



ממדף הספרים

היקום וכל אשר בו - דין וחשבון על מצב היקום(מי)ם

מאת *טימותי פריס, תירגום מאנגלית: עמנואל לוטם, הוצאת הד ארצי*
ליאור בורקו, אוניברסיטת דרום קליפורניה, לוס-אנג'לס

הדוקטור של היו אוורט (Hugh Everett), עבודתו של אוורט עסקה בפרשנות אלטרנטיביות למכניקת הקוונטים, וטענה כי בכל פעם שאירוע קוונטי מתרחש, היקום מתפצל ליקומים נפרדים, ובכל אחד מהם תוצאת האירוע שונה. אף על פי שניסוח זה שקול למכניקת הקוונטים הסטנדרטית, הוא לא זכה להערכה רבה. במסגרת היקום האינפלציוני זכתה השערה זו לפריחה חדשה, ותיאוריות רבות מתארות "בועות" של יקומים, שלכל אחד מהם פיסיקה שונה. לאחר מכן פריס עוסק גם בתורת העל-מיתרים, ובהשלכותיה על היקום המוקדם.

הספר פורסם במקור ב-1997. מאחר שהוא עוסק בתחום דינמי מאוד של המדע, המתפתח במהירות, בנושאים אחדים אין הוא מעודכן. לדוגמה, בעת כתיבת הספר היה מקובל לחשוב על תורות על-מיתרים בעשרה ממדים. בזמן שעבר מאז כתיבת הספר התברר כי זו תוצאה מלאכותית הנובעת מהפיתוח של התיאוריה באנרגיות נמוכות, וכי התיאוריה עצמה (הקרויה בשם המסתורי תיאורית M) קיימת ב-11 ממדים. כמו כן, מאז כתיבת הספר נעשו תצפיות מדויקות יותר של התפלגות הטמפרטורה של קרינת הרקע הקוסמית, היא השריד שנותר מכדור האש הלוהט שהיה היקום מיד לאחר המפץ הגדול. תוצאות ראשוניות מתצפיותיו של הבלון הפורח "בומרנג" שנעשו בשנים האחרונות באנטארקטיקה הראו כי היקום שטוח. דהיינו, כמות החומר ביקום (כולל החומר הרגיל, החומר האפל, הקבוע הקוסמולוגי, וכו') שווה בדיוק לכמות החומר הדרושה כדי למנוע מהיקום לגדול ללא גבול, אך אינה מספיקה כדי לגרום ליקום לקרוס עקב הכבידה העצמית שלו.

תיאוריה חדשה, שפורסמה לאחר כתיבת הספר, היא התיאוריה האבולוציונית של לי סמולין, ובה נוצר יקום חדש בכל פעם שנוצר חור שחור. בכל יקום כזה שונים הערכים של קבועי הטבע במעט, כך שברוב היקומים הערכים של קבועי הטבע קרובים מאוד לערכים שבעבורם מועדפת היצירה של חורים שחורים.

ממה התחיל היקום? מדוע התחיל היקום? ובעצם, האם בכלל התחיל היקום בזמן כלשהו, או אולי תמיד היה? בשאלות אלה (וברבות אחרות) עוסק ספרו של טימותי פריס. פריס הוא פרופסור אמריטוס באוניברסיטת קליפורניה בברקלי, שם הרצה בחמש דיסציפלינות שונות, ובעיקר במחלקה לעיתונאות. בנוסף היה עורכו של כתב העת "האבנים המתגלגלות", וערך והפיק את התקליט המכיל צלילים מכדור הארץ שצורף לחללית וויאג'ר (voyager) בתקווה שיימצא פעם בידי ציוויליזציה זרה.

בחרתי להדגיש את הביוגרפיה של המחבר כדי לציין שאף על פי שאיננו אסטרונום או פיסיקאי בהכשרתו, כתיבתו מדויקת והוא קושר בצורה נכונה בין ענפי המדע השונים. אכן, פריס צבר ניסיון רב בכתיבה מדעית פופולרית, ואף זכה בפרסים רבים בזכות ספריו הקודמים.

בספרו זה הוא עוסק בתמונת היקום כפי שהיא מקובלת היום על רוב החוקרים העוסקים בתחום. פריס פותח בתיאור סטנדרטי למדי של היקום המתפשט ושל תיאור כוח הכבידה באמצעות גיאומטריה עקומה בתורת היחסות הכללית של אינשטיין. אך מיד לאחר מכן פותח פריס תיבת פנדורה שלמה של נושאים עכשוויים שנויים במחלוקת, ובהם החומר האפל. על רבים מקובל כי רוב החומר ביקום אינו קורן, וניתן להרגיש בו רק הודות לאינטראקציה הכבידתית שלו עם חומר רגיל. אף על פי שרוב החוקרים סבורים כי כ-90% מהחומר ביקום הוא אפל, לא ידוע מה מהותו של חומר זה. לאחר מכן עוסק פריס בפרדיגמת היקום האינפלציוני, המקובלת היום כמעט על כולם (אם כי יש עשרות תיאוריות אינפלציה שונות). בניסוחים מסוימים שלה היא מאפשרת קיום יקומים רבים, שהיקום "שלנו" הוא רק אחד מהם.

השערת היקומים הרבים, כמו הרבה רעיונות מהפכניים בפסיקה של המאה העשרים, החלה בשנות החמישים בסביבתו של ג'ון וילר (John Wheeler) במסגרת עבודת

* Timothy Ferris, The Whole Shebang (The State of the Universe(s) Report.

הספר גם עוסק בתיאוריות שנמצאות מחוץ לזרם המרכזי של המדע, כמו תיאוריית "המצב היציב", שלפיה היקום לא התחיל במפץ גדול. למעשה, עצם השם "מפץ גדול" היה שם גנאי שנתן פרד הויל, אבי תיאוריית המצב היציב, לתיאוריה המקובלת, כדי ללעוג לה. שם הגנאי הלם את התיאוריה עד כדי כך, שדבק בה ונעשה לשם המקובל לה, ומקובל גם על התומכים בה.

