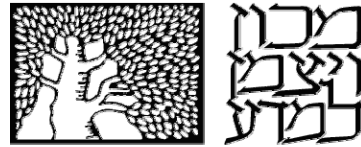




משרד החינוך  
והספורט



המחלקה להוראת המדעים

## אינטראקציה, כוחות ותנועה חוברת פעילויות ותרגילים לתלמיד ולמורה

פיתוח וכתובה:	רוני מועלם
יעוץ מדעי:	פרופ' בת שבע אלון
עריכה לשונית:	נדין קלברמן
גרפיקה:	טליה מלול

2007

## תוכן עניינים:

### 1. רציונל

### 2. הנחיות להפעלת הגישה

- 2.1 תיאור האסטרטגיה והמסגרת המושגית
- 2.2 דוגמא לשילוב האסטרטגיה בהוראה
- 2.3 שילוב האסטרטגיה עם חומרי למידה
- 2.4 מהלכי שיעור אפשריים
- 2.5 תהליך ההוראה

### 3. המאגר

- 3.1 שאלות ותשובות
- 3.2 פעילויות
- 3.3 ניסויים (הצעות למהלכי שיעור אפשריים המשלבים ניסויים)

### 4. חומר עזר למורה

- 4.1 כלי חשיבה
- 4.2 התרחשויות לתרגול ותשובות
- 4.3 הקשיים הצפויים בהוראה ותפיסות שגויות נפוצות

### 5. נספחים

- 5.1 ניתוח תיאורטי של הגישה המוצעת: מושגים ועקרונות וסדר הצגתם
- 5.2 ביצועי הבנה
- 5.3 תוצאות המחקר המלווה את הפעלת האסטרטגיה בכיתות.
- 5.4 המאמר: "פיסיקה עם חיוך בחטה" ב: כיצד להסביר תופעות בעזרת אסטרטגיה 'איכותית' לפתרון בעיות"
- 5.5 המאמר: "תרומתו האפשרית של "המודל לשינוי תפיסתי" של פוזנר וחובריו להוראה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון"
- 5.6 קישורים למאמרים נוספים וספרות בתחום

**תודות:** בפיתוח היחידה היו מעורבים אנשים רבים.

מצוות מטמו"ן: פרופ' בת שבע אלון ופרופ' אורי גניאל, קראו ביסודיות את הטיטות העירו, תיקנו והקדישו זמן לדיונים משותפים.

תודה לשלמה רוזנפלד על הערותיו המועילות.

תודה לאורנה פאליק אשר העירה בשלבים הראשונים של פיתוח היחידה והפעילה את הגישה עם עמיתה.

תודה מיוחדת נתונה לתלמידים ולמורים אשר למדו ולימדו על פי דפים אלה בשלבי הפיתוח השונים.

## 1. רציונל

המטרה המרכזית של למידת מקצוע הפיזיקה בחטיבת הביניים היא הבנה איכותית של מושגים בסיסיים ושימוש בהם במתן הסברים ותחזיות לאירועים יום-יומיים פשוטים. חוקרים רבים מקרב הקהילה של הוראת הפיזיקה מדגישים את החשיבות של רכישת מושגי יסוד בסיסיים בפיזיקה כבר בחטיבת הביניים וטוענים שרצוי ללמדם בהקשרים הלקוחים מהתרחשויות יום-יומיות המוכרות לתלמידים.

מחקרים שונים מראים שקיימים קשיים רבים בהוראת הפיזיקה, בכל הרמות, ושתלמידי תיכון וסטודנטים מתקשים בהבנת המושגים והעקרונות הבסיסיים בשלבים שונים של לימודיהם. על רקע זה פותחו בשנים האחרונות מספר יחידות לימוד (יסודות פיזיקה, גילי ועובדיה 1995); אינטראקציה, כוחות ותנועה, חלקים א' ו-ב', מרדכי בן-צוק (2001)).

בבדיקה שערכנו מצאנו שתלמידים מתקשים להשתמש בידע שרכשו בכיתת הפיזיקה להסבר תופעות מחיי היום-יום. מסיבה זו נוצר הצורך בפיתוח גישת הוראה מתאימה שתתמוך בשימוש בבסיס המושגי הנרכש ביחידות הלימוד. גישה זו עושה שימוש ב"אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות" שאינה נשענת על חישובים כמותיים המאפיינים אסטרטגיות פורמאליות רבות לפתרון בעיות בפיזיקה.

חוקרים בתחומי הקוגניציה וההוראה טוענים לא פעם ששימוש באסטרטגיות פורמאליות של פתרון בעיות נדונות לכישלון, אם מנסים ליישמן בקרב תלמידי חט"ב, ולכן יש ללמדן רק בשלבים מאוחרים יותר של לימוד הפיזיקה לצד שיטות כמותיות של פתרון בעיות. בישראל מעטים המורים המלמדים פיזיקה באופן כמותי בחט"ב, ולכן לא ניתן להקנות לתלמידים אסטרטגיה כמותית. עם זאת הוראה שבעיקרה אינה כמותית (וגם הוראה כמותית) יכולה להיות מלווה בהקניית אסטרטגיה שאינה עושה שימוש בחישובים כמותיים (להלן אסטרטגיה "איכותית").

אנו מציעים להבהיר את הפיזיקה של התרחשויות רלוונטיות מחיי היום-יום, באמצעים הבאים:

- (1) בניית מסגרת תפיסתית המכילה את המושגים הבסיסיים והרלוונטיים לבעיה (כמו "אינטראקציה" ו"כוח") לצד עקרונות פיזיקאליים (כמו החוק השלישי של ניוטון)
- (2) הקניית אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות לשם יישום המסגרת התפיסתית.

בקובץ זה אנו מתארים גישת הוראה חדשה המשלבת בנייה של מסגרת מושגית עם הקנייה של אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות. הגישה עוצבה במטרה להנחות תלמידי חט"ב במתן הסבר פיזיקאלי לתופעות והתרחשויות מחיי היום-יום, ובנוסף, הגישה מאפשרת לתלמיד לנבא מה יתרחש במצבים מסוימים. לפרטים נוספים על הגישה ראו ב"מאמר".

## 2. הנחיות להפעלת הגישה

בפרק זה נתאר את האסטרטגיה לפתרון בעיות ונביא דוגמא לשילובה עם חומרי למידה. האסטרטגיה המוצעת פותחה במסגרת עבודת דוקטוראט של רוני מועלם בהנחיית פרופ' בת שבע אלון, מדרשת פיינברג אשר במכון ויצמן למדע. הפעלת האסטרטגיה לוותה במחקר אשר העריך את השפעתה על מורים ותלמידים. פרטים נוספים על המחקר ועל דרכי ההערכה בהן השתמשנו על מנת לבדוק את מידת יעילותה של הגישה תמצאו [בנספח](#) ו**[במאמר](#)**.

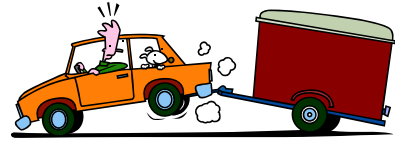
## 2.1 תיאור האסטרטגיה והמסגרת המושגית

### כלי חשיבה

כלי החשיבה משמשים כמרכיבים של אסטרטגיה לניתוח פיזיקאלי איכותי של תופעות מחיי היום-יום המוצגות בצורה ציורית-גראפית (ראו איור 1).



(ב)



(א)

איור 1: מערכות באינטראקציה

האסטרטגיה כוללת שלושה כלי חשיבה ובהם הוראות ביצוע ושאלות מנחות (ראו נספח 1), המודפסים, כל אחד בנפרד, על כרטיסיות. כלי החשיבה מעוצבים כך שמצידה האחד של הכרטיסייה מופיעות הוראות הביצוע, ומצידה האחר שאלות מנחות שתפקידן לסייע לתלמידים לעקוב בדיוקנות אחר הוראות הביצוע ולשים דגש על עקרונות ספציפיים. רצוי להדפיס כרטיסיות בצבעים שונים (להבחנה בין הכלים) ועל קרטון משובח. כלי החשיבה מבוססים על תרגום התופעה להצגות גראפיות (טבלה ותרשימי מלבנים) ומובילים בסוף התהליך לבניית תרשים כוחות הפועלים על גוף נבחר מהתופעה (ראו דוגמאות בהמשך). לאחר זיהוי רכיבי המערכת (תת מערכות), אינטראקציות וכוחות הפועלים בין תת המערכות, יכולים התלמידים לבחור את הגוף הספציפי המעניין אותם ולבנות בקלות את תרשים הכוחות המלא לגוף.

הדרך לניתוח הבעיה מבוססת על הגישה המתקדמת "מערכת לגוף בודד" (system's approach). גישה זו שונה מהגישה המקובלת בלימודים גבוהים יותר, המתמקדת בגוף בודד וזיהוי הכוחות הפועלים עליו בשלבים המוקדמים תהליך הניתוח.

להלן פירוט כלי החשיבה:

כלי החשיבה הראשון ("אפיון מערכת") כולל שני שלבים: תרגום התופעה לתרשים מלבנים של המערכת (ראו דוגמה בהמשך) ועריכת טבלת אינטראקציות של כל הגופים במערכת. השאלות המנחות הנלוות לכלי החשיבה "מוודאות" כי התלמידים לא השמיטו אף אינטראקציה על ידי זיהוי כל הכוחות בין הגופים במגע וכל האינטראקציות מרחוק. תרשים המלבנים וטבלת האינטראקציות מאפשרת לתלמידים לערוך היכרות ראשונית עם מושג המערכת, מפני שבבואם

לאפיין את המערכת (תחילה לתרשים מלבנים ואח"כ לטבלת אינטראקציות), עליהם להתמודד מיידית עם פירוק לתת מערכות רלוונטיות.

כלי החשיבה השני ("מאינטראקציה לכוחות") מנחה את התלמידים תחילה בזיהוי כוחות במערכת כולה, ואח"כ התמקדות בכוחות הפועלים על גוף בודד נבחר. השאלות המנחות מדגישות את החוק השלישי ומוודאות כי בתרשים הכוחות של הגוף הנבחר מופיעים כל הכוחות שפועלים על הגוף, תוך ציון הגופים המפעילים כל אחד מהכוחות.

כלי החשיבה השלישי ("כוחות ותנועה") מנחה את התלמידים לבנות תרשים כוחות על פי מאפייני התנועה של הגוף הנבחר או לזהות שינויי מהירות של גוף על פי תרשים הכוחות שלו. השאלות המנחות "מזכירות" לתלמידים להתייחס למושגים "אלסטיות", "שקול כוחות" וכד', ומאפשרות הבנה איכותית-ראשונית של החוק השני של ניוטון.

#### גישת ההוראה והמסגרת המושגית

גישת ההוראה כוללת שימוש במספר כרטיסיות תרגול שפותחו במיוחד לצורך כך (ראו קובץ נפרד), והמתארות קריקטורות הלקוחות מחיי היום-יום. כאמור, האסטרטגיה מנחה את התלמידים בניתוח התופעה, בזיהוי כוחות הדדיים (כוחות "פעולה ותגובה") ובבניית תרשים כוחות של גוף בודד ושל המערכת כולה. בתהליך ההקניה מנותחת כל תופעה מספר פעמים, ובכל פעם מתבצע ניתוח התואם את הרמה המושגית שאליה הגיעו התלמידים. התלמידים חוזרים אל התופעה שוב ושוב במהלך הלימוד, עד שהם מסוגלים לבצע את הניתוח המלא של התופעה באמצעות כל המושגים הכלולים בתכנית. תהליך זה מאפשר לתלמידים ללמוד באופן משמעותי גם אם לא הצליחו להתמיד וללמוד את כל העקרונות ומושגי היסוד.

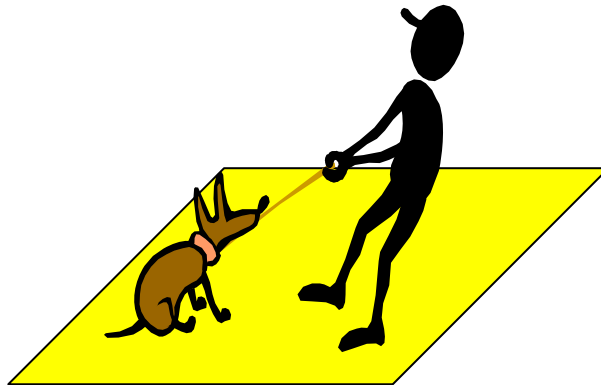
טבלה 1 (בעמוד הבא) כוללת פירוט של המושגים ושל עקרונות היסוד הכלולים במסגרת המושגית של תכנית הלימוד בתחום זה.

מושגים ועקרונות יסוד

- (1) באינטראקציה משתתפים תמיד **שני גופים**.
- (2) גוף יכול להשתתף **ביותר** מאינטראקציה אחת עם גופים אחרים.
- (3) **עוצמת האינטראקציה** נמדדת על ידי **גודל הכוח**. הכוחות הפועלים על גופים הנמצאים באינטראקציה האחד עם השני שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.
- (4) אינטראקציה בין גופים תיתכן **במגע וללא מגע**. לדוגמה, כוחות ללא מגע פועלים בין מגנטים, בין מטענים חשמליים ובין גופים כתוצאה מכבידה.
- (5) **שינוי במהירותו** של גוף נקבע על ידי כל האינטראקציות שבהן הוא משתתף (שקול של כל הכוחות הפועלים עליו).
- (6) **חיכוך** הוא כוח הפועל בין שני משטחים במגע כאשר מנסים להניע משטח אחד ביחס לשני או כאשר הם נעים אחד יחסית לשני. גודל הכוח משתנה עד לערך מקסימאלי ותלוי בתכונותיהם של שני המשטחים הנמצאים באינטראקציה.
- (7) אינטראקציה של גוף עם **אוויר תלויה** במהירות הגוף, בצורתו ובצפיפות האוויר.

## 2.2 דוגמא לשילוב האסטרטגיה בהוראה

בדוגמה הבאה, נעקוב אחר מהלך ההוראה המשלב את הקניית מושגי היסוד תוך שימוש אפשרי בחומרי למידה קיימים, וכלי החשיבה שתוארו, ונדגים ניתוח ספיראלי של התופעה המתוארת באיור 2. לתיאור נוסף של האסטרטגיה ראו [מאמר](#).  
1. לאחר הוראת הרעיונות 1 ו-2 (ראו טבלה 1), מוצגת התופעה הזאת:



איור 2: דוגמה לתופעה - אדם מושך כלב, אך הכלב אינו זז. התלמיד מתבקש לבנות תרשים כוחות לגוף נבחר (לדוגמא: הכלב) על פי מאפייני התנועה שלו ולהסביר אותן.

2. הפעלת כלי חשיבה ראשון ותרגום התופעה, תחילה לתרשים מלבנים:

אדם	רצועה	כלב
-----	-------	-----

ואחר כך לטבלת אינטראקציות:

כלב	רצועה	אדם	
-	+	0	אדם
+	0	+	רצועה
0	+	-	כלב

כאשר "+" מציין "קיימת אינטראקציה", "-" מציין "לא קיימת אינטראקציה" ו-"0" מציין "לא רלוונטי" (גוף לא יכול להיות באינטראקציה עם עצמו).



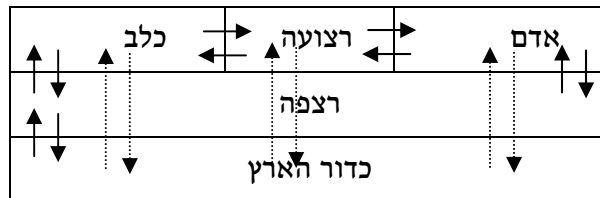
3. לאחר הוראה של הרעיונות 3 ו-4 (כוחות וכבידה, ראו טבלה 1), חוזרים התלמידים לתופעה ומעדכנים את איור המלבנים ואת טבלת האינטראקציות שלהלן:

אדם	רצועה	כלב
רצפה		
כדור הארץ		

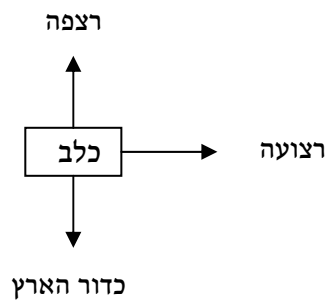
	אדם	רצועה	כלב	רצפה	כדה"א
אדם	0	+	-	+	+
רצועה	+	0	+	-	+
כלב	-	+	0	+	+
רצפה	+	-	+	0	+
כדה"א	+	+	+	+	0

4. הפעלת כלי חשיבה שני.

א. הוספת כוחות לתרשים המלבנים. החיצים המקווקווים מציינים אינטראקציות מרחוק (עם כדור הארץ).



ב. בידוד הגוף הנבחר, הכלב במקרה זה, עם שמות הגופים המפעילים את הכוחות (ללא התייחסות לגודל הכוחות).



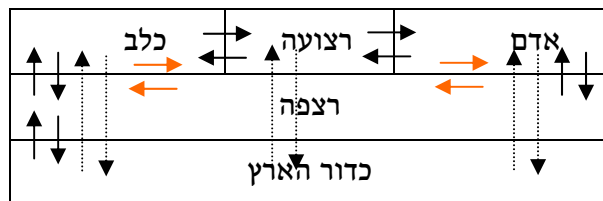
5. הוראת הרעיון ששינוי במהירותו של גוף ייקבע ע"י שקול הכוחות, ותרגול רעיון זה (נושא 5 בטבלה 1) - ראו באיור 3.



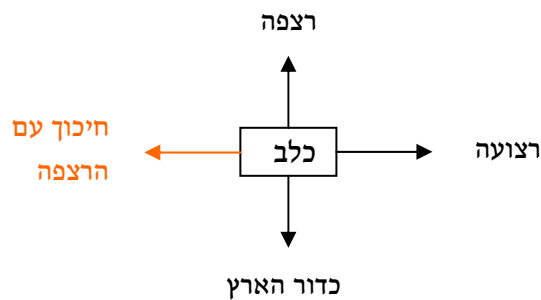
איור 3: בתופעה הבאה המשקולת הנופלת תגדיל מהירותה כלפי מטה. התלמיד מתבקש להסביר מדוע.

6. התלמידים חוזרים אל שלב 4 שבו בנו תרשים של הכוחות הפועלים על הכלב. על פי התרשים ובהתאם למה שלמדו בשלב 5, הכלב אמור להגדיל את מהירותו ימינה (לא מופיע חץ כלשהו שמאלה). אך על פי מאפייני התנועה של הגוף בתופעה המקורית (איור 2), אין זה קורה (ידוע שהכלב אינו זז), כלומר חסר בתרשים כוח נוסף שמונע תנועה אפשרית זו של הכלב. המורים מציגים את כוח החיכוך ועוסקים בהשלכותיו (רעיון 6 בטבלה 1).

7. התלמידים חוזרים אל תרשים המלבנים (שלב 4) ומוסיפים את כוחות החיכוך (באדום).



ואחר כך הם "שולפים" את הגוף הנבחר ומציינים את כל הכוחות הפועלים עליו:



8. הפעלת כלי חשיבה שלישי - התלמידים מעדכנים את אורכי החצים בשני הצירים - האופקי והאנכי - על פי מאפייני התנועה של הכלב, לקבלת תרשים כוחות מושלמת. במקרה זה הכלב אינו זז (נתון), ולכן שקול הכוחות בכל ציר חייב להיות שווה ל-0, כלומר החצים בכל ציר שווים באורכם ומנוגדים בכיוונם.

## 2.3 שילוב האסטרטגיה עם חומרי למידה: תכניות להוראת הנושא "אינטראקציה, כוחות ותנועה"

להלן שלוש תכניות לשילוב האסטרטגיה בהוראת הנושא "אינטראקציה וכוחות":

(1) תכנית ל-5 שעות

(2) תכנית ל-12 שעות

(3) תכנית ל-20 שעות

התכניות נבדלות ביניהן בעיקר בהיקף התכנים הכלולים בהן ובפרקי הזמן המוקדשים לתרגול בכיתה. התכניות הן מודולאריות.

רשימת מקורות לכל התכניות מופיעה [בסעיף 5.6](#).

כל הפעילויות והניסויים המופיעים במהלך השיעורים, מפורטים ומוסברים בפרקים העוסקים בהם ("פעילויות", "ניסויים" ו"שאלות").

תוכני הלימוד להלן כוללים את הנושאים האלה:

א. מושגים ועקרונות המוצגים ביחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה", חלק א', ו"יסודות הפיזיקה" (למעט אינטראקציות).

ב. שיטות לפתרון בעיות (כלי חשיבה) בעזרת כרטיסיות.

הערה: ניתן להשתמש באסטרטגיה בשילוב עם חומרי למידה אחרים כאשר התלמידים מכירים את כל המושגים והרעיונות שאליהם מתייחסת האסטרטגיה, והם יכולים להשתמש בה כדי לפתור בעיות.

נושאים	כלי חשיבה
נושא ראשון	כלי חשיבה 1
נושא שני	כלי חשיבה 2
נושא שלישי (מלא)	כלי חשיבה 2
נושא רביעי	כלי חשיבה 3

נושאים	כלי חשיבה
נושא ראשון	כלי חשיבה 1
נושא שני	כלי חשיבה 2
נושא שלישי (חלקי)	כלי חשיבה 2
נושא רביעי	כלי חשיבה 3

### תכנית ל-5 ש'

נושאים*	כלי חשיבה**
נושא ראשון	_____
נושא שני	_____
נושא שלישי	_____
נושא רביעי	_____

#### \*נושאים

נושא ראשון: אינטראקציה

נושא שני: אינטראקציה וכוחות

נושא שלישי: אינטראקציה עם כדור הארץ

נושא רביעי: כוחות ותנועה

#### \*\*כלי חשיבה

ראו סעיפים 2.1 ו-2.2

### תכנית ל-20 ש'

### תכנית ל-12 ש'

להלן תיאור כללי של שלוש התכניות ושל התוצרים של כל תכנית וכן סילבוס מפורט של הנושאים השונים.

### (1) תכנית ל-5 שעות

במסגרת זו תיערך היכרות ראשונית עם המושגים "אינטראקציה" (במגע ולא במגע) ו"כוח" (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה).

תוצרי התכנית: התלמידים יבינו את משמעות המושגים "אינטראקציה" ו"כוח" ויצליחו לנתח באופן חלקי תופעות מחיי היום-יום אגב שימוש במושגים הנ"ל.

### (2) תכנית ל-12 שעות

במסגרת זו תיערך היכרות עמוקה יותר עם המושגים "אינטראקציה" (במגע ולא במגע) ו"כוח" (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה), ויובאו המושגים "חיכוך", "מערכת" ודיון חלקי בנושא "אינטראקציה עם כדור הארץ" ו"משקל" (סעיפים 3.1 ו-3.2 בטבלה בהמשך). בנוסף ייעשה שימוש בטכניקה לפתרון בעיות איכותיות בפיזיקה ולבניית תרשים כוחות לגופים.

תוצרי התכנית: התלמידים יבינו לעומקם את המושגים "אינטראקציה" ו"כוח" ואת חשיבותו של כוח החיכוך בסיטואציות שונות. בנוסף, ירכשו התלמידים הבנה ראשונית בנושא "מערכות", "משקל" ו"כוח הכבידה". במהלך הבנייה והשימוש בתרשימי כוחות יצליחו התלמידים לנתח באופן מלא תופעות מחיי היום-יום אגב שימוש במושגים הנ"ל. בנוסף יצליחו התלמידים לחזות תוצאות של אינטראקציות.

### (3) תכנית ל-20 שעות

במסגרת זו יילמדו לעומק המושגים "אינטראקציה" (במגע ולא במגע) ו"כוח" (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה), המושג "חיכוך" והמושגים "משקל" ו"נפילה חופשית". בנוסף ייעשה שימוש משמעותי יותר בטכניקה לפתרון בעיות איכותיות בפיזיקה ולבניית תרשים כוחות לגופים. במסגרת הטכניקה המזכרת ייערך דיון מקיף יותר בנושא "מערכות" הכולל דיון במושגים מערכת "פתוחה", מערכת "סגורה" וההבדלים ביניהן.

**תוצרי התכנית:** התלמידים יבינו לעומקם את המושגים "אינטראקציה" ו"כוח" ואת השפעת הכוחות על תנועה (החוק השני), את חשיבותו של כוח החיכוך בסיטואציות שונות ואת משמעות המושגים "משקל" ו"נפילה חופשית". הם יעמיקו בהבנת הנושא "מערכות", ולמידה זו תקל מאוד בהבנת המושג "אנרגיה" בעתיד. התלמידים יצליחו לנתח באופן מלא, תוך בנייה ושימוש בתרשימי כוחות, תופעות מורכבות מחיי היום-יום, כולל מצבי "חוסר משקל" בחלל, אגב שימוש במושגים הנ"ל. בנוסף, יצליחו התלמידים לנבא תוצאות של אינטראקציות.

#### סילבוס התכניות

תכנים	מס' שעות	יעדי הוראה והמשגה	מקורות*	סוג הפעילות (ראו גם "מהלכי שיעור" בהמשך)	העשרה
<p><b>נושא ראשון: "אינטראקציה" - תעודת זהות</b></p> <p><b>1.1 אינטראקציה במגע</b></p> <p><b>1.2 אינטראקציה מרחוק:</b> אלקטרוסטטיקה, מגנטיות, אינטראקציה עם כדור הארץ (ללא התייחסות לנפילה חופשית, משקל ומסה)</p> <p><b>1.3** שיטות לפתרון בעיות - כלי חשיבה ראשון</b></p>	<p>3 שעות</p> <p>1 שעה</p>	<p>א. <b>חשיפה לנושא</b> ולחשיבה היומיומית בהקשר למושגים ולרעיונות.</p> <p>ב. <b>הצגת מושג האינטראקציה</b> (פעולה הדדית)</p> <p>ג. <b>מיון האינטראקציות:</b> אינטראקציות מגע /מרחוק, אינטראקציות הגורמות לשינוי צורה/ תנועה (כיוון, מהירות).</p> <p>ד. <b>רכישת כלי החשיבה הראשון:</b> אפיון מערכת-גופים ואינטראקציות, באמצעות "תרשים מלבנים" ו"טבלת אינטראקציות".</p>	<p>פרק א' - עמ' 40-7</p> <p><b>ללא עמ' 18, 20, 36-39</b></p>	<p><b>אינטראקציה במגע:</b> חיבוק, מחיאת כף, דחיפת קיר (עמ' 7-10).</p> <p><b>אינטראקציה מרחוק:</b> כוחות הדחייה והמשיכה בין המגנטים.</p> <p>ציוד - מגנטים, מהדקים, מסמרים, פיסות נייר, פיסות פלסטיק וכו'... (עמ' 25-23)</p> <p><b>שיעורי בית:</b> שאלות סיכום עמ' 41-43</p> <p><b>**הצגת השלב הראשון בטכניקה לפתרון בעיות: "אפיון מערכת".</b> הבאת דוגמאות אחדות. עבודה בקבוצות: יישום השלב הראשון בטכניקה על סיטואציות המוצגות בכרטיסיית התרגול.</p>	

רוני מועלם - המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

<p>כיול מד-כוח וניתוח גרפים: עמ' 52-43</p>	<p><u>הדגמות ודין עליהן</u>: ציוד - מאוורר קטן, עגלה, סקייטבורד, שני מדי משקל רגילים (אמבטיה).  <ul style="list-style-type: none"> <li>שני ילדים על עגלה וסקייטבורד - דוחפים זה את זה.</li> <li>ילד על עגלה דוחף קיר (עמ' 9).</li> <li>ילד על עגלה משליך משהו כבד.</li> <li>מאוורר קטן להדגמה (הלהבים והגוף עצמו מסתובבים).</li> </ul> <p><u>דין ברעיון</u>: הכוחות באינטראקציה שווים בגודלם. ציוד: מדי-כוח, שני מדי-משקל. ראו גם בפרק <u>"ניסויים"</u> בסעיף "החוק השלישי".</p> <p><u>הדגמות</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>עומדים על מד-משקל ולוחצים מד-משקל נוסף אל המשקוף (עמ' 55).</li> <li>"בריון" ו"חלשלוש" מושכים שני מדי-כוח מחוברים (עמ' 53).</li> <li>לוחצים שני מדי-משקל אל שולחן ומשווים קריאה.</li> </ul> <p><u>סיכום</u>: <u>החוק השלישי של ניוטון</u>.  **הצגת השלב השני בטכניקה לפתרון בעיות - "מאינטראקציה לכוחות".</p> <p><u>עבודה בקבוצות</u>: <u>כרטיסיית תרגול</u>.  <u>שיעורי בית</u>: עמ' 64-62, שאלות נבחרות מהפרק.</p> </p>	<p>עמודים 18, 20, 53-61</p>	<p>א. בדיקת <u>עוצמת האינטראקציה</u>.  ב. הגדרת עוצמת האינטראקציה <u>ככוח</u>.  ג. אפיון <u>כוח</u> כבעל גודל וכיוון.  ד. <u>לימוד החוק השלישי של ניוטון</u>.  ה. התנסות <u>במדידת כוחות</u>, כאמצעי שכנוע לקבלת החוק השלישי של ניוטון.  ו. <u>רכישת כלי החשיבה השני</u>: אפיון כלל הכוחות במערכת, זיהוי הכוחות והגופים הפועלים על גוף נבחר וייצוגם ב"<u>תרשים כוחות ראשוני</u>".</p>	<p>שעתיים</p> <p>שעה</p>	<p><u>נושא שני: "אינטראקציה וכוחות", החוק השלישי של ניוטון</u></p> <p><b>2.1 עוצמת האינטראקציה -</b>  מושג הכוח כמאפיין עוצמת אינטראקציה</p> <p><b>2.2 החוק השלישי -</b> בכל אינטראקציה פועלים שני כוחות השווים בגודלם, הפוכים בכיוונם והפועלים על גופים שונים</p> <p><b>2.3** שיטות לפתרון בעיות -</b>  כלי חשיבה שני</p>
--	---	---------------------------------	---	--------------------------	--

<p>סרטים שונים המראים ריחוף בחלליות יצירת כוח משיכה מלאכותי בתחנות חלל</p>	<p><b>"שאלות"</b> <u>הדגמות בנושא נפילה חופשית</u> ציוד - פחית נס-קפה גדולה ומתוכה משתלשלת משקולת הקשורה לגומייה (או קפיץ מתאים); בקבוק קנקל עם חור מנוקב בסמוך לתחתיתו. ההדגמות כוללות שלוש צורות שונות של נפילה חופשית (ראו סעיף 2 ב"<u>ניסויים</u>): (1) נפילה מלמעלה למטה (2) מסירת הבקבוק בצורה אופקית (3) זריקה כלפי מעלה. <u>דין: מדוע מרחפים האסטרונאוטים בחלל</u>. הזכרת המושגים מהירות מסלול ומהירות הימלטות. חשיבות הרצפה/קרקע לקיום המשקל. <u>סיכום</u>: בנפילה חופשית הגופים חסרי משקל.</p>	<p>עמודים 39-36</p>	<p>א. ניתוח נפילה חופשית ב. בירור המושגים <b>משקל וכוח משיכה</b> <b>(גרביטציה)</b> בתנאים שונים.</p>	<p>(9 שעות) שעה שעתיים שעתיים שעתיים שעתיים</p>	<p><b>נושא שלישי: אינטראקציה עם כדור הארץ</b> 3.1 טווח כוח המשיכה 3.2 מסה ומשקל 3.3 נפילה חופשית 3.4 משקל במערכת מואצת <b>3.4** שיטות לפתרון בעיות –</b> כלי חשיבה שני</p>
<p>ניתוח פיזיקלי של משחקים שונים כוחות שאינם על ישר- עמ' 74-72 לחץ - עמ' 78- 75</p>	<p><u>דין</u>: חזרה לכרטיסיות התרגול ועמידה על הבעייתיות של הניתוח הראשוני ועל כך ש"חסר" כוח נוסף. הצגת <b>כוח החיכוך</b> כאותו "כוח נעלם" - הסברים והדגשות של הנקודות הבאות: • כוח החיכוך משנה גודלו עד לגודל מקסימלי • לגופים נדחים- כוח החיכוך מתנגד לתנועה • לגופים דוחפים- כוח החיכוך גורם לתנועה אינטראקציה עם אוויר- ראו "<u>ניסויים</u>" סעיף 4. <u>עבודה בקבוצות</u>: עדכון הניתוחים שבוצעו בעבר לסיטואציות המוצגות ב<b>כרטיסיית התרגול</b> והוספת</p>	<p>פרק ג', עמודים 74-68</p>	<p>בחינת <b>הקשר בין כוחות ובין תנועה</b> אגב רכישת <b>כלי החשיבה השלישי</b>: התאמה בין שקול הכוחות הפועלים על גוף לבין מאפייני תנועתו. א. זיהוי <b>מאפייני התנועה</b>: כיוון וגודל שינוי במהירות גוף. ב. זיהוי והמשגה: <b>כוח החיכוך, כוח חיכוך</b> <b>מקסימלי, חיכוך עם האוויר</b>. ג. השלמת "<b>תרשים הכוחות</b>" ועדכון גודל הכוחות או לחילופין, קביעת מאפייני התנועה על פי שקול כוחות נתון.</p>	<p>4 שעות</p>	<p><b>נושא רביעי: כוחות ותנועה</b> 4.1 דיאגרמת כוחות: המושג שקול כוחות (לפי צירים: אנכי ואופקי); 4.2 השפעת כוחות על גוף; <b>4.3** שיטות לפתרון בעיות –</b> כלי חשיבה שלישי</p>

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט



	<p>אינטראקציות הקשורות לחיכוך. דפי עבודה בכיתה. פעילויות שונות וניתוחן המלא</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">מנוע רקטי</a></li> <li>• <a href="#">טיל מים</a></li> </ul> <p>שיעורי בית: עמ' 79-82, שאלות נבחרות.</p>		<p>ד. קישור בין שקול כוחות הפועלים על גוף לבין מאפייני התנועה של הגוף. ה. לימוד החוק הראשון והשני של ניוטון.</p>		
--	--	--	--	--	--

הערות

\* המקורות מתייחסים לספר "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א'.

\*\* מיועד לתכניות של 12 ו-20 שעות בלבד.

## 2.4 מהלכי שיעור אפשריים

להלן מספר הצעות למהלכי שיעור המשלימים ומפרטים את הטבלה [בפרק 2.3](#). מספרי העמודים מתייחסים ליחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א' (מרדכי בן צוק, הוצאת מכון ויצמן, 2001).

### 1) תכנית ל-5 שעות

במסגרת זו תיערך היכרות ראשונית עם המושגים אינטראקציה (במגע ולא במגע), כוח (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה) והחוק השלישי.

#### נושא ראשון: אינטראקציה - תעודת זהות

*הצגה של נושא האינטראקציה במגע: חיבוק, מחיאת כף, דחיפת קיר. הרעיון - בשעה שאנו נוגעים - נוגעים בנו.*

*הדגמה: עיוות של סרגל כתוצאה מאינטראקציה עם היד.*

*תחרות בין קבוצות: ציוד - פחית משקה ומאוורר. מטרת המשחק: להניע את הפחית בעזרת המאוורר ולהפיל את המטרה בזמן הקצר ביותר.*

*שאלות בעקבות התחרות: האם הייתה אינטראקציה בין המאוורר לפחית? איך אפשר לדעת זאת? משחק: עגלה שגומי מתוח מושך אותה.*

*סיכום: איך מזהים אינטראקציה? ניתן לזהות אינטראקציה בעזרת עיוות בגוף, שינוי במהירותו או בעזרת שתי התופעות גם יחד.*

*דף עבודה לתלמידים: עמ' 15 ביחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א' ( דף העבודה ישמש כשיעורי בית).*

*אינטראקציה מרחוק: ציוד - מגנטים, מהדקים, מסמרים, פיסות נייר, פיסות פלסטיק וכו'... התלמידים רושמים בטבלה עם איזה חומרים המגנט נמצא באינטראקציה, מרגישים את כוחות הדחייה והמשיכה בין המגנטים גם ללא מגע. מכאן הם מסיקים שאינטראקציה אינה חייבת להיות במגע.*

*הדגמה (או עבודה בקבוצות) - טעינה חשמלית של פס PVC, משיכת שיער או פיסות נייר, זרם חשמלי משפיע על מחט המגנט.*

*סיכום: אינטראקציה אינה תלויה במגע, והיא יכולה להתקיים גם מרחוק.*

*הצגת אינטראקציה מרחוק עם כדור הארץ ללא התייחסות לנושאים "נפילה חופשית", "מסה" ו"משקל".*

*תרגילים: ראו בפרק "שאלות" סעיפים 1, 2 ושאלות מסכמות 1 ו-2.*

#### נושא שני: אינטראקציה וכוחות, החוק השלישי של ניוטון

---

רוני מועלם - המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

**עוצמת האינטראקציה:** המושג כוח כמאפיין עוצמת אינטראקציה; הרעיון שלפיו בכל אינטראקציה פועלים שני כוחות שווים בגודלם והפוכים בכיוונם הפועלים על גופים שונים; **הדגמות ודיון עליהן**

**ציוד:** מאוורר קטן, עגלה, סקייטבורד, שני מדי-משקל רגילים (אמבטיה) **פעילויות**

- שני ילדים על עגלה וסקייטבורד דוחפים זה את זה.
- ילד על עגלה דוחף קיר.
- ילד על עגלה משליך משהו כבד.
- מאוורר קטן להדגמה (אם מחזיקים בלהבים, גם הם וגם הגוף עצמו מסתובבים).  
הפעילויות הנ"ל משתלבות ומתוארות בפרק "[פעילויות](#)".  
**דיון ברעיון:** הכוחות באינטראקציה שווים בגודלם. ציוד: מדי-כוח, שני מדי-משקל.

**הדגמות**

- עומדים על מד-משקל ולוחצים מד-משקל נוסף אל המשקוף (ראו עמ' 55 ביחידת הלימוד).
- "בריון" ו"חלשלוש" מושכים שני מדי-כוח מחוברים (ראו עמ' 53).
- לוחצים שני מדי-משקל המוצבים "גב לגב" אל שולחן ומשווים קריאה ביניהם: האחד מראה את הכוח שמפעיל האדם על השולחן והשני מראה את הכוח שמפעיל השולחן על האדם.

**סיכום:** החוק השלישי של ניוטון. ראו הפעלות נוספות ב"[ניסויים](#)".

## **(2) תכנית ל-12 שעות**

במסגרת זו תיערך היכרות עמוקה יותר עם המושגים אינטראקציה (במגע ולא במגע), כוח (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה) והחוק השלישי של ניוטון, ובנוסף, יוצג המושג חיכוך. ייעשה שימוש בטכניקה לפתרון בעיות איכותיות בפיזיקה, ייבנה תרשים כוחות לגופים על סמך מאפייני התנועה שלהם וייערך דיון ראשוני בנושא "מערכות", "משקל" וטווח האינטראקציה עם כדור הארץ. ניתן להרחיב בנושא אינטראקציה עם אוויר ולשלב עם המושג "חיכוך" (לפרוט ראו "[ניסויים](#)" סעיף 4).

להלן הצעה למהלכי שיעור אפשריים:

### **נושא ראשון: אינטראקציה - תעודת זהות**

**הצגה של נושא האינטראקציה במגע:** חיבוק, מחיאת כף, דחיפת קיר. **הרעיון -** בשעה שאנו נוגעים – נוגעים בנו.

**הדגמה:** עיוות של סרגל כתוצאה מאינטראקציה עם היד.

**תחרות בין קבוצות:** ציוד - פחית משקה ומאוורר. מטרת המשחק: להניע את הפחית בעזרת המאוורר ולהפיל את המטרה בזמן הקצר ביותר.  
**שאלות בעקבות התחרות:** האם הייתה אינטראקציה בין המאוורר לפחית? איך אפשר לדעת זאת?  
**משחק:** עגלה שגומי מתוח מושך אותה.  
**סיכום:** איך מזהים אינטראקציה? ניתן לזהות אינטראקציה בעזרת עיוות בגוף, שינוי במהירותו או בעזרת שתי התופעות גם יחד.

**דף עבודה לתלמידים:** עמ' 15 ביחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א' ( דף העבודה ישמש כשיעורי בית).

- **הצגת השלב הראשון בטכניקה לפתרון בעיות:** "אפיון מערכת". הבאת דוגמאות אחדות. **עבודה בקבוצות:** יישום **השלב הראשון בטכניקה** ("אפיון מערכת") עם **כרטיסיית התרגול**. **דיון:** עד כמה כדאי "לפרק" מערכת למרכיביה?
- **אינטראקציה מרחוק:** ציוד - מגנטים, מהדקים, מסמרים, פיסות נייר, פיסות פלסטיק וכו'... התלמידים רושמים בטבלה עם איזה חומרים המגנט נמצא באינטראקציה, מרגישים את כוחות הדחייה והמשיכה בין המגנטים ומבינים שאינטראקציה אינה חייבת להיות במגע.  
**הדגמה** (או עבודה בקבוצות) - טעינה חשמלית של פס PVC, משיכת שיער או פיסות נייר, זרם חשמלי משפיע על מחט המגנט.  
**סיכום:** אינטראקציה אינה חייבת להיות במגע ויכולה להתקיים גם מרחוק.  
הצגת אינטראקציה מרחוק עם כדור הארץ ללא התייחסות לנושאים נפילה חופשית, מסה ומשקל.  
**עבודה בקבוצות:** יישום השלב הראשון בטכניקה ("אפיון מערכת") עם **כרטיסיית התרגול**, הפעם, **כולל** האינטראקציה עם כדור הארץ.

**נושא שני:** אינטראקציה וכוחות, החוק השלישי של ניוטון  
**עוצמת האינטראקציה:** המושג כוח כמאפיין עוצמת אינטראקציה; הרעיון שבכל אינטראקציה פועלים שני כוחות שווים בגודלם, הפוכים בכיוונם ופועלים על גופים שונים.  
**הדגמות ודיון עליהן:** ציוד - מאוורר קטן, עגלה, סקייטבורד, שני מדי-משקל רגילים (אמבטיה).  
**פעילויות**

- שני ילדים על עגלה וסקייטבורד דוחפים זה את זה.
- ילד על עגלה דוחף קיר.
- ילד על עגלה משליך משהו כבד.
- מאוורר קטן להדגמה (אם מחזיקים בלהבים, גם הם וגם הגוף עצמו מסתובבים).

הפעילויות הבאות משתלבות ומתוארות בפרק ה "**פעילויות**".  
**דיון ברעיון:** הכוחות באינטראקציה שווים בגודלם. ציוד: מדי-כוח, שני מדי-משקל.

רוני מועלם - המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

## הדגמות

- עומדים על מד-משקל ולוחצים מד-משקל נוסף אל המשקוף (ראו עמ' 55 ביחידת הלימוד).
  - "בריון" ו"חלשלוש" מושכים שני מדי-כוח מחוברים (ראו עמ' 53).
  - לוחצים שני מדי-משקל המוצבים "גב לגב" אל שולחן ומשווים קריאה ביניהם: האחד מראה את הכוח שמפעיל האדם על השולחן והשני מראה את הכוח שמפעיל השולחן על האדם.
- סיכום:** החוק השלישי של ניוטון. ראו גם ב"[פעילויות](#)".

**תרגילים:** ראו בפרק "[שאלות](#)" סעיפים 1, 2 ושאלות מסכמות 1 ו-2.

**הצגת השלב השני בטכניקה לפתרון בעיות - "מאינטראקציה לכוחות".** המורים מביאים דוגמאות אחדות.

**עבודה בקבוצות:** [כרטיסיית התרגול](#).

### נושא שלישי: אינטראקציה עם כדור הארץ

**דיון בטווח האינטראקציה עם כדור הארץ (כוח הכבידה).** הדגשת הרעיון שלפיו עוצמת האינטראקציה יורדת עם המרחק מכדור הארץ, אך טווח האינטראקציה הוא אינסופי. דוגמה: הירח באינטראקציה עם כדור הארץ. ההוכחה לכך היא מסלולו המעגלי סביב כדור הארץ (במסלול מעגלי חל שינוי בכיוון המהירות, וזהו אחד ממאפייני האינטראקציה). אפשר להדגיש את ביטוי של החוק השלישי בכוחות הכבידה שמפעיל הירח על כדור הארץ, כוחות הגורמים לתופעת הגאות והשפל. כדאי להביא ממקורות אחרים דוגמאות נוספות לכוחות כבידה, כגון השמש, מרכז הגלקסיה וכד'.

**מסה ומשקל:** את הגדרת המסה למדו התלמידים בעבר ("כמות החומר" על פי הגדרה אינטואיטיבית). כדאי להדגיש שמשקל הוא כוח שאותו מפעילה הרצפה כלפי מעלה ("הכוח הנורמלי") ואותו מראים המאזניים. כאשר הגוף נמצא במנוחה, שווה גודל הכוח שמפעילה הרצפה כלפי מעלה לגודלו של כוח הכבידה.

### נושא רביעי: השפעת כוח החיכוך

**דיון בנושא תרשים כוחות:** הוראת המושג שקול כוחות (לפי צירים: אנכי ואופקי); השפעת כוחות על גוף.

**הצגת השלב השלישי בטכניקה לפתרון בעיות - מכוחות לתנועה ותרגול בכרטיסיית התרגול** (התרחשויות 15-21).

**דיון:** חזרה לכרטיסיית התרגול ועמידה על הבעייתיות של הניתוח הראשוני ועל כך ש"חסר" כוח נוסף.

הצגת **כוח החיכוך** כאותו "כוח חסר"; מתן הסברים והדגשות של הנקודות הבאות:

- כוח החיכוך משנה גודלו עד לגודל מרבי.
- בגופים נדחפים - כוח החיכוך מתנגד לתנועה.
- בגופים דוחפים - כוח החיכוך יוצר תנועה.

**עבודה בקבוצות:** חזרה לניתוחים הקודמים של הסיטואציות בכרטיסיית התרגול והוספת כוח החיכוך.

כדאי לערוך דיון בנושא "אינטראקציה עם אוויר". ראו מהלכי שיעור אפשריים [בפרק 3.3](#) סעיף 4.

פעילויות שונות וניתוחן המלא

- [מנוע רקטי](#)
- [טיל מים](#).

הערה: כדאי לבצע את הפעילויות לאחר דיון בנושא "אינטראקציה עם אוויר".

**עבודה** (בכיתה או בבית): בעיות מהפרק "[שאלות](#)" (כל השאלות למעט אלה המופיעות בסעיפים 7, 9, 13, 14).

### 3) תכנית ל-20 שעות

במסגרת זו יילמדו לעומק המושגים אינטראקציה (במגע ולא במגע), כוח (כמאפיין את עוצמת האינטראקציה) והמושגים חיכוך, משקל ונפילה חופשית. בנוסף ייעשה שימוש משמעותי יותר בטכניקה לפתרון בעיות איכותיות בפיזיקה, ייבנה תרשים כוחות לגופים ויידון המעבר מאפיון התנועה במערכת לתרשים כוחות. במסגרת הטכניקה המוזכרת ייערך דיון מקיף יותר בנושא "מערכות" הכולל דיון במושגים מערכת "פתוחה", מערכת "סגורה" וההבדלים ביניהן.

סילבוס התכנית

נושא ראשון: אינטראקציה - תעודת זהות

**הצגה של נושא האינטראקציה במגע:** חיבוק, מחיאת כף, דחיפת קיר. **הרעיון - אין אנו יכולים לגעת בלי שייגעו בנו כנ"ל.**

**הדגמה:** עיוות של סרגל כתוצאה מאינטראקציה עם היד.

**תחרות בין קבוצות:** ציוד - פחית משקה ומאוורר. מטרת המשחק: להניע את הפחית בעזרת

המאוורר ולהפיל את המטרה בזמן הקצר ביותר.

**שאלות בעקבות התחרות:** האם הייתה אינטראקציה בין המאוורר לפחית? איך אפשר לדעת זאת?

**משחק:** עגלה שגומי מתוח מושך אותה.

**סיכום:** איך מזהים אינטראקציה? ניתן לזהות אינטראקציה בעזרת עיוות בגוף, שינוי במהירותו או בעזרת שתי התופעות גם יחד.

**דף עבודה לתלמידים:** עמ' 15 ביחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א' ( דף העבודה ישמש כשיעורי בית).

**תרגילים:** ראו בפרק "[שאלות](#)" סעיפים 1, 2 ושאלות מסכמות 1 ו-2.

**הצגת השלב הראשון בטכניקה לפתרון בעיות:** "[אפיון מערכת](#)". הבאת דוגמאות אחדות. **עבודה בקבוצות:** יישום השלב הראשון בטכניקה ("אפיון מערכת") עם כרטיסיית התרגול. **דיון:** עד כמה כדאי "לפרק" מערכת למרכיביה?

