

תוכן העניינים

יא	פתח דבר
יג	תודות
1	פרק 1: מבוא
7	פרק 2: אבני בניין זעירות
	7 ארבעה היסודות של העולם
	8 הריק של טוריצי'לי ותדהמתו של הקיסר
	11 'שמחה וסיפוק' של בויל והוק: חוק הגזים
	12 שחר הכימיה: אטומים ומולקולות
	13 המערכת המחזורית
	15 מהי 'אנרגיה'?
	18 ג'אול מערבל מים וקובע כך את שער החליפין לחום
	18 אנרגיה והספק
23	פרק 3: חשמל
	23 ממכונה 'יוצרת' חשמל עד אילוף הברק בידי בנג'מין פרנקלין
	27 מבט לעתיד
	28 מקור הזרם החשמלי של וולטה
	31 המכון המלכותי ותגליותיו של דייווי
	34 פרדיי ותורת החשמל
	38 פרדיי מגלה את עקרונות השנאי והדינמו
	45 הול קובע שבתיל זורם מטען שלילי
	45 המכונה של גראם: דינמו ומנוע
	47 המיטיב הגדול של האנושות: ניקולה טסלה
	57 גלים המתפשטים במהירות האור
	61 נורות להט
	62 סכנה שבחשמל
65	פרק 4: סיפור בדיוני על מצבי צבירה
	65 ההמצאה הגדולה של בינה ונבון
	67 תמי בעולם האטומים

72

פרק 5: האטום המתפרק

- אור: חלקיקים או גל? הספקטרום 72
- תעודת זהות של היסוד 75
- חקר של הולכת חשמל בגז דליל 76
- תגליתו המהפכנית של רנטגן 77
- רדיואקטיביות; הזוג קירי מגלה את הרדיום 79
- רמז למבנה האטום – אפקט זימן 83
- תומסון מגלה את האלקטרון ומודד את היחס מסה/מטען שלו 84
- רתרפורד חוקר ומסביר את הרדיואקטיביות 87
- רתרפורד יורה בתותח על דף נייר 92
- מודל האטום של רתרפורד 95

99

פרק 6: פלסמה: המצב הרביעי של הצבירה

- אוויר מוליך חשמל – הקשת של דיווי 99
- קשת חשמלית מאירה ומתיכה 100
- המצאתו של רומקורף; פרדיי חוקר הולכת חשמל בגז 102
- שופרת קרוקס והחתול של היטורף 104
- שחרור אלקטרונים ממתכת חמה 105
- שופרת קרני קתודה 106
- איינשטיין הצעיר פותר את תעלומת האפקט הפוטואלקטרי 109
- פליטה משנית: מכפילור ומגבר אור הכוכבים 113
- התפרקות זוהרת 114
- נורה פלואורסצנטית: מקור אור יעיל 117
- פלסמה צפופה בתיל מתפוצץ 119
- חימום מעביר חומר למצב הצבירה הרביעי 120
- תותח הפלסמה 121
- מונה גייגר 122
- אנטי-חומר ועדשת הפלסמה 123
- קשת חשמלית בטבע: הברק 126

129

פרק 7: מהאטום של בוהר עד לביקוע האורניום

- נילס בוהר 129
- האטום לפי בוהר 131
- הבנת הטבלה המחזורית של היסודות 136
- מוזלי חוקר את הספקטרה של קרני X 138
- אטום הכספית מוכן לקבל רק מנות קצובות של אנרגיה 140
- חלקיק כגל: תגליתו של דה ברולי 143
- מכניקת הקוונטים 144
- פרוטון; תגובה גרעינית ההופכת יסוד אחד למשנהו 146

- 148 גילוי הניטרון
- 151 באותו המקום, אבל לא שווים – איזוטופים
- 154 אלברט איינשטיין
- 155 $E=mc^2$ תורת היחסות הפרטית ושוויון המסה והאנרגיה: האנרגיה?
- 159 אנרגיית הקשר: כמה עולה לפרק את גרעין האטום?
- 162 אדם משחרר לראשונה אנרגיה מהגרעין
- 164 רדיאואקטיביות מושרית
- 166 הפגזים היעילים של פרמי
- 168 סילרד: תגובת שרשרת
- 170 תעלומת שולחנות המעבדה
- 171 ביקוע של גרעין האטום

