



התגלית שפרצה את גבולות ההיגיון*

התלמידים: קרן אשטמקר ונועם מלכה
כיתה יב', מקיף ז', באר-שבע
בהנחיית המורה: דורית פלקוביץ'

הוא מוכר כ"אבי מדע החומרים הקוואזי-מחזוריים", ייסד תחום חדש בעולם המדעי, וזכה בפרס נובל לכימיה. יצאנו לפגוש את פרופסור דני שכתמן, הישראלי המצליח, מחולל הסערה בעולם המדע, כדי לשמוע על סיפור התגלית המרעישה ממקור ראשוני.

"אני רוצה להגיד לכן משהו", אמר לנו פרופסור שכתמן בריאיון: "מה שקובע את גורלכן זה המקריות. רוב הדברים החשובים שיקרו לכן יהיו במקרה..." וכך, פרופסור שכתמן, שהיה אדם חרוץ ופעלתן, החליט להמשיך בלימודיו לתואר שני בהנדסת חומרים ולשמש גם אסיסטנט בטכניון. מטרתו הייתה להרוויח כמה שיותר עד שיסיים את לימודיו וימצא עבודה כמהנדס מכונות.

אבל לחיים היו תוכניות אחרות. השנתיים שבהן למד לתואר שני חשפו אותו לאהבה השנייה שלו - מדע החומרים.



סיפור האהבה הראשון של פרופסור שכתמן עם עולם המדע החל בגיל שבע, כאשר סבו העניק לו מתנה קטנה, זכוכית מגדלת תמימה. פרופסור שכתמן גילה עניין, החל לחקור את הטבע שהקיף אותו, עד שהתאהב בעולם הדברים הקטנים. ופה מתחיל הסיפור שלנו...

בזמן שרובנו התעניינו בגיבורים כמו ספיידרמן או סופרמן, פרופסור שכתמן התעניין דווקא בגיבור אחר. מה הקשר לסיפור שלנו, אתם שואלים?

אז ככה, הספר "אי התעלומות", אותו אהב פרופסור שכתמן לקרוא, חשף בפניו את הגיבור הראשי. ולא, הוא לא היה בעל כוחות על, אלא מהנדס. וכמו כולם, גם פרופסור שכתמן שאף לחקות את הגיבור שלו. במקום לחלום להיות גיבור המציל את העולם, פרופסור שכתמן חלם להיות מהנדס ולהגיע לטכניון. ואכן, עשה את רוב המאמצים כדי להגשים את חלמו ולהשיג את מטרתו.

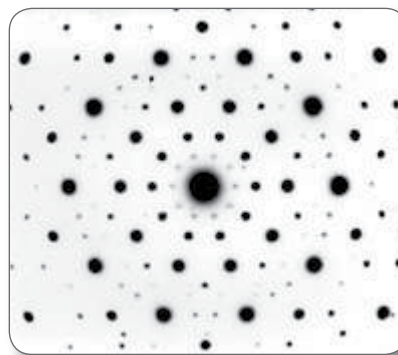
ב-1966, צעיר ונשוי שצריך לפרנס את משפחתו, סיים את לימודי התואר הראשון בהנדסת מכונות, אך המציאות הקשה טפחה על פניו ולצערו הוא לא מצא עבודה ההולמת את מקצועו ואת כישוריו.

* הכתבה זכתה במקום ראשון, בקטגוריית הכתבות, במסגרת התחרות "יש לנו כימיה", תשע"ט.

הדרך לתגלית...

מרצה בכיר כבן 41 מישראל הקטנה יוצא בהצהרה שמרעידה את פני המדע. במהלך שהותו ב-NBS, מעבדת מחקר בארצות הברית, לאחר שהוזמן לחקור על סגסוגות קלות לכלי תעופה, הביט שכטמן במיקרוסקופ האלקטרוני והבחין בדבר יוצא דופן ואף בלתי אפשרי על פי חוקי הקריסטלוגרפיה (חקר הגבישים).

במהלך מחקרו, מיצק סגסוגות במהירות, פעולה המקנה לסגסוגות תכונות מיוחדות. "התאריך היה 8 באפריל 1982, שעת אחר הצהריים..." נזכר פרופסור שכטמן ביום הגילו, שבו הכין גביש מסגסוגת אלומיניום יחד עם 25% מגן. כאשר מחממים הרכב זה לטמפרטורה מעל 400 מ"צ. המבנה המתכתי המוכר נשבר ונוצרים קשרים כימיים חדשים. החומר הופך לתרכובת בין מתכתי. הוא חקר תרכובת זו תחת מיקרוסקופ אלקטרוני אשר שלח קרן אלקטרוני שחדרה דרך הגביש ויצרה דוגמה של מבנה הגביש. כשהסתכל במסך המיקרוסקופ הבחין שכטמן בעשר נקודות אור שהקיפו נקודה מרכזית אחת. "האם זו סימטריה סיבובית של עשר?" משתף אותנו הפרופסור במחשבותיו. "בזבזתי את כל אותו אחר הצהריים כדי לברר מה זה..."



