

"המורה, למה כתוב בספר שבמאזניים מודדים מסה - הרי במאזנים שוקלים!"

מסה על הוראה משמעותית של המושג "מסה"

תמי יחיאלי

הקדמה

אחד ממושגי היסוד המופיעים [בתכנית הלימודים למדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים](#) (מהדורת ניסוי תשנ"ו) הוא המושג "מסה". המושג "מסה" מופיע לצד המושג "נפח" כאחד המושגים היסודיים בתוך הנושא המרכזי: "חומרים: מבנה, תכונות ותהליכים" ונלמד בדרך כלל בכיתה ז. מושג זה מופיע בכל שאר המסמכים של משרד החינוך שפורסמו ב-20 השנים האחרונות ומתייחסים להוראת מדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים (למשל, במסמך ["מיקוד בלימודי מדע וטכנולוגיה בכיתות ז-ט - לקראת מסמך סטנדרטים"](#) שפורסם ביולי 2009 וכן במסמך ["זיקות בין תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לבין סטנדרטים בינלאומיים"](#)).

אך לא תמיד הופיע המושג "מסה" בתכנית הלימודים ובספרי הלימוד למדע בכיתה ז. בתכנית הלימודים משנת תשל"ו שעל פיה חובר הספר "מבנה החומר" (שהיה ספר הלימוד הנפוץ ביותר לכיתה ז בשנות ה-70 וה-80 של המאה הקודמת) - המושג "מסה" אינו מופיע, ובמקומו מופיע המושג "משקל" כמייצג את אחת התכונות האופייניות של גופים ("מבנה החומר - מדריך למורה" עמ' 14). במסגרת סעיף 2א בספר זה העוסק במדידות, מופיע סעיף משנה "מדידת משקל" ובו כתוב כי "משקל של גוף אפשר למדוד במאזניים" וכן כתוב כי הקילוגרם והגרם הן יחידות משקל¹.

בספר הלימוד "עולם של חומר" וכן בספר "אל תוך החומר"

ד"ר תמי יחיאלי, מכללה ירושלים

לכיתה ז (שאף הם חוברו על ידי צוות הפיזיקה-כימיה של האגף לתכניות לימודים ופורסם בשנת תשמ"ט 1989) הופיע המושג "מסה". בשני הספרים האלו מוגדרת המסה ככמות של החומר. הגרם והקילוגרם מוצגים כיחידות המסה, והמאזניים מוצגים כמכשיר להשוואת מסות ("אל תוך החומר" עמ' 76-77, "עולם של חומר" עמ' 69-70). לעומת זאת בספר הלימוד "מבנה החומר - ריק וחלקיקים" (בהוצאת מכון ויצמן תשס"א 2000) המושג "מסה" אינו מופיע, ובמקומו מופיע המושג "משקל"².

מדוע הוחלט להכניס את המושג "מסה" לתכנית הלימודים של כיתה ז?

בחוברת "ידיעון למורים למדעי הטבע" (גנוט, תשנ"ד 1993) מסביר ד"ר צחי מילגרם (חבר צוות הפיזיקה-כימיה של האגף לתכניות לימודים) כי הוכנס שינוי בתכנית, בין היתר בשל ממצאי מחקרים על תפיסות מושגים, ובהקשר זה הוא כותב: "ברור כי אין זה כדאי להשתמש במושגים מוטעים ולאחר מכן להזדקק לאמצעי השכנוע כדי לעקור מושגים אלו". בהמשך הוא כותב: "מתוך כך ברור היה כי חייבים להגדיר כבר בכיתה ז את המסה כגודל המציין את כמות החומר שיש לגוף. אמנם, אין זה מתאים להסביר מדוע אין המשקל מתאים למטרה זו, אך ניתן בהחלט להסתפק בציון העובדה כי הגודל "משקל" יוחד במדע לאינטראקציה בין הגוף לבין גרם השמים שבקרבתו הוא נמצא, וכי יחידותיו שונות מאלה של המסה. מבחינת התלמידים, המהפכה המושגית איננה דרמטית. למעשה,

1 חשוב לציין כי באותן שנים חובר ע"י האגף לתכניות לימודים ספר לימוד **לכיתה ח'** בשם "כוח משקל ומסה" - ובו מוגדרת המסה כ"כמות החומר" ("כוח, משקל ומסה" עמ' 47).

2 שמו של סעיף 7א בספר זה הוא "נפח ומשקל" - שתי דרכים לציון כמויות של חומרים.



הידע המוקדם ותופעת התפיסות השגויות

במסגרת התייחסותו ללמידה המשמעותית, טבע אוזובל את המשפט המפורסם:

"לו היינו צריכים להעמיד את כל הפסיכולוגיה החינוכית על עיקרון אחד, היינו אומרים כך: קבע מה הלומד כבר יודע ולמד אותו בהתאם". (שם, עמ' 373).

כלומר, לפי אוזובל, אם אדם הוא בעל הידע התוכני-מושגי המתאים - הוא יוכל להטמיע בהצלחה את הידע החדש. אך אם הוא בעל ידע לא מתאים - אזי ידע זה עלול להיות מכשול ללמידה.

אוזובל ייחס לידע לא מתאים זה חשיבות מרבית היות שהוא הבחין בעמידותו בפני הכחדה:

"תפיסות מוקדמות אלו הן עקשניות להפליא ועמידות בפני הכחדה... יתרה מזאת, התנגדות לקבלת רעיונות חדשים המנוגדים לאמונות קיימות היא כנראה מאפיין של הלמידה האנושית". (עמ' 372).

טענותיו של אוזובל אודות הידע המוקדם של תלמידים ועמידותו לשינויים, כמו גם הטענה שלמידה משמעותית של מושגים מדעיים מתבססת על ידע הקיים בהכרתם של הלומדים, אוששו במחקרים רבים אודות תפיסותיהם של תלמידים בתחומים מדעיים שונים.

תפיסות אלו שהן בדרך כלל שונות מהתפיסות המדעיות המקובלות, זכו בספרות המקצועית בהוראת המדעים במהלך 40 השנים האחרונות לכינויים רבים: "תפיסות שגויות" - Misconceptions (Brumby, 1984); "רעיונות שגויים" - Erroneous Ideas (Champagne);

"טעויות" - Mistakes (Gowin, 1983); "תפיסות חלופיות" - Alternative conceptions (Driver & Easley, 1978); "תפיסות נאיביות" - Naïve Conceptions (Babai & Amsterdam, 2008); "תפיסות אינטואיטיביות" - Intuitive Conceptions (Carey, 1986); "מדע של

"לו היינו צריכים להעמיד את כל הפסיכולוגיה החינוכית על עיקרון אחד, היינו אומרים כך: קבע מה הלומד כבר יודע ולמד אותו בהתאם"

דיויד אוזובל

מדובר כאן בסך הכל בשינוי השם, כי גם שיטת המדידה (במאזני כפות) וגם יחידת המידה (ג', ק"ג) המקובלת עליהם נשארת ללא שינוי" (עמ' 13).

