

## משקל וגרביטציה

### אי בהירות בהוראה, וקשיי תפיסה של תלמידים\*

יאאל אילי, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית - ירושלים

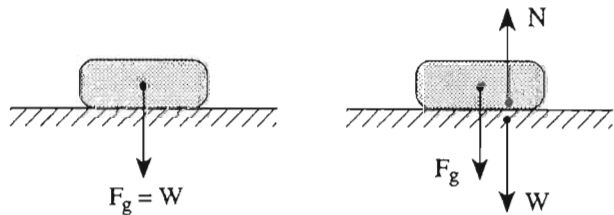
תקציר

השימוש במונח "משקל" בהוראה בחטיבה העליונה אינו חד-ערכי, דבר העלול לגרום קשיים בהבנת מושג יסודי זה ובהבנת תופעות נלוות בפיסיקה. תוצאת המחקר המובא בזה מראות אי בהירות רבה באשר לקשר בין משקל וכוח הגרביטציה, דבר הגורם לבילבול רב אצל תלמידי תיכון ופרחי הוראה. אפשר לפרש תוצאות מחקר זה כתמיכה בדרך מסויימת להצגת המושג משקל, דרך זו נפוצה עד כה בחלק קטן בלבד של ספרי לימוד אלמנטריים לפיסיקה בארצות הברית, למרות שבכרית המועצות (לשעבר) זוהי הדרך המקובלת בספרי הלימוד.

מבוא

הצטברה עדות משכנעת בדבר הבילבול הנפוץ בקרב תלמידי תיכון בעלי גיל ורקע שונים בנושא כבידה ומושגים נלווים. חוקרים רבים בארצות שונות בדקו מושגים מוטעים ובילבול בתחום זה. נושא הנראה לנו כחשוב במיוחד בהקשר זה הוא קשר הגומלין בין כח הגרביטציה ומשקל, והוא נושא המחקר המתואר בזה. נראה לנו, כי לא כל מורי הפיסיקה מודעים לדו-ערכיות הנפוצה בספרי פיסיקה רבים בהגדרת המושג משקל. זה שנים רבות מתנהל ויכוח סוער בין שתי אסכולות של מורי פיסיקה: מחד גיסא גיסא, אלה המגדירים משקל כשם נרדף לכוח הגרביטציה, ומאידך אלה המגדירים משקל כתוצאה של פעולת השקילה. הגדרה שנייה זו פרושה כוח המופעל על-ידי עצם על כף המאזניים, שולחן וכיוצא בזה, והשווה לכוח הנורמלי המופעל על ידי כף המאזניים, השולחן וכיוצא בזה על העצם. בתרשים 1 מתוארות שתי הגישות. בגישה הראשונה, משקל הוא תוצאה של האינטראקציה עם כדור הארץ בלבד, בעוד שבגישה השנייה משקל הוא תוצאה של אינטראקציה עם המשטח עליו מונח הגוף, ויכול להיות מושפע על ידי מספר גורמים דינמיים וקוונטיים, אשר כוח הגרביטציה לעיתים קרובות נמנה עליהם.

הגישה הראשונה, שכן באוניברסיטאות בארץ נפוצים תרגומים של ספרי לימוד אמריקאים, וכתוצאה מכך גם מורי הפיסיקה בבתי הספר משתמשים בתרגומים אלה. גם בבתי הספר התיכוניים אחד מספרי הלימוד לפיסיקה הנפוצים ביותר הוא של סירס-זימנסקי.



$F_g$  כוח גרביטציה  
 $W$  כוח המשקל  
 $N$  כוח אלסטי

תרשים 1: שתי הגדרות אפשרויות של משקל

לגישה הראשונה רקע היסטורי המתחיל בניוסטון עצמו; הגישה השנייה מופיעה במיעוט קטן של ספרי לימוד לפיסיקה מחוץ לברית המועצות (לשעבר). גישה זאת מתאימה לגישה של מאך (Mach) להוראות המדעים ולפילוסופיה של המדעים. הגישה השנייה נראית לנו מתאימה, גם מן הבחינה המתודית, כיוון שהיא משתמשת בהגדרה אופרטיבית, ומתאימה יותר להוראה וללימוד. בספרות הדידקטית היו נסיונות להשוות בין שתי הגישות, ולסקור את הטיעונים לטובת כל אחת מהן. אבל דיונים אלה הם בעלי אופי אקדמי בלבד. אולם הבעיה היא רלוואנטית לכל מורה לפיסיקה. לפיכך נראה לנו, כי חשוב לבדוק את הידע

מן הספרות נראה שלרוב המורים דעה נחרצת בנידון, אשר עליה הם מוכנים להגן בלהט. ראוי לציין שהחלוקה בין שתי האסכולות אינה "אידיאולוגית" בלבד, אלא גם גיאוגרפית. ברובם של ספרי הלימוד בארצות הברית (אך לא בכולם) מיוצגת הגישה הראשונה, בעוד שהגישה המסורתית בברית המועצות (לשעבר) היא השנייה. בישראל נפוצה בדרך כלל

\* תרגום חופשי ועיבוד - חנה גולדרינג, המחלקה להוראת המדעים, מכון וייצמן למדע

במהירות קבועה כלפי מטה, והנבדקים נשאלו שאלה דומה למשימה א במחקר הנוכחי: לזהות את הכוחות הפועלים על האדם במעלית ולהעיר את הערותיהם הנוגעות לכך.