הספר כתוב בצורה מעניינת וברורה מאוד, והוא מומלץ גם לקוראים הסקרנים שזה להם הספר הראשון על קוסמולוגיה, וגם לקוראים הבקיאים בתחום. מוזר מעט הפרק האחרון, שבו המחבר גולש לדיון באלוהים. רוב העוסקים בתחום היו מעדיפים, לדעתי, להשאיר את אלוהים במקומו ולעסוק במדע עד כמה שאפשר בלא לערב את אלוהים.

מספרים על נפוליאון, ששאל את המתמטיקאי הידוע לפלס (Laplace) מדוע אין ספרו על המכניקה השמימית מזכיר את אלוהים. לפי האנקדוטה, לפלס ענה כי לא היה לו צורך לערב את אלוהים. הפיסיקה לבדה מספיקה כדי לקבוע את תנועות כוכבי הלכת.

חבל שתרגומו של עמנואל לוטס אינו נאמן לכתיבה הקולחת והקלילה בשפת המקור. התרגום העברי, אף שהוא כתוב בעברית תקינה, הוא פורמלי ויבש. כמו כן נפלו בספר שיבושי תרגום מצערים. לדוגמה, המשורה שממנה פוטר דייוויד בוהם (David Bohm) באוניברסיטת פרינסטון עקב דעותיו המרקסיסטיות אינה "עוזר לפרופסור" אלא פרופסור עוזר, שהיא המקבילה המקובלת בארצות הברית לדרגת מרצה בכיר בישראל.

הספר כולל גם מלים אחדות שהייתי מכנה אותן מוזרות. על אף שבדקתי בשלושה מילונים עבריים שונים, לא הצלחתי למצוא מהו "יקום מסוך" ומדוע הקוסמוס "משויש"⁽⁴⁾. אם כי ייתכן שמלים אלה אכן קיימות, סביר כי חלק ניכר מהקוראים לא יכירו אותן. לאחר שהתייאשתי מלמצוא מה פירושן הלכתי למקור האנגלי, שם המלים המקבילות היו מלים יום-יומיות שאמורות להיות מובנות לכל הקוראים. כמו כן, לא ברור לי מדוע צריך המתרגם להשתמש במושגים משלו אף שקיימים מושגים מקבילים המקובלים בשימוש. לדוגמה, "תנאי שפה" הוא מושג מקובל בתורה של משוואות דיפרנציאליות. נפלא ממני מדוע המתרגם משתמש ב"תנאים גבוליים", במיוחד כשהמלה "גבול" מקובלת במתמטיקה במובן אחר לגמרי.

בסופו של דבר, למרות שיבושי התרגום והאי-עדכניות של הספר בנקודות מסוימות, זהו ספר מצוין המומלץ בחום לכל

המתעניינים בשאלה הגדולה מכל: מהו היקום שבו אנו חיים? (1) בעקבות שאלה שהפנינו לפרופסור בורקו הוא כתב: "יקום **מְסוּךְ**" במקור הוא "implicated universe". אני משער שהמתרגם כתב "מסוכך" כתרגום ל"implicated" אבל האות ב' הושמטה בטעות, ובדיקת האיות לא גילתה את הטעות בגלל קיום המלה **מְסוּךְ**, אבל **מְסוּךְ** מופיע בטקסט המתורגם פעמים אחדות, לכן איננו בטוח בהשערתנו.

"משויש". כאן המתרגם שינה את הטקסט המקורי. בטקסט המקורי דן המחבר בסעיף הקודם בהשערה שהיקום מחולק לתחומים קטנים נקבוביים המופרדים ביניהם על-ידי "marbelized veins of matter", בסעיף שלאחריו כתב המחבר: "ביקום כזה...". המתרגם השמיט את הדיון שבסעיף הקודם לו והוסיף לסעיף השני את המילה marbelized קרי "In such a marbelized cosmos..." כמובן ללא הטקסט המתאים בסעיף הקודם לו, לחלוטין לא ברור למה הכוונה, ו"משויש" הוא מילה מזרה שמקורה במילה "שיש". אני חושב שעבודת התרגום במקרה זה לוקה בחסר.

הערת המערכת: לפי מה שמצאנו במילון פרוש נדיר למילה implicated (מסוך בטקסט) הוא interwoven, כלומר ארוג מחוטים וכך זה מתאים גם לתוכן.

קוסמולוגיה*

מאת ג'ון גריבין, תרגום מאנגלית עמוס כרמל, סדרת

עתידות, הוצאת עם עובד

יורם קירש, האוניברסיטה הפתוחה

בעידן האינטרנט, הקליפים ומבזקי החדשות יש כנראה ביקוש לספרים קטני ממדים, המגישים את תמצית הידע בתחום מסוים במספר עמודים מצומצם. חלוצים בתחום זה בישראל היו ספרוני "האוניברסיטה המשודרת" של גלי צה"ל, שהשכילו לסכם נושאים כבדי משקל בכ-120 עמודים, השקולים ל-13 שיחות רדיו של חצי שעה. לפני כחמש שנים החלה הוצאת פרולוג לפרסם שתי סדרות של ספרונים, שכל אחד מהם מכיל 60-100 עמודים. סדרת "בריא לדעת" על ענייני בריאות וחולי, וסדרת "מעניין לדעת" על תחומי דעת שונים.

עתה הצטרפה אל הטרנד האופנתי הזה גם הוצאת עם עובד, עם סדרה בשם "עתידות". הספרונים שייצאו בסדרה זו יכילו "מסות שבהן ינסו בכירי הכותבים ואנשי האקדמיה לצפות אל העתיד בשורה של נושאים, כל אחד בשדה התמחותו, יחד הם יתארו את עולם המחר בתחומי החברה, הכלכלה, הפוליטיקה, הגיאוגרפיה והטכנולוגיה".

