

ספרים

מה חדש במדע

מי צריך עוד ספר על אלברט איינשטיין? זהו, שהפעם מדובר בטקסט שווה לכל נפש, שאינו נכנס למעמקי המשוואות והמילים המסובכות של עולם הפיזיקה / **גדי איידלהייט** /

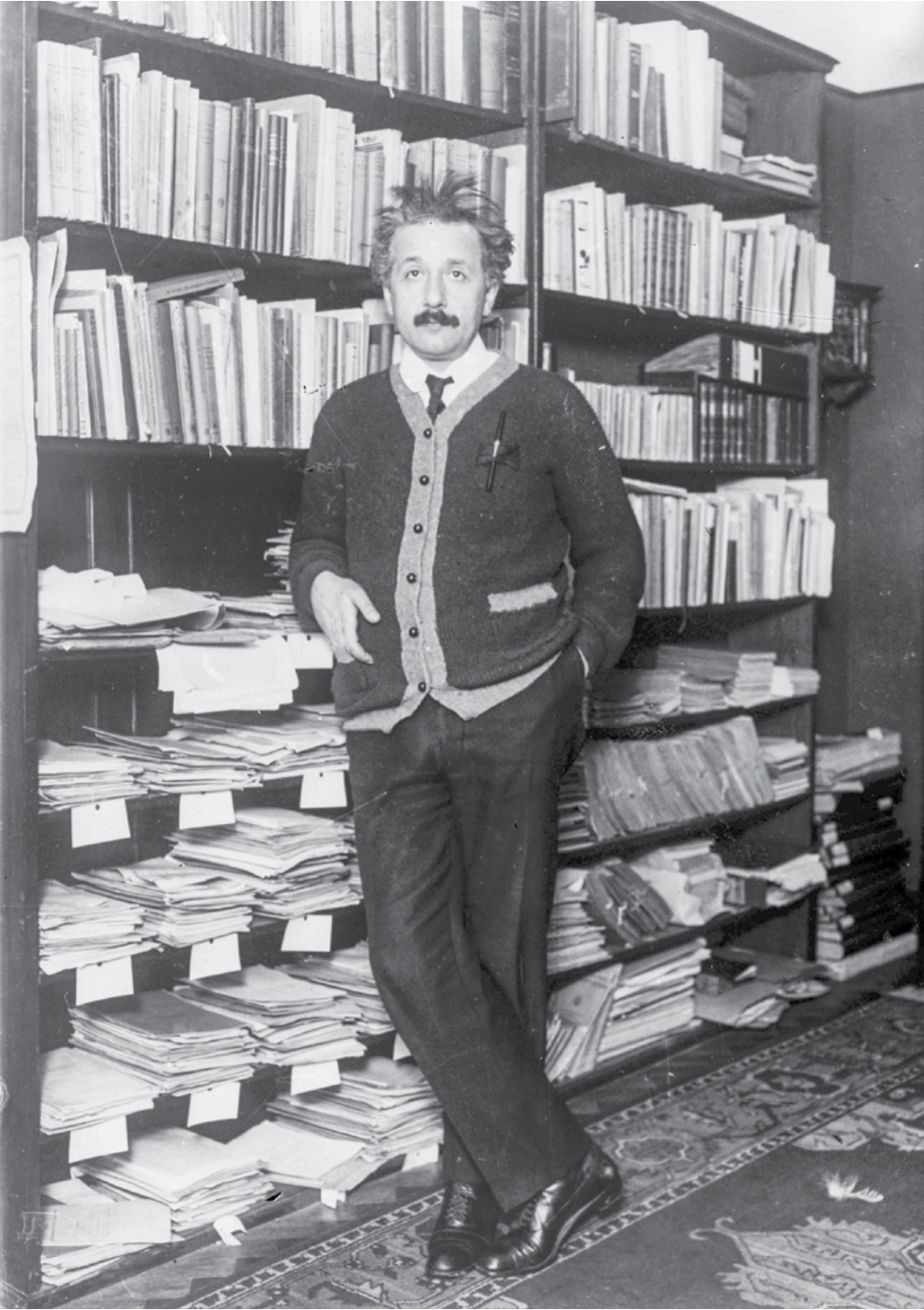
▲ בהקרמה לספר מתייחס מחברו, חנוך גוטפריינר, לשאלה בלתי נמנעת: "עוד ספר על איינשטיין?" תשובתו בקצרה היא שכאשר עורכים סדרה על "ספרים משני עולם", אי אפשר שלא להתייחס לכתביו של המדען הנודע. לפיכך הספר אינו ביוגרפיה, והוא גם צנום למדי. הוא לא נועד להאיר פינות חדשות או להתייחס לאספקטים שוליים בחייו של איינשטיין, אלא להסביר לקורא מה בדיוק עשה איינשטיין ששינה את תמונת העולם, או כלשון כותרת המשנה, "יצר עולם חדש". הספר פותח בתמונת המצב של עולם הפיזיקה בתחילת המאה העשרים, ומשם עובר לעבודתו של איינשטיין והשפעתה על המדע. נביא כאן תמצית קצרה ומופשטת של הרברים, המופיעים בספר בצור רה נרחבת ושלמה יותר. ההתפתחות החשובה האחד רונה לפני איינשטיין היא עבודתו של ג'יימס קלאר רק מקסוול, שהמשוואות שפיתח הצליחו לקשור את תופעת החשמל והמגנטיות לכדי תופעה אחת, שמאז מכונה "אלקטרומגנטיות". זו הייתה התקרי מות עצומה בפיזיקה, שאיחדה לכדי מערכת אחת שני תחומים שנחשבו עד אז נפרדים. מאז והלאה, התיאבון לאחר תחומים נוספים הלך וגדל.