### המדגם

באוכלוסיית הנבחנים הבחנו חמש קבוצות עיקריות: **קבוצה ראשונה**, להלן "צעירים" HS - 10, היתה מורכבת מ 33 תלמידי כיתה י', גילאי 15 בערך, כולם מכיתה אחת בבית ספר תיכון עירוני יוקרתי. ציפינו, שקבוצת ביקורת זו תאפשר לנו לאשר, או לפחות לתמוך, בהרגשה שהיתה לנו, ושהתבססה על תוצאות מחקרים קודמים, בדבר המושגים שיש לתלמידים בגיל זה, ממש לפני שהם מתחילים בלימוד רציני של המושגים משקל וגרביטציה במכניקה.

**קבוצה שניה**, HS-11, היתה מורכבת מ- 60 תלמידי כיתה י"א, גילאי 16 בערך, משלוש כיתות שונות בשני בתי ספר: HS 1, בית ספר תיכון עירוני רגיל, HS 2-1, בית ספר תיכון עירוני יוקרתי. נבחין בין שתי תת-קבוצות אלה על-ידי הכינויים HS 1-11 ו- HS 2-11 בהתאמה. אלה תלמידים טירונים שזה עתה סיימו את לימודי הפרקים המתאימים במכניקה בתוכנית הלימודים הרגילה. תשובותיהם שיקפו לפיכך את מצב הידע שלהם בעקבות ההוראה.

**הקבוצה השלישית**, HS-12, כללה 36 תלמידי כיתה י"ב, גילאי 18 בערך, מבית ספר יוקרתי אחד. ציפינו שהתוצאות שתתקבלנה מקבוצה זאת יראו, אם חל שינוי בידע שרכשו התלמידים ובהבנת המושגים, במשך התקדמותם בלימודי הפיסיקה.

**הקבוצה הרביעית** UPS, כללה 27 תלמידים ממכנה אקדמית, גילאי 23 ומעלה. תלמידים אלה למדו לפי תוכנית לימודים מקוצרת, שבה הושם הדגש על מושגים.

**הקבוצה החמישית** להלן "פרחי הוראה" PTTTC, כללה 42 תלמידים משלוש כיתות במכללה טכנולוגית למורים, גילאי 32 ומעלה. התלמידים היו תלמידי שנה ד', ותוכנית הלימודים שלהם היתה בעיקרה בכיוון הטכנולוגי. הרקע שלהם, במה שנוגע ללימודים תיכוניים, היה **הטרונגי**. המבחן שלנו ניתן להם כשלוש שנים אחרי שסיימו את הקורס האחרון שלהם בפיסיקה.

כל התלמידים מן הקבוצות הנ"ל "טירונים", להוציא תלמידי הקבוצה הראשונה, נחשפו לסוג ההוראה שדגל במה שקראנו לו "הגישה הראשונה" בהוראת המושג משקל, שבה אין מבחינים בין משקל וגרביטציה.

של תלמידים "טירונים" בעקבות ההוראה. אפשר יהיה אולי ליישב את הוויכוח בין שני המחנות על-ידי מחקר חדש, במקום על-ידי וויכוחי סרק לוגיים. במחקר הנוכחי ביקשנו להגיע למטרה זאת באמצעות מעקב אחר המקורות האפשריים למושגים המוטעים הנפוצים ושל קשיים בהבנה. ייתכן ואפשר יהיה להצביע על האסטרטגיה המקובלת כיום בהוראת הנושא כעל השורש לקשיים אלה, ולהמליץ כתוצאה מכך, על שינויים המתבקשים בשיטות ההוראה הקיימות. תוצאה נוספת של המחקר הנוכחי עשויה להיות הבנה טובה יותר של קשרי הגומלין בין שלושת הפנים של הוראת המדעים: השיטה המדעית, דידקטיקה, ואיכות המידע הנרכש על-ידי התלמידים.

### הכלים

מבחן עיפרון ונייר ניתן לתלמידי תיכון בגילים שונים ובעלי רקע שונה, וכן לפרחי הוראה ולתלמידי מכנה אקדמית. המבחנים ניתנו להם בכיתותיהם בשיעור רגיל. הם קיבלו שתי משימות בצורת שאלות פתוחות, איכותיות, אשר דנו בשני מצבים פיסיקליים אפשריים הקשורים לתופעה הקרויה "חוסר משקל". להחלטה לטפל רק בתופעה זו יש הצדקה משלה. מצב פיסיקלי זה מספק קרקע פוריה לבדיקת ההבנה האמיתית של כוח הגרביטציה, למן הפן הישיר ועד לבעיות היותר מורכבות. התלמידים נתבקשו להביע את דעותיהם על שני מצבים מסויימים, מצבים הנדונים במרבית ספרי הלימוד לפיסיקה, ותוך הוראת הדינמיקה בכיתה. השאלות לוו בתרשימים, שלא נביאם בזה.