179

פרק 8: הדרך לתגובת שרשרת ולפצצת-על

- 179 התייחסות לתגובת שרשרת?
- 182 בעיית המאט וחתך הפעולה
- 184 איינשטיין כותב לנשיא רוזוולט
- 184 הידע על הביקוע מצטבר; אימות התחזית של בוהר ווילר
- 185 מכ"ם מיקרוגלים; האם אפשרית פצצת-על?
- 188 המערכת אורניום-גרפיט
- 189 ^{235}U תכונות ביקוע של היסוד 94 ושל ^{235}U
- 192 הכור הגרעיני הראשון
- 198 גנרל גרובס: האם סילרד מרגל גרמני?
- 199 הפרדת האיזוטופים של אורניום
- 204 הדרך להפקת פלוטוניום
- 207 לוס אלמוס
- 209 שיטות שונות להפעלת הפצצה
- 213 שם הצופן: Trinity
- 216 הירושימה ונגסקי
- 217 בעיית הפלוטוניום בסוף שנות התשעים
- 217 שאלות חשובות על נשק גרעיני

224

פרק 9: בעיות אנרגיה וכורים גרעיניים

- 224 בעיות האנרגיה של האנושות
- 227 אילוצים בתכנון של כורים גרעיניים
- 228 כורי כוח להפקת אנרגיה
- 236 מערכות בטיחות של כורים
- 237 תקלות בכורים
- 238 אסון צ'רנוביל
- 240 פתרונות לבעיית האנרגיה של האנושות

244

פרק 10: מיוזג גרעיני ואנרגיה אינסופית לאנושות

תגובות מיוזג 244

הנשק הנורא מכול: פצצת המימן 249

תחילת המחקר על תגובות תרמו־גרעיניות מבוקרות 252

גישות ראשונות להשגת תגובות תרמו־גרעיניות 258

הכינוס השני 'האטום למען השלום' 260

גישות חדשות ומבטיחות 1: טוקמק 261

גישות חדשות ומבטיחות 2: מיוזג תרמו־גרעיני בעזרת קרני לייזר 266

סיפור דמיוני שקרה במציאות 269

272

פרק 11: סודות היקום

מחשבות הקדמונים 272

חלוצי התקופה החדשה 275

מניוטון עד המאה העשרים 285

פרופסור דופלר מיישם את מחקריו של סבי סבו 290

קביעת מרחקים אסטרונומיים 294

תכונות ואפיון של כוכבים 296

היווצרותם של כוכבים 300

חיי כוכב בינוני בסדרה הראשית, זקנתו ומותו 303

נובה: פצצת מימן קוסמית 307

זקנה ומוות של כוכב מסיבי: סופרנובה 307

מקור היסודות 313

אדווין האבל והבנת היקום 316

חורים שחורים 319

קווסרים 324

עדשות גרביטציוניות 325

329

מפתח

פתח דבר

בזמנים שבהם הייתי לבר מצווה נהגו רק הורים וקרובים לתת מתנות גדולות. חברים וידידי משפחה הסתפקו במתנות צנועות יותר, בדרך כלל ספרים. כך קיבלתי מההורים אופניים, שאותם גנבו כעבור שבועיים; סבא וסבתא נתנו לי שעון זהב, שנעלם במערבולת המלחמה. המתנה המזוהה ביותר הייתה מכוש לטיפוס בקרחונים של האלפים. הייעוד של הכלי הזה לא היה ברור, כי הקרחון הקרוב ביותר לעירנו היה במרחק של מאות קילומטרים, ואני גם מניח שהורי לא היו מרשים לי לטפס על קרחונים. לכן השתמשתי במכוש הקרח כדי לשבור רהיטים ישנים במחסן שבבית. יש לציין שהוא התאים להפליא למטרה הזאת.