**אינטראקציה מרחוק:** ציוד - מגנטים, מהדקים, מסמרים, פיסות נייר, פיסות פלסטיק וכו'... התלמידים רושמים בטבלה עם איזה חומרים המגנט נמצא באינטראקציה, מרגישים את כוחות הדחייה והמשיכה בין המגנטים ומבינים שאינטראקציה אינה תלויה במגע. **הדגמה** (או עבודה בקבוצות) - טעינה חשמלית של פס PVC, משיכת שיער או פיסות נייר, זרם חשמלי משפיע על מחט המגנט.

**סיכום:** אינטראקציה אינה תלויה במגע ויכולה להתקיים גם מרחוק. הצגת אינטראקציה מרחוק עם כדור הארץ ללא התייחסות לנושאים נפילה חופשית, מסה ומשקל.

**עבודה בקבוצות:** יישום השלב הראשון בטכניקה ("אפיון מערכת") עם [כרטיסיית התרגול](#). היישום כולל הפעם את האינטראקציה עם כדור הארץ.

**נושא שני:** אינטראקציה וכוחות, החוק השלישי של ניוטון

**עוצמת האינטראקציה:** המושג כוח כמאפיין עוצמת אינטראקציה; הרעיון שבכל אינטראקציה פועלים שני כוחות שווים בגודלם והפוכים בכיוונם הפועלים על גופים שונים. **הדגמות ודיון עליהן:** ציוד - מאוורר קטן, עגלה, סקייטבורד, שני מדי-משקל רגילים (אמבטיה) הפעילויות הבאות משתלבות ומתוארות בפרק "[פעילויות](#)".

- שני ילדים על עגלה וסקייטבורד דוחפים זה את זה.
- ילד על עגלה דוחף קיר.
- ילד על עגלה משליך משהו כבד.
- מאוורר קטן להדגמה ( אם מחזיקים בלהבים גם הם וגם הגוף עצמו מסתובבים).

**דיון ברעיון:** הכוחות באינטראקציה שווים בגודלם. ציוד: מדי-כוח, שני מדי-משקל. **הדגמות**

- עומדים על מד-משקל ולוחצים מד-משקל נוסף אל המשקוף (ראו עמ' 55 ביחידת הלימוד).
  - "בריון" ו"חלשלוש" מושכים שני מדי-כוח מחוברים (ראו עמ' 53).
  - לוחצים שני מדי-משקל המוצבים "גב לגב" אל שולחן ומשווים קריאה ביניהם: האחד מראה את הכוח שמפעיל האדם על השולחן, והשני מראה את הכוח שמפעיל השולחן על האדם.
- סיכום:** החוק השלישי של ניוטון. ראו גם ב"[פעילויות](#)".

**הצגת השלב השני בטכניקה לפתרון בעיות - "מאינטראקציה לכוחות".** המורים מביאים דוגמאות אחדות.  
**עבודה בקבוצות: [כרטיסיית התרגול](#).**

#### נושא שלישי: אינטראקציה עם כדור הארץ.

**דיון בטווח האינטראקציה עם כדור הארץ (כוח הכבידה).** הדגשת הרעיון שלפיו עוצמת האינטראקציה יורדת עם המרחק מכדור הארץ, אך טווח האינטראקציה הוא אינסופי. דוגמה: הירח באינטראקציה עם כדור הארץ. ההוכחה לכך היא מסלולו המעגלי סביב כדור הארץ (במסלול מעגלי חל שינוי בכיוון המהירות. שינוי זה הוא אחד ממאפייני האינטראקציה). אפשר להדגיש את ביטוי של החוק השלישי בכוחות הכבידה שמפעיל הירח על כדור הארץ. כוחות אלה גורמים לתופעת הגאות והשפל. כדאי להביא ממקורות אחרים דוגמאות נוספות לכוחות כבידה, כגון השמש, מרכז הגלקסיה וכד'.

**מסה ומשקל:** את הגדרת המסה למדו התלמידים בעבר ("כמות החומר" על פי הגדרה אינטואיטיבית). כדאי להדגיש שמשקל הוא כוח שאותו מפעילה הרצפה כלפי מעלה ("הכוח הנורמלי") ואותו מראים המאזניים. כאשר הגוף נמצא במנוחה, שווה הכוח שמפעילה הרצפה כלפי מעלה לכוח הכבידה.

#### נושא רביעי: השפעת כוח החיכוך

**דיון בנושא תרשים כוחות:** הוראת המושג שקול כוחות (לפי צירים: אנכי ואופקי); השפעת כוחות על גוף.  
**הצגת השלב השלישי בטכניקה לפתרון בעיות - מכוחות לתנועה ותרגול בכרטיסיית התרגול** (סיטואציות 15-21).

**דיון:** חזרה לכרטיסיית התרגול ועמידה על הבעייתיות של הניתוח הראשוני ועל כך ש"חסר" כוח נוסף.

**הצגת כוח החיכוך כאותו "כוח חסר";** מתן הסברים והדגשות של הנקודות הבאות:

- כוח החיכוך משנה גודלו עד לגודל מרבי.



- בגופים נדחפים - כוח החיכוך מתנגד לתנועה.
- בגופים דוחפים - כוח החיכוך יוצר תנועה.

**עבודה בקבוצות:** חזרה לניתוחים הקודמים של הסיטואציות בכרטיסיית התרגול והוספת כוח החיכוך.

דיון בנושא "אינטראקציה עם אוויר". ראו מהלכי שיעור אפשריים [בפרק 3.3](#), סעיף 4. פתרון קובץ תרגילים בנושא אינטראקציה עם אוויר. ראו "[שאלות](#)", סעיף 10.

פעילויות שונות וניתוחן המלא

- מנוע רקטי
- טיל מים.

**עבודה** (בכיתה או בבית): סעיף 4 בפרק "[שאלות](#)".

לאחר ניתוח הפעילויות העוסקות בטיילים ורקטות, יש לחזור אל הנושא השלישי ("אינטראקציה עם כדור הארץ"), ולהרחיב בנושא כוח הכבידה, נפילה חופשית ומשקל.

**הדגמות בנושא נפילה חופשית** (ראו ב"[ניסויים](#)", סעיף 2)

ציוד: פחית נס-קפה גדולה ומתוכה משתלשלת משקולת הקשורה לגומייה (או קפיץ מתאים); בקבוק קנקל עם חור מנוקב בסמוך לתחתיתו (כדאי לחורר את הבקבוק בעזרת מסמר מלובן). ההדגמות כוללות שלוש צורות שונות של נפילה חופשית (סימן היכר: המים אינם פורצים מהנקב בבקבוק).

אלה ההדגמות:

(1) נפילה מלמעלה למטה

(2) מסירת הבקבוק בצורה אופקית

(3) זריקה כלפי מעלה.

**דיון:** מדוע מרחפים האסטרונואוטים בחלל? הזכרת המושגים מהירות מסלול ומהירות הימלטות.

**סיכום:** בנפילה חופשית הגופים חסרי משקל.

**תרגיל:** שאלות בנושא כבידה ומשקל, ראו [סעיף 3.1-7](#)

**עבודה בקבוצות:** יישום השלב הראשון בטכניקה ("[אפיון מערכת](#)") על סיטואציות המוצגות בכרטיסיית התרגול, והפעם מוסיפים את האינטראקציה עם כדור הארץ.

שינויי משקל במערכות מואצות - הרעיון הוא שמשקל מושפע מכוחות אחרים הפועלים על הגוף. ניסוי: מדידת משקל במעלית מהירה. כאשר המעלית בדרכה למטה נבלמת, רואים שינוי (עלייה) בקריאת המאזניים.

ניסוי נוסף: אוחזים במד כוח שבקצהו תלויה מסה ומרימים אותו בפתאומיות למעלה. רואים עלייה בקריאת מד הכוח. לעומת זאת, אם מורידים אותו בפתאומיות, רואים ירידה בקריאתו.

ניתן לראות כי ההשפעה על המשקל בהגדרתו הקודמת קשורה לכיוון שינוי המהירות. מכיוון ששינוי מהירות (תאוצה) מחייב הפעלת כוח, הרי שתאוצה בכיוון אנכי לרצפה תגרום לשינוי במשקל הגוף.

לרעיונות נוספים ראו הצעות למהלכי שיעור ב"ניסויים", פרק 2.

שאלות מסכמות: ראו את כל השאלות המופיעות בפרק "שאלות".

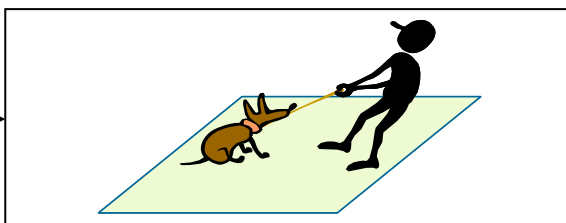
## תהליך ההוראה

### הסיטואציה המובילה (שלבים 1-9)

#### המושג הראשון

אינטראקציה

1

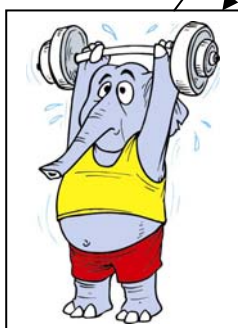


2

#### הפעלת האסטרטגיה על סיטואציות נבחרות

#### הוראת מושגי יסוד ועקרונות

#### הפעלת האסטרטגיה



כוחות	4
החוק השלישי של ניוטון	↓
החוק הראשון והחוק השני של ניוטון	7
תרשים כוחות	↓
חיכוך	10
אינטראקציה עם אוויר	↓
אינטראקציה עם כדור הארץ (מתקדם): מסה, משקל, נפילה חופשית, חוסר משקל	11

שלב ראשון: אפיון מערכת
שלב שני: ממערכת לגופים נבחרים
שלב שלישי: כוחות ותנועה

**תהליך ההוראה:** לאחר הוראת המושג "אינטראקציה" מציגים את הסיטואציה המובילה שעליה מתאמנים (1). בהמשך, יש ללמד את השלב הראשון של האסטרטגיה (2) ולהפעיל אותו על הסיטואציה המובילה. השלב הבא הוא הוראת הרעיון שבכל אינטראקציה מעורבים שני כוחות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם - החוק השלישי (3). יש להפעיל את השלב הראשון של האסטרטגיה גם על סיטואציות נוספות. עכשיו מלמדים את השלב השני של האסטרטגיה (5). בהמשך יש ללמד את המושג "שקול כוחות", השפעתו על תנועה (החוקים הראשון והשני של ניוטון (6)) וניתוח תרשימי כוחות (7). כעת ניתן ללמד את השלב השלישי של האסטרטגיה (8) ולבנות תרשים כוחות על פי מאפייני תנועה ידועה. במידה ויש אי התאמה בין מאפייני התנועה לתרשים הכוחות יש להוסיף כוח נוסף, כוח החיכוך (9). בהמשך אפשר ללמד גם את השפעת האוויר על תנועת גופים (אינטראקציה עם אוויר (10)) ולצאת לחלל תוך דיון על המשקל המסה ומה שבניהם (11).

### 3.1 שאלות בנושא אינטראקציה, כוחות ותנועה

השאלות ערוכות לפי נושאים כאשר תחילה מופיעות שאלות העוסקות באינטראקציות ומתרגלות את כלי החשיבה. בהמשך מופיעות שאלות העוסקות בכוחות ובחוק השלישי של ניוטון בצורה מורכבת יותר. שאלות העוסקות בחיכוך והיבטיו מופיעות לאחר תרגול כלי החשיבה השלישי ("מכוחות לתנועה"). בהמשך מופיעות שאלות מסכמות ברמות שונות. התשובות לכל השאלות מובאות לפי סידרן בקובץ "תשובות".

עמ'	תוכן עניינים:
2	1- שאלות בנושא אינטראקציה
4	2- שאלות אימון בהפעלת האסטרטגיה
5	3- שאלות בניתוח מאפייני תנועה
6	4- שאלות בנושא חיכוך
12	5- מכוחות לתנועה: ניתוח התרחשות
13	6- שאלות הנושא החוק השלישי וחיכוך
15	7- שאלות בנושא כבידה ומשקל
17	8- שאלות על רקטה "בלונית"
18	9- שאלות כמותיות
19	10- שאלות על אינטראקציה עם אוויר
20	11- שאלות מסכמות (1)
28	12- שאלות מסכמות (2)
35	13- שאלות מסכמות (3) - רמה גבוהה
38	14- שאלות מסכמות (4)

### 3.1-1 שאלות בנושא אינטראקציה

1. בשיחה עם חברו אמר עומר "כאשר סוס מושך עגלה, הוא מפעיל עליה כוח".

א. האם קיימת אינטראקציה בין הסוס לעגלה? \_\_\_\_\_

ב. בהנחה שקיימת אינטראקציה, מהם הגופים המשתתפים באינטראקציה שתיאר עומר? \_\_\_\_\_

ג. האם העגלה מפעילה כוח על הסוס? \_\_\_\_\_ אם היא מפעילה, מה הוא כיוון הכוח? \_\_\_\_\_

ד. בהנחה שהעגלה מפעילה כוח על הסוס, האם הכוח גדול/שווה/קטן מהכוח שהסוס מפעיל על העגלה? הסבירו. \_\_\_\_\_

2. נגר דופק בפטיש על מסמר. גודלו של הכוח שהפטיש מפעיל על המסמר הוא גדול/קטן/שווה לגודל הכוח שהמסמר מפעיל על הפטיש. הסבירו את תשובתכם. \_\_\_\_\_

3. חתול יושב על שולחן. גודל הכוח שמפעיל השולחן על החתול גדול/קטן/שווה לגודל הכוח שהחתול מפעיל על השולחן. הסבירו את תשובתכם. \_\_\_\_\_

4. שלומי נשען על גדר. גודל הכוח שהגדר מפעילה על שלומי גדול/קטן/שווה לגודל הכוח ששלומי מפעיל על הגדר. הסבירו את תשובתכם. \_\_\_\_\_

5. איך אפשר לדעת שגוף נמצא באינטראקציה? (מהם מאפייני האינטראקציה) \_\_\_\_\_

6. האם קיימת אינטראקציה בין מעבורת החלל אנטרפרייז (חללית הנמצאת בחלל במסלול מעגלי נמוך סביב כדור הארץ) לבין גוף (או גופים) כלשהו? הסבירו את תשובתכם.

---



---

7. א. שלומית אוחזת בידה טלפון נייד ושקועה בשיחה עם חברה. לפתע נשמט המכשיר מידה ונופל ארצה. הפעילו את כלי החשיבה על ההתרחשות ובנו תרשים כוחות לטלפון הנייד מיד לאחר שנשמט מידה של שלומית, כשהוא עדיין באוויר (התעלמו מהאינטראקציה בין הטלפון הנייד ובין האוויר).

ב. האם הטלפון הנייד נמצא באינטראקציה עם גוף כלשהו לאחר שנשמט מידה של שלומית (בזמן נפילתו)? הסבירו את תשובתכם? (התעלמו מהאינטראקציה בין הטלפון הנייד ובין האוויר).

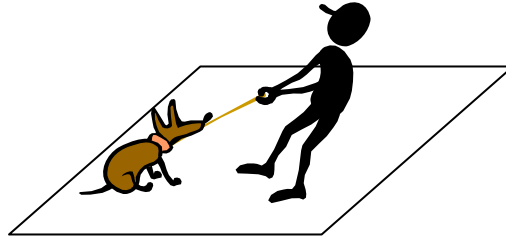
---



---

## 2- 3.1 פעילות אימון בהפעלת האסטרטגיה

נתונה ההתרחשות הבאה: אדם מושך כלב אך הכלב אינו זז. הסבירו מדוע הכלב אינו זז?



כדי לענות על השאלה, נתחו את ההתרחשות בעזרת תרשים מלבנים, טבלת אינטראקציות והוספת כוחות לתרשים המלבנים. בודדו את האדם ואח"כ את הכלב וסמנו לכל אחד, באמצעות חיצים, את כל הכוחות הפועלים עליו.

א. תרשים מלבנים

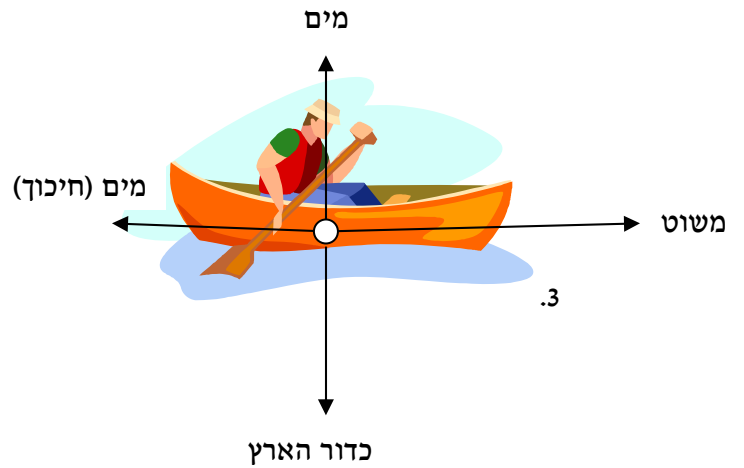
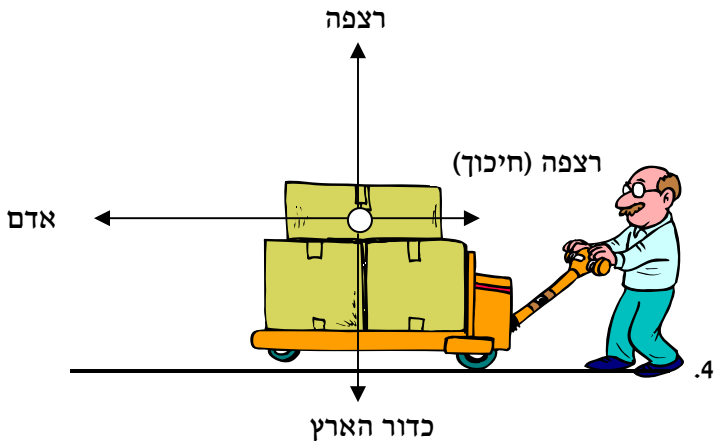
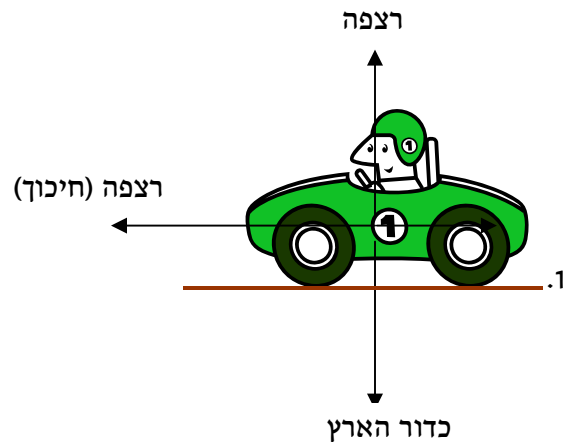
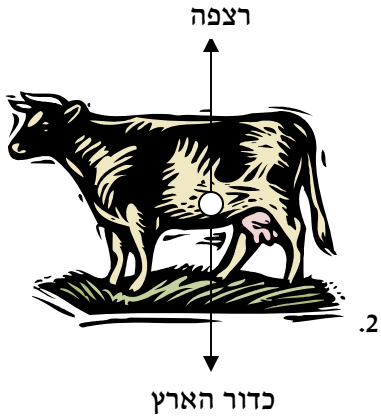
ב. טבלת אינטראקציות


בידוד הגופים ותרשים כוחות

כלב	אדם	רוני	מחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, כיות שמורות למשרד החינוך והספורט
-----	-----	------	---

### 3- 3.1 שאלות בניתוח מאפייני תנועה

לפניכם תרשימי כוחות של גופים שונים. קבעו מה יקרה לכל גוף כתוצאה מהפעלת כוחות אלה: האם ישנה את מהירותו? אם כן, לאיזה כיוון? הסבירו את קביעתכם.

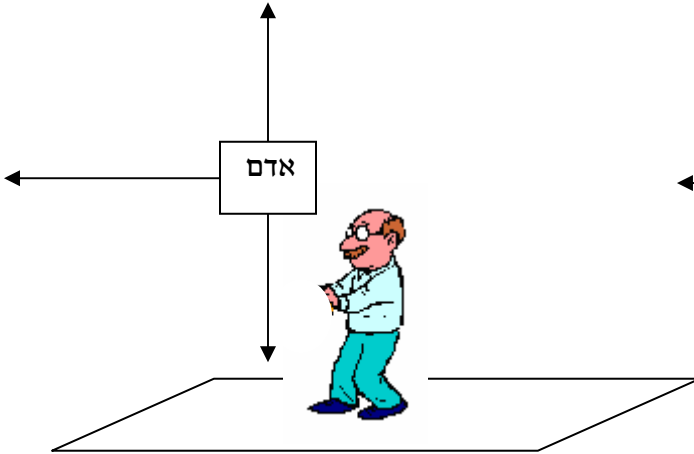




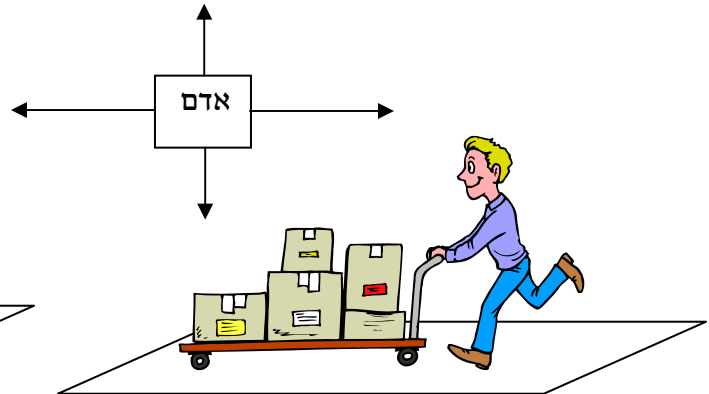
## 3.1-4 שאלות בנושא חיכוך

1. נתונות שתי ההתרחשויות הבאות:

- אדם דוחף עגלה במהירות קבועה שמאלה.
- אדם נע שמאלה ומהירותו הולכת וגדלה.



התרחשות 2



התרחשות 1

- א. באיורים משורטט תרשים כוחות לכל אדם. רשמו מעל לכל כוח (חץ) מי הגוף המפעיל אותו.
- ב. בדרכם הגיעו שני האנשים שבאיור לאזור שבו הכביש היה רטוב משמן. האם לעובדה שהם צועדים על כביש חלק מאוד, יש השפעה כלשהי על תרשימי הכוחות? בתשובתכם לשתי ההתרחשויות, התייחסו לנקודות הבאות:
- אילו כוחות הושפעו (אם בכלל) מהשמן?

---



---

- כיצד השתנו הגדלים של הכוחות האלה (גדלו / קטנו / לא השתנו)? הסבירו את תשובתכם.

---



---

- ג. שימו לב שגודל החצים בציר האנכי (ציר ה-Y) שהתרחשות 1, קטן יותר מזה שבהתרחשות 2. מה אתם למדים מכך?

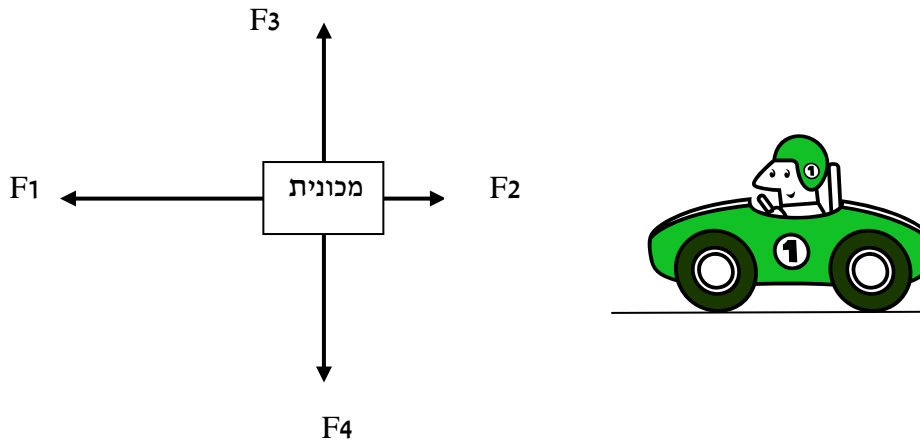
---



---

- ד. נתון שבהתרחשות 1 מהירות העגלה הולכת וגדלה לכיוון שמאל. שרטטו תרשים כוחות חדש של האדם המתאים לנתון זה.

2. מכונית מגדילה את מהירותה לכיוון שמאל. המערכת כוללת: מכונית (הכוללת את המנוע, הגלגלים והנהג); כביש; כדור הארץ; אוויר. באיור נתון תרשים הכוחות הפועלים על המכונית.



א. דני טוען שהכוחות הפועלים על המכונית הם כדלקמן:

- $F_1$  - הכוח שהמנוע מפעיל על המכונית בכיוון שמאל
  - $F_2$  - כוח החיכוך שהכביש מפעיל על המכונית בכיוון ימין (כוח בולם)
  - $F_3$  - הכוח שהכביש מפעיל על המכונית בכיוון למעלה
  - $F_4$  - הכוח שכדור הארץ מפעיל על המכונית בכיוון למטה.
- האם אתם מסכימים למה שטוען דני? אם אינכם מסכימים, כתבו מה לדעתכם לא נכון והציעו תיקון אפשרי.

---



---

ב. האם נוכל להגדיל את מהירות המכונית על ידי הקטנת כוח החיכוך בין הגלגלים לכביש (למשל על ידי הרטבת הכביש בשמן)? הסבירו.

---



---

ג. מהו הכוח האופקי שמפעילה המכונית על הכביש ומה כיוונו? הסבירו.

---



---

ד. במה תלויה עוצמת האינטראקציה בין המכונית לאוויר? הסבירו.

---



---

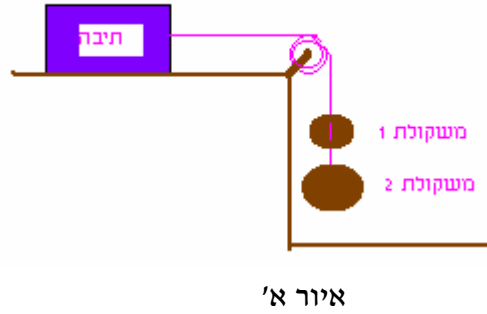
ה. איזה גוף אחראי על בלימת המכונית כאשר הנהג לוחץ על דוושת הבלם? הסבירו את תשובתכם.

---

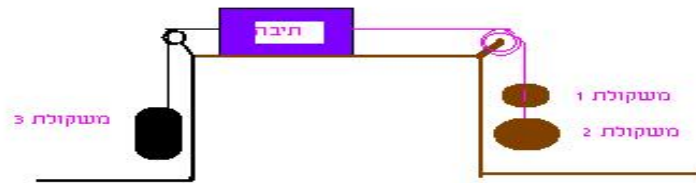


---

3. האיורים א' ו-ב' מתארים מערכות הכוללות משקולות, חבלים ותיבה המונחים על מדרגה. התעלמו מאינטראקציות של גופים שונים עם הגלגלות ועם האוויר.



א. שרטטו תרשים כוחות לתיבה באיור א' כאשר התיבה אינה נעה.

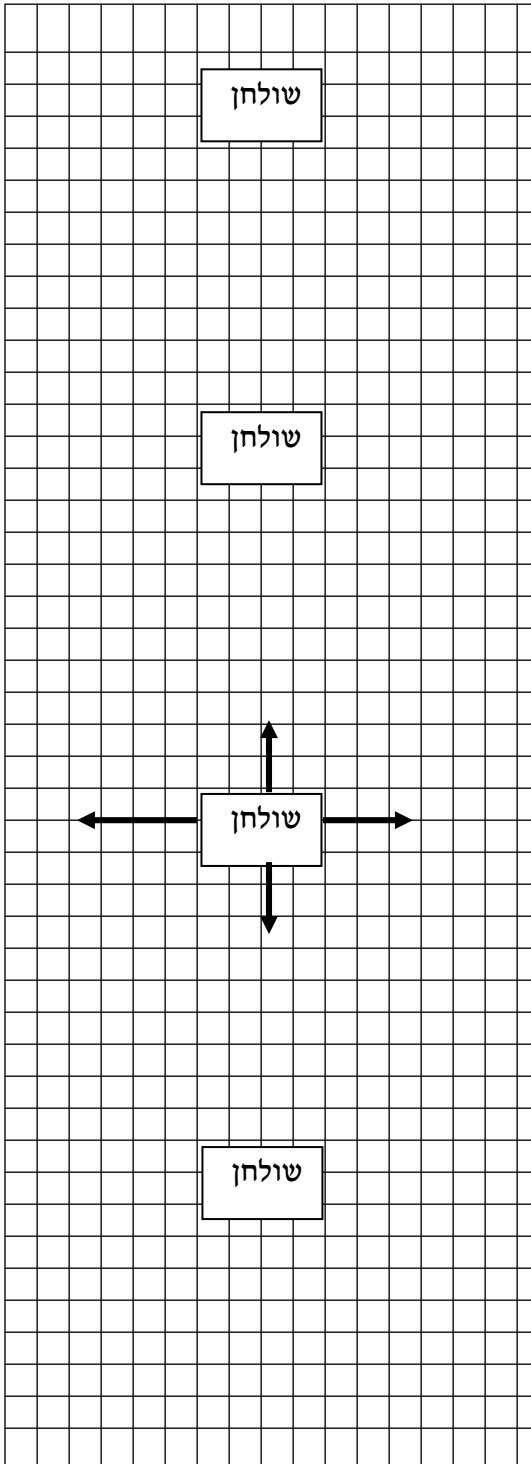


ב. שרטטו תרשים כוחות לתיבה באיור ב' כאשר התיבה מגדילה את מהירותה לכיוון שמאל.

4. נתונה ההתרחשות הבאה: דוד מניח את ידיו על שולחן בכיתה ומתחיל לדחוף אותו לכיוון שמאל.  
 בבעיה הבאה אתם מתבקשים לנתח, שלב אחר שלב, את תנועת השולחן ולבנות דיאגרמת כוחות בכל מצב.

**זכרו:** אורך החצים מציין את גודל הכוח הפועל על הגוף.

להלן השלבים השונים. שרטטו את הכוחות הפועלים על השולחן בכל שלב. לעזרתכם, נתונים הכוחות בשלב ג'. ציינו את שאר הכוחות תוך התייחסות לכוחות אלה. הסבירו בכל שלב כיצד קבעתם את גודל החצים.



שלב א: דוד מתחיל לדחוף את השולחן בכוח חלש. השולחן אינו נע.

שלב ב: דוד מגדיל את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן עדיין אינו נע.

שלב ג: דוד מגדיל שוב את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן מתחיל לנוע שמאלה.

שלב ד: דוד מגדיל עוד יותר את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן מגדיל את מהירותו שמאלה בקצב מהיר.

5. להלן מספר משפטים. הקיפו בעיגול את המשפטים שאתם מסכימים לתוכנם, ותקנו את אלה שאתם סבורים כי הם שגויים.

- א. כוח החיכוך בין שני גופים יכול לשנות את גודלו מאפס ועד לגודל מקסימלי, בהתאם לתכונותיהם של שני הגופים.
- ב. כאשר כוח קטן דוחף גוף, והגוף אינו נע, יהיה כוח החיכוך קטן אף הוא, שווה בערכו והפוך בכיוונו לגודל הכוח הדוחף.
- ג. כאשר הכוח דוחף בעוצמה חזקה, והגוף נע - כוח החיכוך יכול להגיע לעוצמתו המקסימלית.
- ד. כאשר דוחפים גוף, ואין הוא נע, הרי כוח החיכוך גדול יותר מהכוח הדוחף.
- ה. כאשר גוף נע, כוח החיכוך שקדם לתנועה מתבטל ואין הוא קיים עוד.
- ו. כאשר הכוח הדוחף גדול מכוח החיכוך המקסימלי - ישנה הגוף את מהירותו.

תיקון המשפטים השגויים

---

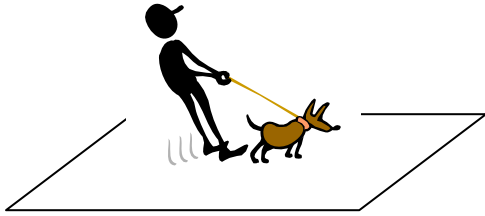


---



---

## 3.1-5 מכוחות לתנועה: ניתוח התרחשות

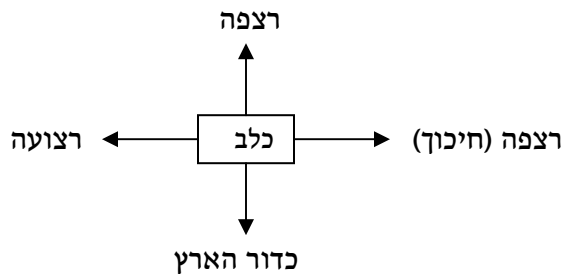


1. תיאור ההתרחשות: כלב קטן מושך אדם המתנגד למשיכה (ראו איור). האדם והכלב לא זזים.

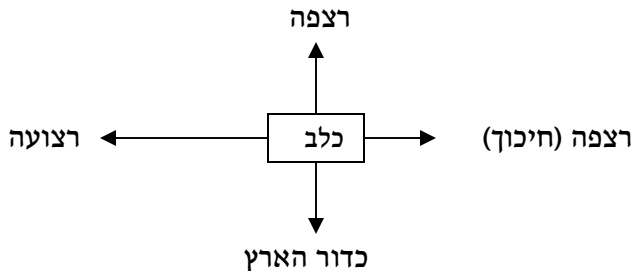
ציירו תרשים כוחות לכלב וציינו ליד כל כוח את שם הגוף שמפעיל אותו.

כלב

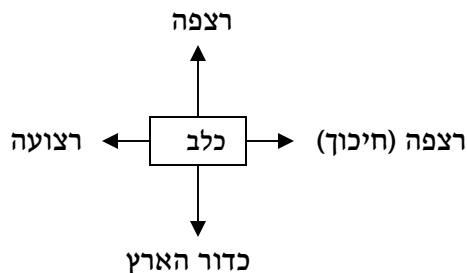
2. בשאלות הבאות נתונים תרשימי כוחות של הכלב במצבים שונים. הקיפו את המשפט המתאר את מה שיתרחש.



- 2.
- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם (שמאלה).
  - הכלב לא יזוז.
  - האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
  - אי אפשר לדעת מה יתרחש.



- 3.
- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם (שמאלה).
  - הכלב לא יזוז.
  - האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
  - אי אפשר לדעת מה יתרחש.



- 4.
- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
  - הכלב לא יזוז.
  - האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
  - אי אפשר לדעת מה יתרחש.

### 3.1-6 שאלות בנושא החוק השלישי וחיכוך

לפניכם מספר משפטים. סמנו אם אתם מסכימים או אינכם מסכימים לתוכן המשפט, והסבירו בקיצור את בחירתכם (רמז: אם אינכם בטוחים בתשובתכם, תוכלו להיעזר בכלי החשיבה שלמדתם).

1. זבוב מתנגש בקיר גדול. באינטראקציה בין הזבוב לקיר, הכוח שמפעיל הקיר על הזבוב גדול בהרבה מהכוח שהזבוב מפעיל על הקיר.

מסכימים/איננו מסכימים                      הסבר: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. יצרנים של נעלי ספורט שואפים לעצב את סוליות נעליהם כך שתהינה חזקות ועמידות בפני שחיקה, ובעיקר מתרכזים בהקטנת כוח החיכוך בין הסוליה לרצפה. הקטנת כוח החיכוך בין הסוליה לרצפה תגרום לאדם הנועל אותה להתאמץ פחות כשהוא צועד, כי לא יצטרך להתגבר על כוח החיכוך שמפעילה הרצפה, כוח המפריע לתנועתו.

מסכימים/איננו מסכימים                      הסבר: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. חברת "אליאנס" המייצרת צמיגים למכוניות מנסה לעצב את סוליית הצמיג (החלק בצמיג שבא במגע עם בכביש) כך שתהיה חזקה ועמידה בפני שחיקה, ומהנדסי החברה מתרכזים בעיקר בהקטנת כוח החיכוך בין סוליית הצמיג לכביש. הקטנת כוח החיכוך תגרום למנוע המכונית "להתאמץ" פחות, לצרוך פחות דלק ולהקטין את זיהום האוויר, כיוון שכוח החיכוך בכביש המפריע לתנועת המכונית, יהיה קטן.

מסכימים/איננו מסכימים                      הסבר: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. רכבת דוהרת מתנגשת באבן קטנה. באינטראקציה בין הרכבת לאבן הכוח שמפעילה הרכבת על האבן גדולה בהרבה מהכוח שהאבן מפעילה על הרכבת.

מסכימים/איננו מסכימים                      הסבר: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. יוסי טוען שכאשר מתחילים ללכת יש אינטראקציה בין האדם ההולך לבין הרצפה. מכיוון שעל פי החוק השלישי של ניוטון, כוחות החיכוך בין הרצפה לאדם שווים בגודלם והפוכים בכיוונם, הם מבטלים זה את זה. לכן באופן תיאורטי האדם לא אמור לנוע. אך מכיוון שאין זה מה שקורה והאדם מצליח לנוע, הכוח שמפעילים שרירי האדם גדול מהכוח שמפעילה הרצפה.

מסכימים/איננו מסכימים      הסבר: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6. ארגז כבד מורם לגג באופן אנכי במהירות קבועה ע"י כבל מתכת המחובר למנוע חשמלי. דני טוען שהכוח שמופעל על הארגז על ידי המנוע חייב להיות גדול יותר מהכוח שמפעיל כדור הארץ.

מסכימים/איננו מסכימים      הסבר: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

7. שחף אומרת שכאשר נועצים נעץ במשטח קרטון רך, הכוח שהמופעל על הנעץ על ידי האדם גדול מהכוח שמפעיל הנעץ על הקרטון.

מסכימים/איננו מסכימים      הסבר: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

8. רוני סיפר שהצליח ללכת בקלות רבה על גבי אגם קפוא בעזרת נעלי התעמלות פשוטות, מכיוון שהחיכוך בין הנעליים לקרח קטן בהרבה מהחיכוך בין הנעליים לרצפה.

מסכימים/איננו מסכימים      הסבר: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



### 7-3.1 שאלות בנושא כבידה ומשקל

1. תלמידי כיתה ביצעו את הניסוי הבא: פלג אחז בידו קפיץ קצר ומתוח, ובקצהו הייתה תלויה משקולת שגרמה למתיחת הקפיץ. לפתע, שחרר פלג את הקפיץ, והקפיץ נפל עם המשקולת על הרצפה.

ענו על השאלות הבאות והתייחסו לניסוי המתואר.

א. השתמשו בשיטה לפתרון בעיות (כלי חשיבה) וערכו תרשים כוחות למשקולת לפני שחרור הקפיץ ולאחר שחרורו (כשהוא עדיין באוויר). מדוע, לדעתכם, היה הקפיץ מתוח לפני שחרורו?

---



---

ב. האם נשמרה מתיחותו של הקפיץ זמן קצר לאחר שחרורו, ובהיותו עדיין באוויר? הסבירו את תשובתכם.

---



---

2. אסטרונוט מעבורת החלל אנטרפרייז (גובה מסלולה כ-300 ק"מ מעל לכדור הארץ) יוצא לביצוע תיקונים מחוץ למעבורת ולוקח אתו ארגז עם כלים מסיביים. האסטרונוט קשור בכבל חזק למעבורת החלל. לפתע, בעקבות תקלה מצערת, נקרע הכבל והאסטרונוט נותר מרחף בחלל סמוך מאוד למעבורת.

ענו על השאלות הבאות בהתייחס למקרה המתואר.

א. הציעו דרך שבעזרתה יוכל האסטרונוט לחזור למעבורת.

---



---

ב. מהי "תחושת המשקל" של האסטרונוט בזמן ריחופו? הסבירו את תשובתכם.

---



---

ג. האם יכול האסטרונוט לחזור למעבורת החלל על ידי תנועות ידיים ורגליים בלבד? הסבירו את תשובתכם.

---



---

3. לפני הטיסה לחלל מתאמנים האסטרונאוטים במצבים של חוסר תחושת המשקל. לפניכם ארבע שיטות להשגת תנאים של תחושת חוסר משקל, שתיים מהן אינן נכונות. זהו את השיטות הנכונות ונמקו את דעתכם.

- א. שימוש במטוס מיוחד המגיע לגובה רב, מכוון את חרטומו כלפי מטה, מכבה את מנועיו ונופל באופן חופשי עד סמוך לקרקע, מסתובב ועולה שוב לגובה רב, וחוזר חלילה.
- ב. שימוש במכשיר צנטריפוגה מיוחד הנמצא על הקרקע ויכול להסתובב בכיוון אופקי בקצב קבוע.
- ג. הפעלת שיטה דומה ל- א', אך במקרה זה המטוס מכבה את מנועיו עוד לפני שהגיע לשיא גובהו: הטייס מכבה את מנועי המטוס בנסיקתו כלפי מעלה, ממשיך להתרומם הודות למהירות שרכש עד שמגיע לגובה המקסימלי, נעצר לחלקיק שנייה, ואז נופל כלפי מטה (כמו ב-א').
- ד. ביצוע טיסה אופקית במטוס גדול ובמהירות מסוימת (652 קמ"ש) שחושבה במיוחד.

נימוק:

---



---



---



---

איזו שיטה מאפשרת לאסטרונאוטים לשהות זמן רב יותר בתחושת חוסר משקל?

---



---

## 8-3.1 שאלות על רקטה "בלונית"

במהלך פעילות 4 (ראו פרק "פעילויות") התבקשתם לבנות מנוע שיגרום לטיל לנוע על חוט הניילון.

1. תארו כיצד בניתם את הטיל. באיזה סוג מנוע השתמשתם?

---



---



---

2. השתמשו בבנק המילים והמושגים המופיע בסוף השאלה ונסו להסביר בעזרתו את פעולת המנוע

שבו השתמשתם. אגב כך התייחסו לשאלה, מדוע המנוע דוחף את הטיל קדימה.

---



---



---



---



---

בנק מילים ומושגים: אינטראקציה, אוויר, כוחות באינטראקציה, אינטראקציות במצב  
ואינטראקציות של אטומים, חיכוך עם חוט הניילון, משקל הטייל, שיפוע האספול (שיפוע  
חוט הניילון)

3. השתמשו בבנק המילים והמושגים משאלה 2 ותארו את פעולתו של מנוע אחר שבו הייתם יכולים

להשתמש להנעת הטיל.

---



---



---

### 9-3.1 שאלות כמותיות על אינטראקציה

1. ערכו תרשים כוחות למטוס הנמצא באוויר ונע במהירות ובגובה קבועים. מסת המטוס היא 10 טון (טון אחד שווה ל-1000 ק"ג), וכוח דחף המנועים הוא 10,000 ניוטון.

מטוס

2. ערכו תרשים כוחות למסוק המרחף באוויר ללא מהירות אופקית ובגובה קבוע. מסת המסוק היא 1 טון (טון אחד שווה ל-1000 ק"ג).

מסוק

### 10-3.1 שאלות על אינטראקציה עם האוויר

באילת היה קיים מתקן מיוחד המדמה צניחה חופשית על ידי הזרמת אוויר במהירות גדולה כלפי מעלה, דרך רצפה מחוררת. הצנחן לובש חליפה מיוחדת הגורמת לו להיראות שמן מאוד. הוא ממוקם מתחת לזרם האוויר ומרחף באוויר.

1. ערכו תרשים כוחות לצנחן בזמן ריחופו.

צנחן

2. מה תפקיד החליפה המיוחדת שלובש הצנחן?

---



---



---

3. האם יידרש שינוי כלשהו במערכת (גודל המאוורר, עוצמת הרוח שהוא מייצר וכד'), אם יעדיף הצנחן לרחף ללא החליפה המיוחדת?

---



---



---

4. צנחן המצויד במצנח "אמיתי" (המקופל במארז מיוחד הצמוד לצנחן) מנסה את כוחו גם הוא במתקן. מה עלול להתרחש, אם בזמן הריחוף הוא יפתח פתאום את המצנח המחובר אליו? נמקו את תשובתכם.

---



---



---

5. ערכו תרשים כוחות לצנחן מיד עם פתיחת המצנח:

צנחן עם  
מצנח פתוח

## 3.1-11 שאלות מסכמות (1)

בסעיפים הבאים מתוארות התרחשויות המלוות במספר שאלות. ענו על השאלות.



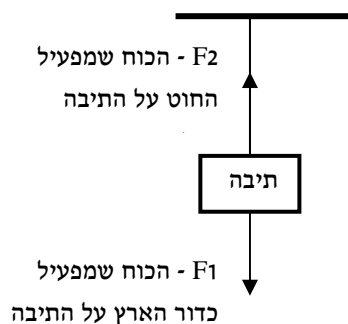
1. תיאור ההתרחשות: כדור פורח קבוע במקומו מרחף בגובה של 10 מטרים מעל הקרקע ומשחרר חבילה. השאלה מתייחסת לחבילה בפרק הזמן שבו היא נמצאת באוויר.

- א. לפניכם רשימה של גופים. רשמו ליד כל גוף בטבלה הבאה, האם הוא משפיע על החבילה בזמן הנפילה. הסבירו את תשובתכם.

גופים	משפיע (כן/לא)	הסבר
הכדור הפורח		
האוויר		
השמש		
כדור הארץ		
הקרקע		

- ב. האם משתנה מהירות החבילה בדרכה מהכדור הפורח אל הקרקע (לפני הפגיעה ברצפה)? כן/לא

\_\_\_\_\_ הסבירו את תשובתכם



2. תיאור ההתרחשות: תיבה תלויה על חוט המחובר לתקרה. יוסי טוען כי הכוחות  $F_1$  ו- $F_2$  הם זוג כוחות של אינטראקציה אחת.

- א. האם אתם מסכימים לדעתו של יוסי? כן/לא

ב. הסבירו את תשובתכם

3. תיאור ההתרחשות: משאית ומכונית קטנה נוסעות זו לקראת זו במהירויות שוות (ראו איור).



- א. אלו גופים משתתפים בהתרחשות ברגע המתואר? \_\_\_\_\_
- ב. לאחר זמן קצר, המשאית והמכונית מתנגשות. המכונית נמעת ואילו המשאית כמעט שאינה נפגעת. סמנו את המשפט הנכון ביותר לדעתכם המתאר את הסיבה לתוצאות ההתנגשות.
- (1) המכונית, הקלה בהרבה מהמשאית, לא הפעילה כוח על המשאית ולכן המשאית לא נמעכה, ואילו המשאית הפעילה כוח על המכונית ולכן מעכה אותה.
  - (2) אין הפעלת כוחות בהתנגשות, המכונית הקלה פשוט נמעכה מעוצמת המשאית הכבדה.
  - (3) הכוח שהפעילה המכונית על המשאית גדול יותר מהכוח שהפעילה המשאית על המכונית ולכן המכונית היא זו שנמעכה.
  - (4) הכוח שהפעילה המשאית על המכונית שווה לכוח שהפעילה המכונית על המשאית, אך בגלל מבנה המכונית, היא זו שנמעכה.

הסבירו את תשובתכם \_\_\_\_\_



4. תיאור התרחשות: אדם מניף משקולת כבדה בהצלחה ומחזיק אותה באופן יציב באוויר (ראו איור).

א. הקיפו בעיגול כל אחד מהגופים המפעילים כוח על האדם, ורשמו לצדם את כיוון הכוח (למעלה/למטה/הצדה).

<u>שם הגוף</u>	<u>כיוון הכוח</u>
(1) רצפה	_____
(2) האדם עצמו הדוחף את המשקולת	_____
(3) משקולת	_____
(4) כדור הארץ	_____
(5) צופים באירוע	_____
(6) אוויר	_____
(7) אף אחד מאלה	_____

ב. הקיפו בעיגול כל אחד מהגופים המפעילים כוח על המשקולת, ורשמו לצדם את כיוון הכוח (למעלה/למטה/הצדה).

<u>כיוון הכוח</u>	<u>שם הגוף</u>
_____	(1) רצפה
_____	(2) המשקולת עצמה הדוחפת את האדם
_____	(3) האדם
_____	(4) כדור הארץ
_____	(5) צופים באירוע
_____	(6) אוויר
	(7) אף אחד מאלה

ג. מה יקרה, לדעתכם, אם האדם יפחית במעט את הכוח שהוא דוחף את המשקולת? הקיפו בעיגול את התשובה הנכונה.

- (1) המשקולת תתחיל להתנדנד כי האיזון הופר, אך לא תשנה את גובהה.
- (2) לא יקרה דבר כי הכוח שמפעיל האדם על המשקולת היה מראש גדול יותר ממשקל המשקולת, ויש לו "עודפים של כוח".
- (3) המשקולת תרד קצת ואחר כך תחזור לגובהה המקורי.
- (4) המשקולת תנוע כלפי מטה.