הספרון "קוסמולוגיה" עוסק בשאלה המרתקת של מוצא היקום. המחבר, ג'ון גריבין, חיבר כמה ספרי מדע פופולרי בתחום הפיסיקה ואסטרופיסיקה, ורובם נהפכו לרבי מכר. הוא מתחיל בתיאור "ההיסט לאדום", התגלית שבאור המגיע

* John R. Gribbin, Cosmology

אלינו מגלקסיות רחוקות, הספקטרום של יסודות מוכרים מוסט אל עבר אורכי הגל הארוכים. כאשר התופעה התגלתה בשלהי שנות העשרים בידי האסטרונום האמריקני אדווין האבל ועמיתיו, סברו שהיא נובעת מ"אפקט דופלר" הנגרם בשל תנועת הגלקסיות בחלל כלפי חוץ, כאילו הן הולכות ומתרחקות מאתר של התפוצצות גדולה. אבל, מסביר גריבין, הגורם האמיתי להיסט לאדום - כפי שאנו מבינים אותו היום - נעוץ בתורת היחסות הכללית של איינשטיין, שלפיה עצם ה"אריג" של המרחב מתפשט, וגורם אגב כך להתרחקות הגלקסיות זו מזו, כמו צימוקים המתרחקים זה מזה בבצק התופח של עוגת צימוקים בתנור.

העובדה שאנו רואים את היקום מתפשט מלמדת כי בעבר ממדיו היו קטנים יותר, וצבירי הגלקסיות היו קרובים יותר זה לזה. שימוש במשוואות של תורת היחסות הכללית מלמד אותנו כי היקום נולד לפני כ-15 מיליארד שנה, מתוך כדור אש חם ודחוס, במה שנקרא "המפץ הגדול".

הראייה ששיכנעה את רוב האסטרונומים כי המפץ הגדול אכן התחולל, הופיעו בשנות ה-60, כשהתגלתה קרינה של גלי-מיקרו המגיעה מכל הכיוונים בשמים, שהיא כנראה שריד הלהבה הקדמונית של המפץ הגדול עצמו. ג'ורג גאמוב, פיסיקאי אמריקאי יליד רוסיה, חזה את קרינת הרקע הקוסמית כבר בשנות ה-40. גאמוב חישב כיצד התקרר כדור האש של המפץ הגדול תוך כדי התפשטות, ומצא כי 300,000 שנה לאחר המפץ הגדול היקום היה ענן חם של 75% אטומי מימן ו-25% הליום. תצפיות בכוכבים העתיקים ביותר מאשרות סברה זו.

מנין בא אותו כדור אש שממנו נוצר היקום? גריבין מתאר שתי "ספקולציות אינטליגנטיות" שמנסות לענות על שאלה זו. האחת קשורה לעקרון אי-הוודאות של הייזנברג שהוא מושג מתורת הקוואנטים. מעקרון זה נובע שבועה של אנרגיה יכולה מפעם לפעם להופיע יש מאין ולהיעלם לאחר זמן קצר, תופעה המכונה "פלוקטואציה קוואנטית". במקום להיעלם, הבועה יכולה להפוך לצבר של חלקיקים המתפשט במרחב. וזאת, מבלי להפר את חוק שימור האנרגיה, כיוון שהאנרגיה הטמונה במסה של החלקיקים מתאזנת על-ידי האנרגיה השלילית הנובעת מכוחות הכבידה ביניהם. בשנות ה-80 הצליחו קוסמולוגים לחשב כיצד דבר זה יכול להתרחש באמצעות התפשטות מהירה מאוד בפרק זמן קצרצר, המכונה התנפחות או "אינפלציה". הספקולציה השנייה טוענת שהיקום שלנו הוא אחד בסדרה של יקומים רבים הנובעים זה מזה. האנרגיה של יקום "צעיר" אינה נוצרת יש מאין,

אלא באה מן היקום "הוותיק" שקדם לו, למשל דרך חור שחור.

שאלה נוספת שגריבין דן בה היא, אם היקום שלנו "פתוח" או "סגור". יקום פתוח עתיד להתפשט לנצח בעוד שיקום סגור צפוי לשוב ולקרוס ביום מן הימים. הנטייה היום היא לשער שהיקום "שטוח", כלומר יושב בדיוק על קו הגבול שבין יקום פתוח וסגור. ואולם לשם כך היקום צריך להכיל כמות מסה הגדולה פי מאה מן המסה של החומר הנראה המצוי ביקום, לכן משערים ש-99% אחוזים מהחומר ביקום הוא חומר אפל שאינו מתגלה בטלסקופים.

התנועה של צבירי גלקסיות אכן מרמזת שהם נמשכים על ידי מסה גדולה שאינה גלויה לעין. חלקיקי הניטרין שנתגלו באמצע שנות ה-50 יכולים להוות כשליש מהחומר האפל, ואילו שני שלישים ממנו, לפי הסברה, הם חלקיקים כבדים, בלתי ידועים, הנעים במהירויות נמוכות. חלקיקי החומר האפל, מכל הסוגים, מכונים בשם וימפים (באנגלית WIMPs, ראשי תיבות של weakly interacting massive particles). רצה המקרה ובשבוע שבו כתבתי סקירה זו הודיעו העיתונים על תצפיות שאולי מאשרות את קיומם של הווימפים הכבדים. הפרק המסיים את הספר מספר את תולדות היקום במשך 300,000 שנה, מ-0.0001- שניות לאחר המפץ הגדול. המסגרת המצומצמת של הספר אינה מאפשרת להרחיב את הדיבור על כמה נושאים חשובים. למשל, חלקיקי יסוד כמו באריונים, אלקטרונים וחלקיקי ניטרין מוזכרים בקיצור, מבלי שתתואר הסכימה השלימה של החלקיקים היסודיים. קורא שאינו בקי בנושא אינו יכול לעמוד על חריגותם של הווימפים הכבדים, שאינם משתלבים בתיאוריה המוצלחת של חלקיקי היסוד, המכונה "המודל הסטנדרטי".

