיעה בתמונה. החלק בו מצויה הצינורית מוראה בהגדלה, ובמבט מלמעלה, מימין למערכת.

המערכת מאפשרת ביצוע של מספר מדידות בהן משנים את הגובה ממנו המשקולת יורדת או את המסה שלה.

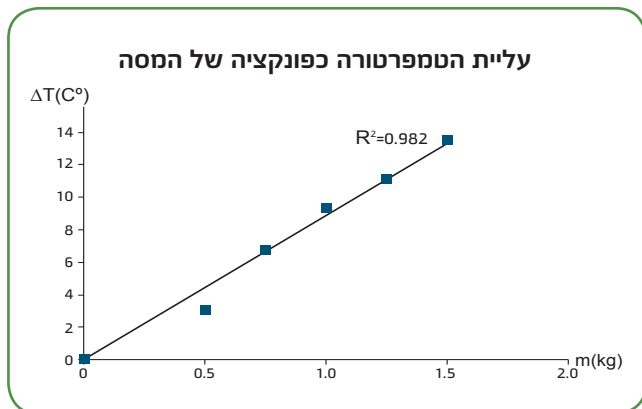
1 | <http://www.nd.edu/~pdunn/www.ame250/mehjoule.pdf>

2 | הגישה החדשה מבוססת על גישתו של ג'אול: מדידת שינויים המתרחשים במערכת על פי מידת החימום (או הקיחור) שהם גורמים והגדרת המושג "שינוי באנרגיה" בהסתמך על מדידות אלו.

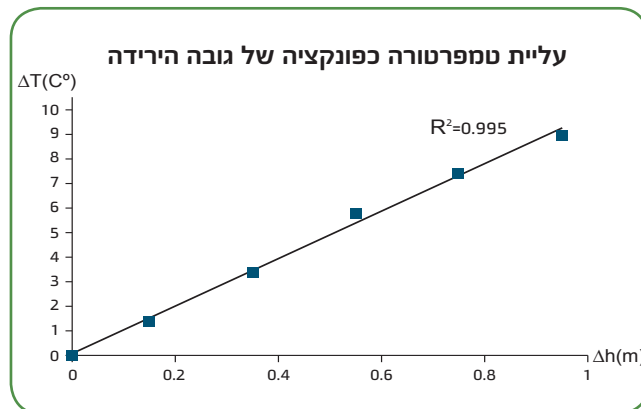
3 | יוסף סוסנובסקי, מרדכי מושיצקי, מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע

## תוצאות

התוצאות שהתקבלו בניסויים שנערכו מוצגות בגרפים הבאים:



**גרף 2:** עליית הטמפרטורה כפונקציה של המסה בעת ירידת משקולת מגובה של 1 מטר



**גרף 1:** עליית הטמפרטורה כפונקציה של הגובה בעת ירידת משקולת בת 1 ק"ג

## מסקנות

כפי שאפשר להיווכח, תוצאות הניסויים מאששות יפה את הטענה לפיה עליית הטמפרטורה בניסוי המשחזר את ניסוי של ג'אול, מתכונתית הן לגובה הירידה והן למסת הגוף היוורד:

$$\Delta T = k \cdot m \cdot \Delta h$$

לפיכך, אם מאמצים את ההגדרה כי השינוי בטמפרטורה בניסוי המתואר הוא הממד לשינוי באנרגיה של המערכת גוף-ארץ, הרי שמגיעים לביטוי המוכר לפיו השינוי באנרגיית הגובה מתכונתי הן לגובה הירידה והן למסת הגוף היוורד.

המערכת המתוארת מאפשרת לבצע ניסוי נוסף בו מחליף קפיץ המעוגן לרצפה את המשקולת היוורדת. ניסוי כזה יכול להראות את הקשר בין השינוי באורך הקפיץ לבין עליית הטמפרטורה ולפיכך לאשש באופן ניסויני את הקשר בין השינוי באנרגיה של קפיץ לבין מידת התארכותו.