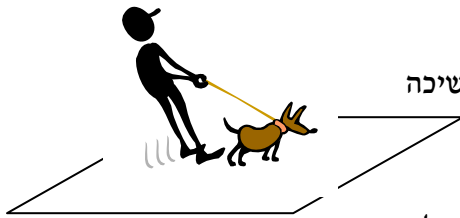
הסבירו את בחירתכם \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. תיאור ההתרחשות: משאית גדולה התקלקלה באמצע הדרך ונעזרת במכונית קטנה הדוחפת אותה מאחור. איזה משפט מתאר נכונה את הכוחות הפועלים על כלי הרכב?

- א. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית קטן מהכוח שהמשאית מפעילה כדי לדחוף את המכונית בחזרה.
- ב. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית שווה בדיוק לכוח שהמשאית מפעילה על המכונית הקטנה.
- ג. מנוע המכונית פועל, ולכן המכונית היא שדוחפת את המשאית. מכיוון שמנוע המשאית אינו פועל, אין המשאית דוחפת את המכונית חזרה, ולכן רק המכונית מפעילה כוח.
- ד. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית גדול מהכוח שהמשאית מפעילה כדי לדחוף את המכונית בחזרה.





6. תיאור ההתרחשות: כלב קטן מושך אדם כבד מאוד המתנגד למשיכה (ראו איור). לפני המשיכה הכלב והאדם אינם בתנועה.

א. ערכו תרשים כוחות לכלב וציינו ליד כל כוח את שם הגוף שמפעיל אותו.

כלב

ב. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה שווה לכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה. לתקן את המספור מ-1 ל-4.

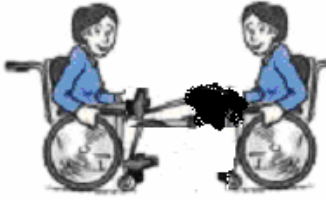
- (1) הכלב לא יזוז.
- (2) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- (3) אי אפשר לדעת מה יתרחש.
- (4) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.

ג. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה גדול מכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה.

- (1) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- (2) הכלב לא יזוז.
- (3) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- (4) אי אפשר לדעת מה יתרחש.

ד. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה קטן מכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה.

- (1) אי אפשר לדעת מה יתרחש.
- (2) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- (3) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- (4) הכלב לא יזוז.



7. תיאור ההתרחשות: שני תלמידים יושבים על כיסאות זהים המצוידים בגלגלים, ופונים זה מול זה. תלמיד א' מניח את רגליו על ברכי תלמיד ב' (ראו איור) ולפתע מיישר אותן קדימה וגורם לתנועה. הקיפו את המשפט המתאר נכונה את מה שמתרחש במהלך הדחיפה, כל עוד התלמידים נוגעים עדיין זה בזה.

- תלמיד א' מפעיל כוח על תלמיד ב', אבל תלמיד ב' אינו מפעיל כוח על תלמיד א'.
- שני התלמידים אינם מפעילים כוח זה על זה.
- שני התלמידים מפעילים כוח זה על זה, והכוחות שווים בגודלם.
- הכוח שמפעיל תלמיד א' על תלמיד ב' גדול יותר מהכוח שמפעיל תלמיד ב' על תלמיד א'.



8. תיאור ההתרחשות: אופנוע נוסע על כביש ישר ואופקי (לא משופע) במהירות קבועה.

- היעזרו בבנק המילים בתחתית הקטע והשלימו את הקטע הבא:  
כאשר האופנוע נוסע במהירות קבועה, הכוח שפועל על האופנוע בכיוון קדימה יהיה \_\_\_\_\_ (ה) כוח המנסה לבלום את האופנוע. כאשר בולמים בפתאומיות, יש לדאוג שהכוח שפועל על האופנוע קדימה יהיה \_\_\_\_\_ כוח הבלמה.

קטן יותר מ , גדול בהרבה מ , גדול במעט מ, שווה ל, קטן בהרבה מ

- האם פועלים כוחות על האופנוע בכיוון אנכי (כלפי מעלה או כלפי מטה)? כן/לא

אם התשובה היא כן, ענו על השאלות האלה:

(1) איזה גוף (או גופים) אחראי להפעלת הכוחות? \_\_\_\_\_

(2) מהם כיווני הכוחות שמפעילים הגופים שציינתם בסעיף הקודם? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(3) אם מדובר ביותר מגוף אחד המפעיל כוח אנכי על האופנוע, האם כוח אחד שווה בגודלו

לאחר/אחרים או שונה מהם? הסבירו את תשובתכם. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ג. הקיפו בעיגול את הגוף ( או הגופים) הדוחף את האופנוע קדימה.

- (1) מנוע האופנוע
- (2) הכביש
- (3) האוויר
- (4) הנהג.

9. **לפניכם שתי עמודות:** האחת מכילה רשימה של התרחשויות שונות, והשנייה רשימה של עקרונות וחוקים פיזיקליים. חברו בקו כל התרחשות עם ההסברים והעקרונות המסבירים אותה. זכרו, ייתכנו מספר עקרונות וחוקים להתרחשות אחת. היעזרו בדוגמה המובאת.

<u>רשימת התרחשויות</u>	<u>רשימת עקרונות וחוקים</u>
מגנט מושך ממרחק מגנט אחר.	הפעלת כוחות תיתכן גם ממרחק.
סרגל מתעוות כשמעקמים אותו.	תוצאות פעולתו של כוח על גוף תלויה גם בתכונות הגוף.
גוף נופל מגדיל את מהירותו כלפי מטה.	מהירותו של גוף אינה משתנה כאשר אין כוחות שפועלים עליו.
מכונית קטנה מתנגשת בקיר בטון ונמעכת.	הפעלת כוח על גוף גורמת לעיוות ו/או לשינוי מהירות.
חללית נעה במהירות קבועה בחלל הריק.	
תיבה מונחת על כוננית דקה ומעקמת אותה.	

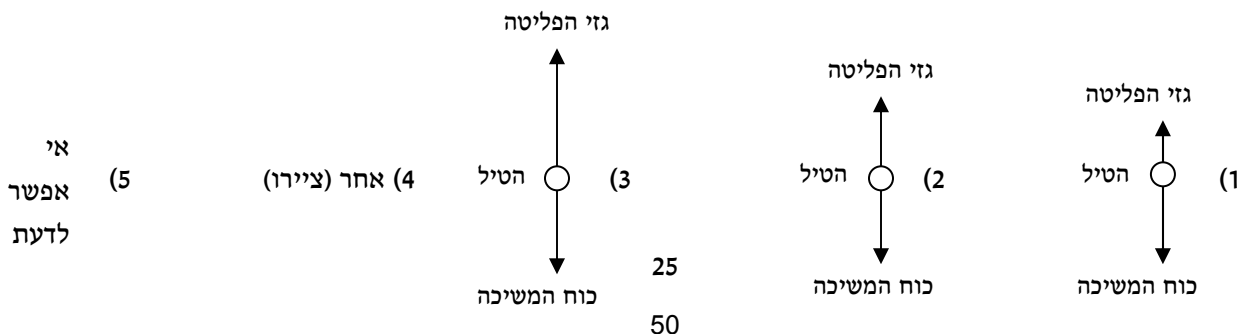


10. **תיאור ההתרחשות:** מוקדם בבוקר משוגר טיל לחלל. ברגע מסוים הטיל נמצא בגובה של 2000 מטר מעל הקרקע. הטיל פולט גזי פליטה מזנבו (ראו איור).

א. סמנו את הנכונה מבין התשובות האלה:

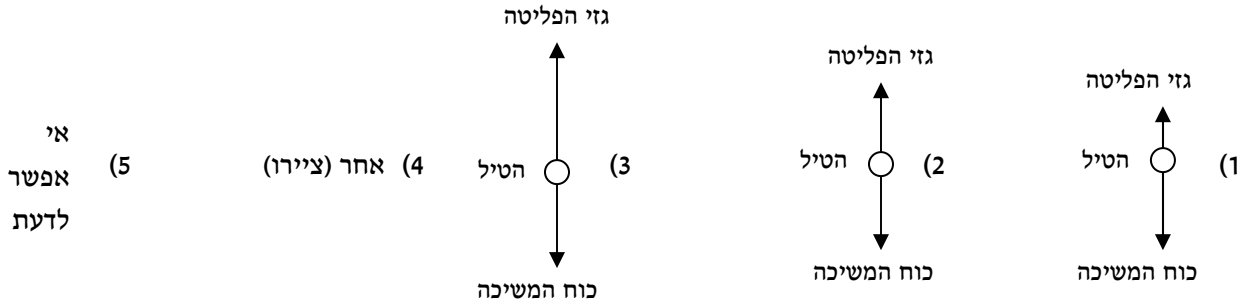
- 1. כיוון הכוח שמפעילים גזי הפליטה על הטיל הוא כלפי מעלה/מטה/לא פועל כוח
- 2. כיוון הכוח שמפעיל כדור הארץ על הטיל הוא כלפי מעלה/מטה/לא פועל כוח

ב. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' הולכת וקטנה, איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?

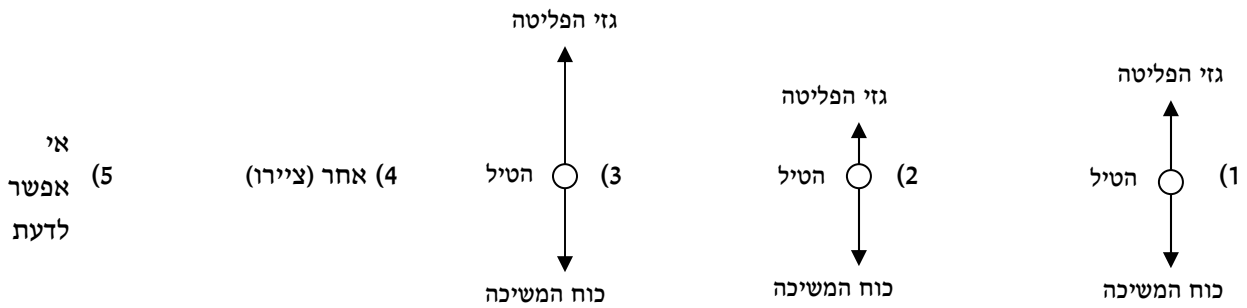


אי אפשר לדעת

ג. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' אינה משתנה (קבועה), איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?



ד. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' הולכת וגדלה, איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?



## 12-3.1 שאלות מסכמות (2)

לפניכם מספר שאלות העוסקות בהבנה בסיסית של כמה מושגי יסוד בפיזיקה. המבחן בנוי בצורה רב ברירתית ("אמריקאי"). עליכם להקיף בעיגול את התשובה הנכונה ולהסביר בקיצור במקום המתאים (בסוף השאלה) מדוע בחרתם בה. אם לדעתכם יש יותר מתשובה אחת נכונה, סמנו גם אותה ודרגו מי מהתשובות טובה יותר (כתבו 1 לתשובה המתאימה ביותר, 2 למתאימה פחות וכו'). בכל מקרה, הסבירו את בחירתכם במשפטי ההסבר שתכתבו בסוף השאלה.

## שאלה 1

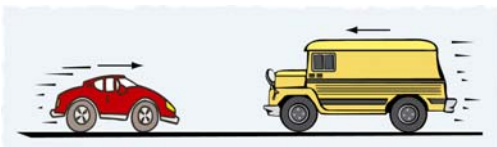


גברת כהן יצאה לטייל עם כלבה הנאמן שהיה קשור ברצועה שאותה אחזה בחוזקה. לפתע הבחין הכלב בחתול וניסה לרוץ לעברו, אך הדבר לא עלה בידו כי הרצועה נמתחה מאוד ומנעה זאת ממנו. איזה משפט מתאר בצורה הנכונה ביותר את שארע?

- הכלב וגברת כהן מושכים את הרצועה בכוח שווה.
- הכלב מושך את הרצועה בכוח גדול יותר מאשר גברת כהן.
- גברת כהן מושכת את הרצועה בכוח גדול יותר מאשר מושך הכלב.
- גברת כהן כלל אינה מושכת את הרצועה אלא נמשכת קדימה בגלל ריצת הכלב.

הסבירו את תשובתכם:

## שאלה 2



משאית גדולה מתנגשת חזיתית במכונית קטנה (ראו איור). איזה משפט מתאר בצורה הנכונה ביותר את שארע במהלך ההתנגשות?

- המשאית הפעילה כוח גדול יותר על המכונית מהכוח שהמכונית הפעילה על המשאית.
- המכונית הפעילה כוח גדול יותר על המשאית מהכוח שהמשאית הפעילה על המכונית.
- אף אחד מהם לא הפעיל כוח על האחר. המכונית פשוט נמעכת בגלל שהיא נמצאה במסלול המשאית.
- המשאית הפעילה על המכונית כוח השווה בגודלו לגודל הכוח שהמכונית מפעילה על המשאית.

הסבירו את תשובתכם:





### שאלה 3

אדם ניצב במרפסת ביתו הממוקם בקומה השלישית, ומפיל בטעות עציץ המתנפץ על הכביש. הסעיפים להלן מתארים את העציץ בשלושה מקומות בדרכו לכביש:

- (1) מיד עם תחילת נפילתו
- (2) כשהוא חולף על פני הקומה השניה
- (3) חלקיק שניה לפני שהוא פוגע בכביש

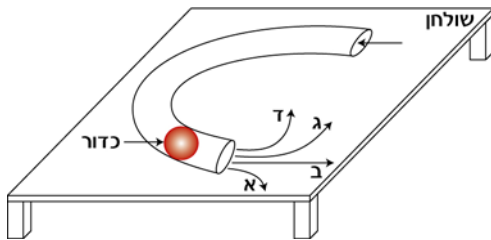
סמנו את המשפט (או המשפטים) הנכונים המתייחסים להשפעת כוח הכובד על העציץ.

- א. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 1 מאשר בשאר המקומות.
  - ב. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 2 מאשר בשאר המקומות.
  - ג. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 3 מאשר בשאר המקומות.
  - ד. כוח הכבידה פועל בעוצמה דומה מאוד על העציץ בכל מהלך נפילתו.
- הסבירו את תשובתכם:

### שאלה 4

כדור נע בתעלה חצי עגולה המונחת על שולחן (ראו איור). באיזה מהמסלולים א-ד ינוע הכדור לאחר שיצא מהתעלה?

תשובה: מסלול \_\_\_\_\_

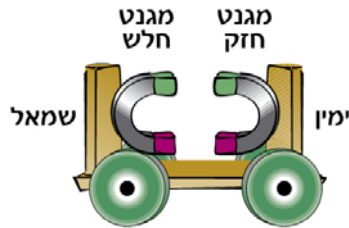


הסבירו את תשובתכם:



## שאלה 5

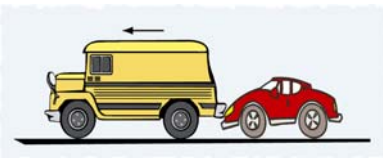
שני מגנטים, השונים בעוצמתם, מהודקים לשני קצותיה של קרונית החופשית לנוע. המגנטים מסודרים האחד מול השני כך שהם דוחים זה את זה. מגנט אחד חזק במרבה מהמגנט השני. כתוצאה מכך:



- הקרונית תנוע ימינה
- הקרונית תנוע שמאלה
- הקרונית לא תזוז
- הקרונית תזוז אך אי אפשר לקבוע לאיזה כיוון תהיה התנועה.

הסבירו את תשובתכם:

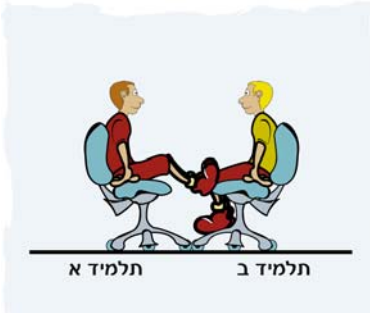
## שאלה 6



משאית גדולה התקלקלה באמצע הדרך ונעזרת במכונית קטנה הדוחפת אותה מאחור כדי להתקדם קדימה. איזה משפט מתאר נכון את הכוחות הפועלים על כלי הרכב?

- גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית שווה בדיוק לגודל הכוח בו המשאית דוחפת את המכונית הקטנה.
- גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית קטן מגודל הכוח בו המשאית דוחפת את המכונית בחזרה.
- גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית גדול מגודל הכוח בו המשאית דוחפת את המכונית בחזרה.
- מנוע המכונית פועל ולכן המכונית היא זו שדוחפת את המשאית. מכיוון שמנוע המשאית אינו פועל, היא אינה דוחפת את המכונית חזרה, ולכן רק המכונית היא זו שמפעילה כוח.

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 7

שני תלמידים יושבים על כיסאות זהים המצוידים בגלגלים, ופונים זה מול זה. תלמיד א' מניח את רגליו על ברכי תלמיד ב' (ראו איור) ולפתע מיישר אותן קדימה וגורם לתנועה. במשך הדחיפה וכאשר התלמידים עדין נוגעים זה בזה ניתן להגיד ש:

- א. אף אחד מהתלמידים אינו מפעיל כוח על התלמיד האחר.
- ב. תלמיד א' מפעיל כוח על תלמיד ב', אבל תלמיד ב' אינו מפעיל כוח על תלמיד א'.
- ג. כל תלמיד מפעיל אותו כוח על התלמיד האחר, והכוחות שווים בגודלם.
- ד. הכוח שמפעיל תלמיד א' על תלמיד ב' גדול מאשר הכוח שמפעיל תלמיד ב' על תלמיד א'.

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 8

ספר המונח על שולחן. התייחסו לכוחות הבאים:



- 1) כוח הכובד שמפעיל כדור הארץ על הספר כלפי מטה.
- 2) כוח שמפעיל השולחן על הספר כלפי מעלה.
- 3) כוח שמפעיל האוויר על הספר כלפי מטה.

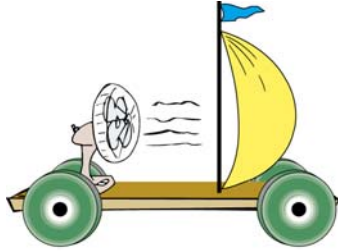
סמנו את האפשרות המתארת איזה מבין שלושת הכוחות האלה פועלים על הספר:

- א. רק כוח 1
- ב. כוחות 1 ו-2
- ג. לא פועל אף כוח כי הספר נמצא במנוחה.
- ד. רק כוח 3

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 9

לפניכם ציור המתאר מאוורר ניצב על עגלה בצידה השמאלי. מול המאוורר, בצידה הימני של העגלה, מונף מפרש גדול המחובר גם הוא אל העגלה. בשלב מסוים מפעילים את המאוורר בעוצמה החזקה ביותר האפשרית. כתוצאה מכך:

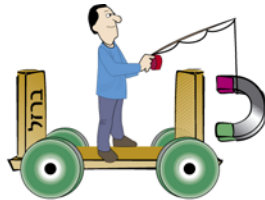


- א. העגלה תזוז ימינה.
- ב. העגלה תזוז שמאלה.
- ג. העגלה לא תזוז כלל.
- ד. העגלה תזוז אבל ממש בקושי בגלל החיכוך.

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 10

לפניכם איור המראה מגנט חזק משתלשל לפני עגלת ברזל. האם העגלה תוכל לנוע?



- א. כן, היא תזוז ימינה.
- ב. כן, היא תזוז שמאלה.
- ג. היא תזוז ימינה אם לא יהיה חיכוך.
- ד. היא לא תזוז.

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 11

סמנו את אחד המשפטים הבאים המתאר את שיתרחש.

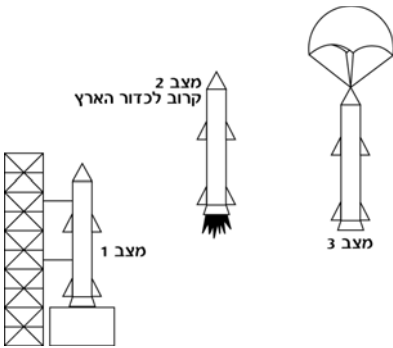
- א. עגלה א' תזוז ואילו ב' לא תזוז.
- ב. עגלה ב' תזוז ואילו עגלה א' לא תזוז.
- ג. שתי העגלות תזוזנה באופן דומה.
- ד. שתי העגלות לא תזוזנה.

הסבירו את תשובתכם:



שאלה 12

שלושת הציורים מראים טיל המשוגר מכדור הארץ ולאחר מכן בדרכו חזרה. באיזה משלוש המצבים פועל כוח המשיכה של כדור הארץ על הטייל?



א. 3 בלבד

ב. 1 ו-2 בלבד

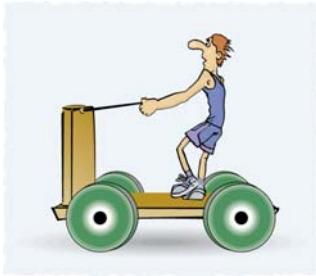
ג. 2 ו-3 בלבד

ד. 1, 2 ו-3

הסבירו את תשובתכם:

שאלה 13

אדם עומד על עגלה נחה. האיש מתחיל למשוך בחבל שקשור לדופן העגלה כמתואר באיור. כתוצאה מכך:



א. העגלה תתחיל לנוע ימינה ללא קשר לעוצמת המשיכה

ב. העגלה תתחיל לנוע שמאלה ללא קשר לעוצמת המשיכה

ג. העגלה לא תנוע בשום מקרה

ד. העגלה תנוע רק אם האיש ימשוך בעוצמה חזקה מאוד.

הסבר: ראו שאלה 9. מרכיבי מערכת סגורה (העגלה) אינם יכולים להניע אותה.

שאלה 14

בגלגלה האחורית של מכונית גרר ארע תקר (פנצ'ר). נהג הגרר חיבר את המנוף המותקן על מכונית הגרר, אל חלקה האחורית (במקום שקשה לשוברו) והפעיל אותו (ראו איור). כתוצאה מהפעלת המנוף:

א. חלקה האחורית של מכונית הגרר התרומם באוויר

ב. מכונית הגרר התהפכה על צידה

ג. חלקה הקדמי של מכונית הגרר התרומם באוויר

ד. לא ארע דבר והמכונית נשארה במקומה



הסבירו את תשובתכם:

### 13- 3.1 שאלות מסכמות (3- רמה גבוהה)

1. לוח עץ מונח על הרצפה. בלוח העץ תקוע מסמר שראשו בולט כ- 1 ס"מ מעל ללוח העץ. לפתע, נופל אסטרואיד (עשוי מאבן) מהשמיים (מסתו 5 ק"ג) ונוחת בדיוק על ראש המסמר. כתוצאה מכך ננעץ המסמר בעץ לחלוטין.

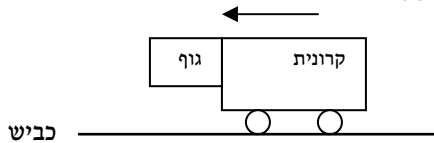
א. סמנו את המילה הנכונה בסוגריים:

בזמן פגיעת האבן במסמר הכוח שהפעילה האבן על המסמר היה (קטן / גדול / שווה) לכוח שהפעיל המסמר על האבן.

ב. ערכו תרשים כוחות למסמר בזמן פגיעת האבן (זכרו, המסמר מגדיל את מהירותו כלפי מטה!)

ג. ערכו תרשים כוחות לאבן שנייה זמן קצר ביותר לפני שפגעה במסמר.

2. מניחים גוף בחזית קרונית, דוחפים אותה ומשנים את מהירותה (מאיצים אותה). כתוצאה מכך הגוף אינו נופל (ראו איור). הזניחו את החיכוך בין הקרונית לרצפה.



א. ערכו תרשימי כוחות (1) לקרונית (2) לגוף.

ב. האם קיים חיכוך בין הקרונית לגוף? נמקו.

ג. אדם ניצב על גג הקרונית על פני מאזני אמבטיה (הגג שטוח והקרונית נוסעת על גבי משטח אופקי). האם המשקל שמורים המאזניים ישתנה? נמקו.

3. א. אדם דוחף עם אצבעו ספר כנגד קיר אנכי. הספר אינו נופל. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר אינו נופל.

ב. האדם מגביר את הכוח בו הוא דוחף את הספר. הספר אינו נופל. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר אינו נופל.

ג. האדם "מרפה" קצת את הכוח בו הוא דוחף את הספר (לא מבטל אותו לחלוטין!) והספר מתחיל לנוע כלפי מטה. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר מתחיל לנוע כלפי מטה.

4. במהלך טיסתה של החללית אפולו 13 אל הירח ארעה תקלה מצערת שמנעה מצוות הנחיתה לממש את ייעודו לנחות על הירח, והעמידה את כל האסטרונוטים במצב של סכנת חיים. צוות החללית ומדעני מרכז הבקרה בכדור הארץ עשו מאמצים כבירים להחזיר את צוות החללית לכדור הארץ. האם לדעתכם יצאה החללית, שהיתה קרובה מאוד לירח, מהשפעת כוח המשיכה של כדור הארץ? הסבירו.

5. נער ניצב על גבי משטח קטן מימדים הצף בבריכה שקטה. המשטח יכול לנוע על פני המים. הנער מתחיל לרוץ על המשטח וקופץ קפיצת ראש מקצהו.

א. מה יקרה למשטח כשהנער רץ על פניו? הסבירו את דעתכם תוך שימוש בתרשים כוחות.

ב. האם קיים חיכוך בין הנער למשטח? איך אפשר להוכיח זאת?

6. על עגלה היכולה לנוע מורכב תותח קפיץ היורה בולי עץ.

א. תארו (תוך שימוש בתרשים כוחות) מה יתרחש כאשר יורה התותח בול עץ בכיוון אופקי שמאלה.

ב. תארו (תוך שימוש בתרשים כוחות) מה יתרחש כאשר יורה התותח בול עץ בניצב כלפי מעלה.

ג. מחברים בול עץ אל קפיץ התותח באופן קבוע (כלומר בול העץ אינו ניתק מקפיץ התותח) ויורים אותו בכיוון אופקי. תארו מה יתרחש במקרה זה והסבירו את תשובתכם.

7. רכבת מתנגשת במכונית שננטשה על הפסים. כתוצאה מכך נמעכת המכונית כליל ואילו הרכבת לא נפגעה כלל (למעט כמה שריטות).

א. האם הכוח שהפעילה הרכבת על המכונית היה שווה לכוח שהפעילה המכונית על הרכבת? הסבירו.

ב. מדוע נפגעה המכונית באופן קשה יותר מאשר הרכבת? הסבירו את תשובתכם.

8. א. תולים גוף על קפיץ, ומעתיקים את המערכת מכדור הארץ לירח. האם התארכות הקפיץ על הירח תהיה שווה להתארכותו על פני כדור הארץ? נמקו.

ב. מאזנים גוף על מאזני כפות באמצעות גופים אחרים, ומעתיקים את המערכת מכדור הארץ לירח. האם המאזניים יישארו מאוזנים? נמקו.

(עוצמת האינטראקציה עם כדור הארץ גדולה פי שש מעוצמת האינטראקציה עם הירח)

9. אדם עומד על מאזני קפיץ מתחת למשקוף הדלת. המאזניים מראים שמסתו של האדם היא 70 ק"ג. עתה, כשהוא עדיין עומד על המאזניים, נוטל האדם מאזני קפיץ נוספים (הזהים לאלה שעליהם הוא ניצב), ולוחץ אותם עם ידיו אל משקוף הדלת שמעליו. כתוצאה מהפעלת הכוחות על מאזני הקפיץ הנוספים (שנלחצו אל המשקוף) הם מורים כוח המתאים למשקל גוף שמסתו 15 ק"ג. מה יראו מאזני הקפיץ עליהם ניצב האדם? נמקו את תשובתכם.

10. אדם דוחף באופן רציף תיבה גדולה הדוחפת תיבה קטנה. קיים חיכוך בין התיבות והאדם לבין הרצפה.

א. ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר האדם (והתיבות) נעים במהירות קבועה.

ב. ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר האדם (והתיבות) נעים בתאוצה קבועה.

ג. לפתע, מרפה האדם מהתיבות ועוצר. התיבות ממשיכות בתנועה ועוצרות לאחר זמן מה. בהנחה שמקדמי החיכוך בין שתי התיבות לרצפה שווים, ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר הן (1) עדיין בתנועה (2) עצרו.

11. מלצר הנושא מגש ועליו בקבוק וכוס, מתחיל ללכת (משנה את מהירותו). ערכו תרשימי כוחות לכוס. מה דוחף אותה קדימה?

12. האסטרונאוטים במעבורת החלל רוצים לחזור לכדור הארץ. לשם כך, מפעילים טייסי המעבורת מנועים למספר שניות ומאטים את מהירותה. זאת למעשה הפעם האחרונה בה מפעילים הטייסים את המנועים. משלב זה ועד לסיום הנחיתה מתפקדת המעבורת, המצוידת בכנפיים, כדאון. בגובה של כ- 100 ק"מ עוצמת האינטראקציה עם האוויר כבר משפיעה מאוד על המעבורת שמאיטה את מהירותה בקצב הולך וגדל ככול שהיא מנמיכה. כתוצאה מכך מתחממת המעבורת מאוד. ערכו תרשים כוחות למעבורת כאשר היא:

א. נמצאת בחלל סביב כדור הארץ.

ב. בגובה של כ- 50 ק"מ.

ג. עומדת במנוחה על הקרקע לאחר הנחיתה.

ד. האם האסטרונאוטים נמצאים במצב של חוסר משקל בגובה של כ- 100 ק"מ? הסבירו.

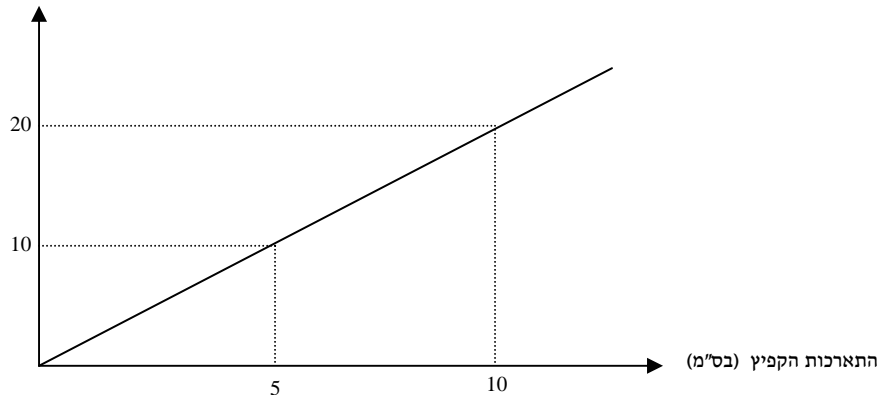
## 14-3.1 שאלות מסכמות (4)

1. לפניכם מספר משפטים. אם הנכם סבורים כי המשפטים נכונים, כתבו "נכון" ליד המשפט. אם הנכם סבורים כי המשפט אינו נכון, כתבו "לא נכון" ליד המשפט.

- גוף יכול להפעיל שני כוחות שונים, בו זמנית, על גוף אחר. \_\_\_\_\_
- כדור הארץ מפעיל כוח משיכה על גוף בחלל החיצון (היכן שטסות חלליות), והגוף מפעיל כוח שווה והפוך בכיוון על כדור הארץ. \_\_\_\_\_
- גוף נע במהירות שווה (ואחידה) רק כאשר מופעל עליו כוח. \_\_\_\_\_
- במשך זמן ההתנגשות בין משאית כבדה למכונית קטנה, מופעל כוח גדול יותר על המכונית הקטנה מאשר על המשאית הגדולה. הבדל זה גורם לכך שהמכונית הקטנה נפגעת הרבה יותר מאשר המשאית הכבדה. \_\_\_\_\_

2. דוד בנה "משקל" (מד כוח) לגופים קטנים באופן הבא: הוא חיבר קפיץ למתקן אנכי שאליו מחובר סרגל, ולקצהו התחתון של הקפיץ חיבר מגש קטן (עליו מניחים את הגופים שאותם רוצים לשקול), וקיסם עץ המשמש כמחוג המצביע על הסרגל. כאשר מניחים גוף הנועד לשקילה על המגש הקטן, מתארך הקפיץ והמחוג מצביע על מידת התארכות הקפיץ. דוד כיוון את הסרגל כך שאם לא מניחים גוף לשקילה, מצביע המחוג על "אפס" בסרגל. בשלב הבא כייל דוד את המכשיר שבנה ע"י הנחת משקולות על המגש הקטן ומדידת התארכות הקפיץ בהתאם. לאחר כיול המכשיר עם משקולות שונות שרטט דוד את הגרף הבא:

משקל (בניוטון)



התבוננו בגרף וענו על השאלות הבאות:

- איזה משקל יש להניח על המגש כדי שהקפיץ יתארך ב- 10 ס"מ? \_\_\_\_\_
- בכמה יתארך הקפיץ אם מניחים על המגש גוף במשקל של 10 ניוטון? \_\_\_\_\_
- איזה משקל (בקירוב) יש להניח על המגש כדי שהקפיץ: \_\_\_\_\_

- יתארך ב- 2.5 ס"מ? \_\_\_\_\_
- יתארך ב- 5 ס"מ? \_\_\_\_\_
- יתארך ב- 12 ס"מ? \_\_\_\_\_





### 3.1 תשובות לשאלות

להלן התשובות לשאלות על פי מספר קובץ השאלות:

עמ'	תוכן עניינים:
2	1- תשובות לשאלות בנושא אינטראקציה
4	2- תשובות לשאלות אימון בהפעלת האסטרטגיה
5	3- תשובות לשאלות בניתוח מאפייני תנועה
6	4- תשובות לשאלות בנושא חיכוך
14	5- מכוחות לתנועה: תשובות לניתוח התרחשות
15	6- תשובות לשאלות הנושא החוק השלישי וחיכוך
17	7- תשובות לשאלות בנושא כבידה ומשקל
19	8- תשובות לשאלות על רקטה "בלונית"
20	9- תשובות לשאלות כמותיות
21	10- תשובות לשאלות על אינטראקציה עם אוויר
22	11- תשובות לשאלות מסכמות (1)
30	12- תשובות לשאלות מסכמות (2)
36	13- תשובות לשאלות מסכמות (3)- רמה גבוהה
43	14- תשובות לשאלות מסכמות (4)

### 1- 3.1 תשובות לשאלות בנושא אינטראקציה

1. בשיחה עם חברו אמר עומר "כאשר סוס מושך עגלה, הוא מפעיל עליה כוח".
  - א. האם קיימת אינטראקציה בין הסוס לעגלה? תשובה: כן
  - ב. בהנחה שקיימת אינטראקציה, מהם הגופים המשתתפים באינטראקציה שתיאר עומר? תשובה: הסוס והעגלה.
  - ג. האם העגלה מפעילה כוח על הסוס? תשובה: כן אם היא מפעילה, מה הוא כיוון הכוח? תשובה: מנוגד לכיוון הכוח שמפעיל הסוס על העגלה.
  - ד. בהנחה שהעגלה מפעילה כוח על הסוס, האם הכוח גדול/שווה/קטן מהכוח שהסוס מפעיל על העגלה? הסבירו. תשובה: על פי החוק השלישי של ניוטון, זוג הכוחות באינטראקציה בין שני גופים שווים בגודלם.
2. נגר דופק בפטיש על מסמר. גודלו של הכוח שהפטיש מפעיל על המסמר הוא גדול/קטן/שווה לגודל הכוח שהמסמר מפעיל על הפטיש. הסבירו את תשובתכם.
 

תשובה: על פי החוק השלישי של ניוטון, זוג הכוחות באינטראקציה בין שני גופים שווים בגודלם.
3. חתול יושב על שולחן. גודל הכוח שמפעיל השולחן על החתול גדול/קטן/שווה לגודל הכוח שהחתול מפעיל על השולחן. הסבירו את תשובתכם.
 

תשובה: זוג הכוחות באינטראקציה בין שני גופים שווים בגודלם על פי החוק השלישי של ניוטון.
4. שלומי נשען על גדר. גודל הכוח שהגדר מפעילה על שלומי גדול/קטן/שווה לגודל הכוח ששלומי מפעיל על הגדר. הסבירו את תשובתכם.
 

תשובה: זוג הכוחות באינטראקציה בין שני גופים שווים בגודלם על פי החוק השלישי של ניוטון.
5. איך אפשר לדעת שגוף נמצא באינטראקציה? (מהם מאפייני האינטראקציה)
 

תשובה: הגוף משנה את צורתו ו/או הגוף משנה את מהירותו
6. האם קיימת אינטראקציה בין מעבורת החלל אנטרפרייז (חללית הנמצאת בחלל במסלול מעגלי נמוך סביב כדור הארץ) לבין גוף (או גופים) כלשהו? הסבירו את תשובתכם.
 

תשובה: קיימת אינטראקציה בינה לבין כדור הארץ. ניתן להסיק זאת מהעובדה שהמעבורת משנה את כיוון תנועתה.

7. א. שלומית אוחזת בידה טלפון נייד ושקועה בשיחה עם חברה. לפתע נשמט המכשיר מידה ונופל ארצה. הפעילו את כלי החשיבה על ההתרחשות ובנו תרשים כוחות לטלפון הנייד מיד לאחר שנשמט מידה של שלומית, כשהוא עדיין באוויר (התעלמו מהאינטראקציה בין הטלפון הנייד ובין האוויר).

תשובה: הכוח היחיד שפועל על הטלפון הנייד הוא כוח הכבידה.

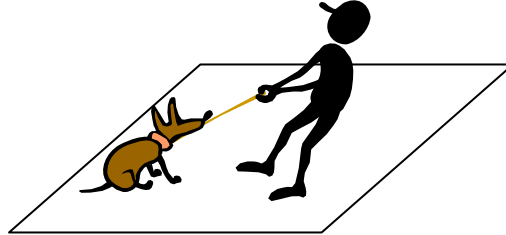


ב. האם הטלפון הנייד נמצא באינטראקציה עם גוף כלשהו לאחר שנשמט מידה של שלומית (בזמן נפילתו)? הסבירו את תשובתכם? (התעלמו מהאינטראקציה בין הטלפון הנייד ובין האוויר).

תשובה: הטלפון נמצא באינטראקציה עם כדור הארץ. ניתן להוכיח זאת כי הטלפון משנה את מהירותו (סימן המאפיין אינטראקציה).

## 3.1-2 תשובות לפעילות אימון בהפעלת האסטרטגיה

נתונה ההתרחשות הבאה: אדם מושך כלב אך הכלב אינו זז. הסבירו מדוע הכלב אינו זז?

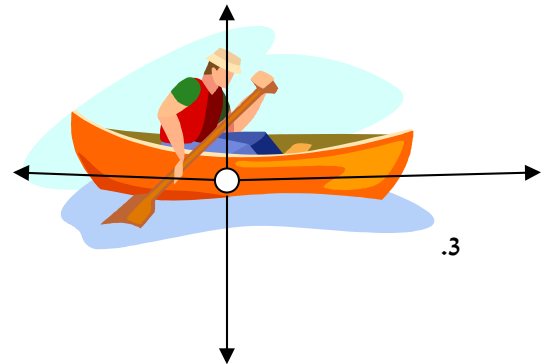
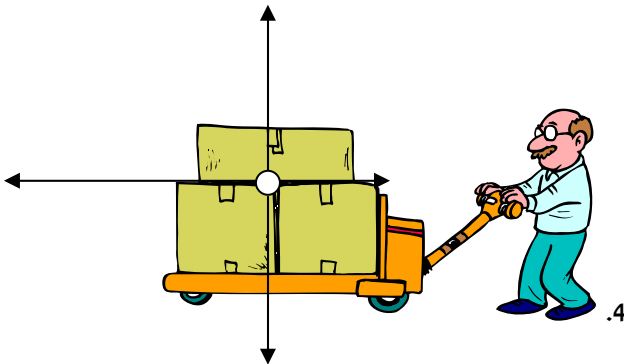
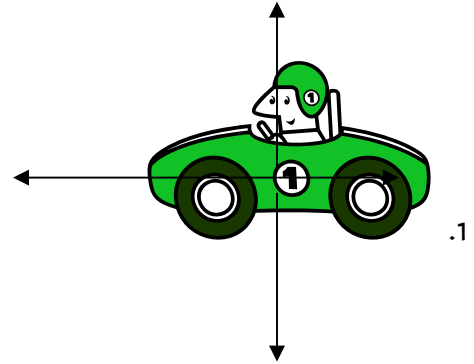
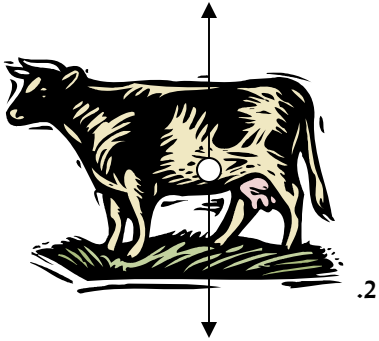


כדי לענות על השאלה, נתחו את ההתרחשות בעזרת תרשים מלבנים, טבלת אינטראקציות והוספת כוחות לתרשים המלבנים. בודדו את האדם ואח"כ את הכלב וסמנו לכל אחד, באמצעות חיצים, את כל הכוחות הפועלים עליו.

תשובה: ראו ניתוח בפרק 2.2 ([דוגמא לשילוב האסטרטגיה בהוראה](#))

### 3-1 תשובות לשאלות בניתוח מאפייני תנועה

לפניכם תרשימי כוחות של גופים שונים. קבעו מה יקרה לכל גוף כתוצאה מהפעלת כוחות אלה: האם ישנה את מהירותו? אם כן, לאיזה כיוון? הסבירו את קביעתכם.



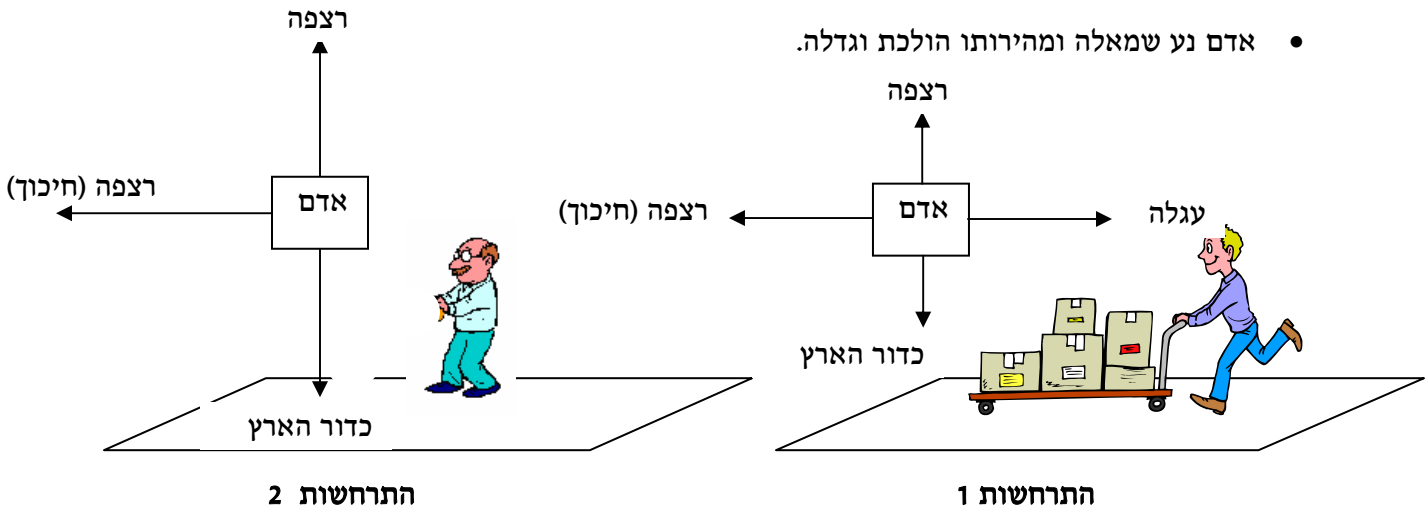
תשובות:

1. המכונית תגדיל את מהירותה שמאלה
2. הפרה לא תשנה את מהירותה
3. הסירה תגדיל את מהירותה ימינה
4. העגלה והאדם יגדילו את מהירותם שמאלה

## 3.1-4 תשובות לשאלות בנושא חיכוך

1. נתונות שתי ההתרחשויות הבאות:

- אדם דוחף עגלה במהירות קבועה שמאלה.
- אדם נע שמאלה ומהירותו הולכת וגדלה.



א. באיורים משורטט תרשים כוחות לכל אדם. רשמו מעל לכל כוח (חץ) את הגוף המפעיל אותו. תשובה: ראו איור.

ב. בדרכם הגיעו שני האנשים (שבבעיה הקודמת) שבאיור לאזור שבו הכביש היה רטוב משמן. האם לעובדה שהם צועדים על כביש חלק מאוד, יש השפעה כלשהי על תרשימי הכוחות? בתשובתכם לשתי ההתרחשויות, התייחסו לנקודות הבאות:

- אילו כוחות הושפעו (אם בכלל) מהשמן?

תשובה: כוחות החיכוך

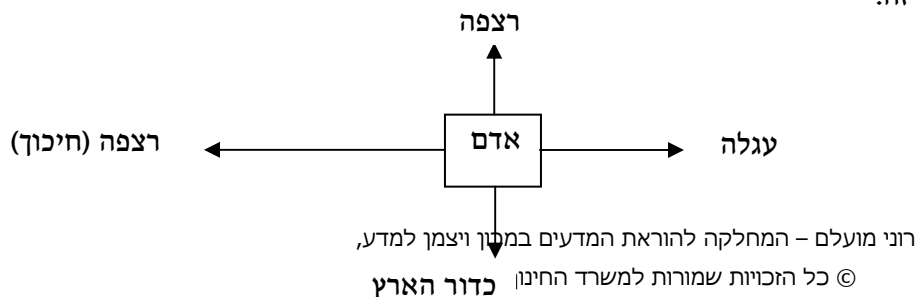
- כיצד השתנו הגדלים של הכוחות האלה (גדלו/קטנו/ לא השתנו)? הסבירו את תשובתכם.

תשובה: השמן מקטין את כוח החיכוך המקסימלי בין הנעליים לרצפה.

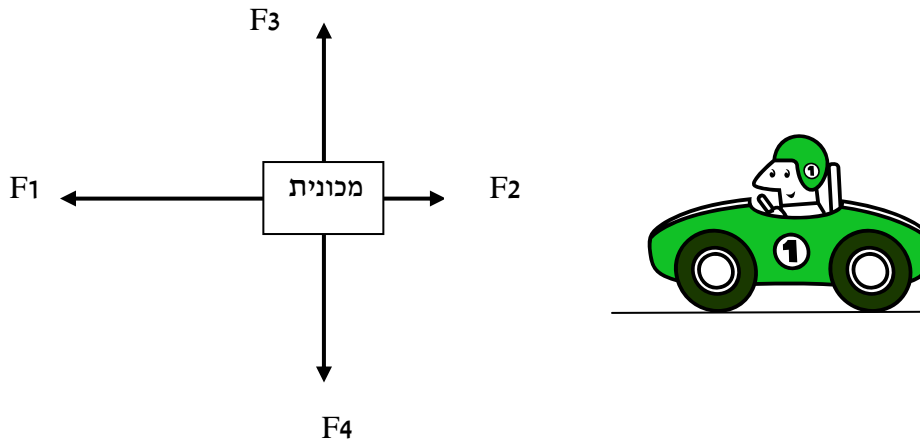
ג. שימו לב שגודל החצים בציר האנכי (ציר ה-Y) שבהתרחשות 1, קטן יותר מזה שבהתרחשות 2. מה אתם למדים מכך?

תשובה: שאיש 2 כבד יותר.

ד. נתון שבהתרחשות 1 מהירות העגלה הולכת וגדלה לכיוון שמאל. שרטטו תרשים כוחות חדש של האדם המתאים לנתון זה.



2. מכונית מגדילה את מהירותה לכיוון שמאל. המערכת כוללת: מכונית (הכוללת את המנוע, הגלגלים והנהג); כביש; כדור הארץ; אוויר. באיור נתון תרשים הכוחות הפועלים על המכונית.



א. דני טוען שהכוחות הפועלים על המכונית הם כדלקמן:

- $F1$  - הכוח שהמנוע מפעיל על המכונית בכיוון שמאל
  - $F2$  - כוח החיכוך שהכביש מפעיל על המכונית בכיוון ימין (כוח בולם)
  - $F3$  - הכוח שהכביש מפעיל על המכונית בכיוון למעלה
  - $F4$  - הכוח שכדור הארץ מפעיל על המכונית בכיוון למטה.
- האם אתם מסכימים למה שטוען דני? אם אינכם מסכימים, כתבו מה לדעתכם לא נכון והציעו תיקון אפשרי.

תשובה:  $F1$  הוא כוח החיכוך בין המכונית לכביש.  $F2$  הוא כוח החיכוך עם האוויר. כל השאר נכונים.

