



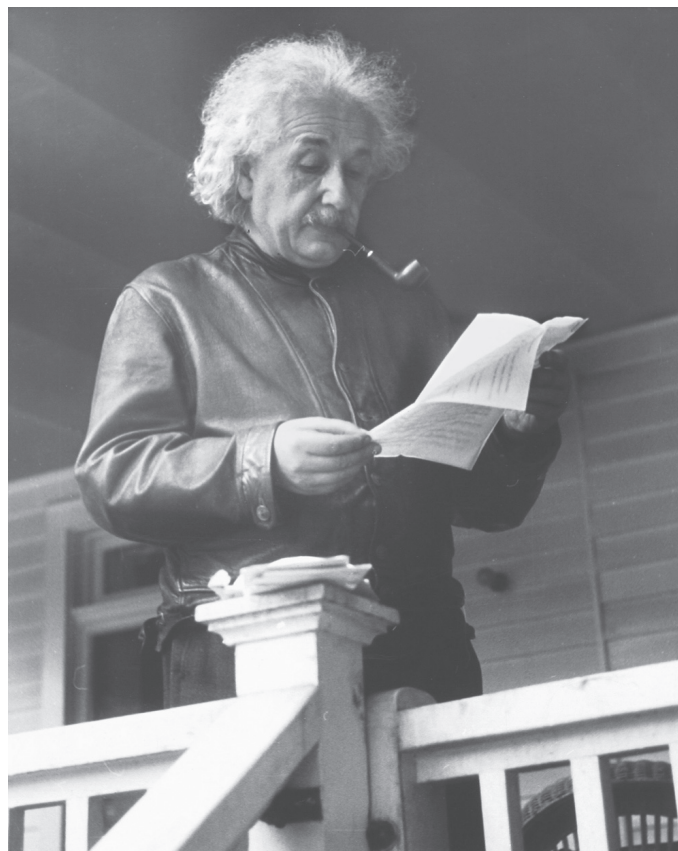
בשנת 2005 מציין העולם כולו מאה שנים ל"שנה המופלאה" (annus mirabilis) בעבודתו של אלברט איינשטיין

איינשטיין המדען

יואל רקח, המחלקה לפיסיקה, האוניברסיטה העברית ירושלים

האפקט הפוטואלקטרי היה אולי על איינשטיין לחכות לפרס נובל עד שנת 1945, כאשר הפטרייה של הירושימה הראתה בעליל שתורת היחסות איננה רק תיאוריה מופשטת אלא עובדה מוחשית.

העבודה על התנועה של בראון איננה עבודה מהפכנית מנקודת השקפה עיונית ופילוסופית, אלא היא נקודת מפנה בתולדות הפיסיקה והכימיה. עבודה זו הפכה את תורת האטומים, שהיא יסוד הכימיה, מתיאוריה מופשטת לעובדה מוחשית, כי היא איפשרה לקבוע את גודל האטומים עצמם. בשביל הכימאי היתה חשובה ההנחה שקיימים אטומים ומוליקולות, אבל לא היה חשוב הגודל המוחלט שלהם. היה חשוב לו שהחומר מורכב מאטומים, אבל לא היה לו חשוב לדעת אם בתוך גרם של חומר מסוים יש ביליון של אטומים או ביליון של ביליונים של אטומים. עבודת הדוקטור של



איינשטיין במרפסת ביתו בפרינסטון ארה"ב בשנות ה-30. התצלום באדיבות ארכיון אלברט איינשטיין, בית הספרים הלאומי והאוניברסיטה העברית

איינשטיין איפשרה למדוד את המספר הזה ולקבוע שבתוך גרם אוויר ישנם 40000 ביליון ביליונים של אטומים.

מעבודתו של איינשטיין היתה נמצאת כידוע תחת הכובע שלו, כי המכשיר היחידי שהיה משתמש בו נוסף לנייר ועפרון, היתה

הלוגיקה המתימטית. סגולתו המיוחדת היתה להוציא בעזרת הלוגיקה המתמטית את המסקנות מרחיקות הלכת ביותר מן העובדות הפיסיקליות שאחרים קבעו אותן במעבדותיהם הגדולות, אבל לא הצליחו לפרש ולהבין אותן.