תמונה מקורית של דיפרקציית האלקטרוני בסגסוגת אלומיניום מגן שצילם פרופסור שכטמן ב-8 באפריל 1982.

לאחר מחשבה רבה סבר פרופסור שכטמן כי לא מדובר בסימטריה סיבובית של 10, אלא בתאומים, כלומר, מפגש של כמה גבישים היוצרים מראית עין של סימטריה מחומשת.

לאחר שערך חקירה מעמיקה התברר לו כי טעה ולא מדובר בתאומים, אלא בגביש חדש לא מחזורי בעל סימטריה מחומשת, דפוס שונה, שנחשב עד אז לבלתי אפשרי, שכן סתר את ההגדרה המקובלת של גביש. שוב מצא עצמו פרופסור שכטמן בנקודת ההתחלה. "ידעתי מה זה לא, לא ידעתי מה זה כן".

אבוד ומבולבל ניסה פרופסור שכטמן למצוא תשובה אצל עמיתיו המדענים ב-NBS, אולם אלה סירבו לתמוך בגילוי. למרות ניסיונות השכנוע הרבים מצידו, הוא לא רק נתקל בתגובות התנגדות וזלזול מצידם, אלא אף סולק מהמחקר.

כשחזר ארצה פגש פרופסור שכטמן את פרופסור אילן בלך, האיש אשר הציע את המודל המסביר כיצד דבר כזה יכול להתקיים, ויחד הם כתבו מאמרים המסבירים את התופעה, אך ניסיון פרסומם לא צלח. בשנת 1984 ניסיונותיו של פרופסור שכטמן נשאו פרי והוא פרסם יחד עם עמיתיו את המאמר הראשון המציג את הגביש הכמו מחזורי, קוואזי מחזורי. עניין זה עורר סערה גדולה בקרב הקהילה המדעית ורבים התנגדו לטענותיו של פרופסור שכטמן, ביניהם גדול הכימאים של המאה העשרים, פרופסור לינוס פאולינג, חתן שני פרסי נובל, שטען כי "אין קוואזי גבישים, יש רק קוואזי מדענים".



גדול המדענים של המאה העשרים, פרופסור לינוס פאולינג בצעירותו

כיום, כשאנו שואלות את פרופסור שכטמן כיצד הביקורת השלילית, הבוז והלעג שספג מגדולי המדענים בעולם השפיעו עליו, הוא עונה כי: "הביקורת השלילית הייתה מאוד מרשימה". לדבריו, התגלית, שעוררה סערה בעולם המדע, הגיעה לכימאי הגדול ביותר בעולם של המאה העשרים, אשר תקף אותו אישית, ובשבילו זה כבוד גדול. "אם הכימאי הגדול ביותר טוען שאתה דובר שטויות, מדוע לא הקשבת

לו?" הקשינו, "מה גרם לך להאמין כי אתה, מרצה בכיר, צודק, והוא טועה?" פרופסור שכטמן טען בתגובה כי הצלחתו נובעת ממומחיותו במיקרוסקופיית אלקטרוני חודרת, ולכן הוא הצליח לזהות תופעה שרבים אחרים לא זיהו.

אז על מה כל המהומה? בסך הכול גביש בעל סימטריה סיבובית מחומשת.

אז זהו, שלא. אם הייתם שואלים מדענים עד אותה העת מהי ההגדרה של גביש, כולם היו משיבים בתשובה אחת ויחידה: "חומר מוצק שבו אטומים מסודרים במבנה מחזורי". הגדרה זו הייתה מקובלת במשך עשרות שנים ולא הייתה מוכחת, אלא מבוססת על מחקרים רבים שנעשו בידי חוקרים מהמעלה הראשונה. כל המחקרים הראו כי גביש הוא בעל מבנה מסודר ומחזורי, ולא היה יוצא מן הכלל.

אבל מה הכוונה בכלל כשמדברים על סימטריה סיבובית?

סימטריה סיבובית קיימת בגוף כאשר אפשר לסובב אותו סביב נקודה מסוימת והמבנה שלו מועתק על עצמו לפני תום הסיבוב. ומהי הסימטריה הסיבובית שיכולה להימצא בגביש? רק סימטריה סיבובית של 1, 2, 3, 4 ו-6. לא של 5 ולא מעל 6.

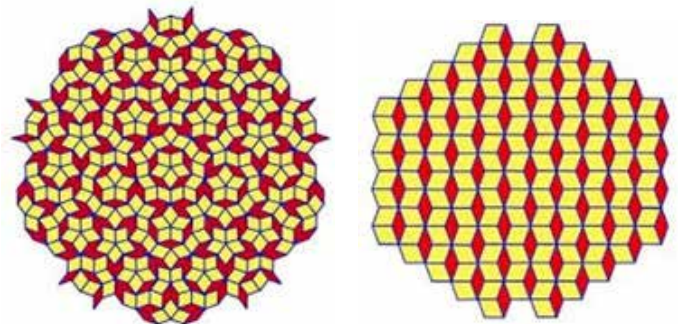
ובמילים פשוטות יותר: דמיינו לעצמכם אריחי רצפה. כאשר ננסה לרצף משטח מישורי בעזרת אריחים בצורות כמו ריבוע, מלבן,

טוב לדעת!

