

# תוכן העניינים

## הקדמה פיזיקה מודרנית ז

## פרק 37 תורת היחסות הפרטית 1189

- 37-1 הקדמה 1190
- 37-2 מקורות תורת היחסות הפרטית 1190
- 37-3 עקרון היחסות 1191
- 37-4 זיהוי מאורעות בעזרת צופה חכם 1193
- 37-5 מערכות שעונים במעבדה ובטיל 1194
- 37-6 התארכות הזמן 1197
- 37-7 משוואת המטריקה 1200
- 37-8 סיבה ותוצאה 1203
- 37-9 היחסיות של מאורעות סימולטניים 1205
- 37-10 תנע ואנרגיה 1207
- 37-11 טרנספורמצית לורנץ 1212
- 37-12 ההתכווצות של לורנץ 1213
- 37-13 יחסות של מהירויות 1214
- 37-14 אפקט דופלר 1216
- 37-15 השוואה בין טרנספורמצית גליליי לטרנספורמצית לורנץ 1217

37-16 פיתוח מתמטי של תנע ואנרגיה יחסותיים 1220

**סיכום** פרק 37 1223

**בעיות** 1225

## פרק 38 פוטונים וגלי חומר 1233

- 38-1 מהי פיזיקה? 1234
- 38-2 הפוטון, הקוונט של האור 1234
- 38-3 האפקט הפוטואלקטרי 1236
- 38-4 לפוטונים יש תנע 1240
- 38-5 האור כגל הסתברותי 1243
- 38-6 אלקטרונים וגלי חומר 1245
- 38-7 משוואת שרדינגר 1249
- 38-8 עקרון אי-הוודאות של הייזנברג 1251
- 38-9 מנהור קוונטי 1253
- סיכום** פרק 38 1256
- בעיות** 1257

## פרק 39 עוד על גלי חומר 1265

- 39-1 מהי פיזיקה? 1266
- 39-2 גלים במיתר וגלי חומר 1266
- 39-3 האנרגיות של אלקטרון כלוא 1267
- 39-4 פונקציות הגל של אלקטרון כלוא 1271
- 39-5 אלקטרון בבור סופי 1275
- 39-6 מלכודות אלקטרונים נוספות 1277
- 39-7 מלכודות אלקטרונים דו-מימדיות ותלת-מימדיות 1279
- 39-8 מודל בוהר לאטום המימן 1281
- 39-9 משוואת שרדינגר ואטום המימן 1284
- סיכום** פרק 39 1292
- בעיות** 1293

**פרק 40 הכל אודות אטומים 1301**

40-1	מהי פיזיקה? 1302
40-2	תכונות אחדות של אטומים 1302
40-3	הספין של האלקטרון 1304
40-4	תנע זוויתי ומומנטי דיפול מגנטיים 1305
40-5	ניסוי שטרן-גרלאך 1308
40-6	תהודה מגנטית 1311
40-7	עקרון האיסור של פאולי 1313
40-8	אלקטרונים מרובים במלכודות מלבניות 1313
40-9	בניית הטבלה המחזורית 1317
40-10	קרני X וסדר היסודות 1319
40-11	לייזרים ואור לייזר 1323
40-12	כיצד פועל הלייזר 1324
כוכב	פרק 40 1328
ניוון	1329

**פרק 41 הולכה חשמלית במוצקים 1337**

41-1	מהי פיזיקה? 1338
41-2	תכונות חשמליות של מוצקים 1338
41-3	רמות אנרגיה במוצק גבישי 1339
41-4	מבדדים 1340
41-5	מתכות 1341
41-6	מוליכים למחצה 1347
41-7	מוליכים למחצה מאולחים 1349
41-8	צומת $p-n$ 1351
41-9	דיודה ומישר חצי גל 1353
41-10	דיודה פולטת אור 1354
41-11	הטרנזיסטור 1356
כוכב	פרק 41 1358
ניוון	1359

**פרק 42 פיזיקה גרעינית 1365**

42-1	מהי פיזיקה? 1366
42-2	גילוי הגרעין 1366
42-3	תכונות אחדות של הגרעין 1368
42-4	דעיכה רדיואקטיבית 1375
42-5	דעיכת אלפא 1379
42-6	דעיכת ביתא 1381
42-7	תארוך רדיואקטיבי 1384
42-8	מדידת מנת קרינה 1386
42-9	מודלים גרעיניים 1387
סיכום	פרק 42 1390
בעיות	1392

**פרק 43 אנרגיה גרעינית 1403**

43-1	מהי פיזיקה? 1404
43-2	ביקוע גרעיני: התהליך הבסיסי 1405
43-3	מודל של הביקוע הגרעיני 1408
43-4	הכור הגרעיני 1410
43-5	כור גרעיני טבעי 1414
43-6	היתוך תרמו-גרעיני: התהליך הבסיסי 1417
43-7	היתוך תרמו-גרעיני בשמש ובכוכבים נוספים 1419
43-8	היתוך תרמו-גרעיני מבוקר 1422
סיכום	פרק 43 1424
בעיות	1425

**פרק 44 קוורקים, לפטונים והמפץ הגדול 1431**

44-1	מהי פיזיקה? 1432
44-2	חלקיקים, חלקיקים, חלקיקים 1432
44-3	אתנחתא 1437
44-4	הלפטונים 1441
44-5	ההדרונים 1442

	<b>נספחים 1469</b>		44-6	חוק שימור נוסף 1444
1469	ערכים של קבועים פיזיקליים	<b>נספח א'</b>	44-7	הדרך כפולת-שמונה 1445
	1470 ערכים אסטרונומיים	<b>נספח ב'</b>	44-8	מודל הקווארק 1447
	1471 נוסחאות מתמטיות	<b>נספח ג'</b>	44-9	הכוחות הבסיסיים ונושאי הכוח 1450
1474	התכונות של היסודות הכימיים	<b>נספח ד'</b>	44-10	אתנחתא למחשבה 1452
	1477 הטבלה המחזורית	<b>נספח ה'</b>	44-11	היקום המתפשט 1453

## **1479 תשובות לבעיות בלתי זוגיות**

### **1483 זכויות לתמונות**

### **1485 מפתח העניינים**

### **1493 הסדרה המדעית**

44-12	קרינת הרקע הקוסמית	1455
44-13	החומר האפל	1455
44-14	המפץ הגדול	1456
44-15	סיכום	1459
<b>סיכום</b>	פרק 44	1459
<b>בעיות</b>		1460