אל הזירה הוו הגיע איינשטיין, שהיה מעין "זאב בורד" – נטול משרה באוניברסיטה, מועסק במשרה טכנית וזטרה למדי ככוחן פטנטים בשווייץ. לפי גוטפריינר, עצמאותו של איינשטיין לא עמדה לו לרועץ אלא דווקא אפשרה לו חשיבה עצמאית על נושאים שמעניינים אותו מבלי להיות כפוף לגח מותיו של פרופסור כלשהו שיטיל עליו משימות שאינן לרצונו. הפריצה של איינשטיין הגיעה בשנת 1905 – המכונה Annus Mirabilis, או "שנת הפי לאות" – עם ארבעה מאמרים ששינו את הפיזיקה ואת העולם.

פיצח את האטום

לפני 1905 כלל לא היה ברור האם אטומים קיימים, תופעות שונות של האור לא היו מוסברות, וחוקי ניוטון נחשבו לאמת מוחלטת. בתוך כמה חר דשים שינה איינשטיין את כל תורת הפיזיקה ופתח דרכים חדשות לפתרון בעיות נוספות.

עורך אריאל שנבל



המשרה הזוטרה אפשרה לו חשיבה עצמאית. אלברט איינשטיין, 1925 צילום: גטי אימג'ס

פריצת הדרך הראשונה הייתה ההוכחה שהאור אינו מתנהג רק כגל אלא גם כחלקיק, פוטונים, במסגרת תופעה המכונה "האפקט הפוטואלקטרי". שימו לב למילה "אלקטרי", שהזכרנו בהקשר של חשמל ומגנטיות. בכך, גם האור ואיתו עולם האופטיקה נקשרו לעולמות המושיגיים של החשמל והמגנטיות. ואכן, כיום האור נתפס כסוג נוסף של קרינה אלקטרומגנטית, בדומה לגלי רדיו. הבנה זו פתחה את הדרך למכניקת הקוואנטים על שלביה השונים. לאיינשטיין היו "יחסים מורכבים" איתה, והם מפורטים בחלקו השני של הספר.

עבודה שנייה של איינשטיין, שנועדה לפתור

את אופי התנועה של חלקיקים קטנטנים אולם כאלה שעדיין נראים בעין או מיקרוסקופ (תנועה המכונה "תנועה בראונית"), הוכיחה את קיומם של האטומים ואפשרה לחוקרים אחרים להציע ולפענח את המבנה שלהם. הדבר הוביל בתוך כמה שנים להבנת מבנה האטום, גילוי האלקטרון ושוב להתפי תחות משמעותית במכניקת הקוואנטים.