**משימה א:** אדם נמצא במעלית עולה, הכבל של המעלית נקרע, וכתוצאה מכך נופלת המעלית נפילה חופשית. ציין את הכוחות הפועלים על האדם בלבד, ותאר מה לדעתך הרגיש אדם זה, **מיז אחרי היקרע הכבל, ולפני שהמעלית פוגעת בקרקע.**

**משימה ב:** אסטרונוט נמצא בלווין המקיף את כדור הארץ.

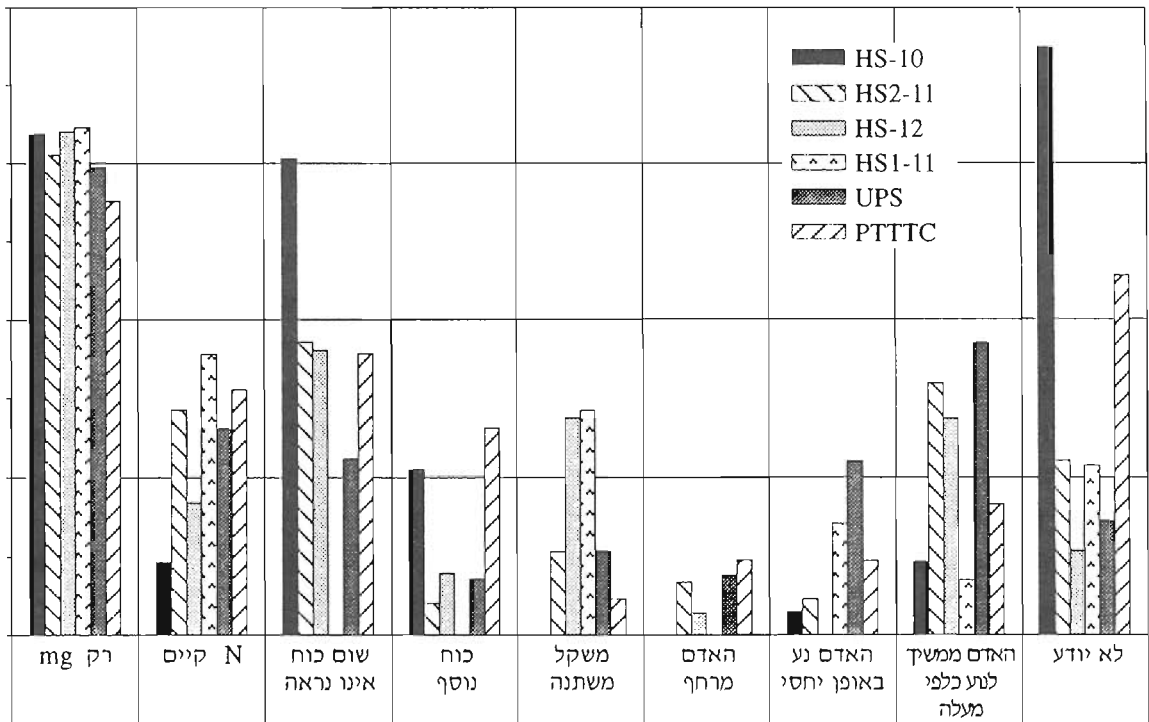
1. האם האסטרונוט מרגיש במשקל?

2. האם האסטרונוט מרגיש את כוח הגרביטציה? נמק את תשובתך.

פרט לנתונים שהצטברו מן התשובונים לשאלון זה, השתמשנו גם, לשם השוואה, בתוצאות מחקר קודם, שמטרתו היתה שונה, ואשר גם הוא התייחס להוראת המכניקה<sup>1</sup>. במחקר זה טיפלנו במקרה של מעלית הנעה

התשובות מוינו לחמש קטגוריות שונות, אשר ביניהן חפיפה מסויימת, כפי שישתבר (תרשים 2).

מעלית בנפילה חופשית



תרשים 2: תשובות למשימה א

**קטגוריה 1:** "רק mg", כוללת תשובות נכונות, בהן נטען שהכוח האמיתי היחיד הפועל על האדם במעלית הוא כוח הגרביטציה המכוון כלפי מטה, הנקרא בדרך כלל "mg". אחוז התשובות הנכונות לא היה גבוה, רק כ-60% עבור כל הקבוצות, ולא היה גבוה יותר עבור הקבוצות בעלות רקע חינוכי-לימודי טוב יותר. להיפך, קבוצות המבוגרים "פרחי הוראה" PTTTC, ותלמידי המכינה UPS, הצליחו קצת פחות מקבוצת ה"צעירים" HS-10.

