

# תוכן העניינים

- 3-4 מדידת כוחות 69
- 3-5 הגדרה ומדידה של מסה 71
- 3-6 החוק השני של ניוטון לכוח יחיד 73
- 3-7 שילוב כוחות הפועלים לאורך ישר 76
- 3-8 כל הכוחות נובעים מאינטראקציות 79
- 3-9 כוחות כבידה ונפילה חופשית 81
- 3-10 חוק התנועה השלישי של ניוטון 84
- 3-11 הערות לגבי המכניקה הקלאסית 89

## פרק 4 וקטורים 99

- 4-1 מבוא 100
- 4-2 וקטור העתקה 100
- 4-3 חיבור וקטורים בדרך גראפית 102
- 4-4 רכיבי וקטורים ניצבים 104
- 4-5 וקטורי יחידה 108
- 4-6 חיבור וקטורים באמצעות רכיבים 108
- 4-7 כפל וחלוקה של וקטורים בסקלר 110
- 4-8 וקטורים וחוקי הפיזיקה 111

## פרק 5 כוח שקול ותנועה דו-ממדית 119

- 5-1 מבוא 120
- 5-2 תנועת קליע 120
- 5-3 ניתוח של תנועת קליע אידיאלית 123
- 5-4 העתקה דו-ממדית 128
- 5-5 מהירות ממוצעת ומהירות רגעית 131
- 5-6 תאוצה ממוצעת ותאוצה רגעית 133
- 5-7 תנועה מעגלית אחידה 136
- 5-8 חקירה של תאוצה משיקית ותאוצה נורמלית 143

## קדמה למהדורה העברית 1

### קדמה ט

#### 1

## ק 1 מדידות 5

- מבוא 6
- מדידות בסיסיות בתנועה 6
- שאלת הדיוק 8
- מערכת יחידות בינלאומית 8
- התקן של הזמן 11
- התקן של המרחק 12
- התקן של המסה 13
- כלי מדידה במעבדה לפיזיקה 14
- מעבר בין יחידות 16
- חישוב אי-ודאות של מדידות 17
- מציאת יחידות של גדלים שונים 19

## ק 2 תנועה לאורך קו ישר 31

- תנועה 32
- מיקום והעתק לאורך קו ישר 33
- מהירות וקטורית וגודל מהירות 37
- תאור שינוי מהירות 43
- תאוצה קבועה: מקרה מיוחד 47

## ק 3 כוחות ותנועות לאורך קו ישר 65

- מה גורם לתאוצה? 66
- חוק התנועה הראשון של ניוטון 66
- כוח יחיד ותאוצה לאורך קו ישר 68

9-3 מושג העבודה בפיזיקה 262

9-4 חישוב העבודה בפעולת כוח קבוע 263

9-5 עבודה המבוצעת על ידי קפיץ 265

9-6 עבודה המבוצעת על ידי כוח חד ממדי משתנה - שיקולים כללים 268

9-7 כוח והעתקה ביותר ממימד אחד 270

9-8 הכפלת וקטור בוקטור - כפל סקלרי 274

9-9 עבודה שקולה ואנרגיה קינטית קווית 275

9-10 הספק 280

**פרק 10 אנרגיה פוטנציאלית ושימור אנרגיה 293**

10-1 מבוא 294

10-2 עבודה התלויה במסלול 294

10-3 אנרגיה פוטנציאלית - "עבודה נשמרת" 299

10-4 שימור אנרגיה מכנית 304

10-5 קריאת גרף אנרגיה פוטנציאלית 307

10-6 כוחות שאינם משמרים ואנרגיה 310

10-7 שימור אנרגיה 312

10-8 שימור אנרגיה ותנע במימד אחד 313

10-9 התנגשות אלסטית במימד אחד 316

10-10 שימור אנרגיה ותנע בשני ממדים 320

10-11 גרדיאנט כוח משמר - תלת ממדי 320

**פרק 11 סיבוב 337**

11-1 העתקה וסיבוב 338

11-2 המשתנים בתנועה סיבובית 338

11-3 סיבוב בתאוצה זוויתית קבועה 344

11-4 הקשרים שבין תנועה קווית לתנועה סיבובית 346

11-5 אנרגיה קינטית סיבובית 349

11-6 חישוב של התמד סיבובי 350

11-7 מומנט הסיבוב 353

11-8 החוק השני של ניוטון לסיבוב 355

11-9 עבודה ואנרגיה קינטית סיבובית 358

**157 זיהוי ושימוש בכוחות**

יבור כוחות בחיי היומיום 158

יח שקול כחיבור וקטורי 158

יח הכבידה ומשקל 161

יחות מגע 163

יחות גרר ומהירות סופית 177

שום של חוקי ניוטון 179

כוחות היסודיים בטבע 184

שוואות תנועה כמשוואות דיפרנציאליות 186

ערכות מואצות - עקרון ד'לאמבר 193

**209 תנע קווי**

תנגשויות והתפוצצויות 210

תנע הקווי של חלקיק 210

ערכת חלקיקים מבודדת 212

ינויים במתקף ותנע 213

וקי ניוטון ושימור תנע 218

תנגשויות פשוטות ושימור תנע 219

ימור תנע בשני ממדים 222

ערכת שמסתה משתנה - רקטה ופליטת גזים 225

**239 מערכות מורכבות**

תנועה של גופים מרכבים 240

גדרת המיקום של עצם מורכב 240

ביעת המקום באמצעות מרכז המסה 241

יקום מערכת חלקיקים באמצעות מרכז המסה 242

שום חוקי ניוטון במערכת חלקיקים 247

תנע הקווי של מערכת חלקיקים 250

**257 עבודה ואנרגיה קינטית**

בוא 258

בוא לאנרגיה קינטית ועבודה 259

- 15-4 מהירות ותאוצה של תה"פ 463
- 15-5 מטוטלות כבידה 465
- 15-6 גלגולי אנרגיה בתנועה הרמונית פשוטה 470
- 15-7 תנועה הרמונית מרוסנת 472
- 15-8 תנודות מאולצות ותהודה 476

**פרק 16 גלים מכאניים רוחביים 487**

- 16-1 גלים וחלקיקים 488
- 16-2 סוגי גלים 488
- 16-3 פולסים וגלים 489
- 16-4 הביטוי המתמטי של גל סינוסואידי 493
- 16-5 מהירות הגל 498
- 16-6 מהירות הגל במיתר מתוח 501
- 16-7 אנרגיה והספק המועברים על ידי גל במיתר 503
- 16-8 עקרון הסופרפוזיציה בגלים 505
- 16-9 התאבכות גלים 507
- 16-10 גלים חוזרים וגלים עומדים 510
- 16-11 גלים עומדים ותהודה 512
- 16-12 פאזורים 514

**נספחים**

- נספח א' מערכת יחידות SI 523
- נספח ב' ערכים של קבועים פיזיקליים 528
- נספח ג' ערכים אסטרונומיים 529
- נספח ד' גורמי המרה 530
- נספח ה' נוסחאות מתמטיות 533
- נספח ו' התכונות של היסודות הכימיים 536
- נספח ז' הטבלה המחזורית 539

**תשובות לתרגילי קריאה ובעיות בלתי זוגיות 540**

**זכויות לתמונות 551**

**מפתח עניינים 553**

**ק 12 גלגול מומנט סיבוב ותנע סיבובי 369**

- 1 אודות סיבובים מורכבים 370
- 1 שילוב של העתקה ותנועה סיבובית פשוטה 371
- 1 משתני סיבוב כווקטורים 374
- 1 מכפלה וקטורית 377
- 1 מומנט סיבוב כמכפלה וקטורית 379
- 1 יצירת סיבוב על פי החוק השני של ניוטון 381
- 1 תנע סיבובי 382
- 1 התנע הסיבובי של מערכת חלקיקים 383
- 1 התנע הסיבובי של גוף קשיח הנע סביב ציר סיבוב קבוע 384
- 12 שימור התנע הסיבובי 387