העבודה השלישית היא על תורת היחסות המי פורסמת. יחסות – מילה פשוטה ותאוריה מסובכת, ובעיקר כזו ששוברת את חוקי ניוטון. בשנת 1905 הציג איינשטיין את תורת היחסות הפרטית, הפי שוטה יותר, העוסקת במהירות ובזמן. תורה זו אינה

קלה להבנה אינטואיטיבית, וגורדת תוצאות שבער לם של חוקי ניוטון הן אבסורדיות, כגון האפשרות ששני צופים המסתכלים על אותם שני אירועים לא תמיד יסכימו איזה אירוע קרה קודם.

חלק מהרעיונות של תורת היחסות הפרטית כבר פורסמו בידי אחרים, אולם איינשטיין הצליח לכלול בתורה שלו את מושגי הזמן, המרחק, המסה והאנרגי גיה בצורה שתתאים למשוואת מקסוול – כך שהיא הייתה כוללנית בהרבה מכל מה שפורסם עד אז בתחום. ההרחבה של תורת היחסות הפרטית לתורת היחסות הכללית, שפורסמה בשנת 1915 ושבה כלל איינשטיין גם את כוח הכבידה – סבוכה הרבה יותר, אולם היא שהביאה לו את עיקר התהילה. הוזכרנו שחלק מהרעיונות של איינשטיין כבר היו קיימים, וגוטפריינר דן בשאלה כמה מהם היו מתגלים בתוך זמן קצר גם לולא איינשטיין, ומה מעבודתו ייחודי והיווה פריצת דרך שכנראה לא הייתה מתגלה גם לאחר שנים רבות. בכך הוא נותן הקשר מדעי כור ללני יותר לעבודתו של איינשטיין.

המשוואה המפורסמת בהיסטוריה

מאמרו הרביעי של איינשטיין באותה שנה הציג את המשוואה המפורסמת ביותר בהיסטוריה של המדע, שהיא תוצאה של תורת היחסות הפרטית: E=mc2. ידוע הכלל שכל משוואה המוזכרת בספר מורידה במחצית את מספר קוראיו הפוטנציאליים. בסדרת "ספרים משני עולם" מקפידים על כתיבה לקהל הרחב, ולכן הספרים קצרים ונטולי הערות שוליים ומשוואות. ואולם בספר על איינשטיין אין אפשרות שלא להביא את המשוואה הידועה הוו, המהווה חלק מתמצית הקסם של איינשטיין: מש" וואה המחברת בין מושגים שנראים לא קשורים, אך מהווים חלק ממערכת אחת. במקרה זה: אנרגיה, חומר ומהירות האור.

הצלחתו הגדולה של איינשטיין נבעה מכך שהי תאוריות שלו פתרו והסבירו תופעות שעד אז לא היה להן פתרון מספק, והן גם זכו בתוך זמן קצר לאישושים בניסויים מדעיים. בספר מופיעות דוגי מאות לכל התאוריות של איינשטיין, כאן נביא רק שתי דוגמאות לתורת היחסות הכללית. בהפשטה, התאוריה טוענת שמסה מעקמת את המרחב עצמו, ומסה גדולה יכולה לאפשר תצפית ישירה בעיקום זה. עוד לפני פרסום תורת היחסות זיהו אסטרונור מים סטיות קלות במסלולו של כוכב חמה שלא היה ניתן היה להסבירן לפי חוקי ניוטון, והעניין נשאר בגדר תעלומה. תורת היחסות הכללית פתרה בעיה זו מיד עם פרסומה, ובכך קיבלה חיווק משמעותי.

חיווק גדול יותר מתקבל כאשר ניתן להעמיד שתי תאוריות במבחן ניסויי חדש שטרם בוצע, ולי ראות איזו נותנת תוצאות טובות יותר. ניסוי כזה הוצע, ובמסגרתו צולמו כוכבים קרובים לשמש בשעת ליקוי חמה מלא. שאלת המחקר הייתה האם ישנו שינוי מקום יחסי ביניהם, זעיר ככל שיהיה, לעומת צילום לילי. בימינו הניסוי נחשב לפשוט, כזה שאמנם דורש התארגנות אבל לא הרבה ציוד מיוחד, והוא מבוצע כמעט בכל ליקוי כתרגיל. ואולם לפני מאה שנה, הדבר היה מסובך יותר.