מטרת מאמר זה היא לברר מהי למידה משמעותית של המושג "מסה" ולהציע דרך חלופית להוראה משמעותית של מושג זה. המאמר יציג טענה נגדית לשתי טענות. טענה אחת ולפיה: "ברור כי אין זה כדאי להשתמש במושגים מוטעים ולאחר מכן להזדקק לאמצעי השכנוע כדי לעקור מושגים אלו; חייבים להגדיר כבר בכיתה ז את המסה כגודל המציין את כמות החומר שיש לגוף"; הטענה השנייה אומרת: "אין זה מתאים להסביר מדוע אין המשקל מתאים למטרה זו".

מהי למידה משמעותית?

הפסיכולוג החינוכי דיויד אוזובל (Ausubel et al., 1978) הדגיש את העובדה שהלומד אינו מגיע לתהליך הלמידה כ'לוח חלק', אלא עם תפיסות ומושגים מוקדמים (Preconceptions) שיש להם השפעה מהותית על תהליך הלמידה. אוזובל הגדיר את המושג "למידה משמעותית" כתהליך שבו החומר החדש מתקשר בצורה לא שרירותית למה שכבר מצוי בהכרתו של הלומד. ידע שהוא תוצר של

למידה משמעותית, הוא ידע שהוא חלק מהכרתו של היודע (משום שהוא נקשר למה שהיה בה קודם לכן), והוא ייחודי לו (משום שהוא בנה אותו בעצמו בעזרת אלמנטים שהיו קיימים בהכרתו). היפוכה של למידה משמעותית היא "למידה לא משמעותית", שאחת מצורותיה היא למידת שינון, וצורה אחרת שלה

היא ניחוש אקראי. שני תהליכי למידה אלו אינם יכולים להיחשב כלמידה משמעותית, היות שלא חל שינוי ממשי בהכרתו של הלומד: הלומד אומר את הידע "מן השפה ולחוץ", או שהוא מנחש אותו ללא הפעלת תהליכים הכרתיים פנימיים.



הספר, בשל העובדה שלעתים קרובות יש למונח מסוים משמעות שונה בשפה היומיומית ובשפה המדעית. לדוגמה, משמעות המונח 'מוצק' בשפת יומיום הוא משהו קשה, ואילו משמעותו של מונח זה ב"שפה המדעית" הוא מצב צבירה מסוים של החומר. בעקבות זאת תלמידים רבים סבורים כי [אבקה](#) אינה מוצק. קיומן של משמעויות שונות - משמעות יומיומית ומשמעות מדעית - לאותו מונח אינה תופעה נדירה. אם נבדוק את המושגים המדעיים הנלמדים בחטיבת הביניים, נגלה כי לרוב המונחים הללו (לדוגמה: חומר, כוח, גוף, נפח, עבודה, אנרגיה, חום, טמפרטורה, גלים, תא, רקמה, מערכת, יצור חי ועוד) יש משמעות שונה בשפה היומיומית ובשפה המדעית. התלמידים בהחלט מכירים את המשמעות היומיומית של המונח ויודעים כיצד להשתמש בו בהקשרים יומיומיים, ובשל כך אין מונחים אלו חדשים לתלמידים. עם זאת לעתים קרובות אין התלמידים מכירים את המושג המדעי (כלומר, את המשמעות המדעית של המונח), ולכן המונח מופיע בתכנית הלימודים. המונח "[משקל](#)", לדוגמה, הוא אחד המונחים בעלי משמעות שונה בשפת היומיום ובשפה המדעית. בטבלה שלהלן מוצגים מאפייני המושג היומיומי "משקל" בהשוואה למאפייני המושג המדעי "משקל".

משמעות המונח "משקל"	בשפת המדע	בשפה היומיומית
משמעות המונח "משקל"	סוג של כוח ⁴	אחד הגדלים שבהם ניתן לבטא כמות של חומר
המכשיר למדידת המשקל	דינמומטר (מד-כוח) בלבד	מאזניים ודינמומטר
יחידות המשקל	ניוטון, דין	קילוגרם, גרם, טון ועוד

טבלה 1: מאפייני המושג היומיומי "משקל" בהשוואה

ילדים" - (Osborne et. Al., 1983) Children's Science "Phenomenological Primitives" ובקיצור, "P-Prims" (Disessa, 1983) ועוד. הכינוי שבו משתמשים החוקרים מעיד לעתים על התייחסותם לתפיסות אלו, אך לעתים משמש הכינוי כשם קוד בלבד. במאמר הנוכחי מכונות תפיסות אלו בשמן הנפוץ ביותר "תפיסות שגויות", בלי ששם זה יעיד על התייחסות שלילית אליהן. במהלך 40 השנים האחרונות התקיימו כנסים רבים שעסקו בתפיסות אלו ופורסמו אודותיהן מאמרים רבים (גם בעברית)³. ממצאי המחקרים האלו מעידים על כך שהתלמידים אינם מגיעים ללמידת מושגים מדעיים בבית הספר כלוח חלק, אלא הם מגיעים מצוידים ברעיונות ובתפיסות שנוצרו אצלם עקב התנסויותיהם בחיים ובעקבות למידה קודמת במסגרות פורמליות ובלתי פורמליות. התברר גם שלרוב, התפיסות השגויות בנושא מסוים אינן נחלת התלמיד היחיד, אלא נפוצות מאוד בקרב תלמידים רבים בני אותו גיל. החוקרים השונים הגיעו למסקנה כי חלק גדול מהתפיסות השגויות הן 'הגיוניות' מנקודת מבטם של התלמידים ולא נוצרו 'במקרה' עקב 'תקלה' במהלך ההתפתחות או הלמידה. חלק מהתפיסות השגויות שבהן מחזיקים תלמידים, הן תפיסות מוקדמות (Preconceptions) הנוצרות כתוצאה מהתנסויותיהם של התלמידים בעולם לפני הלמידה הפורמלית בבית הספר, (למשל: התפיסה שלפיה הארץ היא שטוחה); אבל התברר שתפיסות שגויות רבות נוצרות במהלך הלמידה בבית הספר (למשל: תלמידים רבים חושבים ש"[צמחים מבצעים פוטוסינתזה ביום וגושים בלילה](#)").