# פיזיקה מודרנית

## בסדרת "מבינים פיזיקה"

שמחתי להופעתו של הספר מבינים פיזיקה מודרנית, זהו תרגום ספרו של ג'רל ווקר המתבסס על ספרם של האלידי ורזניק [Halliday and Resnick]. ספרי הלימוד של מחברים אלו נחשבים לאיכותיים ביותר והם ידועים ומקובלים באקדמיה ברחבי ארה"ב. הספר נועד לקורסי מבוא בפיזיקה הניתנים לסטודנטים למדעים ולהנדסה בתחילת לימודיהם האקדמיים. קיימת חשיבות להופעת הספר, שהרי אין ספרי לימוד בעברית בפיזיקה ברמה אקדמית בהיקף ובאיכות שכזאת. הסיבות ברורות: אנחנו מדינה קטנה וקהל לומדי הפיזיקה ברמה זו הינו מצומצם. לפיכך, מוטב להצטרף לצרכנים הרבים של מפעל רב-שנים שהושקעו בו מאמצים ואמצעים רבים. עד כה סטודנטים לפיזיקה באוניברסיטאות ובמכללות בארץ חייבים היו ללמוד מספרי לימוד באנגלית ומתקצירי הרצאות שהכינו. מצב זה יוצר מכשול בתחילת דרכו של הלומד הישראלי, הנדרש כבר מראשית הלימודים האקדמיים לקרוא באנגלית, ללא מעבר הדרגתי מקריאה בספרי לימוד בעברית, שבה הורגל במהלך לימודיו בבית הספר, לקריאה במקורות מדעיים בשפות אחרות. הספר מבינים פיזיקה מודרנית המונח לפניכם ישמש למטרת גישור זו. הלומדים יוכלו להכיר באופן ראשוני את תכניו החשובים: תיאוריות, עקרונות, חוקים, מודלים, הסברים לתופעות הטבע, דרכי פתרון בעיות, ניסויים ומכשירים וכל אלה באמצעות מושגים ומונחים בשפת אדם.

כאמור, ספרם של האלידי ורזניק מפורסם בין קורסי המבוא בפיזיקה. חלק זה של הספר - מבוא לפיזיקה מודרנית - מציג בעיקר את תורת היחסות הפרטית ואת תורת הקוונטים תוך שילוב עם היישומים הרבים שלהן. הספר מיישם גישה שלפיה יש להכיר תחילה איך ומה עושים, ולאחר מכן ניגשים להתעמק במשמעות הדברים להכיר את הדרך שבה פותחה פיזיקה מודרנית. זוהי גישה מקובלת בקורסי מבוא רבים, אך אין בה כדי להעניק למורה ידע הכרחי להוראת הפיזיקה (למשל, אפיסטמולוגיה - הידע על השיטה המדעית בה חל שינוי מהותי לעומת הפיזיקה הקלאסית). לדעתי, מבין הפרקים השונים של פיזיקה, הוראה של הפיזיקה המודרנית (ובמיוחד הפיזיקה הקוונטית) אינה מפותחת דיה. לכן, החוקרים בהוראת המדעים ממשיכים להתמודד עם אתגר זה, ועמם כל מרצה הנדרש ללמד "קוונטים".

מחברי הספר מרבים בהסברים שיכולים להוביל להכרות שיטתית של הפיזיקה המודרנית, מושגיה ויישומיה הבסיסיים בטכנולוגיה ובתחומים שונים. אין זה ספר של לימוד עצמי (לא קיים גם ספר כזה בתחום). על כן, לומד המעוניין בהבנה משמעותית של התכנים של הספר צריך, בנוסף לקריאת הספר להרבות בדיונים עם המורה ועם עמיתיו ללימודים, לשמוע הרצאות, להציג שאלות, להשתתף בתרגול, לקרוא במקורות נוספים. אני מאמין שספר זה יתמוך באופן משמעותי במאמצים של הלומד להבין את המהות של הפיזיקה החדשה.

הספר עשיר במגוון נושאי התוכן, הדגמות בהירות, דוגמאות לבעיות מבוא ודרכי פתרון, שאלות, תרגילים, סיכומים, הערות ועוד. איכות הספר ותכניו הם תוצאה של מסורת ופיתוח הנמשך כבר לאורך עשרות שנים.

אינני מכיר ספר לימוד אחר, הכתוב בשפה העברית, שיכול להתחרות במימדים אלו עם ספר זה. אני מאחל לימוד מהנה והצלחה רבה ללומדי פיזיקה מודרנית - החלק היפה והמעניין ביותר של הפיזיקה אשר מבהיר את המשמעות של הפיזיקה כולה.

פרופ' יגאל גלילי

ראש המחלקה להוראת המדעים

האוניברסיטה העברית בירושלים.

# קדמת עורך המהדורה בעברית

פיזיקה מודרנית הנלמדת במרבית המוסדות להשכלה גבוהה במסגרת קורס פיזיקה 3, מהווה אתגר מיוחד לסטודנטים. חרף עובדה שמרבית הנושאים הנדונים בקורס פותחו עוד בתחילת המאה העשרים היבטים רבים בהם עדיין בלתי מובנים. איך תורת הקוונטים, המהווה נושא מרכזי בספר זה, מצליחה להניב תוצאות מדויקות להפליא בהשוואה לתוצאות שמניבה פיזיקה הקלאסית. "מבינים פיזיקה" מציע גישה המגשרת בין הקושי במפגש עם תיאוריה מדעית "בלתי מובנת" לבין חשיבותה ולחיותיה בהסבר תופעות חיוניות למדע ולחיי היומיום, כגון: מוליכות חשמלית, אנרגיה גרעינית, לייזרים ועל-מוליכות. פרק סיום בספר מציג ללומד נושאים שעמם התמודדו מדענים במהלך המאה העשרים ומוספים להתמודד עמם גם עתה, כגון: לקיקי יסוד, קווארקים, ההתפשטות המואצת של היקום וחידת האנרגיה האפלה.

בספר השלישי בסדרת הספרים "מבינים פיזיקה" המבוססת על "יסודות הפיזיקה" - ספרם של הלידי רזניק ווקר. הספרים הראשונים בסדרה "מכניקה" ו-"חשמל, מגנטיות ואופטיקה" תורגמו מתוך הספר *Understanding Physics* הוצאת Wiley. במטרה להשלים את הנושאים הנדונים בקורסי היסוד בפיזיקה הסכימה ההוצאה שנצרך לסדרה שבעה קים העוסקים בפיזיקה מודרנית מתוך ספר אחר, המהדורה השמינית של "יסודות הפיזיקה". ההחלטה לשלב תרגום פרקים מקורם בשני ספרים שונים יצר כפילות במספור אחד הפרקים. פרק 37, האחרון בספר השני, עוסק בעקיפה, בעוד שהפרק הראשון בספר הנוכחי, אף הוא פרק 37, עוסק בתורת היחסות הפרטית. חרף חוסר הרציפות במספור הפרקים, אפשרה יללות זו לשמור על התאמה בין מספור הפרקים בספר המתורגם לבין מספורם בספר המקור השני.