בשנת 1905 פירסם איינשטיין שלוש עבודות יסודיות: העבודה על תנועת בראון שנתנה לו את התואר דוקטור, העבודה על האלקטרודינמיקה של גופים נעים שבה הוא תיאר את היסודות של תורת היחסות, שנתנה לו את הפרסום ועשתה אותו לפרופסור, והעבודה על האפקט הפוטואלקטרי, שנתנה לו את פרס נובל. אולי זה מפליא את הציבור הרחב לשמוע שפרס נובל לא ניתן לאיינשטיין עבור

תורת היחסות, כי לפי החוקה פרס זה ניתן למי שמגלה עובדות חדשות ולא למי שמפרסם תיאוריות מופשטות. לולא

שתי העבודות האחרות של איינשטיין מאותה השנה מראות את אופיו המיוחד של המחבר: את הגישה המהפכנית לבעיות היסודיות של הפיסיקה המבדילה את המדע של המאה התשע עשרה מזה של המאה העשרים. אופיינית לפיסיקה של המאה התשע עשרה היתה שיטת התמונות (מודלים). על סמך מספר הנחות יסודיות היו בונים תמונות שהיו "מסבירות", ז"א מתארות את התופעות הפיסיקליות ובכל פעם שהיו מגלים תופעה חדשה שאי אפשר היה לתאר על ידי המודלים הקיימים היה צריך לשנות ולשפר את המודלים, כדי להכניס במסגרתם את התופעה החדשה.

שיטתו של איינשטיין היתה הפוכה מזו. הוא לא חיפש הנחות שמהן היה אפשר להוציא כמסקנות את העובדות הנסיוניות, אלא הסתכל על העובדות הנסיוניות עצמן כעל הנחות יסודיות והוציא מהן כמסקנות את חוקי הפיסיקה. וגם אם המסקנות נראו תחילה כמשונות ובלתי הגיוניות לפי השכל הפשוט הוא לא נדהם, כי מסקנות הכרחיות של נסיונות נכונים אינן יכולות להיות בלתי הגיוניות, ואם הן נראות לנו בלתי הגיוניות, אשם השכל הפשוט שלנו שחושב אותן לבלתי הגיוניות.

דוגמא של גישה חדשה זו היא עבודתו של איינשטיין על האפקט הפוטואלקטרי. בכדי להסביר את התחלקות אנרגיית האור בין הצבעים השונים של הקשת, לא הניח איינשטיין, כמו פלנק, הנחות מיוחדות, אלא הוכיח שמן החלוקה הידועה באופן נסיוני נובע בהכרח קיום הפוטונים, ז"א שגם האור, בניגוד להשקפה המקובלת, מחולק לאטומים; ועל ידי קיום הפוטונים הסביר את התופעה הידועה בשם אפקט פוטואלקטרי. חשיבות התגלית הזאת והשפעתה על חיינו היום יומיים תהיה מובנת לכולם אם נזכיר שעל התא הפוטואלקטרי מבוסס בין השאר פס הקול של סרט הקולנוע.

דוגמא עוד יותר טיפוסית של הגישה החדשה של איינשטיין היא עבודתו על האלקטרודינמיקה של גופים נעים, שבה הוא מניח את היסודות של תורת היחסות.

כדי לראות ולטעום בשלמותה את הגישה החדשה הזאת צריך להשוות את העבודה של איינשטיין עם עבודתו של לורנץ על אותו נושא. עבודתו של לורנץ נכתבה בסתיו של 1904. עבודתו של איינשטיין באביב של 1905 מבלי שידע על עבודתו של לורנץ. ההבדל בזמן הוא חודשים מספר, ההבדל בגישה הוא דור שלם.