גם תורת היחסות הכללית מוזכרת בקיצור, מבלי שייעשה ניסיון להסביר לפחות את יסודותיה. עם זאת, גריבין ניחן בכישרון להסביר תיאוריות מורכבות בצורה פשוטה מבלי לחטוא יתר על המידה לדיוק המדעי. הספרון שלו קריא יותר מספרים אחרים בנושא, כגון "קיצור תולדות הזמן" של הוקינג (שמשום מה אינו מופיע ברשימת הקריאה הנוספת בסוף הספר). הוא גם מעודכן למדי (הספר נכתב ב-1997 ותורגם ב-1999) וזו תכונה חשובה בתחום הקוסמולוגיה, המתחדש בשנים האחרונות במהירות "אסטרונומית".

תרגומו של עמוס כרמל שוטף ובהיר בדרך כלל, והשגיאות שנפלו בתרגום מועטות (בעמוד שלפני האחרון כתוב כי פרוטונים בודדים הם גרעיני הליום, במקום גרעיני מימן). על השער האחורי נכתב שגריבין הוא עמית מחקר

באסטרולוגיה באוניברסיטת סאסקס, והכוונה כמובן לאסטרונומיה). הספר מומלץ לכל מי שרוצים להכיר בקווים כלליים את התיאוריות החדשניות על מוצא היקום. כדי להתעמק בתיאוריות אלה יהיה עליהם לקרוא ספרים נוספים.

הכרת תודה

אנו מודים לפרופסור ליאור בורקן, לפרופסור יורם קירש ולמיכאל המדלולץ עורך מדור "ספרים" ב"הארץ" על הרשות שנתנו לנו לפרסם שתי כתבות אלה ב"תהודה"; שתי הכתבות נלקחו מהמדור "ספרים" ב"הארץ" מיום 14.6.00.

אסטרונומיה בפעולה

למידה בסביבת חקר מתוקשבת

ספר לתלמיד ומדריך למורה פותח על ידי צוות פרחי מדע במכללת עמק הירדן, בראשותו של ד"ר דוד פונדק רכס, הוצאה לאור, תש"ס 2000 (ביוזמת מל"מ ובפיקוחו) דוד סלע, מפמ"ר פיזיקה, משרד החינוך

ספר זה, הנמצא בניסויי מזה שנתיים, ואשר המדריך למורה שלו יצא לאור לאחרונה, מיועד לתלמידי כתה יי ומבוסס על תוכנית הלימודים באופטיקה, תוך הרחבתה לכיוון האסטרונומיה התצפיתית.

לימוד החומר נעשה בדרך של פעילויות: מעבדתיות, תצפיתיות או "אינטרנטיות". כל פעילות פותחת בשאלת חקר (מה דעתך?) ולאחר דיון בשאלה ובתשובות התלמידים מתחילה הפעילות. הפעילויות מתמיינות לבסיסיות, שהן בגדר חובה, ולהרחבות שאינן הכרחיות להמשך. כל פעילות מסתיימת בשאלות סיכום ובדיון.

מידי פעם ישנן "אתגרות" ברצף הפעילויות לשם הרחבות פיזיקליות בכיתה (מבנה הטלסקופ, פיזור האור באטמוספירה, תהליכים מגנטיים בשמש ועוד).

החומר מותאם להוראה בכיתות הטרוגניות ולתלמידים בעלי יכולות שונות, כאשר חלקם יבצעו גם את פעילויות ההרחבה, ואפילו את המתקדמות שביניהן, ואילו אחרים יתמקדו רק בנושאי המינימום ההכרחיים בתכנית הלימודים (פעילויות פתיחה).

סביבת החקר המתוקשבת באה לידי ביטוי בשימוש נרחב בגיליון האלקטרוני (excel) לעיבוד התוצאות ולקבלת התלות הגרפית בין המשתנים, בשימוש בחיישנים (עינו של התלמיד, פוטומטר) והן בהפנייה לאתרי אינטרנט (במקום שניתן).

שימוש נרחב נעשה במהלך ההוראה במכשירים פשוטים, בחלקם תוך בנייה עצמית של התלמידים, אף כי לא נמנעים מלהשתמש גם במיכשור מתקדם כמכשיר לייזר וכסריג עקיפה.

המדריך למורה מלווה את חומר הלימוד בהערות דידקטיות מפורטות, מביא עיבוד של תוצאות אותנטיות לפעילויות השונות (כאלו שנאספו בכיתות ניסוי או בהשתלמויות מורים), נותן הסברים לפעילויות השונות ומסכם אותן ונותן תשובות לכל השאלות. בבסיס המדריך באה לידי ביטוי הרגשת הצוות המפתח שיש לתת למורים כלי מפורט ביותר, האמור לתת תשובה והשלמה לחוסר ההכשרה של מורים רבים בתחום זה. כמובן שהוראת הנושא מצריכה גם השתתפות בהשתלמות מתאימה, הנעשית בשנים האחרונות ע"י הצוות המפתח ובמהלכן הוכשרו כבר עשרות מורים בהפעלת התכנית. לא מעט מהם אף ניסו את החומר בהצלחה בכיתותיהם.

מעניין במיוחד הוא הדיווח של מורים אלו המציין עלייה משמעותית במספר התלמידים הבוחרים התמחות בפיזיקה לאחר שנחשפו בכיתה יי לתוכנית זו.

הרשימה הביבליוגרפית המקיפה, בסיומו של המדריך למורה, וכן רשימת האתרים המומלצים עם הסבר לתוכנו של כל אתר, כמו גם הסקירה ההיסטורית של התפתחות האסטרונומיה, הניתנת בנספח לספר התלמיד, מאפשרים למורים המבקשים להמשיך ולהתעמק בתחום זה.

היקום – יסודות האסטרופיסיקה

מאת מאיר מידב, נח ברוש, חגי נצר

האוניברסיטה הפתוחה, תש"ס 2000.