מניע העיקרי במפעל תרגום זה היה שיפור סביבת הלימוד של סטודנטים למדעים והנדסה, ומתן אפשרות לסטודנטים לקרוא פרי קורס הכתובים בשפתם הטבעית. לאור זיהוי צרכי הסטודנטים ורצון לעדכן את הוראת הפיזיקה החליטה המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה לפתח סביבת לימוד בהוראת פיזיקה, שתועמד לרשות כל המוסדות להשכלה גבוהה בארץ. ביבה זו מבוססת על שני מרכיבים עיקריים - הספר "מבינים פיזיקה" ואתר אינטרנטי שיתמוך בלמידה של סטודנטים בהוראה של מרצים בפיזיקה ובו יופיעו: תקצירים מהספר, שאלות, הדמיות, מערכות מושגים, פתרונות לשאלות, סרטי ודיאו רצאות. כתובת האתר <http://up.braude.ac.il> בדרך זו אנו מקווים לאפשר עדכון מתמיד של נושאים הקשורים בהוראת פיזיקה והזדמנות לשפר את הספר והאתר התומך בו. מרכיב שלישי המסייע בהוראת הפיזיקה הוא בודק המטלות ברשת WebAssign. במערכת זו, שפותחה לפני למעלה מעשור בארה"ב, מופיעות שאלות מהספר (ומעוד כמה ספרים נוספים פיזיקה) שניתן להציגם לסטודנטים באמצעות הרשת. המערכת עובדת בהצלחה, בגרסתה העברית, מזה עשר שנים במכללתנו מכללות נוספות, ומסייעת לסטודנטים ולמרצים. כתובת האתר של בודק המטלות היא [www.wa2u.net](http://www.wa2u.net).

בצע פיתוח סביבת למידה חדשה ותרגום ספר הינו מורכב ודורש שיתוף פעולה נרחב ועזרה של אנשים רבים. זוהי הזדמנות ימה להודות לחלק מהם. ראשונה חביבה ברצוני להודות למיכל גולן העורכת הגרפית של הספר שעמלה בכישרון ימים וילות להכנתו תוך התאמתו לכל הדרישות המדעיות והאסטטיות. הספר תורגם על ידי מר שמחה גילעם במיומנות רבה. דוד אגמון עורך המדעי של הספר, המפליא בידיעותיו הרחבות, בנוסף להיותו מורה מוכשר לפיזיקה, הקפיד על קלה כבחמורה. לפרופ' כל גרעיני מאוניברסטית בר-אילן ולדר' אהרון גרו מהטכניון, אשר סייעו בליטוש התרגום והקפדה על הדיוק המדעי. למר אדי עסאקלה ומר אביחי בלמס - בוני האתר של ספר. שאדי ריכז את התמיכה הטכנית ביחידה לתקשוב בהוראה, והוחלף ל ידי אביחי. בעבודתם הפגינו ידע ותושייה רבים בהסבה של רעיונות פיזיקליים לביטים ושורות קוד. תודתנו נתונה להוצאת Wiley על שנאותה להעניק לנו את זכויות התרגום, ולהוצאת מאגנס ומנהלה מר חי צבר שעבדו עמנו בשיתוף פעולה פורה הפקה ושיווק. לעונג היה לי לבלות עם עמיתי פרופ' אריה מהרשק בדיונים על שיפור ההוראה ופיתוח סביבות למידה ותורמתם ברת בספר זה. עזרה חיונית הגישו לנו אנשי המנהלה במכללה: שמעון הקר - מנהל הקמפוס, צביקה קרני - מנהל הכספים, תן שטיינפלד - החשב שדאגו להיבטים חשובים בלעדיהם הספר לא היה רואה אור. אחרונים יבואו על הברכה מובילי החזון מונה בחשיבות פיתוח אמצעי לימוד והוראה הנשיאים הקודמים של המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה דר' שמריהו זנר ופרופ' יוחנן ארזי ז"ל. עתה מוסיף להוביל את החזון הנשיא הנוכחי של המכללה פרופ' אריה מהרשק.

דר' דוד פונדק

ראש היחידה לתקשוב בהוראה

המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה.

# מפתח העניינים

1407, 1374	אלקטרון	<b>א</b>
אפס מוחלט, 1341, 1342, 1344, 1346	הולכה, 1341, 1343, 1351, 1360, 1361	אור
אפקט	חופשי, 1241, 1253, 1260, 1263	גל הסתברות, 1243-1245, 1249, 1256
פוטואלקטרי, 1236-1238, 1256, 1257, 1259,	מטען, 1191, 11207, 1236, 1248, 1261, 1283-	אורך גל
1263	1469, 1348, 1322, 1281	קיטעון, 1319, 1320, 1329, 1336
אשלגן, 1238-1255, 1303-1327, 1363, 1378, 1385	מסה, 1207, 1207, 1227, 1241, 1242, 1256, 1296, 1282,	אורניום, 1329, 1230, 1333, 1375, 1379, 1395,
אתנול, 1312	1298, 1306, 1343, 1345, 1347, 1348, 1358, 1384,	1396, 1398, 1381, 1400, 1404, 1405, 1410, 1411,
אתר, 1190, 1191	1469, 1456, 1397	1413-1416, 1422, 1427, 1428, 1430
	ערכיות, 1266, 1308, 1318, 1331, 1341, 1347,	אטום(ים)
	1349, 1350, 1360, 1361, 1389	ברזל, 1265, 1278, 1318, 1332
<b>ב</b>	אלקטרון-וולט, 1319, 1343, 1344, 1346, 1373,	כסף, 1308-1310, 1329
באלמר, יוהאן, 1282	1451, 1404, 1401, 1388	מימן, 1216, 1248, 1262, 1279, 1281-1294,
באלמר	אנדרסון, קארל, 1436	1297-1299, 1305, 1311-1313, 1317, 1322,
משוואה, 1282, 1284	אנטי-חלקיק, 1434, 1436-1438, 1441, 1442, 1446,	1329-1331, 1374, 1397, 1420, 1428, 1436, 1457,
סדרה, 1385, 1497	1457, 1461	1463, 1469
באקמינסטר פולר, 1246	אנרגיה	נוטל, 1350, 1359
בו-זמני, 1194, 1195	אור, 1259	נתרן, 1266, 1318, 1333, 1335, 1389
בוהר, נילס, 1273, 1387, 1408	גרעינית, 1423, 1424	תורם, 1341, 1342, 1347, 1349, 1351, 1359
בוהר	חשמלית, 1259, 1480	איון, 1404, 1405, 1436-1438, 1457, 1461
מגנטון, 1306, 1328, 1331, 1469	יחסותית, 1211	איזוטופים, 1368-1371, 1379, 1390, 1392, 1394,
מודל אטום מימן, 1230, 1281-1284, 1292, 1469	נבלעת, 1297	1395, 1397, 1400, 1401, 1415, 1416
רדיוס, 1282, 1283, 1287, 1288, 1291, 1293,	פוטנציאלית חשמלית, 1283	אינשטיין אלברט, 1190, 1224, 1303, 1434
1297, 1469	פס, 1339, 1340, 1341, 1358	אינשטיין
בוזון, 1434, 1460, 1461	פער, 1339-1341, 1347, 1349, 1350, 1356, 1358,	כבידה, 1190, 1237, 1435, 1452
בולצמן, לודוויג, 1325	1360-1363	עקרון ההתאמה, 1272, 1291, 1292, 1298, 1336
בולצמן	רמות, 1261, 1269, 1270, 1281, 1293, 1303,	אילוח, 1348, 1350, 1351, 1355, 1356, 1359, 1362
קבוע, 1263, 1325, 1327, 1340, 1343, 1359,	1314, 1329, 1339, 1340, 1344, 1345, 1361, 1362,	אינווריאנט
1417, 1418, 1429, 1467	1390	הפרש זמן עצמי, 1201
בור פוטנציאל	של נקודת האפס, 1273, 1274	הפרש מרחק עצמי, 1204
אטום מימן, 1279	אנרגיית	אלומה
אינסופי, 1268, 1271, 1273, 1274, 1279, 1280,	התפרקות, 1379-1382, 1384, 1391, 1401, 1426,	אור, 1236, 1245
1292-1296, 1298, 1299, 1314, 1331, 1335	1427	פוגעת, 1247, 1249, 1259, 1260, 1262,
סופי, 1275, 1292, 1293	ינון, 1302, 1336	1320, 1334
בחון, 1272, 1274, 1275, 1295, 1296	מצב יסוד, 1268, 1269, 1271, 1273, 1281, 1287,	אלומיניום, 1247, 1259, 1260, 1343, 1349, 1350,
ביקוע גרעיני, 1372, 1388, 1393, 1405, 1408, 1424	1288, 1292-1298, 1314, 1316, 1324, 1325, 1331,	1359, 1361, 1393
בליעה	1334, 1335	אלמאדן, 1265, 1278, 1279
פוטון, 1231, 1235, 1237, 1239, 1243, 1244,	מצב מעורר, 1324-1327, 1268-1270, 1281,	אלפא סטטאורי, 1202, 1225
1244, 1269-1271, 1276, 1277, 1280, 1284, 1285,	1448, 1332, 1331, 1316, 1314, 1296, 1294	אלקטרודינמיקה קוונטית QED, 1450
1294, 1295, 1297, 1303, 1311, 1312, 1228,	פרמי, 1343-1348, 1347-1364, 1341	אלקטרומונט, 1308, 1309, 1450
	קשר גרעיני, 1371, 1372, 1393	
	קשר לנוקלאון, 1372, 1389, 1391-1394, 1372,	