תפיסות שגויות הנובעות מן העובדה שלמונח מסוים יש משמעות שונה בשפה היומיומית ובשפה המדעית

תפיסות שגויות רבות נוצרות במהלך שיעורי המדע בבית

3 חוקר בשם Reinders Duit מפרסם ביבליוגרפיה מקיפה (המתעדכנת מדי פעם בפעם) המתעדת את המחקר שנעשה על תפיסותיהם של תלמידים ומורים בהקשר למושגים מדעיים. בגרסה האחרונה שפורסמה במרץ 2009 מופיעים למעלה מ-8400 כותרים! 4 ההגדרה של המונח "משקל" אינה חד-משמעית בפיזיקה, כפי שחושבים מורים רבים. יש המגדירים את המשקל של גוף כשם נרדף לכוח הגרביטציה, אך יש המגדירים אותו ככוח שמפעיל גוף מסוים על התמיכה שלו. ראו לדוגמה: גלילי תשנ"ה 1995.



האם על התלמידים להחליף את המונח היומיומי 'משקל' המבטא את כמות החומר במונח המדעי 'מסה'?

במבט ראשון עשויה שאלה זו להיראות תמוהה. מורים רבים ישיבו בחיוב לשאלה זו. בהשתלמות מורים אמרה אחת המורות: "ודאי שעל התלמידים להחליף את המונח היומיומי 'משקל' כביטוי לכמות החומר במונח המדעי 'מסה', שכן המונח היומיומי 'משקל' הינו תפיסה שגויה, ואילו המונח 'מסה' הוא המונח המדעי הנכון והמדויק לביטוי כמות החומר!".

לדעתי, תשובה זו לוקה בשני כשלים; כשל מדעי וכשל פדגוגי: 1. **כשל מדעי** - משמעותו המדעית של המונח 'מסה' אינה חד-משמעית, כפי שסבורים בטעות מורים רבים,

שכן [למונח זה יש משמעויות](#)

[שונות הן בפיזיקה והן בכימיה](#).

מדוע, אם כן, אנו בוחרים רק באחת מהמשמעויות המדעיות של המונח 'מסה' ואיננו מלמדים את כולן?

2. **כשל פדגוגי** - אם יש להחליף את המונח 'משקל' במונח 'מסה' כדי שלא תיווצר תפיסה שגויה - אז מדוע לחכות עד כיתה ז? מדוע לא לעשות זאת בכיתה ג? ואולי

בגן הילדים? מדוע מסכימים רוב המורים שבגן הילדים ישתמשו במונחים 'פינת שקילה' ו'משקולות', ואין הם טוענים כי צריך להחליפם ב'פינת השוואת מסות' וב'גופי מדידה'?

כדי לנקוט עמדה בשאלת ההחלפה של תפיסות שגויות בתפיסות המדעיות המקובלות, יש להקדים ולברר מהו היחס הראוי לתפיסות השגויות.

במהלך שיעורי המדע בבית הספר מצופה מהתלמידים לאמץ את המשמעות המדעית של מונחים אלו, אך לעתים קרובות הם ממשיכים להחזיק במשמעות היומיומית של המונח, ותופעה זו היא המקור לתפיסות שגויות רבות שעלולות לחבל בתהליך הלמידה ([ברנד, תשנ"ג](#); [1992; יחיאלי, תשנ"ז 1997](#)). לאור זאת ברור מדוע חשוב מאוד שהמורים יהיו מודעים לידע הקודם שאתו מגיעים התלמידים ללמידת מושגים מדעיים.

מהו הידע המוקדם הרלוונטי שאתו מגיעים תלמידים ללמידת המושג 'מסה'?

רוב התלמידים המגיעים לכיתה ז אינם מכירים את המונח 'מסה', שכן כמעט ואין משתמשים במונח זה בשפה היומיומית. אך התלמידים המגיעים לכיתה ז אינם 'לוח

חלק' בכל הנוגע לדרכים לביטוי כמויות של חומרים. הואיל ולמונח 'משקל' יש משמעות יומיומית, הרי הוא מוכר לתלמידים. התלמידים יודעים מניסיונם שניתן לבטא כמויות של חומרים באמצעות המושג 'משקל' (וגם באמצעות המושג 'נפח') שהרי הם נשקלים מדי פעם, והם קונים - או מתלווים להוריהם בקניית מוצרים במרכולים ובשווקים. אם נראה

להם שקית עם קמח, למשל, ונשאל אותם "כמה קמח יש בשקית?", הרי רובם ככולם יציעו לנו לשקול את השקית. אנו רואים, אם כן, שתלמידי כיתה ז מכירים את המושג היומיומי 'משקל'. התלמידים מכירים את מכשירי המדידה שבהם נהוג למדוד משקל בחיי יומיום וגם את היחידות שבאמצעותן נהוג לבטא את המשקל בחיי יומיום.

כדי לנקוט עמדה בשאלת ההחלפה של תפיסות שגויות בתפיסות המדעיות המקובלות, יש להקדים ולברר מהו היחס הראוי לתפיסות השגויות.



מהו היחס הראוי לתפיסות השגויות?

תפיסות שגויות הן בראש ובראשונה 'תפיסות'. כל אדם יוצר לעצמו תפיסות 'מדעיות' כתוצאה מהתנסויותיו בעולם, ותפיסות אלו משמשות את האדם לצורך תפקודו בעולם. אחדות מהתפיסות היומיומיות האלו תואמות את התפיסות המדעיות המקובלות, אך תפיסות רבות אינן תואמות את התפיסות המדעיות המקובלות (אלו הן, ככתוב לעיל, התפיסות השגויות). יש לזכור שהתפיסות השגויות אינן טעויות אקראיות. תפיסות אלו הן תוצאה של למידה משמעותית, והמחזיקים בהן סבורים שהן נכונות, ולכן ימשיכו להחזיק בהן כל עוד משהו או משהו לא יגרום להם להחליפן. לדוגמה, אנשים רבים (ולא רק תלמידים) סבורים



כי חפצים דוממים שונים הנמצאים באותו חדר (למשל, כף העשויה ממתכת וכף העשויה מעץ) הם בעלי טמפרטורה שונה. זו כמובן תפיסה שגויה שכן כל החפצים הדוממים הנמצאים באותו חדר הם בעלי אותה טמפרטורה. אך זו תפיסה 'הגיונית' מאוד שנוצרה בתהליך של למידה משמעותית - שכן כאשר אנו נוגעים בידינו בשתי הכפות, אנו מרגישים שהמתכת 'קרה' יותר מהעץ. אנשים - גם סטודנטים לפיזיקה או בעלי השכלה בתחום אחר (ראו

למשל, Karltan, 2000) - יכולים לחיות עם תפיסה שגויה זו עד 120 שנה ולתפקד היטב בחיי היומיום. במהלך חייו ולימודיו אנו מחליפים חלק מהתפיסות השגויות בתפיסות המדעיות המקובלות. החלפה זו נעשית בדרך כלל כאשר אנו נעשים מודעים לכך שאנו מחזיקים בתפיסות שגויות, וכאשר התפיסות השגויות הללו מפריעות לנו.