ב. האם נוכל להגדיל את מהירות המכונית על ידי הקטנת כוח החיכוך בין הגלגלים לכביש (למשל על ידי הרטבת הכביש בשמן)? הסבירו. תשובה: לא. כוח החיכוך הוא שדוחף את המכונית קדימה.

ג. מהו הכוח האופקי שמפעילה המכונית על הכביש ומה כיוונו? הסבירו. תשובה: הכוח שמפעילה המכונית על הכביש פועל בכיוון הפוך לתנועת המכונית. כאשר יש חול על הכביש ניתן להבחין שהוא ניתז לכיוון הפוך מתנועת המכונית.

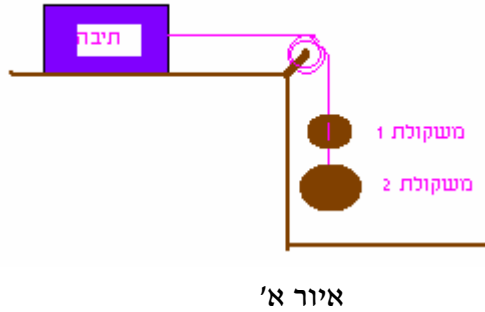
ד. במה תלויה עוצמת האינטראקציה בין המכונית לאוויר? הסבירו. תשובה: במהירות המכונית, בצורתה ובצפיפות האוויר.

ה. איזה גוף אחראי על בלימת המכונית כאשר הנהג לוחץ על דוושת הבלם? הסבירו את תשובתכם.

תשובה: הכביש, על ידי כוח החיכוך בינו לבין המכונית.  
 רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
 © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט



3. האיורים א' ו-ב' מתארים מערכות הכוללות משקולות, חוטים ותיבה המונחים על מדרגה. התעלמו מאינטראקציות של גופים שונים עם הגלגלות ועם האוויר.



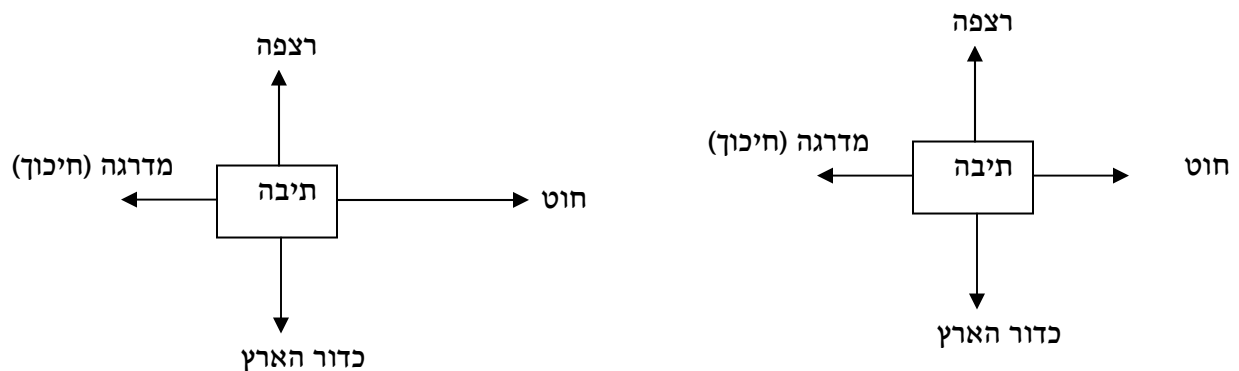
א. שרטטו תרשים כוחות לתיבה באיור א' כאשר התיבה נעה במהירות קבועה

הרחבה:

- (1) התיבה אינה נעה.
- (2) התיבה מגדילה את מהירותה לכיוון ימין.

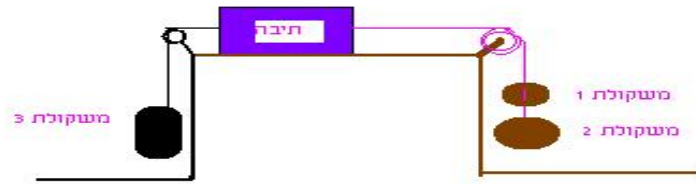
תשובות (ראו תרשימי כוחות למטה):

- א. התיבה נעה במהירות קבועה: שקול הכוחות הוא אפס בכל כיוון.
- (1) התיבה אינה נעה: שקול הכוחות הוא אפס בכל כיוון.
  - (2) התיבה מגדילה את מהירותה לכיוון ימין: חץ הכוח ימינה ארוך יותר מהחץ שמאלה.



הרחבה סעיף 2

סעיף א' + הרחבה סעיף 1



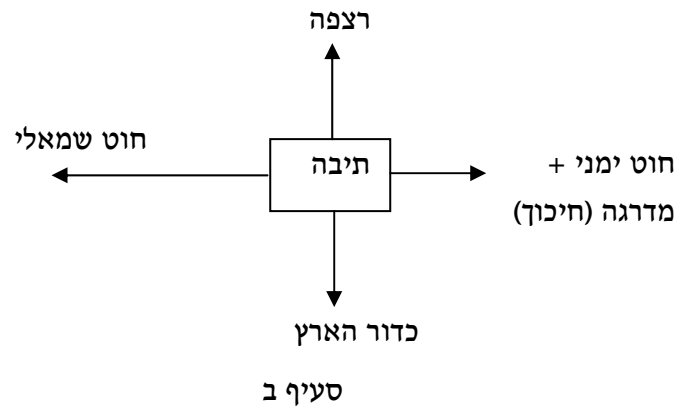
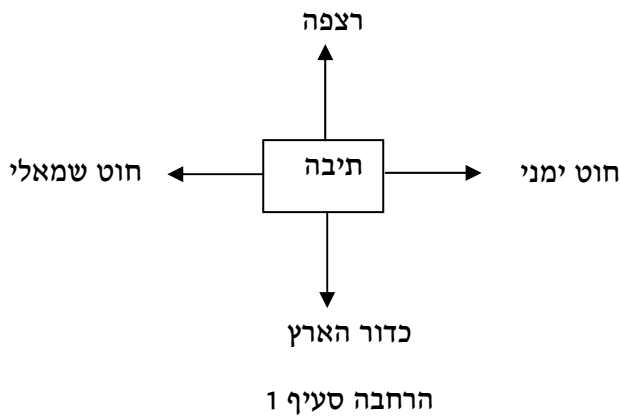
איור ב

ב. שרטטו תרשים כוחות לתיבה באיור ב' כאשר התיבה מגדילה את מהירותה לכיוון שמאל. הרחבה:

(1) התיבה אינה נעה.

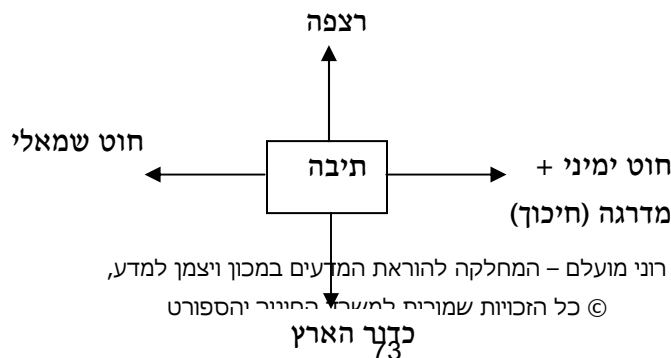
(2) התיבה נעה שמאלה במהירות קבועה.

תשובות:



הערה: בהרחבה סעיף 1 לא ניתן לדעת את כיוון החיכוך עם המדרגה כי לא ידועים משקלי המשקולות.

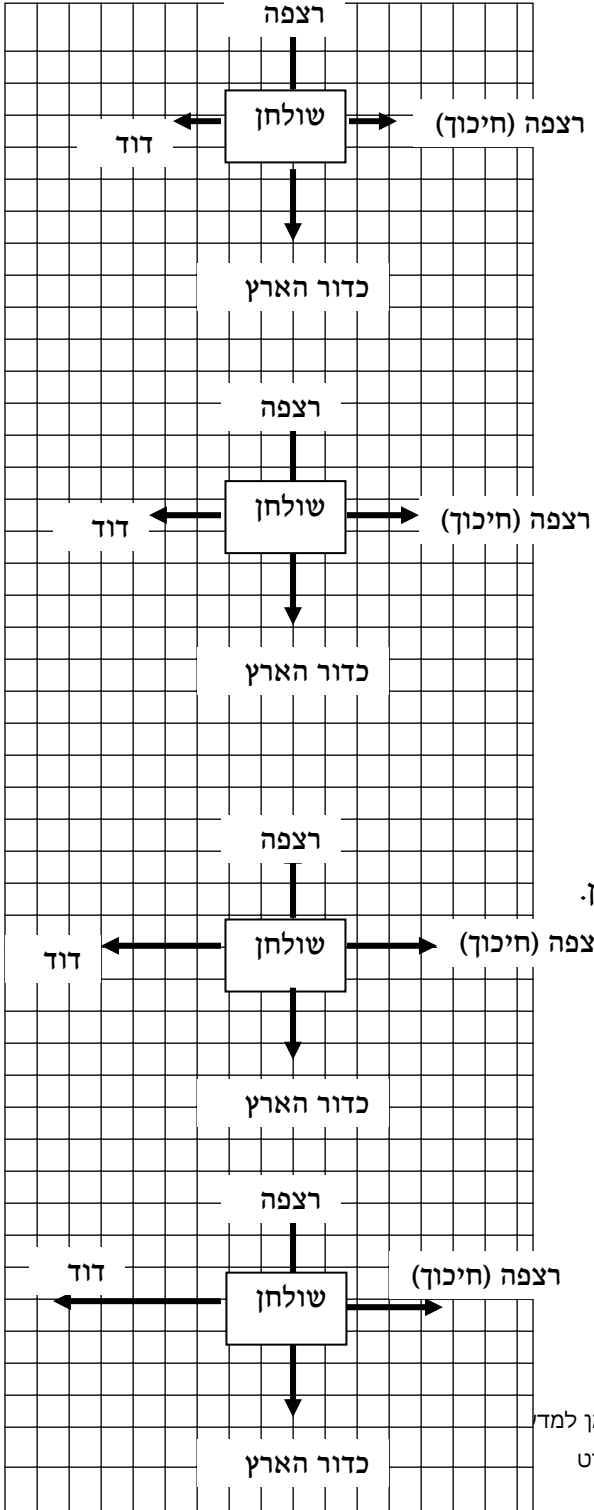
הרחבה סעיף 2:



4. נתונה ההתרחשות הבאה: דוד מניח את ידיו על שולחן בכיתה ומתחיל לדחוף אותו לכיוון שמאל. בבעיה הבאה אתם מתבקשים לנתח, שלב אחר שלב, את תנועת השולחן ולבנות דיאגרמת כוחות בכל מצב.

**זכרו:** אורך החצים מציין את גודל הכוח הפועל על הגוף.

להלן השלבים השונים. שרטטו את הכוחות הפועלים על השולחן בכל שלב. לעזרתכם, נתונים הכוחות בשלב ג'. ציינו את שאר הכוחות תוך התייחסות לכוחות אלה. הסבירו בכל שלב כיצד קבעתם את גודל החצים.



שלב א: דוד מתחיל לדחוף את השולחן בכוח חלש. השולחן אינו נע. תשובה: הכוחות בכל ציר שווים בגודלם.

שלב ב: דוד מגדיל את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן עדיין אינו נע. תשובה: הכוחות בכל ציר שווים אבל בציר ה-X הכוחות גדולים מאשר בשלב א

שלב ג: דוד מגדיל עוד את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן מתחיל לנוע שמאלה. (נתון)

שלב ד: דוד מגדיל עוד יותר את הכוח שבעזרתו הוא דוחף את השולחן. השולחן מגדיל את מהירותו שמאלה בקצב מהיר. תשובה: החץ שמאלה ארוך יחסית לזה שבשלב ג. בשאר הכוחות אין שינוי.

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למד  
 © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

5. להלן מספר משפטים. הקיפו בעיגול את המשפטים שאתם מסכימים לתוכם, ותקנו את אלה שאתם סבורים כי הם שגויים.

- א. כוח החיכוך בין שני גופים יכול לשנות את גודלו מאפס ועד לגודל מקסימלי, בהתאם לתכונותיהם של שני הגופים.
- ב. כאשר כוח קטן דוחף גוף, והגוף אינו נע, יהיה כוח החיכוך קטן אף הוא, שווה בערכו והפוך בכיוונו לגודל הכוח הדוחף.
- ג. כאשר הכוח דוחף בעוצמה חזקה, והגוף נע - כוח החיכוך יכול להגיע לעוצמתו המקסימלית.
- ד. כאשר דוחפים גוף, ואין הוא נע, הרי כוח החיכוך גדול יותר מהכוח הדוחף.
- ה. כאשר גוף נע, כוח החיכוך שקדם לתנועה מתבטל ואין הוא קיים עוד.
- ו. כאשר הכוח הדוחף גדול מכוח החיכוך המקסימלי - ישנה הגוף את מהירותו.

תיקון המשפטים השגויים

משפט ד אינו נכון- לפי החוק הראשון של ניוטון: הכוח הדוחף וכוח החיכוך שווים בגודלם ולכן הגוף אינו נע.

משפט ה אינו נכון- כוח החיכוך אינו מתבטל אלא מגיע לערכו המקסימלי.

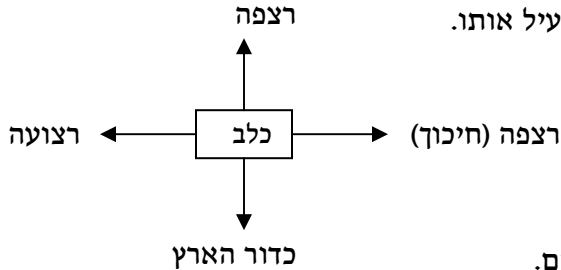
שאר המשפטים נכונים.

## 5-3.1 מכוחות לתנועה: תשובות לניתוח התרחשות



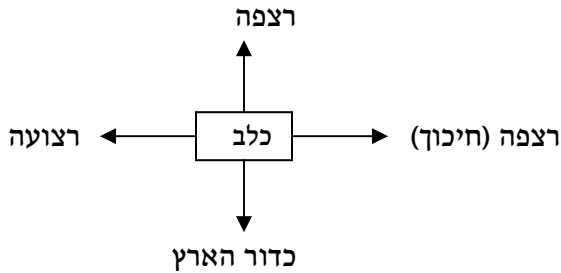
1. תיאור ההתרחשות: כלב קטן מושך אדם המתנגד למשיכה (ראו איור). האדם והכלב לא זזים.

ציירו תרשים כוחות לכלב וציינו ליד כל כוח את שם הגוף שמפעיל אותו.



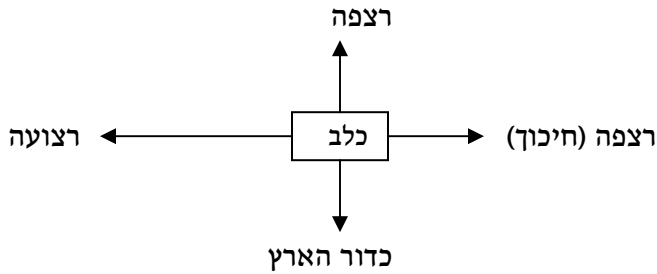
בשאלות הבאות נתונים תרשימי כוחות של הכלב במצבים שונים. הקיפו את המשפט המתאר את מה שיתרחש.

2.



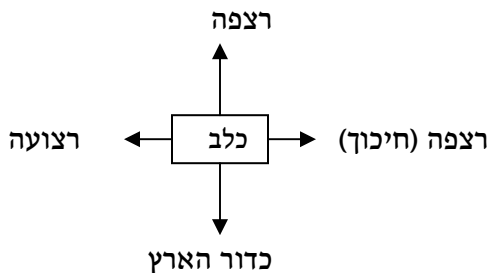
- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם (שמאלה).
- הכלב לא יזוז.
- האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- אי אפשר לדעת מה יתרחש.

3.



- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם (שמאלה).
- הכלב לא יזוז.
- האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- אי אפשר לדעת מה יתרחש.

4.



- הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- הכלב לא יזוז.
- האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- אי אפשר לדעת מה יתרחש.

## 6-3.1 תשובות לשאלות בנושא החוק השלישי וחיכוך

לפניכם מספר משפטים. סמנו אם אתם מסכימים או אינכם מסכימים לתוכן המשפט, והסבירו בקיצור את בחירתכם.  
(רמז: אם אינכם בטוחים בתשובתכם, תוכלו להיעזר בכלי החשיבה שלמדתם)

1. זבוב מתנגש בקיר גדול. באינטראקציה בין הזבוב לקיר, הכוח שמפעיל הקיר על הזבוב גדול בהרבה מהכוח שהזבוב מפעיל על הקיר.

מסכימים/איננו מסכימים

הסבר: זוג כוחות באינטראקציה שווים בגודלם לפי החוק השלישי

2. יצרנים של נעלי ספורט שואפים לעצב את סוליות נעליהם כך שתהינה חזקות ועמידות בפני שחיקה, ובעיקר מתרכזים בהקטנת כוח החיכוך בין הסוליה לרצפה. הקטנת כוח החיכוך בין הסוליה לרצפה תגרום לאדם הנועל אותה להתאמץ פחות כשהוא צועד, כי לא יצטרך להתגבר על כוח החיכוך שמפעילה הרצפה, כוח המפריע לתנועתו.

מסכימים / לא מסכימים

הסבר: החיכוך מאפשר את התנועה ויוצר אותה.

3. חברת "אליאנס" המייצרת צמיגים למכוניות מנסה לעצב את סוליית הצמיג (החלק בצמיג שבא במגע עם בכביש) כך שתהיה חזקה ועמידה בפני שחיקה, ומהנדסי החברה מתרכזים בעיקר בהקטנת כוח החיכוך בין סוליית הצמיג לכביש. הקטנת כוח החיכוך תגרום למנוע המכונית "להתאמץ" פחות, לצרוך פחות דלק ולהקטין את זיהום האוויר, כיוון שכוח החיכוך בכביש המפריע לתנועת המכונית, יהיה קטן.

מסכימים / לא מסכימים

הסבר: החיכוך מאפשר את התנועה ויוצר אותה.

4. רכבת דוהרת מתנגשת באבן קטנה. באינטראקציה בין הרכבת לאבן הכוח שמפעילה הרכבת על האבן גדולה בהרבה מהכוח שהאבן מפעילה על הרכבת.

מסכימים/איננו מסכימים

הסבר: זוג כוחות באינטראקציה שווים בגודלם לפי החוק השלישי

5. יוסי טוען שכאשר מתחילים ללכת יש אינטראקציה בין האדם ההולך לבין הרצפה. מכיוון שעל פי החוק השלישי של ניוטון, כוחות החיכוך בין הרצפה לאדם שווים בגודלם והפוכים בכיוונם,

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

הם מבטלים זה את זה. לכן באופן תיאורטי האדם לא אמור לנוע. אך מכיוון שאין זה מה שקורה והאדם מצליח לנוע, הכוח שמפעילים שרירי האדם גדול מהכוח שמפעילה הרצפה.

מסכימים / לא מסכימים הסבר: החיכוך מאפשר את התנועה ויוצר אותה.

6. ארגז כבד מורם לגג באופן אנכי במהירות קבועה ע"י כבל מתכת המחובר למנוע חשמלי. דני טוען שהכוח שמופעל על הארגז על ידי המנוע חייב להיות גדול יותר מהכוח שמפעיל כדור הארץ.

מסכימים / לא מסכימים הסבר: הכוחות שווים כי אין שינוי במהירות הארגז בציר האנכי.

7. שחף אומרת שכאשר נועצים נעץ במשטח קרטון רך, הכוח שהמופעל על הנעץ על ידי האדם גדול מהכוח שמפעיל הנעץ על הקרטון.

מסכימים/איננו מסכימים הסבר: הכוחות אינם שווים כי הנעץ משנה את מהירותו וננעץ בקרטון.

8. רוני סיפר שהצליח ללכת בקלות רבה על גבי אגם קפוא בעזרת נעלי התעמלות פשוטות, מכיוון שהחיכוך בין הנעליים לקרח קטן בהרבה מהחיכוך בין הנעליים לרצפה.

מסכימים / לא מסכימים הסבר: החיכוך מאפשר את התנועה ויוצר אותה. ללא חיכוך, אי אפשר ללכת על שום משטח.

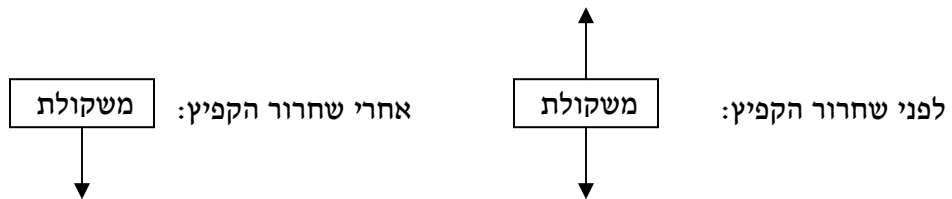


### 7-3.1 תשובות לשאלות בנושא כבידה ומשקל

1. תלמידי כיתה ביצעו את הניסוי הבא: פלג אחז בידו קפיץ קצר ומתוח, ובקצהו הייתה תלויה משקולת שגרמה למתיחת הקפיץ. לפתע, שחרר פלג את הקפיץ, והקפיץ נפל עם המשקולת על הרצפה.

ענו על השאלות הבאות והתייחסו לניסוי המתואר.

א. השתמשו בשיטה לפתרון בעיות (כלי חשיבה) וערכו תרשים כוחות למשקולת לפני שחרור הקפיץ ולאחר שחרורו (כשהוא עדיין באוויר). מדוע, לדעתכם, היה הקפיץ מתוח לפני שחרורו?



תשובה: הקפיץ היה מתוח לפני שחרורו כי הופעלו עליו כוחות על ידי שני גופים בכיוונים מנוגדים (פלג והמשקולת).

ב. האם נשמרה מתיחותו של הקפיץ זמן קצר לאחר שחרורו, ובהיותו עדיין באוויר? הסבירו את תשובתכם.

תשובה: לא, כי הקפיץ והמשקולת היו בנפילה חופשית, והמשקולת לא הפעילה כוח על הקפיץ.

2. אסטרונוט מעבורת החלל אנטרפרייז (גובה מסלולה כ-300 ק"מ מעל לכדור הארץ) יוצא לביצוע תיקונים מחוץ למעבורת ולוקח אתו ארגז עם כלים מסיביים. האסטרונוט קשור בכבל חזק למעבורת החלל. לפתע, בעקבות תקלה מצערת, נקרע הכבל והאסטרונוט נותר מרחף בחלל סמוך מאוד למעבורת.

ענו על השאלות הבאות בהתייחס למקרה המתואר.

א. הציעו דרך שבעזרתה יוכל האסטרונוט לחזור למעבורת.

תשובה: עליו להשליך את ארגז הכלים לכיוון הפוך לכיוון תנועתו הרצוי. בדרך זאת הוא יוצר אינטראקציה בינו לבין הארגז: הוא מפעיל עליו כוח בכיוון אחד (הרחק מהמעבורת) ואילו הארגז יפעיל עליו את אותו גודל כוח בכיוון המעבורת.

ב. מהו משקל האסטרונוט בזמן ריחופו? הסבירו את תשובתכם.

תשובה: הוא חסר משקל כי הוא בנפילה חופשית.

ג. האם יכול האסטרונוט לחזור למעבורת החלל על ידי תנועות ידיים ורגליים בלבד? הסבירו את תשובתכם.  
תשובה: לא. הוא לא יכול להפעיל כוח על עצמו. כדי שיפעל עליו כוח שיגרום לשינוי בכיוון תנועתו הוא חייב להיות באינטראקציה עם גוף אחר.

3. לפני הטיסה לחלל מתאמנים האסטרונוטים במצבים של חוסר תחושת המשקל. לפניכם ארבע שיטות להשגת תנאים של תחושת חוסר משקל, שתיים מהן אינן נכונות. זהו את השיטות הנכונות והסבירו את דעתכם:

א. שימוש במטוס מיוחד המגיע לגובה רב, מכיוון את חרטומו כלפי מטה, מכבה את מנועיו ונופל באופן חופשי עד סמוך לקרקע, מסתובב ועולה שוב לגובה רב, וחוזר חלילה.

ב. שימוש במכשיר צנטריפוגה מיוחד הנמצא על הקרקע ויכול להסתובב בכיוון אופקי בקצב קבוע.

ג. הפעלת שיטה דומה ל- א', אך במקרה זה המטוס מכבה את מנועיו עוד לפני שהגיע לשיא גובהו: הטייס מכבה את מנועי המטוס בנסיקתו כלפי מעלה, ממשיך להתרומם הודות למהירות שרכש עד שמגיע לגובה המקסימלי, ואז נופל כלפי מטה (כמו ב-א').

ד. ביצוע טיסה אופקית במטוס גדול ובמהירות מסוימת (652 קמ"ש) שחושבה במיוחד.

תשובה: א' ו- ג' נכונים. רק בשתי השיטות האלה המטוס נמצא באינטראקציה עם כדור הארץ בלבד.

איזו שיטה מאפשרת לאסטרונוטים לשהות זמן רב יותר בתחושת חוסר משקל?  
תשובה: ג'.

### 8-3.1 תשובות לשאלות על רקטה "בלונית"

במהלך פעילות 3 (ראו פרק "פעילויות") התבקשתם לבנות מנוע שיגרום לטיל לנוע על חוט הניילון.

1. תארו כיצד בניתם את הטיל. באיזה סוג מנוע השתמשתם? תשובה: מנוע רקטי (הבלון). במנוע

רקטי יש אינטראקציה בין גוף המנוע לגז הנפלט ממנו. כתוצאה מאינטראקציה זו, נדחף המנוע

(והטיל) קדימה.

2. השתמשו בבנק המילים והמושגים המופיע בסוף השאלה ונסו להסביר בעזרתו את פעולת המנוע

שבו השתמשתם. אגב כך התייחסו לשאלה, מדוע המנוע דוחף את הטיל קדימה.

תשובה: קיימת אינטראקציה בין הבלון לאוויר היוצא מהבלון. כתוצאה מכך האוויר הנפלט מפעיל

כוח על הבלון קדימה וגורם לשינוי בתנועתו קדימה.

בנק מילים ומושגים: אינטראקציה, אוויר, כוחות באינטראקציה, אינטראקציות באמצע  
ואינטראקציות של אמצע באמצע, חיכוך עם חוט הניילון, מקף הטיף, שיפוע האספול (שיפוע  
חוט הניילון), שינוי בתנועה

3. השתמשו בבנק המילים והמושגים משאלה 2 ותארו את פעולתו של מנוע אחר שבו הייתם יכולים

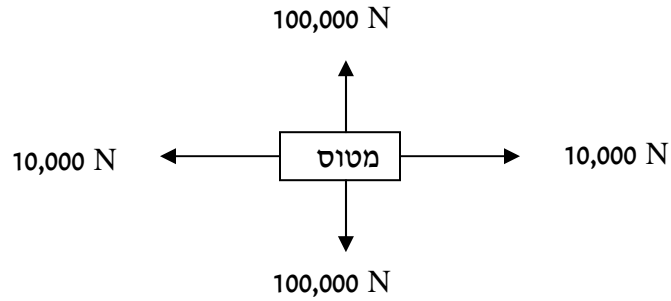
להשתמש להנעת הטיל.

תשובה: היה אפשר להשתמש במאוורר ידני המחובר לטיל. המאוורר נמצא באינטראקציה עם האוויר

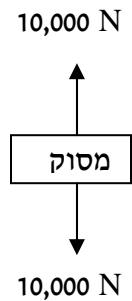
שנדחף אחורנית ודוחף את המאוורר קדימה.

### 9-3.1 תשובות לשאלות כמותיות על אינטראקציה

1. ערכו תרשים כוחות למטוס הנמצא באוויר ונע במהירות ובגובה קבועים. מסת המטוס היא 10 טון (טון אחד שווה ל-1000 ק"ג), וכוח דחף המנועים הוא 10,000 ניוטון.  
תשובה: מכיוון שהמהירות והגובה קבועים, הרי ששקול הכוחות בכל ציר חייב להיות שווה לאפס.

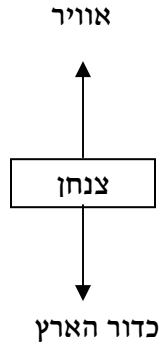


2. ערכו תרשים כוחות למסוק המרחף באוויר ללא מהירות אופקית ובגובה קבוע. מסת המסוק היא 1 טון (טון אחד שווה ל-1000 ק"ג).  
תשובה: מכיוון שמהירות והגובה קבועים, הרי ששקול הכוחות בכל ציר חייב להיות שווה לאפס.



### 10- 3.1 תשובות לשאלות על אינטראקציה עם אוויר

באילת, היה קיים מתקן מיוחד המדמה צניחה חופשית על ידי הזרמת אוויר במהירות גדולה כלפי מעלה. ה"צנחן", הלוּבש חליפה מיוחדת הגורמת לו להראות "שמן מאוד", ממוקם מתחת לזרם האוויר העולה, ומרחף באוויר.



1) ערכו תרשים כוחות לצנחן בזמן ריחופו.

2) מה תפקיד החליפה המיוחדת אותה לובש הצנחן? תשובה: להגדיל את שטח המגע של הצנחן עם זרם האוויר (שטח החתך) כך שהכוח הפועל עליו יהיה גדול יותר.

3) האם נדרש שינוי כלשהו במערכת (גודל המאוורר, עוצמת הרוח שהוא מייצר וכד') אם יעדיף הצנחן לרחף ללא החליפה המיוחדת? תשובה: מהירות זרם האוויר צריכה להיות גדולה יותר.

4) צנחן המצויד במצנח "אמיתי" (המקופל במארז מיוחד הצמוד לצנחן) מנסה את כוחו גם הוא במתקן. מה עלול להתרחש אם בזמן הריחוף הוא יפתח פתאום את המצנח המחובר אליו? תשובה: הוא ינוע כלפי מעלה כי שטח החתך של הצנחן גדל בצורה משמעותית ואיתו הכוח שמפעיל עליו האוויר.

5) ערכו תרשים כוחות לצנחן מייד עם פתיחת המצנח:



### 11- 3.1 תשובות לשאלות מסכמות (1)

בסעיפים הבאים מתוארות התרחשויות המלוות במספר שאלות. ענו על השאלות המופיעות בגוף השאלון.

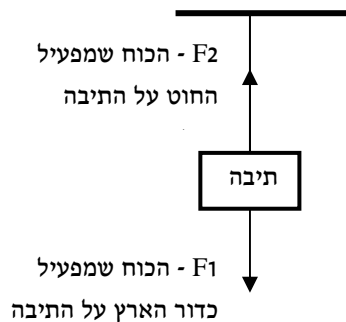


1. תיאור ההתרחשות: כדור פורח קבוע במקומו מרחף בגובה של 10 מטרים מעל הקרקע ומשחרר חבילה. השאלה מתייחסת לחבילה בפרק הזמן שבו היא נמצאת באוויר.

א. לפניכם רשימה של גופים. רשמו ליד כל גוף בטבלה הבאה, האם הוא משפיע על החבילה בזמן הנפילה. הסבירו את תשובתכם.

גופים	משפיע (כן/לא)	הסבר
הכדור הפורח	לא	אין ביניהם אינטראקציה
האוויר	כן	רק במהירות גבוהה
השמש	לא	רחוקה, האינטראקציה ביניהם זניחה
כדור הארץ	כן	כוח המשיכה פועל כלפי מטה
הקרקע	לא	אין ביניהם אינטראקציה

ב. האם משתנה מהירות החבילה בדרכה מהכדור הפורח אל הקרקע (לפני הפגיעה ברצפה)? כן/לא  
 החבילה מגדילה את מהירותה (מאיצה) כלפי מטה בגלל כוח המשיכה של כדור הארץ הפועל כלפי מטה.



2. תיאור ההתרחשות: תיבה תלויה על חוט המחובר לתקרה. יוסי טוען כי הכוחות  $F_1$  ו- $F_2$  הם זוג כוחות של אינטראקציה אחת.

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
 © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

א. האם אתם מסכימים לדעתו של יוסי? כן/לא  
 ב. הסבירו את תשובתכם: תשובה: מדובר בכוחות השייכים לשתי אינטראקציות שונות - F1 הוא אחד מזוג הכוחות שבאינטראקציה בין התיבה לבין החוט.  
 F2 הוא אחד מזוג הכוחות שבאינטראקציה



3. **תיאור ההתרחשות:** משאית ומכונית קטנה נוסעות זו לקראת זו במהירויות שוות (ראו איור).

- א. אלו גופים משתתפים בהתרחשות ברגע המתואר? תשובה: המכונית, הכביש, כדור הארץ והאוויר.  
 ב. לאחר זמן קצר, המשאית והמכונית מתנגשות. המכונית נמעכת ואילו המשאית כמעט שאינה נפגעת. סמנו את המשפט הנכון ביותר לדעתכם המתאר את הסיבה לתוצאות ההתנגשות.
- (1) המכונית, הקלה בהרבה מהמשאית, לא הפעילה כוח על המשאית ולכן המשאית לא נמעכה, ואילו המשאית הפעילה כוח על המכונית ולכן מעכה אותה.
  - (2) אין הפעלת כוחות בהתנגשות, המכונית הקלה פשוט נמעכה מעוצמת המשאית הכבדה.
  - (3) הכוח שהפעילה המכונית על המשאית גדול יותר מהכוח שהפעילה המשאית על המכונית ולכן המכונית היא זו שנמעכה.
  - (4) הכוח שהפעילה המשאית על המכונית שווה לכוח שהפעילה המכונית על המשאית, אך בגלל מבנה המכונית, היא זו שנמעכה.

הסבירו את תשובתכם : באינטראקציה בין שני הגופים (המכונית במקרה זה) הכוחות שווים (החוק השלישי של ניוטון) ואינם תלויים בגודל הגופים.



4. **תיאור התרחשות:** אדם מניף משקולת כבדה בהצלחה ומחזיק אותה באופן יציב באוויר (ראו איור).

א. הקיפו בעיגול כל אחד מהגופים המפעילים כוח על האדם, ורשמו לצדם את כיוון הכוח (למעלה/למטה/הצידה).

#### כיוון הכוח

#### שם הגוף

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
 © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

למעלה	(1) <u>רצפה</u>
_____	(2) האדם עצמו הדוחף את המשקולת
למטה	(3) <u>משקולת</u>
למטה	(4) <u>כדור הארץ</u>
_____	(5) צופים באירוע
_____	(6) אוויר
	(7) אף אחד מאלה

ב. הקיפו בעיגול כל אחד מהגופים המפעילים כוח על המשקולת, ורשמו לצדם את כיוון הכוח (למעלה/למטה/הצידה).

<u>כיוון הכוח</u>	<u>שם הגוף</u>
_____	(1) רצפה
_____	(2) המשקולת עצמה הדוחפת את האדם
למעלה	(3) <u>האדם</u>
למטה	(4) <u>כדור הארץ</u>
_____	(5) צופים באירוע
_____	(6) אוויר
	(7) אף אחד מאלה

ג. מה יקרה, לדעתכם, אם האדם יפחית במעט את הכוח שהוא דוחף את המשקולת? הקיפו בעיגול את התשובה הנכונה.

- (1) המשקולת תתחיל להתנדנד כי האיזון הופר, אך לא תשנה את גובהה.
- (2) לא יקרה דבר כי הכוח שמפעיל האדם על המשקולת היה מראש גדול יותר ממשקל המשקולת, ויש לו "עודפים של כוח".
- (3) המשקולת תרד קצת ואחר כך תחזור לגובהה המקורי.
- (4) המשקולת תנוע כלפי מטה.

הסבירו את בחירתכם. תשובה : שקול הכוחות יהיה כלפי מטה.

5. תיאור ההתרחשות: משאית גדולה התקלקלה באמצע הדרך ונעזרת במכונת קטנה הדוחפת אותה מאחור. איזה משפט מתאר נכונה את הכוחות הפועלים על כלי הרכב?

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט



- א. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית קטן מהכוח שהמשאית מפעילה כדי לדחוף את המכונית בחזרה.
- ב. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית שווה בדיוק לכוח שהמשאית מפעילה על המכונית הקטנה.
- ג. מנוע המכונית פועל, ולכן המכונית היא שדוחפת את המשאית. מכיוון שמנוע המשאית אינו פועל, אין המשאית דוחפת את המכונית חזרה, ולכן רק המכונית מפעילה כוח.
- ד. הכוח שהמכונית מפעילה כדי לדחוף את המשאית גדול מהכוח שהמשאית מפעילה כדי לדחוף את המכונית בחזרה.



6. **תיאור ההתרחשות:** כלב קטן מושך אדם כבד מאוד המתנגד למשיכה (ראו איור). לפני המשיכה הכלב והאדם אינם בתנועה.

א. ערכו תרשים כוחות לכלב וציינו ליד כל כוח את שם הגוף שמפעיל אותו.

כלב

ב. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה שווה לכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה.

- (1) הכלב לא יזוז.
- (2) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- (3) אי אפשר לדעת מה יתרחש.
- (4) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.

ג. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה גדול מכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה.

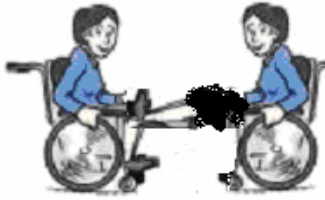
- (1) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.
- (2) הכלב לא יזוז.
- (3) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.
- (4) אי אפשר לדעת מה יתרחש.

ד. הקיפו את המשפט המתאר מה יתרחש אם הכוח שמפעיל האדם על הכלב יהיה קטן מכוח החיכוך המקסימלי בין הכלב לרצפה.

- (1) אי אפשר לדעת מה יתרחש.
- (2) הכלב יתחיל לנוע לכיוון האדם.

3) האדם יתחיל לנוע לכיוון הכלב.

4) הכלב לא יזוז.



7. **תיאור ההתרחשות:** שני תלמידים יושבים על כיסאות זהים המצוידים בגלגלים, ופונים זה מול זה. תלמיד א' מניח את רגליו על ברכי תלמיד ב' (ראו איור) ולפתע מיישר אותן קדימה וגורם לתנועה. הקיפו את המשפט המתאר נכונה את מה שמתרחש במהלך הדחיפה, כל עוד התלמידים נוגעים עדיין זה בזה.

א. תלמיד א' מפעיל כוח על תלמיד ב', אבל תלמיד ב' אינו מפעיל כוח על תלמיד א'.

ב. שני התלמידים אינם מפעילים כוח זה על זה.

ג. שני התלמידים מפעילים כוח זה על זה, והכוחות שווים בגודלם.

ד. הכוח שמפעיל תלמיד א' על תלמיד ב' גדול יותר מהכוח שמפעיל תלמיד ב' על תלמיד א'.



8. **תיאור ההתרחשות:** אופנוע נוסע על

כביש ישר ואופקי (לא משופע) במהירות קבועה.

א. היעזרו בבנק המילים בתחתית הקטע והשלימו את הקטע הבא:

כאשר האופנוע נוסע במהירות קבועה, הכוח שפועל על האופנוע בכיוון קדימה יהיה שווה לכוח המנסה לבלום את האופנוע. כאשר בולמים בפתאומיות, יש לדאוג שהכוח שפועל על האופנוע קדימה יהיה קטן בהרבה מכוח הבלימה.

קטן יותר מ , גדול בהרבה מ , גדול במעט מ, שווה ל, קטן בהרבה מ

ב. האם פועלים כוחות על האופנוע בכיוון אנכי (כלפי מעלה או כלפי מטה)? כן/לא

אם התשובה היא כן, ענו על השאלות האלה:

1) איזה גוף (או גופים) אחראי להפעלת הכוחות? תשובה: כדור הארץ והכביש

2) מהם כיווני הכוחות שמפעילים הגופים שציינתם בסעיף הקודם? תשובה: כדור הארץ למטה

והכביש למעלה.

- 3) אם מדובר ביותר מגוף אחד המפעיל כוח אנכי על האופנוע, האם כוח אחד שווה בגודלו לאחר/אחרים או שונה מהם? הסבירו את תשובתכם. תשובה: הכוחות שווים כי מהירות האופנוע בכיוון האנכי נשארת אפס (האופנוע אינו מתרומם באוויר).
- ג. הקיפו בעיגול את הגוף ( או הגופים) הדוחף את האופנוע קדימה.

(1) מנוע האופנוע

(2) הכביש

(3) האוויר

(4) הנהג.

9. **לפניכם שתי עמודות:** האחת מכילה רשימה של התרחשויות שונות והשנייה מכילה רשימה של עקרונות וחוקים פיזיקליים. חברו בקו כל התרחשות עם ההסברים והעקרונות המסבירים אותה. זכרו, יתכנו מספר עקרונות וחוקים להתרחשות אחת. היעזרו בדוגמה המובאת.

<u>רשימת עקרונות וחוקים</u>	<u>רשימת התרחשויות</u>
הפעלת כוחות תיתכן גם ממרחק	מגנט מושך ממרחק מגנט אחר
תוצאות פעולת כוח על גוף תלויה גם בתכונות הגוף	סרגל מתעוות כשמעקמים אותו
כאשר לא פועלים כוחות על גוף אין שינוי במהירותו	גוף נופל מגדיל את מהירותו כלפי מטה
הפעלת כוח על גוף גורמת לעיוות ו/או שינוי מהירות	מכונית קטנה מתנגשת בקיר בטון ונמעכת
	חללית נעה במהירות קבועה בחלל הריק
	תיבה מונחת על כוננית דקה ומעקמת אותה.



10. **תיאור ההתרחשות:** מוקדם בבוקר משוגר טיל לחלל. ברגע מסוים הטיל נמצא בגובה של 2000 מטר מעל הקרקע. הטיל פולט גזי פליטה מזנבו (ראו איור).

א. סמנו את הנכונה מבין התשובות האלה:

1. כיוון הכוח שמפעילים גזי הפליטה על הטיל הוא כלפי מעלה/מטה/לא פועל כוח

2. כיוון הכוח שמפעיל כדור הארץ על הטיל הוא כלפי מעלה/מטה/לא פועל כוח

ב. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' הולכת וקטנה, איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?

התשובות הנכונות מסומנות בצהוב.

גזי הפליטה

(3) הטיל

כוח המשיכה

גזי הפליטה

(2) הטיל

כוח המשיכה

גזי הפליטה

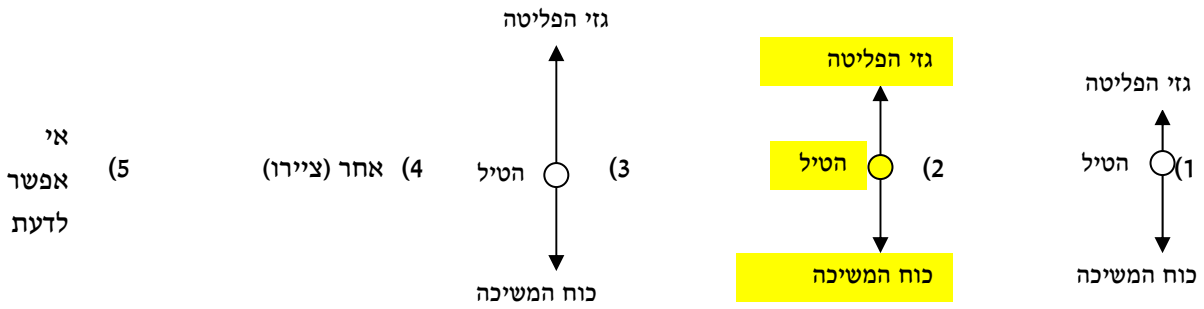
(1) הטיל

כוח המשיכה

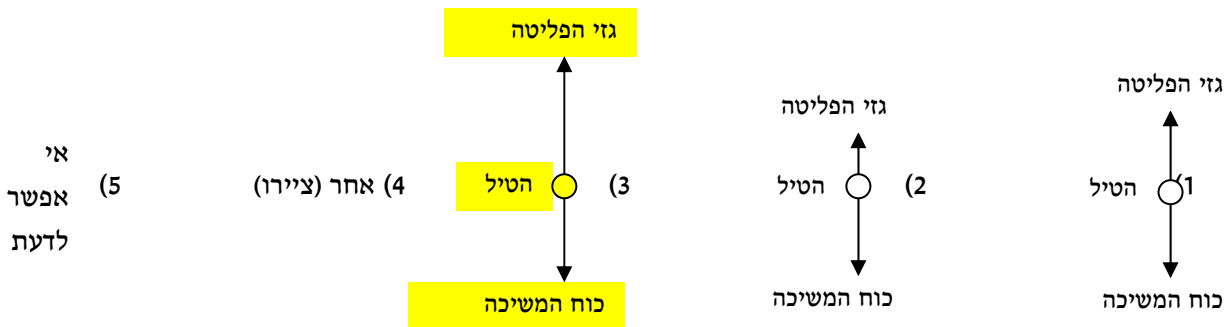
(4) אחר (ציירו)

(5) אי אפשר לדעת

ג. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' אינה משתנה (קבועה), איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?



ד. אם ידוע כי מהירותו של הטיל בגובה של כ-2000 מ' הולכת וגדלה, איזה מהתרשימים הבאים מתאר נכון את הגודל היחסי של הכוחות שמפעילים כדור הארץ וגזי הפליטה?



## 12- 3.1 תשובות לשאלות מסכמות (2)

לפניכם מספר שאלות העוסקות בהבנה בסיסית של כמה מושגי יסוד בפיזיקה. המבחן בנוי בצורה רב ברירתית ("אמריקאי"). עליכם להקיף בעיגול את התשובה הנכונה ולהסביר בקיצור במקום המתאים (בסוף השאלה) מדוע בחרתם בה. אם לדעתכם יש יותר מתשובה אחת נכונה, סמנו גם אותה ודרגו מי מהתשובות טובה יותר (כתבו 1 לתשובה המתאימה ביותר, 2 למתאימה פחות וכו'). בכל מקרה, הסבירו את בחירתכם במשפטי ההסבר שתכתבו בסוף השאלה.

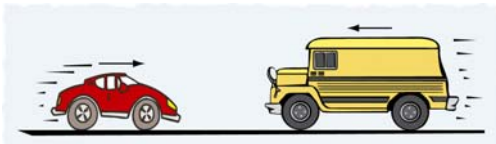
### שאלה 1



גברת כהן יצאה לטייל עם כלבה הנאמן שהיה קשור ברצועה שאותה אחזה בחוזקה. לפתע הבחין הכלב בחתול וניסה לרוץ לעברו, אך הדבר לא עלה בידו כי הרצועה נמתחה מאוד ומנעה זאת ממנו. איזה משפט מתאר בצורה הנכונה ביותר את שארע?

- הכלב וגברת כהן מושכים את הרצועה בכוח שווה.
- הכלב מושך את הרצועה בכוח גדול יותר מאשר גברת כהן.
- גברת כהן מושכת את הרצועה בכוח גדול יותר מאשר מושך הכלב.
- גברת כהן כלל אינה מושכת את הרצועה אלא נמשכת קדימה בגלל ריצת הכלב.

הסבר: שקול הכוחות הפועלים על הכלב הוא אפס ולכן הכלב לא משנה את מהירותו (החוק הראשון).



### שאלה 2

משאית גדולה מתנגשת חזיתית במכונית קטנה (ראו איור). איזה משפט מתאר בצורה הנכונה ביותר את שארע במהלך ההתנגשות?

- המשאית הפעילה כוח גדול יותר על המכונית מהכוח שהמכונית הפעילה על המשאית.
- המכונית הפעילה כוח גדול יותר על המשאית מהכוח שהמשאית הפעילה על המכונית.
- אף אחד מהם לא הפעיל כוח על האחר. המכונית פשוט נמעכת בגלל שהיא נמצאה במסלול המשאית.
- המשאית הפעילה על המכונית כוח השווה בגודלו לגודל הכוח שהמכונית מפעילה על המשאית.

הסבר: באינטראקציה בין שני הגופים (המכונית והאופנוע במקרה זה) הכוחות שווים (החוק השלישי של ניוטון) ואינם תלויים בגודל הגופים.



### שאלה 3

אדם ניצב במרפסת ביתו הממוקם בקומה השלישית, ומפיל בטעות עציץ המתנפץ על הכביש. הסעיפים להלן מתארים את העציץ בשלושה מקומות בדרכו לכביש:

- (1) מיד עם תחילת נפילתו
- (2) כשהוא חולף על פני הקומה השניה
- (3) חלקיק שניה לפני שהוא פוגע בכביש

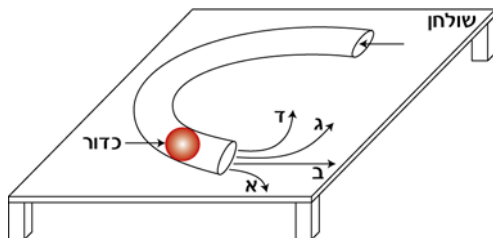
סמנו את המשפט (או המשפטים) הנכונים המתייחסים להשפעת כוח הכובד על העציץ.