**ק 13 שיווי משקל ואלסטיות 401**

- 1 מבוא 402
- 1 שיווי משקל 402
- 1 מרכז הכובד 405
- 1 בעיות בשווי משקל שאינן ניתנות להכרעה 410
- 1 אלסטיות 411

**ק 14 כבידה 427**

- 1 הגלקסיה שלנו וכוח הכבידה 428
- 1 חוק הכבידה של ניוטון 428
- 1 כבידה וסופרפוזיציה 432
- 1 כבידה בקרבת כדור הארץ 434
- 1 כבידה בתוך כדור הארץ 438
- 1 אנרגיה פוטנציאלית כבידתית 440
- 1 איינשטיין וכבידה 446

**ק 15 תנודות 453**

- 1 תנועה מחזורית: סקירה כללית 454
- 1 המתמטיקה של תנודות סינוסואידליות 455
- 1 תנועה הרמונית פשוטה: מערכת מסה קפיץ 459

# הקדמה למהדורה העברית

לא הופיע ספר עברי לקורסי יסוד בפיזיקה במוסדות להשכלה גבוהה. המחסור בספר מסוג זה עלה בשיחות רבות אותן קיימנו עם מרצים. אלה הובילו למחקר בנושאי קריאה ולמידה ממקורות מקוונים<sup>1,2</sup>. התברר כי סטודנטים בשנה הראשונה ללימודיהם כמעט ואינם ספרי לימוד, ובמיוחד לא ספרי לימוד בפיזיקה. הסיבות לכך רבות; אחת הבולטות בהן היא השילוב בין צבר הקשיים בהם נתקל הסטודנט ללימודיו. הקושי בכניסה לעול הלימודים האקדמיים, ההתמודדות עם עומס לימודים גבוה בסביבה לא מוכרת, ובנוסף לכך, הדרישה לקרוא וקצועית באנגלית. הסטודנטים טענו כי "לו היה ספר מתאים בעברית הייתי לומד בעזרתו פיזיקה". לראיה, רבים מהם מעדיפים לקרוא מאד ברמה תיכונית בעברית בקורסי היסוד בפיזיקה של האקדמיה. במשך כשלושים שנה, מאז ראה אור בעברית ספר אקדמי במכניקה, חלו יזמות רבות בשיטות ההוראה, בידע ובשילובו בטכנולוגיה העוטפת את האדם המודרני. שולבו מעבדות ממוחשבות, פותחו אתרי אינטרנט, ומיות, הופיעו מצגות ועוד. לכל אלה אין הד בספרים הקודמים.

כדי הסטודנטים והרצון לעדכן את הוראת הפיזיקה, החליטה המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה לפתח סביבת לימוד בהוראת להעמידה לרשות כל המוסדות להשכלה גבוהה בארץ. סביבה זו מבוססת על שני מרכיבים עיקריים - הספר 'מבני פיזיקה' שיופיע בשלושה א. מכניקה, ב. חשמל, מגנטיות ואופטיקה ג. פיזיקה מודרנית; ואתר אינטרנטי לתמיכה בלימוד סטודנטים ובהוראה של מרצים בפיזיקה, ו: תקצירים מהספר, שאלות, הדמיות, מערכות מושגים, פתרונות לשאלות, סרטי וידאו והרצאות. כתובת האתר <http://up.braude.ac.il> אנו מקווים לאפשר עדכון מתמיד של נושאים הקשורים בהוראת הפיזיקה והזדמנות לשפר את הספר והאתר התומך בו. מרכיב שלישי בהוראת הפיזיקה הוא בודק המטלות ברשת - WebAssign. במערכת זו, שפותחה לפני למעלה מעשור בארה"ב, מופיעות שאלות מספר זה מאה ספרים נוספים בפיזיקה) אותן ניתן להציג לסטודנטים באמצעות הרשת. המערכת עובדת בהצלחה, בגרסתה העברית, מזה עשר שנים ו. ובמכללות נוספות, ומסייעת לסטודנטים ולמרצים בלימוד ובהוראה. כתובת האתר של בודק המטלות היא [www.wa2u.net](http://www.wa2u.net).

גורם סביבת לימוד חדשה ותרגום ספר מאופיין במורכבות ודורש שיתוף פעולה נרחב וסיוע של גורמים רבים. זוהי הזדמנות נעימה להודות להם. ראשונה חביבה, ברצוני להודות לשלומית כהן העורכת הגרפית של הספר שעמלה בכישרון, ימים ולילות, על הכנתו תוך התאמתו ישות המדעיות והאסטטיות. דוד אגמון, העורך המדעי של הספר, איש אשכולות המפליא בדיעותיו הרחבות, בנוסף להיותו מורה מוכשר הקפיד על קלה כבחמורה והוסיף לספר שאלות רבות. שאדי עסאקלה - בונה אתר הספר, עמית ליחידת התקשוב בהוראה, תודות על הפגנת זייה בתרגום רעיונות פיזיקליים לביטים ושורות קוד. תפקיד חשוב בשיפור הספר מילאו עמיתי מהמחלקה לפיזיקה במכללה שקראו את א חסכו את שבת ביקורתם, במטרה לעשותו ראוי יותר לסטודנט הישראלי. לד"ר זאב רובין מהמחלקה לפיזיקה במכללה, שכתב השלמות לספר המקורי. השלמותיו עוסקות: ביחידות וממדים (1-11), תאוצה משיקית ותאוצה נורמאלית (5-8), משוואות תנועה (6-8), מערכות ונקרון ד'אלמבר (6-9), גרדיאנט וכוח משמר (10-11). מהדורת הניסוי של הספר נשלחה לששים מרצים ממוסדות להשכלה גבוהה בארץ שקדו על הערות מפורטות והמלצות לשיפורים. רשימה מפורטת שלהם מופיעה בעמודי הפתיחה, ואני חב תודה לכל אחד מהם על עזרתו. תודתנו נתונה להוצאת Wiley על שנאותה להעניק לנו את זכויות התרגום, ולהוצאת מאגנס ומנהלה מר חי צבר שעבדו עמנו בשיתוף פעולה פקה ובשיווק. לעונג היה לי לבלות עם עמיתי פרופ' אריה מהרשק בדיונים על שיפור ההוראה ופיתוח סביבות לימוד והתרומה ניכרת בספר חיונית הגישו לנו אנשי המנהלה במכללה: שמעון הקר - מנהל הקמפוס, צביקה קרני - מנהל הכספים, ונתן שטיינפלד - החשב, שדאגו חשובים בלעדיהם הספר לא היה רואה אור. אחרונים יבואו על הברכה מובילי החזון ואמונה בחשיבות פיתוח אמצעי לימוד והוראה, הנשיא של המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה ד"ר שמריהו רוזנר, והנשיא הנוכחי פרופ' יוחנן ארזי.

דוד פונדק

ראש היחידה לתקשוב בהוראה

המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה.

1 Pundak, D. & Maharshak, A., (2010). Employing a marketing approach to create a learning environment for engineering student. Research in Education Journal. <http://aabri.com/manuscripts/10452.pdf>.

ד, הרשקוביץ, א., שחם, מ. (2010). מאפייני קריאה בספרי לימודים וחומרים מקוונים בקרב סטודנטים במכללה ובאוניברסיטה. על הגובה - כתב עת לענייני בחינות הגבוהה, 9, 25-20.