מהו היחס הראוי לתפיסה השגויה 'משקל' כביטוי לכמות החומר?

כפי שנכתב לעיל, התלמידים המגיעים לכיתה ז יודעים מניסיונם שניתן לבטא כמויות של חומרים באמצעות המושג היומיומי 'משקל'. מושג זה משמש בהצלחה את כולנו בהקשרים יומיומיים רבים. אדם יכול לחיות כל חייו ולתפקד היטב בעולם עם התפיסה שניתן לבטא כמויות של חומרים באמצעות המושג 'משקל'. מבחינה פיזיקלית זו אכן תפיסה שגויה, אך היא 'הגיונית' מנקודת המבט היומיומית ומשרתת אותנו היטב בהקשרים יומיומיים. מדוע, אם כן, מופיע המושג 'מסה' בתכניות לימודים? משום שהוא מושג פיזיקלי, ויש ללמוד אותו לצורך לימוד הפיזיקה ברמה מסוימת; כלומר, יש להחליף את התפיסה היומיומית של המושג 'משקל' כמבטא את כמות החומר, בתפיסה המדעית של המושג 'מסה' כמבטא את כמות החומר.

מתי ובאילו תנאים יחליף האדם את תפיסותיו המדעיות השגויות בתפיסות המדעיות המקובלות?

כפי שנכתב לעיל, לעתים האדם מחליף את התפיסות השגויות שבהן הוא מחזיק בתפיסות המדעיות המקובלות. הספרות בהוראת המדעים מלמדת אותנו שהאנשים הלומדים יכולים לשנות את המושגים שלהם בצורה משמעותית ולהחליפם באחרים, בתנאי שמשכנעים אותם בסיבות שבגללן מוטב לזנוח את מושגיהם הישנים ולהחליפם באחרים. תהליך זה מכונה בספרות המקצועית בשם 'שינוי תפיסת' (Conceptual Change), ואחד המודלים לתיאור תהליך זה הוא המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו (Posner et. al., 1982).



במעבר (לירח). אנו יודעים שאדם נעשה 'קל' יותר כאשר הוא נמצא בברכה או כאשר הוא נמצא במעלית המאיצה כלפי מטה (למרות שגם במקרים אלו כמות החומר בגופו אינה משתנה) וכד'. כלומר, החלפת המושג היומיומי 'משקל' במושג המדעי 'מסה' נעשתה אצלנו בצורה משמעותית, כי הבנו **מדוע יש צורך במושג 'מסה' ואי אפשר להסתפק במושג 'משקל'**. הוא הדין עם תלמידינו. אם אנחנו רוצים שתלמידינו יחליפו בצורה משמעותית את המושג היומיומי 'משקל' כמבטא את כמות החומר במושג המדעי 'מסה' - אנחנו צריכים לשכנע אותם **מדוע יש צורך במושג 'מסה' ומדוע לא ניתן להסתפק במושג 'משקל'**. לאור זאת ברור מדוע הדרך שבה מוצג המושג 'מסה' בספרים 'אל תוך החומר' ועולם של חומר' אינה מתאימה לעידוד תהליך של שינוי תפיסתי. בספרים אלו אין התייחסות לידע המוקדם שהתלמידים מביאים ללמידת המושג 'מסה', ומושג זה מוצג כקביעה, "כמות החומר נקראת מסה"⁵. מאחר שאין בספרים אלו התייחסות לשאלה: "מדוע היה צורך במושג 'מסה' כביטוי לכמות החומר, ואי אפשר היה להסתפק במושג היומיומי 'משקל'?", הרי שהדרך שבה מוצג המושג 'מסה' בספרים אלו עלולה להוביל ללמידת שינוי! מדוע יאמצו תלמידים את המושג 'מסה' כביטוי לכמות החומר? האם רק משום שכך כתוב בספר הלימוד או משום שהמורים עומדים על כך? באחת הכיתות שבהן לימדתי לפני שנים רבות, אמר אחד התלמידים לאחר שדפדף בספר 'אל תוך החומר' והגיע לעמוד 76: "המורה, למה כתוב בספר שבמאזניים מודדים מסה - הרי במאזנים שוקלים!".

לאור זאת, ברור מדוע אני מתנגדת נמרצות לדבריו של ד"ר צחי מילגרום (שהובאו לעיל) "אמנם, אין זה מתאים להסביר מדוע אין המשקל מתאים למטרה זו". לדעתי, **חייבים להסביר לתלמידים מדוע אין המשקל מתאים**

המודל מציע ארבעה תנאים להחלפת המושגים המושרשים במושגים אחרים:

1. על האדם להבין את המשמעות של המושג החדש.
2. על המושג החדש להיראות לו סביר, ועליו להתקבל על דעתו.
3. על המושג החדש להיות פורה.
4. על האדם לחוש אי שביעות רצון מתפיסותיו הקיימות⁵.

לצורך הדיון במושג 'מסה' נראה לי שהתנאי הרלוונטי ביותר של המודל הוא התנאי השני, ה'התקבלות על הדעת' (Plausibility). מתנאי זה משתמע שכדי שהאדם יחליף בצורה משמעותית מושג שהוא מחזיק בו - על המושג החדש להתקבל על דעתו, ועל האדם להשתכנע שיש סיבות טובות להחלפת המושג הישן במושג ה'חדש'.

מתי ובאילו תנאים יחליף האדם את התפיסה השגויה 'המשקל' - כביטוי לכמות החומר' בתפיסה המדעית המקובלת 'המסה' - כביטוי לכמות החומר?

כדי שנכיר ונבין את התהליך האמור לעבור על תלמידים המחליפים בצורה משמעותית את התפיסה השגויה 'המשקל' - כביטוי לכמות החומר' בתפיסה המדעית המקובלת 'המסה' - כביטוי לכמות החומר, ראוי שנענה על השאלה הזו: אם אמנם אנו המורים מחזיקים בצורה משמעותית במושג 'מסה' - מה גרם לנו לזנוח את המושג 'משקל' ולהחליפו במושג 'מסה'? הרי כל אחד מאתנו החזיק בשלב מסוים בחייו במושג 'משקל' כמדד לכמות החומר, אז מדוע אנחנו משוכנעים כיום שיש צורך במושג 'מסה'? אנו משוכנעים בכך, כי למדנו שהמשקל משתנה במקומות שונים ביקום, וכי המסה נשארת קבועה. אנו יודעים למשל, שהמשקל של אדם בירח נמוך יותר ממשקלו בכדור הארץ (למרות שכמות החומר בגופו של האדם אינה משתנה

5 ראו תרגום ועיבוד של מודל זה אצל יחיאלי ונוסבוים, תשנ"ה 1995 פרק ו', וכן ביחיאלי תשס"ז 2007.
6 בספר 'אל תוך החומר' יש אמנם התייחסות למושג 'משקל', אך ההתייחסות אליו היא לא כאל ידע קודם אלא כאל ידע שגוי שעל התלמידים לזנוח. "שימו לב: כאשר בחיי יומיום אנו קוראים לכמות החומר 'משקל', אנחנו לא מקפידים להשתמש במונח הנכון. למילה משקל יש מובן אחר..." (אל תוך החומר, עמ' 79). כלומר, המונח 'מסה' מוצג כמונח ה'נכון', ואילו המונחים 'משקל' ו'משקולות' מוצגים כידע שגוי. לאחר מכן מוצגת שאלה 11: "בררו בבית, איזו מסה של תפוזים אתם נוהגים לקנות מדי פעם? של תפוחי אדמה? של עגבניות?". האם כותבי השאלה נתנו את דעתם לשאלה מה יקרה כאשר התלמידים אכן יבררו זאת בבית? האם מיהרו בעולם קונה מסה של תפוזים???