הסתברות	אפקט, 1216, 1221-1223, 1229	יטס, 1285, 1285-1291, 1286-1291, 1304-1327,
איכלוס, 1364-1359, 1344-1346,	היסט, 1216	1423-1404, 1358-13
גילוי, 1243, 1244, 1249, 1256, 1272-1275, 1287,	דיאל זאן-קלוד, 1244, 1245	קרל, הנרי, 1376
1290, 1292-1296, 1298,	דיודה	קרל, 1376, 1391, 1395, 1398
צפיפות, 1249, 1251-1254, 1256, 1263, 1272,	פולטט אור LED, 1354, 1359, 1363	וקהייבן, 1433, 1446, 1447, 1449
1273, 1275, 1287-1293, 1295, 1297, 1298, 1303,	דימות תהודה מגנטית, 1312	זל, 1265, 1278-1291, 1303-1327, 1330-1334
1317	דיפול	יום, 1259-1262, 1302, 1405-1423
הפרש פוטנציאליים, 1255, 1278-1291, 1352, 1359	מגנטי, 1303-1308, 1310-1312, 1318, 1330, 1383	ק, 1193-1222
הרץ, 1232	מומנט, 1303-1308, 1310-1312, 1318, 1330,	
השראות	1388	
אלקטרומגנטית, 1221-1222, 1240-1255, 1263,	דעיכה	
1318-1327, 1319-1327, 1425, 1464	אנרגתית, 1397, 1443	נבאן, עלי, 1326
הדדית, 1389-1390, 1388-1358,	מעריכית, 1391	(ים)
של שדה חשמלי, 1234-1255, 1257-1258,	רדיואקטיבית, 1375, 1376, 1391, 1384, 1394	אציל, 1303, 1318, 1336, 1389, 1400, 1477
של שדה מגנטי, 1258, 1259-1262, 1309-1327,	דעיכת	שרות רוק, 1357
1437, 1465-1467	אלפא, 1379, 1391, 1380-1382, 1396-1398,	גר, הנס, 1366
התאבכות	1400, 1409, 1417, 1426, 1432,	(ים)
אור, 1248	1408-1400, 1397, 1391, 1382, 1381, 1381,	אלקטרומגנטי, 1216, 1236, 1237, 1240, 1244,
בונה, 1248	1406, 1412, 1425, 1427, 1430, 1432, 1435, 1441,	1256, 1260, 1263, 1240, 1244, 1420, 1441, 1464
הורסת, 1248	1449	חומר, 1245-1250, 1253, 1254, 1256, 1256,
התארכות הזמן	דרך כפולת שמונה, 1447	1260-1263, 1266-1268, 1270, 1272, 1275, 1276,
אימות, 1197		1278-1280, 1292, 1293, 1343
פיונים, 1198, 1200		מעגלי, 1254, 1262, 1268, 1272, 1343,
התכווצות של לורנץ, 1213		1297
התנגדות	האן, אוטר, 1405	עומד, 1254, 1262, 1266, 1267, 1272, 1334, 1397
סגולית, 1338, 1339, 1341, 1348, 1354, 1358	האפלה ג'. סי, 1197, 1198	אי
התנגשות, 1190, 1193, 1209, 1211, 1220, 1226,	הדרון, 1434, 1435, 1444	פוטונים, 1243, 1244, 1259
1227, 1231, 1240, 1241, 1248, 1260, 1262, 1263,	הולכה	קרינה, 1398
1297, 1297, 1319, 1326, 1327, 1332, 1388, 1419,	חשמלית, 1338, 1339, 1342, 1358	
1428, 1438, 1447, 1449, 1457, 1464	הייזנברג וורנר, 1251	אור, 1190, 1191, 1244, 1249, 1250, 1256
התפרקות, 1200, 1211, 1216, 1221, 1222, 1368,	הייזנברג	הסתברות, 1243-1246, 1256
1368, 1375-1382, 1384, 1391, 1392, 1394, 1396,	עקרון אי הודאות, 1251, 1252, 1252, 1257,	(קסיהות)
1397, 1426	1262, 1263	סיבוב, 1198-1222, 1203, 1304-1327
	היפוך	י, 1386-1390, 1391, 1398-1399
	אוכלוסיות, 1327, 1329, 1333, 1335, 1355	מה ל. ה., 1245
וקטור(ים)	ספין, 1311-1313, 1328, 1331	עין
שדה חשמלי, 1243, 1244	היתוך	רדיואקטיבי, 1200, 1232, 1235, 1375, 1376,
	גרעיני, 1324, 1391, 1417, 1423, 1425, 1426	1392, 1395, 1398, 1400
	תרמו-גרעיני, 1417, 1419, 1422, 1425, 1428,	וש, 1255, 1458-1459
	1430	
זווית פיזור, 1242, 1257, 1260	הליום, 1263, 1258, 1326, 1327, 1329, 1330, 1332,	זוטרון, 1262, 1274, 1394, 1419, 1422, 1428
זיהום, 1323, 1348, 1400	1333, 1352, 1356, 1366, 1379, 1381, 1383, 1396,	-ברוי לואי, 1245
זכוכית, 1308-1310, 1326, 1334, 1338	1419-1421, 1425, 1429, 1430, 1457, 1460, 1469	האאס ווי, 1303, 1304
זמן	הליום-ניאון, 1258, 1326, 1327, 1330, 1333, 1356	יסון סי. גיי, 1245
השהיה, 1193	הנדריקס, גיימי, 1337, 1358	פלר
חיים ממוצע, 1200, 1376, 1388, 1437-1439,	הסחה	
1461	לאדום, 1216, 1458, 1463, 1466, 1467	