דוד סלע, מפמ"ר פיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

ספר זה, אשר מהדורתו הראשונה יצאה לאור לפני למעלה מעשר שנים, שוכתב, הורחב והוכן מחדש כחלק מקורס של האוניברסיטה הפתוחה: צפונות היקום – אשנב לאסטרונומיה. שלושת מחברי הספר, בצד היותם חוקרים בכירים בתחום האסטרונומיה, מעורים מאוד גם בתחום הוראת המדעים, החל מהכשרת מורים לפיזיקה, דרך פעילויות נוער מגוונות, הנחיה והערכה של עבודות גמר בתחומי האסטרונומיה והאסטרופיסיקה ועד להובלה מוצלחת של אולימפיאדת הנוער באסטרופיסיקה המתבצעת מזה שנים בחסות היחידה לפעולות נוער של אוניברסיטת תל אביב.

הלייזר ושימושי ברפואה

מאת ד"ר שמעון גבאי

הוצאת ספרים פרוינד בע"מ – מהדורה ראשונה 2000

דוד סלע, מפמ"ר פיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

ספר זה נכתב, בראש ובראשונה, כפי הצהרת מחברו, עבור רופאים המכשירים את עצמם לעבודה עם לייזרים. כיום משמש הלייזר, במרבית התחומים של הרפואה המודרנית, לביצוע ניתוחים וטיפולים שונים, ובכך גם עוסקים מרבית פרקי הספר. עם זאת ישנם מספר פרקים העוסקים בהכרות עם הלייזר ותכונותיו הבסיסיות ואלו עשויים להעשיר גם את תלמידי הפיזיקה, במיוחד ברמה של 5 י"ל. נושאים כמו קרינה וחומר, רמות אנרגיה אטומיות ומולקולריות, אינטראקציה של קרינה וחומר ותכונות קרינת הלייזר חשובים לתלמידי פיזיקה, אם כחומר בסיסי במסגרת הפיזיקה המודרנית (קרינה וחומר) או כחומר הרחבה והעשרה לבוחרים פרקי בחירה הקשורים לנושא או למתעניינים בתחום.

נושא נוסף, החשוב למורים וללבוורנטים לא פחות מאשר לתלמידים, הוא נושא הבטיחות בשימוש במכשיר הלייזר. ספר זה מרחיב בפרק האחרון את הדיבור בנושא הבטיחות, הן מצד הסיכונים הביולוגיים והן מצד אמצעי הבטיחות החייבים להימצא בידיהם של המשתמשים במכשיר זה, אם במעבדה, בהדגמה בכיתה או בשימוש ברפואה.

חלק ניכר מתוכן הספר עוסק בהיבטים הטכניים והרפואיים הרלבנטיים לשימוש בלייזרים השונים, בהתאם לתחום הרפואי ולצורת הטיפול (חיתוך, צריבה והשמדה של רקמות או גירוי מערכות פיזיולוגיות להמרצת פעילותן). נושאים אלו וכן הטבלאות והתרשימים הרבים המלווים אותם הם פחות מעניינם של תלמידי התיכון, אלא אם הנושא מושך אותם ברמה של השכלה רפואית כללית.

לספר שני חסרונות. האחד מתבטא בכך שהוא הודפס בשחור-לבן בלבד. דווקא בנושא כמו הלייזר היה מקום שרבים מהתרשימים ומהתמונות יופיעו בצבע. כמו כן חסרה בספר ביבליוגרפיה כללית מפורטת על הלייזר ושימושו. אמנם בסיום פרק ההקדמה מופיעה רשימת מאמרים אולם הם מתייחסים לתחומי הרפואה בהם מצא הלייזר את מקומו במיוחד כתחליף לסכין המנתחים.

בסיכומי של דבר אני ממליץ על רכישתו של ספר זה לספריית בית הספר בה ישרת את תלמידי המדעים בכלל והפיזיקה בפרט, להשלמת ידע ולהשכלה כללית.

ההתעוררות והעניין בנושא, ההולכים ומתחזקים אצל בני הנוער הן במסגרות הפורמליות בבתי ספר, סביב פרקי בחירה ומגמות ייחודיות, והן דרך מצפי הכוכבים הותיקים והחדשים שהוקמו לאחרונה, ניזונים בין השאר מספרים כדוגמת ספר זה. אמנם תכנית הלימודים בפיזיקה בבית הספר התיכון אינה מחייבת (עדיין) פרקים במבנה היקום, אבל קיומם של ספרים כדוגמת זה שלפנינו, עשויים לשנות את המצב.

הספר נכתב בכוונה תחילה ברמה המתאימה גם לתלמידי תיכון, ללא צורך בידע מתמטי מעמיק, אולם מבלי לוותר כהוא זה על הדיוק המדעי, על החוקים ו"כלי העבודה" הנדרשים לאסטרונום בן זמננו.

מאחר והנושא מבוסס על כמה וכמה חוקי פיזיקה בסיסיים, כמו גם מכשירים אופטיים שונים הנלמדים בספרי פיזיקה, ניתן היה להפנות את הקוראים לספרים אלו, להשלמת הידע הנדרש להמשך. המחברים לא בחרו בדרך זו מאחר וכוונתם הייתה לפתח ספר העומד בפני עצמו. לפיכך הפרקים הראשונים בספר עוסקים בפיזיקה טהורה ומהווים מסד לחקר היקום המתפתח מהפרק השמיני ואילך.

הנושאים המודגשים בספר הם: אור הכוכבים, המבנה הפנימי של כוכבים, הולדתם, מהלך חייהם ומותם של כוכבים, גלקסיות וצבירי גלקסיות, מבנה היקום, הולדתו ומותו. בפרק האחרון (18) חוזרים המחברים למערכת השמש שלנו ודנים בכוכבי הלכת, ירחיהם וגופים נוספים כדוגמת מטאורים שביטים ואסטרואידים.

בצד המידע הקלסי נכנס הקורא לא מעט גם לתגליות החדשות ביותר בתחום. אם לשם הבנתן הוא נדרש להשלמת ידע, לא נרתעים המחברים לתת אותו גם אם לצורך זה יש להביא את יסודות תורת היחסות הכללית או להעמיק את הידע בתהליכים גרעיניים.

