

**פיזיקה**  
**בגובה העיניים**

**فيزياء**  
**على مرمى الحجر**

**טאהא מסאלחה**  
**طه مصالحة**

**רחל שגיא**  
**راحيل ساغي**

**Physics for All**

*Taha Massalha*

*Rachel Sagee*

**فيزياء على مرمى الحجر**

طه مصالحة

راحيل ساغي

טאהא מסאלחה, מכללת העתיד לטכנולוגיה ומדע בעפולה  
רחל שגיא, מכללת לוינסקי לחינוך

הוצאת הספרים של מכון מופ"ת:

עורך ראשי: דודו רוטמן

עורכת אקדמית: בלה יעבץ

עורכת טקסט ולשון: מיכל קירזנר-אפלבויים

עורכת לשון אחראית: מירב כהן-דר

עורכת גרפית ומעצבת העטיפה: בלה טאובר

חברי הוועדה האקדמית של הוצאת הספרים:

פרימה אלבז-לוביש, אילנה אלקד-להמן, חנוך בן-פזי, יעל דר, יורם הרפז,  
נצה מובשוביץ-הדר, אייל נווה, דורון נידרלנד, יעל פישר, שי פרוגל

מסת"ב: 2-163-530-965-978

© כל הזכויות לתמונות וליצירות שמורות ליוצרים

© כל הזכויות שמורות למכון מופ"ת, תשע"ט/2019

טל': 03-6901406 <http://www.mofet.macam.ac.il>

דפוס: אופסט טל בע"מ

## תודות

תודה לקוראים פרופ' אורי גניאל וד"ר עמוס כהן על מלאכת השיפוט. הערותיכם המועילות תרמו רבות לאיכותו של הספר.

תודה גדולה לצוות מכון מופ"ת על מקצועיותם: לד"ר דודו רוטמן, ראש הוצאת הספרים והעורך הראשי, ולד"ר יהודית שטיימן, ראשת הוצאת הספרים לשעבר, על תרומתם; לחני שושתרי, רכזת הוצאת הספרים, על הטיפול המסור בהפקת הספר; לד"ר בלה יעבץ על הליווי הסובלני; למיכל קירזנר-אפלבויים על הסבלנות והעריכה הלשונית המוקפדת; למירב כהן-דר, עורכת הלשון האחראית, על תשומת הלב לפרטים; לבלה טאובר, העורכת הגרפית ומעצבת העטיפה, על עבודת העיצוב המקצועית שנעשתה באכפתיות וברגישות.



## תוכן העניינים

7	פתח דבר / وكانت البداية.....
15	פרק 1: המקל - תנועה וחיכוך.....
27	פרק 2: נפילה חופשית וטפטוף הגשם.....
37	פרק 3: בעירת נר.....
43	פרק 4: השמש - זריחה ושקיעה.....
53	פרק 5: נוזלים ומוצקים.....
57	פרק 6: התאדות ורתיחה של מים.....
61	פרק 7: ציפה ושקיעה.....
65	פרק 8: זמן תגובה, זמן בלימה וזמן עצירה.....
73	פרק 9: פיזיקה בטיסה.....
79	פרק 10: אור ומשקפיים.....
88	סוף דבר.....
89	מקורות.....
91	תקציר בערבית.....
94	תקציר באנגלית.....



## פתח דבר

אני שומע ואני שוכח, אני רואה ואני זוכר, אני עושה ואני מבין.  
(פתגם סיני עתיק)

בשנים האחרונות חוקרים רבים מדגישים את החשיבות של יצירת הזדמנויות ללמידה שמאפשרות מעורבות פעילה של הלומדים (ראו למשל, Linn, 2007). כדי שלומדים יוכלו להבנות ידע, צריכים להתקיים ארבעה תהליכים מרכזיים: חשיפה של ידע קודם, הוספה של ידע חדש, בחינה מושכלת של שני סוגי הידע ורפלקציה על התהליך, כולל קישור של כל רכיבי הידע (Eylon & Linn, 2006). למידה שמבוססת על ארבעת העקרונות הללו כוללת התייחסות לרעיונות של הלומדים, גם אם אלה אינם "נכונים" מדעית, ובחינתם המושכלת כמנוף להבניית ידע מדעי חדש. למידה כזו, כשהיא נעשית בהדרכה מתאימה, יכולה להוביל לשיפור ההישגים של הלומדים (אלון, אלדר, ברגר, בגנו ורונן, 2013).