ניסיון ראשון לבדיקת הטענות נכשל עקב פריי צת מלחמת העולם הראשונה ומאסר המשלחת המי רעית, בהיותה מורכבת מאורחי מדינת אויב האוחד

זים בציור צילום. ניסוי נוסף, בהובלת האסטרונום האנגלי ארתור ארינגטון ב־1919, הצליח לייצר תמונות שלאחר פענוחן היה נראה כי הן מאששות את התאוריה של איינשטיין, משום שנראתה בהן תווזה זעירה במיקומם של הכוכבים. התאוריה של ניוטון, שנחשבה עד אז אמת מוחלטת לא יכלה להי סביר את התווזה הוו, ולפי התאוריה של איינשטיין היא הייתה מחויבת המציאות. עם פרסום הנתונים הפך איינשטיין לכוכב בינלאומי. הספר אינו עוצר בשנת 1919 וממשיך לעבודות נוספות של אייני שטיין, אולם צריך לומר שמאז לא היו לו תגליות חשובות כל כך.

הספר שאשתי תקרא

הזכרנו כאן מעט מן המעט מתוך עבודתו של איינשטיין המפורטת בספר, שחובבי פיזיקה, מדע והיסטוריה של המדע ימצאו בו עניין רב. ואולם השאלה המעניינת אותנו במסגרת סקירת הספר, היא עד כמה הוא מובן ומעניין לאנשים שאינם בעלי רקע פיזיקלי כללי. בנקודה זו עושה גוטפי רוינר עבודה טובה. הוא לא מנסה להסביר בכוח את התיאוריות השונות, אלא רק לתת מושג כללי על מה הן מדברות ובאיזה תחום של הפיזיקה הן עוסי קות. לרוב הוא מצליח להתחמק מירידה לפרטים טכניים מדי, אבל מפעם לפעם משתרבבים לטקסט ביטויים מפחידים כמו "טנזור מתמטי" (לא להיבהל, מדובר על הרחבה של וקטורים ומטריצות לממדים מרובים) – אולם גם אלה מלווים בסוג של התנצלות ובהבטחה שניתן לדלג על הפסקה.

עוד כדאי להבהיר שגם כאשר מדברים על מש" וואות, הכוונה לרוב איננה למשוואות שבהן במקום כל נעלם אפשר להציב ערך מספרי כלשהו, אלא למשוואות סבוכות יותר המכונות "משוואת דיפר נציאליות", שבהן הפתרון עצמו הוא אוסף אחד של משוואות. קיצורו של דבר, העיסוק המתמטי מצומי צם למדי בספר ואינו צריך להרתיע קוראים שאינם מומחים בתחום.

פרופ' חנוך גוטפריינר כיהן בעבר כנשיא האוניי בריסיטה העברית, וכיום, בתחילת העשור העשירי לחייו הוא מנהל את מרכז איינשטיין באוניברסיטה. נראה שזהו ספרו הראשון המיועד לקהל הרחב, ולא נעלמה מעיניי ההקדשה שכתב לאשתו עם האמירה שלפיה מדובר בספר הראשון שלו שהיא תקרא. גם בהערה חביבה זו ניכרת המחויבות לכתיבה בשפה המתאימה לקהל הרחב.

מי שירצה להעמיק בפיזיקה עצמה ימצא את מבוקשו בספרים ובקורסים פופולריים, הקיימים לרוב. מי שירצה לקרוא ביוגרפיה מקיפה על אייני שטיין, הכוללת נושאים שספר זה כלל לא מתייחס אליהם – כגון סיפורו האישי או יחסו לדת – יצטרך להגיע לספרים אחרים. הספר הקודם בסדרה שעסק במדע, מאת פרופ' צבי מזא"ה, עסק במהפכה של קופרניקוס שהוציאה את כדור הארץ ממרכז העולם והסתיים עם חוקי התנועה של ניוטון, שהחזירו את הסדר למערכת כולה והיו אמורים להחזיק מעמד מאות שנים. מקומו של ספר העוסק באלברט אייני שטיין ובתפקיד העצום שהוא מילא במעבר מעולם הפיזיקה הקלאסית לעולם הפיזיקה המודרנית, תוך ניפוץ חוקי ניוטון, הוא טבעי ומתבקש, ובהחלט מצדיק את מקומו בסדרת "ספרים משני עולם". ●