כדי להסביר את התוצאה השלילית של ניסיון מסויים של

מייכלסון על מהירות האור, בנה לורנץ מודל מסובך מאוד, המבוסס על ההנחה שגוף נע מתכווץ לפי חוק מסויים, הנושא עד היום את שמו של לורנץ. גישתו של איינשטיין היא הפוכה. הוא מתבסס על ניסיון פשוט וידוע על השפעת מגנט על חוט חשמלי.

כשמשנים את המרחק בין המגנט והחוט נוצר זרם בתוך החוט, והזרם הוא אותו הזרם אם המרחק משתנה בגלל זה שמקרבים את המגנט לחוט או מקרבים את החוט למגנט. אבל אף על פי שהזרם הוא אותו הזרם, ההסבר הניתן לשתי התופעות על ידי התיאוריה המקובלת הוא שונה לגמרי. איינשטיין טוען שאין זה מקרה שהתוצאה היא אותה התוצאה, ולכן חוסר הסימטריה בהסברים המקובלים הוא מיותר. דרישת הסימטריה בין שתי התופעות הנ"ל והתוצאה השלילית של הניסיון של מייכלסון ושל כל הניסיונות המכוונים לקביעת מהירות הארץ ביחס לאֶתֶר על ידי מדידות אלקטרומגנטיות הביאו את איינשטיין להנחה שלא רק בשביל התופעות המכניות, אלא גם בשביל התופעות האלקטרומגנטיות אין מובן למושג של מנוחה מוחלטת.

איינשטיין קרא לעובדה הנסיונית הזאת בשם עקרון היחסות והסתכל עליה כעל הנחה יסודית שממנה יש להוציא את כל המסקנות, מבלי להסס מפני מסקנות משונות ומוזרות. בהתאם לעיקרון שלו עשה איינשטיין אנליזה קפדנית של המושגים היסודיים של מרחב וזמן שבהם היו משתמשים אז אנשי המדע בעלי השכל הפשוט, ולא נרתע כאשר האנליזה הזאת הביאה אותו לחידוש היסודי של המושגים האלה. עד שנת 1905 היו חושבים שהמרחב והזמן הם מושגים מוחלטים המהווים את המסגרת שבתוכה מתפתחות התופעות הפיסיקליות. איינשטיין הגיע למסקנה שהמרחק בין שתי נקודות תלוי במצב התנועה של המכשיר המודד ומשתנה דווקא לפי חוק ההתכווצות של לורנץ. אבל איינשטיין לא מצא את ההתכווצות הזאת כהנחה בכדי להסביר את התוצאות אלא כמסקנה הכרחית של התופעות עצמן. נוסף לזה מצא איינשטיין שגם הזמן זורם יותר לאט בשביל איש או גוף הנע במהירות גדולה, ושמהירות של גוף אינה יכולה להגיע למהירות האור. עד כמה שהמהירות של גוף היא גדולה יותר הוא מתנגד יותר להגדלתה. אבל ידוע שההתנגדות שגוף מגלה להגדלת מהירותו תלויה במשקל הגוף*. יותר קשה להזיז ולתת מהירות לגוף כבד מאשר לגוף קל. לכן משקל* הגוף צריך לעלות עם מהירותו ואיינשטיין הראה שהמשקל* צריך לעלות באופן פרופורציונלי לאנרגיה הקינטית שלו. והרחיק לכת גם יותר והוכיח שכל אנרגיה הנה בעלת משקל* והמשקל* של כל גוף תלוי באנרגיה הטמונה בו.

* הכוונה כמובן למסת הגוף. רקח, בדברו אל קהל רחב, לא הקפיד להבדיל בין משקל ומסה.

בשנת 1916 הרחיב איינשטיין את תורת היחסות שלו בכדי לאחד את המושגים של התמדה ושל גראוויטציה. המסקנה הבולטת ביותר של תורה זו היתה שגם לאור יש משקל* ז"א שגם האור נמשך על ידי כדור הארץ וגופי השמים האחרים. השמים עצמם מהווים את המעבדה היחידה שבה אפשר לבדוק מסקנה זו ובאמת בזמן ליקוי החמה בשנת 1919 אישרה משלחת של אסטרונומים אנגליים שאור הכוכבים סטה מדרכו בעוברו ליד השמש.

