

תעלומת הקירור

א. ב. מפמבה וז. ג. אוסבורן

אותו אל תוך מגש ההקפאה בלי להרתיח אותו, כדי שלא יפסיד את המקום במקרר. ידעתי שאם אמתין עד שהחלב יצטנן לפני שאכניס אותו למקרר, אני עלול להחמיץ את מגש הקרח האחרון, ועל-כן הכנסתי פנימה את החלב החם, למרות שסיכנתי על-ידי כך את המקרר. שנינו חזרנו אל המקרר כעבור שעה וחצי ומצאנו, כי החלב במגש שלי קפא והפך לגלידה, ואילו המגש השני היה מלא נוזל סמיך, שעדיין לא קפא. שאלתי את המורה לפיסיקה מדוע קפא החלב החם לפני החלב הקר, והוא ענה: "אתה בוודאי התבלבלת, זה לא יכול להיות".

לאחר שעמדתי בבחינות מעבר, נשלחתי לבית-הספר מקוואווה באירינגה. הנושא הראשון שלמדנו היה חום. כשלמדנו את חוק הקירור של ניוטון שאלתי את המורה: "אם נכניס חלב

שמי הוא אראסטו ב' מפמבה, ואני עומד לספר לכם על תגלית שלי, שמקורה בשימוש בלתי נכון במקרר. כולכם יודעים שאין זה רצוי להכניס למקרר דברים חמים, משום שהדבר גורם הלם למקרר ומקצר את ימיו.

בשנת 1963, כאשר הייתי תלמיד כיתה ט' של בית-הספר בתיכון מאגאמבה בטנזניה, נהגתי לעשות לעצמי גלידה. התלמידים בבית-הספר היו מכינים גלידה על-ידי כך שהיו מרתיחים חלב, ממתיקים אותו בסוכר, מניחים לו להצטנן עד לטמפרטורת החדר בערך, ומכניסים אותו לתא ההקפאה שבמקרר. רבים מן התלמידים היו נוהגים כך, והתחרות על המקום בתא ההקפאה היתה גדולה.

יום אחד התחלתי להרתיח חלב ונער אחר, שראה אותי מתכוונן להכין גלידה, מיהר לערבב את החלב שלו בסוכר ולשפוך

חם וחלב קר למקרר באותו זמן, מדוע יקפא החלב החם ראשון? המורה ענה: "אינני חושב שכך הדבר, מפמבה". המשכתי: "זה נכון, המורה, עשיתי זאת בעצמי". והוא אמר: "התשובה היחידה שאני יכול לתת היא, כי היית מבולבל". המשכתי להתווכח, והתשובה הסופית שלו הייתה: "כל מה שאני יכול להגיד הוא, כי זאת הפיסיקה של מפמבה ולא הפיסיקה הכללית". מאותו יום ואילך, כאשר הייתי טועה בפתרון בעיה ובוחר בלוגאריטם שאינו נכון, היה המורה נוהג לומר: זו המתמטיקה של מפמבה".

כל הכיתה אימצה לעצמה את הנוהג הזה, וכאשר הייתי טועה בדבר-מה, היו התלמידים אומרים לי "זהו ה... של מפמבה", בהתאם לנושא הטעות.

יום אחד, בשעות אחר-צהריים, מצאתי את המעבדה לביולוגיה פתוחה ושום מורה לא נמצא בתוכה. לקחתי שני כלים של 50 סמ"ק, מילאתי אחד במים קרים מן הברז ואת השני במים חמים מדוד המים החמים, הכנסתי את שניהם ללא שהות אל תא ההקפאה של מקרר המעבדה. חזרתי כעבור שעה להסתכל ומצאתי שלא כל המים הפכו לקרח, אבל היה יותר קרח בכלי שבו היו המים החמים מאשר בכלי שבו היו המים הקרים. זו לא הייתה הוכחה חותכת ממש, והחלטתי לנסות שוב בהזדמנות הבאה.

כאשר די"ר אוסבורן ביקר בבית-הספר, הורשינו לשאול אותו כמה שאלות, בעיקר בפיסיקה.