הספר פיזיקה בגובה העיניים מבוסס על ניסיונו הממושך בהוראת פיזיקה לתלמידים בבית הספר, לפרחי הוראה במכללה להכשרת מורים ולמורי פיזיקה בהשתלמויות מקצועיות. בתהליך ההוראה נחשפתי, הכותב הראשון של הספר, לעניין שעוררו השאלות המתגרות והמערערות ששאלתי. מחקרים אכן מצביעים על תרומתן של שאלות כאלה לעניין שמגלים הלומדים ולאתגור החשיבה שלהם (כהן, 2001; 2007; Karmon, 2007). כך למשל, לשאלתי "כמה זה 5 ו-25?", התשובה הייתה כמעט תמיד 10. הצעתי תשובות נוספות: אולי זה 55? או אולי השעה 5 ו-5 דקות? בהזדמנות אחרת עלתה תרומתו של ממד ההפתעה כשהגעתי לשיעור עם מקל. התלמידים שאלו "מה פתאום מקל? מה כבר עשינו?" ועניתי בתגובה: "לא זאת השאלה. השאלה היא: מה באמת אפשר לעשות עם מקל?". זאת הייתה שאלה אותנטית פתוחה שהתשובות עליה לא היו ידועות מראש, אבל היא אפשרה לכל התלמידים, כולל אלה שממעטים יחסית להשתתף, להגיב. בעזרת המקל למדנו על כוחות פיזיקליים ועל חיכוך (ראו פרק 1) והגענו לפתרונות יצירתיים לשאלות "מצחיקות". חווינו את שמחת הגילוי אחרי התנסות וחיזקנו את היכולת להבין ולהמשיג עובדות מדעיות, כפי שמציעים בוזו-שוורץ (2017) ומסאלחה וחרדק (1994).

הספר כולל ניסויים נבחרים משנות עבודתנו. הם עוסקים בתפיסת מושגי יסוד פיזיקליים שונים. אלה ניסויים שקל לבצע אותם גם ללא מכשור מתקדם.

בנוסף לכך, הם קשורים לעולם היום-יומי של הלומדים, דבר שמגביר את מידת העניין שלהם. הניסויים מזמנים ללומדים אפשרות לפתח חשיבה הגיונית-מדעית תוך התנסות בהעלאת השערות ובאישושן או הפרכתן (וינברגר וזוהר, 2005; מסאלחה, 2003). הם תומכים בהפיכת הלומדים לצרכנים נבונים וביקורתיים של מידע ואף מקילים את ההבניה של הידע הפיזיקלי (ליבמן, 2013). הבחירה לעסוק בנושאים רלוונטיים לחיי הלומדים, הצגת הנושאים תוך כדי שאילת שאלות, איסוף המידע על ידי ניסוי וכן התשובות הניתנות ברמות ידע שונות - כל אלה יכולים לשמש כדגם להוראה (אשנהיימר, קשתן, גור, צימרמן ואלדר, 2001; מסאלחה, 1989).

