

פיסיקה לכל

עקרונות מדע החומר והאנרגיה

פול ג' היואיט



מחר 9



הטבלה המחזורית של היסודות

								VIII
								2 He הליום 4.003
			III	IV	V	VI	VII	
			5 B בור 10.81	6 C פחמן 12.011	7 N חנקן 14.007	8 O חמצן 15.999	9 F פלואור 18.998	10 Ne ניאון 20.17
			13 Al אלומיניום 26.98	14 Si צורן 28.09	15 P זרחן 30.974	16 S גפרית 32.06	17 Cl כלור 35.453	18 Ar ארגון 39.948
28 Ni ניקל 58.71	29 Cu נחושת 63.546	30 Zn אבץ 65.38	31 Ga גליום 69.735	32 Ge גרמניים 72.59	33 As ארסן 74.922	34 Se סלן 78.96	35 Br ברום 79.904	36 Kr קריפטון 83.80
46 Pd פלדיום 106.4	47 Ag כסף 107.868	48 Cd קדמיום 112.41	49 In אינדיום 114.82	50 Sn בדיל 118.69	51 Sb אנטימון 121.75	52 Te טלור 127.60	53 I יוד 126.904	54 Xe קסנון 131.30
78 Pt פלטינה 195.09	79 Au זהב 196.967	80 Hg כספית 200.59	81 Tl תליום 204.37	82 Pb עופרת 207.2	83 Bi ביסמות 208.98	84 Po פולוניום (209)	85 At אסטטין (210)	86 Rn רדון (222)

63	64	65	66	67	68	69	70	71
Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
אירופיום	גדוליניום	טרביום	דיספרוסיום	הולמיום	ארביום	תליום	איטרביום	לופטיום
151.96	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.967

95	96	97	98	99	100	101	102	103
Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
אמריקיום	קוריום	ברקליום	קליפורניום	איינשטייניום	פרמיום	מנדלביום	נובליום	לורנציום
(243)	(247)	(247)	(251)	(254)	(257)	(258)	(259)	(260)

I								
1 H מימן 1.008	II							
3 Li ליתיום 6.94	4 Be בריליום 9.012							
11 Na נתרן 22.990	12 Mg מגנזיום 24.305							
19 K אשלגן 39.098	20 Ca סידן 40.08	21 Sc סקנדיום 44.956	22 Ti טיטניום 47.90	23 V ונדיום 50.942	24 Cr כרום 51.996	25 Mn מנגן 54.938	26 Fe ברזל 55.847	27 Co קובאלט 58.933
37 Rb רובידיום 85.467	38 Sr סטרונציום 87.62	39 Y איטריום 88.906	40 Zr צירקוניום 91.22	41 Nb ניוביום 92.906	42 Mo מוליבדן 95.94	43 Tc טכנציום 98.906	44 Ru רוטניום 101.07	45 Rh רודיום 102.91
55 Cs צזיום 132.905	56 Ba בריום 137.33	57-71* עפרות נדירות	72 Hf הפניום 178.49	73 Ta טנטלום 180.947	74 W וולפרם (טונגסטן) 183.85	75 Re רניום 186.207	76 Os אוסמיום 190.2	77 Ir אירידיום 192.22
87 Fr פרנציום (223)	88 Ra רדיום 226.03	89-103** אקטינידים	104 Unq (261)	105 Unp (262)	106 Unh (263)	107 Uns (264)	108 Uno (265)	109 Une (266)

המספר העליון הוא המספר האטומי, מטענו החיובי של הגרעין בכפולות של המטען היסודי e . המספר התחתון הוא המסה האטומית הממוצעת לפי שכיחות האיזוטופים על פני כדור הארץ מבוטאת ביחידות מסה אטומיות (ימ"א). המסות האטומיות של היסודות הרדיואקטיביים המובאות בסוגריים הן המספרים השלמים הקרובים ביותר למסתו של האיזוטופ היציב ביותר של היסוד.

57 La לנתן 138.91	58 Ce צריים 140.12	59 Pr פרסודימיום 140.91	60 Nd ניאודימיום 144.24	61 Pm פרומתיום (145)	62 Sm סמריום 150.36
----------------------------	-----------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------

* עפרות נדירות (לנתנידים)

89 Ac אקטיניום 227.028	90 Th תוריום 232.038	91 Pa פרוטקטיניום 231.036	92 U אוראניום 238.029	93 Np נפטוניום 237.048	94 Pu פלוטוניום (244)
---------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

** אקטינידים

פיסיקה לכל

עקרונות מדע החומר והאנרגיה



כתב ואייר: פול ג' היואיט

לצירלי, הלן, מארשל, מידור ופבלו

עריכה מדעית של המהדורה העברית: ד"ר יכין אונא
תרגום: י' אונא, עליזה אמיתי, יצחק יוגב, צבי עצמון
עריכת תרגום: י' אונא, צבי עצמון
עריכת לשון והגהות: עינת אמית
הקלדות: גליה גל
עימוד ועיצוב על פי המקור: יעל ראוזניץ
הפקה: רוני ראוזניץ
לוחות: גרפאור
דפוס: דפוס קל
כריכה: מפעלי כתר, ירושלים
ניהול הפרויקט: אמנון לבב

תודה מיוחדת לשותפים לעשייה - האגף לתכניות לימודים
במשרד החינוך, התרבות והספורט, המרכז להוראת המדעים
ומחר 98 - שללא סיועם לא היה יוצא ספר זה לאור.

