

בעיצומה של מהפכה

רון ליפשיץ | 12.10.2011 | 01:33

כולנו מרבים לשמוע ולדבר על מהפכות. מהפכות פוליטיות, מהפכות חברתיות ואפילו מהפכות טכנולוגיות דוגמת זו שהוביל המנכ"ל המנוח של חברת אפל, סטיב ג'ובס. אך בשבוע האחרון נחשף הציבור לסיפורו הדרמטי והמרגש של הפיסיקאי הישראלי פרופ' דן שכטמן, שהוביל מהפכה מסוג אחר לגמרי - מהפכה מדעית. מהפכות המתרחשות בעולם המדע נעלמות לעתים קרובות מעיני הציבור הרחב. איש מהמעורבים בהן אינו נהרג, אף אחד גם לא נכנס לכלא. לכל היותר סובל הצד המקופח עלבונות והשפלות אישיות ועומד לפני סכנה של איבוד מקום העבודה. למרות זאת, המהפכות המדעיות הן דרמטיות, מרגשות ומעוררות התלהבות נעורים בכל מי שמעורב בהן, לא פחות ממהפכות בתחומים נגישים יותר.

שכטמן זכה בפרס נובל בכימיה על גילוי הקוויז-גבישים. גילוי זה, משנת 1982, נתן את האות לתחילתה של מהפכה מדעית שעדיין נמצאת בעיצומה. כדי להבין את מהות התגלית ואת חשיבותה מומלץ להציץ במילון אבן-שושן. לפי ההגדרה במילון זה, גביש הוא "גוף מוצק בעל צורה גיאומטרית משוכללת (קובייה, פריזמה, וכו')". כך, אכן, תוארו הגבישים מאות בשנים וכך אנו גם מכירים אותם מתצוגות של מינרלים במוזיאונים מדע וטבע ברחבי העולם, מתמונות של יהלומים ואפילו מגבישוני הסוכר והמלח הקובייתיים המוחזקים בכל מטבח ביתי.

השאלה המתבקשת היא, מה אחראי לצורה החיצונית האופיינית של הגבישים? רעיונות ראשוניים, שהחלו להופיע כבר במאה ה-17, גרסו שהמבנה המיקרוסקופי הפנימי של הגבישים הוא זה שקובע את צורתם החיצונית. הרעיונות הללו פותחו ושוכללו, עד שבסוף המאה ה-18 גובשה התיאוריה המדעית של הקריסטלוגרפיה המודרנית.

במרכז התיאוריה עומד הרעיון, שגבישים הם מוצקים בעלי סדר ברמה המיקרוסקופית. ההנחה, או הפרדיגמה המדעית הבסיסית, היתה שהאופן שבו מושג הסדר מבוסס על עקרון המחזוריות. כלומר, ברמה המיקרוסקופית יש בגבישים יחידת מבנה בסיסית כלשהי, שחוזרת על עצמה בלי גבול בכל הכיוונים וממלאת את כל המרחב. מבחינה זאת יחידת המבנה הבסיסית דומה לאריח מרובע, שבאמצעות עותקים זהים שלו מרצפים חדר אמבטיה, או למערכים המשושים המחזוריים שמהם בונות הדבורים את חלות הדבש שלהן.

הרעיון בדבר הסדר המחזורי של הגבישים נחל הצלחה מרשימה. הודות לו הצליחו חוקרי הגבישים לנבא את כל הזוויות האופייניות שיכולות להופיע בין פאותיהם של גבישים מכל סוג נתון. ב-1912 נמצא כי קרני רנטגן משנות את כיוון תנועתן בתוך גבישים, בעקבות אינטראקציה עם האטומים שלהם, בתהליך המכונה "עקיפה". הגילוי סייע לחקור מבנה של גבישים וגם סיפק בסיס מוצק לתיאוריית הקריסטלוגרפיה. מאז נחקר המבנה הפנימי של אין-ספור גבישים בעזרת ניסויי עקיפה, ובדרכים נוספות.