על בסיס הניסיון שצברנו בהוראת הפיזיקה, גיבשנו כמה מטרות דידקטיות שהנחו אותנו בזמן כתיבת הספר:

1. לחפש דרכים מגוונות לגרות את המחשבה היצירתית של התלמידים.
2. לאתגר את התלמידים ולהוציא אותם מאזור הנוחות המחשבתי שלהם, תוך קישור החומר לעולמם המוכר והיום-יומי.
3. להדגיש למורים שהדרך וההתלבטויות לגבי הפתרון חשובות לא פחות (אם לא יותר) מהפתרון עצמו.
4. לנתב את מה שנראה בהתחלה כשעשוע או כמעשה קוסמות, לתהליך רציני ומעמיק של ניתוח, חקר והסבר מדעי.
5. להוביל את התלמידים בדרכי נועם ולאפשר להם להציע בעצמם תהליכים ודרכים לניתוח הנושא, להרחבתו, להצגתו ולדיון לגביו.
6. להיות קשוב לרחשי הלב של התלמידים ולרצונותיהם, להתגמש ולאפשר לשיעור להתפתח לכיוונים שונים (אך לא להתפזר...).

הספר מיועד לקהל מגוון של קוראים. מורי המורים לפיזיקה ולמדעים במכללות להכשרת מורים ימצאו בספר פעילויות רבות ברמות המשגה שונות, שיאפשרו להם ללמד בדרך קצת אחרת. פרחי ההוראה המתכשרים להוראת הפיזיקה והמדעים ואנשי חינוך שעוסקים בהוראת המדעים יוכלו להעשיר את הידע שלהם הן במגוון ניסויים הקשורים לחיי היום-יום והן בדרכי הוראה שמאתגרות את הלומדים, מפתחות את הסקרנות שלהם ומעשירות אותם. תלמידים שמתעניינים במדע ובפיזיקה יוכלו לקבל נקודות מבט חדשות ולהתנסות בניסויים קלים לביצוע.

בספר אין "מרשמים" מדויקים לדרך שאילת השאלות ולניסויים, אלא הצעה של דרך והכוונה כללית. כל אחד ואחת מהקוראים מוזמנים להתאים את החומרים למטרותיהם, לרצונותיהם ולהקשר הלימודי שהם פועלים בו.



## מבנה הספר

חשוב להדגיש שאין משמעות לסדר הפרקים בספר. כל אחד מפרקי הספר עומד בפני עצמו, ואין חובה להתקדם לפי סדר הפרקים. מבנה הפרקים אינו קבוע: חלקם כוללים שאלות, ניסוי והוכחה פיזיקלית, ובחלקם מתוארים ניסוי או תופעה.

**פרק 1: המקל - תנועה וחיכוך** - מטרת הפרק היא להשתמש באביזר מחיי היום-יום כדי לעורר חשיבה מדעית. בעזרת תנועת האצבעות המחזיקות במקל נסביר את תופעת החיכוך ואת הקשר שלה לתנועה. הפרק הוא דוגמה לדיון מעמיק בתופעות פיזיקליות פשוטות לכאורה וכן דוגמה לניתוח הנובע מהתבוננות בניסוי פשוט שמוביל להבנה של התופעות.

**פרק 2: נפילה חופשית וטפטוף הגשם** - בפרק נעסוק בנפילה חופשית בשדה הכבידה. נדון בנושא באמצעות הצגת שאלות במטרה לעורר חשיבה מדעית מדויקת בקרב הלומדים. בנוסף לכך נדון בנפילה חופשית של טיפות גשם. בפרק זה אין פעילות ניסויית, אלא רק הצגת מצבים ושאלות המיועדות לפתח תובנות אצל הלומדים.

**פרק 3: בעירת נר** - מטרת הפרק היא לערער על מוסכמות מדעיות ולעורר חשיבה ביקורתית בעזרת ניסויים מיוחדים בנר בוער. פרק זה מציג דוגמה לתהליך של השערה - ניסוי - ניתוח - הסקת מסקנות והסבר המבוסס על תוצאות הניסוי.

**פרק 4: השמש - זריחה ושקיעה** - הפרק מתאר מעקב של תלמידים אחר הזריחה והשקיעה במשך תקופה של בין שנה לשנתיים, תוך שימוש בצילום, בתיאורים גרפיים ובאומנות. התלמידים לומדים להכיר את המחזוריות של התופעות ומגלים תופעות שאינן מוכרות להם, כמו שינוי המיקום של הזריחה והשקיעה.