לסיכום ניתן לומר כי ספר זה יכול לשמש בהצלחה תלמידי תיכון, החל מכיתה י', הן לביסוס הידע בפיזיקה (במכניקה ובאופטיקה) והן להעשרה וללימוד בתחום המעניין של האסטרונומיה וחקר היקום.

אני מצטרף כאן לדעתו של פרופ' יובל נאמן, אשר קטעים מהקדמתו למהדורה הראשונה של הספר מצוטטים במבוא, כי ספר זה מעלה תרומה נכבדה להפצת הידע ולקירוב אזרחי העתיד לאחד מתחומי המדע היפים ביותר.

אינשטיין למתחילים

מאת ג'וזף שוורץ – אייר: מייקל מקגיניס*

תרגום: יחיאל כהן וירון להבי

169 עמ', הוצאת כרמל, ירושלים, תש"ס – 2000

דוד סלע, מפמ"ר פיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

לעברית (ראה עמודים 35 ו-89), מאפשרת לקבל מושג על עקרונותיה של תורת היחסות הפרטית, ללא צורך ברקע פיזיקלי או מתמטי מוקדם, וזאת בצד ההיכרות עם אלברט הפילוסוף, היהודי והאדם. הספר מתאים במיוחד לתלמידי 3 י"ל, מוט"ב ולחפצים להרחיב את השכלתם המדעית בתחום.

שילוב של ניסויי הדגמה בהוראת המכניקה

מאת מאיר מידב ונתן אריה

אוניברסיטת תל-אביב, ביה"ס לחינוך, תש"ס 2000

דוד סלע, מפמ"ר הפיזיקה, משרד החינוך

ספר זה הנו הראשון בסדרה של שלושה ספרים האמורים לכסות את תחומי החובה בתכנית הלימודים בפיזיקה (השניים האחרים יעסקו בחשמל ומגנטיות ובאור וגלים). חסרונם של ניסויי הדגמה, במיוחד כאלו הנעשים באמצעים פשוטים, בולט במערכת וזו גם אחת הסיבות שבהשתלמויות ובכנסי מורים נוהרים רבים לכל סדנא העוסקת בנושא. בשנים האחרונות מדברים רבות על תפיסות שגויות של תלמידים בתחומי הפיזיקה ותחום המכניקה הוא הבולט שבהם. טיפול בנושא על ידי פעילויות לשיפור ולגיוון ההוראה נעשה הן ע"י המרכז הארצי למורי הפיזיקה והן בהשתלמויות האזוריות. הכלי החדש שלפנינו, שנכתב מתוך ניסיון רב שנים של מפתחים, אמור גם הוא לתת תרומה משמעותית למורים המתלבטים בדרכי הוראת המכניקה.

החומר בספר זה מסודר לפי שעורים הבנויים בהתאם לסעיפי תכנית הלימודים במכניקה. לכל שעור ניתן רקע תיאורטי בפתיחה, מערך דידקטי של ההדגמות המוצעות (לפעמים אף ניתנות חלופות לבחירת המורה) וסיכום השיעור תוך התייחסות לבעיות הנובעות מהבנה או חשיבה לקויה של התלמידים. רשימה מפורטת של הציוד הנדרש לכל הדגמה מאפשרת את הכנתה המוקדמת על ידי הלבורנט ו/או ביצועה על ידי המורה לפני השיעור.

הסרטוטים המלווים את ההדגמות בולטים בפשטותם ומתארים רק את הנדרש, מבלי להסיח את דעתו של המורה למרכיבים צדדיים.

מספר ההפניות למקורות נוספים קטן לטעמי וניתן רק באופן נקודתי. כדאי שמחברי הספר יוסיפו גם ביבליוגרפיה כללית תוך הפניית המעוניינים למקורות מידע וניסויים נוספים (הקיימים כיום הן באתרי אינטרנט מתאימים והן במחקרים בסיסיים בהוראת המכניקה).

שניים מבכירי המורים לפיזיקה שלנו, יחיאל כהן וירון להבי, החליטו להרחיב את הוראת הפיזיקה ולעסוק גם בתרגום. לפנינו מונח פרי הביכורים של עבודתם, חוברת נחמדה בשם "אינשטיין למתחילים". סגנון הכתוב קליל, קריא ומלא הומור דק, סיפורי רקע, קריקטורות שנונות ועוקצניות ובעיקר – עלילונים (comics). עם זאת אין הסגנון פוגע כהוא זה בדיוק המדעי או במסירת הרקע והעובדות שהביאו "למהפכה" של תורת היחסות. מחציתו הראשונה של הספר עוסקת בהיבטים ההיסטוריים של החשיבה המדעית, החל מתקופתו של ניוטון, דרך זמנם של וולטה, קולון, ארסטו, אמפר ופאראדי ועד למדעני דורו של אינשטיין כמו הרץ, מקסוול ולורנץ. כל זה בצד היבטים מעניינים מתוך תולדות חייו של אלברט אינשטיין תוך השתקפות מאורעות היסטוריים של זמנו. לזכותם של מחברי הספר נציין גם את הקטעים ההיסטוריים והביוגרפיים המלווים כל מדען הנזכר בספר בהקשר כלשהו להתפתחות תורתו של אינשטיין.

השימוש בשם 'אלברט' לאורך כל הספר מצביע על הקשר הבלתי אמצעי של קירבה אנושית למדען הדגול במטרה לקרבנו לאופן חשיבתו והתלבטויותיו. סגנון הספר מאפשר קריאה שוטפת גם לחסרי רקע מדעי רחב אולם אינו מונע מהמחברים להביא באופן מפורט את שתי הנחות היסוד (הפוסטולטים) שבבסיסה של תורת היחסות, ולהציג את עיקרי הצד הכמותי שלה תוך השוואה בין ניוטון לאינשטיין. על מנת לפתח את המעבר בין מערכת נחה למערכת נעה, על פי תורתו של אינשטיין (זו הידועה בשם 'הטרנספורמציה של לורנץ' שהיה ידיד של אינשטיין) נותנים המחברים סקירה מאלפת על התפתחותה של המתמטיקה מתקופת המצרים והיוונים דרך המצאת האלגברה על ידי ההודים ועד להמצאת החשבון הדיפרנציאלי על ידי ניוטון ולייבניץ.