מגנטית, 1423	טרנזיסטור(ים)	מחזור, 1411, 1463, 1470
כסף	אפקט שדה FET, 1356, 1357	מחצית החיים, 1198
אדים, 1308	טרנספורמציות	עצמי, 1201, 1223, 1226, 1227
כרומודינמיקה קוונטית, 1452, 1460	גלילאו, 1212, 1217-1219	זרחן, 1239, 1257, 1270, 1349-1351, 1355, 1359
	לורנץ, 1212-1214, 1217-1219, 1223, 1224, 1228	1363
<b>ל</b>		זרם
לאי, מינג, 1244, 1245		מושרה, 1423
לווין, 1203, 1458, 1259		פעפוע, 1352-1354, 1359
לורנץ	יאנג תומס, 1243	
טרנספורמציות, 1212-1214, 1217-1219, 1223	יוד	<b>נ</b>
1224, 1228	מולקולת I <sub>2</sub> , 1246	חד-חמצני, 1233, 1255
לחץ	יון, 1349, 1350, 1352, 1361	חום, 1230-1232, 1387, 1398, 1399, 1412-1423
קרניה, 1240, 1260-1262, 1263, 1271, 1277	יוניציה, 1286	1429, 1430, 1474-1476
1289, 1296, 1298, 1301, 1318, 1324, 1325, 1329	יחסות של מהירויות, 1214, 1229	חומר
1335, 1336, 1366, 1386, 1387, 1391, 1398	ייחוס	אפל, 1455, 1456, 1458, 1463
לייזר	מערכת, 1191, 1193, 1194, 1196-1198, 1204	באריוני, 1456
אולטרה-סגול, 1301	1209, 1217, 1223, 1225, 1226, 1263	מוליך, 1277, 1278, 1356
הליום-ניאון, 1258, 1326, 1327, 1330, 1333	מערכת-אינרציאלית, 1194, 1225	חוק שימור
1356	יסוד(ות)	אנרגיה, 1211, 1221, 1237, 1241, 1367
ליתיום, 1238, 1259, 1263, 1303, 1333, 1362, 1371	לנתידים, 1321	מוזרות, 1445
1389	נדירים, 1321	מספר לפטוני, 1441, 1442
לכידת נייטרון, 1409	יקום	תנע, 1209, 1222, 1241, 1436
לפטונים, 1431, 1435, 1438, 1441, 1442, 1444	מתפשט, 1229, 1453, 1463	חללית, 1213-1222, 1228, 1229, 1232
1449, 1457, 1459		חלקיקים(ים)
<b>מ</b>	<b>כ</b>	אלפא, 1257, 1261, 1366, 1367, 1369, 1375
מאורע(ות)	כדור הארץ(כדה"א)	1379, 1380, 1386, 1389, 1392, 1393, 1396-1399
בליעה, 1235	ליבה, 1453	1405, 1419
סימולטניים, 1204, 1205, 1207	מרכז, 1459, 1470	חופשי, 1196, 1250-1252, 1254, 1256, 1261
פליטה, 1194, 1235, 1324	סיבוב, 1336, 1456, 1463, 1470	1266, 1273, 1340
מאיץ חלקיקים	רדיוס, 1463, 1470	חמצן, 1227, 1229, 1311, 1361, 1404, 1419, 1429
בטאטרון, 1449	כדורי באקי, 1246	חנקן, 1385
ציקלוטרון, 1396	כוח(ות)	חשמל, 1225, 1227, 1219, 1388, 1341, 1344, 1359
מבדד(ים), 1338-1341, 1357-1359	אלקטרומגנטי, 1373, 1435, 1450, 1451, 1459	1412, 1423
מגנטים(ים)	אלקטרוסטטי (א"ס), 1331, 1404, 1335	<b>ט</b>
כוח, 1308, 1309, 1423, 1451	גרעיני חזק, 1373, 1379, 1391	טאו, 1200, 1204, 1441, 1442, 1444, 1459, 1461
מגנטון בוהר, 1306, 1328, 1331	חשמלי, 1237, 1240, 1451, 1461	טבלה מחזורית, 1207, 1234, 1302, 1303, 1307
מגנטיות גרעינית, 1373	יסודיים, 1435, 1452	1317, 1318, 1321, 1323, 1329, 1332, 1333, 1362
מהירות	מגנטי, 1308, 1309, 1423	1369, 1372, 1388, 1389, 1394, 1425, 1447, 1477
האור, 1189-1196, 1198-1200, 1202, 1203	קולון, 1266, 1281, 1282, 1286, 1373, 1387, 1404	טורבינה, 1412
1205-1210, 1212, 1214, 1215, 1217, 1218, 1223	כור גרעיני	טיילור ג'י. איי, 1244
1225, 1226, 1228, 1234, 1241, 1252, 1387, 1454	טבעי, 1414-1416, 1428	טיל, 1194, 1196-1202, 1204, 1205, 1213-1215
1463, 1467, 1469	ליבה, 1383	1225, 1226, 1228, 1229, 1335
פרמי, 1341, 1361, 1364	כלור, 1318, 1333, 1378	טלסקופ, 1192
מודל	כליאה	טמפרטורה
אטומי, 1230, 1282	אינרציאלית, 1423, 1425	אפס מוחלט, 1341, 1342, 1344, 1346