**פרק 5: נוזלים ומוצקים** - מטרת הפרק היא לעקוב אחר תפיסות פיזיקליות פופולריות של מצבי צבירה כדי לעמוד על הבעייתיות שלהן ולהגדיר מחדש מושגים ידועים. הפרק קורא ללומדים להקפיד על דיוק בהגדרות. לכל הגדרה יש תנאים לנכונותה, ויש להקפיד על הסייגים הנובעים מתנאים אלה.

**פרק 6: התאדות ורתיחה של מים** - הפרק דן בהבדלים בין שתי תופעות דומות המתארות מעבר של חלקיקי חומר ממצב צבירה נוזל לגז: התאדות נוזלים ורתיחתם. הפרק מתמקד בהתאדות וברתיחה של מים.

**פרק 7: ציפה ושקיעה** - מה גורם לחלק מהגופים לצוף על פני המים ולאחרים לשקוע? על שאלה זו ננסה לענות בפרק זה.

**פרק 8: זמן תגובה, זמן בלימה וזמן עצירה - בפרק נעמוד על חשיבות המושג "זמן תגובה" בחיי היום-יום ובעיקר בנהיגה. בפרק יובא ניתוח מפורט של מקרה אופייני: בלימת רכב שנוסע במהירות של 72 קמ"ש, מרגע הגירווי ועד לעצירה מוחלטת.**

**פרק 9: פיזיקה בטיסה - הפרק דן בשאלה: מה אפשר ללמוד בזמן טיסה? הפרק עוסק בלחץ האוויר שפועל על גוף המטוס ובלחץ השורר בתא הנוסעים, ומתמקד בבחינה של שינויי לחץ במהלך הטיסה. בפרק מופיעים איורים שמדגימים את שינויי הלחץ ואף הצעה לניסוי בזמן טיסה. נושא נוסף שנדון בפרק הוא המבנה של כנפי המטוס והכוחות המשפיעים על תנועתן.**

**פרק 10: אור ומשקפיים - בפרק זה, שעוסק בתכונות האור, נתאר כמה שימושים במשקפיים מיוחדים אשר ידגימו את תופעת הצבעים השונים של האור, את תופעת ההתאבכות ואת תופעת העקיפה.**

**כפי שאפשר ללמוד מתיאור הפרקים, הספר שלפניכם מציג נושאים מגוונים משדה הפיזיקה. ההתייחסות הבהירה המלווה בהדגמות, בהמחשות ובניסויים, נועדה לאפשר לקוראים התמודדות נעימה, ידידותית ומובנת עם תחום ידע שנחשב לקשה ומאיים. אנו מאחלים לכם קריאה מועילה ואף התנסות מהנה בניסויים המתוארים בספר. ובזה באנו על שכרנו.**

## وكانت البداية

أنا أسمع وأنسى، أنا أرى وأذكر، أنا أفعل وأفهم.  
(مثل صيني قديم)

تتطرق العديد من الباحثين، في السنوات الأخيرة، إلى أهمية خلق الفرص التعليمية المناسبة التي تفتح المجال أمام طلبة العلم المشاركة الفعالة في العملية التعليمية (Linn, 2007). ليتمكن طلبة العلم من بناء المعرفة، يجب أن تتوفر لديهم أربع عمليات رئيسية: الكشف عن المعرفة السابقة، إضافة معرفة جديدة من نفس المجال، التخصيص الذكي لنوعي المعرفة السابقين والتفكير في مجريات العملية التعليمية قيد البحث، بما في ذلك ربط جميع عناصر المعرفة معا (Eylon & Linn, 2006). يشمل التعلم وفقا للمبادئ الأربعة السابقة الإشارة إلى أفكار المتعلم، حتى لو لم تكن "صحيحة" من الناحية العلمية، وتخصيصها الذكي كوسيلة لبناء المعرفة العلمية الجديدة. التعلم على هذا النحو عندما يتم بإرشاد وتوجيه صحيح، يمكن أن يؤدي إلى تحسين التحصيل العلمي (ألون، ألدرد، برغر، برونو ورونن، 2013).