ז הקדמה למהדורה העברית

עתו של ספר לימוד בפיזיקה הפונה לסטודנטים באקדמיה חייב הערכות ובדיקות זהירות. כשישים מרצים לפיזיקה אליהם פנינו לקבלת הערות המהדורה הניסיונית של הספר נענו בחיוב. התייחסנו במלוא הרצינות להערותיהם וניסנו לשפר את ולהתאים את הספר לצרכים האקדמיים של רסים השונים ברחבי הארץ.

ימת המורים והמרצים בפיזיקה שקראו והעירו למהדורה העברית של הספר

מר אודי וגנר המכללה האקדמית כנרת	פרופ' דורון בראונשטיין אוניברסיטת בן-גוריון	דוד אגמון ספר ליאו-בק חיפה, הטכניון חיפה.
ד"ר יוסף ורבין האוניברסיטה הפתוחה	פרופ' ג'ורג' ברגר המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	פי' לאוניד אוסטר מכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון
ד"ר ברוך זיו האוניברסיטה הפתוחה	פרופ' מיכאל גדלין אוניברסיטת בן-גוריון	פי' חגי אייזנברג ברסיטה העברית בירושלים
ד"ר אלחנן זינגר שנקר - בית ספר גבוה להנדסה ולעיצוב	פרופ' שאול גורן אוניברסיטת בן גוריון	עופר אייל מכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה
ד"ר מירב חדד האוניברסיטה הפתוחה	מר רולנדו גיטמן המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	פי' יהונתן אלון ן ויצמן
פרופ' יצחק טוכמן האוניברסיטה העברית	פרופ' אורי גניאל מכון ויצמן למדע	פי' גונאס אלסטר ברסיטת תל אביב
ד"ר אלי כהן המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	ד"ר ארי גרו המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	פי' אבישי אפרת ברסיטת תל אביב
פרופ' נדב כ"ץ אוניברסיטה העברית בירושלים	מר גבי גרינפלד המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	פי' יינון אשכנזי ניברסיטה העברית
פרופ' אהרון לוי אוניברסיטת תל אביב	פרופ' יובל גרעיני אוניברסיטת בר אילן	פי' דניאל אשרי ברסיטת תל אביב
פרופ' אייל לוי מכללת אפקה	פרופ' יגאל הורביץ אוניברסיטת בן גוריון	פי' שמוליק בלברג ניברסיטה העברית
מר דובה לויין בית ספר הר-וגיא	ד"ר יורם הורביץ המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה	גדעון בלע ברסיטת תל אביב

### הקדמה למהדורה העברית

יאל ליכטנשטט  
טת תל אביב

מר אלכס פורמן  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

ד"ר זאב רובין  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

ד"ר מחאג'נה  
האקדמית להנדסה אורט בראודה

פרופ' עוזי פז  
המרכז האקדמי רופין.

פרופ' זלמן רוזנוקס  
אוניברסיטת בן גוריון

אול מרדכי  
טת בן-גוריון

פרופ' אריאל פלדשטיין  
המכללה האקדמית ספיר

ד"ר יהודה רוט  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

נצר  
האקדמית להנדסה אורט בראודה

פרופ' ישראל פלנר  
האוניברסיטה העברית

ד"ר אלי רז  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

ן נקר  
האקדמית להנדסה אורט בראודה

פרופ' ראובן פרל  
אוניברסיטת העברית

פרופ' עפר שוורצגלס  
האוניברסיטה העברית

ודה סוננבליק  
ר הגבוה לטכנולוגיה ירושלים

פרופ' יורם קירש  
האוניברסיטה הפתוחה

פרופ' רפאל שטייניץ  
אוניברסיטת בן גוריון

סע  
יזיקה בעבר - בית אל .

ד"ר שמשון קלוש  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

ד"ר מני (מנחם) שי  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

ע ספדי  
למורים ערביים בחיפה

פרופ' ליאור קליין  
אוניברסיטת בר-אילן

פרופ' יהודה שלזינגר  
אוניברסיטת בר-אילן

ז עזיון  
טת תל אביב

מר אלכס קפלון  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

נו מבקשים להודות לצוות ההוצאה לאור מאגנס - למנהלה מר חי צבר שמהרגע הראשון נרתם להתמודדות מורכבת הכרוכה בהוצאת ספר זה, לרם גולדברג על ההפקה ולתמר אדרי על השיווק. סיועם הינו חיוני להצלחת ספר זה.

# הקדמה

כיום הבאים למבנים פיזיקה. הספר מבוסס על המהדורה השישית לספרם של האלידי, ק ו-ווקר, יסודות הפיזיקה, ולא אחת אנו מאזכרים אותו בשם HRW - המהדורה השישית. תבנים הראשונים של טקסט HRW - המהדורה השישית ושל הטקסטים הקודמים לו היו ויד האלידי ורוברט רזניק, והטקסטים שלהם היו רבי-מכר בתחום ספרי המבוא לפיזיקה ובעים השנים האחרונות. ספרים אלו קבעו את הרף לטקסטים רבים אחרים. אם כך אתם י שואלים את עצמכם: 'למה בכלל לשנות משהו מוצלח כל כך?' ננסה להסביר.

## למה לשנות את הטקסט?

נדנט לתואר שני בפיזיקה סיפר באחרונה שבתחילת המחצית הראשונה של קורס היסוד בפיזיקה הוא התקשה בהבנת החומר ואז לפתע הוא חש שהוא מתמודד בהצלחה רבה יותר עם רס. מה השתנה? האם היה לו רקע טוב יותר בחומר הלימוד החדש? לא, ברור שסטודנט זה דבר מה חשוב מאוד, משהו שמרבית המורים לפיזיקה היו רוצים ללמד את כל תלמידיהם בתחילת הקורס. לא משנה עד כמה המרצים חכמים, אפילו עד כמה הם מעולים בתכנון רס בפיזיקה והוראה בו, הסטודנטים יצליחו יותר בלימודי הפיזיקה אם ילמדו לקרוא בעיון לימוד הניתן להבנה.

מים מלמדים אותנו שהרוב הגדול של הסטודנטים בקורסי מבוא לפיזיקה אינם קוראים בעיון ספרי הלימוד שלהם. שתי סיבות עיקריות לכך לדעתנו: (1) סטודנטים רבים מתלוננים שאי-שור להבין את ספרי הפיזיקה כי הם מופשטים מדי, ו-(2) הסטודנטים עסוקים מאוד במאבק רדודות בין העבודה האקדמית שלהם, מחויבויות אישיות, עבודה, חיים חברתיים ותחביבים. הם מפתחים אסטרטגיות כיצד לעבור את לימודי הפיזיקה שלהם בלי להשקיע זמן בקריאה פיזיקה. נתנו דעתנו לשתי הסיבות הללו גם יחד; שינינו את המהדורה השישית של יסודות פיזיקה באופן שיקל על סטודנטים להבין ויספק למורה תרגילי קריאה נוספים ואסטרטגיות פחות כדי לעודד סטודנטים לקרוא את הטקסט בתשומת לב. למרבה המזל אנו מנסים לשפר לימוד מצוין, ספר שהמחבר הפעיל שלו, ג'רל ווקר, עמל בלא לאות כדי לעשות כל מהדורה שיהיה שלו למרתקת ומובנת יותר מקודמתה.

ניפים הבאים אנו מציגים סיכום של האופן שבו הסתמכנו על HRW - המדורה השישית ובנו אותו לכדי ספר לימוד.