1363, 1360, 1354, 1353	מרחבי, 1352, 1354	אלקטרון חופשי, 1341
קדמי, 1355-1353, 1363	שיורי, 1391, 1401	ביקוע גרעיני, 1408
מנה	שלילי, 1253, 1226, 1281, 1303, 1349, 1252	סטנדרטי, 1433, 1434, 1436
נספגת, 1386, 1387	מטריקה	קווארק, 1447-1449, 1462, 1464
קרינה, 1386, 1391, 1398	משוואה, 1200, 1201, 1205, 1208, 1219, 1222,	דל גרעיני
שקול, 1386, 1391, 1398	1225	חלקיק עצמאי, 1388-1391
מסה	מיואון, 1226, 1432, 1437-1439, 1441, 1442, 1459,	משולב, 1389-1391
אטומית, 1227, 1261, 1321, 1329, 1390, 1393,	1461, 1462, 1467	שיתופי, 1387-1391, 1398, 1408, 1424
1429, 1414, 1401, 1394	מייטנר, לזיה, 1405	דרטור, 1411, 1412, 1428
אינרציאלית, 1196, 1225, 1423	מייכלסון וו. אלברט, 1190	זלי ה. ג'י, 1320-1322, 1329
יחסותית, 1209, 1222, 1250, 1263, 1305	מיישר חצי גל, 1353, 1354, 1359, 1363	זרות, 1445, 1446, 1448, 1450, 1459, 1460, 1462
מולרית, 1342, 1351, 1360, 1361, 1364, 1364,	מים	טות
1424, 1414, 1378, 1371	כבדים, 1480	בקרה, 1411, 1425
מספר	מימוש, 1266, 1272, 1275, 1432	דלק, 1411, 1413, 1414
אטומי, 1307, 1308, 1319, 1325, 1342, 1351,	מימן	ל, 1342, 1378
1368, 1385, 1390, 1393, 1398	אטום, 1216, 1262, 1281, 1282, 1284, 1285,	ליבדן, 1319, 1320, 1330, 1332, 1335, 1336
לפטוני, 1441-1444, 1460	1287, 1290, 1294, 1297, 1298, 1305, 1313,	ליכות, 1257
מסה, 1370, 1372, 1390, 1392	1322, 1331-1329, 1374, 1420, 1436, 1463, 1469	ליך למחצה (מל"מ)
נויטרוני, 1390	גז, 1216, 1217, 1331	סוג n, 1338, 1349-1352, 1354, 1359-1357
פרוטוני, 1307, 1323, 1329, 1368, 1369, 1390	מולקולה, 1245-1255, 1258-1262, 1311-1327,	סוג p, 1338, 1350-1359, 1363
מספר קוונטי	1312-1327, 1361-1363, 1373-1390	לקולה(ת)
אורביטלי, 1286, 1287, 1291, 1305, 1339	נזלי, 1248, 1437	אתנול, 1312
מגנטי אורביטלי, 1286, 1287, 1305	מיקרוסקופ	חמצן, 1361
מגנטי ספיני, 1304, 1305	אופטי, 1233, 1254	מים, 1312, 1335, 1430
ספיני, 1304, 1305, 1434, 1437, 1441, 1445,	אלקטרוני, 1461	פחמן, 1233, 1235, 1247
1450, 1459, 1460	מנהור סורק, 1254, 1255, 1265, 1278, 1302	מנט דיפול
ראשי, 1286, 1305, 1339	מישורי(י)	מגנטי, 1303-1306, 1312-1308, 1318, 1328, 1330
של מטען, 1438, 1448, 1450, 1464	גביש, 1277, 1324, 1333, 1334, 1338, 1339, 1344,	מגנטי אורביטלי, 1305, 1306, 1308, 1310, 1328
מעבדת פרמי, 1433, 1449	1351, 1358	מגנטי ספיני, 1305-1307, 1310, 1328
מעבר	תנודות, 1254, 1267, 1357, 1389, 1426, 1457,	נוכרומטי, 1223, 1258, 1259
אנרגיה, 1197, 1463	מיתר, 1249-1251, 1266-1268, 1272, 1275, 1292,	צק(ים)
קוונטי, 1269	1320, 1357	גבישי, 1338-1340, 1358
מעגל משולב, 1357	מכלאה	מודל אידיאלי, 1253
מערכת(ות)	דו מימדית, 1279, 1280, 1314	מתכתי, 1434
השמש, 1200, 1225, 1230, 1262, 1375, 1385,	קוונטית, 1265, 1278, 1279, 1302	רלי וו. אדוארד, 1190
1421, 1421, 1455, 1459	מכניקה	ו(ים)
טיל, 1196-1215, 1228	יחסותית, 1263, 1291	π, 1211, 1231, 1437, 1442, 1448, 1460
מבודדת, 1209, 1211	קלאסית, 1245	K <sup>0</sup> , 1211, 1229
מורכבות, 1200, 1379, 1424	מלכודת אלקטרונים	התארכות זמן, 1197, 1198, 1200, 1223
מעבדה, 1196-1202, 1212-1215, 1220, 1222,	דו-מימדית, 1292	זוזר
1225, 1226, 1228, 1229	חד-מימדית, 1267	פרוטון-פרוטון, 1418-1420, 1422, 1425, 1429,
מרכז המסה, 1221	מלבנית, 1292, 1314	1430
מערכת ייחוס	תלת-מימדית, 1292	טען (חשמלי)
אינרציאלית, 1196, 1225	ממדים, 1200, 1210, 1218, 1221, 1222, 1255, 1261,	אלקטרון, 1191, 1207, 1248, 1261, 1283, 1322,
מפץ גדול, 1383, 1431, 1447, 1460-1464	1263, 1274, 1287, 1290, 1299, 1345, 1349, 1370,	1348-1350, 1352, 1353, 1469
מפצל אלומה, 1245	1380, 1397, 1412, 1437, 1441, 1453, 1466	חיובי, 1248, 1281, 1311, 1352, 1366, 1367, 1459
מצב(ים)	ממתח	