ורצוי שהמורים יתייחסו אליהן באמפתיה (לדוגמה: "אכן, בחיי יומיום אנו רגילים לבטא את כמות הקמח בשקית באמצעות המושג 'משקל' וכדומה).⁷

בשלב הבא מומלץ שהמורים ישאלו את התלמידים אם הם יודעים מה יקרה למשקל של שקית הקמח או למשקל של התלמיד אם הם יוטסו לירח או לגרם שמים אחר? מניסיוני, תלמידים רבים בכיתה ז' יודעים את התשובה לשאלה זו בעקבות חשיפה לסרטים ולמשדרים שבהם נראים האסטרונאוטים על הירח. מומלץ להשתמש באתרים ובסרטונים הממחישים את השתנותו של המשקל על גרמי שמים אחרים.⁸ כמו כן ניתן להמחיש לתלמידים שהמשקל משתנה, למשל, בעת עלייה או ירידה במעלית מהירה, כשנמצאים בתוך מים בבריכה למשל, או במקומות שונים על פני כדור הארץ. ניתן גם להתחיל את הדיון הכיתתי באמצעות צפייה בסרטונים אלו ולברר מה התופעה המוצגת בהן וכדומה.

בשלב זה מומלץ שהמורים יציגו את השאלה: האם כמות החומר שבשקית הקמח או בגופו של התלמיד השתנתה במעבר לירח, לבריכה או למעלית? התלמידים ודאי יסכימו שהתשובה היא שלילית. ואז המורים יציעו את המסקנה לפיה המושג 'משקל' אינו יכול לשמש מדד לכמות החומר, שכן בירח, על גרמי שמים אחרים, במעלית, בבריכה ובמקומות שונים על פני כדור הארץ, המשקל משתנה למרות שכמות החומר אינה משתנה. המורים והתלמידים יגיעו יחד למסקנה שיש צורך במושג מיוחד לתיאור כמות החומר של הגוף - ואז המורים יציגו את המושג 'מסה'.

לביטוי כמות החומר, שכן ללא הבנה זו - התלמידים ילמדו את הגדרת המושג 'מסה' בצורה לא משמעותית. הם אולי יידעו לשנן אותה, אבל לא יבינו אותה!

מהי למידה משמעותית והוראה משמעותית של המושג 'מסה'?

ככתוב לעיל, כדי שהתלמידים יחליפו את המושג היומיומי 'משקל' כמבטא את כמות החומר במושג המדעי 'מסה', עליהם להבין מדוע יש צורך במושג 'מסה' ואי אפשר להסתפק במושג 'משקל'.

לשון אחרת, עליהם להבין ולהשתכנע במגבלותיו של המושג היומיומי 'משקל' כמדד לכמות החומר (ראו לדוגמה: 'כוח משקל ומסה' עמ' 43 ואילך). לא ניתן לעודד הבנה כזו על ידי הצגת ההגדרות המדעיות של המושגים 'מסה' ו'משקל' בצורה דוגמטית, אלא באמצעות דיון כיתתי שיתנהל באווירה נינוחה (באמצעות שיטות הוראה מתאימות, לדוגמה: 'הוראה דיאלוגית' (רון, תשנ"ג 1993) או 'משא ומתן כיתתי' (יחיאלי ונוסבוים תשנ"ב 2002). יש דרכים שונות שבהן המורים יכולים להציג את מגבלותיו של המושג היומיומי 'משקל' כמדד לכמות החומר. לדוגמה: המורים יכולים להציג בכיתה גוף מסוים (למשל: שקית קמח או אפילו את אחד התלמידים) ולשאול את התלמידים: כיצד נבטא את כמות הקמח שבשקית או את כמות החומר שבגופו של התלמיד? סביר להניח שהתלמידים יציעו לשקול את השקית או את התלמיד, אלו הן תשובות ראויות מנקודת מבטם של התלמידים,

7 הואיל ולמונחים רבים יש משמעות יומיומית השונה מהמשמעות המדעית המקובלת - מומלץ להציע לתלמידים להכין בדף האחרון של המחברת טבלת השוואה שבה יופיעו המונחים שיש להם משמעות שונה בשפת המדע ובשפת יומיום. כל פעם שילמד מונח כזה - הוא יתווסף לטבלה. טבלה לדוגמה

שם המושג	משמעותו בשפה היומיומית	משמעותו בשפה המדעית
משקל	כמות החומר הנמדדת במאזניים	כוח המשיכה המופעל על הגוף (זו הגדרה אחת, ויש הגדרות נוספות)
עבודה	עשייה הכרוכה במאמץ גופני או רוחני	כוח כפול דרך.
יצור חי	לא דומם ולא צומח	כל מה שאיננו דומם (גם צמחים)
יוד	תמיסה לחיטוי פצעים	יסוד כימי

ראו: יחיאלי, תשנ"ה 1995.

8 למשל: <http://www.exploratorium.edu/ronh/weight/>; <http://www.youtube.com/watch?v=RMINS7MmT4&feature=related>