© 1997 כל הזכויות למהדורה העברית שמורות
למכון ברנקו וייס לטיפול החשיבה. ת"ד 648, ירושלים 91006

אין להעתיק, לשכפל, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע או
להפיץ ספר זה או קטעים ממנו בשום צורה ובשום אמצעי,
אלקטרוני, אופטי או מכני (לרבות צילום והקלטה) ללא אישור
בכתב מהמוציא לאור.

הכריכה: תמונת ברק שצולמה דרך סריג עקיפה באוניברסיטת
אריונה על ידי פרופ' וויליאם סי' ביקל.

Sponsoring Editor: Jane Piro
Developmental Editor: Louise Howe
Project Editors: Kristin Syverson, Ginny Guerrant, and Cathy Wacaser
Art Director: Julie Anderson
Text and Cover Design: Kay Fulton
Cover Photo: William S. Bickel
Photo Researcher: Roberta Knauf
Production Administrator: Brian Branstetter
Compositor: Better Graphics, Inc.
Final Film Assembly: Lehigh Press Colortronics

For permission to use copyrighted material, grateful acknowledgement is made to the copyright holders on pp. 733-734, which are hereby made part of this copyright page.

Conceptual Physics, Seventh Edition

Copyright © 1993 by Paul G. Hewitt

Published by arrangement with HarperCollins College Publishers.

הקדמת האגף לתכניות לימודים והפיקוח על הוראת הפיסיקה

תרגום הספר שלפניכם מופיע בתקופה הרת שינויים בהוראת הפיסיקה. בעקבות דו"ח מחר 98 מופנים משאבים ניכרים לשיפור הוראת המדעים - הן בכמותה, הן באיכותה. במסגרת השיפורים הללו חשבנו גם על תרגום ספרי מופת להוראת המדעים, ולפניכם מונח חלוץ תרגומים אלו.

מאז תורגמה סדרת ה-P.S.S.C לעברית, לפני כמה עשרות שנים, לא זכה התלמיד הישראלי לספר פיסיקה כה נרחב בהיקפו וכה מיוחד בדרך הצגת הנושאים שבו. גישת הספר תואמת את המגמה לעבור משיטת לימוד שבה מושם הדגש על שימוש בנוסחאות ופתרון בעיות, לשיטה שבה מתמקד התלמיד בהכרת התופעות הפיסיקליות ובהבנתן באופן מעמיק יותר. הצגת הרעיונות הפיסיקליים תוך התמקדות בהיבט המושגי, ולא הטכני-חישובי, נועדה גם להפרות את דרכי החשיבה הפיסיקלית של התלמידים - ואף זה אחד מיעדיה המרכזיים של הוראת המדעים בתקופתנו.

חשוב לציין כי שיטת הלימוד אינה מקפחת בהצגת הדברים את ההיבט היישומי. לניסויים מוקצה חלק נכבד בספר זה. נוסף על הדגמת חוקי הטבע כפי שהם באים לידי ביטוי בחיי המעשה, מלווים את פרקי הספר השונים תרגילים רבים, ואלה תואמים את הגישה - ההולכת וכובשת לה מקום בתחום הוראת המדעים - של שילוב המדע עם הטכנולוגיה ויישומיה בחיי היומיום.

ספר זה, המיועד בראש וראשונה לתלמידי החטיבה העליונה בבתי הספר העל יסודיים, יכול לשרת מגוון רחב של אוכלוסיות: החל במורים למקצועות המדע והטכנולוגיה בחטיבות הביניים, שאותם ישמש כספר העשרה והעמקה, עבור לתלמידי החטיבה העליונה אשר עיקר התמחותם במקצועות הלא-מדעיים, וכלה בתלמידים המתמחים בפיסיקה. גם סטודנטים הלומדים בקורסים של "פיסיקה ללא פיסיקאים" באוניברסיטאות או במסלולי הכשרה להוראת המדעים במכללות יוכלו להיעזר בספר זה במידה רבה.

תודה מיוחדת על מבצע תרגום זה מגיעה לד"ר דן שרון, על שפעל לקידום העניין עוד מהיותו רעיון בלבד וליווה אותו לסימומו, ולד"ר יכין אונא, על שנשא במרבית עול התרגום. כמו כן יבואו על הברכה מר משה אילן, מנהל האגף לתכניות לימודים, פרופ' מנחם פינגולד, יו"ר ועדת המקצוע לפיסיקה, ושאר חברי הוועדה - על תרומתם הרבה.

