

היקום החשמלי - סיפורו האמיתי והמהמם של החשמל

האם אפשר בכלל לתפוס את האנושות בלעדיו

דיוויד בודאניס. תרגמה מאנגלית: איריס רילוב. הוצאת כתר, 257 עמ' יורם קירש, האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב

חשמלי מתנווד פולט גל אלקטרומגנטי, שאינו אלא תנודות בשדה המגנטי והחשמלי המקיפים את המטען. התנודות בשדה האחד מעוררות תנודות בשדה השני וחוזר חלילה וכך נוצר גל, או שדה כוח מתנווד, ההולך ומתפשט במרחב.

היום אנו יודעים כי גלי הרדיו הבלתי נראים, האור הנראה וקרני הרנטגן הם כולם גלים אלקטרומגנטיים, אך כאשר מקסוול מת, בשנת 1879, רוב אנשי המדע התייחסו לרעיונותיו כאל השערות בלתי מוכחות. ואולם, בשנת 1887 הצליח היינריך הרץ ליצור גלים אלקטרומגנטיים במעבדתו בקרלסרוהה שבגרמניה, ופתח בכך עידן חדש בתקשורת. מקסוול עצמו נעזר בניסויים וברעיונות של קודמיו. הרעיון שסביב מטען חשמלי יש שדות כוח בלתי נראים היה של פאראדיי, והוא הגיע אליו בזכות אמונתו הדתית: פאראדיי היה משוכנע שהחלל אינו ריק משום שאלוהים נוכח בכל מקום. הוא חיפש תמיכה

בכתביו של ניוטון ונתקל במכתב שכתב ב-1693. קריאה שטחית של המכתב מעוררת את הרושם שניוטון לא ידע להסביר איך פועל כוח הכבידה בין שני גופים רחוקים. ואולם פאראדיי הבין שניוטון רמז לקיומו של שדה כוח הממלא את החלל שבין הגופים, וראה בכך תמיכה ברעיונותיו שלו.

העובדה שפאראדיי שאב רעיונות פיסיקליים מעיקרון דתי אינה תופעה יוצאת דופן. בודאניס מראה כי רעיונות מדעיים נולדים לא פעם בזכות הניסיון והחוויות של המדען בתחומים שמחוץ למדע. הפיסיקאי רג'ינלד ג'ונס, ששירת במודיעין הבריטי, נתקל בשם הקוד "פְּרִיָה" במסמכים גרמניים שעסקו במכ"ם. מכיוון שבאוקספורד דרשו מהסטודנטים לפיסיקה ידע נרחב בספרות, ג'ונס ידע שפריה היא אלה מהמיתולוגיה הנורדית, וההיכרות איתה סייעה לו לחשוף את תכונות המכ"ם הגרמני ולשבש את פעולתו.

דוגמה נוספת: אלן טיורינג מבריטניה, שנחשב לאחד ממייסדי מדעי המחשב, איבד את אמונתו הדתית בגיל 17 כאשר חבר קרוב שלו מת משחפת. טיורינג הפסיק להאמין בקיום

ספרו הקודם של של דיוויד בודאניס, $E = MC^2$ סיפורה של התגלית הגדולה בהיסטוריה" (כתר 2002), גולל את סיפורה של הנוסחה המפורסמת של אלברט איינשטיין ואת השלכותיה, מיצירת מערכת השמש ועד פצצות האטום שהוטלו על הירושימה ונגסקי. הספר הנוכחי מספר את סיפורו של החשמל, או ליתר דיוק את ההיסטוריה של הטכנולוגיות המבוססות על הכוח החשמלי-מגנטי, אחד מארבעת הכוחות היסודיים ביקום. המחקר של תחום החשמל החל בניסויים פשוטים שמזכירים משחקי ילדים יותר מניסוי מדעי; לואיג'י גַלְוַנִי (Luigi Galvani), פרופסור לאנטומיה באוניברסיטת בולוניה, גילה בשנת 1791 כי החיבור של תיל מתכת לרגלי צפרדע מתהגרם להן להתכווץ ולפרפר כאילו חזרו לחיים. התגלית היתה מקור לספקולציות על הקשר בין החשמל לכוח שביסוד החיים. הפיסיקאי

האיטלקי, אֶלְסַנְדְרוֹ ווֹלְטָה (Alessandro Volta), הסיק מהניסויים של גלווני מסקנה פשוטה: המגע בין חוט המתכת לעור הצפרדע הלח יצר במתכת זרם חשמלי. בשנת 1800 הוא הצליח לבנות את הסוללה החשמלית הראשונה. המאה ה-19 היתה תור הזהב של חקר החשמל. חוקרים באירופה ובארה"ב חקרו את תכונות