את המודל החלקיקי בצורה משמעותית גם אם מחזיקים בתפיסה היומיומית שלפיה ה'משקל' הוא ביטוי לכמות החומר. כדי לבדוק טענה זאת, ביצעתי לפני שנים רבות מיני-מחקר. נתתי לתלמידיי לענות על כל השאלות מהסוג של 'אני בוחן את עצמי' המופיעות בספר 'אל תוך החומר', אבל בכל מקום שבו היה כתוב 'מסה' החלפתי ב'משקל', והתברר שתלמידיי הצליחו לענות על כל השאלות באופן נכון. מכאן הסקתי שאין צורך במושג 'מסה' כדי להבין את המודל החלקיקי של החומר (כפי שהוא מוצג בספר 'אל תוך החומר'), ואפשר להסתפק בתפיסה היומיומית שיש לתלמידים (כמות החומר = משקל), למרות שהיא אינה מדויקת מבחינה מדעית. זו הסיבה שבספר 'מבנה החומר - ריק וחלקיקים' המושג 'מסה' אינו מופיע, וכמות החומר מוגדרת בספר זה במושגים של 'נפח' ו'משקל'. בשנים האחרונות, בעקבות הפעלתם של מבחני המיצ"ב והמבחנים הבינלאומיים, נדרשים התלמידים בכיתה ז להכיר את המושג 'מסה' (הוא מופיע במסמכים הכלולים במפרט המיצ"ב, למשל). מבדיקת השאלות שהופיעו עד עתה במבחני המיצ"ב במדע וטכנולוגיה ובמבחנים הבינלאומיים, עולה שהתלמידים אינם אמורים להבין בצורה משמעותית את המושג 'מסה', אלא רק לשנן את העובדה שמדובר בכמות החומר⁹. בשל הסיבה שהמונח 'מסה' מופיע במבחנים הללו - אני סבורה שכיום יש ללמד אותו בכיתה ז, אך יש לעשות זאת בצורה משמעותית כפי שהוצע לעיל.

כמושג שהקהילה המדעית קבעה לתיאור כמות החומר של גופים. המסה של הגוף משתנה רק כאשר חומר נוסף לגוף או נגרע ממנו, אבל היא אינה משתנה כאשר הוא עובר ממקום למקום. לעומת זאת משקלו של הגוף התלוי בכוחות הפועלים עליו, משתנה ממקום למקום בהתאם לכוחות הפועלים על הגוף.

באיזה גיל מומלץ לעודד את החלפת המושג היומיומי 'משקל' כביטוי לכמות החומר במושג המדעי 'מסה'?

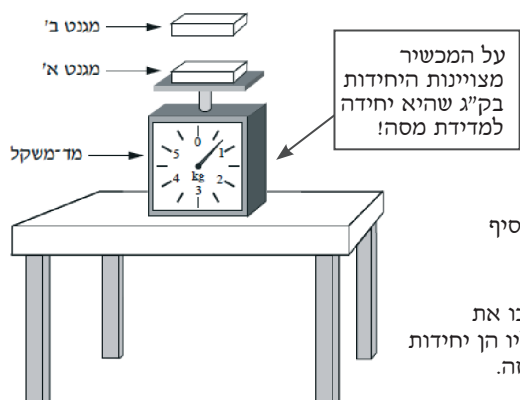
כפי שצוין לעיל - לכולנו יש תפיסות שגויות בנושאים שונים. מאחר שהתפיסות השגויות משרתות אותנו היטב, יש לשאול לגבי כל תפיסה ותפיסה: באיזה גיל ראוי להחליף את התפיסה השגויה בתפיסה המדעית המקובלת? כדי לענות על שאלה זו ראוי להתייחס לשאלות הבאות:

1. האם התפיסה השגויה מפריעה להמשך הלמידה, והאם תהליך השינוי התפיסתי נחוץ בשלב זה?
2. האם התלמידים בגיל המסוים יכולים להחליף משמעותית את התפיסה השגויה בתפיסה המדעית המקובלת? אנסה לענות על שתי השאלות הללו בהקשר להחלפת המושג היומיומי 'משקל' במושג המדעי 'מסה'.

1. הנושא העיקרי הנלמד בתחום הפיזיקה-כימיה בכיתה ז לפי תכנית הלימודים הוא המודל החלקיקי של החומר. כדי להבין נושא זה ברמה הדרושה לתלמידי כיתה ז, אין צורך להכיר את המושג 'מסה'. ניתן ללמוד

9 מבדיקת מבחני המיצ"ב במדע וטכנולוגיה ובמבחנית המבחנים הבינלאומיים עולה כי גם כותבי המבחנים לא תמיד מקפידים על השימוש במשמעות המדעית של המונחים. להלן כמה דוגמאות:

- באחד הפריטים המשוחררים מהסקר הבינלאומי במדעים (TIMSS) 2008 שעסק במלך שנתן גוש זהב לצורך לשם הכנת כתר, כתוב: "He weighed the crown and it had the same mass as the original block 2400 grams" כלומר, המלך שקל את הכתר והמסה שלו הייתה כמו זו של הגוש המקורי, 2400 גרם.
 - באחד הפריטים המשוחררים מהסקר הבינלאומי במדעים (TIMSS) 2007 מצויר מד משקל. למרות זאת, בגרסה האנגלית מכונה המכשיר פעם אחת בשם "balance" ופעם בשם "scale", ואילו בגרסה העברית מכונה המכשיר בשם "מאזניים".
 - בשאלה 2 במשימה 3 במיצ"ב של שנת תשס"ב כתוב: באיזה צד של המאזניים גיא צריך להוסיף משקולות, כדי שהמאזניים יחזרו להיות מאוזנים?
 - במבחן המיצ"ב של שנת תשס"ח הופיע האיור הבא:
- מכשיר המדידה הוא אמנם המכשיר המכונה בשפת יומיום בשם 'משקל', אך ניתן למדוד בו את המשקל גם במשמעות המדעית. אעפ"כ לא שמו לב כותבי המבחן שהיחידות המצוינות עליו הן יחידות של קילוגרם, שאינן מתאימות לביטוי המושג המדעי 'משקל'. זוהי רק דוגמה אחת לעניין זה.





למשל: המכניקה הניוטונית היא שגויה מנקודת מבטה של הפיזיקה המודרנית. אף על פי כן אי אפשר ללמוד פיזיקה מודרנית אם לא לומדים קודם לכן את המכניקה הניוטונית. כשאדם לומד פיזיקה מודרנית, הוא מחליף את תפיסותיו הקודמות בתפיסות המדעיות המקובלות. הוא הדין לגבי מושגים מדעיים רבים אחרים. (ראה: [מידב וחוברין, תש"ס 2000](#)).

לדעתי, בגן הילדים ובבית הספר היסודי ראוי לדבר על המושג 'משקל' ולא לחשוש שבכך יתקבעו תפיסות שגויות. חשוב מאוד שהתלמידים בגן הילדים ובבית הספר היסודי יעסקו בשקילה במאזניים ויכירו את היחידות המשמשות בחיי יומיום לביטוי המשקל (קילוגרם, גרם, טון). כשתלמידים אלו יגיעו לכיתה ז' - נקווה שייחשפו לתהליך הוראה משמעותי ובמהלכו הם יחליפו את המושג היומיומי 'משקל' לביטוי לכמות החומר במושג המדעי 'מסה'. החשש המוגזם (לדעתי) מפני ההתקבעות של המושג 'משקל' לביטוי לכמות החומר, גרם לכך שבמסמכי תכנית הלימודים של בית הספר היסודי המושג 'משקל' אינו נזכר כלל ובמקומו מופיע מונח 'כמות החומר' הנמדדת במאזניים. זאת למרות שמתכוונים למשמעות היומיומית של המונח 'משקל', אבל אין מעיזים לומר זאת בפירוש.