לסיום, רצוני להצטרף לתקוותו של מחבר הספר, פול היואיט, כי השימוש בקנקן המפואר והמלא הניתן לכם כאן יביא אתכם ללימודי הפיסיקה מתוך הבנה והנאה.

בברכה

דוד סלע

מנהל גף מדעים וטכנולוגיה באגף לתכ"ל
ומפקח מרכז הוראת הפיסיקה במזכירות הפדגוגית

תוכן מפורט	vi
לתלמיד	xiii
למורה	xiv
אלבום התמונות של פיסיקה לכול	xv
מדע מהו	1

חלק א מכניקה 17

תנועה על קו ישר	2	18
תנועה במסלול לא ישר	3	36
חוקי התנועה של ניוטון	4	54
תנע	5	79
אנרגיה	6	97
תנועת סיבוב	7	115
כבידה	8	140
תנועת לוויינים	9	164

חלק ב תכונות החומר 177

המבנה האטומי של החומר	10	178
מוצקים	11	192
נוזלים	12	210
גזים ופלסמה	13	229

חלק ג חום 251

טמפרטורה, חום והתפשטות	14	252
מעבר חום	15	266
שינויים במצב הצבירה	16	286
תרמודינמיקה	17	303

חלק ד קול 321

תנודות וגלים	18	322
קול	19	339
צלילי המוסיקה	20	357

371	חלק ה	חשמל ומגנטיות
-----	-------	---------------

אלקטרוסטטיקה	21	372
זרם חשמלי	22	396
מגנטיות	23	415
השראה אלקטרומגנטית	24	432

449	חלק ו	אור
-----	-------	-----

תכונות האור	25	450
צבע	26	469
החזרה ושבירה	27	487
גלי אור	28	518
פליטת אור	29	545
קוונטים של אור	30	564

581	חלק ז	האטום והגרעין
-----	-------	---------------

האטום והקוונטים	31	582
גרעין האטום ורדיואקטיביות	32	595
ביקוע גרעיני והיתוך גרעיני	33	619

641	חלק ח	יחסות
-----	-------	-------

תורת היחסות המצומצמת	34	642
תורת היחסות הכללית	35	675
סוף דבר		689
נספח א מערכות היחידות		690
נספח ב עוד על תנועה		695
נספח ג עוד על וקטורים		699
נספח ד גידול מעריכי וזמן ההכפלה		705
מונחים		712
מפתח		721
מקור הצילומים		731
דברי תודה		733

תוכן מפורט

תוכן מפורט vi

לתלמיד xiii

למורה xiv

אלבום התמונות של פיסיקה לכול xv

מדע מהו 1

- מדידות מדעיות 2
- גודלו של כדור הארץ 2
- גודלו של הירח 3
- המרחק אל הירח 5
- המרחק אל השמש 5
- גודלה של השמש 6
- המתמטיקה - שפת המדע 7
- השיטה המדעית 7
- הגישה המדעית 8
- מדע, אמנות, דת 11
- מדע וטכנולוגיה 12
- פיסיקה - המדע הבסיסי 13
- במבט מקיף 14

חלק א מכניקה

17

חוקי התנועה של ניוטון 54

- חוק התנועה הראשון של ניוטון 54
- מסה 55
- חוק התנועה השני של ניוטון 59
- תאוצה אפס - שיווי-משקל 61
- חיכוך 62
- נפילה חופשית - תאוצה g 64
- כשהתאוצה קטנה מ- g - נפילה לא-חופשית 65
- החוק השלישי של ניוטון 68
- סיכום שלושת חוקי ניוטון 73

תנע 79

- תנע 79
- מתקף 80
- מתקף משנה תנע 81
- מקרה 1: הגדלת התנע 81
- מקרה 2: הקטנת התנע בפרק זמן ממושך 82
- מקרה 3: הקטנת התנע בפרק זמן קצר 84
- ניתור 84
- שימור התנע 85
- התנגשויות 86
- התנגשויות מסובכות יותר 90

תנועה על קו ישר 18

- התנועה על-פי אריסטו 18
- קופרניקוס ותנועתו של כדור הארץ 20
- גלילאו והמגדל הנטוי 20
- המישורים המשופעים של גלילאו 21
- תיאור של תנועה 23
- גודל-המהירות 24
- מהירות 26
- תאוצה 26
- תאוצה - המישורים המשופעים של גלילאו 28
- נפילה חופשית 29
- כמה מהר 29
- כמה רחוק 30
- באיזה קצב משתנה המהירות 32

תנועה במסלול לא ישר 36

- תנועה היא יחסית 36
- המהירות - גודל וקטורי 37
- תנועת קלעים 41
- קלעים מהירים - לוויינים 46
- תנועה מעגלית 49