מיקרוסקופ אלקטרוני חודר מציג פרטים זעירים שהעין האנושית ומיקרוסקופ רגיל אינם יכולים לקלוט. למיקרוסקופ האלקטרוני תרומה משמעותית בעולם המדע והטכנולוגיה, בין היתר בחקר של סרטן, תאים נסתרים בגוף, חיידקים, נגיפים ואף מולקולות ואטומים הנחשפים בצפייה דרך המיקרוסקופ

משושה או משולש משוכלל, נקבל משטח מסודר ללא רווחים ובמבנה החוזר על עצמו מכל כיוון שנסתכל. אך כאשר ננסה לעשות זאת בעזרת אריח מחומש, נקבל משטח שאינו מסודר ובעל רווחים בין האריחים, אלא אם ניעזר בצורה נוספת.

כלומר, סימטריה מחומשת יוצרת מבנה שאינו מסודר, מה שסותר את הגדרת הגביש, ולכן סימטריה זו לא באה בחשבון.



ריצוף פנרוז קווד-מחזורי

ריצוף מחזורי

תגליתו של פרופסור שכטמן שברה את ההגדרה המוסכמת של הגביש ושנתה את התפיסה שלפיה גבישים הם בעלי מבנה מחזורי. בגילוי מצא בעצם מבנה ללא מחזוריות - גבישים כמו-מחזוריים. אין לגבישים האלה מחזוריות קבועה, והאטומים שלהם מסודרים במבנה שמשתנה כל הזמן. גבישים אלה יכולים לגדול לממדים גדולים והם בעלי מוליכות גרועה של חום וחשמל, חרף העובדה שאין הם יסודות טהורים אלא סגסוגות של מתכות. סגסוגות בהרכב זה אינן יעילות. הן מתפוררות ולכן לא נעשה בהן שימוש. חשוב לציין כי אין גבישים קוואזי-מחזוריים המגיעים מן הטבע, כולם תרכובות בין מתכות ובהן קשרים מתכתיים (בחלקם גם קשרים יוניים) והם ניתנים לייצור בכל דרך שאפשר לייצר בה חומר מתכתי. רבים מהגבישים הקוואזי-מחזוריים הם על בסיס אלומיניום, אך קיימים מאות גבישים המורכבים מחומרים מתכתיים שונים, כגון ברזל, נחושת וטיטניום.

התגלית שאליה הגיע פרופסור שכטמן הייתה מקרית בהחלט. אולם נדרש זמן רב ועבודה קשה עד אשר הצליח להעביר לעולם את תגליתו ועד אשר עולם המדע קיבל את דבריו. גם כאשר מדענים רבים גילו כי יש אמת בדבריו, היו שהמשיכו לזלזל בו ולטעון כי הוא דובר שטויות. במשך כמעט שלושים שנה מיום

התגלית זכה פרופסור שכטמן בפרסים רבים עקב תגליתו המרשימה.

בחמישה באוקטובר 2011, בשעה 11:15 בבוקר, בזמן שהותו במשרד, קיבל פרופסור שכטמן טלפון מפתיע: "הלו? כאן האקדמיה השבדית למדעים. בבקשה המתן על הקו לקבלת הודעה חשובה מאוד". פרופסור שכטמן קיבל את הבשורה כי זכה בפרס נובל. "ומי המדען הנוסף שמקבל את פרס הנובל יחד איתי?" שאל פרופסור שכטמן, הרי לרוב מקבלים שניים או שלושה מדענים. להפתעתו הוא היה היחיד שקיבל באותה שנה את הפרס. פרופסור שכטמן הביא גאוה וכבוד רב למדינת ישראל. כיום הוא בטוח כי בעתיד יהיה אפשר להרחיב את הגילוי לדברים נוספים ואף מעודד לך. בנוסף הסיכוי כיום שהגילויים יתקבלו בקרב המדענים גדול יותר מעבר. כנראה שהעולם למד לקח.



בתמונה, אנחנו עם פרופ' דן שכטמן

"מה שאיפות שלך לעתיד?" אנחנו שואלות לסיכום



שיר המספר על התגלית של פרופ' שכטמן

"לתרום כדי להביא יותר ילדים להבנה מדעית". פרופסור שכטמן חושב שצריך יותר מדענים, מהנדסים ויזמים טכנולוגיים בעולם, ובארץ בעיקר, ושיש לחשוף את המקצועות המדעיים לדור הבא כבר בגיל צעיר.

רשימת מקורות מידע:

<https://www.madatech.org.il/dan-shechtman>

<https://www.haaretz.co.il/misc/1.1168648>

<https://www.youtube.com/watch?v=GYX2eoWfn-B8&t=2449s>