[במפרט התכנים של התכנית ב"מדע וטכנולוגיה"](#) לכיתות ג-ד בנושא "הכרת חומרים, תכונותיהם, מיונם ושימושים בהם" מופיע ההיבט המדעי - "חומר (גז

נוזל ומוצק) תופס מקום (מושג הנפח)", ואין התייחסות

2. האם התלמידים בכיתה ז' יכולים ללמוד את המושג 'מסה' בהצלחה ובצורה משמעותית? מניסיוני - התשובה היא חיובית. תלמידי כיתה ז' יכולים בהחלט להבין מדוע המושג היומיומי 'משקל' אינו מתאים לביטוי לכמות החומר ויש צורך להחליפו במושג 'מסה'. אין טעם לנסות ללמד את המושג בגן הילדים ובבית הספר היסודי, שכן רוב התלמידים בגיל זה אינם בשלים לעבור את התהליך של השינוי התפיסתי מהמושג 'משקל' למושג 'מסה'.

כיצד ניתן להעריך אם למדו התלמידים את המושג 'מסה' בצורה משמעותית?

לאור הדברים שנכתבו לעיל, ברור שידיעת ההגדרה המדעית של המושג 'מסה' או ידיעת היחידות של המסה אינה יכולה להיחשב כעדות ללמידתו המשמעותית של מושג זה¹⁰. כדי לבדוק אם התלמידים יודעים את המושג 'מסה' בצורה משמעותית, יש להשתמש בפרטי הערכה שיבדקו אם התלמידים מבינים מתי משתמשים במושג 'משקל' ומתי משתמשים במושג 'מסה' ומדוע אי אפשר לכנות את כמות החומר בשם 'משקל' ויש צורך להשתמש במושג 'מסה'¹¹.

כיצד ראוי לבטא את כמות החומר בגן הילדים ובבית הספר היסודי?

אנו יודעים כי למידה משמעותית של מושגים מדעיים רבים מתחילה עם תפיסות משמעותיות אך שגויות. בהמשך הלמידה תפיסות אלה אמורות להתחלף בתפיסות המדעיות המקובלות

האנשים הלומדים יכולים לשנות את המושגים שלהם בצורה משמעותית ולהחליפם באחרים, בתנאי שמשכנועים אותם בסיבות שבגללן מוטב לזנוח את מושגיהם הישנים ולהחליפם באחרים

10 מבדיקת מבחני המיצ"ב ומבחינת המבחנים הבינלאומיים עולה שזו היו מחליפים את המילה "מסה" במילה "משקל" ברוב המוחלט של השאלות - לא הייתה כל בעיה לענות עליהן באופן נכון.

11 לצערי, לא מצאתי פריטים כאלו במבחני המיצ"ב ובמבחנים הבינלאומיים. שאלות לדוגמה יכולות להיות אלה:
1 שחר אמר למעין שהוא שמע כי בירח האדם שוקל 1/6 ממשקלו על פני כדור הארץ והוא אינו מבין כיצד זה יכול להיות. האם כמות החומר בגופו של האדם קטנה כאשר הוא טס לירח? השתמשו בתשובותיכם במילים מסה ומשקל.

2 בוויכוח בין רות לטל טענה רות כי כשרוצים לציין כמויות של חומרים, מציינים את ה'מסה' שלהם, ואילו טל טענה כי כשרוצים לציין כמויות של חומרים, מציינים את ה'משקל' שלהם. מי מהן צודקת? נמקו את תשובתכם.

3 המוכר בשוק טוען שהוא מוכר תפוזים לפי משקל, ואילו המורה טוענת שהוא מוכר תפוזים לפי מסה. מי מהם צודק? נמקו את תשובתכם.



בשפה המדעית גם בהקשרים יומיומיים. תפקוד מושכל מתבטא, לדעתי, בכך שהאדם מתאים את תפקודו (למשל: שפה והתנהגות) למקובל בהקשר המסוים. מי שישתמש בהקשר יומיומי במונח "מסה" כדי לאפיין, לדוגמה, את כמות החומר בגופו או את כמויות החומרים במתכון לעוגה - עלול להיות לא מובן ולהישמע מגוחך. דברים אלו רלוונטיים גם להוראת מדעים. חשוב וראוי שהתלמידים יבחינו בין הקשרים מדעיים (שבהם יש להשתמש במונח "מסה" כמדד לכמות החומר) לבין הקשרים יומיומיים (שבהם יש להשתמש במונח "משקל" כמדד לכמות החומר)¹³.

סיכום

חוקר החינוך [צבי לם](#) טוען: "הילד אשר למד הלכה למעשה תכנים מתכנים שונים... ולא למד להבחין ביניהם מבחינת ההתייחסות המתאימה להם, אינו שליט על ידיעותיו; אם נשתמרו בו - הן שולטות בו. עמדה אוטונומית של היחיד לגבי מה שהוא יודע מותנית ביכולתו לבחון את הידוע לו ולהחליפו, כאשר בחינתו מחייבת לעשות זאת...".

אינדוקטרינציה: הקנייה של דעת בלי לצייד את הלומד בכלים הדרושים לבחינתה. דעה מן הסוג הזו נוטה להתגלגל למה [שוויטנד](#) (תשי"ח 1958) כינה בשם "דעת אינרטי", כלומר: דעת המצויה בתודעה אך אינה משמשת את המחזיקים בה בשעת חשיבתם" (לם, תשנ"א 1991). אני סבורה שאסור לנו ליצור תדמית אינרטי של הידע המדעי, הן האישי והן הכללי. עלינו להיות מסוגלים להחליף כל ידע שיש לנו בידע אחר, אם נשוכנע בצורך בכך. מה שחשוב הוא שגם כשתלמידנו יחליפו את מושגיהם (כגון: החלפת 'משקל' ב'מסה'), הם לא יעשו זאת בצורה שרירותית באמצעות דקלום ושיון, אלא יבינו את מגבלות המושג שבו החזיקו עד עתה ומדוע רצוי שיחליפו אותו במושג המדעי המקובל.

למשקל. בהיבט הטכנולוגי כתוב: "אמצעים למדידת כמויות של חומרים: שימוש במאזניים". אין התייחסות למשקל, אבל מדובר על שימוש במאזניים. מה הם מצפים שימדדו במאזניים? כדי לא לומר את המושג 'משקל', נעשה שימוש במושג 'כמות של חומר' שאינו מושג מדעי כלל ועיקר! לדעתי זו טעות חמורה. גם [בציוני הדרך בנושא "חומרים ותכונותיהם" לכיתות ג-ד](#) המופיעים במסמך הסטנדרטים כתוב: "נפח וכמות - התלמידים יציגו שכל הגופים תופסים מקום (נפח), ויש להם כמות חומר שניתנת למדידה. התלמידים ימדדו נפח נוזלים באמצעות משורה, יציגו יחידות מידה לנפח (סמ"ק, ליטר), ישוו בין הנפחים ויקשרו בין המדידה לבין מושג הנפח. התלמידים ימדדו כמויות חומרים באמצעות מאזניים, ישוו בין הכמויות ויציגו את היחידות (ק"ג, גרם)".