- א. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 1 מאשר בשאר המקומות.
- ב. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 2 מאשר בשאר המקומות.
- ג. כוח הכבידה פועל חזק יותר בנקודה 3 מאשר בשאר המקומות.
- ד. כוח הכבידה פועל בעוצמה דומה מאוד על העציץ בכל מהלך נפילתו.

סבר: השינויים בעוצמת האינטראקציה עם כדור הארץ זניחים בשינויי מרחק אלה

### שאלה 4

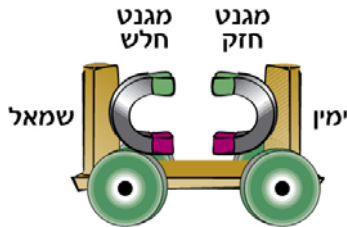
כדור נע בתעלה חצי עגולה המונחת על שולחן (ראו איור). באיזה מהמסלולים א-ד ינוע הכדור לאחר שיצא מהתעלה?



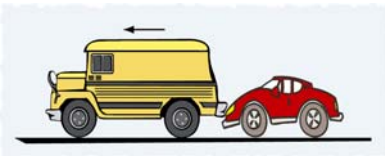
תשובה: ב' - הכדור ימשיך ישר. כאשר הכדור יוצא מהתעלה, אין הוא נמצא באינטראקציה כלשהי שיכולה להשפיע על כיוון תנועתו במישור האופקי.

שאלה 5

שני מגנטים, השונים בעוצמתם, מהודקים לשני קצותיה של קרונית החופשית לנוע. המגנטים מסודרים האחד מול השני כך שהם דוחים זה את זה. מגנט אחד חזק במרבה מהמגנט השני. כתוצאה מכך:



תשובה: ג' גוף (הקרונית במקרה זה) לא יכול להניע את עצמו.

שאלה 6

משאית גדולה התקלקלה באמצע הדרך ונעזרת במכונית קטנה הדוחפת אותה מאחור כדי להתקדם קדימה. איזה משפט מתאר נכון את הכוחות הפועלים על כלי הרכב?

א. גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית שווה בדיוק לגודל הכוח בו המשאית

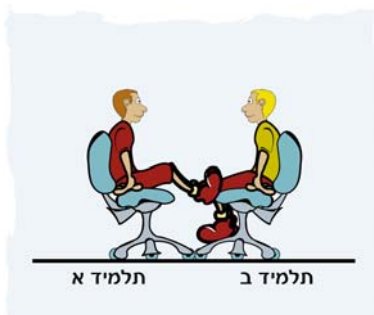
דוחפת את המכונית הקטנה.

ב. גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית קטן מגודל הכוח בו המשאית דוחפת את המכונית בחזרה.

ג. גודל הכוח בו המכונית דוחפת את המשאית גדול מגודל הכוח בו המשאית דוחפת את המכונית בחזרה.

ד. מנוע המכונית פועל ולכן המכונית היא זו שדוחפת את המשאית. מכיוון שמנוע המשאית אינו פועל, היא אינה דוחפת את המכונית חזרה, ולכן רק המכונית היא זו שמפעילה כוח.

הסבר: החוק השלישי של ניוטון.

שאלה 7

שני תלמידים יושבים על כיסאות זהים המצוידים בגלגלים, ופונים זה מול זה. תלמיד א' מניח את רגליו על ברכי תלמיד ב' (ראו איור) ולפתע מיישר אותן קדימה וגורם לתנועה. במשך הדחיפה וכאשר התלמידים עדין נוגעים זה בזה ניתן להגיד ש:

א. אף אחד מהתלמידים אינו מפעיל כוח על התלמיד האחר.



- ב. תלמיד א' מפעיל כוח על תלמיד ב', אבל תלמיד ב' אינו מפעיל כוח על תלמיד א'.  
 ג. כל תלמיד מפעיל אותו כוח על התלמיד האחר, והכוחות שווים בגודלם.  
 ד. הכוח שמפעיל תלמיד א' על תלמיד ב' גדול מאשר הכוח שמפעיל תלמיד ב' על תלמיד א'.  
 הסבר: החוק השלישי של ניוטון.

### שאלה 8

ספר המונח על שולחן. התייחסו לכוחות הבאים:



- 1) כוח הכובד שמפעיל כדור הארץ על הספר כלפי מטה.
- 2) כוח שמפעיל השולחן על הספר כלפי מעלה.
- 3) כוח שמפעיל האוויר על הספר כלפי מטה.

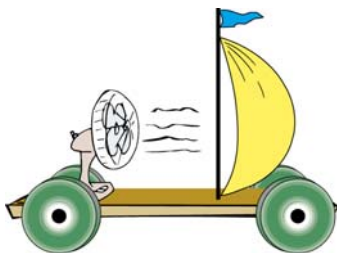
סמנו את האפשרות המתארת איזה מבין שלושת הכוחות האלה פועלים על הספר:

- א. רק כוח 1
- ב. כוחות 1 ו-2
- ג. לא פועל אף כוח כי הספר נמצא במנוחה.
- ד. רק כוח 3

הסבר: הספר באינטראקציה עם כדור הארץ ועם השולחן.

### שאלה 9

לפניכם ציור המתאר מאוורר ניצב על עגלה בצידה השמאלי. מול המאוורר, בצידה הימני של העגלה, מונף מפרש גדול המחובר גם הוא אל העגלה. בשלב מסוים מפעילים את המאוורר בעוצמה החזקה ביותר האפשרית. כתוצאה מכך:



- א. העגלה תזוז ימינה.
- ב. העגלה תזוז שמאלה.
- ג. העגלה לא תזוז כלל.
- ד. העגלה תתרומם למעלה.

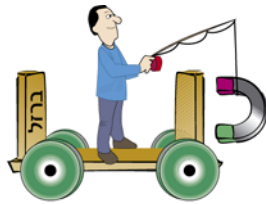
הסבר: בתנאים אידיאליים (ללא חיכוך משמעותי בין העגלה לכביש) המכונית תנוע שמאלה ולא ימינה.

מערכת זו נחשבת לפתוחה כשהיא ניצבת באוויר "הפתוח" כי האוויר יכול להתחלף, ובהחלט זורם אוויר מצידי המפרש. לכן נוצר מצב שהמאוורר נדחף שמאלה ע"י האוויר בכוח מסוים, אבל האוויר הזה, הנדחף ע"י המאוורר, לא כולו פוגע במפרש וחלק ממנו הולך לצדדים, ולכן לא כל

"כוח" האוויר עובר למפרש. לכן, הכוח שמאלה יהיה גדול מהכוח ימינה. אם היו מניחים צינור אטום בין המאוורר למפרש, העגלה לא היתה נעה בשום מקרה. במילים אחרות, אם מביאים בחשבון את האוויר כגוף, וחייבים לעשות זאת כאן כי הוא הגוף המפעיל כוחות על העגלה, הרי שהמערכת בציור פתוחה ולא סגורה. מכיוון שאין "מנהרת רוח" סגורה בין המאוורר למפרש, והאוויר יכול "להכנס ולצאת" גם מהצדדים ומלמעלה, בין המפרש למאוורר, המערכת חייבת להיות פתוחה.

### שאלה 10

לפניכם איור המראה מגנט חזק משתלשל לפני עגלת ברזל. האם העגלה תוכל לנוע?



- כן, היא תזוז ימינה.
- כן, היא תזוז שמאלה.
- היא תזוז ימינה אם לא יהיה חיכוך.
- היא לא תזוז.

הסבר: ראו שאלה 9

### שאלה 11

סמנו את אחד המשפטים הבאים המתאר את שיתרחש.

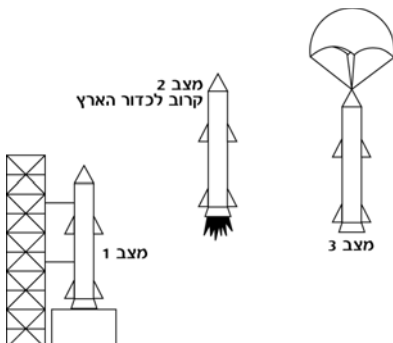


- עגלה א' תזוז ואילו ב' לא תזוז.
- עגלה ב' תזוז ואילו עגלה א' לא תזוז.
- שתי העגלות תזוזנה באופן דומה.
- שתי העגלות לא תזוזנה.

הסבר: לגבי עגלה א' ראו שאלה 9. לגבי עגלה ב', מדובר בשני גופים הנמצאים באינטראקציה ולכן מופעלים כוחות היכולים להניע את העגלה.

### שאלה 12

שלושת הציורים מראים טיל המשוגר מכדור הארץ ולאחר מכן בדרכו חזרה. באיזה משלוש המצבים פועל כוח המשיכה של כדור הארץ על הטייל?

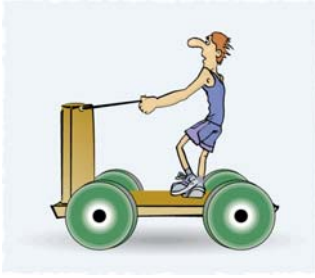


- 3 בלבד
- 1 ו-2 בלבד
- 2 ו-3 בלבד
- 1, 2, 3

הסבר: עוצמת האינטראקציה של גופים עם כדור הארץ אומנם הולכת וקטנה עם המרחק (לפי ריבוע המרחק) אך היא אינה זניחה לגבי החלליות הנעות סביב כדור הארץ.

שאלה 13

אדם עומד על עגלה נחה. האיש מתחיל למשוך בחבל שקשור לדופן העגלה כמתואר באיור. כתוצאה מכך:



- א. העגלה תתחיל לנוע ימינה ללא קשר לעוצמת המשיכה
- ב. העגלה תתחיל לנוע שמאלה ללא קשר לעוצמת המשיכה
- ג. העגלה לא תנוע בשום מקרה
- ד. העגלה תנוע רק אם האיש ימשוך בעוצמה חזקה מאוד.

הסבר: ראו שאלה 9. מרכיבי מערכת סגורה (העגלה) אינם יכולים להניע אותה.

שאלה 14

בגלגלה האחורי של מכונית גרר ארע תקר (פנצ'ר). נהג הגרר חיבר את המנוף המותקן על מכונית הגרר, אל חלקה האחורי (במקום שקשה לשוברו) והפעיל אותו (ראו איור). כתוצאה מהפעלת המנוף:



- א. חלקה האחורי של מכונית הגרר התרומם באוויר
- ב. מכונית הגרר התהפכה על צידה
- ג. חלקה הקדמי של מכונית הגרר התרומם באוויר
- ד. לא ארע דבר והמכונית נשארה במקומה

הסבר: ראו שאלה 9 ו-14.

### 13- 3.1 תשובות לשאלות מסכמות (3- רמה גבוהה)

1. לוח עץ מונח על הרצפה. בלוח העץ תקוע מסמר שראשו בולט כ- 1 ס"מ מעל ללוח העץ. לפתע, נופל אסטרואיד (עשוי מאבן) מהשמיים (מסתו 5 ק"ג) ונוחת בדיוק על ראש המסמר. כתוצאה מכך ננעץ המסמר בעץ לחלוטין.

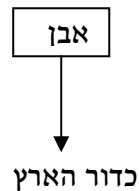
א. סמנו את המילה הנכונה בסוגריים:

בזמן פגיעת האבן במסמר הכוח שהפעילה האבן על המסמר היה (קטן / גדול / שווה) לכוח שהפעיל המסמר על האבן.

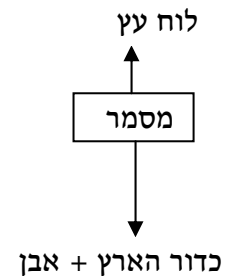
ב. ערכו תרשים כוחות למסמר בזמן פגיעת האבן (זכרו, המסמר מגדיל את מהירותו כלפי מטה!)

ג. ערכו תרשים כוחות לאבן זמן קצר ביותר לפני שפגעה במסמר.

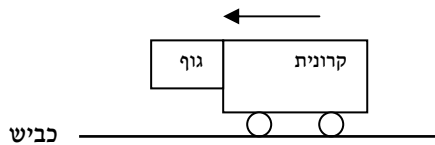
סעיף ג'



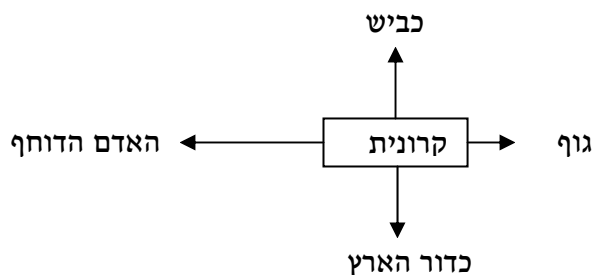
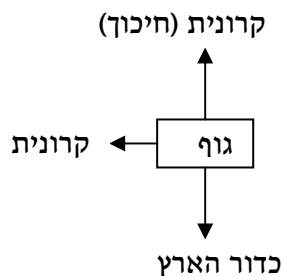
תשובות: סעיף ב'



2. מניחים גוף בחזית קרונית, דוחפים אותה ומשנים את מהירותה (מאיצים אותה). כתוצאה מכך הגוף אינו נופל (ראו איור). הזניחו את החיכוך בין הקרונית לרצפה.



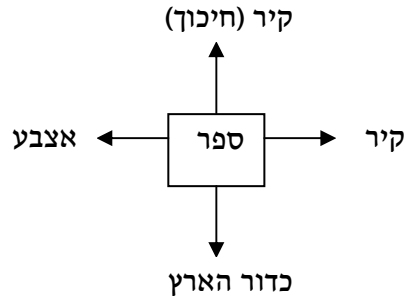
א. ערכו תרשימי כוחות (1) לקרונית (2) לגוף.



ב. האם קיים חיכוך בין הקרונית לגוף? נמקו. תשובה: קיים חיכוך הפועל בניגוד לכוח המשיכה של כדור הארץ ומונע מהגוף ליפול. ללא חיכוך לא ניתן היה למנוע את נפילת הגוף כלפי מטה.

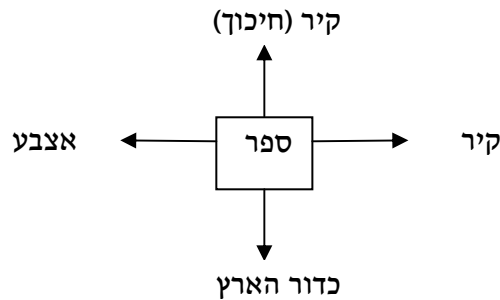
ג. אדם ניצב על גג הקרונית על פני מאזני אמבטיה (הגג שטוח והקרונית נוסעת על גבי משטח אופקי). האם המשקל שמורים המאזניים ישתנה? נמקו. תשובה: לא, כי תאוצת הקרונית בכיוון אופקי אינה משפיעה על הכוחות בציר האנכי.

3. א. אדם דוחף עם אצבעו ספר כנגד קיר אנכי. הספר אינו נופל. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר אינו נופל.



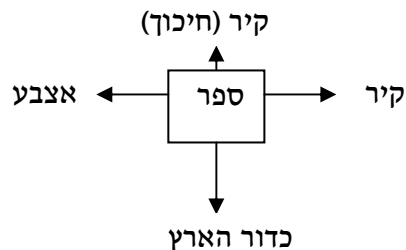
הסבר: הספר אינו נופל מהסיבה שכוח החיכוך מאזן בדיוק את כוח המשיכה של כדור הארץ.

ב. האדם מגביר את הכוח בו הוא דוחף את הספר. הספר אינו נופל. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר אינו נופל.



הסבר: במקרה המתואר גדלו הכוחות האופקיים אך אין שינוי בכוחות האנכיים.

ג. האדם "מרפה" קצת את הכוח בו הוא דוחף את הספר (לא מבטל אותו לחלוטין!) והספר מתחיל לנוע כלפי מטה. ערכו תרשים כוחות לספר והסבירו מדוע הספר מתחיל לנוע כלפי מטה.

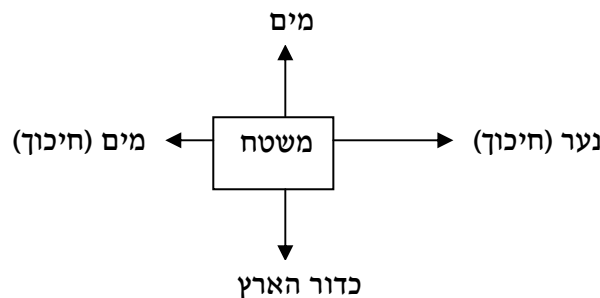


הסבר: כוח החיכוך המקסימלי קטן יותר מכוח הכבידה.

4. במהלך טיסתה של החללית אפולו 13 אל הירח ארעה תקלה מצערת שמנעה מצוות הנחיתה לממש את ייעודו לנחות על הירח, והעמידה את כל האסטרונוטים במצב של סכנת חיים. צוות החללית ומדעני מרכז הבקרה בכדור הארץ עשו מאמצים כבירים להחזיר את צוות החללית לכדור הארץ. האם לדעתכם יצאה החללית, שהיתה קרובה מאוד לירח, מהשפעת כוח המשיכה של כדור הארץ? הסבירו.

תשובה: לא, ולכן הצליחה החללית לחזור. כוחות המשיכה של כדור הארץ מורגשים במרחקים גדולים מכדור הארץ וגם הירח סובב סביב כדור הארץ כתוצאה מכוח זה.

5. נער ניצב על גבי משטח קטן מימדים הצף בבריכה שקטה. המשטח יכול לנוע על פני המים. הנער מתחיל לרוץ על המשטח וקופץ קפיצת ראש מקצהו.  
א. מה יקרה למשטח כשהנער רץ על פניו? הסבירו את דעתכם תוך שימוש בתרשים כוחות.



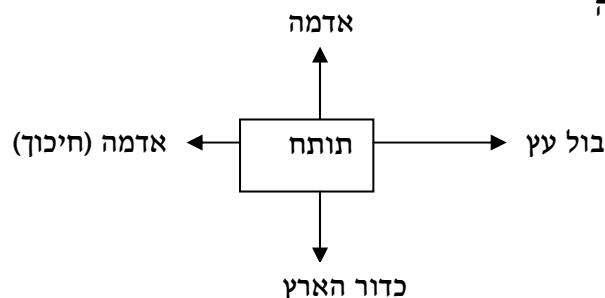
תשובה: המשטח ינוע לאחור והילד ינוע קדימה. תנועה זו מתאפשרת כי קיים כוח חיכוך בין הילד לבין המשטח המאפשר את התנועות הנ"ל. תנועתו של הילד על פני המשטח היא כמו תנועתו על הקרקע. הילד דוחף את המשטח אחורה, והמשטח דוחף אותו קדימה (כוח החיכוך) וכך הוא מתקדם.

ב. האם קיים חיכוך בין הנער למשטח? איך אפשר להוכיח זאת? (ראו תשובה א')

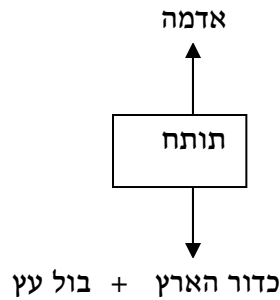
6. על עגלה היכולה לנוע מורכב תותח קפיץ היורה בולי עץ.

א. תארו (תוך שימוש בתרשים כוחות) מה יתרחש כאשר יורה התותח בול עץ בכיוון אופקי שמאלה.

תיאור: התותח ינוע ימינה



ב. תארו (תוך שימוש בתרשים כוחות) מה יתרחש כאשר יורה התותח בול עץ בניצב כלפי מעלה.



תיאור: התותח לא ינוע.

ג. מחברים בול עץ אל קפיץ התותח באופן קבוע (כלומר בול העץ אינו ניתק מקפיץ התותח) ויורים אותו בכיוון אופקי. תארו מה יתרחש במקרה זה והסבירו את תשובתכם. תיאור: לא יקרה דבר. רכיבי מערכת סגורה אינם יכולים להניע אותה.

7. רכבת מתנגשת במכונית שננטשה על הפסים. כתוצאה מכך נמעכת המכונית כליל ואילו הרכבת לא נפגעה כלל (למעט כמה שריטות).

א. האם הכוח שהפעילה הרכבת על המכונית היה שווה לכוח שהפעילה המכונית על הרכבת? הסבירו. תשובה: הכוחות שווים (חוק שלישי).

ב. מדוע נפגעה המכונית באופן קשה יותר מאשר הרכבת? הסבירו את תשובתכם. תשובה: המכונית נפגעה קשה יותר כי החומרים מהם היא עשויה חלשים (ופגיעים) יותר מאשר החומרים מהם עשויה הרכבת.

8. א. תולים גוף על קפיץ, ומעתיקים את המערכת מכדור הארץ לירח. האם התארכות הקפיץ על הירח תהיה שווה להתארכותו על פני כדור הארץ? נמקו. תשובה: לא, כי כוח המשיכה על הירח קטן יותר מאשר כוח המשיכה על כדור הארץ.

ב. מאזנים גוף על מאזני כפות באמצעות גופים אחרים, ומעתיקים את המערכת מכדור הארץ לירח. האם המאזניים יישארו מאוזנים? נמקו. תשובה: כן. כל הגופים נמשכים בעוצמה חלשה יותר אל הירח: הן הגוף הנשקל והן המשקולת המאזנת. (עוצמת האינטראקציה עם כדור הארץ גדולה פי שש מעוצמת האינטראקציה עם הירח)

9. אדם עומד על מאזני קפיץ מתחת למשקוף הדלת. המאזניים מראים שמסתו של האדם היא 70 ק"ג. עתה, כשהוא עדיין עומד על המאזניים, נוטל האדם מאזני קפיץ נוספים (הזהים לאלה שעליהם הוא ניצב), ולוחץ אותם עם ידיו אל משקוף הדלת שמעליו. כתוצאה מהפעלת הכוחות על מאזני הקפיץ הנוספים (שנלחצו אל המשקוף) הם מורים כוח המתאים למשקל גוף שמסתו 15 ק"ג. מה יראו מאזני הקפיץ עליהם ניצב האדם? נמקו את תשובתכם.

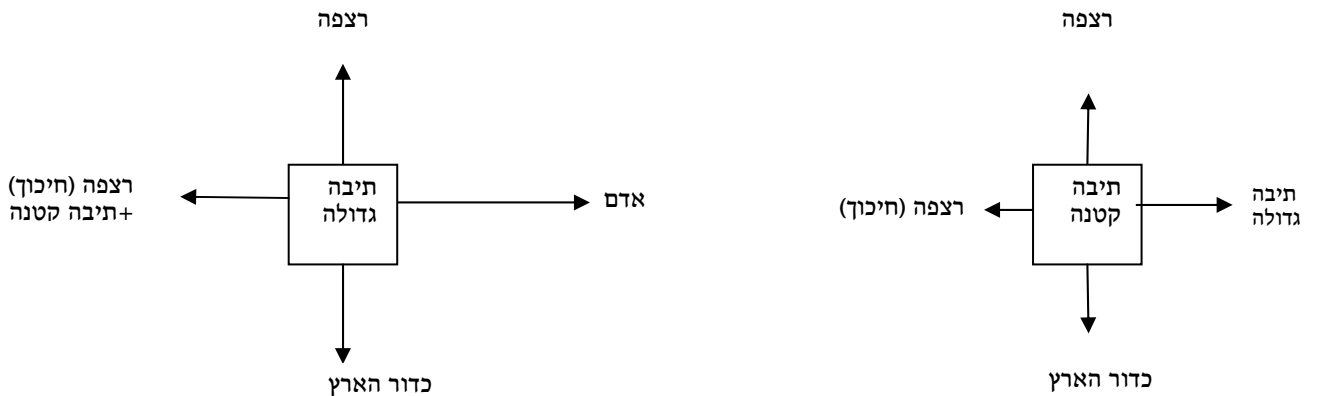
תשובה: המאזניים יראו כוח המתאים למשקל גוף שמסתו 85 ק"ג. הכוח שהאדם הפעיל על משקל כדור הארץ יגלו בחזרה על ידי המשקוף והצטרף אל משקל כדור הארץ, ולכן תחושת הכובד, או האפקטיבי גדלה.

10. אדם דוחף באופן רציף תיבה גדולה הדוחפת תיבה קטנה. קיים חיכוך בין התיבות והאדם לבין הרצפה.

א. ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר האדם (והתיבות) נעים במהירות קבועה.



ב. ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר האדם (והתיבות) נעים בתאוצה קבועה.



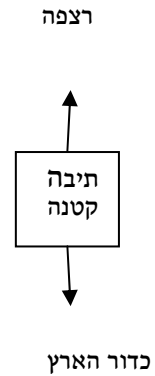
ג. לפתע, מרפה האדם מהתיבות ועוצר. התיבות ממשיכות בתנועה ועוצרות לאחר זמן מה. ערכו תרשימי כוחות לשתי התיבות כאשר הן (1) עדיין בתנועה (2) עצרו. כאשר התיבות בתנועה:



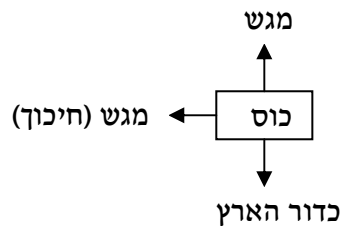
רוני מועלם - המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע  
 © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספור



כאשר התיבות עצרו:



11. מלצר הנושא מגש ועליו בקבוק וכוס, מתחיל ללכת (משנה את מהירותו). ערכו תרשים כוחות לכוס. מה דוחף אותה קדימה?



תשובה: כוח החיכוך בין הכוס ובין המגש.

12. האסטרונוטים במעבורת החלל רוצים לחזור לכדור הארץ. לשם כך, מפעילים טייסי המעבורת מנועים למספר שניות ומאיטים את מהירותה. זאת למעשה הפעם האחרונה בה מפעילים הטייסים את המנועים. משלב זה ועד לסיום הנחיתה מתפקדת המעבורת, המצוידת בכנפיים, כדאון. בגובה של כ- 100 ק"מ עוצמת האינטראקציה עם האוויר כבר משפיעה מאוד על המעבורת שמאיטה את מהירותה בקצב הולך וגדל ככול שהיא מנמיכה. כתוצאה מכך מתחממת המעבורת מאוד. ערכו תרשים כוחות למעבורת כאשר היא:

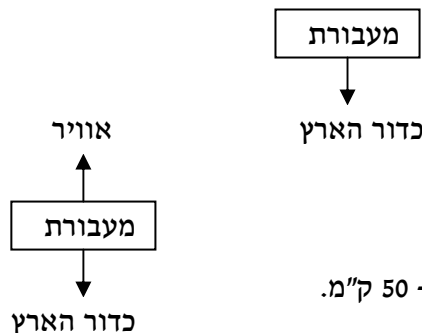
א. נמצאת בחלל סביב כדור הארץ.

ב. בגובה של כ- 50 ק"מ.

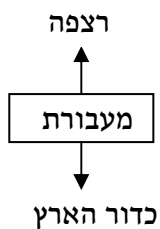
ג. עומדת במנוחה על הקרקע לאחר הנחיתה.

ד. האם האסטרונוטים נמצאים במצב של חוסר משקל בגובה של כ- 100 ק"מ? הסבירו. תשובות:

א. נמצאת בחלל סביב כדור הארץ.



ב. בגובה של כ- 50 ק"מ.



ג. עומדת במנוחה על הקרקע לאחר הנחיתה.

ד. האם האסטרונאוטים נמצאים במצב של חוסר תחושת משקל בגובה של כ- 100 ק"מ? הסבירו.

תשובה: לא. האינטראקציה עם האוויר כבר משפיעה ולכן האסטרונאוטים אינם בנפילה חופשית.

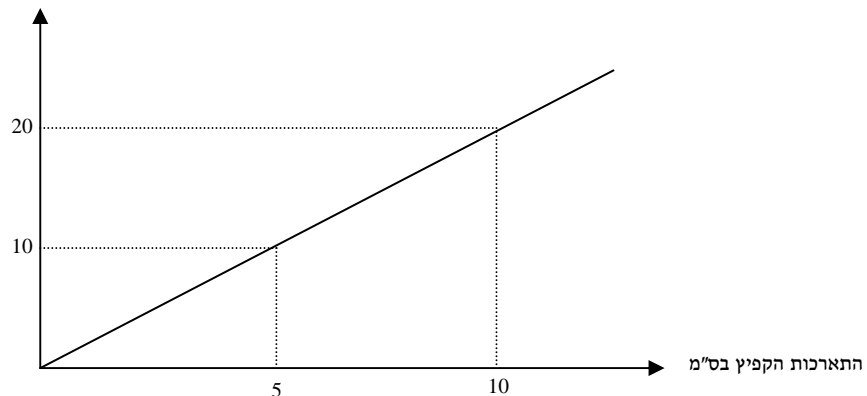
### 14-3.1 תשובות לשאלות מסכמות (4)

1. לפניכם מספר משפטים. אם הנכם סבורים כי המשפטים נכונים, כתבו "נכון" ליד המשפט. אם הנכם סבורים כי המשפט אינו נכון, כתבו "לא נכון" ליד המשפט.

- גוף יכול להפעיל שני כוחות שונים, בו זמנית, על גוף אחר. (נכון).
- כדור הארץ מפעיל כוח משיכה על גוף בחלל החיצון (היכן שטסות חלליות), והגוף מפעיל כוח שווה והפוך בכיוון על כדור הארץ. (נכון)
- גוף נע במהירות שווה (ואחידה) רק כאשר מופעל עליו כוח. (לא נכון)
- במשך זמן ההתנגשות בין משאית כבדה למכונית קטנה, מופעל כוח גדול יותר על המכונית הקטנה מאשר על המשאית הגדולה. הבדל זה גורם לכך שהמכונית הקטנה נפגעת הרבה יותר מאשר המשאית הכבדה. (לא נכון)

2. דוד בנה "משקל" (מד כוח) לגופים קטנים באופן הבא: הוא חיבר קפיץ למתקן אנכי שאליו מחובר סרגל, ולקצהו התחתון של הקפיץ חיבר מגש קטן (עליו מניחים את הגופים שאותם רוצים לשקול), וקיסם עץ המשמש כמחוג המצביע על הסרגל. כאשר מניחים גוף הנועד לשקילה על המגש הקטן, מתארך הקפיץ והמחוג מצביע על מידת התארכות הקפיץ. דוד כיוון את הסרגל כך שאם לא מניחים גוף לשקילה, מצביע המחוג על "אפס" בסרגל. בשלב הבא כייל דוד את המכשיר שבנה ע"י הנחת משקולות על המגש הקטן ומדידת התארכות הקפיץ בהתאם. לאחר כיול המכשיר עם משקולות שונות שרטט דוד את הגרף הבא:

משקל (בניוטון)



התבוננו בגרף וענו על השאלות הבאות:

- איזה משקל יש להניח על המגש כדי שהקפיץ יתארך ב-10 ס"מ? 20 N
- בכמה יתארך הקפיץ אם מניחים על המגש גוף במשקל של 10 ניוטון? 5 ס"מ
- איזה משקל (בקירוב) יש להניח על המגש כדי שהקפיץ:

- יתארך ב-2.5 ס"מ? 5 N
- יתארך ב-5 ס"מ? 10 N
- יתארך ב-12 ס"מ? 24 N

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע,  
© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך והספורט

## 3.2 פעילויות

הפעילויות עוסקות בנושאים שונים הכלולים בתוכנית לימודים זו. הפעילויות מתבצעות בקבוצות של 4-6 תלמידים. המורה משמש כמנחה בלבד. את ארבע הפעילויות הראשונות כדאי להדפיס על נייר קרטון מנוילן ולחלקן לקבוצות. פעילויות נבחרות מיריד התופעות (פעילויות 5-15) כדאי לבצע לפני השיעור הראשון. כדאי לבחור 5-6 פעילויות מהרשימה המוצעת ולהשתמש בדף הנלווה לפעילויות המופיע בעמוד 10. פעילויות אלה מעלות את קשיי התלמידים ומעוררות מוטיבציה ללמוד את התכנים.

תוכן עניינים	עמ'
1- דוחפים ונדחפים	2
2- דיאטה במהירות האור	3
3- ניוטון והתפוח	4
4- רקטה "בלונית"	5
יריד התופעות	7
5- מכונית מאווררת	
6- מטוטלת	
7- המזרקה המשוגעת (1)	
8- המזרקה המשוגעת (2)	
9- מגנטים מרחפים	
10- בלון מעופף	
11- סרגל מחשמל	
12- מגנטים על חוט	
13- קפיצה לגובה	
14- עגלות מתנגשות	
15- התנגשויות עם פלסטלינה	
דף נלווה לפעילויות	10

**פעילות 1: "דוחפים ונדחפים" - פעילות בנושא החוק השלישי של ניוטון**



לפניכם תיאור של התרחשויות. ציינו לגבי כל אחת מהן האם היא אכן יכולה להתקיים במציאות ונמקו את תשובותיכם בעזרת כלי החשיבה.

**הימאי הקופץ:** אדם קופץ למזח מסירה קטנה החופשית לנוע. הסירה לא זזה בזמן הקפיצה, לכן האדם יכול להגיע למזח בקלות. יחסית.

**הפועל הנחוץ:** אדם ניצב על גלגליות (סקטים) ואוחז בשק מלט כבד. האדם משליך את השק קדימה למרחק הגדול ביותר שהוא יכול. כתוצאה מכך יעוף השק קדימה והאדם ייהדף בכיוון מנוגד לכיוון תנועת השק (אחורה).

**הקלע המצטיין:** כאשר יורים ברובה, נוצרת אינטראקציה בין הקליע לרובה, ולכן הרובה נהדף אחורנית, בעוד שהקליע נהדף קדימה.

**תשובות**

1) הימאי הקופץ - תשובה: לא נכון. הסירה תנוע לאחור.

2) הפועל הנחוץ - תשובה: נכון.

3) הקלע המצטיין - תשובה: נכון.

**פעילות 2: "דיאטה במהירות האור" - פעילות בנושא משקל ומערכות מואצות**



# דיאטה במהירות האור



---

**משימה 1:** דונו בקבוצות וענו על השאלות הבאות:

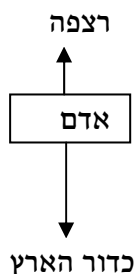
- א. מהו משקל?
- ב. איך מודדים משקל?
- ג. האם העובדה שלגופים יש משקל מעידה על כך שהם נמצאים באינטראקציה עם גוף כלשהו? אם כן, מהו גוף זה?
- ד. האם תלוי המשקל אותו אנו "מרגישים" בשינוי מהירות (תאוצה)?

**משימה 2:** לפניכם שתי התרחשויות. דונו בקבוצות וקיבעו האם המתואר בהתרחשויות תואם את ניסיונכם האישי וציינו כיצד התרשים מסביר את התופעות המתוארות. שרטטו תרשים כוחות לאדם המשתתף בכל אחת מההתרחשויות.

**א. כאשר נוסעים ברכבת הרים במהלך ירידה תלולה, אנו חשים כי משקלנו קטן, ולכן אנו חשים "תחושה מוזרה בבטן".**

**ב. כאשר אנו יורדים במעלית מהירה, מגיעים לקומה הרצויה, והמעלית נבלמת באופן מהיר, אנו חשים שהפכנו כבדים יותר בשלב של עצירת המעלית.**

למידע נוסף על הנושא ראו מהלך ניסוי 2 ("משקל ונפילה חופשית")

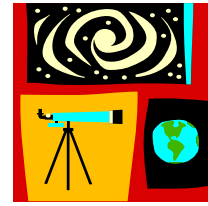


תשובה למשימה 2: תרשים הכוחות בכל אחת מההתרחשויות.

**פעילות 3: "ניוטון והתפוח" - פעילות בנושא כבידה**



# ניוטון והתפוח



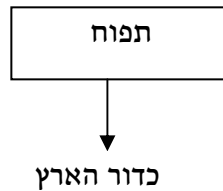
**תיאור ההתרחשות: ניוטון ישב בצהרים מתחת לעץ תפוח, כשלפתע ניתק תפוח מאחד הענפים ונפל בדיוק על ראשו.**

**משימה 1:** הפעילו את "כלי חשיבה" וערכו תרשים כוחות לתפוח הנופל (מייד לאחר שניתק מהעץ). הסבירו בעזרת המונחים המתאימים מדוע נפל התפוח.

**משימה 2:** האם התפוח הנופל נמצא בנפילה חופשית מייד לאחר שהתנתק מהעץ? הסבירו.

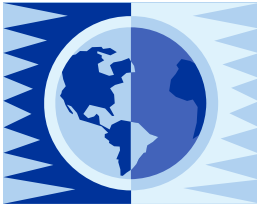
**משימה 3:** נסחו קטע קצר (שאותו תמסרו למורה) המסביר במונחים של אינטראקציה וכוחות את נפילת התפוח.

תשובה למשימה 1:

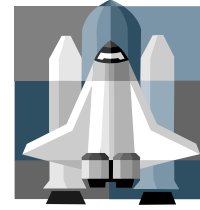


תשובה למשימה 2: התפוח נמצא בנפילה חופשית כי הוא באינטראקציה רק עם כדור הארץ. מייד לאחר שהתפוח ניתק מהעץ, מהירותו עדיין נמוכה מאוד, ולכן עוצמת האינטראקציה עם האוויר זניחה.

**פעילות 4:** רקטה "בלונית" - פעילות בנושא החוק השלישי של ניוטון



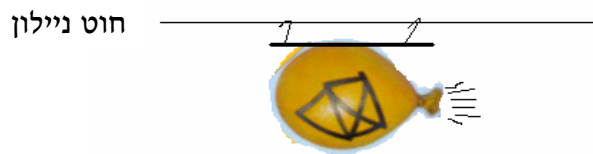
# רקטה "בלונית"



**תיאור הפעילות:** כל קבוצה בונה רקטה המונעת בבלון מנופח. לאחר ניסויי הטיסה תיערך תחרות בין הקבוצות ותיבחר הקבוצה שברשותה הרקטה הטובה ביותר.

**משימה 1:** בניית הרקטה -

- מתחו חוט ניילון בין שני קירות מנוגדים בכיתה.
- הרכיבו לסרגל שקיבלתם שני ווי תלייה כמודגם על ידי המורה.
- נפחו בלון והחזיקו באצבעותיכם את פייתו סגורה.
- הדביקו בעזרת נייר דבק את הבלון לסרגל ותלו את הרקטה על חוט הניילון.
- שחררו את פיית הבלון ועקבו אחר תנועת הרקטה.



## הפעילו את הרקטה



**משימה 2:** הסבירו מדוע הרקטה נעה קדימה. הסבירו את תשובתכם בעזרת כלי החשיבה ותרשים כוחות מתאים.



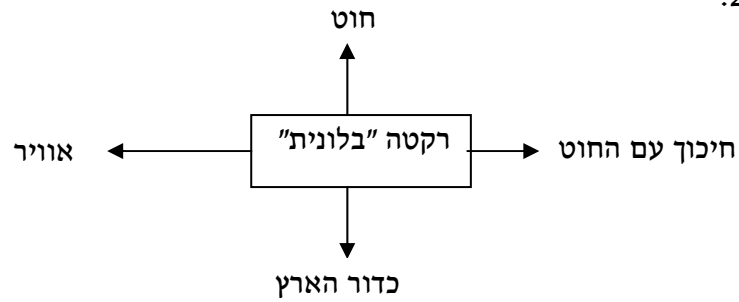
## תחרות



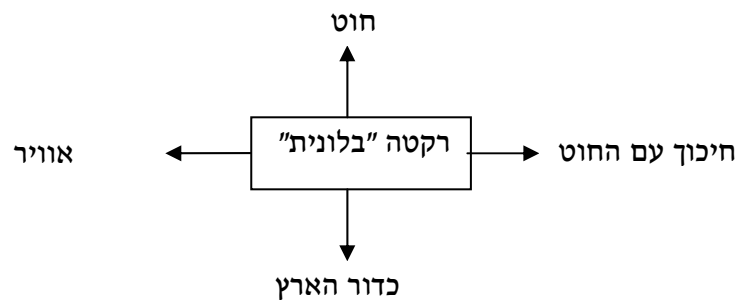
**משימה 3:** נפחו את הבלון ברקטה עד כדי מחצית מנפחו ושחררו אותו. האם היו הבדלים בתנועת הרקטה יחסית לתנועתו במשימה 1 כשהבלון היה מנופח בכל נפחו? אם כן, הסבירו מדוע.



תשובה למשימה 2:



תשובה למשימה 3: השינוי היחידי הוא בעוצמת האינטראקציה עם האוויר, שקטנה. אם גודל הכוח שמפעיל האוויר על הרקטה קטן מכוח החיכוך המקסימלי בין הרקטה לחוט, הרקטה לא תנוע.



## פעילויות 5-15: יריד תופעות

מוצע להציג את הפעילויות הבאות במסגרת "יריד תופעות", לפני ואחרי ההוראה. הסברי התלמידים לפני ההוראה יתבססו על האינטואיציות והידע המוקדם שלהם. המורה יוכל להתייחס למידע הזה במהלך ההוראה, ולפתח את הבנת התופעות עם פיתוח המושגים, העקרונות והאסטרטגיה. מומלץ לחזור בתום הוראת הנושא לאותן תופעות ולנסות להסבירן בעזרת הידע הפיזיקלי שנרכש.

את הפעילויות מלווה דף עבודה הרצ"ב (בסוף הקטע).

משך הפעילויות: שיעור כפול.

מהלך הפעילויות: המורים מכינים בכיתה "תחנות" שבהן ממוקמות הפעילויות. התלמידים סובבים בקבוצות קטנות בין התחנות השונות ומבצעים את הפעילויות. בהמשך מופיעות פעילויות נוספות לבחירה.

### רשימת פעילויות

5. **מכונית מאווררת:** הצמידו בעזרת פלסטלינה מאוורר קטן למכונית צעצוע. הפעילו את המאוורר והניחו למכונית לנסוע (הפעילות מופיעה גם כניסוי בנושא אינטראקציה עם אוויר - לבחירת המורה).
6. **מטוטלת:** תלו משקולת קטנה על חוט שאורכו כחצי מטר, הניעו את המטוטלת וצפו בתנועתה.
7. **המזרקה המשוגעת 1:** נקבו בבקבוק פלסטי שלוש חורים בשלושה גבהים שונים אך בטור אחד. מלאו את הבקבוק מים. המים ייצאו מהחורים למרחקים שונים.
8. **המזרקה המשוגעת 2:** תלו פחית שימורים ריקה ופתוחה מעל ברז. נקבו שלוש חורים בדופן הפחית (לא בתחתיתה). את הנקבים עשו עם מסמר ואח"כ עקמו אותם (בעזרת המסמר) כך שכולם יפנו לאותו כיוון. מלאו את הפחית במים. המים ייצאו החוצה מהפחית בזווית ויסובבו אותה.
9. **מגנטים מרחפים:** הכניסו למבחנה גדולה מגנטים עגולים (הדומים בקוטרם לקוטר המבחנה) כך שירחפו זה מעל זה.
10. **בלון מעופף:** נפחו בלון יום-הולדת קטן באוויר. גזרו עיגול נייר קטן (קוטר כ-10 ס"מ) ונקבו אותו במרכזו. השחילו את הנייר על פיית הבלון ושחררו אותו.

ציוד:

5. **מכונית מאווררת:** מכונית צעצוע, פלסטלינה, מאוורר קטן (ידני).
6. **מטוטלת:** משקולת וחוט
7. **המזרקה המשוגעת 1:** קנקל מנוקב.
8. **המזרקה המשוגעת 2:** קופסת שימורים קטנה מנוקבת.
9. **מגנטים מרחפים:** ערכת מגנטים מרחפים.
10. **בלון מעופף:** בלון יום הולדת.

הסברים לתופעות:

5. **מכוננית מאווררת:** האוויר אשר נדחף אחורנית על ידי המאוורר דוחף את המכוננית קדימה בכוח הגדול מכוח החיכוך המקסימלי בין המכוננית לכביש (או השולחן).
6. **מטוטלת:** כוח הכבידה של כדור הארץ אחראי על תנועת המטוטלת והחוט מעצב את תנועתה.
7. **המזרקה המשוגעת 1:** המים פורצים למרחקים שונים כי הלחץ על המים שבשכבות התחתונות נמצאים בלחץ גבוה יותר (עמוד המים שמעליהם- והלוחץ עליהם- גבוה יותר).
8. **המזרקה המשוגעת 2:** המים הפורצים מפעילים כוח על הפחית בכיוון מנוגד לכיוון תנועתם.
9. **מגנטים מרחפים:** כוחות הדחייה בין המגנטים אינם מאפשרים להם להיצמד זה לזה.
10. **בלון מעופף:** קיימת אינטראקציה בין הבלון ובין האוויר הנפלט ממנו: האוויר הנפלט מהבלון בכיוון אחד דוחף את הבלון בכיוון הנגדי.

**פעילויות נוספות (כולל הסברים ורשימת ציוד):**

11. **סרגל מחשמל:** עליכם לשפשף את הסרגל ביד המצורף ולקרר אותו אל פיסות הנייר המונחות על השולחן.
12. **מגנטים על חוט:** עליכם לקרר מגנט אל המגנט התלוי (על חוט) באופן המדגים דחייה בין המגנטים.
13. **קפיצה לגובה:** לפניכם חוט מתוח בין שני כיסאות. עליכם לקפוץ ולעבור מצידו האחד של החוט לצידו האחר.
14. **עגלות מתנגשות:** עליכם לדרוך את קפיץ העגלה האחת (יש לדחוף את המוט פנימה עד שיתקע במצבו), להצמיד את שתי העגלות כשהקפיץ המכווץ ביניהן, ולשחרר אותו על ידי מכה במוט השחרור.
15. **התנגשות עם פלסטלינה:** יש להפיל גופים שונים לתוך גוש פלסטלינה המונח על השולחן.

רשימת ציוד:

11. **סרגל מחשמל:** סרגל PVC, פיסת בד צמר ופיסות נייר קטנות.
12. **מגנטים על חוט:** שני מגנטי מוט, סטנד שולחני וחוט קצר.
13. **קפיצה לגובה:** חבל באורך של לפחות שני מטרים.
14. **עגלות מתנגשות:** עגלת דינמיקה רגילה ועגלת דינמיקה נוספת עם קפיץ.
15. **התנגשות עם פלסטלינה:** גופים שונים (משקולות) וגוש פלסטלינה גדול.

## הסברים לתופעות:

11. **סרגל מחשמל:** פעולת שפשוף הסרגל הופכת אותו לטעון חשמלית. הסרגל הטעון גורם להשראת מטען בפיסות הנייר ולכן נוצרת משיכה חשמלית בין הסרגל לבין הנייר. ראו פרוט בספר "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א', עמ' 33-35.
12. **מגנטים על חוט:** הקטבים הזחים יוצרים כוחות דחייה בין המגנטים (אינטראקציה מרחוק).
13. **קפיצה לגובה:** הכוח שמפעילה הרצפה על האדם גדול יותר מכוח הכבידה של כדור הארץ הפועל על האדם הקופץ ולכן הוא מצליח לנתר.
14. **עגלות מתנגשות:** העגלות מפעילות כוחות זו על זו בכיוונים מנוגדים ולכן הן נעות.
15. **התנגשות עם פלסטלינה:** כאשר גוש נופל ופוגע בפלסטלינה יש אינטראקציה בינו לבין הפלסטלינה, ומופעלים כוחות הדדיים בין הגוף ובין הפלסטלינה. הגוף נעצר, והפלסטלינה מתעוותת ומשנה את צורתה. עוצמת האינטראקציה תלויה במהירות הגוף הפוגע ומסתו.

דף עבודה נלווה לכל פעילות

שם הפעילות: \_\_\_\_\_

באילו מושגים ועקרונות (מתחום הפיזיקה או מכל תחום מדעי אחר) ניתן להיעזר כדי להסביר את התופעה הנ"ל?

---



---

הסבירו את התופעה תוך שימוש במושגים והעקרונות שהזכרתם.

---



---



---

### 3.3 ניסויים

הפרק כולל מערכי שיעור. כל מהלך שיעור מכיל מספר ניסויים העוסקים בהיבטים שונים של נושא מסוים. באופן כללי קיימת התפתחות בכל נושא, כלומר הניסויים (או ההפעלות) המופיעים בתחילת הנושא הם כלליים יותר והניסויים (או ההפעלות) המאוחרים ספציפיים יותר ומתמקדים בתת נושא מסוים. בסוף הפרק אנו מביאים הרחבות בנושאים הקשורים לאינטראקציה עם אוויר.