הנושא האחרון שנדון במפורט הוא משוואת השקילות בין מסה לאנרגיה, כאשר במונח 'מסה' מתייחסים כמונח, על פי אינשטיין, למידת ההתמדה של הגוף.

בסיכומו של דבר, לפנינו יצירה מהנה אשר, למעט כמה ליקויים מזעריים הנובעים בדרך כלל מהמעבר מאנגלית

* Joseph Schwartz and Michael McGuiness, Einstein for Beginners.

מחשבות על המציאות

פרופ' יקיר שושני

משרד הביטחון – ההוצאה לאור תשנ"ט 1999

דוד סלע, מפמ"ר הפיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

ספר זה, יצא במסגרת ספריית "האוניברסיטה המשודרת" בעקבות סדרת הרצאות שניתנו בקיץ שעבר בגלי צה"ל. הספר עוסק ברעיונות היסודיים של הפיזיקה הקלאסית והמודרנית בהקשרם הפילוסופי, וזאת ללא צורך באמצעים מתמטיים המקטינים באופן טבעי את קהל היעד. הספר דן בשאלות יסוד, כגון סיבתיות, חלל, זמן ותנועה והשאלות הפילוסופיות שהן עוררו בפיזיקה הקלאסית. הוא עוסק בתכנים הפילוסופיים של שימור המסה המתקשרים עם תורת היחסות (הפרטית והכללית) ובאופיו הדואלי של האור כמקור לתפיסה הקוונטית של המציאות והשאלות הפילוסופיות העולות. התצפית והניסוי בחקר המציאות הפיזיקלית והאופן בו היא מקשרת עם התודעה האנושית, תופסים גם הם מקום מכובד בספר. מורים ותלמידי הכתות הגבוהות בביה"ס התיכון, אשר שאלות בתחום הפילוסופיה של הפיזיקה מעסיקות אותם, ימצאו עניין בספר שירחיב את השכלתם הפיזיקלית מעבר לתכנית הלימודים. במיוחד עשוי החומר להוות מרכיב חשוב ביחידת בחירה ייחודית (אשר נוסתה כבר בכמה בתי-ספר) של ההיסטוריה והפילוסופיה של הפיזיקה. סגנונו של הספר קריא ושוטף וניכרת בו יכולתו של המחבר להעביר את המסרים באופן ברור.

הממד הרביעי – סיור מודרך

ביקומים הגבוהים

דודי רקר, הוצאת מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים תש"ס.
דוד סלע, מפמ"ר הפיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

הספר בתרגומו של **עמנואל לוטם**, הופיע בסדרת מדע, הערוכה על ידי **יששכר אונא**, המאפשרת לנו ליהנות משורה של ספרי מופת במדעים השונים בכלל ובפיזיקה ובתחומים המשקים לה בפרט.

מחברו של הספר, **דודי רקר**, הינו מתמטיקאי שקנה לו שם גם כסופר מדע בדיוני וכקריקטוריסט. האיורים הרבים

המלווים את הספר נעשו על ידי **דיויד פובילאיטיס**, וספגו את שנינותו ומוזרותו של הספר (ושל מחברו). "הממד הרביעי" הנו מעין תרחיש מחשבתי בדייוני בעל תשתית מתמטית ופיזיקלית רחבה. כמה מהבעיות המשובצות בו מזכירות ספרים כדוגמת "עליסה בארץ הפלאות" של לואיס קרול.

רקר פותח את ספרו בהתחקות היסטורית אחר העיסוק במרחבים רב ממדיים, החל בפילוסוף **עמנואל קאנט** וכלה בספרו של הכומר **אדווין אבוט: "שטחלנדיה"** שיצא לאור בשלהי המאה ה-19. בפיתוח רעיונותיו אין הוא נמנע מלהתייחס לנושאים מטפיזיים, כדוגמת הספיריטואליזם, תוך דיון לוגי בהשערה כי "רוחות המתים, או נשמותיהם של בני האדם, שוכנות בממד הרביעי". (להפתעתי הוא מצטט בנושא זה גם את הפיזיקאי **ג.ק. מקסוול**, שכתב על כך, אם כי אולי מתוך שעשוע).

תיאוריית האתר, הממלא את המרחב, מוצאת את מקומה בספר, הן על רקע הויכוח ההיסטורי בין התורה הגלית והחלקיקית של האור, הן כחלק מן התיאוריה הגיאומטרודינמית שפותחה על ידי הפיזיקאי בן זמננו **ג'ון וילר** והן כמרכיב בתיאוריה של **ק. פירסון** שבה האתר הוא "נוזל ארבע-ממדי המחלחל אל מרחבנו התלת-ממדי".

ההתייחסות לזמן ולמרחב בספר היא כאל ממדים שקולים שניתן להרחיבם למספר כלשהו של ממדים, ומכאן קצרה הדרך להתייחסות לקיומם של עולמות אחרים, רב-ממדיים, אשר אנחנו חלק מהם. (רקר משתמש בהדגמות לקיומו של כוח קוריולי, או בתנועתה של סופת הציקלון כאנלוגיה התומכת ברעיונותיו בדבר קיומם של מרחבים רב-ממדיים). בהמשך הספר מקושר הממד הרביעי והיקום הרב-ממדי אל תורות היחסות של **איינשטיין** גם בהתייחס לצורתו העקומה של המרחב, וגם בהתייחס לתנועות במהירות גבוהה ממהירות האור או לתנועות אחורה בזמן (הפוזיטרון למשל, הוא אלקטרון שנע אחורה בזמן). בהתייחס לפרובלימטיקה שבין מכניקת הקוונטים לתורת היחסות, המובעת בין השאר בפרדוקס **איינשטיין-פודולסקי-רוזן** מגיע רקר לפתרונות המשלבים סינכרוניות (מושג הזהה, לדעתו, ל"טלפתיה") עם העולם הרב-ממדי אותו הוא מתאר.