## פירויות בשירות ההבנה

ת המטרות המרכזיות שלנו היא לסייע לסטודנטים להבין את הפיזיקה שהם לומדים. לא ללהגשים יעד זה אם סטודנטים יראו בפיזיקה מערכת של משוואות מתמטיות מנותקות לא אחת מהן רלוונטיות רק למספר קטן של מצבים ספציפיים. אנחנו מדגישים הבנה מושגית

וכמותית ויוצרים כל הזמן קשרים בין משוואות מתמטיות ורעיונות מושגיים. כמו כן אנחנו מנסים להתבסס על מושגים שסטודנטים, כבר מכירים, מן הסתם ועל הניסיון המצטבר שהם מביאים עמם מחוויות היום יום.

**במבינים פיזיקה** ניסינו לספר סיפור שזורם מפרק לפרק. כל פרק מתחיל בסעיף מבוא שדן בחשיבותם של הנושאים החדשים בפרק זה, מסביר כיצד מבוסס הפרק על פרקים קודמים ומכין סטודנטים לפרקים הבאים. אנו שמים דגש מיוחד על מושגי יסוד שחוזרים לאורך כל הספר. אנחנו משתמשים בהפניות רבות קדימה ואחורה כדי לחזק את הקישורים בין הנושאים. כך למשל, במבוא לפרק 14, פרק העוסק בתנודות, אנו כותבים: "חקר התנועה ההרמונית הפשוטה (תה"פ) יקדם אמנם את הבנתנו במערכות מכניות, אך הבנה זו חיונית גם כדי להבין סוגיות מתחומי הגלים, החשמל, המגנטיות והאור, ובאלה נפגש בספר ההמשך. לבסוף, היכרות עם תה"פ היא בסיס להבנת הפיזיקה המודרנית, ודרכה גם להבנת אופיו הגלי של האור ולהבנת האופן שבו אטומים וגרעינים קולטים ופולטים אנרגיה".

### דגש על תצפיות וניסוי

תצפיות וחוויות של ממש מחיי היום יום הן נקודת המוצא לפיתוח ביטויים מתמטיים. בניית תאוריות המבוססות על ניסויים היא מאפיין מרכזי של הספר. אנו בונים רעיונות על סמך ניסיון שכבר יש לסטודנטים או שיוכלו לרכוש בקלות בתצפיות שיעשו בקפידה ובתשומת לב.

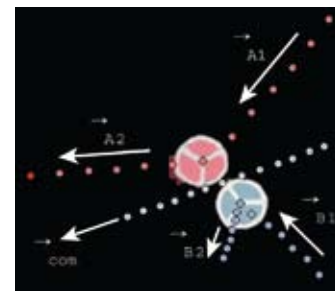
במידת האפשר, המושגים הפיזיקליים והתאוריות שאנו מפתחים **במבינים פיזיקה** מבוססים על תצפיות פשוטות או נתונים ניסויים ממעבדות טיפוסיות של מבוא לפיזיקה. אנחנו רוצים שהקוראים שלנו יפתחו הרגל לשאול את עצמם: מה מרמזים הנתונים, התצפיות וההתנסויות שלנו על חוקי הטבע של הפיזיקה? כיצד אנו יודעים אם הצהרה נתונה נכונה? מהו הבסיס לאמונתנו בדבר תקפות המודלים של העולם שפתחו על ידינו?

כדי להשיג מטרה זו הטקסט פותח לעתים קרובות בפרק של תיאור תצפיות שמוכרות לסטודנטים מחיי היום יום. עובדה זו עושה את **במבינים פיזיקה** לטקסט בעל רלוונטיות לחיי היום יום של סטודנטים, הטקסט מסתמך על ידע שכבר קיים אצלם. אנו מנסים לפעול על פי העיקרון של ארנוולד ארונו: "תחילה צריך להציג את הרעיון, ואחר כך לתת לו שם"; כלומר, אנו עושים כל מאמץ להתחיל דיון בשפת יום יום כדי לתאר חוויות משותפות. רק אז אנו מביאים מונחים פיזיקליים פורמליים המבטאים את המושגים שהוצגו. כך למשל, תחילה אנו דנים בדחיפות ומשיכות מחיי היום יום ובהשפעתן על תנועתו של גוף, ורק אחר כך אנחנו מציגים את המונח 'כוח' או את החוק השני של ניוטון; תחילה אנחנו עוסקים בהצטמקותו של בלון בסביבה קרה ובהתקררות המים בדלי לטמפרטורת החדר, ורק אחר כך אנחנו מציגים את חוק הגזים האידיאליים או את מושג העברת האנרגיה התרמית.

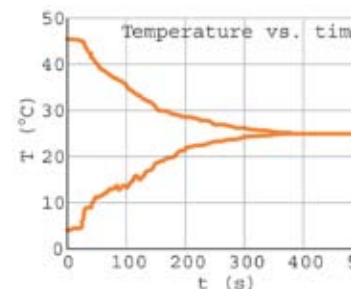
פילוסופיית 'הרעיון תחילה, השם אחר כך' מסייעת לבסס תבניות של קשרים בין מושגים שסטודנטים מנסים ללמוד, לבין ידע קודם שנרכש בעבר. יש בה גם כדי לסייע לסטודנטים לפרש מחדש את חוויותיהם באופן שעולה בקנה אחד עם חוקים פיזיקליים.

האיורים והדוגמאות **במבינים פיזיקה** מציגים לעתים קרובות נתונים שהתקבלו ממכשירי מעבדה מודרניים, ממוחשבים. במכשירים אלו יש מערכות איסוף נתונים מבוססות-מחשב ותוכנות לניתוח וידאו דיגיטלי. אנחנו מציגים מכשירים אלו לסטודנטים בסוף פרק 1. דוגמאות למערכות כאלו מוצגות באיורים ה-1 וה-2 ובאיור ה-3 בעמוד הבא. מאחר שמורים רבים משתמשים במכשירים ממוחשבים כאלו במעבדה או לצורך הדגמות בהרצאות, המכשירים מהווים חלק מחוויית קורס המבוא לפיזיקה של מספר הולך וגדל מהסטודנטים שלנו.

לשימוש בנתוני אמת יש יתרונות אחדים. הוא מקשר בין הטקסט לבין ניסיונם של הסטודנטים בחלקים אחרים של הקורס, והוא מחבר את הטקסט ישירות לחוויות הסטודנטים בעולם האמתי.



ניתוח וידאו מראה את מרכז המסה של שתי דיסקות שנעה במהירות קבועה.



שימוש בחיישני טמפרטורה מסייע לנו במערכים כמויות שוות של מים חמים וקוריים. הסופית היא ממוצע הטמפרטורות.



**איור ה-3** ■ ניתוח וידאו של קפיצת הרקדנית מגלה שמרכז המסה של גוף פשוט-אברים נע במסלול פרבולי תחת ההשפעה של כוח הכבידה של כדור הארץ.



ג תלות בשאלה אם אכן משתמשים במכשירי איסוף נתונים וניתוח במעבדה של התלמיד, ממוש שלנו בנתונים מציאותיים במקום בנתונים אידאליים מסייע לסטודנטים לפתח תובנה ר הזיקה והתמיכה שבין ניתוח הנתונים והתיאוריה.

### שימוש במחקרים מתחום החינוך הפיזיקלי

הלך הכתיבה מחדש של הטקסט ניצלנו שני ממצאים חשובים מתחום חקר החינוך הפיזיקלי. צא אחד הוא זיהוי מושגים סטודנטים מתקשים בהם במיוחד. השני הוא זיהוי אסטרטגיות דה פעילה שיכולות לסייע לסטודנטים לפתח הבנה מוצקה יותר של הפיזיקה.