האם התלמידים בכיתות ג-ד אינם מכנים את פעולת המדידה במאזניים בשם 'שקילה'? מה יאמרו מורים לתלמידים שיטענו שהם שוקלים במאזניים? האם יאמרו להם: "לא נכון, המאזניים מודדים את כמות החומר"? האם 'כמות החומר' הוא מושג מדעי???

האם ראוי להשתמש במונח "מסה" במקום המונח "משקל" גם בהקשרים יומיומיים?

לדעתי, יש לענות על שאלה זו בשלילה. כפי שנכתב לעיל, אדם יכול לחיות עד 120 ולתפקד היטב בעולם עם התפיסה שניתן לבטא כמויות של חומרים באמצעות המונח 'משקל'. בהקשרים יומיומיים - על אריזות של מוצרים, ב"טיפת חלב", [בדואר חבילות](#), בהקשר לדיאטה¹² וכדומה - משתמשים במונח "משקל" וביחידות של גרם ושל קילוגרם כביטוי לכמות החומר. שימוש זה נעשה גם על ידי פיזיקאים (שוודאי יודעים את המשמעות המדעית המקובלת של מונח זה). אני סבורה שתפקוד מושכל של אדם בעל ידע מדעי, אינו מתבטא בכך שהוא משתמש

12 אחת ממשימות PISA עסקה ב"דיאטת שוקולד", ומדובר בה על משקל הנמדד בקילוגרמים.
13 מורים אחדים מציעים להציג בפני התלמידים את המושג "מסה" בהקשרים יומיומיים (למשל: הכנת עוגה), כדי להגביר את המוטיבציה של התלמידים ללמידה. אני סבורה שיש בהצעות אלו טעם לפגם שכן הן עלולות "לשדר" לתלמידים שיש להשתמש במונח זה גם בהקשרים יומיומיים.



מקורות

המקצועות וגישה אחדותית בתכנון לימודים. תל אביב: מכון מופ"ת. (עמ' 87-88).

מידב, מ. קירש, י. ובן דב, י. דו קיום בין "מודלים דידקטיים" ל"מודלים מדעיים" בהוראת הפיזיקה והמדעים. תהודה 20 (2), 17-24.

נוסבובים, י. (תשס"א 2000). "מבנה החומר - ריק וחלקיקים". רחובות: מכון וייצמן

נוסבובים, י. ויחיאלי, ת. (תשנ"ה 1995), תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים. תל אביב: מופ"ת.

"עולם של חומר" (תשס"א 2001). משרד החינוך והתרבות והמרכז להוראת המדעים באוניברסיטה העברית בירושלים. תל אביב: הוצאת מעלות.

Ausubel, D. P., Novak, J.D. & Hanesian, H (1978). Educational Psychology A Cognitive View. 2nd edition. New York: Holt, Rinehart & winston.

Babai, r. & Amsterdamer, A. (2008). The Persistence of Solid and Liquid Naive Conceptions: A Reaction Time Study. Journal of Science Education and Technology, 17 (6). 553-559.

Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the Concept of Natural Selection held by Medical Biological Students. Science Education, 68 (4), 493-503.

Carey, S. (1986). Cognitive Science and Science Education. American Psychologist, 41 (10), 1123-1130.

Champagne, A., Klopfer, L. & Anderson, J. H. (1980). Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics. American Journal of Physics, 48, 1074-1079.

Disessa, A., A. (1983). Phenomenology and the Evolution of Intuition. In: D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.), Mental Models. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.

Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. Studies in Science Education, 5, 61-84.

"אל תוך החומר" (תשמ"ט 1989). משרד החינוך והתרבות והמרכז להוראת המדעים באוניברסיטה העברית בירושלים. תל אביב: הוצאת מעלות.

ברנד, ר. (תשנ"ג 1993). מושגים שגויים במדעי החומר אצל סמינריסטיות. ידיעון כימיה, טכנולוגיה וחברה, 51-52, ירושלים: המרכז הישראלי להוראת המדעים האוניברסיטה העברית. www1.snunit.k12.il/heb_journals/chimia/51001.html

גילי, י. (תשנ"ה 1995). משקל וגרביטציה - אי בהירות בהוראה, וקשיי תפיסה של תלמידים. תהודה, כרך 15, חוברת 3, 29-35. stwww.weizmann.ac.il/ptc/Tehuda/15-3/29-35.pdf

גנוט, ש. (עורכת) תשנ"ד 1993. ידיעון למורים למדעי הטבע 21. ירושלים: הוצאת מנח"י (המנהלה לחינוך ירושלים).

יחיאלי, ת. (תשנ"ה 1995). חיבורו של דני, או האם צריך לדבר בשפת ה-Sc? עלון למורי הביולוגיה, 139, 67-73. www1.snunit.k12.il/heb_journals/allon/139067.html

יחיאלי, ת. (תשנ"ז 1997). שימוש ביקורתי במילון על ידי המורים למדעים. דפים 24.

יחיאלי, ת. (תשס"ז 2007). "הקיר לא מפעיל עליי כוח - הוא סתם שם" - על הוראה ולמידה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון". קריאת ביניים, 11, 13-30.

stwww.weizmann.ac.il/tech-center/mot-net/kriat-beinaim/gilayon11/13-30.pdf

יחיאלי, ת. ונוסבובים, י. (תשס"ב 2002). "משא ומתן כחתי" כשיטת הוראה קונסטרוקטיביסטית ללמידה המודל החלקיקי של החומר - מהי ולשם מה? בתוך: יחיאלי, ת. ונוסבובים, י. "מבנה החומר - ריק וחלקיקים - מדרך למורה" נספח ד' עמ' 267-272. רחובות: מכון וייצמן

"כוח משקל ומסה" תשל"ד 1974). משרד החינוך והתרבות. תל אביב: הוצאת מעלות.

לם, צ. (תשנ"א 1991). הנחות לתכנון לימודים לגיל הילדות. בתוך: מ. זילברשטיין (עורך). מבני הדעת של



Posner, G. J., Strike, K. A. Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66 (2) 211-227.

Karlton, c. (2000). Teaching about heat and temperature. *Phys. Educ.* 35, 101.

Osborne, R.,J., Bell, B. & Gilbert, J. (1983). Science Teaching and Children's Views of the World. *European Journal of Science Education*, 5 (1), 1-14.