يعتمد كتاب **فيزياء على مرمى الحجر** على رحلتي التعليمية الطويلة في مجال تدريس الفيزياء لطلاب المدارس، ولطلبة العلوم عامة والفيزياء خاصة في كليات اعداد المعلمين في المعاهد العليا والجامعات وللمعلمي الفيزياء في دورات الاستكمال المهنية. لقد تعاملت مع "ضجة الواو" التي أثارها الأسئلة الاستفزازية التي طرحتها على طلابي أثناء تدريسهم وفرحت بها. تشير الدراسات العلمية أن الأسئلة الاستفزازية تُسهم في إثارة الدارسين الأمر الذي يؤدي إلى زيادة اهتمامهم ويحفز تفكيرهم في الموضوع قيد البحث (كدهن، 2001; Karmon, 2007). مثلا عندما سألت "كم تبلغ ٥ و-٥؟" كانت معظم إجابات الطلاب في بداية الطريق ١٠، لكن عندما اقترحت عليهم إجابات إضافية: ك-٥٥ أو أن الساعة هي ٥ و-٥ دقائق؟ توردت الوجوه وتغيرت الأمور واستنشط التفكير! مثال آخر لعنصر المفاجأة حدث عندما دخلت غرفة الصف ومعني عصا، مباشرة سألت الطلاب باستنكار: "لماذا العصا؟ ما الذي قمنا به؟" هنا ابتسمت وقلت: "هذا ليس هو السؤال! إنما السؤال هو: ما الذي يمكنك فعله حقا بالعصا غير الذي فكرت به؟"، لقد كان سؤالاً منفتحاً وصادقاً ومبتكراً. قسم من الإجابات التي طرحها طلبة العلم لم أفكر بها مسبقاً، لكنها فتحت المجال أمام جميع الطلاب المشاركة في الدرس، بمن فيهم قليلي المشاركة في الدروس نسبياً. بمساعدة العصا تعلمنا عن قوى فيزيائية وعززنا مفهوم قوة الاحتكاك (أنظر الفصل 1) كما وتوصلنا إلى حلول مبتكرة لأسئلة "مضحكة". اختبرنا فرحة الاكتشاف بعد التجربة

وعزّزنا القدرة على فهم وتصور الحقائق العلمية على النحو الذي اقترحه بوزو- شوارتز

(بوو-شوورץ, 2017) ومصالحة وحرّدك (مسألحة وحرّدك, 1994).

يشتمل الكتاب على تجارب مختارة استخدمتها خلال سنوات عملي الطّوال. تمتاز هذه التجارب في كونها تبحث في كيفية تدويت المفاهيم الفيزيائية المختلفة التي ترتبط في التجربة قيد البحث، كما أنّها سهلة التحضير والتنفيذ دون الحاجة إلى أدوات مُتطوّرة. أضف إلى ذلك كونها مرتبطة بالحياة اليومية للمتعلّمين، الأمر الذي يزيد من الاهتمام بها. تفتح هذه التجارب المجال أمام طلبة العلم التّمعّن والتّفكّر منطقيا وعلميا وتحقيق فرضية التجربة أو دحضها (وينبرغر ووزوهر, 2005; مسألحة, 2003). كما وأنّ استيعاب أبعاد هذه الفعاليات يُسهّل الطريق أمام الدارسين ليكونوا مُستهلكين حُكّماء وناقدين مهنيين وخبراء في بناء المعلومات الفيزيائية وكيفية تسهيل تقديمها (ليبمّن, 2013). إنّ اختيارنا للموضوعات ذات الصلة بالحياة اليومية لطلبة العلم وكيفية عرضها وطرح التساؤلات، وبنفس الوقت استخراج المعلومات من التجربة وتقديم الإجابات على مستويات عديدة من المعرفة – جميع هذه الأمور يُمكن أن تكون بمثابة نموذج لكيفية بناء الدرس ولكيفية تنفيذه عمليا (أشנהיים, كشتن, غور, צימרמן وألدر, 1989; مسألحة, 1989).