### נמודות עם קשיי למידה

קרים אקדמיים רבים עוסקים בקשיי הלמידה של תלמידי פיזיקה.<sup>1</sup> עשינו מאמץ מרוכז נמודד עם קשיים אלו. **במבנים פיזיקה** ייחדנו מחשבה רבה לדיון בנושאים שידוע כי הם יים לבלבל סטודנטים. אנו נוקטים גישה זו אפילו בנושאים כגון 'מהותם של כוחות והשפעתם מהירות ושינויי מהירות', אף שלפיזיקאים מקצועיים הם עשויים להיראות מובנים מאליהם. שאים מתוחכמים יותר, שלעתים נדמה שהם מנוגדים להיגיון ולאינטואיציה, אנחנו מייחדים מת לב רבה ומלווים אותם בדוגמאות שנועדו להעלות על פני השטח את תפיסותיהם של טודנטים ולתקנן. כך למשל, אנו יודעים סטודנטים מתקשים להבין כוחות תגובה פסיביים, טל כוחות ניצבים וכוחות חיכוך<sup>2</sup>: איך יכול שולחן קשיח להפעיל כוח על ספר שמונח עליו? גף 4-6 אנחנו מציגים מודל אידיאלי של מוצק, הדומה למזרן קפיצים; כוחות הדחייה בין טומים בו פועלים כקפיצים. נוסף על כך, אנו מזמינים את הקוראים שלנו ללחוץ על שולחן בעב ולחוות את העובדה שככל שהם לוחצים חזק יותר על השולחן, השולחן לוחץ עליהם חזק בכיוון הנגדי.



**איור ה-4** ■ לחיצה בכוח על מזרן קפיצים. המזרן מפעיל על האצבע כוח תגובה נגדי, בעל עצמה שווה.

### לוב הזדמנויות למידה פעילות

נו את **מבנים פיזיקה** כטקסט אינטראקטיבי יותר המסוגל לפתח חשיבה מעמיקה אצל הקורא. רנו על כמה מהשאלות המצוינות בסופי הפרקים של HRW - המהדורה השישית. בספר זה ונו קוראים לשאלות אלו 'תרגילי קריאה'. יצרנו תרגילי קריאה חדשים רבים המחייבים את טודנטים להרהר בחומר המובא בסעיפים חשובים בכל פרק. כך למשל, מיד אחרי קריאת פ 2-6 המציג תרשים כוחות דו-ממדי, הסטודנטים מוצאים את תרגיל קריאה 1-6. תרגיל

1 L. C. McDermott and E. F. Redish, "Resource Letter PER-1: Physics Education Research," Am. J. Phys. 67, 755-767 (1999)  
2 John J. Clement, "Expert novice similarities and instruction using analogies," Int. J. Sci. Ed. 20, 1271-1286 (1998)

זה בנוי כמבחן אמריקני, והוא מחייב את הסטודנטים לזהות את תרשימים הכוחות של מסוק ששלושה כוחות פועלים עליו מכיוונים שונים. המסיחים של השאלות מבוססים על בעיות נפוצות שהסטודנטים נתקלים בהן בבניית תרשימי כוחות. אם משתמשים בשאלות אלו במסגרת מטלות 'הוראה בזמן אמת' או במסגרת דיון קבוצתי כיתתי, סוג כזה של תרגיל קריאה יכול לסייע לסטודנטים לפתח, במהלך קריאתם, כישורים חיוניים של פתרון בעיות.

יצרנו גם מערכת של דוגמאות אבן-בוחן. מדובר בבעיות לדוגמה שנבחרו בקפידה כדי לפתח כישורים מרכזיים של פתרון שאלות. בחרנו כמה מדוגמאות אלו מתוך האוסף הנהדר של בעיות לדוגמה ב-HRW - המהדורה השישית והוספנו עליהן כמה שאלות חדשות שחיברנו. כדי לשמר את הזרימה הסיפורית בכל פרק צמצמנו את המספר הכולל של בעיות לדוגמה לבעיות הדרושות כדי להדגים יישום עקרונות יסוד. כמו כן בחרנו דוגמאות אבן-בוחן המחייבות את הסטודנטים לשלב חשיבה מושגית וכישורים מתמטיים של פתרון בעיות. את מרבית דוגמאות אבן-הבוחן אי-אפשר לפתור בטכניקות של הצבה פשוטה או של התאמת אלגוריתמים.

מתוך HRW - המהדורה השישית הוספנו **בעיות חלופיות** למערכת הבעיות המובאת בסוף כל פרק שיעילותן הוכחה בכיתה. הבעיות החדשות שנוספו מבוססות על מחקרים שבחנו את קשיי הלמידה של סטודנטים ורבות מהן מחייבות הנמקה איכותית וקפדנית. הן מקשרות במפורש בין הבנה מושגית לבין פתרון בעיות כמותי. כללנו גם בעיות הערכה, בעיות ניתוח וידאו ובעיות מחיי היום יום שהן 'עתירות הקשרים'. הארגון והסגנון של **מבנים פיזיקה** שונו כדי לאפשר להשתמש בהם בקלות בתכנית הלימודים עם חומרים אחרים המבוססים על מחקרים.

## ארגון מחדש לצורך עקיבות ובהירות

### רצף המכניקה החדשה

המהדורה השישית של HRW וספרי מבוא אחרים לפיזיקה, העוסקים במכניקה קלאסית, מתבססים על רצף מוכר. הרצף מתחיל בפיתוח המשוואות הקינמטיות כדי לתאר תנועה בעלת תאוצה קבועה. לאחר מכן עוסקים בדרך כלל בווקטורים דו-ממדיים ובקינמטיקה של תנועת קליעים; ואחר כך בא תורו של הטיפול בדינמיקה אשר במסגרתו מוצגים חוקי התנועה של ניוטון כדי לסייע לסטודנטים להבין תנועה חד-ממדית ודו-ממדית. לבסוף עוסקים בנושאי אנרגיה, שימור תנע ותנועה סיבובית ושימור תנע סיבובי.

לפני כ-12 שנים, כאשר פריסילה לווז, רון תורנטון ודייוויד סוקולוף שיתפו פעולה בפיתוח תכניות לימודים על בסיס מחקר, הם התמקדו בקשיים שסטודנטים נתקלו בהם כאשר התבקשו לטפל בווקטורים דו-ממדיים ולהבין את תנועתם של קליעים בטרם למדו דינמיקה. באותה עת המליץ ארנולד ארונו להציג את המושג 'תנע' לפני המושג 'אנרגיה'.<sup>3</sup> ארונו טען ש-(1) המושג 'תנע' פשוט יותר ממושג 'אנרגיה', הן בהקשר ההיסטורי הן בהקשר המודרני, ו-(2) הלימוד של שימור תנע כרוך בפיתוח המושג 'מרכז מסה' שנדרש לפיתוח נאות של מושגי אנרגיה. נוסף על כך, היחסים בין מתקף לתנע הם ניסוח חלופי ברור של חוק התנועה השני של ניוטון. לכן, המקום הטבעי לו ביותר הוא אחרי הסקירה והלימוד של חוקי ניוטון.