#### תוכן עניינים

עמ'

- 1- גוף טבול בנוזל . . . . . 2
- א.1. מד כוח . . . . . 2
- ב.1. שינויי משקל במים . . . . . 3
- ג.1. אינטראקציה עם מים . . . . . 3
- ד.1. מצבים משתנים . . . . . 4
- 2- משקל ונפילה חופשית . . . . . 5
- א.2. המשקולת הנעלמת . . . . . 6
- ב.2. הבקבוק הנוזל (א) . . . . . 6
- ג.2. הבקבוק הנוזל (ב) . . . . . 7
- 3- אינטראקציה בין גופים החופשיים לנוע . . . . . 10
- א.3. לאינטראקציה צריכים שניים . . . . . 10
- ב.3. זריקה גורלית . . . . . 10
- ג.3. חברים טובים . . . . . 10
- 4- אינטראקציה עם אוויר . . . . . 13
- א.4. דפים נופלים . . . . . 13
- ב.4. הספר החשוב . . . . . 13
- ג.4. הדף הממריא . . . . . 13
- ד.4. הצנחן המסוחרר . . . . . 13
- ה.4. טיל מים . . . . . 14
- 5- החוק השלישי של ניוטון . . . . . 16
- א.5. המאוורר המסתובב . . . . . 16
- ב.5. טובים השניים (א) . . . . . 16
- ג.5. אדם מול קיר . . . . . 16
- ד.5. טובים השניים (ב) . . . . . 16

הרחבות:

- 6- תחרות מטוסים . . . . . 18
- 7- תחרות שייט . . . . . 19

## 1- גוף טבול בנוזל

## מבוא

נושא הציפה הוא אחד התכנים הקשים יותר בתוכנית המוצעת ("אינטראקציה כוחות ותנועה"), ובמיוחד חלק ג' בפעילות זו, שעליו כדאי לוותר בכיתה חלשה. אפשר להקדים ולספר את סיפור ארכימדס וכתר הזהב ("אוריקה"), אך בשלב זה אין להיכנס לפרטים. מוטב לאפשר לתלמידים להגיע בעצמם למסקנתו של ארכימדס לקראת סוף הפעילות (עם זאת יש לזכור כי תלמידי חט"ב אינם מכירים היטב את המושגים "צפיפות" או "מסה סגולית").

זמן נדרש: כשיעור כפול (90 דקות).

בשיעור ארבעה חלקים.

*הציוף הנדרש: סטטיב מצדתי, מד כוח, אמט (או כוס גדולה)  
המלאים מיט ב- 3/4 מנחט, כמה משקולות בצלול נכח וזורה  
זהים הצטויות מחומרים שונים בצללי צפיכות גדולה מלו Fe מיט,  
היכולות להיכנס בחופשיות לכלי עם המיט, מאנניט שולחניט.*

התלמידים יושבים בקבוצות קטנות (עד ארבעה בקבוצה) ופונים עד כמה שאפשר לכיוון הלוח והמורה.

ניסוי א': מד כוח - המורה מציג את ערכת הניסוי (מד כוח התלוי על סטטיב ואחת המשקולות בקצהו), קורא לכיתה את קריאת מד הכוח ומציג את השאלות הבאות:

**1) עם איילו אופיט נמצאת המשקולת האינטראקציה? תשובה:** עם כדור

הארץ ומד הכוח.

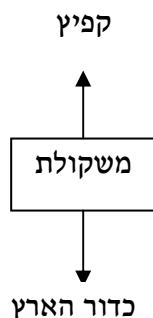
**2) מדוע נמתח הקפיץ במד הכוח? תשובה:** כי המשקולת מפעילה עליו כוח

כלפי מטה.

**3) מה משמעות הקריאה במד הכוח? תשובה:** מד הכוח מודד את משקל

המשקולת.

**4) כיצד נראה תרשים הכוחות של המשקולת?**



תשובה:

המשקולת במנוחה. לכן הכוח שמפעיל הקפיץ על המשקולת שווה בגודלו לכוח שמפעיל כדור הארץ על המשקולת. מכאן, שקריאת הקפיץ (המשקל) שווה (במקרה זה) לכוח הכובד.

המורה מנהל חלק זה של השיעור בשיטת "משא-מתן" (ראו הסבר מעמיק על השיטה בספר "ריק וחלקיקים - מדריך למורה", נוסבאום 2001, הוצאת מטמו"ן), ונותן לתלמידים אפשרות להביע את דעתם באופן חופשי על כל השאלות. לאחר דיון כיתתי של כ-5 דקות בשאלות אלה, מסכם המורה את התשובות ומציע את המודל המדעי לשאלות. יש לזכור שבשלב זה של הוראת היחידה, התלמידים אמורים להכיר היטב את התשובות לשאלות הנ"ל, שמהוות מעין "חזרה" על החומר הנלמד. מומלץ לבסס את הדיון על שימוש במושג האינטראקציה ותרשימי הכוחות.

**ניסוי ב': שינוי משקל במים** - שלב זה של השיעור מתנהל בשיטת "נבא, צפה והסבר" (Predict, Observe, Explain- POE). תחילה מציגים את הניסוי בפני התלמידים ושואלים מה עומד להתרחש. בשלב הבא, התלמידים צופים בניסוי ומסבירים את מה שהתרחש ואת הסתירות בין תוצאות הניסוי בפועל למה שניבאו (אם ישנן). המורה מציג את הניסוי שאותו הוא עומד לבצע בקרוב: הוא ייטול את הכלי עם המים ויכניסו בזהירות מתחת למשקולת התלויה על מד הכוח, כך שהמים יכסו אותה לגמרי. במצב זה הוא יבדוק מה תהיה קריאת מד הכוח. המורה שואל: **האט מד הכוח יציב או קריאה נמוכה/גבוהה מהקריאה הראשונה (באוויר)?**

חברי הקבוצות ידונו ביניהם לבין עצמם מספר דקות, ינסו לשער מה יקרה וינמקו מדוע הם חשבו כך. המורה יסכם את רעיונות הקבוצות וירשום אותם על הלוח.

בשלב הבא המורה מבצע את הניסוי ומכריז על קריאת מד הכוח. הקריאה נמוכה יותר.

הסבר: הקריאה תהיה נמוכה יותר, כי המים מפעילים כוח עילוי על המשקולת כלפי מעלה. (למורה: על פי חוק ארכימדס, כוח העילוי שווה למשקל המים שנדחו על ידי המשקולת).

כל קבוצה תשווה את קריאתו האמתית של מד הכוח עם מה ששיערה. אם מתגלות סתירות בין התחזית לניסוי בפועל, תנסה הקבוצה ליישב את הסתירה בין השניים ולנמק את החלטתה.

המורה יאסוף את ההסברים החדשים, יסכם ויעמוד על הבעייתיות בהם (אם קיימת) מול המודל המדעי המקובל. המורה ידגיש את האינטראקציה בין המשקולת למים וידגים את פתרון המשימה בעזרת האסטרטגיה.

לפרוט נוסף ראו גם "אינטראקציה, כוחות ותנועה" מדריך למורה, עמ' 103-104.

**ניסוי ג': אינטראקציה עם מים** - הניסוי בא לבדוק אם משתנה משקל הכלי עם המים כתוצאה מהטבלת המשקולת בו (חשוב להדגיש לתלמידים: המשקולת אינה נוגעת בכלי עצמו). גם חלק זה של השיעור מתנהל בשיטת POE. התלמידים בקבוצות מתבקשים לשער את התוצאה ולנמק את דעתם, לצפות בניסוי וליישב את תחזיתם עם מה שהתקבל בפועל.



גם במקרה זה מסכם המורה את מסקנות התלמידים לאחר הניסוי ומעמתם (במידת הצורך) עם המודל המדעי המקובל.  
תשובה: הסברים לתוצאות אלה ראו ב- "אינטראקציה, כוחות ותנועה" מדריך למורה, עמ' 103-104.

ניסוי ד': מצבים משתנים - המורה חוזר על שלושת הניסויים ומחליף את המשקולת באחרות. התלמידים מתבקשים לנבא האם עדיין תהיה הקריאה נמוכה יותר בעקבות החלפת המשקולות. תשובה: המערכת לא תתנהג באופן שונה. החלפת מסת המשקולות אינה משנה את העקרונות הפיזיקליים, בכל המקרים קיימת אינטראקציה בין המים למשקולת. המים מפעילים כוח עילוי על המשקולת כלפי מעלה, והמשקולת מפעילה כוח בגודל שווה כלפי מטה. כתוצאה מכך גדלה קריאת המאזניים.  
השלב הבא של השיעור מתבצע בשיטת הארגומנטציה: המורה מציג מספר משפטים "נכונים" או "לא נכונים" מדעית, והקשורים לנושא שהוצג בשיעור. התלמידים מתבקשים לדון בקבוצות במשפטים האלה ולהחליט אם הם נכונים מדעית ואם הם קשורים לנושא השיעור.

#### משפטים אפשריים

- (א) גוף השקוע כל כולו במים גורם לעליית פני המים בהתאם לנפחו של הגוף.  
תשובה: נכון, על פי חוק ארכימדס.
- (ב) אמבט מלא מים מוצב על מאזניים שמראים על משקל (כוח) של 5 ניוטון. משקולת קטנה שמשקלה 1 ניוטון נופלת לכיוון האמבט, ורגע לפני שהמשקולת נכנסת למים, מראים המאזניים משקל של 6 ניוטון.  
תשובה: לא נכון, לפני כניסת המשקולת למים אין ביניהם אינטראקציה..
- (ג) כוח העילוי של המים על קוביית ברזל קטן יותר מכוח העילוי של המים על קובייה בעלת נפח זהה אך עשויה מעץ, ולכן הברזל שוקע והעץ צף.  
תשובה: לא נכון, כוח העילוי תלוי רק בנפח הגוף הטבול. ראו גם את תוצאות ניסוי ד'.
- (ד) מרים משקולות אולימפי יכול להרים משקל גדול יותר ולשפר את שיאו כאשר הוא נמצא מתחת למים.  
תשובה: נכון, כוח העילוי של מים מצטרף לכוח מרים המשקולות, ולכן עוזר לו להרים את המשקל.

תשובה: כל המשפטים קשורים לנושא השיעור.

המורה מאפשר לנציגי הקבוצות לשכנע את שאר תלמידי הכיתה בהשערותיהם, מסכם את מסקנות הקבוצות, ולבסוף עומד על הטעויות הנפוצות ומסכם את גישת המדע לסוגיות המועלות במשפטים.

## 2- משקל ונפילה חופשית

המורה מציג לתלמידים את מד הכוח כמכשיר המודד את המשקל. כדאי "להתאפק" עם אזכור העובדה שהיחידה המשמשת לציון משקל בשפה היום יומית (ק"ג), אינה השפה המדעית למשקל (שהוא למעשה כוח) הנמדד בניוטון. נושא ה"משקל" די מוכר לתלמידים ואפשר לחברו לאינטראקציות בין שולחן לחפץ המונח עליו, בין יד מושטת האוחזת בחפץ לבין החפץ ועוד.

**המלצה:** את הפרק כדאי להעביר לאחר דיון ראשוני באינטראקציה מרחוק בין גופים לבין כדור הארץ ובכוח הכבידה, ולאחר הכרות עם האסטרטגיה במלואה.

זמן נדרש: שיעור כפול.

בשיעור ארבעה חלקים.

הצגת השאלות בפעילות (זו ואחרות) יכולה להתבצע ע"י חלוקת כרטיסים ועליהם מודפסות השאלות או ע"י הקראתן בפני הכיתה וכתבתן על הלוח.

*הציון הנדרש: קופסת פח שמארכזה מנתפפת אומייה המחוקרת  
בקצה הפקולת. בקבוק פלסטי קטן פלא פקק או כוס קלאקר  
(לפתיית קפה), מסמר צפה, אמהט פלסטי גדול המנתפפת לכביסה.*

התלמידים יושבים בקבוצות קטנות (עד ארבעה בקבוצה) ופונים עד כמה שאפשר לכיוון הלוח והמורה.

המורה מציג בפני הכיתה את השאלות הבאות:

**א. מהו משקל?**

תשובה: מה שמראים המאזניים. כאשר הגוף הנשקל נמצא במנוחה על גבי המאזניים הם מראים את עוצמת האינטראקציה עם כדור הארץ (כוח הכבידה).

**ב. איך מודדים משקל?**

תשובה: בדרך כלל בעזרת מד כוח.

כל קבוצה דנה בסוגיה בין חבריה ומנסחת תשובה מוסכמת על ידי כל חברי הקבוצה. המורה מסכם את הצעות הקבוצות.

**ניסוי א': המשקולת הנעלמת** (ניסוי בשיטת POE - Predict, Observe, Explain) - המורה נוטל קופסה שאליה מחוברת גומייה ובקצה משקולת (ראו איור ביחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" חלק א' (בן צוק, 2002) הוצאת מכון ויצמן, עמ' 39). המורה אוחז את הקופסה, והמשקולת התלויה מותחת את הגומייה. המורה מציג שתי שאלות:

**א. מה יקרה למשקולת ולזנבייה אם ישחרר את הקופסה מידו ויתן לה ליפול באופן חופשי?**

תשובה: הגומייה תהיה רפויה לגמרי. בנפילה חופשית של מערכת, משקלם של הגופים הוא אפס, ולכן הגומייה לא תהיה מתוחה יותר.

**ג. צרכו תרשים כוחות למשקולת כדצ לפני שחרורה.**



תשובה:

התלמידים בקבוצות צריכים להתייחס בתשובתם הן לתיאור תוצאת הניסוי והן לעוצמת האינטראקציה בין המשקולת לגומייה. בסיום הדיון יספר נציג מכל קבוצה על מסקנותיה. בשלב זה אוסף המורה את התשובות הקבוצתיות ומקבצן.

המורה מבצע את הניסויים מספר פעמים.

כל קבוצה תשווה את תוצאות הניסוי בפועל עם השערותיה. אם מתגלות סתירות בין ההשערות לניסוי בפועל, תנסה הקבוצה להפעיל את כלי החשיבה, ליישב את הסתירה בין השניים ולנמק את החלטתה.

המורה יאסוף את ההסברים החדשים, יסכמם ויעמוד על הבעייתיות שבהם (אם קיימת) מול המודל המדעי המקובל תוך שימוש בכלי החשיבה. המורה ידגיש את השפעת השינוי במהירות על עוצמת האינטראקציה בין המשקולת לגומייה ויעבור להציג את הניסוי הבא (גם הוא באותה שיטה).

**ניסוי ב': הבקבוק הנוזל (א) - בניסוי הבא ייטול המורה בקבוק פלסטי קטן ללא פקק (או כוס קלקר) וינקב חור בדופן (בחלקו התחתון) בעזרת מסמר מלובן. כשהוא מחזיק את הכוס מעל אמבט, הוא ימלא אותה במים. כצפוי, יפרוץ מהנקב בדופן הבקבוק קילוח דק של מים. בשלב זה ישאל המורה את השאלה הבאה:**

**"נניח שאני מניח את הבקבוק המלא מים ומאפשר לו ליפול באופן**

**חופשי. כיצד יספיע הדבר על יציאת המים מהחור בבקבוק?"**

תשובה: המים לא יצאו מהחור. בנפילה חופשית, אין למים משקל, ולכן הם לא פורצים מהחור. ניתן להסביר זאת בעזרת קישור למודל החלקיקי באופן הבא: נדמיין שהמים מורכבים מרבה כדורים קטנים. הכדורים העליונים מפעילים כוח על הכדורים התחתונים ולכן אם קיים פתח

בבקבוק (חור), יפרצו הכדורים התחתונים החוצה. אם הכדורים (העליונים והתחתונים) נמצאים במצב של נפילה חופשית אזי הם נופלים יחד באותו קצב (כאילו הכדורים התחתונים "בורחים" מהכדורים העליונים) ולכן אין ביניהם אינטראקציה במגע. כלומר הכדורים העליונים לא ילחצו על הכדורים התחתונים ואלה לא יפרצו מהחור בבקבוק.

בדומה לניסוי הקודם, תדון כל קבוצה בבעיה, תציג את מסקנותיה ותנמק אותן. עכשיו יבצע המורה את הניסוי.

כל קבוצה תשווה את תוצאות הניסוי בפועל עם מה ששיערה. אם מתגלות סתירות בין התחזית לניסוי בפועל, תנסה הקבוצה ליישב את הסתירה בין השניים ולנמק את החלטתה.

המורה יאסוף את ההסברים החדשים, יסכם ויעמוד על הבעייתיות שבהם (אם קיימת) מול המודל המדעי המקובל תוך שימוש בכלי החשיבה.

**ניסוי ג': הבקבוק הנוזל (ב) - משתמשים באותו בקבוק פלסטי (קנקל) ללא הפקק, המנוקב בחלקו התחתון. הבקבוק מלא במים היוצאים מהנוקב כל עוד אוחזים את הבקבוק. המורה ישליך את הבקבוק באופן אופקי לאחד התלמידים כך שפתח הבקבוק מכוון כלפי מעלה. התלמידים יהיו עדים לכך שהמים אינם יוצאים כאשר הבקבוק באוויר. בשלב הבא יזרוק המורה את הבקבוק למעלה, ושוב - לא יפרצו מים מהחור כאשר הבקבוק באויר.**

המורה יסכם אם כן מהי נפילה חופשית: מצב שבו הבקבוק נמצא באינטראקציה רק עם כדור הארץ ללא קשר לכיוון תנועתו ( במילים אחרות: לאחר שהשלכנו את הבקבוק, האינטראקציה היחידה שלו תהיה עם כדור הארץ).

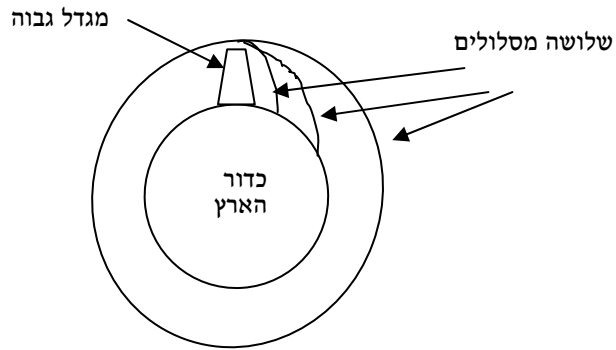
**בשלב הבא** המורה מחזיר את התלמידים לחלק ב' של משימה זו ומבקש מהם לשוב ולעיין בתשובותיהם לגבי המשפטים ולתקן במידת הצורך. המורה יערוך דיון במשפטים האלה, ישמע את הסבריהם החדשים של התלמידים ויספק את המודל המדעי המקובל תוך שימוש בכלי החשיבה.

כהרחבה לפעילות זו כדאי לעסוק בשאלות "חוסר משקל" שאותו חווים אסטרונאוטים במסלולם סביב כדור הארץ.

בעקבות הניסוי האחרון התלמידים יכולים להבין כי "נפילה חופשית" אינה מוגבלת לנפילה כלפי מטה בלבד.

דרך יעילה אפשרית לשכנעם בחוסר המשקל שחווים אסטרונאוטים בחלל היא "סיפור המגדל" (ראו איור בעמוד הבא): על כדור הארץ ניצב מגדל גבוה מאוד, ועליו ניצב אדם. האדם זורק אבן בכיוון אופקי והמורה מצייר את האבן במסלולה הקשתי עד פגיעתה באדמה. כל עוד האבן נמצאת בנפילה, כולל בשלב האופקי שלה (!), היא חסרת משקל (מה שהדגמנו בניסויים הקודמים). עכשיו נניח שבא אדם חזק במיוחד ("מר עולם") ומשליך את האבן בכל כוחו (בכיוון אופקי כמובן). מסלולה של האבן יהיה ארוך בהרבה, ובכל מהלך דרכה היא תהיה למעשה חסרת משקל. עכשיו מגיע רובוט מיוחד עם כוחות על-אנושיים ומשליך את האבן במהירות עצומה (כ-30,000 קמ"ש).

האבן תיכנס למעשה למסלול מעגלי ותיפול באופן אופקי מבלי שתגיע כלל לאדמה. האבן תהיה חסרת משקל בכל מהלך דרכה.



### 3- אינטראקציה בין גופים חופשיים לנוע

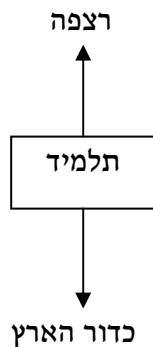
התלמידים יושבים בקבוצות קטנות (עד ארבעה בקבוצה)

ציוד נדרש: *שני כסאות עם גלגלים, כדור (או שק) כבד (ניתן לזרז את הניסוי עם שני סקייטבורדס להיס).*

**ניסוי א':** לאינטראקציה צריכים שניים - אחד התלמידים יושב על כסא היכול לנוע סמוך לקיר. התלמיד מנסה לנוע, ללא דחיפת הרצפה (בעזרת רגליו). האם הוא יצליח לנוע למרחק של כמה מטרים?

התלמידים מתבקשים לערוך תרשים כוחות לילד.

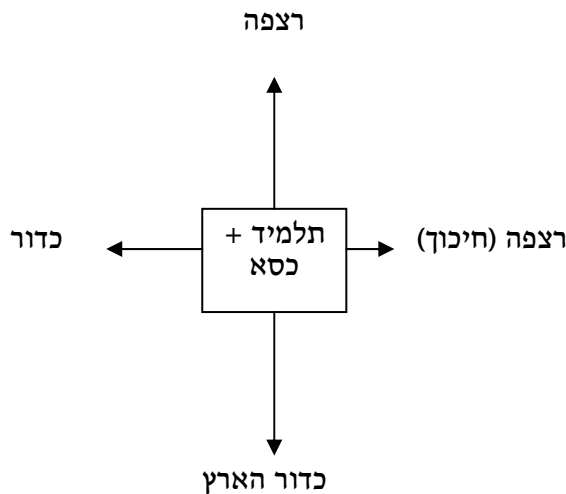
תשובה: התלמיד לא ינוע (משמעותית).



**ניסוי ב':** זריקה גורלית - אחד התלמידים יושב על כסא עם גלגלים ואוחז בידו כדור כבד.

התלמיד מנסה לנוע, על ידי זריקת הכדור וללא דחיפת הרצפה בעזרת רגליו. מומלץ לנסות לזרוק את הכדורים בעוצמות שונות. התלמידים מתבקשים לערוך תרשים כוחות לילד בזמן זריקת הכדור ולנבא האם יוכל לנוע.

תשובה: התלמיד יוכל לנוע אם יזרוק את הכדור בעוצמה חזקה, כך שהכוח שמפעיל הכדור עליו (ועל הכסא) יהיה גדול יותר מכוח החיכוך עם הרצפה.



**ניסוי ג': חברים טובים-** המורה מציג איור ומתאר אותו: שני ילדים בעלי מסה דומה יושבים על שני כסאות היכולים לנוע. אחד מתלמידים אלה דוחף את חברו. התלמידים מתבקשים להפעיל את "כלי החשיבה" בקבוצות, מנתחים את המקרה המתואר וחוזים מה עומד להתרחש (שיטת POE). לאחר מספר דקות המורה עוצר את הדיון הקבוצתי ומבקש מכל נציג קבוצה להציג את תוצאת הניסוי הצפויה כפי שהוסכמה על ידי חבריו, ולהסביר תוך שימוש בכלי החשיבה. המורה מסכם את ציפיות הקבוצות השונות ועורך דיון כיתתי. ראו ניתוח בהמשך.

**מומלץ** למורה לאפשר לכל קבוצה להציג את טיעוניה במליאה, להשיב להשגות שונות שמעלים חברי הקבוצות האחרות ולעודד דיון כיתתי.

תחזיות אפשריות של התלמידים

- (א) רק התלמיד הנדחף ינוע.
- (ב) רק התלמיד הדוחף ינוע.
- (ג) שני התלמידים ינועו לשני כיוונים נגדיים, אך באופן שונה (אחד ינוע יותר מהאחר).
- (ד) שני התלמידים ינועו בצורה דומה לשני כיוונים נגדיים (האפשרות הנכונה).

ביצוע הניסוי: המורה מבקש משני תלמידים דומים בגודלם הפיזי לבצע את הניסוי כמה פעמים. יש להקפיד שגלגלי שני הכסאות יפנו לכיוון התנועה.

תשובה: שני התלמידים ינועו לכיוונים מנוגדים.

חברי הקבוצות ישוו את תוצאות הניסוי עם התוצאות שחזו. אם מתגלות סתירות בין התחזית לניסוי בפועל, תנסה הקבוצה ליישב את הסתירה בין השניים ולנמק את החלטתה.

בסוף השיעור מסכם המורה את הניסוי ומתאר את ההסבר המדעי המקובל (אם לא הועלה עדיין על ידי אחת הקבוצות) תוך שימוש בכלי החשיבה.

## אפיון מערכת

א. תרשים מלבנים

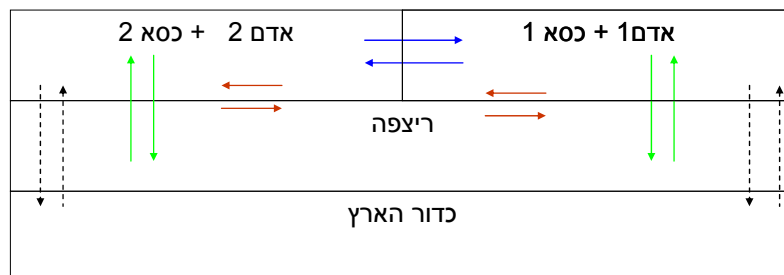
2 אדם + 2 כסא	1 אדם + 1 כסא
ריצפה	
כדור הארץ	

ב. טבלת אינטראקציות

כדור הארץ	ריצפה	2 אדם + 2 כסא	1 אדם + 1 כסא	
+	+	+	0	1 אדם + 1 כסא
+	+	0	+	2 אדם + 2 כסא
+	0	+	+	ריצפה
0	+	+	+	כדור הארץ

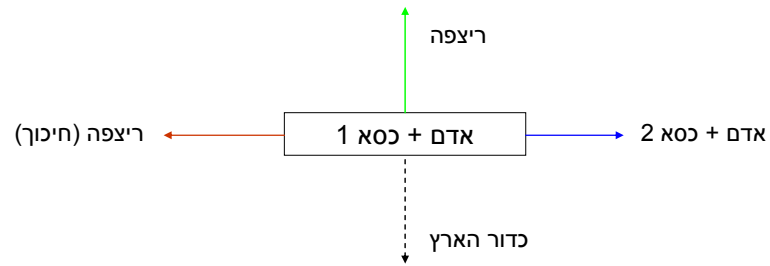
## מאינטראקציות לכוחות

א. הוספת חצים המייצגים כוחות בתרשים המלבנים



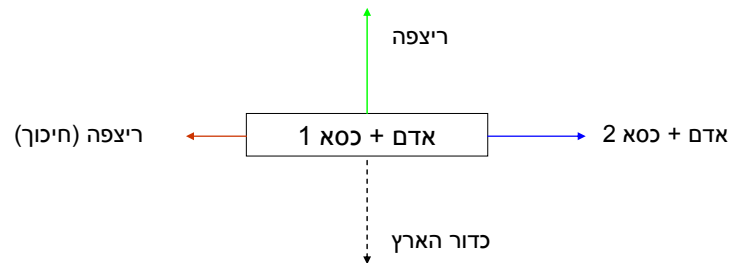


## ב. הוצאת הגוף הנבחר עם הכוחות הפועלים עליו



## מכוחות לתנועה

### שקול הכוחות הפועלים על גוף



#### 4- אינטראקציה עם אוויר

##### מבוא

במרבית השאלות המופיעות בספרי הפיזיקה הנפוצים מופיע המשפט "הזנח את הכוחות המופעלים ע"י האוויר". הסיבה לכך היא מורכבות החישוב של עוצמת האינטראקציה עם האוויר. עוצמת האינטראקציה הזו (הנקראת "כוחות גרר") תלויה בשטח חתך הגוף, צפיפות האוויר והמהירות היחסית בין האוויר לגוף.

מכיוון שהגישה המוצעת אינה עוסקת בחישובים כמותיים, ואינטראקציה עם אוויר יכולה להיות משמעותית מאוד, אין אנו ממליצים להזניח אותו אלא לדון בה ולהתייחס אליה כאל כל גוף אחר.

את השיעור כדאי לפתוח בניסויי "היכרות": האם האוויר משפיע על גופים הנעים בו?

### **צ'וד: דפי נייר A4, מכונת 3138, פלסטיק, מאוורר ידני.**

**ניסוי א': דפים נופלים** - המורה משחרר בו זמנית שני דפים הזחים בגודלם. האחד מקופל לכדור, והאחר נותר כפי שהוא. התלמידים מתבקשים לשער איזה מהם יגיע ראשון לרצפה ולהסביר את דעתם (POE - ניבוי, צפייה והסבר).

תשובה: הנייר המקופל לכדור יגיע ראשון.

**ניסוי ב': הספר החשוב** - המורה מפיל דף נייר ואחריו את אותו דף המונח על ספר בגודל הדף. התלמידים מתבקשים לשער מה עומד להתרחש ולהסביר את דעתם (POE).

תשובה: הספר מבטל את האינטראקציה בין הדף לאוויר, ולכן נראה כאילו הדף "נדבק" לספר הנופל. למעשה הדף והספר נופלים כל אחד באופן עצמאי.

**ניסוי ג': הדף הממריא** - המורה אווז בדף נייר מתחת לפיו. הנייר משתלשל למטה בגלל משקלו. המורה אומר לתלמידים שהוא עומד לנשוף אוויר מפיו. התלמידים מתבקשים לשער מה עומד להתרחש ולהסביר את דעתם.

תשובה: הנייר יעלה למעלה כי זרם האוויר מעל דף הנייר יוצר אזור עם לחץ נמוך מעל הנייר. כתוצאה מכך האוויר שמתחת לדף הנייר דוחף את הדף כלפי מעלה.

**ניסוי ד': הצנחן המסוחרר** - המורה בונה חרוט קטן מנייר ואת קצהו הכהה מפצל לשני חלקים ומעקמם בזווית של 90 מעלות לחרוט. את החלקים האלה הוא מעקם בכיוונים זהים, בדומה למדחף מטוס. כאשר הוא משחרר את החרוט, החרוט נופל ומתחיל להסתובב סביב צירו. איזו אינטראקציה גורמת לחרוט להסתובב?

תשובה: האינטראקציה בין האוויר לכנפי החרוט יוצרת את הסיבוב.

### ניסוי ה' - שיגור טיל מים.

מומלץ לבצע את הניסוי לאחר הוראת הנושא "אינטראקציה עם כדור הארץ".

משך הפעילות: שיעור כפול.

מהלך הפעילות: נקבו פקק גומי היכול לאטום קנקל משקה קל (1.5 ליטר) ונעצו בו סיכת ניפוח של כדור סל. מלאו שליש מנפחו של הבקבוק במים וסגרו את פקק הגומי היטב. חברו משאבת אופניים אל הסיכה, כוונו את פיית הבקבוק כלפי מטה ונפחו את הבקבוק בעזרת המשאבה עד ל"פיצוץ" (התנתקות הפקק).  
הקפידו על אמצעי בטיחות נאותים!

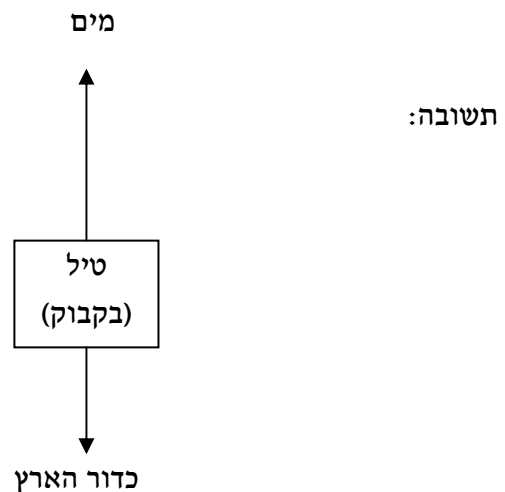
1. מה הם חלקיו של טיל המים, כיצד משגרים אותו, ומה נפלט ממנו בזמן המראתו?

תשובה: חלקיו של טיל המים הם בקבוק, אויר דחוס ומים. את האויר בתוך הבקבוק דוחסים בעזרת משאבה, והאויר הדחוס מפעיל כוח על מים שפורצים בלחץ מפיית הבקבוק.

2. כיצד ניתן להסביר בעזרת עקרונות פיזיקליים את המראת הטיל?

תשובה: - באינטראקציה בין הבקבוק למים שנפלטים, מפעיל הבקבוק כוח על המים כלפי מטה, ואילו המים מפעילים כוח על הבקבוק כלפי מעלה, על פי החוק השלישי של ניוטון.

3. בנו תרשים כוחות לבקבוק בזמן המראתו.



4. מה לדעתכם יתרחש אם נמלא לגמרי את הבקבוק במים? הסבירו את תשובתכם.

תשובה: הבקבוק לא ימריא. הסיבות לכך הן: (1) מסת הבקבוק המלא מים כפולה מזו של הבקבוק הקודם ולכן נדרש כוח גדול יותר כדי להטיסו; (2) ללא חלל אוויר בתוך הבקבוק, לא יוצרו התנאים הדרושים ליצירת לחץ אוויר משמעותי בתוך הבקבוק שיוכל לדחוף את המים בזמן ההמראה.

5. מה לדעתכם יתרחש אם נשתמש בטיל ללא מים? הסבירו את תשובתכם.  
 תשובה: הטיל ימריא לגובה קטן מאוד, כתוצאה מהאוויר שניפלט ממנו. עוצמת האינטראקציה בין הבקבוק לאוויר קטנה בהרבה מעוצמת האינטראקציה בין המים לבקבוק כי מסת המים גדולה בהרבה ממסת האוויר.

בהמשך כדאי לדבר על מבנים אווירודינמיים וחשיבותם. כדאי גם לצרף לשיעור זה את השאלות בנוגע לאינטראקציה עם אוויר (ראו קובץ שאלות).

ניתן להרחיב בנושא חוק ברנולי בשירות האדם ולדון בנושאים האלה:

1. כיצד טס מטוס: התאמת מבנה כנף המטוס להשגת כוח עילוי (ראו גם ניסוי הרחבה 5).
2. כיצד שטה ספינת מפרש: התאמת צורת המפרש למעין כנף מטוס המאפשרת לסירה להתקדם עד 30 מעלות מול הרוח (ראו גם ניסוי הרחבה 6).
3. משאבת ואקום.

## 5- החוק השלישי של ניוטון

אחד האתגרים המורכבים ביותר בהוראת מכניקה הוא הוראה משכנעת של החוק השלישי של ניוטון. הקשיים נובעים מהסתירה לכאורה בין תצפיות על תוצאות אינטראקציות בין גופים השונים בתכונותיהם, לבין החוק השלישי (באינטראקציה פועלים כוחות השווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם).

הסתירה לכאורה נובעת מהעובדה שתוצאות הפעלה של כוח בגודל נתון על גוף תלויות בתכונות הגוף (למשל מסתו של הגוף).

לקריאה נוספת: מאמר העוסק בדיקטיקה של החוק השלישי (תהודה 20 (3), 1999. קישור למאמר: [http://stwww.weizmann.ac.il/ptc/Tehuda/20\\_3/33-38.pdf](http://stwww.weizmann.ac.il/ptc/Tehuda/20_3/33-38.pdf)) וכן מאמרים אחרים בנושא באתר מורי הפיזיקה (ראו רשימת מקורות).

להלן הצעה לסדרת ניסויים המנסה להדגים שאכן קיימים זוג הכוחות באינטראקציה וכוחות אלה שווים בגודלם.

### ציוף: מאוורר ידני קטן הפועל על סוללות, שני מדי כוח.

#### ניסוי א: המאוורר המסתובב

המורה אוחד את המאוורר בידו ומפעילו. הוא שואל את התלמידים לגבי האינטראקציות הפועלות במערכת. בסיום הדיון המורה מסכם: קיימת אינטראקציה בין גוף המאוורר (אותו הוא אוחד) לבין הרוטור המסתובב. המורה מפנה שאלה למליאה: מה יקרה אם הוא יאחד את המאוורר הפועל ברוטור?

תשובה: גוף המאוורר יסתובב בכיוון הפוך לכיוון תנועת הרוטור. הכוח שפעיל הרוטור על גוף המאוורר שווה בגודלו והפוך בכיוונו לכוח שמפעיל גוף המאוורר על הרוטור.

#### ניסוי ב: טובים השניים (א)

שני תלמידים אוחדים כל אחד במד כוח. מדי הכוח מחוברים ביניהם והמערכת במנוחה. כל מד כוח מודד את הכוח שמפעיל התלמיד האוחד בו. המורה מבקש מהתלמידים לנבא ולהסביר מה ירחש במצבים הבאים:

1. תלמיד א' מושך ותלמיד ב' אינו זז ואינו מושך
2. תלמיד ב' מושך ותלמיד א' אינו זז ואינו מושך
3. שני התלמידים מושכים כל אחד בכיוון המנוגד לזה של חברו.

תשובה: מדי הכוח יראו קריאה זהה ללא קשר מי מושך (באינטראקציה גודל הכוחות שווים). המורה ינתח כל התרחשות בכלי החשיבה.

האינטראקציה בין התלמידים: 

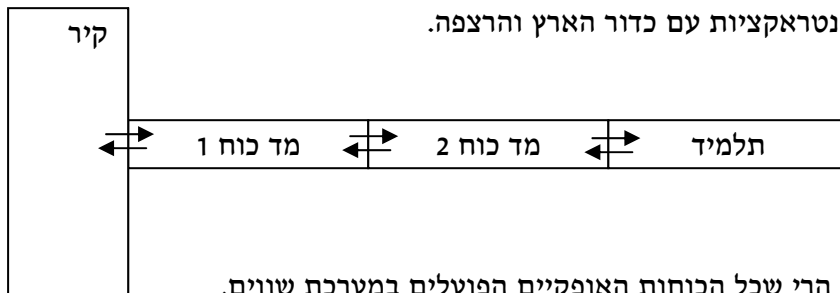
←	→
---	---

 תלמיד א'    תלמיד ב'

**ניסוי ג: אדם מול קיר**

שני מדי כוח מחוברים בטור לקיר. תלמיד מושך את מד הכוח הרחוק מהקיר, ומחזיק אותו מתוח וללא תנועה. מד כוח שאותו אוחז התלמיד מודד את הכוח שמפעיל התלמיד על הקיר ואילו מד הכוח המחובר לקיר מודד את עוצמת הכוח שאותו מפעיל הקיר על התלמיד. התלמידים מנבאים את הקריאה של שני מדי הכוח ומנמקים את תשובותיהם.

תשובה: מדי הכוח יראו קריאה זהה (באינטראקציה גודל הכוחות שווה).  
הערה: באיור הושמטו האינטראקציות עם כדור הארץ והרצפה.



מכיוון שהמערכת במנוחה, הרי שכל הכוחות האופקיים הפועלים במערכת שווים, ולכן הכוח שמפעיל הילד על מד כוח 2 שווה לכוח שמפעיל הקיר על מד כוח 1. לכן ניתן לטעון שמד כוח 2 מודד את הכוח שמפעיל הילד על הקיר ואילו מד כוח 1 מודד את הכוח שמפעיל הקיר על הילד.

**ניסוי ד: טובים השניים (ב)**

שני תלמידים אוחזים כל אחד במד כוח. מדי הכוח מחוברים ביניהם והמערכת במנוחה. כל מד כוח מודד את הכוח שמפעיל התלמיד האוחז אותו. תלמיד א' מושך לכיוונו ואילו תלמיד ב' אינו מפעיל כוח ונע לכיוון תלמיד א' כך שהוא אינו מאפשר מתיחה של מדי הכוח. המורה מבקש מהתלמידים לנבא ולהסביר מה יתרחש.

תשובה: שני מדי הכוח יראו אפס כי אין ביניהם אינטראקציה.

## פעילויות הרחבה

מומלץ לבצע את הניסויים הבאים לאחר סדרת הניסויים עם האוויר.

### 6- תחרות מטוסים

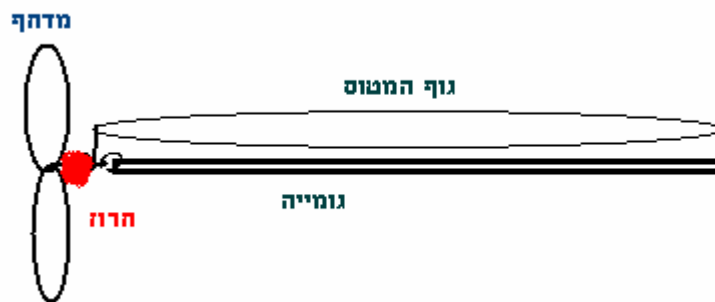
התלמידים עובדים בקבוצות. כל קבוצה בונה מטוס ועונה על דף השאלות הרצ"ב שהיא מוסרת למורה.

משך הפעילות: שיעור כפול.

מהלך הפעילות: התלמידים יבנו מטוסים כיד הדמיון, ישלבו (לפי בחירתם) מנוע גומייה (ראו בהמשך), ולבסוף תתבצע תחרות הכוללת מספר קטגוריות:

- המטוס שהגיע למרחק הגדול ביותר
- המטוס הטכנולוגי ביותר (התייחסות לשיפורים)
- המטוס היפה ביותר.

התלמידים יכולים לשלב עיצוב כנפונים אחוריים שישלטו על ביצועי המטוס וכן לבנות מנוע גומייה על גבי שלד עץ או פלסטיק. את המנוע בונים באופן הבא (ראו איור): מרכיבים מדחף המעוצב מפח על גבי מהדק משרדי גדול. את המהדק משחילים על גבי חרוז לשלדת המטוס ואוחזים בקצהו את אחד הקצוות של הגומייה. הקצה השני שלה יקובע אל אחורי המטוס. המנוע מופעל באופן הבא: מסובבים את המדחף בכיוון הפוך לרצוי ומותחים עקב כך את הגומייה. לבסוף משחררים את המדחף, והגומייה החוזרת למצבה ההתחלתי תוך שהיא מסובבת את המדחף.



### שאלות

- (1) הסבירו כיצד יכול מטוס להתקדם קדימה? הסבירו. תשובה: מדחף המטוס נמצא באינטראקציה עם האוויר. המדחף מפעיל כוח על האוויר לאחור ואילו האוויר מפעיל כוח על המדחף (והמטוס) קדימה.
- (2) כיצד הייתם משפרים את המטוס לו היו לכם אמצעים נוספים (זמן וחלקים)? ישמו את הצעותיכם וכתבו אם אכן ביצועי המטוס השתפרו, והסבירו מדוע.

## 7- תחרות שייט

מומלץ לבצע את הפעילות לאחר סדרת הניסויים עם האוויר ולאחר פעילות ההכנה בנושא סירות מפרש. התלמידים עובדים בקבוצות. כל קבוצה בונה סירת מפרש, מפעילה אותה ועונה על השאלות הרצ"ב.

משך הפעילות: שיעור כפול.

מהלך הפעילות:

בניית הסירה: חותכים מלוח קלקר גדול בעובי של כ-10 ס"מ את צורת הסירה הרצויה (עד אורך כולל של 30 ס"מ). התלמידים מעצבים את הסירה ומוסיפים לה "קיל" (משקולת המחוברת מתחת לגוף הסירה למניעת התהפכות - ראו איור מדגים). בשלב השני התלמידים מצמידים לגוף הסירה תורן באורך של 40 ס"מ העשוי ממוט עץ בעובי של ס"מ אחד. את מיקום התורן יקבעו התלמידים. המפרש יהיה עשוי מיריעת ניילון, ועדיף מבד ניילון. התלמידים רשאים לעצב בעצמם את צורת המפרש הרצויה ולהצמיד את המפרש לתורן. שטח המפרש המקסימלי המותר לא יעלה על 50 סמ"ר.

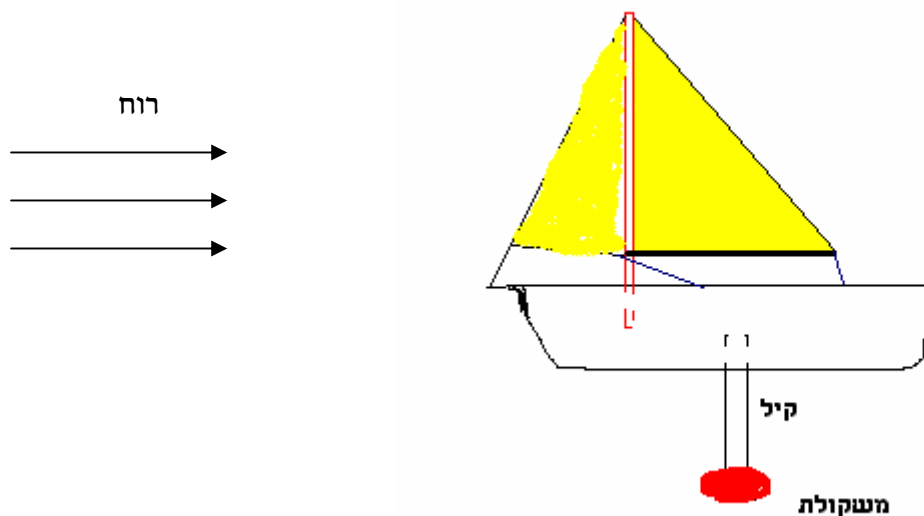
אגן המים: המורים יכינו בכיתה (או בחצר, אם תנאי מזג האוויר ירשו זאת) אמבט מים שאורכו מטר אחד לפחות.

## התחרות

התלמידים ישיטו את הסירות בעזרת מאוורר ידני קטן. הם רשאים לקרב את המאוורר למפרש ככל שירצו.

תחרות אחת תהיה על המהירות המרבית: מהי הסירה שתחצה את אמבט המים במהירות המרבית.

תחרות שנייה תהיה כדלקמן: איזו סירה תצליח לשוט באופן ה"חד" ביותר לכיוון הרוח. כלומר, על המאוורר להיות לפני הסירה, ואל לו לדחוף אותה מאחור (ראו איור).





## שאלות

- (1) איזו צורה בחרתם למפרשים? הסבירו את בחירתכם. תשובה: צורה הקרובה ככל האפשר לצורה של כנף מטוס. המפרש המשולש יוצר בטן מעוגלת במרכזו, ובכך הוא מאלץ את האוויר לזרום בפניו החיצוניים מהר יותר מאשר בפניו הפנימיים. בפעולתו זו הוא מזכיר בדיוק את עיקרון הפעולה של כנף המטוס.
- (2) מה תפקיד ה"קיל" והמשקולת? תשובה: לאזן את הסירה שלא תתהפך וכן להקטין את סחיפתה הצדה.
- (3) כיצד יכולה הסירה לשוט "נגד הרוח"? תשובה: סירה המתוכננת כהלכה שהמפרש שלה הוא בצורת כנף מטוס, יכולה לשוט עד 30 מעלות מול הרוח. במקרה זה אין הרוח דוחפת את הסירה, אלא "שואבת" אותה קדימה.

## 4.1 כלי חשיבה

שלושת כלי החשיבה הבאים הם למעשה ליבה של האסטרטגיה לפתרון בעיות. את כלי החשיבה יש להדפיס על נייר קרטון כך שמצידו האחד יופיע כלי החשיבה ומצידו האחר השאלות המנחות. כדאי לניילן את כרטיס הקרטון.



כלי חשיבה ראשון: זיהוי הגופים והאינטראקציות  
(תרשים מלבנים וטבלת אינטראקציות)

**היעזרו בשאלות המנחות בצדו השני של הכרטיס**

א. תרשים מלבנים: רשמו את שמות הגופים במערכת וייצגו אותם ב"תרשים מלבנים" (בסדר מרחבי נכון).

ב. טבלת אינטראקציות: ייצגו את האינטראקציות בין הגופים במערכת באמצעות "טבלת אינטראקציות".



- האם יש אינטראקציות במגע בין גופי המערכת? האם התייחסתם לכל מגע בין שני גופים?
- האם יש אינטראקציות מרחוק בין גופי המערכת?
  1. אינטראקצית כבידה?
  2. אינטראקציות חשמליות או מגנטיות (משיכה, דחייה)?



כלי חשיבה שני: מאינטראקציה לכוחות (אפיון הכוחות)

### היעזרו בשאלות המנחות בצדו השני של הכרטיס

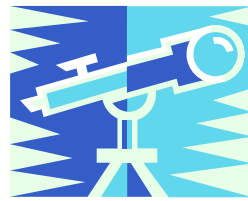
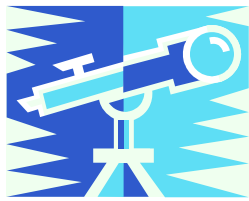
- א. ייצוג כוחות בתרשים המלבנים: שרטטו על גבי תרשים המלבנים, באמצעות חיצים, את הכוחות הפועלים בין כל שני גופים במערכת.
- ב. תרשים כוחות ראשוני: בחרו גוף אחד (זה שאתם מעוניינים לבחון למתן התשובה) ותארו את כל הכוחות הפועלים על גוף זה. ייצגו אותם באמצעות "תרשים כוחות ראשוני" (ללא התייחסות לגודל הכוחות).