לאחר תיאורים מוחשיים של מכוונות זמן ומסעות בזמן, מתייחס רקר לקראת הסיום גם למושג האינסוף (דרך השקפותיהם של המתמטיקאים **קנטור והילברט**). הספר מסתיים בהתבוננות במושג המציאות מנקודת מבט של המרחב בעל אינסוף ממדים.

לסיכום, הספר מחדד בהחלט את החשיבה הלא שיגרתית של הקורא, מתייחס למעברים בין הפיזיקה והמטפיזיקה ומעמיד רעיונות "פנטסטיים" במבחן הלוגיקה והמדע. בנוסף לאיורים השנונים והמוזרים המלווים את הספר לכל אורכו, משובצות בו חידות הגיון וחשיבה רבות, המבוססות על רעיונות הספר (אל דאגה – פתרונות מפורטים מופיעים בסוף הספר). סיור מהנה ומרתק מובטח לקורא המתעניין במדע מסוג זה.

על מקריות וכאוס

דוד רואל, הוצאת מאגנס, האוניברסיטה העברית, י-ם
תש"ס (148 עמ')

דוד סלע, מפמ"ר פיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

ספר זה, בתרגומו של יכין אונא, הופיע בסדרת מדע הערוכה על-ידי פרופ' יששכר אונא, המאפשרת לנו להציץ אל כמה מתחומי המדע בכלל והפיזיקה בפרט, באמצעותם של סדרת ספרי מופת שהופיעו לאחרונה.

לאורך 26 פרקים קצרים (4-5 עמודים כל אחד) מתאר המחבר את עולם המחקר ואת העוסקים בו דרך מסע ברעיונות היסוד של תורת המשחקים, ההסתברות, הכאוס ותורת הקוואנטים. מומחיותו של המחבר בתחום זה מאפשרת לו להעביר מסרים מעמיקים במספר קטן של משפטים.

בצד ההיכרות עם מושגי היסוד של המקריות והכאוס, המחבר אינו נמנע מלתאר אפיזודות מפגישותיו עם המדענים שעסקו בנושאים אלו ובהצגת "שגעונותיהם" האנושיים בצד גדולתם במדע. סגנון הכתיבה מהול במידה רבה של הומור ובביקורת סמויה על מדענים ועיסוקיהם.

במקביל לרצף הספר כדאי לקרוא גם את ההערות לכל פרק, אשר גם הן מאפיינות את שנינותו (הצינית במידה רבה) של המחבר (לדוגמה, בכמה מן ההערות לפרק 11 הוא דן בשיקולים בהם נדחים מאמרים מפרסום בכתבי עת, או בבעיית ההונאות והזיופים במחקרים מדעיים).

הטיפול בנושא האקראיות, אי הוודאות והתוצאות של שינויים זעירים בפרמטרים או בתנאי התחלה מושתת על שליטתו של המחבר במתמטיקה אשר באמצעותה הוא מכוון חלק ניכר מהדגמת רעיונותיו. דרך המתמטיקה נוצר מעבר טבעי אל הפיזיקה, בין השאר בתחום הטורבולנטיות (מערבולות בשפה פשטנית), האנטרופיה והמכניקה הסטטיסטית. מצד שני המחבר אינו נמנע מלעסוק גם

באסטרונומיה, בכלכלה ובתחומים החורגים ממדעי הטבע. כל זה כדי להדגים את החוקים האוניברסליים שבבסיס האקראיות.

ספר זה, אשר אינו יותר מספרון, נקרא בשטף הודות לסגנון כתיבתו של המחבר, ומעורר חשיבה ורצון להעמקה במושגי היסוד כבדי המשקל הנדונים בו, והמהווים מרכיב עדכני וחשוב בהתפתחות המדע במאה ה-20.

מכניקה בגובה העיניים וממעוף הציפור

מהדורה ניסויית

מאת דוד אגמון, הוצאה פרטית 2000

דוד סלע, מפמ"ר הפיזיקה, משרד החינוך, ירושלים

ספר זה מתווסף לסדרת ספרי המכניקה המיועדים לרמה של 5 י"ל (ואף מעבר לזה), אם כי גם תלמידי 3 י"ל יכולים למצוא בין 630 הדוגמאות והשאלות שבספר, חלק לא מבוטל המתאים גם לרמת הביניים.

יתרונו של הספר הוא בכמות הרבה של הבעיות הפתורות כאשר במקרים רבים ניתן הפתרון בכמה דרכים אלטרנטיביות ומלווה בהערות דידקטיות. רמת המתמטיקה שבספר גבוהה יחסית והמחבר אינו נרתע מלהשתמש בחשבון דיפרנציאלי או אינטגרלי במקום שמתבקש.

הספר מכסה את כל נושאי המכניקה שבתכנית הלימודים וכן את פרק הבחירה גוף קשיח. עם זאת, כיוון שהספר מיועד גם לתלמידי השנים הראשונות בטכניון ובאוניברסיטה, ישנם בו גם נושאים החורגים מתוכנית הלימודים ל-5 י"ל ועל המשתמש (מורה או תלמיד) להיות ער לכך.

הדוגמאות והבעיות הפתורות הן ליבו של הספר, אולם המחבר אינו נמנע גם מלפתוח כל פרק בעיקרי התיאוריה המתאימים, ואף לתת "טיפים" לפתרון בעיות שונות.

הספר מלווה באיורים רבים המקילים על השימוש בו וכן במובאות ספרותיות המכניסות נימה קלילה יותר בראשית כל פרק.

חסרונו של הספר הוא באי התייחסותו לצד הניסויי של הפיזיקה, אם באמצעות ניסויים או הדגמות ואם בהבאת שאלות המבוססות על נתוני ניסויים. כמו כן ישנו הדגש חזק מדי לטעמי על שאלות "טכניות" לעומת בעיות הבנה. [תהודה](#)