לצורך טיפול בסוגיות אלו בעניין רצף המכניקה המסורתית התכנסה בשנת 1992 קבוצה קטנה של חוקרי חינוך פיזיקלי ומפתחי תכניות לימודים כדי לדון בהנהגתו של סדר חדש בתחום לימודי

3 התכתבות פרטית בין ארנולד ארונו ופריסילה לווז במסמך שכותרתו "הערות ראשונות והצעות" מ-19 באוגוסט 1990; וכן (Arnold Arons, *Development of Concepts of Physics* (Addison-Wesley, Reading MA, 1965

בניקה.<sup>4</sup> תוצאה אחת של התוועדות הייתה שלווה, סוקולוף ות'ורנטון יצרו רצף לימודי מתאים של נושאי המכניקה המהווים חלק ממערכת הפיזיקה המתוארת להלן.<sup>5</sup> החומרים כוללים ה **פיזיקה, את מודול המכניקה של מעבדת הפיזיקה בזמן אמת** ואת **הדגמות ההרצאה נטראקטיביות**. רצף זה נכלל בספר הנוכחי וחיבב ארגון ניכר מחדש של פרקים 2 עד 10 HRV - המהדורה השישית.

פיזיקה המכניקה החדשה שנכלל בפרקים 2 עד 10 של **מבנים פיזיקה**, נכללים:

פרק 2: קינמטיקה חד-ממדית המתבססת על שימוש ביישומי תאוצה אופקית קבועה ונפילה חופשית אנכית.

פרק 3: חקר הדינמיקה החד-ממדית מתחיל ביישום חוקי התנועה של ניוטון במערכות שכוח אחד או יותר פועל בהן לאורך קו פעולה אחד. הקוראים בוחנים תצפיות המובילות להשערה ש'כבידה' היא כוח בלתי נראה קבוע הפועל אנכית כלפי מטה.

פרק 4: טיפול בווקטורים דו-ממדיים, העתקות וקטורים, וקטורי יחידה ופירוק וקטורים לרכיביהם.

פרק 5: חקר הקינמטיקה והדינמיקה מורחב לתנועות דו-ממדיות עם כוחות הפועלים לאורך קו פעולה אחד. הדוגמאות כוללות תנועת קליע ותנועה מעגלית.

פרק 6: חקר הקינמטיקה והדינמיקה מורחב לתנועות דו-ממדיות עם כוחות הפועלים בשני ממדיים.

פרק 7 ו-8: הנושאים בפרקים אלו עוסקים במתקף ובשינוי התנע, שימור תנע, מערכות חלקיקים, מרכז המסה ותנועת מרכז המסה של מערכת מבודדת.

פרק 9 ו-10: פרקים אלו מציגים אנרגיה קינטית, עבודה, אנרגיה פוטנציאלית ושימור אנרגיה.

## תמטיקה בזמן אמת

ל, אנו מציגים נושאים מתמטיים 'בזמן אמת'. כך למשל, אנו מטפלים במושגים של וקטור ממדי בפרק 2 לצד פיתוח מושגי מהירות ותאוצה חד-ממדיים. אנו דוחים את הצגתם של וקטורים דו- ותלת ממדיים, חיבור וקטורי, ופרוק וקטור לרכיביו עד פרק 4, מיד לפני הצגת ות ותנועה דו-ממדית בפרקים 5 ו-6. איננו מציגים חישובים וקטוריים מתקדמים לפני שהם שים. את ההצגה של מכפלות סקלריות אנו דוחים עד פרק 9 בו מוצג מושג העבודה הפיזיקלית. מה, המכפלה הווקטורית מוצגת בפעם הראשונה בפרק 11 לצד הטיפול במומנט הסיבוב.

4 The New Mechanics Conference was held August 6–7, 1992 at Tufts University. It was attended by Pat Cooney, Dewey Dykstra, David Hammer, David Hestenes, Priscilla Laws, Suzanne Lea, Lillian McDermott, Robert Morse, Hans Pfister, Edward F. Redish, David Sokoloff, and Ronald Thornton

5 Laws, P.W. "A New Order for Mechanics" pp. 125–136, Proceedings of the Conference on the Introductory Physics Course, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy New York, May 20–23, Jack Wilson, Ed. 1993 (John Wiley & Sons, New York 1997)

## שינויים בסימון

לעתים קרובות הסימון המתמטי עשוי לבלבל והערפול במשמעותו של סימן מתמטי עלול להקשות על סטודנטים להבין יחס חשוב. קשה גם לפתור בעיות אם הסמלים המשמשים להצגת הגדלים אינם ברורים. להלן כמה מאפייני מפתח של שיטת הסימון החדשה:

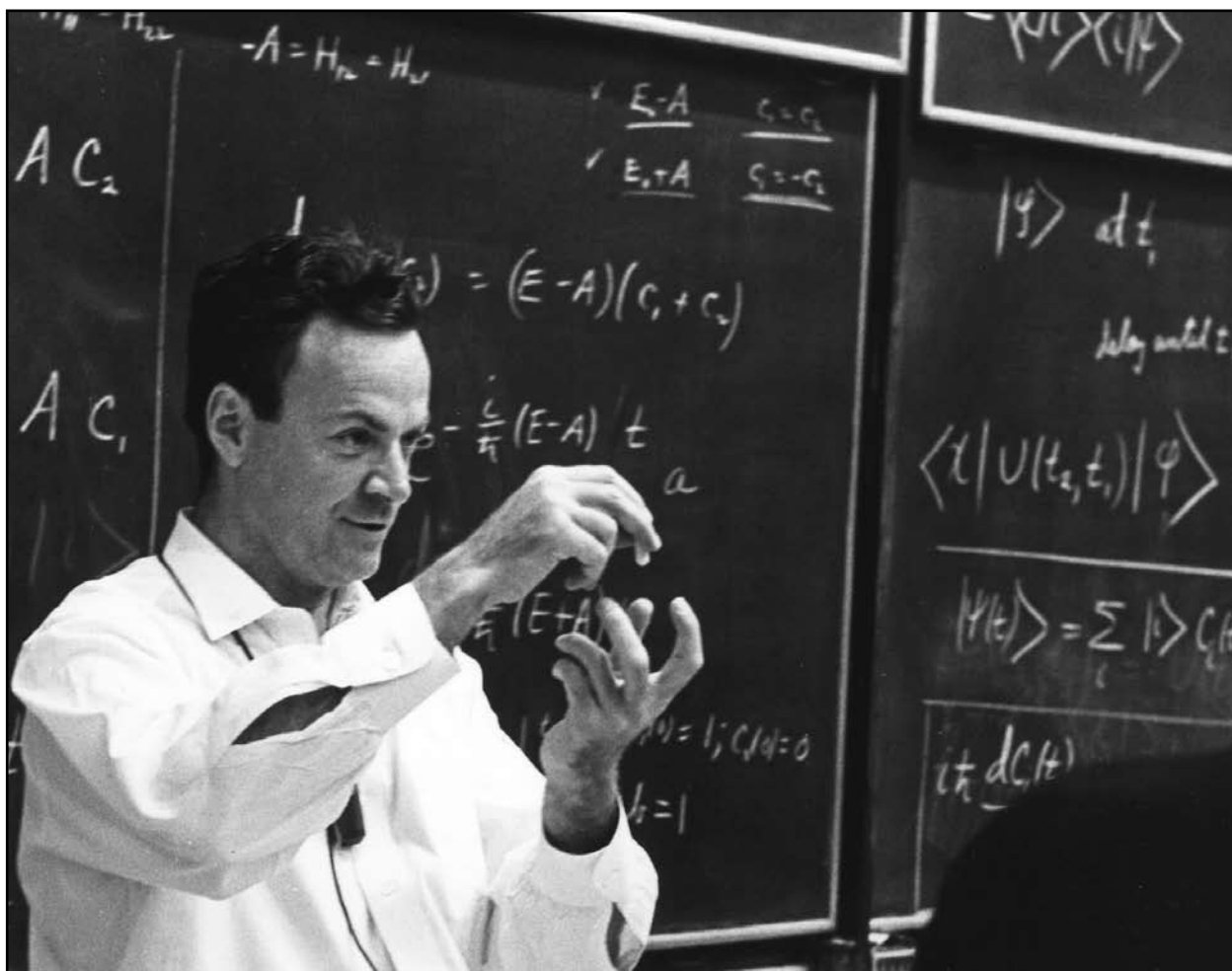
- אנו נצמדים להנחיות העדכניות לשיטת סימון שהוציא המוסד האמריקני הלאומי לתקנים וטכנולוגיה, (Special Publication 811 (SP 811)).
  - אנו מנסים לאזן בין רצוננו להשתמש בשיטת הסימון המוכרת לבין רצוננו להימנע מלהשתמש באותו סימן למשתנים שונים זה מזה. כך למשל,  $p$  משמשת לעתים קרובות לציין תנע, לחץ והספק. בחרנו להשתמש ב- $p$  (אות קטנה) כדי לציין תנע, וב- $P$  (אות גדולה) כדי לציין לחץ, מאחר ששני המשתנים מופיעים בתיאוריה הקינטית. עם זה אנו נצמדים לדרך המקובלת שבה שימוש ב- $P$  (אות גדולה) מציין הספק, מאחר שהיא אינה מופיעה ברגיל לצד לחץ במשוואות.
  - אנו מציינים וקטורים בחץ ולא בהדגשה, כדי שאפשר יהיה להציג משוואות בכתב יד בדומה למשוואות מודפסות.
  - אנו מסמנים כל רכיב וקטורי באינדקס תחתי וכך הוא מקושר במפורש לציר הקואורדינטות שלו. בדרך זו אנו מסלקים את הערפול בשאלה אם כמות מייצגת גודל סקלרי או רכיב וקטורי שאינו סקלרי.
  - לעתים קרובות אנו משתמשים באינדקס תחתי כדי לאיית את שמותיהם של עצמים הקשורים למשתנים מתמטיים, אף שמדריכים וסטודנטים ייטו להשתמש בקיצורים. אנחנו גם מדגישים את העובדה שגוף אחד מפעיל כוח על גוף אחר באמצעות חץ בכיתוב תחתי. כך למשל, הכוח שחבל מפעיל על בול יצוין כך:  $\vec{F}_{rope \rightarrow block}$
- מערך הסימונים שלנו מסוכם ביתר פירוט בנספח א'.