## שאלות מנחות



- האם הקפדתם לשרטט לכל אינטראקציה שני חיצים המתארים שני כוחות שווים בגודלם והפוכים בכיוונם?
- האם כשהתמקדתם בגוף מסוים, שרטטתם רק את הכוחות הפועלים על הגוף? בדקו שלא כללתם כוחות שהגוף מפעיל על גופים אחרים.



**כלי חשיבה שלישי: כוחות ותנועה**  
**(התאמה בין כלל הכוחות הפועלים על גוף למאפייני תנועתו)**

**היעזרו בשאלות המנחות בצדו השני של הכרטיס**

**א. כאשר מאפייני התנועה נתונים:**

- התבוננו בתרשים הכוחות הראשוני שקבלתם בעזרת כלי החשיבה השני – מה צריך לקרות לתנועת הגוף על פי תרשים זה?
- האם המסקנה שנובעת מתרשים הכוחות, מתאימה למידע הנתון על תנועת הגוף?

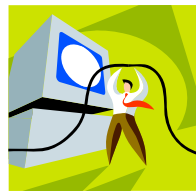
אם אין התאמה חיזרו לתרשים המלבנים (+כוחות) ותקנו אותו או הוסיפו כוחות חסרים (התייחסו לכיוון האופקי והאנכי).

**ב. כאשר יש מידע על הכוחות הפועלים על הגוף:**

- התבוננו בתרשים הכוחות - מה צריך לקרות לתנועת הגוף על פי ייצוג זה?



**שאלות מנחות**



**האם התחשבתם בעובדות הבאות?**

- כאשר שקול הכוחות הפועלים על גוף באותה נקודה שווה לאפס - כאילו לא פועל כלל כוח על הגוף.
- כאשר שקול הכוחות הפועלים על גוף אינו שווה לאפס – הגוף יגדיל את מהירותו בכיוון שקול הכוחות.
- ככל שמסתו של גוף (היכול לנוע) קטנה יותר, קצב השינוי במהירותו (בהשפעת כוח קבוע) גדול יותר.

## 4.2 התרחשויות לתרגול

האיורים הבאים מציגים התרחשויות שונות שעליהן מתאמנים התלמידים בהפעלת האסטרטגיה. תופעות 1-14 מיועדות לתרגול כלי החשיבה ואילו תופעות 15-21 מיועדות לתרגול תרגום תרשים כוחות של גופים למאפייני תנועה שלהם ולהיפך (החוקים הראשון והשני של ניוטון). כאשר מציג המורה את ההתרחשות עליו לתת תיאור מפורט מה בדיוק מתרחש, ובנוסף עליו לשאול שאלה רלוונטיות לגבי ההתרחשות. הקובץ "[תשובות](#)" כולל מצגת המדגימה תיאור ושאלת שאלות לגבי התרחשויות נבחרות עם פתרונותיהם. בנוסף מובאות בקובץ שאלות רלוונטיות ממבחני ה-TIMSS.



.1



.2



.3



.4



.5



.6



.8



.7



.10



.9



.12



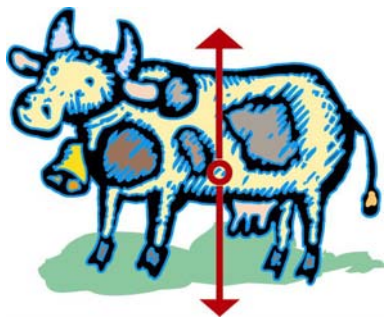
.11



.14



.13



.16

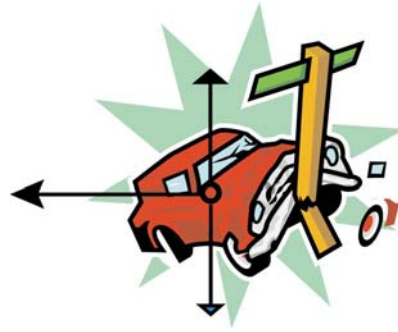


.15

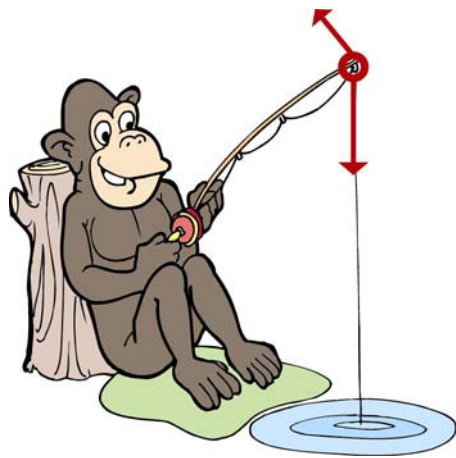




.18



.17



.20



.19



.21

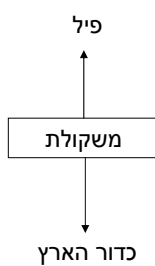
## בנו תרשים כוחות למשקולת ולפיל



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

רצפה

פיל

סכום הכוחות: כדור הארץ + משקולת

השוואה בין הכוחות הפועלים בכיוונים שונים:

רצפה

פיל

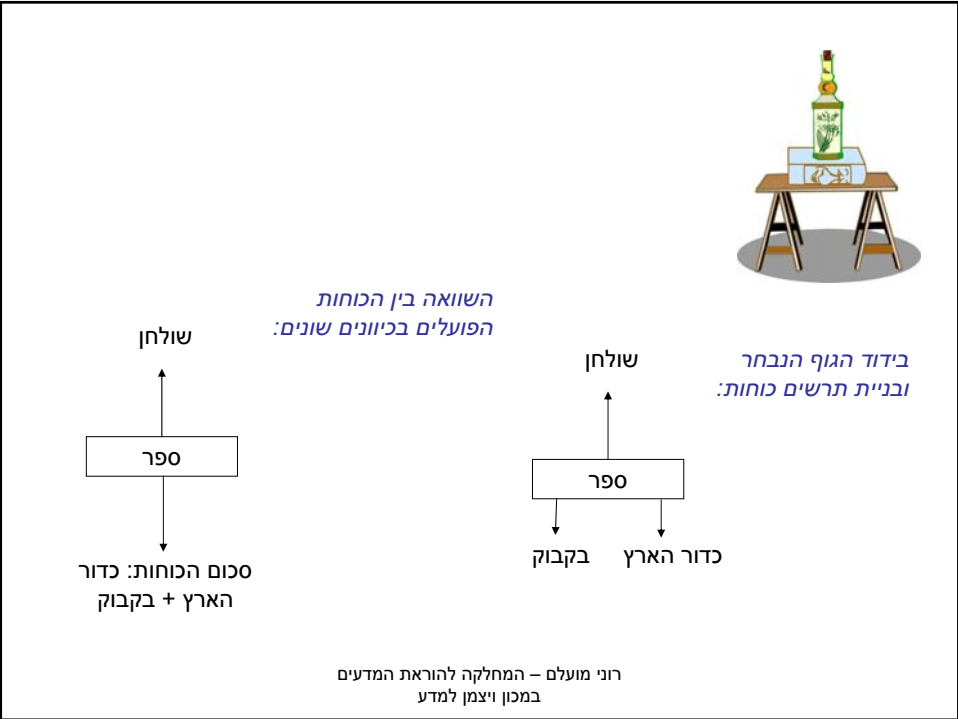
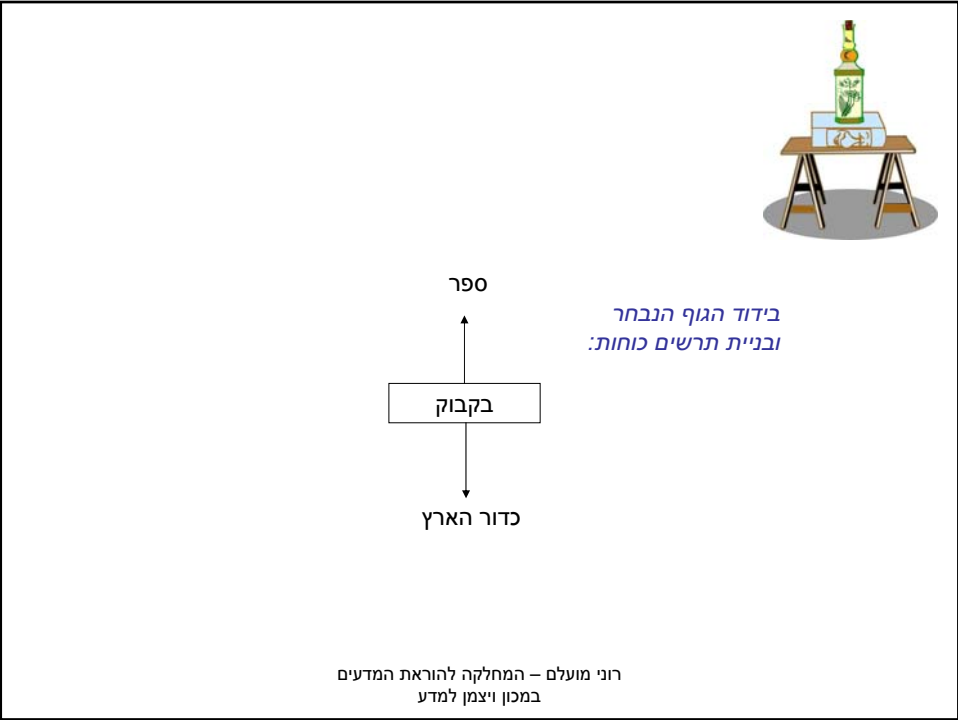
כדור הארץ משקולת

בידוד הגוף הנבחר ובניית תרשים כוחות: רצפה

רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע

בנו תרשים כוחות לבקבוק ולספר

רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע



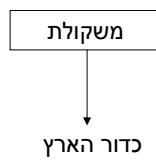
## בנו תרשים כוחות למשקולת הנופלת



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:

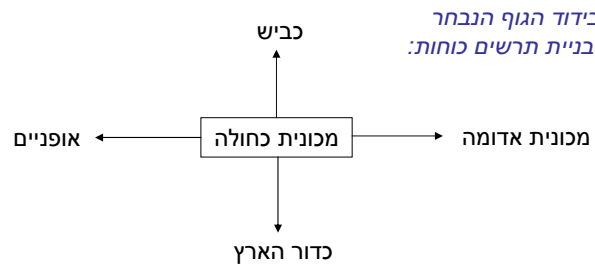


רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

## הסבירו מדוע המכונית האמצעית נמעכת משני הכיוונים



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

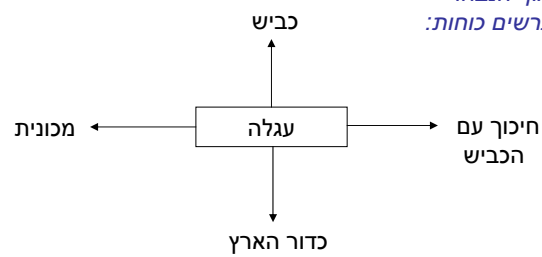
## הסבירו מדוע העגלה תקועה



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



*בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:*



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

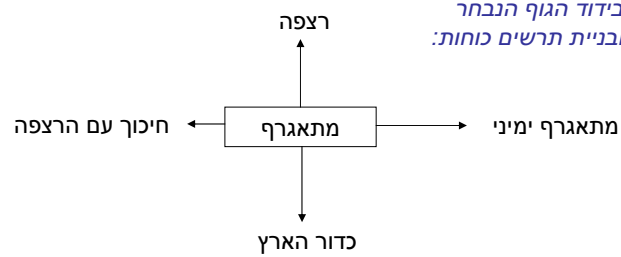
## הסבירו מדוע המתאגרף הימני "עף" אחורה



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



**בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:**



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



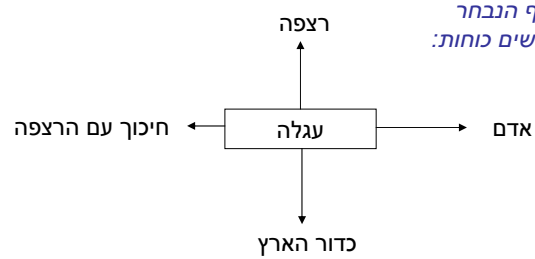
## הסבירו מדוע מגדילה העגלה את מהירותה ימינה



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:

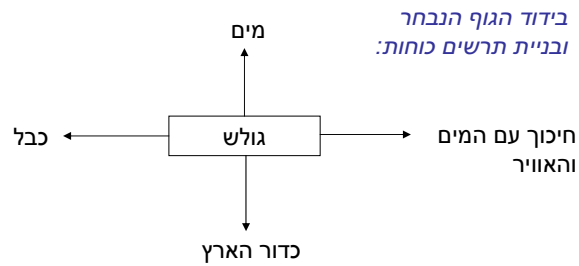


רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

## הסבירו מדוע מצליח הגולש להישאר מעל המים



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

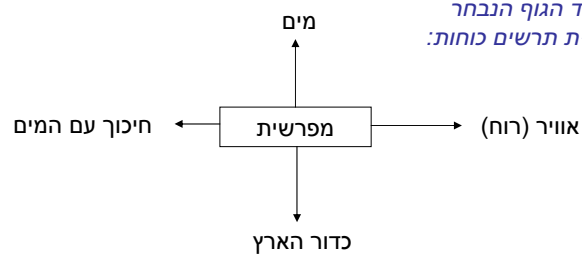
## הסבירו מה מניע את המפרשית



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



*בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:*



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

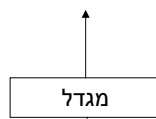
## הסבירו מדוע המגדל אינו "מרחף" באוויר



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע



אדמה



כדור הארץ

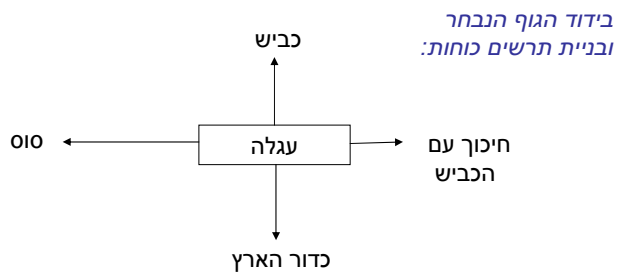
*בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:*

רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

## הסבירו מדוע מגדילה העגלה את מהירותה לכיוון שמאל

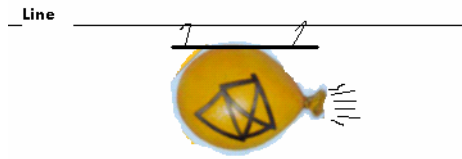


רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

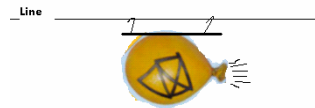


רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

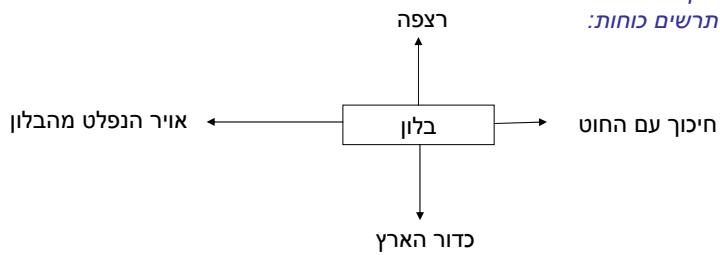
## נבאו מה יתרחש כאשר פיית הבלון תשחרר



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

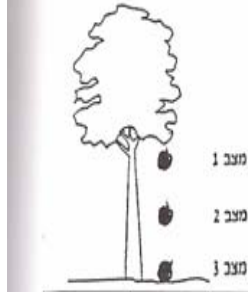


**בידוד הגוף הנבחר  
ובניית תרשים כוחות:**



רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

K17 בחירה/ד, מידע פשוט

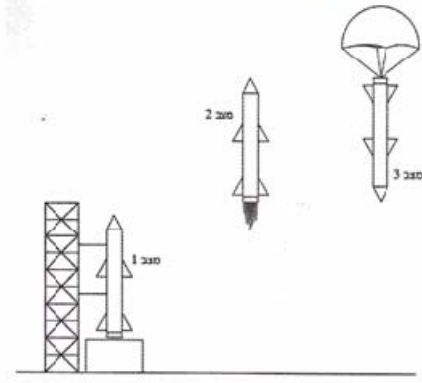


הציור מראה תפוח נופל לקרקע. באיזה משלושת המצבים פועל כוח המשיכה על התפוח?  
א. רק במצב 2  
ב. רק במצבים 1 ו-2  
ג. רק במצבים 1 ו-3  
ד. במצבים 1, 2 ו-3

התשובה הנכונה: ד'

רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

S022012, J05 בחירה/ד, מידע פשוט



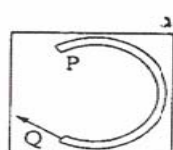
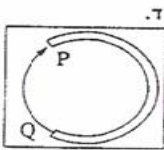
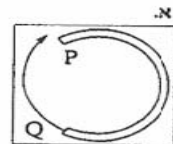
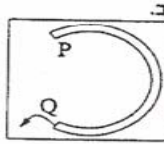
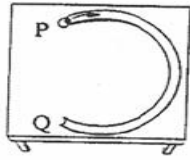
הציורים מראים טיל המשוגר מכדור הארץ ולאחר מכן בדרכו חזרה. באיזה משלושת המצבים פועל כוח המשיכה על הטייל?  
א. 3 בלבד  
ב. 1 ו-2 בלבד  
ג. 2 ו-3 בלבד  
ד. 1, 2 ו-3

התשובה הנכונה: ד'

רוני מועלים – המחלקה להוראת המדעים  
במכון ויצמן למדע

O13 בחירה ג, מידע מורכב

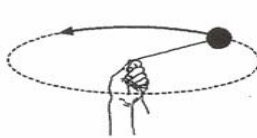
התרשים שלפניכם מראה מסילה עגולה הנמצאת על שולחן מאוזן. כאשר דוחפים כדור בנקודה P, הוא יתגלגל ויצא מהמסילה בנקודה Q. איזה תרשים מראה את כיוון התנועה של הכדור לאחר צאתו מהמסילה בנקודה Q?



התשובה הנכונה: ג'

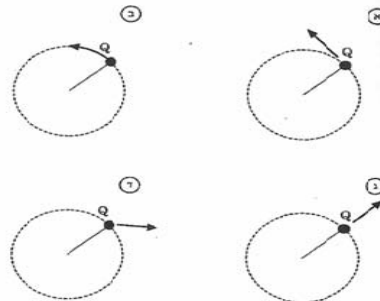
רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע

S022040, M15 בחירה א, הבנה משגית



התרשים שמאל מראה כדור בקצה חוט המסובב במעגל. התרשים מימין מראה את הכדור המסתובב כפי שהוא נראה במבט מלמעלה.

לאחר מספר סיבובים, כאשר הכדור מצוי בנקודה Q, מרפים מהחוט. איזה מהציונים הבאים מראה את הכיוון בו נע הכדור ברגע שבו מרפים מהחוט?



התשובה הנכונה: א'

רוני מועלם – המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע



### 4.3 הקשיים הצפויים בהוראה ותפיסות שגויות נפוצות

מחקרים רבים בקוגניציה מצביעים על כך שתלמידים מגיעים לשיעור כשתפיסותיהם בנוגע לחוקי הפיזיקה גובשו במהלך ניסיונם בחיי היום-יום, והם אינם "טאבולה ראסה" ("לוח נקי"), המוכנים לקבל את דברי המורה כלשונם. תפיסות אלה, שרובן אינו עולה בקנה אחד עם תפיסות המדענים, מכונות בספרות תפיסות "נאיביות" (או "אלטרנטיביות" או "שגויות").

המחקרים המוזכרים מראים כי קשה מאוד לשרש את התפיסות השגויות האלה. ממחקרים ספציפיים רבים עולה כי שיטות הוראה השמות דגש על היבטים כמותיים, אינן משנות בצורה משמעותית את מרבית התפיסות השגויות הקיימות בנושאים כמו חוקי ניוטון.

כיצד תלמידים מבינים מושגים הקשורים לנושאים ביחידה זו?  
להלן נערוך סקירה קצרה של ממצאי מחקרים הקשורים לנושאים ביחידה זו:

**כוח "פסיבי":** תלמידים רבים אינם מזהים כלל את הכוח הפסיבי שמופעל על ידי גופים "דוממים". דוגמה לכך היא כיסא המפעיל כוח על אדם היושב עליו - מרבית התלמידים טוענים שאין כוח כזה, כי כאשר קמים מהכיסא, אין הוא זז (כלומר, כוח קשור בתנועה), ומשום שכיסא אינו "חי" (קשר בין כוח למשהו חי). דוגמאות נוספות: תלמידים אינם מבחינים כלל בכוח הפועל על החוט; לעתים קרובות אין הם מזהים כוח בהתנגדותו של נוזל לתנועה בתוכו. לעומת זאת, רבים מהם מסוגלים להבין (או לראות) כי קפיץ מתוח יכול להפעיל כוח.

**החוק השלישי:** תלמידים נוטים בדרך כלל לפרש את המושג "אינטראקציה" כמאבק בין שני כוחות שונים שבסופו "מנצח" הכוח החזק יותר. תלמידים יכולים להשתכנע בקיומן של אינטראקציות הגורמות עיוותים ברורים בגופים המשתתפים בהן. לעומת זאת, תיתכן בעיה מסוימת כאשר מתייחסים לגופים קשיחים שאינם מתעוותים בצורה הנראית לעין. חוקרים אחדים הסבירו לתלמידיהם כי לעתים אין העין רגישה מספיק כדי לראות עיוות כתוצאה מאינטראקציה, אך בעזרת אמצעים טכניים שונים ניתן להבחין בו. חוקרים מציעים להשתמש בקרן לייזר ובמראה קטנה המונחת על שולחן ולהדגים שהשולחן מתעוות מעט כאשר מניחים עליו משקל.

מרבית הדוגמאות לחוק השלישי עוסקות בגופים במגע. בעזרת דוגמאות אלה קשה להסביר שמדובר בשני כוחות נפרדים הקשורים באינטראקציה. לעתים כוח הכבידה המובא כדוגמה לאינטראקציה ללא מגע, אינו ברור דיו, משום שכדור הארץ אינו נתפש כגוף המפעיל כוח. חוקרים מציעים להשתמש לחילופין בכוחות החשמליים והמגנטיים ולא להיכנס לפרטים, על מנת להדגים כוחות שאינם במגע (רעיון המכונה "גישור" - Bridging Analogy). בעקבות הדגמות כאלה קל יותר לשכנע בדבר קיומם של כוחות המופעלים על ידי הכבידה.

מושג בעייתי נוסף הקשור לחוק השלישי של ניוטון הוא כוח החיכוך. חיכוך הוא כוח פסיבי המתאים עצמו לכוח האקטיבי הפועל ומשנה את ערכו עד שמתחילה תנועה (למעט תנועה בתווך

צמיג שבו גדל כוח החיכוך עם המהירות). סטודנטים מתקשים להבין שלחיכוך יש ערכים בין 0 לערך מקסימלי ( $\mu N$ ) ונוטים לחשוב שהערך המקסימלי הוא הערך הקבוע, שנובע מהנוסחה שמופיעה בספרים ( $f=\mu N$ ).

מושג "המערכת": תכונות המערכת כמכלול יכולות להיות שונות מאוד מתכונות חלקיה. שאלות העוסקות בחוק השלישי, כגון האם אינטראקציות בתוך קרונית יגרמו לשינויים בתנועתה, מערבות את מושג המערכת, גם אם המושג "חסר" ואינו מוזכר במפורש. במקרה זה תשובות התלמידים מעידות על בלבול גמור בין מערכות פתוחות וסגורות, והדבר מוביל אותם לעתים קרובות לתשובות שגויות.

כוח הכבידה: תלמידים רבים חושבים שמהירות הנפילה פרופורציונאלית לכוח הכבידה, משמע שעצמים כבדים נופלים מהר יותר. רבים מהם מבלבלים מסה במשקל ומהירות בתאוצה. תלמידים ששמעו על לחץ האוויר, טועים לחשוב שלחץ זה אחראי על הכוח כלפי מטה של כוח הכבידה. אם ייעלם האוויר - ייעלם כוח הכבידה אתו.

כוח ותנועה: תלמידים סבורים כי יש להפעיל כוח לשימור תנועה במהירות קבועה (תפיסה אריסטוטלית קלאסית). תפיסה נפוצה נוספת המאפיינת תלמידים היא רעיון ה"אימפטוס": הגוף ממשיך לנוע כל עוד פועל עליו הכוח הראשוני. לדוגמה: תלמידים סבורים שמטבע הנזרק למעלה ממשיך לנוע כי "יש לו הכוח של היד שהולך ונחלש" (קיום תנועה מחייב הפעלת כוח). כלומר, שינוי במהירות הגוף פירושו "דעיכת הכוח" (הגוף מאט) או "בנייתו" (הגוף מאיץ).

## 5 נספחים

### 5.1 הדגשים, המושגים והעקרונות בגישה וסדר הצגתם- ניתוח תיאורטי

בגישה שפותחה נלמד מושג ה"אינטראקציה" תחילה, וממנו נגזר מאוחר יותר מושג ה"כוח". הגישה המסורתית ללימוד מושג ה"כוח" עוסקת בתחילה בגוף בודד ובוחנת השפעת כוח, יחיד בתחילה, על הגוף. המשך ההוראה כולל עיסוק בהפעלת כמה כוחות על הגוף, והתלמיד לומד לנתח את השפעתם על הגוף בעזרת תרשים כוחות. כוח לעולם אינו מופיע "לבד" אלא בזוגות, ותמיד מעורבים באינטראקציה שני גופים. התנהגותו של גוף תקבע על פי כל האינטראקציות (הכוחות) בהן הוא משתתף ולכן יש להתייחס למערכת בה הוא פועל. ניתוק של כוחות מבן זוגן הטבעי בהוראה המסורתית, מבלי להתייחס לעובדה שמפעילי הכוחות האלה הם חלק ממערכת, גורם, לדעתנו, לקשיי למידה במכניקה. לדוגמא: קשיים בבניית תרשים כוחות, כאשר שוכחים חלק מהכוחות הפועלים על גוף. קשיים נוספים ניתן למצוא בהבנת החוק השלישי העוסק בזוג הכוחות שבאינטראקציה, לדוגמא: כוח פסיבי ואקטיבי, העובדה שהכוחות שווים בערכם המוחלט גם כאשר שני הגופים שונים בגודלם, והעובדה שזוג הכוחות באינטראקציה פועלים על גופים שונים. העובדה שתלמידים אינם מתרגלים לחשוב במונחים של אינטראקציה ומערכת מובילה לקשיים לא רק בבעיות "בית ספר", אלא גם בניתוח התרחשויות מחיי היום-יום בהן אף פעם אינו פוגשים "גוף חופשי". תמיד יש חשיבות רבה לזיהוי כל האינטראקציות שבהן מעורב הגוף כדי להבין את התנהגותו. לכן לדעתנו יש צורך למקד מלכתחילה את התבוננות התלמיד באינטראקציות וזיהוי כל האינטראקציות תוך התייחסות למערכת בה פועל הגוף. האיתור השיטתי של כל האינטראקציות בין הגופים במגע וכל האינטראקציות הפועלות מרחוק מאפשרות לתלמיד לא לשכוח חלק מהאינטראקציות.

גישת ה"אינטראקציה תחילה" אשר הומלצה על ידי אנשי הוראת הפיזיקה בעבר, טומנת בקרבה "פוטנציאל" להבנת החוק השלישי של ניוטון ורעיון ה"מערכת", המובנים למעשה בתוכה ונובעים ישירות ממנה. הגישה המסורתית נכשלת בהקניה אפקטיבית של החוק השלישי. כשלון זה גורר בעיות הבנה קשות גם בחוק השני של ניוטון (קשה ללמד את החוק השני ללא שליטה מספקת בחוק השלישי).

אנו סבורים שהגישה הייחודית שלנו תקל מאוד על הוראת החוק השני בעקבות הבנה טובה יותר שאנו משיגים עם החוק השלישי.

לסיכום:

- ההוראה המסורתית נכשלת בהקניית החוק השלישי של ניוטון ואינה משנה כמעט הבנה אינטואיטיבית לגבי אירועים רלוונטיים "אמיתיים" מחוץ לחדר הכיתה
- הגישה שאנו מציעים היא "מערכת לרכיב"- ממערכת רב גופית אל הגוף הבודד, בניגוד לגישה המסורתית הדוגלת "מרכיב למערכת"- מהגוף הבודד אל המערכת.
- בגישה שלנו, רעיון המערכת והחוק השלישי של ניוטון מובנים במושג "אינטראקציה", הפותח את יחידת הלימוד.

## 5 נספחים

### 5.2 ביצועי הבנה

היעד המרכזי של הגישה המוצעת הוא "הבנה איכותית" של תופעות יום יומיות. הערכת הידע האיכותי דורשת הגדרת רעיונות ומושגים מרכזיים וחיבור שאלות ספציפיות המיועדות לבדוק את מידת הידע של התלמיד בהם. לצורך כך הוגדרו "ביצועי הבנה" הכוללים את המרכיבים הכלולים לדעתנו במונח "הבנה איכותית" של תופעות.

<b>ביצועי הבנה</b>
<b>רמת יסוד:</b>
היכולת לזהות את מרכיבי המערכת הרלוונטיים בהתרחשות
היכולת לזהות את כל האינטראקציות בהתרחשות
היכולת לזהות את כל הכוחות הפועלים בהתרחשות
היכולת להתמקד בגוף מסוים בהתרחשות ולבנות לו תרשים כוחות
היכולת לנבא שינוי בתנועה של גוף על פי תרשים הכוחות שלו
היכולת לקבוע מאפייני תרשים כוחות הפועלים על גוף על פי מאפייני התנועה שלו.
<b>רמה מתקדמת:</b>
היכולת להסביר התרחשות מסוימת (לדוגמה: עיוות ו/או שינוי במהירותו של גוף) בעזרת שימוש במושגים ועקרונות יסוד במכניקה.
היכולת לנבא תוצאת ניסוי או תופעה הכוללת אינטראקציות

## 5.3 מחקר המלווה את הפעלת האסטרטגיה

הפעלת האסטרטגיה לוותה במחקר. להלן פרטים על מחקר זה ותוצאותיו העוסקים בשאלת יעילות האסטרטגיה להשגת יעדי הלימוד.

הטבלה שלהלן מביאה את תוצאות שאלוני תוכן (ראו "שאלות מסכמות 2" בפרק "שאלות") של חלק מקבוצות המחקר מול מספר קבוצות השוואה.

## תוצאות השאלון (14 שאלות רב ברירתיות)

כיתה	n	למדו על פי הגישה	ציון pre (SD)	ציון post (SD)	<g>*
<u>מחקר מקדים</u>					
כיתה ט' (הטרוגנית)	29	לא (מסגרת מושגית בלבד)	43.3 (18)	45.6 (17.6)	0.04 n.s.
<u>ניסוי</u>					
כיתה ט' (הטרוגנית)	106	כן	35.55 (18.6)	67.08 (21.4)	0.49 P < 0.001
כיתה ז' (נבחרת)	12	כן	31.5 (12.5)	60.7 (9.4)	0.43 P < 0.009
<u>השוואה</u>					
כיתה ט' (הטרוגנית)	33	לא		37.6 (15.6)	
תלמידי מכללה (מדעים)	13	לא		56.6 (15)	
תלמידי מכללה (אלקטרוניקה)	7	לא		62.2 (14.7)	
תלמידי תיכון מתמחים בפזיקה (5 יח"ל)	33	לא		53.2 (13.5)	

\* מידת ההתקדמות מובעת על ידי <g> כאשר:  $\langle g \rangle = (\text{posttest score} - \text{pretest score}) / (100 - \text{pretest score})$  (Hake, 1998).

התוצאות מצביעות על כך שתלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת הסבירו וחזו טוב יותר התרחשויות מחיי היומיום מאשר מורים למדעים, תלמידים מומחים ותלמידי חט"ב אחרים. כאשר השווינו את תשובות התלמידים לפני ואחרי ההוראה, תוך התייחסות לבחירת המסיחים, מצאנו, בקבוצות הניסוי, התקדמות משמעותית במספר התשובות הנכונות. לעומת זאת, מידת ההתקדמות של קבוצה הטרוגנית שלמדה את הבסיס המושגי בלבד וללא האסטרטגיה לפתרון בעיות, היתה לא משמעותית.

בנוסף, נערכו ראיונות עם תלמידים מקבוצת המחקר. התלמידים התבקשו התלמידים לנתח התרחשויות מסובכות תוך שימוש בחוק השלישי של ניוטון (שיגור רקטה, אדם קופץ אופקית מסירה קטנה וילד על גלגליות משליך משא כבד). להלן תיאור קטע מראיון אחד שבוצע עם תלמיד כיתה ט' שסווג כתלמיד בינוני (70-80). הראיון נמשך כ- 15 דקות והוקלט ברשם-קול. בראשית הראיון הוצגה התרחשות מרכזית חדשה אותה התבקש התלמיד לנתח (הניתוח כולל בניית תרשים כוחות ומתן הסברים רלוונטיים):

*בלון מחובר לסרגל, התלוי בעזרת ווים על חוט ניילון, המתוח באופן אופקי בין שני קצוות הכיתה. הבלון מנופח על ידי התלמידים, ועם שחרור פייטו, הוא מניע את הסרגל לאורך חוט הניילון (לפירוט נוסף ראו פרק "פעילות" - פעילות 3 "רקטה בלונית").*

כאשר התלמיד התקשה בניתוח ההתרחשות, הוצגה בפניו התרחשות קלה יותר אותה התבקש לנתח (בדומה לניתוח הקודם), המשמשת כאנלוגיה מגשרת:

*אדם היושב על כיסא היכול לנוע, משליך חפץ כבד, וכתוצאה מכך מתחיל לנוע לכיוון הנגדי. כאמור, התלמיד התבקש תחילה לנתח את ההתרחשות הראשונה (תנועת הבלון) תוך שימוש במושגים רלוונטיים. בעמוד הבא מובא קטע מראיון:*

מ (מראיון): {מתאר לתלמיד את הטיל הרקטי}.. לאיזה כיוון ינוע הבלון?

י (תלמיד): לשם {בביטחון} {התלמיד צודק}

מ: צייר לי תרשים כוחות לבלון.

י: {מצייר מלבנים- השלב הראשון באסטרטגיה}

מ: אתה חושב שהמלבנים עוזרים לך?

י: כן.. אבל אני יכול לדלג על השלב הזה.. זה תלוי בהבנה.

מ: אתה יודע מה, הבה נדלג על השלב הזה.. צייר את התרשים..

י: {מצייר ומסביר בצורה נכונה}

מ: אני רוצה להבין למה הבלון זז?

י: כי הבלון מלא אוויר שיוצא ממנו ודוחף אותו לשם..

מ: נסה לדבר באינטראקציות..

י: יש אינטראקציה בין האוויר לבלון, יש שני כוחות באינטראקציה

מ: תרגם את האינטראקציה לשפת כוחות.. מאין הגיע החץ (הכוח) שדוחף את הבלון?..

י: האוויר שהיה בבלון יוצא החוצה.. וכשהוא יוצא... {התלמיד נתקע}

מ: הבה ניקח מקרה אחר {מתאר את הילד היושב על כסא גלגלים ומשליך תיק כבד} מה קורה פה?

י: אתה תזוז אחורה.. התיק מפעיל עליך כוח בחזרה.. הכוח שאתה מפעיל על התיק.. הוא מחזיר לך את אותו כוח בחזרה..

מ: איך קוראים למקרה כזה של הפעלת כוחות הדדיים?

י: אינטראקציה..

מ: אם אני רוצה לבודד אותי.. כאשר אני כולל את הכסא.. איך זה יראה?

י: {מצייר נכון ומסביר היטב}

מ: טוב, עכשיו הבה נחזור לבלון..

י: יש אינטראקציה, האוויר מפעיל כוח על הבלון לשם {מראה כיוון נכון}

מ: ומה קורה לבלון?

- י: הוא זז לשם {מראה כיוון נכון} אם הכוח יותר גדול מהחיכוך..
- מ: הבה ניקח משהו אחר.. אני עכשיו שם בלון קטן וחלש מאוד.. ולאחר שאני מרפה אותו הבלון לא זז..
- י: כמו שלימדת.. כוח החיכוך מחזיר כוח עד עוצמה מסויימת וכשאתה עובר את העוצמה הזאת- אתה זז. פה הוא לא עבר את העוצמה הזו..
- מ: צייר את הכוחות עכשיו
- י: כוח החיכוך שווה לכוח שדוחף קדימה {מצייר נכון שני חיצים מנוגדים אך באורך שווה}
- מ: עכשיו אני מגדיל את האוויר בבלון ויש יותר כוח קדימה אבל עדין הוא לא זז
- י: כי החיכוך גדל גם כן.. {מצייר נכון}
- מ: עכשיו הגדלתי עוד יותר.. והוא מתחיל לזוז. מה קורה עכשיו?
- י: עכשיו הוא שבר את הכוח שהחיכוך יכול להחזיר לו, הוא עבר אותו.. {מצייר נכון}
- מ: אתה אומר שלחיכוך יש כוח מקסימלי?
- י: כן יש כוח מקסימלי שאפשר לעבור אותו.. אם עוברים אותו אז הגוף זז.

התלמיד הנ"ל, התקשה במתן הסבר מדויק לתנועת הבלון (פעולת מנוע רקטי), אם כי הוא חזה מראש את שיתרחש. מסיבה זו הוחלט להציג התרחשות נוספת שתוכל לשמש כ"גשר" לראשונה: ילד יושב על כסא עם גלגלים ומשליך בכל כוחו תיק כבד. התלמיד ידע להסביר מדוע הילד נהדף אחורנית על פי שיקולי אינטראקציה וכוחות. מכאן בוצעה חזרה להתרחשות הראשונה (מנוע רקטי) והתלמיד עשה את האנלוגיה הנכונה והצליח לספק הסבר מדויק לתנועת הבלון. בשלב האחרון נדון גם כוח החיכוך.

טבלה 1 מביאה את ניתוח ההתרחשות המרכזית בראיון, "הרקטה הבלונית", על פי ביצועי הבנה:

טבלה 1

ניתוח התרחשות "הרקטה הבלונית" על פי ביצועי הבנה

הסבר	רקטה בלונית	ביצועי הבנה
		<b>רמת יסוד:</b>
זיהוי הגופים במערכת: הבלון, הרוכב, חוט הניילון	+	היכולת לזהות את מרכיבי המערכת הרלוונטיים בהתרחשות
שלוש אינטראקציות: בין הבלון (כולל את הרוכב) לאוויר, לחוט ולכדור הארץ	+	היכולת לזהות את כל האינטראקציות בהתרחשות
כל הכוחות הפועלים על הבלון ומקורם	+	היכולת לזהות את כל הכוחות הפועלים בהתרחשות
תרשים כוחות של הבלון	+	היכולת להתמקד בגוף מסוים בהתרחשות ולבנות לו תרשים כוחות
הבלון ישנה את מהירותו	+	היכולת לנבא שינוי בתנועה של גוף על פי תרשים הכוחות שלו
שינוי במהירות משמעו כוח גדול יותר באחד הצירים	+	היכולת לקבוע מאפייני תרשים כוחות על פי מאפייני תנועה.

רמה מתקדמת:		
היכולת להסביר התרחשות מסוימת	+	הבלון ישנה את מהירותו כתוצאה מאינטראקציה בין האוויר לבלון. במקרה זה יתרחש שינוי מהירות ועיוות.
היכולת לנבא תוצאת ניסוי או תופעה הכוללת אינטראקציות	+	התלמיד מסתמך על ניסיונו ומנבא שהבלון יתחיל לנוע

יש לציין שרוב התלמידים האחרים שנשאלו על ההתרחשות "רקטה בלונית", בנו תרשים כוחות מדויקת כבר בשלב הראשון, ולשתי ההתרחשויות (לבלון ולילד על הכסא). ניתוח הראיון התבצע בעזרת מחוון שהוכן לצורך הראיון. במקרה הנ"ל התלמיד הוערך כבעל ביצועים טובים אך לא מצוינים. הראיון מדגים את השימוש שעשה התלמיד במונחים ומושגים רלוונטיים בהתמודדותו עם שאלות המראיין. בראיון זה ניכר כי המונח "אינטראקציה" אינו שגור בפי התלמיד "באופן טבעי" והמראיין ביקש במפורש פעמיים להזכיר את המונח. לעומת זאת, המונחים "כוח" ו"כוח חיכוך" שגורים בשיח הטבעי של התלמיד. מעניין לזהות את ההאנשה שעושה התלמיד: "כוח החיכוך מחזיר כוח...". " הוא שבר את הכוח שהחיכוך יכול להחזיר לו...". יתכן כי האנשה זו נובעת מאופן הוראת הנושא על ידי המורה. ממצא נוסף שעלה מראיונות אלה היה שתלמידים רבים אשר למדו ותרגלו את ההליך לפתרון בעיות בגישה שהוצגה, העדיפו בשעת ניתוח ההתרחשות, לוותר על רוב השלבים בהליך ולערוך את תרשים הכוחות באופן ישיר. חשוב לציין שבהתרחשויות מסובכות יותר בהן נתקלו התלמידים בקשיים לערוך את תרשים הכוחות באופן ישיר, חלקם "חזר לאחור", תוך ביצוע כל שלבי ההליך בה היו מיומנים.

מעניין לציין שלא כמו המתמחים בפיזיקה בתיכון, הנוטים להשתמש ישירות בנוסחאות ללא שימוש באסטרטגיות, תלמידי חט"ב שלמדו על פי הגישה נעזרים באסטרטגיה. אנו סבורים שאחת הסיבות לכך היא העובדה שלתלמידי חט"ב אין ידע כמותי המאפשר פתרון על ידי הצבה בנוסחאות, ולכן הם נוטים להשתמש בגישה האיכותית המונחית על ידי האסטרטגיה המוצעת. בניסוי ראשוני שביצענו יושמו "כלי החשיבה" יושמו על ידי מורה לפיזיקה בחטיבה העליונה. המורה הפעילה את האסטרטגיה בקרב תלמידי י"א המתמחים בפיזיקה כחלק מההכנה לבחינת הבגרות. התוצאות שעליהן דיווחה והתרשמותה האישית היו חיוביות ביותר, במיוחד לגבי התלמידים החלשים יותר.



## 5.4 "פיסיקה עם חיוך בחטה"ב: כיצד להסביר תופעות בעזרת אסטרטגיה "איכותית" לפתרון בעיות

רוני מועלם ובת שבע אלון (פורסם ב"תהודה", (1) 25, יוני 2005)

### מבוא

מורים רבים המלמדים את מקצוע הפיסיקה בחטיבה העליונה, אינם מתייחסים כמעט אל הידע הקודם של תלמידיהם הצעירים, אותו רכשו בחטיבת הביניים. חלקם מניחים כי התלמידים מגיעים לחטיבה העליונה כ"לוח חלק" ("טבולה ראסה"). במאמר זה ננסה לתאר את הנעשה מעבר להרי החושך (חט"ב), ונספר על גישה חדשה להוראת מכניקה, העושה את צעדיה הראשונים במסגרת לימודי המדעים בכיתות ח'ט' ועל הישגי השיטה.

מחקרים שונים מראים שתלמידים, בשלבים שונים של לימודיהם (גם כמתמחים בתיכון ובלימודים גבוהים), מתקשים בהבנת המושגים והעקרונות הבסיסיים בתחום. ולכן, חוקרים רבים מקרב קהיליית הוראת הפיזיקה מדגישים את החשיבות של רכישת מושגי יסוד בסיסיים בפיסיקה כבר בחטיבת הביניים וטוענים שרצוי ללמד מושגים אלה בהקשרים הלקוחים מסיטואציות יום יומיות מוכרות. מסיבה זו ניתן להציב כמטרה מרכזית של למידת מקצוע הפיסיקה בחטיבת הביניים, את ההקנייה של הבנה איכותית של מושגים ועקרונות בסיסיים ושימוש בהם במתן הסברים ותחזיות לאירועים יום-יומיים פשוטים.

ניתן לייחס בעיות בהוראת פיסיקה בחט"ב לכמה גורמים:

- א) גישות ההוראה הקיימות בדרך כלל מיושנות ופורמאליות ואינן מאפשרות התנסות פעילה ומספקת של התלמיד עם תופעות.
- ב) הזמן המוקצב ללימודי הפיסיקה מצומצם ביותר ואינו מאפשר לימוד מעמיק.
- ג) תלמידים רבים אינם מכירים ברלוונטיות הפיסיקה לחיי היום יום ותופסים את המקצוע כקשה. בנוסף, כמו בכל גיל, לתלמידים תפיסות אינטואיטיביות שלא בהכרח עולות בקנה אחד עם הידע הנורמטיבי בפיסיקה.
- ד) רוב מורי המדעים בחטה"ב התמחו בביולוגיה וידיעותיהם בפיזיקה מצומצמות. חלק אחר של המורים המלמדים "הושאלו" מהתיכון והם מומחים בתחום, אך שיטות ההוראה בהן הם מלמדים, לא תמיד מתאימות לחט"ב.

על מנת להשיג את המטרות שצוינו לעיל, ובפרט לפתח יכולת למתן הסברים באמצעות הפיסיקה, יש צורך להקנות לתלמידים בראש וראשונה מסגרת מושגית מתאימה. לשם כך פיתח מרדכי בן צוק, במסגרת פרויקט מטמון (מדע וטכנולוגיה מכון ויצמן) יחידת לימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" הדורשת כ- 15-30 שעות הוראה, ומטרתה לבנות מסגרת מושגית ולשפר את רמת הידע וההבנה בפיסיקה של התלמיד בנושאים בסיסיים במכניקה. הייעד המרכזי של יחידת לימוד זו הוא פיתוח יכולת התלמיד לנתח סיטואציות רלוונטיות מחיי היום יום

במונחים פסיקליים, ושינוי דעתו (לחיוב) על הפסיקה וחשיבותה. יחידת הלימוד מפתחת את מושג ה"אינטראקציה" (פעולה הדדית בין גופים) ועוסקת במושגי יסוד בסיסיים במכניקה. מושג האינטראקציה אינטואיטיבי לתלמידים ככניסה לנושא, וקל לגזור ממנו את מושג הכוח והחוק השלישי (ראו מאמר בתהודה: לאיתור- לפני שנתיים, בת שבע מתארת את מטמון).

מחקר שערכנו על הפעלת היחידה הנ"ל הצביע על כך שלמרות שתלמידים רכשו הבנה בסיסית של המושגים המרכזיים, עדיין התקשו ביישום המושגים לפתרון בעיות שונות ולבניית הסברים. ממצאים אלה הצביעו על כך שאין די במסגרת המושגית וכי יש להקנות בנוסף לכך גם כלים לניתוח תופעות באמצעות מושגים אלה. ניתוח כזה מחייב שימוש בתהליכים שונים הבאים לידי ביטוי בפתרון בעיות. לדוגמא, כדי להסביר תופעה הכרוכה בהפעלת כוחות ושינויים בתנועה, יש צורך להתייחס ל"דיאגרמת כוחות". במילים אחרות, יש להקנות לתלמידים גם אסטרטגיה ופרוצדורות לפתרון בעיות בנוסף למסגרת המושגית. אך זו אינה משימה פשוטה. חוקרים בתחומי הקוגניציה וההוראה טוענים, לא פעם, שאסטרטגיות פורמאליות של פתרון בעיות נדונות לכישלון אם מנסים ליישמן בקרב תלמידי חט"ב ולכן יש להקנותם רק בשלבים מאוחרים יותר של לימוד הפסיקה כאשר נלמדות שיטות כמותיות של פתרון בעיות. אך בהרבה בתי ספר בארץ לא מקובל ללמד פיזיקה באופן כמותי בחט"ב. בנוסף לכך, הקניית המסגרת המושגית והאסטרטגיה הרלוונטית לתחום מסוים חייבת לקחת בחשבון את הידע האינטואיטיבי שמביאים איתם התלמידים ואליו חייבים להתייחס במהלך ההוראה (ראו תרשים 1).



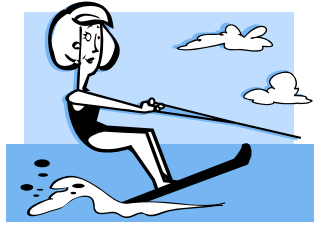
תרשים 1: שילוב בין יחידת לימוד המפתחת מסגרת מושגית לבין אסטרטגיה לפתרון בעיות

כיצד אם כן, ניתן לעשות זאת? האם נקנה לתלמידים אסטרטגיות פתרון בעיות כגון אלה הנמצאות בשימוש בחטיבה העליונה? כיצד נלמד את מושגי היסוד? כיצד ישתלבו שני מרכיבים אלה במהלך ההוראה? כיצד נתייחס לידע הקודם האינטואיטיבי של התלמידים? על שאלות אלה ננסה לתת מענה בהמשך.