**קטגוריה 2:** "N קיים", כוללת תשובות אשר לפיהן הכוח הנורמלי מרצפת המעלית ממשיך לפעול על האדם וגם בזמן הנפילה החופשית.

**קטגוריה 3:** "שום כוח אינו נראה" - כללה את תשובות אותם התלמידים שהזכירו את הכוחות, אך לא סירטטו אותם. האחוז הגבוה של תלמידים "צעירים" (הרוב של HS-10), והמספר הרב של תלמידים טירונים בקבוצה זו, (כשליש מהקבוצות HS2-11, HS-12, PTTTC, וכחמישית מ UPS), מראה אי בטחון רב בנושא הכוחות הפועלים, כאשר דנים במצב של נפילה חופשית.

**קטגוריה 4:** "כוח נוסף" כללה תלמידים שהתייחסו לכוח שלישי, נוסף ל "mg" ול "N". רוב התשובות מקבוצה זו היו מקבוצת ה"צעירים" HS-10, וקבוצת פרחי ההוראה, PTTTC. בתשובותיהם התייחסו התלמידים, בדרכים שונות, לכוח הפועל בכיוון מנוגד לתנועה, שאולי מזכיר כוח אינרציאלי.

**קטגוריה 5:** "משקל משתנה" - כוללת תשובות שהזכירו שינוי כלשהו במשקל, או במשקל נראה, (תוספת או פחת במשקל). למרות שאפשר לצפות, שהמצב של נפילה חופשית הוא דוגמה מקובלת וידועה של "חוסר משקל", רוב התשובות של אוכלוסיית הנבדקים לא אישרו זאת.

**קטגוריה 6:** "האדם המרחף" - בקטגוריה זו מנינו קבוצה קטנה מאד של טירונים שהזכירו או תיארו מצב של חוסר משקל.

**קטגוריה 7:** "האדם נע באופן יחסי" כללה את התשובות שהזכירו את התנועה היחסית של אדם הנע כלפי מעלה ונעצר כאשר הוא מגיע לתקרת המעלית. סוג זה של תשובות היה נדיר.

**קטגוריה 8:** "האדם ממשיך לנוע כלפי מעלה" מראה, שהתלמידים מתיחסים, ובצדק, לכך שהאדם והמעלית אינם מתחילים לנוע כלפי מטה מייד עם הינתק הכבל, אלא ראשית המהירות שלהם כלפי מעלה קטנה והולכת, עד שלבסוף היא מתאפסת, ורק אז משתנה כיוונה. נקודה זאת צויינה על-ידי מיעוט של נבחנים בלבד: כשליש מן הקבוצות HS-11, HS-12, UPS-1, ואחוז קטן עוד יותר מן הקבוצות האחרות.

**משימה ב':** (האדם בלויין המקיף את כדור הארץ). לארבע הקטגוריות הראשונות של תשובות (תרשים 3). אין שום תחום משותף: הן משקפות נקודות ראות שונות על גרביטציה (G) ומשקל (W).

**קטגוריה 1:** הרושם הכללי היה, שהנבחנים לא הרגישו בנוח, כאשר נתבקשו להבחין בין כח גרביטציה לבין משקל. הרוב מכל הקבוצות ענו שכוח גרביטציה ומשקל הם היינו הך - (כך הם למדו), אבל הרוב הזה לא היה גדול, רק כ-65% עבור הקבוצות הטובות ביותר: HS-11, HS-2-11 עד לפחות מ-50% בקבוצות האחרות.

**קטגוריה 2:** התשובות בקטגוריה זו היו מעטות עבור קבוצת ה"צעירים" HS-10, וחלק מן הטירונים המבוגרים, פרחי ההוראה PTTTC. סוג זה של תשובה בלט יותר עבור הקבוצה HS-2-11 - כ-40%. עבור הקבוצות האחרות - רק כ-20% מן התשובות שייכות לקטגוריה זאת.

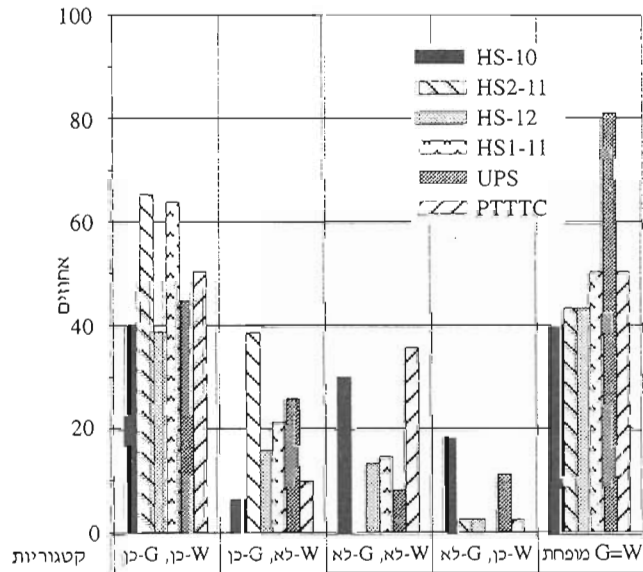
**קטגוריה 3:** על קטגוריה זו, בה נשללו הן המשקל והן כוח הכובד, נמנו בעיקר תשובותיהם של חברי הקבוצה HS-10 (30%), ופרחי הוראה PTTTC (36%).