6 אנרגיה 97

- עבודה 97
- הספק 98
- אנרגיה מכנית 99
- אנרגיה פוטנציאלית 99
- אנרגיה קינטית 101
- שימור האנרגיה 102
- מכונות 104
- נצילות 105
- בין אנרגיה קינטית לתנע 106
- אנרגיית החיים 109

7 תנועת סיבוב 115

- התמדה בתנועת סיבוב 115
- מומנט הכוח 119
- מרכז המסה ומרכז הכובד 120
- כיצד מאתרים את מרכז הכובד? 121
- יציבות 123
- הכוח הצנטריפטלי 125
- הכוח הצנטריפוגלי 127
- כוח צנטריפוגלי במערכת ייחוס מסתובבת 128
- הדמיית כובד 129
- תנע זוויתי 131
- שימור התנע הזוויתי 133

8 כבידה 140

- חוקי קפלר 141
- חוק הכבידה העולמי של ניוטון 142
- קבוע הכבידה העולמית, G 143
- כבידה ומרחק: חוק הריבוע ההופכי 145
- משקל וחוסר משקל 147
- גאות ושפל 149
- גאות ושפל בכדור הארץ ובאטמוספירה 151
- שדות כבידה 152
- שדות הכבידה בתוך כוכב לכת 153
- תורת הכבידה של איינשטיין 155
- חורים שחורים 155
- הכבידה העולמית 157

9 תנועת לוויינים 164

- התפוח הנופל 164
- הירח הנופל 165
- תנועת לוויינים 166
- מסלולים מעגליים 166
- מסלולים בצורת אליפסה 168
- שימור אנרגיה ותנועת לוויינים 170
- מהירות מילוט 172

חלק ב תכונות החומר

177

10 המבנה האטומי של החומר 178

- אטומים 179
- מולקולות 181
- מסות אטומיות ומסות מולקולריות 183
- יסודות, תרכובות ותערובות 184
- מבנה האטום 185
- אנטי חומר 187
- מצבי הצבירה של החומר 188

11 מוצקים 192

- מבנה גבישי 193
- צפיפות 195
- אלסטיות 196
- מתיחה ולחיצה 198
- קשתות 200
- קני מידה 201

12

נחלים 210

- לחץ בנוזל 211
- כוח העילוי 214
- חוק ארכימדס 215
- השפעת הצפיפות על שקיעת גופים 217
- ציפה 218
- חוק פסקל 220
- מתח פנים 222
- נימיות 223

13

גזים ופלסמה 229

- האטמוספירה 229
- הלחץ האטמוספירי 230
- ברומטרים 233
- חוק בויל 235
- כוח העילוי של האוויר 237
- חוק ברנולי 239
- שימושים בחוק ברנולי 240
- פלסמה 243
- פלסמה בחיי יומיום 243
- אנרגיית פלסמה 244

חלק ג חום

251

14

טמפרטורה, חום והתפשטות 252

- טמפרטורה 252
- חום 254
- כמות החום 256
- חום סגולי 256
- התפשטות 258
- התפשטות המים 260

15

מעבר חום 266

- הולכה 266
- הסעה 268
- מדוע אוויר חם עולה 268
- מדוע אוויר שמתפשט, מתקרר 269
- קרינה 271
- פליטה, בליעה והחזרה 272
- התקררות בקרינה בלילה 274
- חוק הקירור של ניוטון 275
- תוצא החממה 276
- אנרגיית השמש 277
- בעיית עודף החום 280
- בקבוק התרמוס 281

17

תרמודינמיקה 303

- האפס המוחלט 303
- אנרגיה פנימית 305
- החוק הראשון של התרמודינמיקה 305
- תהליכים אדיאבטיים 307
- מטאורולוגיה והחוק הראשון 308
- החוק השני של התרמודינמיקה 312
- מכונות חום 312
- השאיפה מסדר לאי-סדר 316
- אנטרופיה 317

תנודות וגלים 322

- תנודות של מוטטלת 322
- תיאור הגל 323
- תנועת גלים 326
- מהירות הגל 326
- גלי רוחב 328
- גלי אורך 328
- התאבכות 329
- גלים עומדים 330
- תוצא דופלר 331
- מחסומי גלים 333
- גלי חרטום 333
- גלי הלם 334

קול 339

- מקור הקול 339
- הקול באוויר 340
- התווך המוליך את הקול 342
- מהירות הקול 342

- החזרת קול 343
- שבירת קול 344
- אנרגיה בגלי קול 345
- תנודות מאולצות 346
- תדירות עצמית 346
- תהודה 346
- התאבכות 348
- פעימות 350
- שידורי רדיו 352

צלילי המוסיקה 357

- גובה הצליל 358
- רום הקול 358
- גוון 360
- כלי נגינה 361
- סולמות מוסיקליים 362
- אנליזת פוריה 364
- תקליטורים 366