איינשטיין לא הסתפק בהישגים הללו וביקש לאחד באותה המסגרת לא רק את כוחות ההתמדה והגראוויטציה אלא גם את הכוחות החשמליים והמגנטיים. חיפושיו במשך שלושים השנה האחרונות לא השיגו את המטרה. כל התקדמות מכרעת בתולדות המדע והמחשבה האנושית נגרמה על ידי הופעת גאון בזמן המתאים, ונראה שהזמנים עוד לא היו בשלים להתקדמות זו. אחרי מותו של איינשטיין אין לדעת כמה זמן יעבור, אולי מאות שנים, עד הופעתו של גאון אחר אשר יגשים את חלומו האחרון של גאון דורנו.

מסקנות אלו עוררו בזמנו ויכוחים סוערים בקרב הפיסיקאים והפילוסופים, ושנים רבות עברו עד אשר במעבדות הגדולות שבעולם הוכחו המסקנות הפרדוקסליות הללו שנתקבלו בשנת 1905 במעבדתו הקטנה של איינשטיין.

אנחנו מכירים היום בקרינה הקוסמית חלקיקים שזמן החיים הטבעי שלהם נעשה יותר ארוך בגלל מהירותם הגדולה הגורמת לזה שהזמן זורם בשבילים יותר לאט.

גם הקשר בין המשקל* של גוף והאנרגיה הטמונה בו ז"א האקויוולנטיות בין חומר ואנרגיה, אושר בזמן האחרון באופן ישיר על ידי הפיכת חומר לאנרגיה ואנרגיה לחומר. התהליך הראשון בוצע, בצורה שלא היתה דווקא לפי רוחו של איינשטיין, בהתפוצצות הדרמתית של הירושימה, והתהליך השני-במכשיר שנבנה בארה"ב ונקרא קוסמוטרון. במכשיר זה, על ידי ריכוז עצום של אנרגיה, נוצרים חלקיקים מאותו הסוג של אלה הנמצאים בקרינה הקוסמית.

פרופ' יואל רקח נולד בשנת 1909 בפיזה שבאיטליה. תרומתו העיקרית לפיסיקה היתה בתחום הספקטרוסקופיה האטומית התיאורטית. בתחום זה כתב מאמרים בסיסיים, ופיתח שיטות מתמטיות חדשות באלגברה של טנסורים. "מקדמי רקח" ידועים לכל אלה העוסקים בספקטרוסקופיה אטומית וגרעינית. את חלק הארי של עבודתו עשה רקח באוניברסיטה העברית בירושלים, אליה התקבל בשנת 1939 לפי המלצתו האישית של איינשטיין. הוא למד את השפה העברית במהירות, והיה לאחד המרצים המעולים שבאוניברסיטה. הוא הקים דור של תלמידים (ביניהם גם פרופ' עמוס דה-שליט ז"ל) שכיום הם בין הפיסיקאים הידועים בארץ, ונמנים על סגל ההוראה שבמוסדות להשכלה גבוהה. למעשה, רוב הפיסיקאים בארץ הם תלמידיו או תלמידי תלמידיו של פרופ' רקח.

בשנים 1961-1965 שימש רקח כרקטור האוניברסיטה. רקח נפטר בטרם עת, בתאונה, בשנת 1965, כאשר היה בדרכו לכנס מדעי בשוודיה, שם עמד להרצות על עבודתו.

אנו מביאים בזה דברים שאמר על איינשטיין בכינוס שנערך לזכרו בירושלים ב-1955. הדברים נדפסו כלשונם ברשותה האדיבה של הגב' זמירה רקח.

המאמר לקוח מתהודה (1) 8, עמ' 21, 1979

תהודה