הזרם החשמלי, את הקשר בין חשמל ומגנטיות ואת הגלים האלקטרומגנטיים הנוצרים סביב זרם חשמלי משתנה. התגליות הללו הובילו להתפתחויות חשובות בתחום הטכנולוגיה, בזכות ממצאים כאדיסון, בל ומרקוני. היום אנו כה תלויים בחשמל עד כי הפסקת חשמל כללית בעולם היתה ממוטטת את הציוויליזציה האנושית בתוך כמה ימים, כפי שמציין בודאניס במבוא לספר. ההמצאות וההתפתחויות הטכנולוגיות קשורות קשר הדוק להתפתחויות המדעיות. למשל, פיתוח הטלגרף האלחוטי והרדיו לא היה יכול להיעשות בלי תגליתו של הפיסיקאי הסקוטי ג'יימס קלרק מקסוול, שבבית הספר התייחסו אליו כאל שוטה, ולמרות זאת הפך לתיאורטיקן הגדול ביותר של המדע במאה ה-19. בשנת 1864 פיתח מקסוול תיאוריה שהראתה כי מטען

רק לפני 200 שנה בערך נתגלה החשמל ושינה לחלוטין את פני החיים האישיים, החברתיים והפוליטיים על כדור הארץ; ספרו המרתק של דיוויד בודאניס מתאר את הסיפורים האנושיים שמאחורי ההמצאות ואת השינויים הדרמטיים שהביאו לעולם. יורם קירש על אחד מארבעת הכוחות היסודיים של היקום ועל הקשר בינו לבין קיומו של אלוהים

הנשמה לאחר המוות, ולדעת בודאניס הדבר סייע לו לתכנן את המחשב. אדם שמאמין בנשמה בת אלמוות יתקשה לדמיין מכשיר מלאכותי שמחקה את החשיבה האנושית. ואולם מי שמשוכנע שהקשר בין הנשמה לגוף דומה עקרונית לקשר בין תוכנה לחומרה במחשב, לא יירטע מהרעיון לבנות בינה מלאכותית מרכיבים אלקטרוניים חסרי רגש.

מניעים אישיים שיחקו תפקיד חשוב בפיתוח כמה המצאות גדולות, אלכסנדר גראהם בל היה מורה לחרשים שהתאהב בתלמידתו החירשת, מייבל האברד, למורת רוחם של הוריה העשירים. כדי לזכות ביחס של כבוד מצד ההורים, הוא ניסה לפתח מכשיר חשמלי שיוכל לחקות את הקול האנושי, ואולי לאפשר לחירשים-אילמים לדבר. בסופו של דבר הוא המציא בשנת 1875 את הטלפון (וגם זכה בידה של תלמידתו, ובסיוע מצד אביה לפיתוח ההמצאה). חברת בל הפכה לחברת תקשורת ענקית, אבל גם ייצרה עזרי שמיעה לחירשים. בשנת 1948 היא פיתחה את הטרנזיסטור שאיפשר למזער את מכשירי השמיעה, ופתח אופקים חדשים בהרבה שטחים אחרים. שלושה חוקרים של חברת בל זכו בפרס נובל לפיסיקה על המצאת הטרנזיסטור. לאחד מהם, ג'ון ברדין, היה עניין אישי בהמצאה משום שכמו אלכסנדר בל, גם הוא היה נשוי לכבדת שמיעה. שני חתני הפרס האחרים היו ויליאם שוקלי ונלקר בכטיין.

בודאניס מייטיב לנסח הסברים פשוטים לתופעות מסובכות. את פעולת המנוע החשמלי הוא מתאר באנלוגיה לשעון שהמחוג שלו נמשך קדימה על ידי שורה של אלקטרומגנטים, המופעלים ומכובים חליפות. את פעולת המחשב הוא מסביר בעזרת "המחשב האנושי" שהוקם בשנת 1940 בבֶּלְצ'לִי פארק שבדרום אנגליה, כדי לפצח את מכונת ההצפנה הגרמנית "אניגמה". המחשב האנושי הורכב ממאות חיילות שהפעילו מכשירים מכניים שחיקו את האניגמה. טיורינג פיקח על הצוות ו"תיכנת" אותו על פי מברקים גרמניים שנקלטו.