בדיעבד התברר לי שדווקא למתנות הצנועות – הספרים – היה הערך הגדול והמתמיד, כי הם נשמרים עד עצם היום הזה במוחי. היו ביניהם ספרים שפתחו לפניי את העולם והשפיעו עליי כל החיים. אני זוכר את 'ציידי החיידקים' של דה קריף, ספר שבו מסופר בסגנון דרמטי על תגליות של חוקרים גדולים ברפואה כגון פסטר, קוך וארליך. אלה היו אנשים שבהתמדה, בעקשנות, ולעתים במאבק מתמיד נגד סביבה עוינת, גילו את הגורמים למחלות קטלניות, ולפעמים גם מצאו את התרופות להן. קיבלתי גם ספר מאת המתמטיקאי-אסטרונומי ג'ינס על חקר האטום ועל הכוכבים במסילותיהם. כמה התרגשתי כשהבנתי שכוכבים אינם קיימים לנצח אלא גם הם נוצרים, חיים ונעלמים! בתמימותו של ילד בן 14 אפילו כתבתי לג'ינס כדי לברר שאלה מסובכת. הוא ענה למכתבי, אך התחמק משובה לשאלתי – במקום זאת הפנה אותי לספר אחר מפרי עטו.

הספר שהלהיב אותי ביותר היה ספר פופולרי בגרמנית מאת קרלסון, 'אתה והטבע', שסיכם את מצב הידע בפיסיקה בשנות השלושים. שם נודע לי לראשונה על החוקיות המופלאה של הטבלה המחזורית של היסודות, על התגלית הגדולה של רנטגן, על בני הזוג קירי ועל לורד רתרפורד, ואפילו על הניטרון, חלקיק יסודי במבנה החומר שלא מזמן גילה אותו ד"ר צ'דוויק.

מה הלהיב אותי בילדותי בספרים האלה, ומה הוסיף להלהיב אותי מאוחר יותר בספרים היפים של גאמוב 'הולדת השמש ומותה' ושל בל 'אנשי המתמטיקה'? במקצת הייתה זו ההודמנות להבין טוב יותר את העולם שבו אנחנו חיים, לדעת איך הוא בנוי ואילו חוקים שולטים בו. אך במבט של שנים רבות לאחור אני מבין שעיקר ההתרגשות והתענוג בקריאת הספרים האלה היו הפליאה על פועלם של נשים וגברים של המדע וראיית הדרך שבה הגיעו לתגליותיהם. מה מאפיין את המדענים האלה? תנאי הכרחי (אבל לא מספיק) הוא כמובן כישרון בתחום מסוים של המדע. אך נוסף על כך יש צורך בחריצות ובהתמדה, וחשוב מכול – בסקרנות אינטלקטואלית. פעם שאלו את איינשטיין: 'במה אתה עוסק?', והוא ענה: 'אני מנסה להבין איך אלוהים ברא את היקום'.

את הנושאים בספר הזה בחרתי מהמאגר העצום של הידע האנושי. הם נראים לי חשובים, ויש ביניהם גם הקרובים ללבי, כגון ההברקה הגאונית של ניקולה טסלה, ונושאים שאני עצמי עסקתי בהם. בכתיבת הספר הזה השתדלתי להחזיר קצת מהחוב שאני חב למחברי הספרים הנהדרים על מדע שקראתי בצעירותי ובבגרותי. תקוותי היא שגם הספר הזה יעורר בקוראים אהבה למדע

והתפעלות מהחוקרים שקידמו את חזית המדע או השתמשו בידע המצטבר לשנות את פני העולם.

תודתי העמוקה נתונה לפרופ' יששכר אונא, שהציע את כתיבת הספר הזה, עודד אותי במהלך חיבורו, קרא את כתב היד והמליץ על שיפורים. חובתי הנעימה להודות גם לפרופ' שאול יציב, שקרא באופן ביקורתי פרקים אחדים. בני יואב לא חסך מאמץ וזמן בקריאת הטיוטה ובתיקון של שגיאות רבות, ועל כך אני מודה לו מקרב לב. לבתי רותי אני אסיר תורה על שאפשרה לי, בעזרת מסירותה ואמנותה הרפואית, להגיע לכתיבת הספר הזה. ברצוני לשבח את עבודתה הנאמנה, היסודית והנלהבת של עורכת הלשון נילי לנדסברגר, שהשקיעה מאמץ גדול וזמן רב בשיפור רמת הספר. לאשתי האהובה אולגה תודה על סבלנותה ותמיכתה במשך שנתיים וחצי.

פליקס דותן

יום העצמאות תשס"א