יחסות של, 1205, 1213, 1224, 1227	ניוטון	בדיד, 1266, 1267, 1292, 1303
סימטריה	היחידה, 1294, 1338, 1358-1349, 1360-1359,	יסוד, 1268-1271, 1273, 1280, 1281, 1286-1298,
כדורית, 1285, 1290, 1291, 1293, 1298, 1317	1360-1376, 1390-1397, 1399-1411, 1411-1459,	1315, 1316, 1320, 1324-1327, 1331, 1332, 1334,
סימטריה וחוקי שימור, 1436, 1437	1473-1472	1395, 1390, 1335
סינכרון, 1194, 1195, 1197, 1225, 1230	חוק ראשון, 1196, 1207	יציב, 1232, 1388
סליל	חוק שני, 1282, 1282, 1310	יציב חלקית, 1325, 1326
ליקוט, 1357	נייטרון(ים)	מוצק, 1337, 1338
ספין	אנרגיה, 1408-1411	מעורר, 1216, 1268, 1269, 1270, 1271, 1273,
גרעיני, 1373	דליפה, 1411, 1410, 1412	1281, 1285, 1294-1298, 1314-1316, 1324, 1325,
מספר קוונטי, 1267, 1304, 1434, 1450	לכידה, 1408-1411	1327, 1334-1331, 1395, 1405, 1436, 1448, 1463
מספר קוונטי מגנטי, 1304, 1305	תרמיים, 1405, 1408-1412, 1417, 1424, 1426,	שיווי משקל, 1325, 1353, 1359
קוונטי, 1304, 1305	1428	מקדם
ספקטרום	נייטרינו(ים), 1406, 1408, 1419, 1420, 1425, 1427,	דיאלקטרי של הריק, 1469
אטום מימן, 1285	1429, 1432, 1435, 1437-1444, 1449, 1452, 1456,	העברה, 1254-1258, 1262, 1263, 1380
קרני X, 1321-1319, 1329	1460, 1459	טמפרטורה של התנגדות סגולית, 1338, 1339,
רציף, 1319, 1329, 1391	ניסוי מחשבתי, 1190, 1214	1348, 1358
ספקטרומטר	ננו-גבישים(ים), 1277	מקור אור
מסות, 1227, 1394	ננו-טכנולוגיה, 1266	איזוטופי, 1239, 1259, 1270
סריג, 1338	נפילה	מרווח
סריג	חופשית, 1197	אפס, 1205
קובי, 1194	נקודה	דמוי-אור, 1205
שעונים, 1194, 1195, 1225, 1230	מפנה, 1348	דמוי-זמן, 1200, 1205, 1210, 1223
סרן CERN, 1433	קוונטית, 1265, 1269, 1271, 1278, 1279, 1305,	דמוי-מרחב, 1204, 1205, 1210, 1223
	1313, 1316, 1344, 1450, 1452	מרחב
	שיווי משקל, 1326, 1334, 1359, 1399	עקמומיות, 1458
	נרמול, 1273-1275, 1287, 1292	מרחב-זמן, 1201
<b>ע</b>	נתרן	מרחק עצמי, 1204, 1210, 1223, 1226
עיקום המרחב, 1458	אדי, 1235	מרכז המסה, 1221
עיקרון	כלורי, 1318, 1333	משוואה(ות)
אי-הודאות של הייזנברג, 1451		פוטואלקטרי, 1237
איסור של פאולי, 1313-1317, 1328, 1332, 1336,		משפט
1339-1341, 1358, 1362, 1388, 1434		הבינום, 1472
היחסות, 1191, 1192, 1206, 1207, 1212, 1215,		מתח
1217-1219, 1225	סדק	חשמלי, 1332
השקילות, 1218	כפול, 1243-1245, 1260	מגע, 1352, 1353
התאמה, 1272, 1291, 1292, 1298, 1336	עקיפה, 1243, 1244	עצירה, 1236-1238, 1257, 1259, 1260, 1263
סימטריה, 1245	צר, 1243	
תיחום, 1267, 1292	סדרי גודל, 1366	
ענק אדום, 1230, 1420, 1459	סדרת	
עקיפה, 1216, 1243, 1244, 1247, 1259, 1334,	באלמר, 1285, 1286, 1297, 1299	
1335	לימן, 1285, 1289, 1297	
ערכיות, 1266, 1308, 1318, 1331, 1341, 1349-	פאשן, 1285	
1354, 1355-1363, 1389	סטטיסטיקה	
	בוזה-איינשטיין, 1434, 1435	
	פרמי-דירק, 1344, 1345	
	סיבה ותוצאה, 1203, 1205, 1226	
	סיגמה, 1204, 1446, 1448	
	סימולטניות	
פאולי, וולפגנג, 1313, 1382		
פאיון, 1432, 1436-1441, 1443, 1445, 1446, 1461,		

התפרקות, 1375-1378, 1391, 1392, 1394, 1396, 1397	ערכיות, 1350-1347, 1354, 1355, 1356, 1359-	1467-1465, 14
1401	1363	ויטרוון, 1221, 1231, 1248, 1293, 1381, 1382,
כבידה, 1469	פער אנרגיה, 1339, 1358, 1363	1391, 1397, 1419, 1436, 1439, 1442, 1443,
פלאנק, 1191, 1207, 1221, 1235, 1260, 1263,	פרדוקס	1464, 14
1469, 1358, 1343, 1336	רכבת, 1206, 1232	ט-אלקטרוניים, 1236
קולון, 1469	תאומים, 1232	טואלקטרי
קירי, 1376	פרוטון(ים), 1193, 1194, 1198, 1225, 1227, 1228,	אפקט, 1236-1238, 1256-1259, 1263
רידברג, 1284, 1293, 1469	1230, 1246-1248, 1255-1258, 1260-1262, 1274,	זרם, 1236, 1257
קו	1293-1295, 1311, 1312, 1328, 1373, 1374, 1382,	טודיודה, 1355
בליעה, 1285	1389, 1393, 1394, 1396, 1418, 1419, 1423, 1425,	טון(ים)
ספקטרלי, 1261, 1263, 1320-1323	1429, 1430, 1436, 1437, 1443, 1444, 1448, 1449,	וירטואלי, 1450, 1451, 1459
פליטה, 1263, 1285, 1286, 1454	1460, 1467-1462	טנציאל
קובלט, 1323	פרינסטון, 1423	בור, 1268, 1271-1273, 1277, 1293-1296, 1298,
קוואזרים(ים), 1453, 1454, 1463	פרמי, אנריקו, 1405, 1414, 1432	1299, 1314, 1335, 1389, 1408
קווארק	פרמי	מחסום, 1253, 1254, 1255, 1257, 1409, 1424
טעם, 1253	אנרגיית, 1341, 1347-1348, 1358-1362, 1464	לס
מוזר, 1446, 1447, 1450, 1459	מהירות, 1341, 1360, 1361, 1364	חלקיקים, 1193, 1225, 1230
מטה, 1450-1446	רמת, 1341, 1359, 1360-1363	פרוטונים, 1193, 1194, 1225
מעלה, 1446-1449, 1459	פרמיון, 1434, 1460, 1461	לרניים, 1246, 1247
עליון, 1446, 1449, 1451, 1459		נקציית
קסום, 1446, 1449, 1459	צביר, 1431, 1455, 1457	גל, 1249, 1250, 1253, 1256, 1261, 1271-1274,
תחתון, 1446, 1449, 1450, 1459	צ'דוויק, גיימס, 1405, 1451	1288-1286, 1292, 1293, 1298
קווינטט, 1266, 1267, 1277, 1281, 1282	צדק (יופיטר), 1470	עבודה, 1237-1239, 1256, 1260-1263
קוונט	צומת <i>n-p</i> , 1351-1356, 1359, 1363	דד, קו, 1455
אור, 1231, 1234-1236, 1240, 1256, 1258	צופה	ם, 1240, 1398, 1404, 1429
קוונטי(ת)	אינטיליגנטי, 1193	מן, 1233, 1240, 1242, 1247, 1385, 1388,
מעבר, 1269	חכם, 1193, 1225	1419, 1420, 1425, 1428, 1429
קפיצה, 1269-1271, 1295, 1311, 1316	צורן, 1338, 1339, 1347-1351, 1354, 1356, 1357,	ינים
קוונטיים	1359, 1360, 1362-1364, 1425	התארכות זמן, 1199, 1225, 1226
מכניקה, 1291	ציקלוטרון, 1396	אלקטרוניים, 1319, 1370, 1393, 1401
פיזיקה, 1303	ציר	קרני x, 1240, 1247
תורה, 1239, 1389, 1432	קיטוב, 1325	זיקה גרעינית, 1390
קוורץ, 1200, 1255	צפיפות	אנק
קוטב	הסתברות, 1249, 1251-1254, 1256, 1263,	קבוע, 1191, 1207, 1221, 1235, 1260, 1263,
מגנטי, 1309	1272-1275, 1287, 1288, 1290-1293, 1295, 1397,	1469, 1336
קולון	1303, 1308, 1317	זמה, 1422, 1425
חוק, 1387, 1450	מצבים, 1343, 1344, 1346, 1358, 1359, 1364	יטה
קולט, 1195, 1276, 1451	מצבים מאוכלסים, 1345, 1346, 1359, 1361	מאולצת, 1326-1324, 1329, 1333-1335, 1356
קומפטון ארתור, 1240, 1242	נושאי מטען, 1358, 1360, 1363	1356
קומפטון		ספונטנית, 1324, 1325
אורך גל, 1240, 1241, 1242, 1260		פוטון, 1235, 1270, 1285, 1292, 1294, 1328
היסט, 1240-1242, 1256, 1257, 1260, 1263		קרינה, 1301
קטינג ר. אי., 1197	קבוע	
קירי, 1376, 1395, 1398	בולצמן, 1263, 1325, 1327, 1340, 1343, 1359,	אנרגיה, 1339-1341, 1358
קירי מרי, 1395	1417, 1418, 1429, 1469	הולכה, 1341, 1347-1352, 1355, 1356, 1359,
קירי פייר, 1395	דעיכה, 1375, 1433	1363, 1362