גם תיאורי ההשפעות החברתיות של התגליות המדעיות וההתפתחויות הטכנולוגיות מרתקים ומאלפים. התפשטות הטלגרף בארה"ב ובאירופה בסביבות 1850 יצרה תופעות של גלובליזציה, ובין השאר סייעה למספר גדל והולך של מהגרים מאירופה לעשות את ההכנות הדרושות כדי להגר לאמריקה. המצאת הטרנזיסטור הביאה שפע של טכנולוגיות חדשות: טלפונים סלולריים, מחשבים נישאים, לווייני תקשורת, מצלמות דיגיטליות, דואר אלקטרוני ואינטרנט, בדיקות סי-טי ומיפוי הגנום האנושי. המחשבים גרמו לכך שרשתות קמעוניות ענקיות החליפו את חנויות המכולת. הם צימצמו את מספר הפקידים בחברות פרטיות וממשלתיות והגדילו את מספר המתכנתים. התקשורת הפכה את העולם לכפר גלובלי, ושינתה את אופי הדמוקרטיה שתלויה היום בתקשורת יותר מתמיד. החשמל ממלא תפקידים חיוניים גם בגוף האדם. דחפים

חשמליים אחראיים על העברת אותות בתאי העצב בגופנו ועל פעולת מוחנו; על כן אפשר לומר כי המחשבות ומצבי הרוח שלנו הם חשמליים ביסודם. במשך שנים לא היה ברור כיצד חוצים האותות החשמליים את המרווח (הקריו סינפסה) בין קצותיהם של תאי עצב סמוכים. אחד החוקרים שהגו בבעיה היה הפרמקולוג היהודי אוטו לוי, מאוניברסיטת גרץ באוסטריה. בשנת 1921, בערב הפסחא, הוא התעורר באמצע הלילה מחלום שבו חשב על ניסוי שיוכל לפתור את הבעיה. הוא רשם את הרעיון על נייר אך בבוקר לא הצליח לקרוא את השרבוטים שכתב וגם לא זכר דבר מהחלום. למזלו החלום חזר בלילה הבא. הפעם לא ניסה לוי לרשום את שזכר, אלא התלבש, מיהר למעבדה והחל בהכנות לביצוע הניסוי.

התוצאה היתה גילוי המולקולות המכונות נירוטרוסמיטרים שהצמיד קדימה את מחקר מערכת העצבים, וזיכה את לוי בפרס נובל לרפואה לשנת 1936. בשנת 1938 הוא נאלץ לעזוב את אוסטריה, וכספי פרס הנובל שלו הוחרמו לטובת המשטר הנאצי. הוא נקלט בארה"ב והמשיך במחקריו באוניברסיטת ניו יורק.

ההיסטוריה של התגליות השונות המתוארות בספר היא בדרך כלל ממצה, אם כי פה ושם יש השמטות תמוהות, למשל, פיזוח קוד האניגמה בבֶּלְצ'לִי פארק מוצג כניצחון של צוות המפענחים הבריטי בראשות אלן טיורינג, ואין איזכור נאות של תרומות אחרות להישג הזה, ובראשן עבודתם של מתמטיקאים פולניים בשנות ה-30, ושל מבצעים נועזים לתפיסת ספרי קוד ומכונות אניגמה פעילות מצוללות גרמניות. תיאור מלא יותר של פענוח האניגמה מופיע בספר "סודות ההצפנה" של סיימון סינג (ידיעות אחרונות, 2003). בניגוד לספר הקודם של בודאניס, $E = MC^2$, שמשופע באירורים ובתמונות, ההוצאה העברית של הספר הנוכחי חסרה לחלוטין אירורים שהיו יכולים לתרום הרבה להבנת הכתוב.

התרגום העברי קריא בדרך כלל אך לא נקי מפגמים הנובעים מתרגום מילולי מדי; ביטוי כמו "מברק התשובה של הנשיא היה קצר בה-במידה" (עמ' 79) פוגם בהנאת הקריאה גם אם לא בהבנת הטקסט. עריכה מדעית קפדנית יותר היתה מונעת משפטים שגויים כמו "אטומים בעלי כוח חשמלי גדול מהרגיל" (עמ' 183).

הכרת תודה

הכתבה הופיעה לראשונה במוסף "ספרים" בעתון הארץ מיום 20.9.2006.

אנו מודים למחבר הכתבה פרופסור יורם קירש ולמר דרור משעני, עורך מדור "ספרים" ב"הארץ" על הרשות שנתנו לנו לפרסם את הכתבה ב"תהודה".