**קטגוריה 4:** התשובות בקטגוריה זו, לפיהן האסטרונוט מרגיש משקל, בניגוד לכוח הגרביטציה עליו אמרו שהוא התאפס או קטן מאד, ניתנו בעיקר על-ידי התלמידים הצעירים (HS-10) - כ-20%.

**קטגוריה 5:** W = G מופחת - לקטגוריה זו ולקטגוריות האחרות יש משותף: הכנסנו בה את כל אותן התשובות בהן הנבחנים אמרו במפורש שכוח הגרביטציה והמשקל, בהיותם שווים, קטנים כאשר המרחק מכדור הארץ גדל, ועובדה זו מסבירה את המשקל הקטן יותר, או אפסי, שמורגש על-ידי האסטרונוט בלויין. דעה זו הובעה על-ידי כמחצית מן הנבחנים, ובקבוצת המכינה האקדמית, UPS, על-ידי 80%.

אנו מביאים כאן גם את אותן חלק מהתוצאות, הנוגעות לדיון הנוכחי, שנתקבלו במחקר קודם<sup>1</sup>, בו נדונה מעלית הנעה בתנועה קצובה (תרשים 4). גם בתרשים זה הקטגוריות אינן זרות זו לזו. הקטגוריה "כוחות: mg + N" כוללת את כל התשובות בהן הצליחו התלמידים לזהות נכונה את הכוחות הפועלים על האדם במעלית. היא כוללת את התשובות בהן מוזכרים כוחות מאוזנים (נכון) או בלתי מאוזנים (לא נכון). רק חלק קטן מן התלמידים הצעירים, וכמחצית מפרחי ההוראה, הצליחו לזהות נכונה את הכוחות הפועלים. גם הטירונים האחרים, אם כי היו טובים יותר, לא השיגו תוצאות משביעות רצון. מרבית התלמידים הצעירים וחלק מן הטירונים (HS-11 HS-12) טענו שאין כוח נורמלי מופעל על האדם במעלית ("אין כוח N").

לויין מקיף את כדור הארץ



תרשים 3: תשובות למשימה ב'

**קטגוריה 1:** "G-כ, W-כ", האסטרונוט מרגיש את שניהם.

**קטגוריה 2:** "G-כ, W-לא", כוח הכובד של כדור הארץ פועל על האסטרונוט, אבל המשקל לא.

**קטגוריה 3:** "G-לא, W-לא", האסטרונוט אינו מרגיש, או כמעט ואינו מרגיש, את כוח הגרביטציה ואת המשקל.

**קטגוריה 4:** "G-לא, W-כ", כוח הגרביטציה אינו פועל על האסטרונוט, אבל האסטרונוט מרגיש במשקלו.

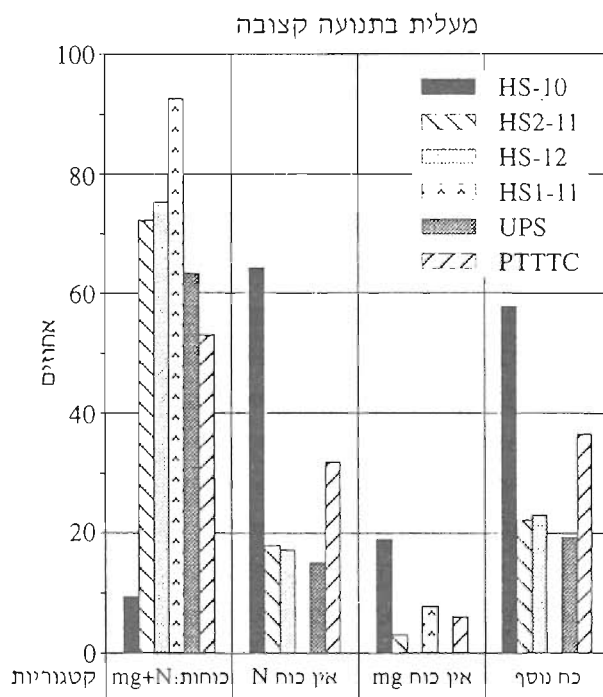
מרגישים כוח כלפי מטה - זהו כוח הגרביטציה. הם לא חיפשו כלל כוח נוסף, כי, ככלות הכל, לכמה כוחות אנו זקוקים כדי להסביר הרגשה אחת!