אלקטרוסטטיקה 372

- כוחות חשמליים 373
- מטענים חשמליים 373
- שימור המטען 374
- חוק קולון 376
- מוליכים ומבודדים 377
- מוליכים למחצה 378
- טעינה 378
- טעינה במגע 379
- טעינה בהשראה 379
- קיטוב מטען 381
- השדה החשמלי 383
- מיסוך חשמלי 386
- פוטנציאל חשמלי 388
- אגירת אנרגיה חשמלית 390
- מחולל ון-דה-גראף 391

הזרם החשמלי 396

- זרם של מטענים 396
- הזרם החשמלי 397
- מקורות מתח 398
- התנגדות 399
- חוק אוהם 399
- חוק אוהם ומכת חשמל 400
- זרם ישר וזרם חילופין 402
- המרת זרם חילופין לזרם ישר 402
- מקור האלקטרונים במעגל החשמלי 402
- ומהירותם 403
- הספק חשמלי 405
- מעגלים חשמליים 406
- מעגלים טוריים 406
- מעגלים מקבילים 408
- מעגלים מקבילים ועומס יתר 409
- נתיך הבטיחות 410

23

מגנטיות 415

- כוחות מגנטיים 416
- קטבים מגנטיים 416
- שדות מגנטיים 417
- תחומים מגנטיים 419
- זרמים חשמליים ושדות מגנטיים 420
- אלקטרומגנטים 421
- כוחות מגנטיים על מטענים נעים 422
- כוחות מגנטיים על תילים נושאי זרם 423
- מדי זרם 423
- מנועים חשמליים 424
- השדה המגנטי של כדור הארץ 425
- ביומגנטיות 428

24

השראה אלקטרומגנטית 432

- השראה אלקטרומגנטית 432
- חוק פארדיי 434
- מחוללים וזרמי חילופין 435
- תחנות כוח 437
- אנרגיה ממחוללי טורבו 437
- אנרגיה ממחולל מגנטו-הידרו-דינמי 438
- שנאים 439
- השראה עצמית 442
- הובלת חשמל 443
- שדות מושרים 444
- במבט רחב 444

25

תכונות האור 450

- גלים אלקטרומגנטיים 450
- מהירות הגל האלקטרומגנטי 451
- הספקטרום האלקטרומגנטי 452
- חומרים שקופים 454
- חומרים אטומים 456
- אור וצל 457
- לראות את האור: העין 460

26

צבע 469

- החזרה ברירנית 470
- העברה ברירנית 472
- ערבוב אורות צבעוניים 473
- ערבוב צבענים 476
- כללי ערבוב צבענים 478
- מדוע כחולים השמים 479
- מדוע אדומות השקיעות 480
- מדוע לבנים העננים 482
- מדוע צבע המים כחול-ירקרק 483

28

גלי אור 518

- עקרון הויגנס 518
- עקיפה 521
- התאבכות 523
- התאבכות אור חד-צבעי בשכבה דקה 528
- צבעי התאבכות בהחזרה משכבות דקות 530
- קיטוב 532
- צפייה תלת-ממדית 535
- צבעים וחומרים מקטבים 537
- הולוגרמות 539

27

החזרה ושבירה 487

- החזרה 487
- עקרון הזמן המזערי 488

29

פליטת אור 545

- עירור 546
- ספקטרום פליטה 548
- להט 550
- ספקטרום בליעה 551
- פלואורסנציה 552
- נורות פלואורסנטיות 554
- פוספורסנציה 555
- לייזרים 555

30

קוונטים של אור 564

- הולדת תורת הקוונטים 565
- קוונטים וקבוע פלאנק 565
- התוצא הפוטואלקטרי 567
- השניות חלקיק-גל 569
- ניסוי שני הסדקים 570
- חלקיקים כגלים: עקיפת אלקטרונים 572
- עקרון אי-הוודאות 574
- עקרון ההשלמה 577

581

חלק 2 האטום והגרעין

31

האטום והקוונטים 582

- גילוי גרעין האטום 582
- הספקטרום האטומי: המפתח להבנת האטום 583
- מודל האטום של בוהר 584
- גודלם היחסי של האטומים 586
- ההסבר לרמות האנרגיה הבדידות: גלי אלקטרונים 587
- מכניקת הקוונטים 589
- עקרון ההתאמה 591

33

ביקוע גרעיני והיתוך גרעיני 619

- ביקוע גרעיני 619
- כורי גרעין 622
- פלוטוניום 624
- כורי דגירה 625
- השקילות מסה-אנרגיה 627
- היתוך גרעיני 630
- היתוך מבוקר 632
- היתוך גרעיני קר 635
- מדורת היתוך ומיחזור 637