כבידה, 1225	שדה	קלווין, 1333, 1338, 1340, 1417
מומנט סיבוב, 1234	וקטורי, 1311, 1328	קליפה
תארוך רדיואקטיבי, 1384, 1391, 1398	חשמלי, 1234, 1237, 1240, 1243, 1244, 1249,	K, 1320, 1322, 1330, 1333, 1397
תבנית	1256, 1258, 1291, 1293, 1347, 1356, 1357, 1360,	תת, 1291, 1293, 1305, 1317, 1318, 1329, 1330,
התאבכות, 1243, 1244, 1246, 1247, 1260, 1323	מגנטי, 1234, 1248, 1258, 1260, 1291, 1293,	1449, 1339, 1332
עקיפה, 1259, 1334	1304, 1306, 1308-1313, 1329-1331, 1335, 1386,	קפיץ, 1200
תגובת שרשרת, 1355, 1410, 1414, 1424	1423, 1425, 1437, 1460, 1464, 1465	קפיצה קוונטית, 1269, 1271, 1316
תדירות, 1216, 1217, 1229, 1237-1239, 1241, 1256,	שופן	קרונה
1257, 1260, 1263, 1348	ואלס-הדקה, 1193	גמא, 1386
תדירות זוויתית	שטף	גרעינית, 1365
תנודה מחזורית, 1234	חלקיקים, 1192	קרינת רקע קוסמית, 1436, 1455, 1457, 1463,
תדר	שטרן אוטו, 1308, 1309	1464
סף, 1237	שטרן-גרלך	קריפטון, 1258, 1303, 1329, 1330, 1332
רדיו RF, 1311	ניסוי, 1308-1310, 1331-1334, 1330, 1331	קרן(ים)
תהודה	שטרסמן, פריץ, 1405	α, 1243-1240, 1247, 1256, 1257, 1259, 1312,
מגנטית, 1311, 1312, 1328, 1331	שידור	1319, 1320, 1321, 1329, 1330, 1332, 1335, 1336
מגנטית גרעינית, 1311, 1312, 1328	רדיו, 1192, 1135	אור, 1458
תווך, 1191, 1216, 1330, 1334	שימור	גאמא, 1231, 1260, 1261, 1363, 1373, 1386,
תוחלת חיים ממוצעת, 1200	אנרגיה, 1209, 1211, 1220, 1221, 1231, 1237,	1395, 1461
תומסון, גיי, גיי, 1366	1241, 1242, 1332, 1367, 1418, 1437, 1438, 1439,	שמש, 1192, 1470
תומסון, פ. ג'ורג', 1245	1443, 1450	
תוצרי ביקוע, 1412, 1415, 1416, 1427, 1441	תנע, 1220, 1222, 1241, 1332, 1436, 1437, 1439,	
תורה	1443	
יחסות כללית, 1190, 1192, 1198, 1212, 1216,	שמש	
1225, 1229, 1231, 1232	היתוך גרעיני, 1324, 1425, 1426	ראד, 1261, 1386
יחסות פרטית, 1190, 1193, 1196, 1197, 1202,	התפרצות, 1225, 1226	ראת'רפורד, ארנסט, 1366, 1367
1203, 1204, 1205, 1207-1209, 1214, 1216, 1219,	שעון(ים)	רוהרר היינריך, 1254
1223, 1224	אטומי, 1197, 1200, 1203	רדיאן, 1472
קוונטים, 1190, 1221, 1234, 1252, 1266, 1279,	מערכת, 1200, 1201, 1208	רדיואקטיביות
1389, 1432	ציזום, 1200	התפרקות, 1200
תחנת כוח	קורץ, 1200	רדיואקטיבית
גרעינית, 1412, 1413	שפופרת	פסולת, 1412, 1413, 1416
תיאורית	ריק, 1298, 1308, 1320	רובין, ורה, 1455
האיחוד הגדול GUT, 1452	שרדינגר ארווין, 1250	רידברג, קבוע, 1284, 1293, 1469
תנאי	שרדינגר	ריק, 1191, 1202, 1207, 1216, 1223, 1225, 1337
לוסון, 1423, 1424, 1425	משוואה, 1249, 1250, 1253, 1256, 1261, 1266,	רכבת, 1191, 1192, 1206, 1227, 1232
שפה, 1288, 1291	1271, 1275, 1279, 1280, 1284-1289, 1292, 1295,	רמה(ות) אנרגיה
תנאי התחלה, 1414	1297, 1299-1305, 1317	מאוכלסת במלואה, 1314, 1315
תנודות	ריק, 1250	מאוכלסת חלקית, 1314
אנרגיה חשמלית, 1259, 1430	שריפה, 1207, 1404, 1410, 1411, 1419	ריקה, 1314
תנועה		רמת פרמי, 1341, 1359, 1360, 1363-1361
אנכית, 1226		רעם, 1193
יחסית, 1190, 1197, 1200, 1204, 1205, 1212,	ת	
1229, 1231, 1232	תא	
סיבובית, 1354	בועות, 1248, 1437, 1440, 1444, 1461, 1464	
תנע	הפרדה, 1226, 1261	שבב, 1357, 1358, 1363
יחסות, 1209, 1220-1222	תאוצה	שביט, 1335

פוטון , 1240, 1241, 1245

קווי, 1303, 1400, 1436, 1437, 1439, 1440, 1443,

1460

ע זוויתי

אורביטלי, 1286, 1305-1308, 1317, 1328, 1330,

1461, 1462

ספיני, 1304-1308, 1311, 1317, 1328, 1331,

1368, 1373, 1438, 1443, 1460, 1462

שיים רמות אנרגיה, 1268, 1276, 1295, 1331, 1332