כאשר מגדירים משקל ככוח המגע שעצם מפעיל על המשטח עליו הוא עומד, או על החוט עליו הוא תלוי, יתכן ויהיה הרבה יותר קל להבין את נוכחותו של הכוח הנורמלי  $N$  כתגובה לכח המשקל. גם זהויו של הכוח  $mg$  לא יפגע במקרה זה, כי, כפי שכבר ראינו, זהויו הכח  $mg$  הרבה פחות בעייתי עבור התלמידים. מקובל, בספרי פיסיקה רבים (לדוגמה 1982 Sears et al., עמוד 73)<sup>2</sup>, בסעיף הדין בנפילה חופשית, לדבר על המונח "מוטעה" הקרוי "חוסר משקל", אשר עלול לגרום לבלבול. למעשה אין הדבר מפתיע, כי באותו ספר עצמו, רק עמוד אחד קודם, נטען שמשקל שווה לכח הכובד. הפיתרון המוצע כדי להחלץ מן המלכודת הלוגית הזאת (אם משקל הוא כוח הגרביטציה, אזי אם אין משקל אין כוח גרביטציה), הוא בדרך כלל הכנסת מושג נוסף: "משקל מדומה", "הרגשת משקל" או "משקל אמיתי". באופן תיאורטי נראית דרך זו סבירה למדי, אבל למעשה עשויים שמות חדשים, שאינם תמיד מובנים היטב, להישכח בגמר הלימודים. "העדר משקל" כנראה קשור אמין מדי בראשיהם של התלמידים עם המונח "חוסר משקל".

עבור קהיליית העוסקים בפיסיקה, המעלית הנופלת" הנה ה Gedankenexperiment (הניסוי המחשבתי) הידוע, בו משתמשים תדיר במבוא, הן לפיסיקה קלאסית והן לתורת היחסות. אך למזלנו, מעטים מאיתנו חוו על בשרם את חווית המעלית הנופלת. דבר זה עשוי להסביר מדוע תלמידים אינם יכולים להסתמך על ניסיונם האישי במקרה זה, והם נאלצים להסתמך על שיקולים עיוניים בלבד. הרעיון שיש לצפות לכך שהמשיכה הגרביטציונית תיעלם כאשר הכבל נקרע, נראה כרעיון מוזר. אם משקל מתלכד עם המשיכה הגרביטציונית, אין שום סיבה משכנעת שנחשוב בכיוון שינויים אפשריים במשקל, או בכיוון חוסר משקל. השימוש במונח "משקל מדומה" דורש יותר תיחכום.

במסגרת ההגדרה החלופית (הגדרה ב' - משקל שווה לכוח המופעל על הרצפה), אין תשובה אוטומטית לשאלה מהו ערך המשקל. הבעיה נעשית תלויה בהקשר הפיסיקלי. כאשר התלמיד מחפש את ערכו של  $N$ , ומגלה שערכו מתאפס, הוא מסיק מכך שגם המשקל  $W$  מתאפס. הטיפול בשינויים במשקל הופך להיות פרוצדורה שיגרתית של פיתרון בעיות בפיסיקה (דינמיקה). חוסר משקל ב"מעלית הנופלת נפילה חופשית" הופך להיות אמיתי, וקשור קשר

נדון כעת בתוצאות שהצגנו בסעיף הקודם, כאשר אנו זוכרים שכל התלמידים ה"טירונים" נחשפו להוראה בה משקל זהה לכוח הגרביטציה. במחקרים שונים דווח שזיהוי הכוח הנורמלי  $N$  מהווה קושי עבור תלמידים טירונים. גם אנו נתקלנו בבעיה זו:  $N$  הושמט כאשר היה צריך להזכיר אותו, (תרשים 2), והוזכר במקום שהיה צריך להשמיט אותו (תרשים 4). כמו כן מראות התוצאות שלנו שמשפר קטן בהרבה של תלמידים התקשו בזיהוי הכוח  $mg$  (תרשים 4). מה הסיבה לכך? ההסבר שלנו לכך הוא, שלאור הדרך המקובלת להוראת המושג משקל (גישה אי), אין קשר פורמלי בין משקל לבין כוח מגע. כאשר אדם עומד על הרצפה, הוא מיחס את הרגשת הכובד, או מה שקרוי בפינו משקל, לכוח הגרביטציה המופעל עליו על-ידי כדור הארץ. פירוש זה אינו היחידי האפשרי, ולא נעשה באופן טבעי: חונכנו באופן שנעשה אותו.