32

גרעין האטום ורדיואקטיביות 595

- קרני X ורדיואקטיביות 595
- קרנית אלפא, בתא וגמא 596
- הגרעין 598
- איזוטופים 599
- מדוע האטומים רדיואקטיביים 600
- זמן מחצית החיים 601
- גלאי קרינה 603

תורת היחסות המצומצמת 642

התנועה - עניין יחסי 643

ניסוי מייכלסון-מורלי 643

הנחות היסוד של תורת היחסות

המצומצמת 646

בו-זמניות 647

מרחב-זמן 649

התארכות הזמן 650

מסע התאומים 655

מסע בחלל 661

התכווצות האורך 664

גידול המסה 666

תורת היחסות הכללית 675

עקרון השקילות 676

התעקמות האור 677

כבידה וזמן: היסט כבידתי לאדום 680

כבידה ומרחב: תנועת כוכב-חמה 682

כבידה, מרחב וגיאומטריה חדשה 683

גלי כבידה 686

הכבידה לפי ניוטון ולפי איינשטיין 686

סוף דבר 689

נספח א מערכות היחידות 690

המערכת הבינלאומית 690

המערכת המקובלת בארה"ב 690

המטר 691

הקילוגרם 692

השנייה 692

ניוטון 692

ג'ול 692

אמפר 692

קלווין 693

שטח 693

נפח 693

הצגה מדעית של גדלים מספריים 693

נספח ב עוד על תנועה 695

חישובי מהירות ומרחק בתנועה על מישור

משופע 696

חישוב מרחק בתנועה בתאוצה קבועה 697

נספח ג עוד על וקטורים 699

וקטורים וסקלארים 699

חיבור וקטורים 699

מציאת הרכיבים של וקטור 700

דוגמאות 700

מפרשיות 702

נספח ד גידול מעריכי וזמן ההכפלה 705

מונחים 712

מפתח 721

מקור הצילומים 731

דברי תודה 733

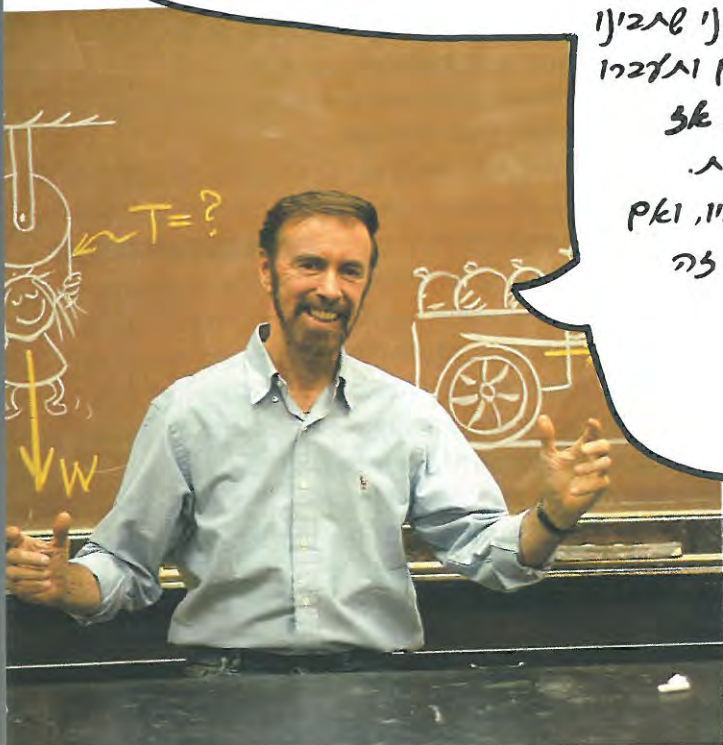


כולנו יוצרים כי אי אפשר ליהנות מהמשק אם אין לנו חוקים או חוקי המשק - בין שחשובי המשק כדור, במשק המשק, או במשק אברהם פשוט. בדומה לכל איננו יכולים להעריך כראוי את הסוגי אומנו בלי להבין את חוקי הטבע. הפיסיקה עוסקת בחוקי הטבע - ובה יפה ומאורגנת היא שניתן למצוא באורח (אם באופן אמפירי) זו הסיבה לכל שינוי הפיסיקה (ראו את הדיווחים בלחמטקה שלחשים. את מביא לפיסיקה המדעית מיושבים אמטא עניין מרכזי: הבנה - גמשה למחיקה שהחוקים בחוקים אלו. בספר זה חושב המדע על ההבנה ולא על החישובים. אנו עוסקים בפיסיקה בלחמה החושבת - בעזרת פשוטה ולא בשפה אמטא. גם אם אדם מבין את הלחמה האמטא של הפיסיקה בדומה נוסטאט שיופיעו מבוסס בספר, את אלה ישמשו בעזרת לחמטא משיבה ולא כחששים לעריכת חישובים.