## עידוד לקריאת טקסט

תיארנו שינויים אחדים שהנהגנו ושאלנו חשים שהם משפרים את הספר ואת יכולת הקריאה בו. אבל אפילו ספר הלימוד הטוב בעולם לא יוכל לסייע לסטודנטים שאינם קוראים בו. לכן חשוב שמרצים יתאמצו לעודד סטודנטים עסוקים לפתח הרגלי קריאה אפקטיביים. לדעתנו, הדרך היעילה ביותר לגרום לסטודנטים לקרוא ספר לימוד היא להטיל עליהם אחרי כל שיעור קריאה של קטעי קריאה, תרגילי קריאה ושאלות אחרות המתייחסות לקריאה. לפניכם כמה דרכים אפקטיביות לעקוב אחר מטלות הקשורות לשאלות קריאה:

1. אנו מיישמים שיטה הנקראת 'הוראה בזמן אמת' (הב"א): סטודנטים מגישים את תשובותיהם לשאלות קריאה לפני השיעור ומשתמשים בדוא"ל פשוט או באחת המערכות הרבות הזמינות להגשת שיעורי בית באמצעות מחשב (כגון, Web-Assign או E-Grade). לעתים קרובות יכול המורה לקרוא מספר תשובות לפני כל שיעור כדי לזהות את השאלות הקשות הזקוקות לדיונים נוספים בשיעור;
  2. אפשר לבקש מהסטודנטים להביא את השאלות שהוטלו עליהם לכיתה ולהשתמש בתשובות בתור בסיס לדיונים בקבוצות קטנות במהלך השיעור;
  3. תוכלו לחלק שאלונים אמריקניים על כל סעיף או פרק. אפשר לדרג את השאלות אוטומטית על פי מורכבותן באמצעות מערכת שיעורי בית ממוחשבת;
  4. אפשר לבקש מהסטודנטים להגיש סיכומי פרקים. בשל העובדה שמדובר במטלה אפקטיבית מאוד, נמנענו בכוונה מלהציג בספר סיכומי פרקים.
- ברור שכל הגישות הללו יעילות יותר אם הסטודנטים מקבלים ניקוד כלשהו על ביצוען. אפשר אפוא לדאוג לתמריץ - ציון לכל החומרים שהוגשו או למדגם אקראי מתוכם, כדי להניע את הסטודנטים לקרוא בקביעות את הטקסט ולחשוב על התשובות לתרגילי הקריאה.

# מבוא



בחן הידע האנושי הוא הניסוי. אך מהו מקור הידע? מאין נובעים  
 תם החוקים שעלינו לבדוק? ... הניסוי עצמו מסייע ליצור חוקים  
 ה, בכך שהוא מספק לנו רמזים. אך בנוסף נדרש דמיון כדי ליצור  
 מדזים אלו הכללות - לנחש מהן התבניות המופלאות, הפשוטות  
 מוזרות הנמצאות בבסיס כל הכללות, ואז יש לשוב ולבחון אותן  
 מצעות הניסוי, כדי להיווכח אם אכן ניחשנו נכונה<sup>1</sup>.

1 R.P. Feynman The Feynman Lectures on Physics, Ch.1. (Addison-Wesley, Reading, MA, 1962)

## טבעם של מדע הפיזיקה ולימודי הפיזיקה

ברוכים הבאים אל לימודי הפיזיקה. הפיזיקה היא המדע העוסק בחקר עולם החומר, שמטרתו מציאת דרכים להבנת הדברים שאנו רואים ומודדים. כפי שכתב ריצ'רד פיינמן, המורה מעורר ההשראה: "ההתקדמות בכל מדעי הטבע נשענת על יחסי הגומלין שבין הניסוי לתיאוריה"<sup>6</sup>.

הנקודה המרכזית היא שבלמודי הפיזיקה עליכם להשוות ולהציב תדיר את תצפיותיכם כנגד האינטואיציות והציפיות שלכם. לעיתים תתאמתנה צפיותיכם, לעיתים הן תהינה נכונות בחלקן ולעיתים הן תהינה שגויות לחלוטין. עריכת השוואה בין תצפיותיכם לבין האינטואיציה שלכם לא רק שתסייע לכם ללמוד פיזיקה, אלא אף תעזור לכם בהבנת הדרך שבה מתהווה הידע המדעי.

הפיזיקה אמורה לסייע לכם בהבנת הדרך שבה מתנהל העולם החומרי. אם תופעה פיזיקלית איננה מתקבלת על דעתכם, עליכם להוסיף ולהרהר בה. יש להוסיף ולנתח את התצפיות והניסויים הקשורים בה ולבחון את משמעותם. איינשטיין אמר "הפיזיקה אינה אלא עידון של ההיגיון הפשוט". הדגש כאן הוא על "עידון". הפיזיקה היא יותר מאשר שכל ישר. היא היגיון פשוט השומר בדרך עקבית על התייחסות אל הניסוי ואל התיאוריה גם יחד.