תרשים 4: חלק מהתוצאות הרלוונטיות לדיון הנוכחי שנתקבלו במחקר קודם, בו נדונה מעלית הנועה בתנועת קצובה

אנו מניחים איפוא, שההסבר שניתן על-ידי התלמידים שנבחנו, נובע מן החינוך הפורמלי והלא-פורמלי שנחשפו לו, לפיו כדור הארץ הוא המקור למשקל. לכן הכוח הנורמלי  $N$  "נעלם", כי לא הושאר מקום בתודעת התלמידים לכוח נוסף, שהוא הכוח הנורמלי המופעל על-ידי המשטח עליו עומדים. רבים מן התלמידים שנבדקו על-ידינו אמרו: "אנו

אמיץ להעדר הכוח הנורמלי  $N$ . **מתאפס יחד עם  $W$** , **היות שהוא תמיד שווה לו**. מסגרת זו של הגדרת משקל עשויה כמו כן לתרום תרומה נכבדה להבנת התלמידים את הפיסיקה: היא מביאה לתודעתם את חשיבתו התחלתית של אינשטיין על כוח הגרביטציה: למעשה אין אנו מרגישים בכוח הגרביטציה! המקור להרגשת הכובד שלנו הוא בעצם **המאמץ להימנע מנפילה ולא משיכת כוח הגרביטציה**, הרגשה זאת נובעת מן המאמץ אותו מפעילים שרירינו כנגד הכוח המופעל על-ידי המשטח. סלק את המשטח (או חתוך את הכבל הנושא) והרגשת הכובד תיעלם. לא תהיה הרגשה של משקל ולא של כוח תגובה - בקצרה - יהיה חוסר משקל. העובדה שרק מיעוט קטן של התלמידים שנבדקו, הזכירו את התופעה של חוסר משקל ("אדם מרחף"), או שינויים במשקל (תרשים 2) מראה לדעתנו, שהתלמידים אפילו אינם מעלים על דעתם את הבעיה של שינוי במשקל או במשקל מדומה.

עיון בנתונים שנתקבלו מניתוח התשובות במשימה ב' (תרשים 3), מאפשר להסיק מסקנות נוספות. צרוף שתי השאלות במשימה אחת נראה אולי קצת מוזר בעיני אחדים מן התלמידים. על מנת שיהיה תיאום עם ההוראה לה נחשפו בכיתותיהם (שם זוהה משקל עם כוח הגרביטציה), התלמידים היו צריכים לתת אותה תשובה חיובית לשתי השאלות. ( $G$ -כך,  $W$ -כן). למרות זאת, חלק ניכר מן התלמידים לא עשו זאת. האחוז הגבוה ביותר בקבוצת הטירוניים היה 60%, והרוב בסביבות 50%.

חשוב לציין, שעבור התלמידים ה"הצעירים" האחוז היה קטן יותר, כ 40%. מה גרם לכך? הרי לא התנסו בשהייה בלווין יותר מאשר בשהייה במעלית הנופלת נפילה חופשית? בניגוד למשימה א', כל התלמידים צפו, ויותר מפעם אחת, בשידור חי, באסטרונואוטים המרחפים בתוך החללית "SKYLAB". כולם ראו בעיניהם את המצב של "חוסר משקל", ושמעו את התיאור של חוויה מוזרה זאת בחלל. הבעיה היתה, כמובן, בפירוש שנתנו לכך.

אחדים מן התלמידים, למרות מה שלמדו בכיתות, אמרו שכוח הגרביטציה ממשיך לפעול, אבל המשקל מתאפס ( $G$ -כך,  $W$ -לא). יתכן ותלמידים אלה הונחו על-ידי האסוציאציה האינטואיטיבית המקשרת משקל עם עומס או כובד. חוקרים רבים כבר הצביעו על הבילבול הנפוץ בין שני המושגים, משקל וגרביטציה, באוכלוסיות שונות וגילאים שונים של תלמידים ומורים בבית הספר היסודי. אנשים בדרך כלל מתכוונים לדברים שונים במושגים אלה.