אי הפיסיקה זולתה הנאה, ובטחני שם אם היה לנו לחנה - לפני שבנינו אותה. אם הנושא יתקן אתכם ומעברו אלמנח פיסיקה למקצתה יוגר, את המעברו לטיפוח בעזרת אמטא. המרכזי בהבנה החושבים עכשיו, ואם המעברו לחישובים בעזרת, והיה זה מתק הבנה.

פיסיקה (חלמה ומחנה)!

פול ג' הוואיט



הואיל והפיסיקה היא המדע הבסיסי והיסוד לכימיה, לביוולוגיה ולשאר הענפים של מדעי הטבע, מן הראוי לכלול אותה בתכנית הלימודים הכללית הן של תלמידים המתמחים במדעים והן של המדגישים את מקצועות הרוח. לרוע המזל, שפתה המתמטית של הפיסיקה מרתיעה את רוב התלמידים שאינם מתמחים במדעים. אולם כשמציגים את רעיונות הפיסיקה באופן מושגי וכשהמשוואות נתפשות כאמצעי מנחה לחשיבה ולא כמרשם לתרגילים אלגבריים, אז הופכת הפיסיקה בת-השגה לכלל התלמידים. ובאשר לתלמידים שימשיכו בלימודי הפיסיקה, אני משוכנע כי תחילה יש להבין את רעיונות הפיסיקה במישור המושגי בטרם משתמשים בהם כבסיס למתמטיקה שימושית.

מטרת הספר היא להניח את היסוד המושגי הזה. לתלמידים שלא ימשיכו בלימודי הפיסיקה הוא אמור לשמש בסיס שיסייע להם להתבונן בטבע ביתר הבנה - ולהיווכח כי מספר מועט להדהים של יחסים קובע את חוקיו. כך גם לתלמידי המגמות המדעיות, אך להם הוא אמור לשמש גם מקפצה להעמקת מעורבותם בפיסיקה, בהעניקו להם את הבנת הרקע שתעשיר את לימודי ההמשך המתמטיים יותר.

ספר זה הוא תרגום המהדורה השביעית של ספרו רב ההצלחה של פול היואיט Conceptual Physics. בהמשך לפרק המבוא, שנועד לגרות את תיאבונם של הקורא בדוגמאות המדידה של ממדי כדור הארץ, השמש והירח, סוקרים פרקי הספר את המכניקה הניוטונית, את תכונות החומר, את תופעות הגלים, החשמל והמגנטיות, ולבסוף את הפיסיקה המודרנית.

כל פרק מלווה בתקציר המונחים העיקריים, בשאלות חזרה, במטלות בית - ניסויים קלים לביצוע עצמי בידי התלמידים, במספר גדול של תרגילים קלים שהמורה יכול לבחור מהם לפי טעמו, ולבסוף, בכמה בעיות מתמטיות יותר, המיישמות את הנוסחאות שהוצגו בגוף הפרק ודורשות שימוש באלגברה פשוטה.

כאמור, כל פרק נחתם בשאלות חזרה ובתרגילים. הרעיונות החשובים של הפרק מנוסחים בצורה נוחה בשאלות החזרה שקל להשיב עליהן והמקובצות לפי סעיפי הפרק. השאלות אמורות לשמש אמצעי לחזרה מובנית על התוכן. הן לא נועדו להיות אתגר אינטלקטואלי, שכן במרבית המקרים התשובות מצויות בטקסט ואפשר להגיע אליהן תוך כדי עיון בגוף הפרק. לתרגילים, לעומת זאת, מטרה שונה. חלקם נועד לאפשר יישום של הפיסיקה למצבים המוכרים לנו מחיי יומיום, אחרים מחוכמים יותר ואמורים לעורר מידה רבה יותר של חשיבה ביקורתית.

אף כי מטרת הספר הזה היא לשנות את מצב העניינים המקובל שבו מושם הדגש יותר על פתרון הבעיות החישוביות ופחות על הבנת המושגים המונחים ביסודן, נוספו בסופו של כל פרק מספר בעיות חישוביות שאינן מסובכות מבחינה אלגברית ואינן אמורות להיות מכשול לתלמיד המצויד במחשבון.

מערכת היחידות המשמשת בספר זה היא מערכת היחידות המטרית הבינלאומית (SI) (מלבד כמה יוצאים-מן-הכלל כמו קלוריות, גרמים לס"מ³ ושנות אור). אין פיתוחים מתמטיים בגוף הספר, ואלה המובאים בו מצויים בהערות שוליים ובנספחים.

על המהדורה העברית

דידקטיקה

חלק ד' הוא בראיין רובינסון, בנו של מחבר המעבדה פאבלו. אחיו ואחותו של בראיין, דייוויד וקריסטן רובינסון, נראים בעמ' 139. את חלק ה' פותחים ידידה יקרה, ג'יין פרלאס, ובנה ארל. את חלק ו' פותחת ורוניקה רוז - חברת ילדות של ג'יימס - עם זכוכית המגדלת שלה. תמונה זו הופיעה בפתחו של חלק ו' מאז המהדורה הראשונה. הילדנות במעיין החם בפתחו של חלק ז' היא קרין לי מהילו, הוואי.