لا شك أنّ الخبرة التي اكتسبتها خلال تدريسي للفيزياء قد ساعدت على بلورة العديد من الأهداف التعليمية والتربوية والتي أنارت الطريق أمامي لخطّ هذا الكتاب، ومنها:

1. البحث عن طرق متنوعة لتحفيز التفكير الإبداعي لدى الطلاب عامة وطلبة العلوم خاصة.

2. البحث عن كيفية تحدي طلبة العلم وإخراجهم من منطقة الاتزان الفكري وربط المواد العلمية بواقعهم اليومي والمألوف.

3. يتوجب هنا أن نُؤكّد أنّ طريق التخبُّط والحيرة في مواجهة الصعاب المتعلقة بِحُلّة القضية قيد البحث لا تَقولُ أهميتها عن الحل نفسه، لا بل تزيد عنه وتثير طريق البحث والتحليل الملازمين لطريق طلبة العلم.

4. توجيه ما يبدو للطلاب في بداية الأمر كأنه مُنعة أو سحر سحر، إلى أنّه عملية جادة في التحليل التعمّق والبحث والتفسير وتقديم التعليل العلمي.

5. اتباع أسلوب القيادة التربوية الحكيمة التي تجمع بين استمتاع الطلاب في الدرس (ومعها استمتاع المعلم أيضا) وبين الاستماع إلى وجهات نظرهم في تحليل الموضوع قيد البحث والتعمّق فيه وفي كيفية عرضه ومناقشته.

6. يتوجب الانتباه إلى هواجس الطلاب ورغباتهم، واعتماد المرونة والليونة في إدارة الدرس والسماح للدرس باتخاذ اتجاهات مختلفة ذات صلة بموضوعه (مع المحافظة على بقاء الدرس في نطاق الموضوع).

الكتاب مُوجَّه لِطَلَبَةِ العِلْمِ على اختلاف تخصصاتهم وانتماءهم. حيث سيجد به معلمو الفيزياء والعلوم في كُليّات اعداد المعلمين العديد من الفعاليات الهادفة إلى تَمَكُّينهم من استيعاب المفاهيم بالمستويات المختلفة وتَدْوِينها واستعمالها في المسابقات العديدة، الأمر الذي سيساعد المعلمين في تَنويع أساليب التدريس وتطويرها. كما وسيُمكن طلاب العلوم عامة وطلاب الفيزياء خاصة ورجالات التربية العلمية في إثراء خَلْفِيَّتهم العلمية بالعديد من التجارب المُرتبطة مع حيالتنا اليومية وفي أساليب النقاش والدراسة والتدريس، كما وسيجد فيها طلبة العلم تَحَدِّيًا فكريا كبيرا، الأمر الذي سيترك الأثر في نُمو الفضول لديهم وفي تَنويع تفكيرهم. هذا الكتاب سيُمكن الطلاب المهتمون بالعلوم عامة وبالفيزياء خاصة من الاطلاع على وجهات نظر جديدة وعديدة، كما وسيُمكنهم من إجراء مجموعة متنوعة من التجارب سهلة التنفيذ.

لا يوجد في الكتاب "صفات" دقيقة لكيفية طرح الأسئلة وإجراء التجارب والقيام بالفعاليات، بل اقتراح للإرشاد والتوجيه بشكل عام. الدعوة مُوجَّه لجميع القراء إلى مُلاءمة الفعاليات والتجارب وكيفية طرح الأسئلة مع خلفية طلابهم وأهداف دروسهم ورغباتهم ومع السياق التعليمي الذي يعملون فيه.