אפילו חקר המבנה של מולקולות ביולוגיות מורכבות מבוסס על גיבושן לכדי מבנה מחזורי, ולאחר מכן נערך בהן ניסוי עקיפה בקרני רנטגן כמו בכל גביש אחר. פרופ' עדה יונת נהגה כך כשרצתה לגלות את

מבנה הריבזום, תגלית שזיכתה אף אותה בפרס נובל בכימיה. במשך 70 שנה, כל תרשימי העקיפה שהתקבלו עלו בקנה אחד, באופן מושלם, עם ניבויי התיאוריה. הם תאמו את הפרדיגמה הבסיסית של הקריסטלוגרפיה, שלפיה כל הגבישים מקבלים את הסדר שלהם מן המחזוריות. אין פלא שהמחזוריות, אף כי מעולם לא הוכח שהיא דרישה הכרחית לסדר, שולבה בהגדרה על מהות הגביש. עד לגילוי הקוויז-גבישים, הכל בעצם "ידעו" שגבישים הם מוצקים הבנויים מיחידות זהות המסודרות במערך מחזורי.

אחת ההשלכות הידועות של המחזוריות היא, ההגבלה של הסימטריה הסיבובית. כלומר, של המידה שבה אפשר לסובב גביש סביב ציר מסוים, בלי שמראהו ישתנה בעיני המתבונן. לפי הקריסטלוגרפיה הקלאסית, סימטריות הסיבוב האפשריות היחידות הן פעולות של חצי, שלישי, רבע או שישית הסיבוב. סימטריה של חמישית הסיבוב אינה עולה בקנה אחד עם המחזוריות. מסיבה זו, עד לגילוי הקוויז-גבישים הכל "ידעו" שלא תיתכן סימטריה סיבובית מחומשת של גבישים. קשה לתאר מה חש שכטמן ב-8 באפריל 1982, כאשר ערך ניסוי בעקיפת אלקטרונים בסגסוגת של אלומיניום ומנגן, והבחין בתרשים המתאר גביש בעל סימטריה של חמישית סיבוב - גביש שאינו מחזורי.

את ראשית המהפכה המדעית חווה שכטמן לבדו. הקהילה המדעית נהגה בדיוק על פי תיאורו של תומס קון בספר "המבנה של מהפכות מדעיות", וסירבה בעקשנות לזנוח את הפרדיגמה הקיימת. שנתיים וחצי עברו עד שהתאפשר לשכטמן לפרסם את תגליתו בעיתונות המדעית וחלפו עוד שנים עד שרוב המדענים שוכנעו באמיתותה. עם זאת, מיד התגבשה קהילה חדשה ותוססת של מתמטיקאים, פיסיקאים וכימאים, אשר החלה לחקור ולהבין את הגבישים הלא מוכרים.

ב-1991 פירסם האיגוד הבינלאומי לקריסטלוגרפיה הגדרה מחודשת של המושג גביש, המכירה רשמית בתגליתו של שכטמן. אבל המהפכה לא הסתיימה בזאת. בעקבות נטישת הדרישה למחזוריות עברה המהפכה לשלב היותר מאתגר שלה. זהו השלב שבו נבנית פרדיגמה חדשה ועולות תיאוריות והבנות מדעיות חדשות. בשלב הזה נדרשות מקוריות, חדשנות ויצירתיות, משום שרוב הכלים - תיאורטיים וניסיוניים - שפותחו כדי לחקור גבישים מחזוריים, אינם ישימים כשמדובר בגבישים שאינם מחזוריים.

בשנת 2007 ערכנו בתל אביב כינוס בינלאומי לציון 25 שנה לתגליתו של שכטמן. התברר שנרשמו הישגים משמעותיים בבניית הפרדיגמה החדשה, אבל ככל שמתקדמת הבנת הגבישים הלא מחזוריים עולות שאלות עמוקות יותר ומאתגרות יותר. לדוגמה, אנו יודעים לתאר את המבנה האטומי של חלק מן הקוויז-גבישים, אבל איננו יודעים להצביע בוודאות על הסיבה להיווצרותם ועל הגורם ליציבותם. אנו מסוגלים לגדלם לממדים של סנטימטרים, וכך אפשר לקיים מדידות מעבדה מתקדמות של תכונותיהם הפיסיקליות, אולם יש בידינו תיאוריות המסבירות את התכונות הללו באופן חלקי בלבד. אין לי ספק שצפויות לנו שנים רבות של מחקר אינטנסיבי מרתק, עד ששוב נחשוב שאנו מבינים את כל מה שיש להבין על גבישים. אז נהיה מוכנים למהפכה המדעית הבאה.

הכותב, פרופ' לפיסיקה באוניברסיטת תל אביב, הוא יו"ר הוועדה לגבישים לא-מחזוריים של האיגוד הבינלאומי לקריסטלוגרפיה