שאלתי: "כאשר מכניסים שני כלי קיבול שווים, שאחד מהם מכיל מים בטמפרטורה של 35°C והשני מכיל מים בטמפרטורה של 100°C , לתוך מקרר, יקפאו ראשונים המים החמים. מדוע?" בתחילה חיך הדוקטור וביקש שאחזור על השאלה. לאחר שחזרתי עליה, אמר: "האמנם כך הדבר, האם ניסיתי זאת?" אמרתי: "כן". ואז אמר: "אינני יודע, אבל אני מבטיח לחזור על ניסוי זה כשאחזור לדאר-א-סאלם". למחרת אמרו לי חברי, כי ביישתי אותם בשאלתי, וכי כל כוונתי הייתה להציג שאלה, שדי"ר אוסבורן לא יוכל לענות עליה. אחדים מהם אמרו לי: "מפמבה, אתה בכלל מבין את חוק הקירור של ניוטון?" עניתי להם: "התיאוריה שונה מן המעשה". אחרים אמרו: "איננו מתפלאים, זו הרי הפיסיקה של מפמבה". ביקשתי ממנהלת המטבח בבית-הספר להרשות לי להשתמש במקרר לצורך הניסוי הזה. היא העמידה לרשותי מקרר למשך שבוע. תחילה ערכתי את הניסוי בעצמי; חששתי שאם הוא ייכשל, יספרו בכל בית-הספר כמה טיפש הייתי אותו יום, כאשר שאלתי את השאלה. אבל התוצאות חזרו על עצמן. למחרת הבאתי עמי שלושה נערים, מן התלמידים שלעגו

לשאלתי, וערכתי את הניסוי. מצאנו כי הגלידה נוצרת תחילה מן החלב החם, ורק אחר-כך מן החלב הקר.

שלושת הנערים צחקו מאד והחלו מספרים לאחרים כי צדקתי, אבל קשה להם להאמין בזה. אחדים אמרו, כי הדבר אינו אפשרי. אמרתי לראש המחלקה לפיסיקה בבית-ספרי, כי הניסוי הצליח, והוא ענה: "לא יתכן, אנסה אותו היום אחר-צהריים". אך הוא קיבל אותן התוצאות.

המשך הסיפור מתואר על-ידי פרופ' דניס אוסבורן, ראש המחלקה לפיסיקה של אוניברסיטת דאר-א-סאלם, אשר למענו נכתב הדו"ח דלעיל.

המנהל של בית-הספר התיכון מקוואווה הזמין אותי להרצות בפני התלמידים על הנושא "פיסיקה והפיתוח הלאומי". הרצאתי נמשכה חצי שעה, אך השאלות לא פסקו שעה שלמה... השאלות היו רציניות והעידו על בקיאות בספרות המקצועית. אחד התלמידים עורר את צחוקם של רעיו כאשר שאל: "כאשר אתה לוקח שני כלי קיבול המכילים כמות שווה של מים, האחד בטמפרטורה 35°C והשני בטמפרטורה של 100°C , ומכניס אותם למקרר, קופאים ראשונים המים החמים יותר. מדוע?"

הדבר נשמע בלתי סביר, אך התלמיד עמד על כך, שהעובדות הן נכונות. אני אוהב להשיב על שאלות, ואני משתדל לטפח גישה ביקורתית אצל תלמידי. אין לזלזל בשום שאלה. במקרה זה הייתה סיבה נוספת לזהירות, משום שלעיתים קרובות אין עניינים שבשיגרה פשוטים כפי שהם נראים, ומסוכן לשפוט בצורה שטחית מה סביר ומה בלתי סביר. אמרתי כי העובדות כפי שנמסרו לי מפתיעות, משום שהן נוגדות את חוקי הפיסיקה הידועים לי. אולם הבטחתי לבדוק את הבעיה בדרך ניסויית, ועודדתי את השואל לחזור על הניסוי בעצמו.

כאשר חזרתי לאוניברסיטת דאר-א-סאלם, ביקשתי מטכנאי צעיר לבדוק את העובדות. הטכנאי הודיע לי, כי המים החמים יותר אכן קפאו ראשונים, והוסיף בהתלהבות בלתי מדעית: "אבל נמשיך לחזור על הניסויים עד שנקבל את התוצאה הנכונה".

ניסויים נוספים אישרו את טענת התלמיד, ופרופ' אוסבורן מצא לה הסבר ופירסם אותו ב-Physics Education (מפמבה ואוסבורן, May 1969).

E. B. Mpemba and D. G. Osborne, Cool, Physics Education Vol. 4 pp. 172-175, 1969.

* חלקו הראשון של המאמר תורגם לעברית והופיע בגליונות (13), עמ' 21-23, תשל"ד 1974. מפאת העניין חזרנו והבאנו את חלקו הראשון של המאמר כאן שנית.

תהודה