במובן מסוים לימוד הפיזיקה נראה פשוט יותר מלימודי הביולוגיה או הכימיה. קיימים בפיזיקה פחות גורמים שיש לבחון, והמערכות שעוסקים בהן פשוטות יותר. אם תערוך רשימה של כל המשוואות שתפגשו במהלך קורס בפיזיקה, מספרן קטן לאין שיעור בהשוואה למספר האורגניזמים שיפגשו סטודנט בקורס לביולוגיה או למספר הריאקציות הכימיות שבהן יתקלו סטודנטים בקורס הכימיה. בנוסף לכך התופעות הפיזיקליות נראות פשוטות יחסית. מערכת המורכבת מכדור מתגלגל במדרון או מסוללה המחוברת לנורה פשוטה יותר מתמנון או מתרכובת של ציקלוקסאן. אך סטודנטים רבים טוענים כי לימוד קורס המבוא בפיזיקה קשה יותר מקורסי מבוא בשאר המדעים. מה קורה פה? אחת הסיבות היא שקל לדבוק בדרך החשיבה לפיה הפיזיקה היא אסופת משוואות חסרות קשר שחייבים לשנן. אין זה כך! ניתן לגזור את מרבית המשוואות המופיעות בקורסי היסוד בפיזיקה ממספר קשרים פיזיקליים קטן יחסית.

אם תמקדו את מאמציכם בניסיון לזכור את תכונותיהן של מאות מערכות נפרדות, עד מהרה תכרעו תחת העומס. במקום זאת עליכם להתמקד בטבעם של תהליכים מדעיים על ידי לימוד מספר מועט של מערכות אידיאליות. כיצד תוכלו לומר האם ההשערה שלכם לגבי התנהגותה של מערכת פיזיקלית נכונה או שגויה? כיצד חוקר מגלה או יוצר "חוק מדעי"? כיצד ניתן לבטוח בכך שתיאוריה או חוק אכן תקפים? שאלות אלו הן קריטיות לצורך פתרון שאלות מהעולם האמיתי כמו: איך לייצר שבב מחשב? כיצד לזהות מחלה? או איך ניתן לשפר את הישגיו של מתעמל? המפתח להבנת הפיזיקה הם מאמציכם ללמוד את הקשרים הפונקציונאליים היסודיים שבין הגדלים הפיזיקליים וליישם לצורך פתרון בעיות מדעיות.

## אמנות הפשטות

בפיזיקה אנו מנסים להבין את החוקים השולטים בהתנהגות עולם הטבע. אך עולם הטבע הוא מקום מורכב להפליא. לכן, נתחיל בבחינת מערכת פשוטה ביותר, המאפשרת לנו לצפות ולהסביר את אופי התנהגותה. לדוגמא: כאשר לומדים תנועה נתחיל עם גוף קטן שניתן להתעלם ממבנהו וצורתו. נניח כי כדורגל אינו אלא גוש קטן. נמצא כיצד הוא נע לאחר שנבעט ורק כוח הכבידה משפיע עליו. לשם כך נניח שהוא נע בריק ואינו מסתובב או מתעוות. כמובן שהנחות אלה אינן מתאימות לכדורגל אמיתי! אך הן מספקות נקודת מוצא מצוינת להבנתן של תנועות יסוד. התיאור האידיאלי שבחרנו פועל טוב למדי לאורך מרחק קטן יחסית (מספר מטרים) ובמהירויות קטנות



ית (פחות מ- 30 קמ"ש). ככל שנגביר את מהירות הכדור או נגדיל את המרחק שיעבור, בותה של השפעת האוויר תגדל. למרות זאת, הסיבוכים שהוספנו ניתנים לטיפול. לאחר בין את עקרונות התנועה, תוכל לצרף פרטים נוספים אל "המודל" שלך, לקחת בחשבון את פעת האוויר ולהבין מצב הקרוב יותר למציאות, ובכך תגדיל את מספר המצבים שעמם תוכל נמודד.

טרטיגיה שבה נוקטים פיזיקאים בתחילה היא הבנה טובה במידת האפשר של מערכות פשוטות, מצעות שילובם של חוקים פיזיקליים המתארים מערכות אלה. לאחר שהושלמה משימה זו בלחה, הצעד הבא יהיה צרוף עוד ועוד מרכיבים מהעולם האמיתי למערכת, בכל שלב נוסף יב אחד. זהו התהליך שבו נוהגים חוקרים לתרום לגוף הידע רב-העוצמה הקרוי פיזיקה.



מ-1 ■ ג'ונסון מפרט את כל ההנחות שביצע, בעת פתרון השאלה.

### להפתעות

ר שתפגשו הפתעות רבות במהלך לימודי הפיזיקה ולא תצטרכו להמתין להן עד לימודי תורת סות או תורת הקוונטים (למרות ששני נושאים אלה מעוררי עניין ומשעשעים להפליא). אפילו עות פיזיקליות שנוציג בפרקי הפתיחה של ספר זה חושפות עובדות יומיומיות שאנשים רבים תעים לגלותן. לדוגמא: ניח שאתם אווזים שני כדורים דומים שהאחד עשוי עופרת והשני י פלסטיק ומשקל כדור העופרת פי עשרים ממשקל כדור הפלסטיק. אתם עומדים על כיסא צב איתן על הרצפה ושומטים את שני הכדורים בו-זמנית, הכדורים יפלו לאורך כשני מטרים עו לרצפה כמעט באותו הזמן. מדוע כדור העופרת אינו נע מהר יותר? או מדוע גוף השקוע ס שוקל פחות מאשר מחוצה להם, ופחת המשקל שווה למשקל המים שאת מקומם תפס הגוף? ד קשורים המים לכל זה? המים הללו כבר נדחו! כאשר מחברים שתי נורות זהות לסוללה, אם ברו אותן בדרך אחת שתיהן תארנה בעוצמה כפולה מזו של נורה בודדת המחוברת לסוללה, אם תחברו אותן בדרך אחרת הן תארנה רק במחצית העוצמה של נורה בודדת. הכיצד? מדוע בך? ספר זה עתיר בהפתעות שכאלה.



### תייעו בספר זה ככלי למידה

לימוד זה הוא אחד ממקורות למידה רבים שעליכם להסתייע בהם במהלך לימודי הפיזיקה. מת חשיבות רבה שתקראו בספר זה באופן קבוע ותענו על תרגילי הקריאה המופיעים בסיומם

איור מ-2 ■ שני כדורים בעלי מסות שונות נופלים באותה תאוצה, בכל פעם שניתן להזניח את התנגדות האוויר.

של קטעים רבים בכל פרקי הספר. ניסינו להציג באמצעותם הן תוצאות ניסויים התומכות בתיאוריות והן מסקנות שסייעו בפיתוח תיאוריות. מכל מקום, תוכלו להבין פיזיקה רק לאחר שתבצעו בעצמכם תצפיות ותהיו מעורבים באופן פעיל בהסקת מסקנות. לכן, קיימת חשיבות מכרעת שתצפו בתופעות פיזיקליות או תבחנו בתשומת-לב את תוצאות הניסויים שנתאר. לאחר מכן עליכם לחשוב האם ההסברים שאנו מספקים מתקבלים על דעתכם. בנוסף, עליכם לבחון ולעדן את הבנת המושגים התיאורטיים על ידי שימוש בהם במהלך פתרון השאלות המופיעות בסיום כל פרק בספר. פתרון השאלות דורש ממך הפעלת עקרונות פיזיקליים שלמדת ושימוש ביחסים מתמטיים המתארים עקרונות אלה. לבסוף, ייתכן שתמצו לבחון את הבנתכם על ידי ניבוי תוצאותיהם של ניסויים שניתן לערוך במעבדה של קורסי היסוד בפיזיקה.

אנו מקווים שספר זה יגרום לכם ליהנות מלימוד הפיזיקה בדומה להנאה שאנו שאבנו מהם.

משמאל לימין: פרסילה ו. לווז, אדווארד פ. רדיש, קרן קמינגז, ופטריק ג'. קוני.

צלום: דוד הילדברנד.