במובן זה ראינו בתשובות " $G$ -כן,  $W$ -לא", ו" $G$ -לא,  $W$ -כן", לפחות באופן חלקי, תיאום עם הידע שהיה לתלמידים הטירוניים לפני שלמדו את הנושא. עבור תלמידים אלה ההגדרה השנייה, החלופית, של משקל, עשויה להיות בעלת השפעה חינוכית אפקטיבית יותר, היות שהיא מייצגת דרך טבעית יותר לשקף את דעותיהם האינטואיטיביות. תלמידים אחרים, שאולי הושפעו על-ידי תמונות של חפצים המרחפים בחלל, שללו את הקיום, הן של משקל והן של גרביטציה (" $G$ -לא,  $W$ -לא"). פירשנו את תשובותיהם כניסיון להיות קונסיסטנטיים, לפי מיטב הבנתם, עם החומר שלמדו. אפשר להציג את דרך חשיבתם בצורה הלוגית הבאה: **משקל** הוא גרביטציה; במצב של **חוסר משקל** "ברור" שאין משקל, חוסר משקל מתרחש בחלל, לכן אין (או יש אך מעט) גרביטציה בחלל. פירוש זה עזר לנו לקבץ יחד, בקטגוריה " $W=G$  מופחת", את כל אותן התשובות בהן תלמידים טענו במפורש, שבגלל הקשר בין משקל וגרביטציה, ההפחתה הברורה (לא בהכרח לאפס) במשקל, כלומר חוסר משקל, בא לידי ביטוי בהפחתה של כוח הגרביטציה שכדור הארץ מפעיל. מקצתן של התשובות שהכנסנו לשלוש הקטגוריות הראשונות היו נכנסות לקטגוריה זאת, לו התלמיד היה מנסח את תשובתו כפי שתיארנו **במפורש**. ההפחתה בכוח הגרביטציה עם המרחק הוזכרה כסיבה אפשרית למצב של חוסר משקל. נציין כאן, שהיות שההפחתה **המעשית** של כוח המשיכה הגרביטציונית עם המרחק היא רק כ 5% עבור הגובה המקובל למסלולי לווינים, ייתכן ואנו רואים כאן את הדרך הרציונלית בה התלמידים מטמיעים את ההגדרות הנלמדות של משקל וכוח הגרביטציה. הטעות האחרונה האפשרית במשימה זו היתה: " $G$ -לא,  $W$ -כן", כלומר כוח הגרביטציה התאפס, אולם משקל האדם נשאר בעינו. אפשר היה לחשוב שתשובות אלה נובעות מן הבילבול הנפוץ הידוע בין משקל ומסה. העובדה שזה כמעט ולא קרה לתלמידים ה"טירוניים" משקפת כנראה את העובדה שבילבול זה מטופל בדרך כלל היטב במרבית ספרי הלימוד והמאמרים הנוגעים לדבר, באופן שלמורים ולתלמידים יש הדרכה מתאימה, וסוג זה של מושג מוטעה לא איפיון את הידע שהיה לתלמידים ה"טירוניים", בדגם האוכלוסיה שחקרנו, בעקבות ההוראה. סוג זה של בילבול עלול להיות בולט יותר בשלבים יותר מוקדמים של ההוראה, כפי שאכן בא הדבר לידי ביטוי בתשובות התלמידים ה"צעירים" בקבוצת הביקורת HS-10.

## למי גובה

אנו מודים לפרופ' אריק מנדוזה, לד"ר מ. כהן ולד"ר ורדה בר על שיחות מועילות. ד"ר בר הציגה הגנה טובה לדרך המקובלת בהוראת מושג המשקל בישראל, ובכך תרמה רבות למחקר זה. אנו מודים למר זלצמן ולד"ר מ. כהן על עזרתם באיסוף הנתונים, ולמר א. פורטנוי שהכין את הנתונים לפרסום.

מראי מקום:

1. Galili I, and Bar, v., (1992), Motion Implies Force- Where to Expect the Vestiges of Misconception? International Journal of Science Education, Vol 14, No. 1, PP63
2. Sears, F. W., Zemansky, M. W. and Young, H.D. (1982), University Physics Reading, MA, Addison Wesley.

לקריאה נוספת:

1. שלמה גובר:  
משקל, כובד וגרביטציה או: משקל אינו כוח המשיכה של הארץ, גיליונות, כרך 4, מס' 3 עמודים 21-28.
2. מריו יונה  
משמעות המושג משקל, חלק א' וחלק ב'  
גיליונות כרך 3 מספר 3 עמודים 2-12  
גיליונות כרך 7 מספר 1 עמודים 21-32

לבסוף מן הראוי לציין, שההגדרה החלופית של משקל מתאימה לגישה הקונסטרוקטיביסטית לתהליך ההוראה - למידה. אנשים בידע הקדם-הוראה שלהם מבחינים בין המושגים משקל וכוח גרביטציה, ובגישה הקונסטרוקטיביסטית בונים את ההוראה על מה שהתלמיד יודע בטרם למד.

## סיכום והשלכות על תהליך ההוראה

מניתוח תשובות התלמידים מתברר, שחלק מן ההבנה המוטעה של מצבים פיסיקליים הקשורים במושגים משקל וכוח גרביטציה, נובע כנראה מן הפירוש השגוי היותן להגדרה התמימה כביכול של **משקל כשם נרדף לכוח הגרביטציה**. ההגדרה החלופית האפשרית למשקל, ככוח המופעל על-ידי הגוף על הרצפה או על מאזני קפיץ, עשויה לעזור לתלמיד להימנע מבלבולים ואי הבנות. במילים אחרות, מבחינה דידקטית גרידא יהיה טוב יותר להגדיר משקל כתוצאה של שקילה.

בעקבות השערה זאת, מתבצע כעת ניסוי בהוראה-למידה שמטרתו, לבדוק כיצד תשפיע הגדרה זאת על השגיאות הממושגים המוטעים הנפוצים בקרב התלמידים כפי שראינו.

כח'וק... הביא לניסוח עובדי קדם



יש אמונה גדולה ואמונה קטנה. ההוכחה של אמת פשוטה הוא שקר גלוי. ההוכחה של אמת גדולה צדדי להיות אמת גדולה אמת.  
ניאס בור

פדחים מלא האופק של אדם הוא ומצמצם צדו וצדו צד שהיפיוס קרב לאפס ומגריכז בנקודה אמת אזי נקודה זו הוכחה אנקונה ראוי.  
ציון הילברט