התמונה החמודה בעמ' 73 היא של אחי סטיב ובתו גרטצין בחוות הקפה שלהם בקוסטה ריקה. נערת החמד בעמ' 180 היא בתי לזלי, כיום גיאולוגית ושותפתי בנושאי מדעי כדור הארץ לחיבור הספר *Conceptual Physical Science* בהוצאת HarperCollins, 1994. בני פול, המשרת כיום בצי ארה"ב, מופיע בעמ' 113 ו-307. רעייתי מילי מופיעה בעמ' 270. קבוצת האנשים המאזינים למוסיקת חתונה הוואית בתצלום שבעמ' 366 כוללת, משמאל לימין, את הכלה ואת החתן, טרייסי וג'ון סוצ'וקי (אחייני ושותפי בנושא כימיה לחיבור הספר *Conceptual Physical Science*, האחיינית ג'ואן לוקאס, האחות מרג'ורי סוצ'וקי, תיאולוגית בקליירמונט קולג', הוריה של טרייסי, שרון ודייוויד הופווד, המורים החברים היקרים קלי ומארק ורקמייסטר ואנוכי.

חבריי בקולג' העיר סן פרנציסקו הנראים בעמ' 89 הם, משמאל לימין, עוזרי ההוראה שלי ראלף דיאז וגלנדה ג'ין, עמיתיי אנט ראפליי, שסייעה במאגר המבחנים, וויל מינז, שתכנן ובנה את מסילת האוויר שבתמונה, ועוזריו ריי צ'וי וקומיקו פורוקאבה. חברתי היקרה טני לים דורכת את קשתה בעמ' 99. דייב ואסקז, חבר ועמית, נראה בעמ' 108. חברי מילדות פול ראיין מעביר את אצבעו בעופרת מותכת בעמ' 298. העובדה שאנשים אלה, היקרים לי כל כך, מופיעים בספר, היא עוד סיבה חשובה להיות "פיסיקה לכול" יציר אהבתי.

"פיסיקה לכול" הוא ספר שנכתב בנימה אישית ביותר, והדבר משתקף בתצלומים הרבים של בני משפחה וחברים, בכללם ארבעה מחמשת החברים שלהם מוקדשת מהדורה זאת. צירלי שפיגל, הכוח המניע העיקרי להכנסת רבים מן השיפורים במהדורה זאת, פותח את הספר (מול עמ' 1). הלן יאן, האחראית לכיתובי התמונות, נראית בעמ' 108, 234 ו-273. מארשל אלנסטין, שתרגם רעיונות פדגוגיים רבים וערך את סדרת הווידאו המלווה ספר זה (*Conceptual Physics Alive!*), הוא היחיד מבין החמישה שתמונתו אינה מופיעה (במהדורה הבאה?). מידור הו, שצילמה רבות מהתמונות וסייעה בעבודות הגרפיקה, מופיעה בעמ' 275, 350 ו-392. בתצלומיה של מידור מופיעים אמה, פינג, בעמ' 119, אחותה מיי טאק, בעמ' 341, ואחיה טין הוי, בעמ' 418. אחרון אחרון חביב, פול (פאבלו) רובינסון, מחברו של מדריך המעבדה, נראה כפות במיטת המסמרים בעמ' 109. חמישה חברים נפלאים אלה הקדישו את מירב מאמציהם וכישורונם לספר זה, ועל כך אני אסיר תודה להם.

דפי הפתיחה של חלקי הספר, שבהם מופיעות בועות-שיח דמויות סיפורים מצוירים, הם כדלקמן: בדף הפתיחה שממול לעמ' 1 מככבים צירלי שפיגל ונינתו הקטנה שרה סטאפורד. בין שלושת הילדים המופיעים בתצלום הפותח את חלק א' נמצאות דבי ונטלי לימוגן, בנותיהם של ידידי היקרים הידקו והרמן לימוגן. הזאטוט שבמרכז הוא החבר הכי טוב של דבי, גניצ'ירו נקאדה; כולם מדאלי סיטי, קליפורניה. הילדון שבפתח חלק ב' הוא נכדי מנואל. אביו, בני הצעיר ג'יימס, נהרג באורח טראגי ב-1988, בגיל 24, בתאונת דרכים בסאלידה, קולוראדו. תצלומים של ג'יימס מצויים בעמ' 132, 359 ו-511. מנואל, הדומה מאוד לאביו כשהיה בגילו, מופיע שוב בעמ' 347 ו-665. השף הצעיר שבפתח חלק ג' הוא ג'ושוע לאדין, בנם של ידידי היקרים לארי ובסי לאדין מסן פרנציסקו. הילדון בעל התקליטור המופיע בפתח