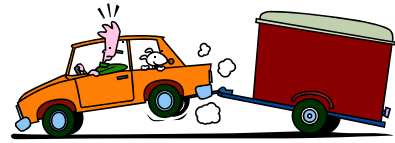
במאמר זה אנו מדווחים על פיתוח ומחקר מלווה, של גישת הוראה חדשה המשלבת בנייה של מסגרת מושגית עם אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות. הגישה עוצבה להנחות תלמידי חט"ב בחיזוי והסבר פסיקלי של תופעות וסיטואציות מחיי היום-יום.

### כלי חשיבה ושיטת ההוראה

כלי החשיבה שפותחו והנלווים ליחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה"- חלק א', משמשים כמרכיבים של אסטרטגיה לניתוח פסיקלי איכותי של סיטואציות מחיי היום יום המוצגות בצורה ציורית- גראפית (ראו תרשים 2).



(ב)



(א)

תרשים 2: סיטואציות הכוללות מערכות באינטראקציה

האסטרטגיה כוללת שלושה כלי חשיבה ובהם הוראות ביצוע ושאלות מנחות, המודפסות, כל אחד בנפרד, באופן צבעוני ואטרקטיבי על כרטיסיות. כלי חשיבה מעוצבים כך שמצידה האחד של הכרטיסייה מופיעות הוראות הביצוע, ומצידה האחר שאלות מנחות שתפקידן לסייע לתלמידים לעקוב בדיוקנות אחר הוראות הביצוע ולשים דגש על עקרונות ספציפיים. כלי החשיבה באסטרטגיה מבוססים על תרגום הסיטואציה לייצוגים חזותיים (טבלה ודיאגרמות מלבנים) ומובילים בסוף התהליך לבניית דיאגרמת כוחות הפועלים על גוף נבחר מהסיטואציה (ראו דוגמאות בהמשך).

בדרך כלל בבעיות בהן עוסקים בלימוד המכניקה, מתוארות סיטואציות העוסקות בהתנהגות גופים שונים ונשאלות שאלות על גופים מסוימים. דרך הניתוח המקובלת מתמקדת בדרך כלל בגוף בודד, או בכמה גופים כבר בתחילת פיתרון הבעיה ואינה מתייחסת לכל מערכת הגופים. לעומת גישה זו, ניתן לנתח בעיה בגישה מערכתית שבה מתייחסים בתחילה למערכת כולה ומזהים אינטראקציות וכוחות הפועלים בין הגופים, ורק אח"כ מתמקדים בגופים בעלי עניין בשאלה. בשלב זה יכול התלמיד ל"שלוף" את הגוף הספציפי המעניין אותו ולבנות בקלות את דיאגרמת הכוחות המלאה המתאימה לו. כיוון שניתוח האינטראקציות והכוחות נעשה באופן שיטתי ומלא (ראו למטה), יורד הסיכוי לכך שהתלמיד לא ייקח בחשבון כוחות מסוימים. לדוגמה, גישה זו מומלצת על ידי רייף (Reif, 1995) ועל ידי ואן יובלן (Van Heuvelen, 1991). ברצוננו לחזור ולהדגיש כי מדובר באסטרטגיה לניתוח איכותי של סיטואציות, ולכן מושם דגש על איתור כל האינטראקציות והכוחות והתייחסות לגודלם היחסי בקביעת התנהגות הגוף. להלן תיאור קצר של הכלים השונים והפעלתם מודגמת בהמשך.

**כלי החשיבה הראשון ("אפיון מערכת")** כולל שני שלבים: תרגום הסיטואציה לדיאגרמת מלבנים של המערכת ועריכת טבלת אינטראקציות של כל הגופים במערכת. השאלות המנחות הנלוות לכלי החשיבה מוודאות כי התלמידים לא השמיטו אף אינטראקציה. דיאגרמת המלבנים וטבלת האינטראקציות מאפשרת לתלמידים לערוך היכרות ראשונית עם מושג המערכת מפני שבבואם לאפיין את המערכת (תחילה לדיאגרמת מלבנים ואח"כ לטבלת אינטראקציות) עליהם להתמודד מיידית עם פירוק לתת-מערכות רלוונטיות.

**כלי החשיבה השני ("מערכות לגופים נבחרים")**: מטרתו של כלי זה להביא את התלמיד לבניית דיאגרמת כוחות של גוף נבחר. התהליך מתבצע בשני שלבים:

- סימון כל זוגות הכוחות על פני דיאגרמת המלבנים בעזרת טבלת אינטראקציות
- בחירת גוף ו"איסוף" כל הכוחות הפועלים עליו מתוך דיאגרמת המלבנים

השאלות המנחות מדגישות את החוק השלישי ומוודאות כי בדיאגרמה של הגוף הנבחר מופיעים כל הכוחות שפועלים על הגוף, תוך ציון הגופים המפעילים כל אחד מהכוחות. בשלב זה אין התייחסות לגודל היחסי של הכוחות המופעלים על הגוף.

**כלי החשיבה השלישי ("כוחות ותנועה"):** כלי זה אמור לאפשר לתלמידים להתייחס לסיטואציה ולנתח אותה באמצעות דיאגרמת הכוחות. הכלי מנחה את התלמידים לבנות דיאגרמה מלאה. אורכם היחסי של החיצים המייצגים כוחות אלה בדיאגרמה, יכול להיקבע על סמך מידע הנתון בבעיה (הכוח המופעל על גוף ימינה על ידי X גדול מזה המופעל שמאלה על ידי Y) או על פי מאפייני התנועה של הגוף. השאלות המנחות בגב כרטיס כלי החשיבה "מוודאות" כי הסיטואציה הובנה היטב. כלי זה מאפשר לתלמידים לקשור בין כוחות לבין תנועה (החוק השני של ניוטון).

#### מהלך ההוראה ודוגמה לשימוש בכלי החשיבה

מהלך ההוראה כולל שילוב של הקניית המושגים באמצעות היחידה "אינטראקציה, כוחות ותנועה" (חלק א'), והקניית האסטרטגיה בניתוח ספיראלי של סיטואציות מחיי היום-יום, כאשר בכל שלב משתמשים במושגים שהוקנו עד אותו שלב. במקרים מסוימים נוצרת מוטיבציה להיכרות עם מושגים נוספים הנחוצים לצורך ניתוח הסיטואציות. הוראת האסטרטגיה מתבצעת תוך שימוש במספר כרטיסיות תרגול שפותחו במיוחד לצורך כך, המתארות קריקטורות הלקוחות מחיי היומיום (ראו תרשים 2). האסטרטגיה, כאמור, מנחה את התלמידים בניתוח הסיטואציה, זיהוי כוחות הדדיים ("פעולה ותגובה") ובניית דיאגרמת כוחות של גוף בודד ושל המערכת כולה. בתהליך ההקנייה, מנותחת כל סיטואציה מספר פעמים, כאמור, כאשר בכל פעם מתבצע ניתוח התואם את הרמה המושגית אליה הגיע התלמיד, שחוזר אל הסיטואציה שוב ושוב עם המשך הלימוד, עד שהוא מסוגל לבצע את הניתוח הסופי של הסיטואציה באמצעות כל המושגים הכלולים בתוכנית. תהליך זה מאפשר לתלמיד להשיג למידה משמעותית גם אם לא הצליח להתמיד וללמוד את כל העקרונות ומושגי היסוד. טבלה 1 כוללת פרוט של המושגים ועקרונות היסוד הכלולים במסגרת המושגית של עבודה זו.

טבלה 1

*מושגים ועקרונות יסוד*

#### תכנים - מושגים ועקרונות יסוד:

- (1) **באינטראקציה** משתתפים תמיד **שני גופים**
- (2) גוף יכול להשתתף **ביותר** מאינטראקציה אחת עם גופים אחרים (כלומר עם יותר מגוף אחד)
- (3) **עוצמת האינטראקציה** נמדדת על ידי **גודל הכוח**. בכל אינטראקציה פועלים שני כוחות השווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם, הפועלים על גופים שונים
- (4) אינטראקציה בין גופים תתכן **במוע וללא מוע** (ללא מגע- למשל בין מגנטים, בין מטענים חשמליים ובין גופים- כבידה)

- (5) שינוי במהירותו של גוף נקבע על ידי השקול של כל הכוחות (האינטראקציות) הפועלים עליו  
 (6) חיכוך הוא כוח המשנה את גודלו עד למקסימום התלוי בתכונות שני הגופים באינטראקציה  
 (7) אינטראקציה של גוף עם אוויר תלויה במהירות הגוף, צורתו וצפיפות האוויר.

לדוגמה, נעקוב אחר מהלך ההוראה המשלב את הקניית מושגי היסוד וכלי החשיבה שתוארו, ונדגים ניתוח ספיראלי של הסיטואציה המתוארת בתרשים 3:  
 1. לאחר הוראת עקרונות 1 ו-2 (ראו טבלה 1), מוצגת הסיטואציה זאת:



תרשים 3: דוגמה לסיטואציות-אדם מושך כלב, אך הכלב אינו זז

2. הפעלת כלי חשיבה ראשון ותרגום הסיטואציה, תחילה לדיאגרמת מלבנים:

אדם	רצועה	כלב
-----	-------	-----

ואחר כך לטבלת אינטראקציות:

כלב	רצועה	אדם	
-	+	0	אדם
+	0	+	רצועה
0	+	-	כלב

כאשר "+" מציין "קיימת אינטראקציה", "-" מציין "לא קיימת אינטראקציה" ו-"0" מציין "לא רלוונטי" (גוף לא יכול להיות באינטראקציה עם עצמו)

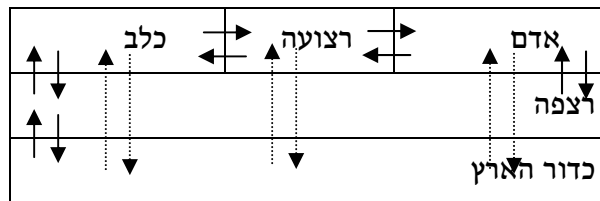
3. לאחר הוראה של נושאים 3 ו-4 (כוחות וכבידה, ראו טבלה 1), חוזר התלמיד לסיטואציה ומעדכן את איור המלבנים ואת טבלת האינטראקציות:

אדם	רצועה	כלב
רצפה		
כדור הארץ		

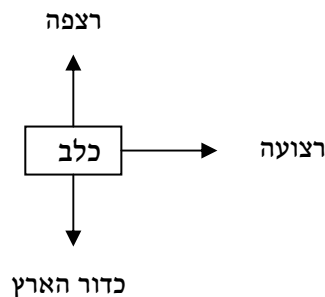
	אדם	רצועה	כלב	רצפה	כד"א
אדם	0	+	-	+	+
רצועה	+	0	+	-	+
כלב	-	+	0	+	+
רצפה	+	-	+	0	+
כד"א	+	+	+	+	0

4. הפעלת כלי חשיבה שני:

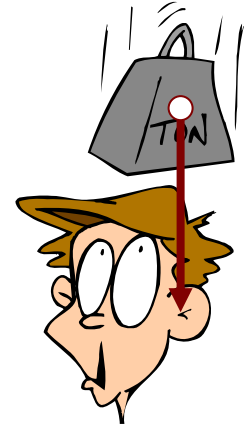
א. הוספת כוחות לדיאגרמת המלבנים



ב. בידוד הגוף הנבחר, הכלב במקרה זה, עם שמות הגופים המפעילים את הכוחות (ללא התייחסות לגודל הכוחות):



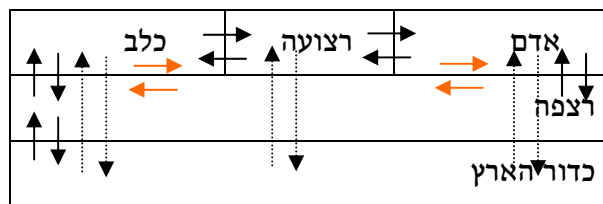
5. הוראת הרעיון ששינוי במהירותו של גוף יקבע ע"י שקול הכוחות, ותרגול רעיון זה (נושא 5 בטבלה 1), ראו תרשים 4.



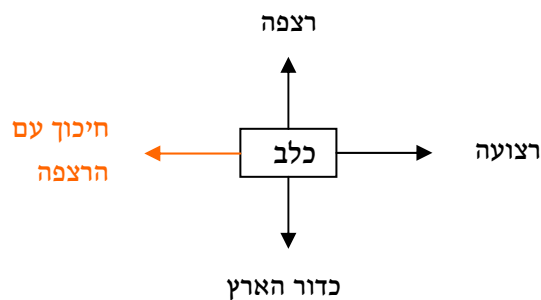
תרשים 4: בסיטואציה הבאה המשקולת הנופלת תגדיל מהירותה כלפי מטה

6. התלמיד חוזר אל שלב 4 בו קיבל סקיצה של דיאגרמת הכוחות הפועלים על הכלב. על פי הדיאגרמה ובהתאם למה שלמד בשלב 5, הכלב אמור להגדיל את מהירותו ימינה (לא מופיע חץ כלשהו שמאלה). על פי מאפייני התנועה של הגוף בסיטואציה המקורית (תרשים 2) זה אינו קורה (ידוע שהכלב אינו זז), כלומר חסר בדיאגרמה כוח נוסף שמונע תנועה אפשרית זו של הכלב. המורה מציג את כוח החיכוך ועוסק בהשלכותיו (נושא 6 בטבלה 1).

7. התלמיד חוזר אל דיאגרמת המלבנים (שלב 4) ומוסיף את כוחות החיכוך (באדום).



ואחר כך "שולף" את הגוף הנבחר עם כל הכוחות הפועלים עליו:



8. הפעלת כלי חשיבה שלישי - התלמיד מעדכן את אורכי החיצים בשני הצירים האופקי והאנכי, על פי מאפייני התנועה של הכלב, לקבלת דיאגרמת כוחות מושלמת. במקרה זה הכלב אינו זז (נתון) ולכן שקול הכוחות בכל ציר חייב להיות שווה ל-0, כלומר החיצים בכל ציר שווים באורכם והפוכים בכיוונם.

### תיאור המחקר המלווה את שיטת ההוראה

המחקר בדק את תרומת שיטת ההוראה להשגה של הבנה פסיקלית משמעותית לגבי סיטואציות מחיי היום יום, את השינויים בשפה בה משתמש התלמיד לניתוח הסיטואציות, ובנוסף, ניסה המחקר להעריך את השינוי בעמדות כלפי מקצוע הפיזיקה בקרב התלמידים והמורים שנחשפו לשיטה. במחקר נעשה שימוש בכלי מחקר איכותיים (ראיונות ותצפיות) וכמותיים (שאלוני ידע ועמדות) שהועברו לתלמידים ומורים.

באופן כללי, תוצאות המחקר מצביעות על כך שלתלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת הסבירו וחזו טוב יותר סיטואציות מחיי היומיום מאשר תלמידים אחרים בארץ ובעולם, שלמדו בגישות המסורתיות, וכן חל שינוי חיובי בעמדות המורים והתלמידים כלפי מקצוע הפיזיקה. את קבוצות המחקר ( $n=460$ ) לימדו מורים שונים שהשתתפו בהשתלמויות (ראו בסעיף הבא). קבוצות אלה התקדמו בצורה משמעותית מהמבחן המקדים למבחן המסכם. אם נתחשב רק בשליש העליון מהכיתות ההטרוגניות שלמדו על פי הגישה (כיתות ט'), שהם התלמידים המועמדים באופן טבעי לאכלס את כסאות תלמידי הפיזיקה בתיכון, נמצא הבדלים גדולים אף יותר לטובת התלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת.

כאמור, נערכו ראיונות עם תלמידים מקבוצת המחקר בהם התבקשו לנתח סיטואציות מסובכות תוך שימוש בחוק השלישי של ניוטון. בראשית הראיון הוצגה סיטואציה מרכזית חדשה (רקטה המסוגלת לנוע על חוט אופקי, ומונעת על ידי התרוקנות בלון מלא אוויר), ובמידת הצורך, סיטואציה קלה יותר המשמשת כאנלוגיה מגשרת (Bridging Analogy). התלמידים התבקשו לנתח את תנועת הבלון תוך שימוש במונחים מתוך המסגרת המושגית שלמדו. רוב התלמידים בנו לרקטה דיאגרמת כוחות מדויקת כבר בשלב הראשון. ניתוח הראיון התבצע בעזרת מחוון שהוכן לצורך כך. בראיונות השונים ניכר כי המונח "אינטראקציה" אינו שגור בפי התלמידים "באופן טבעי". לעומת זאת, המונחים "כוח" ו"כוח חיכוך" שגורים בשיח העצמי של התלמידים. מעניין לזהות ההאנשה של המושגים הפיסיקליים שהופיעו בראיונות, לדוגמא: "כוח החיכוך מחזיר כוח...". "הוא שבר את הכוח שהחיכוך יכול להחזיר לו..". תצפיות מצביעות כי יתכן והאנשה זו נובעת מאופן הוראת הנושא על ידי המורה. ממצא נוסף שעלה מראיונות אלה היה שתלמידים רבים אשר למדו ותרגלו את הפרוצדורה לפתרון בעיות בגישה, העדיפו בשעת ניתוח הסיטואציה, לוותר על רוב השלבים בפרוצדורה ולערוך את דיאגרמת הכוחות באופן ישיר, גישה המאפיינת מומחים. חשוב לציין שבסיטואציות מסובכות יותר בהן נתקלו התלמידים בקשיים לערוך את דיאגרמת הכוחות באופן ישיר, הם לא נואשו וחזרו "לאחור", תוך ביצוע כל שלבי הפרוצדורה בה היו מיומנים.



בבחינת הבגרות האחרונה בפיזיקה 5 יח"ל (תשס"ג) הוצגה שאלה הבאה לבדוק את הבנתם האיכותית של התלמידים בנוגע לחוק השלישי של ניוטון. השאלה הוכנסה לשאלון שהועבר בקרב תלמידי חט"ב (כיתות ט') שלמדו על פי הגישה במסגרות שונות והתוצאות היו טובות יחסית לתלמידים מתמחים בכיתות גבוהות יותר: 45% ענו נכון ונימקו (n=260).

בדיקה של הישגי התלמידים באמצעות פריטים מתוך מבחן ה- FCI הפופולארי (מבחן הבנה איכותי של מושגים פשוטים במכניקה) מראה שתלמידים הלומדים בגישה זו, בכיתה הטרוגנית בחט"ב, מגיעים להישגים העולים על אלה של תלמידי מכללות ואוניברסיטאות בארה"ב (Hake, 1998; Halloun & Hestnes, 1985).

מעניין לציין שלעומת המתמחים בפיזיקה בתיכון, אשר לעיתים קרובות אינם משתמשים באסטרטגיות לפתרון בעיות וניגשים מייד לשימוש בנוסחאות, תלמידי חט"ב שלמדו על פי הגישה נזקקים להשתמש באסטרטגיה שנלמדה. אנו סבורים שזאת משום שלא עומד לרשותם ידע המאפשר פתרון על ידי הצבה בנוסחה, ולכן הם חייבים להסתמך על גישה איכותית המונחית על ידי האסטרטגיה המוצעת.

כלי החשיבה שפותחו יושמו גם בחטיבה העליונה עם תלמידים הלומדים בגישה כמותית והתוצאות מצביעות על שיפור רב במשימות המצביעות על הבנה במיוחד על ידי התלמידים החלשים יותר.

#### ד. השתלמויות מורים

שיטת ההוראה הועברה למורי מדעים בחט"ב, במסגרת השתלמויות בקורסים שכונו "מי מפחד מפיזיקה?" במהלך השנים תשס"ד ותשס"ה. בהשתלמויות השתתפו כ- 150 מורים מכל הארץ. המורים התבקשו, כחלק מדרישות הקורס, לבחור בין 3 מסגרות הוראה (5, 10, 15 שעות הוראה) ולהעביר את הנושאים בכיתתם במהלך תשס"ד ותשס"ה.

ניתוח של שאלוני העמדות והראיונות מצביע כי מורים רבים שהשתלמו בתוכנית חוו שינוי קונספטואלי בכל הקשור לידיעותיהם ועמדותיהם בתחום הפיזיקה. המורים העידו על שיפור ידיעותיהם וביטחונם העצמי ללמד את המקצוע בכיתה.

מרבית המשתלמים הפעילו את התוכנית בכיתותיהם באחת ממסגרות ההוראה שהוצעו, ולהלן ציטוטים נבחרים שנאמרו על ידם בסיום ההשתלמות:

" הדבר המוצלח בהשתלמות היה לדעתי הדרך הפשוטה והברורה בהבנת הפיזיקה לעצמי ובהוראתה לתלמידי. השיטה המוצעת להסבר דברים מורכבים מאוד מוצלחת בעיניי"

" המיומנויות השונות שהודגמו להעברת החומר היו חשובות מאוד"

" הדבר המוצלח בגישה היה ההסברים הברורים והפשוטים להעברה"

" עד עכשיו חשבתי שפיסיקה משעממת, ונוכחתי שאין זה כך"

## סיכום

המטרה שמציגה לעצמה עבודה זו (פיתוח שיטת ההוראה והערכתה) היא בעלת חשיבות רבה, במיוחד לאור המצב הקיים היום בהוראת הפיזיקה בחט"ב בארץ ובעולם. העבודה חדשנית בכך שהיא מצביעה על הצורך בשימוש באסטרטגיה גם בפתרון בעיות איכותיות וגם בשלבים מוקדמים של הפיזיקה בחטה"ב. זאת, בניגוד לתפיסה המקובלת הגורסת, שתשובה איכותית "שולפים" או ש"יש לך, אם אתה מבין, או שאין לך"..

גם כלי החשיבה שפותחו בעבודה הזו ייחודיים בכך שהם עושים שימוש בייצוגים חזותיים.

הצלחת השיטה נובעת לדעתנו ממספר גורמים:

1. **המסגרת המושגית:** בחירת המושגים והעקרונות הבסיסיים ודרך הצגתם. בפרט הדגש על מושג האינטראקציה כמרכיב חיובי בהבנת פעולתם של כוחות, והחוק השלישי של ניוטון.
2. **הגישה האיכותית:** גישה איכותית שאינה עושה שימוש בכלים מתמטיים כלשהם, ומובילה לתיאורים פיסיקליים מקובלים (כמו דיאגרמת כוחות). הגישה האיכותית משמשת כשלב ראשון וכבסיס לטיפול הכמותי. בכיתות רבות מתבצע טיפול זה כבר בחטה"ב.
3. **מאפייני האסטרטגיה והפרוצדורות:**
  - דיאגרמות מלבנים, טבלאות אינטראקציה, דיאגרמות כוחות
  - חלוקת המשימה לשלבים פשוטים הקשורים לכלי החשיבה
4. **"פיזיקה עם חיוך":** כרטיסיות תרגול העושות שימוש בקריקטורות ידודות למשתמש (ראו תרשים 2), ההופכות את מקצוע הפיזיקה לפחות מאיים.
5. **התאמה לתרבות בני הנעורים:** הכרה, העדפה ותרגול של השפה הויזואלית "על חשבון" המילה הכתובה

ולגבי החלק המחקרי (מורים ותלמידים):

1. הראיונות והשאלונים מצביעים על כך כי רוב התלמידים השיגו הבנה טובה בכל הנוגע למושגים שנלמדו ביניהם מושגים קשים ביותר כגון המושג חיכוך על כל היבטיו. מעבר לכך, התלמידים רכשו יכולת להסביר ולחזות תופעות מורכבות בחיי היום-יום באמצעות שפה פיסיקלית.
2. קבוצות המחקר התקדמו באופן משמעותי מהמבחן המקדים למבחן בסוף תהליך ההוראה.
3. קבוצות המחקר השיגו תוצאות גבוהות בפריטים ממבחן ה- FCI (Force Concept Inventory) וממבחני בגרות בישראל.
4. מורים ותלמידים טוענים כי הגישה החדשה מאפשרת להם להבין טוב יותר את העולם מסביבם, כי השיטה העמידה לרשותם כלי חשיבה בעלי עוצמה, וכי חל שיפור בעמדתם כלפי מקצוע הפיזיקה.
5. מורי מדעים בחטה"ב הבאים עם רקע במדעי החיים וממעטים ללמד פיזיקה בכיתתם, מוכנים יותר להתנסות בהוראת הפיזיקה, ופוחדים פחות ללמד את התחום.

התחלות צנועות מראות שלימוד בשיטה זו בחטה"ב מגדיל את מספר בוחרי הפיסיקה בחטה"ע ותורם ללימודי המכניקה המתקדמים. גם מורים בחטה"ע יכולים לנצל גישה זו תוך ביצוע התאמות נדרשות. הגישה יכולה לפתח את יכולת תלמידיהם לנתח ולהסביר תופעות מורכבות מחיי היום-יום באמצעות הפיסיקה וגם לשפר את יכולת פתרון הבעיות הסטנדרטיות.

#### מקורות:

בן צוק, מ. (2001). *אינטראקציה כוחות ותנועה*. המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן למדע.

Halloun, I.A & Hestens, D. (1985). The Initial Knowledge of College Physics Students. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1048.

Hake, R.R. (1998). Interactive-Engagement versus traditional methods: A six thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.

Reif, F. (1995). *Understanding Basic Mechanics*. NY: John Wiley and Sons, Inc.

Van Heuvelen, A. (1991). Overview, Case Study Physics, *American Journal of Physics*, 59 (10), 898-907.

# תרומתו האפשרית של "המודל לשינוי תפיסתי" של פוזנר וחוברי להוראה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון

תמי יחיאלי

## הקדמה

"החוק השלישי של ניוטון הוא לכאורה פשוט: אם גוף א' מפעיל כוח  $\vec{F}$  על גוף ב', אזי גוף ב' מפעיל כוח על גוף א' השווה ל- $\vec{F}$  בגודל ומנוגד לו בכיוון" (רוזן, 2000). למרות הפשטות לכאורה של החוק השלישי של ניוטון, הרי במאמרים רבים המיועדים למורי פיסיקה מצויינים הקשיים הרבים בהם נתקלים אנשים בגילים שונים (מגיל בית ספר ועד למרצים במוסדות להשכלה גבוהה) בהפנמת חוק זה (למשל: בגנו וחובריה, 2004; ינקלביץ, 2000; רוזן, 2000; Brown, 1989; Maloney, 1990).

בבחינת הבגרות בפיסיקה בהיקף של 5 יח"ל בקיץ תשס"ג, הופיעה שאלה המתייחסת לחוק זה (בעיית המשקולת) ומתוך 1115 תלמידים שתשובותיהם נדגמו, רק 42% ענו נכון לשאלה (רק 31% ענו נכון וגם נימקו נכון).

Klaasen & Lijnse (1996) מתארים את ניסיונו של מורה ללמד את החוק השלישי של ניוטון, ובנספח למאמרם מופיע תמליל השיעור (תרגום התמליל מופיע כנספח למאמר זה). שאלת הפתיחה של המורה בשיעורו היא: מהם הכוחות הפועלים על העגלה כאשר היא נמצאת במנוחה על גבי מסילת האוויר שעדיין איננה פועלת? בהמשך השיעור מנסה המורה לשכנע תלמידה כי כשם שהעגלה מפעילה כוח על המסילה כך גם המסילה מפעילה כוח על העגלה. התלמידה אינה משתכנעת, למרות מאמציו הדידקטיים של המורה. המרכז הארצי של מורי הפיסיקה השתמש ב"בעיית המשקולת" שהופיעה בבחינת הבגרות הנ"ל כדי לקיים פעילות מקוונת באתר האינטרנט שלו (בגנו וחובריה, 2004). מטרות הפעילות היו לסייע למורים להכיר את התפיסות השגויות של תלמידיהם, להיחשף למחקרים בהוראת הפיסיקה, להכיר שיטות הוראה חדשות ולהתנסות בהן בעבודתם השוטפת. באתר האינטרנט של המרכז הארצי למורי הפיסיקה הוצעו אסטרטגיות שונות להתמודדות עם קשיי תלמידי תיכון בהבנת חוק זה ובהפנמתו. מועלם ואלון (2005) פיתחו גישת להוראת מכניקה בכלל והחוק השלישי של ניוטון בפרט, לתלמידי חטיבות הביניים. גישה זו משלבת בנייה של מסגרת מושגית עם אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות. מורים וחוקרים אלו ואחרים מודים בכך שכדי ללמוד בצורה משמעותית את החוק השלישי של ניוטון, על התלמיד לעבור תהליך של שינוי תפיסתי מהאינטואיציות היומיומיות שלו למסגרת החשיבה של המכניקה הניוטונית.

מטרתו של מאמר זה היא להציג מסגרת לחשיבה על הבעיות הכרוכות בהוראה משמעותית של החוק השלישי של ניוטון, כמו גם רעיונות דידיקטיים לשיפור הוראת חוק זה, בהתבסס על

המודל לשינוי תפיסתי של Posner וחבריו (1982) שהייתה לו השפעה גדולה מאד על הוראת מושגים מדעיים בעשרים השנים האחרונות<sup>1</sup>.

### המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחבריו

נציג בקצרה את המודל (להצגה מפורטת יותר ראה Posner et. Al, 1982 וכן תרגום ועיבוד המודל אצל יחיאלי ונוסבוים, 1995).

מודל זה נבנה מתוך התבוננות בספרות המקצועית בתחומי ההיסטוריה והפילוסופיה של המדע (כלומר, מחקירת הדרכים שבהן מדענים או קהילות מדעיות מחליפים את תפיסותיהם ואת התיאוריות שלהם), ונראה היה למפתחיו שהוא עשוי להציג את התנאים שצריכים להתקיים כדי שתלמידים הלומדים מדע בבית הספר יעברו תהליך של שינוי תפיסתי - מתפיסות אינטואיטיביות ושגויות לכיוון התפיסות המדעיות ה'מקובלות'. השאלה המרכזית שעליה מנסה המודל לענות היא:

מה מביא אדם לזנוח את התפיסה ה"ישנה" שלו לטובת אימוץ תפיסה "חדשה" ? פוזנר וחבריו טוענים כי קיימים שלושה תנאים המשפיעים על ההתייחסות הסובייקטיבית של אדם אל כל תפיסה. השילוב בין שלושת התנאים הללו קובע האם יש סיכוי שאדם יזנוח את תפיסתו ה'ישנה' ויאמץ תפיסה 'חדשה', או להיפך - ימשיך לדבוק בתפיסתו ה'ישנה' וידחה את התפיסה ה'חדשה' המוצגת בפניו. שלושת התנאים הם:

1. ניתנות להבנה – (Intelligibility).

2. סבירות והתקבלות על הדעת - Plausibility.

3. פוריות – Fruitfulness.

נפרט כל אחד מתנאים אלו וננתח בעזרתם את תהליך הלמידה של החוק השלישי של ניוטון:

**מהי "ניתנות להבנה" – (Intelligibility) – והאם החוק השלישי של ניוטון עומד בתנאי**

**זה?**

לפי מודל זה, אדם יתחיל לבחון תפיסה חדשה (או מושג חדש), רק אם תהיה לו הרגשה שהוא מסוגל להבין את התיאור המילולי של תפיסה זו, לפחות ברמה של הבנה לשונית ראשונית (מעין "הבנת הנקרא"). תחושת הבנה "ראשונית" של המונחים ושל השימוש בהם בתוך משפטים, תיווצר רק אם המונחים יעוררו אצל הלומד משמעות אישית כלשהי (בין אם משמעות זו תואמת את המשמעות המדעית המקובלת, ובין אם היא איננה תואמת אותה). אם יתקיים תנאי מינימלי זה - המשפטים המתארים את התפיסה החדשה ייראו ללומד

<sup>1</sup> במשך עשרים השנים האחרונות התקיימו דיונים רבים בספרות בהוראת המדעים על מודל זה ועל השלכותיו להוראה. מחברי המודל אף הכניסו בו שינויים אחדים, אבל המבנה הבסיסי נשאר, ובמאמר זה נתייחס למבנה הבסיסי של המודל.

במבט ראשוני כטענות שניתנות לטיפול אינטליגנטי על ידו, כלומר, הלומד ירגיש שיש לו סיכוי להבין את התפיסה החדשה. לכן, הוא יהיה מוכן להתייחס אליה ולהמשיך לחשוב עליה. לפיכך, בהקשר לתנאי הראשון של המודל ייתכנו שלוש אפשרויות:

1. המשפט יעמוד בתנאי הראשון והתלמיד יבנה את המשמעות המדעית המקובלת.
  2. המשפט לא יעמוד בתנאי הראשון (משום שאת מהמילים המרכיבות אותו או יותר – אינן מובנות לו, או משום שהמבנה הכללי של המשפט איננו נראה לו תקין). במקרה כזה התלמיד לא יוכל לבנות שום משמעות למשפט, ואז – הוא יתעלם ממנו או ישננו באופן מכני.
  3. המשפט יעמוד בתנאי הראשון, אך התלמיד יבנה משמעות השונה מהמשמעות המדעית המקובלת (ואז תתפתח אצלו "תפיסה שגויה").
- האפשרות הראשונה היא כמובן המצב ה"רצוי", אך לעיתים קרובות המצב המצוי ניתן לאפיון דווקא באמצעות שתי האפשרויות האחרות. נבדוק עתה את החוק השלישי של ניוטון לאור התנאי ראשון של המודל.

**האם החוק השלישי של ניוטון עומד בתנאי הראשון של המודל – תנאי "המובנות"?  
הבאנו לעיל את אחד הניסוחים לחוק השלישי של ניוטון: "אם גוף א' מפעיל כוח F על גוף ב', אזי גוף ב' מפעיל כוח על גוף א' השווה ל-F בגודל ומנוגד לו בכיוון" (רוזן, 2000).  
האם משפט זה מובן?**

במבט ראשון נדמה שהתשובה היא חיובית, שכן כל אחת מהמילים המרכיבות את המשפט הזו מוכרת לתלמידי חטיבת הביניים והחטיבה העליונה (ולכל אדם אחר הדובר עברית), וגם המשפט בכללותו הוא בעל מבנה תקין מבחינה לשונית. אבל, האם המשמעות שהתלמידים יבנו למשפט זה מתאימה למשמעות המדעית המקובלת? סביר להניח שלא. אמנם כל אחת מהמילים המופיעות במשפט הנ"ל מוכרת לתלמידים ומובנת להם, אך למילים המרכזיות במשפט הנ"ל יש משמעויות שונות בשפה היומיומית ובשפה הפיסיקלית, כפי שיודגם בטבלה שלהלן. בטבלה זו תהיה התייחסות למילים "גוף" ו"כוח" ולביטוי "מפעיל כוח":

המילה או הביטוי	משמעותה בשפת יומיום (ע"פ מילון אבן שושן)	משמעותה בפיסיקה
גוף	1. גוויה – החלק המוצק בכל גוף חי הכולל את השלד וכו'. 2. החלק העיקרי בשלד ללא הראש והגפיים. 3. עצם, כל דבר התופס מקום בחלל. ← משמעות זו בלבד. 4. החלק העיקרי במכשיר.	

	5. עיקר הדבר, יסודו. 6. ישות כלשהי (גוף משפטי, גופים וחברות, וכדו')	
אמצעי לשינוי צורתו של גוף ו/או תנועתו.	1. היכולת והכשר הגופני לעבוד, להרים משא. 2. עוז, גבורה, עוצמה. 3. כושר, סגולה, יכולת. 4. הון, רכוש. 5. גוף צבאי וכד'.	<b>כוח</b>
נמצא באינטראקציה עם גוף אחר. אין הפעלה חד צדדית של כוח. כאשר יש אינטראקציה – כל אחד משני הגופים מפעיל כוח על זולתו.	מתנהג באלימות, אקטיבי, יוזם. הפעלת כוח ניתנת תמיד לצפייה. תיתכן הפעלת כוח חד צדדית – כלומר, שגוף אחד בלבד יפעיל כוח.	<b>מפעיל כוח</b>

מעיון בטבלה עולה כי אי אפשר לקבוע בפסקנות שהמשפט "אם גוף א' מפעיל כוח F על גוף ב', אזי גוף ב' מפעיל כוח על גוף א' השווה ל-F בגודל ומנוגד לו בכיוון" עומד בתנאי ה"מוֹבְנוֹת". המורה המלמד את החוק השלישי של ניוטון מעוניין שתלמידיו יאמצו את המשמעות המדעית שלו – כלומר, את הטענה שאם שני גופים נמצאים באינטראקציה – הרי ניתן לייצג את האינטראקציה הזו באמצעות זוג כוחות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם. מתוך מודעות לתנאי הראשון של המודל ניתן לטעון, כי ייתכן מאד שהתלמידים יפרשו את המשפט הזה בצורה יומיומית ותפתח אצלם תפיסה שגויה (אפשרות 3 לעיל). תלמיד עלול לבנות למשפט זה בהכרתו את הייצוג הבא למשל: "המשפט הזה אומר שאם גוף א' מתחיל ללחוץ על גוף ב' – הרי בתגובה גוף ב' מתחיל ללחוץ על גוף א' או שאם גוף א' מפעיל כוח על גוף ב' וגורם לו לתנועה – גם גוף ב' יפעיל כוח על גוף א' ויגרום לו לתנועה" – וזו ודאי אינה המשמעות המדעית המקובלת של משפט זה<sup>2</sup>.

אפשרות זו מציבה בפני המורים קושי רציני. לעתים קרובות אין המורים מודעים לכך שהמשמעות הקיימת בהכרתם של תלמידיהם למושג הנלמד, שונה מהמשמעות המדעית המקובלת, והתלמידים ודאי שאינם מודעים לכך. במקרים אלה, המורים עלולים להניח שהתלמידים אכן מבינים את כוונתם וגם התלמידים עלולים להניח שהם מבינים את כוונת המורה.

<sup>2</sup> ישנן אפשרויות נוספות להבנה יומיומית של המשפט ולא נרחיב בהן כאן. Hewson & Thorley (1989) טוענים כי אנשים רבים רואים את המושג "כח" כתכונה של הגוף (כמו חסידי תיאורית ה-IMPETUS בימי הביניים) אנשים אלו נוהגים לדבר על 'הכח של מכונית נוסעת'.

נעבור עתה לבחינת התנאי השני של המודל – תנאי ההתקבלות על הדעת.

**מהי "ההתקבלות על הדעת" – (Plausibility) – והאם החוק השלישי של ניוטון עומד בתנאי זה?**

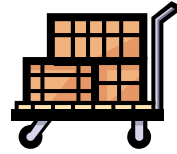
התנאי הראשון של המודל הוא תנאי הכרחי לאימוץ משמעותי של תפיסה מדעית אך איננו תנאי מספיק. כדי שתפיסה שנראית כ"ניתנת להבנה" (כלומר עומדת בתנאי הראשון של המודל), תיחשב על ידי תלמיד כמועמדת לאימוץ משמעותי - עליה להיראות בעיניו גם "הגיונית", "אפשרית במציאות" ו "מתקבלת על הדעת". תפיסה תיראה בעיני התלמיד "הגיונית" מנקודת מבטו, אם התיאור שהיא מציעה, מתיישבת עם הנחות יסוד, עם מושגים, עם עובדות ועם טענות הקיימים כבר בהכרתו. תלמיד לא ישקול אימוץ משמעותי של תפיסה שתיראה לו כנמצאת בסתירה למרכיבי מבנה ההכרה שלו, כלומר בלתי מתקבלת על דעתו. נבחן כעת את החוק השלישי של ניוטון מנקודת המבט של התנאי השני של המודל – תנאי ההתקבלות על הדעת.

הנחת היסוד שלנו בהקשר ללמידת מדע בכלל והחוק השלישי של ניוטון בפרט היא שכל מי שלומד את החוק הזה בפעם הראשונה (ובפרט, תלמידי חטיבות הביניים) מגיע ללמידה זו כשהוא "מצויד" בחשיבה יומיומית. האם החוק הזה עשוי להתקבל על דעתו של אדם המצויד בחשיבה יומיומית ולהיראות לו סביר? נדמה לי שהתשובה היא שלילית בהחלט. נביא להלן כמה דוגמאות.

<p>אם הנושקת לבנה הפעוט. לפי המשמעות המדעית של החוק השלישי של ניוטון, הרי אם זו מפעילה עליו כוח. האם זה זה הגיוני? האם זה מתקבל על הדעת לחשוב שכאשר אם נושקת לתינוקה הפעוט – היא מפעילה עליו כוח? האם זה הגיוני לחשוב שבסיטואציה זו התינוק מפעיל עליה כוח שווה? הרי האם היא היוזמת, מסתה גדולה מזו של התינוק והיא רק מנשקת אותו ואינה מפעילה כוח.</p>	
<p>מכונית הנוסעת על הכביש. האם זה הגיוני לחשוב שהכביש מפעיל כוח על המכונית? מה גורם לו להפעיל עליה כוח?</p>	
<p>ילד מתנהג באלימות כלפי ילד אחר. האם זה הגיוני לחשוב שהילד הנפגע מפעיל כוח על הילד הפוגע? הרי הוא הסובל!</p>	



עגלה עמוסה ארגזים. קל מאד להסכים עם הטענה הארגזים מפעילים כוח ושהעגלה מפעילה כוח על הרצפה. אבל האם זה הגיוני לחשוב שהעגלה מפעילה כוח על הארגזים ושהרצפה מפעילה כוח על העגלה?



אם חושבים על הדוגמאות שהובאו לעיל ועל דוגמאות רבות נוספות במסגרת חשיבה יומיומית – הרי טענות אלו אינן מתקבלות על הדעת. אין זה הגיוני לחשוב שהאם מפעילה כוח על התינוק ובודאי שאין זה הגיוני לחשוב שהוא מפעיל כוח עליה. ניתן להסכים שהמכונת והעגלה מפעילות כוח על הכביש או הרצפה – אך הטענה שגם הרצפה או הכביש מפעילים כוח כלפי מעלה עשויה להישמע כלא הגיונית, והוא הדין בשאר הדוגמאות. כלומר, שתי הטענות הכלולות בחוק השלישי של ניוטון אינן בעלות פוטנציאל להתקבלות על הדעת מנקודת המבט היומיומית:

1. הגוף שאינו יוזם את האינטראקציה גם הוא מפעיל כוח

2. הכוח שמפעיל גוף זה שווה לכוח שמפעיל הגוף ה"יוזם".

חיזוק לאי ההתקבלות על הדעת של החוק השלישי של ניוטון בפרט ושל המכניקה הניוטונית בכלל ניתן למצוא בספרו של יואב בן דב "תורת הקוונטים מציאות ודמיון" (בן דב, 1997):

" תורות הפיסיקה הקלאסית כלל אינן מתאימות לאינטואיציות היומיומיות. אילולא היה

כך - כלומר, אילו התורות האלה אכן היו מתאימות ל"שכל הישר" של רוב בני האדם- אזי סביר שלא היה צריך להמתין עד למאה השבע-עשרה כדי שהן יופיעו במקום מרכזי בתרבות האנושית. למעשה, מחקרים שנערכו בשנים האחרונות מצביעים על כך, שהאינטואיציות הפיסיקליות של תלמידים הנמצאים בתחילת לימודי הפיסיקה בבית הספר סותרות במפורש את עקרונות היסוד של התיאוריות הפיסיקליות הקלאסיות. לדוגמה, האינטואיציה היומיומית מעוררת בנו את הציפיה שגוף כלשהו, ששום כוח פיסיקלי אינו פועל עליו, לא ינוע ממקומו. אולם המכניקה הקלאסית מבוססת על עקרון ההתמדה של גלילאו וניוטון, האומר שגוף שאין פועל עליו שום כוח יכול לנוע בקו ישר ובמהירות קבועה עד אין קץ. לימודי הפיסיקה בבית הספר מבטאים, בין השאר, מעבר מאינטואיציות "טבעיות" למערכת חדשה של אינטואיציות פיסיקליות, שבמסגרתה התלמיד לומד לראות מצבים פיזיים במונחי ההפשטות המתימטיות של התיאוריה הנלמדת. אם המעבר הזה מתבצע בהצלחה, פירוש הדבר הוא שהתלמיד הבין והפנים את דרך החשיבה המתאימה לתיאוריות הקלאסיות של הפיסיקה, המהוות את חלקם העיקרי של לימודי הפיסיקה בבית הספר התיכון" ... במלים אחרות, התיאוריות הקלאסיות של הפיסיקה נראות "טבעיות" ומתקבלות על השכל הישר למי שהאינטואיציות שלו עוצבו בהצלחה על פי התיאוריות האלה עצמן, בתקופת לימודיו בבית הספר".

(בן דב, 1997 עמ' 22-23)

רוזן (2000) מביא במאמרו תפיסות מוטעות וקשיי יישום של החוק השלישי מתוך התנסותו בהוראה ועל סמך מחקרים. אם ננתח את התפיסות המוטעות והקשיים שהוא מציין, ניוכח שהם נובעים מחשיבה יומיומית. התפיסות המדעיות החלופיות (שאותן המורים לפיסיקה היו רוצים שהתלמידים יאמצו) אינן מתקבלות על דעתם של התלמידים.

נפנה עתה לתנאי השלישי – פוריות.

### מהי "פוריות" – והאם החוק השלישי של ניוטון עומד בתנאי זה?

לפי המודל של פוזנר, הרי שכדי שתפיסה תיראה כפוריה - על האדם (הלומד או המדען) להתרשם, כי התפיסה החדשה מסוגלת יותר טוב מאשר התפיסה החלופית להוביל ל:

1. הסבר תופעות רבות יותר,
2. המצאות, טכניקות וטכנולוגיות חדשות,
3. גילוי מידע חדש במחקר,
4. רעיונות "מאתגרים" חדשים,
5. העלאת שאלות מחקר מעניינות חדשות, ועוד.

אם נבחן את החוק השלישי של ניוטון בהקשר לחשיבה יומיומית אין ספק שחוק זה אינו פורה. אבל, הוא עשוי להיתפס כפורה עבור תלמידים גם אם הם לא ממש מבינים אותו וגם אם הוא אינו מתקבל על דעתם. עבור תלמידים כאלו החוק עשוי להיות פורה אם הם הפנימו את בעובדה שהמורה חושב שהחוק השלישי של ניוטון הוא נכון, ולכן אם הם רוצים לענות תשובות נכונות לשאלותיו של המורה, עליהם לאמץ אותו. כפי שהתבטאה תלמידה אחת בתשובה לשאלה: "האם העובדה שהשולחן מפעיל כוח על הספר נשמעת לך הגיונית?" אותה תלמידה ענתה: "האמת שלא. זה באמת לא נשמע לי הגיוני, אבל זה מה שהמורה לפיסיקה לימד וכל פעם שכתבתי את זה בבחנים או במבחנים, קיבלתי את מלוא הנקודות". זוהי כמובן פוריות שאינה ממין העניין ולכן נכנה אותה בשם "פוריות מדומה". פוריות "אמיתית" יכולה להתקיים רק עבור מי שכבר מבין את החוק ותופס אותו כמתקבל על הדעת. אם תלמידים מבינים את המשמעות המדעית של החוק השלישי של ניוטון והוא נתפס אצלם כמתקבל על הדעת הרי אם הם יצליחו להשתמש בו כדי לנתח סיטואציות יומיומיות וכדי לפתור בעיות – הוא ייתפס אצלם כפורה והם ייטו לאמץ אותו בצורה משמעותית.

מהניתוח שנעשה לעיל עולה, אם כן, שהחוק השלישי של ניוטון אינו עומד בשלשת התנאים של המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו. לאור עובדה זו, אין זה פלא שתלמידים מתקשים מאד בלמידה משמעותית של חוק זה.

חוזקו של המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו הוא בעובדה שאין הוא משמש רק כמסגרת לניתוח קשיי תלמידים, אלא שהוא עשוי לשמש כבסיס להצעות דידקטיות להוראה משמעותית של מושגים מדעיים.

### כיצד ניתן ללמד את החוק השלישי של ניוטון בצורה משמעותית?

מועלם ואלון (2005) טוענים כי "יש צורך להקנות לתלמידים בראש וראשונה מסגרת מושגית מתאימה". במאמרם הם מתארים מחקר שערכו על הפעלת יחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" (בן צוק 1998) בחטיבת הביניים. מטרת היחידה הנ"ל היא לבנות מסגרת מושגית ולשפר את רמת הידע וההבנה בפיסיקה של התלמידים בנושאים בסיסיים במכניקה. ממצאי מחקרם של מועלם ואלון מצביעים על כך שלמרות שתלמידים רכשו הבנה בסיסית של המושגים המרכזיים, עדיין התקשו ביישום המושגים לפתרון בעיות שונות ולבניית הסברים. ממצאים אלה הצביעו על כך שאין די במסגרת המושגית וכי יש להקנות בנוסף לכך גם כלים לניתוח תופעות באמצעות מושגים אלה. בעקבות מחקר זה פיתחו מועלם ואלון פעילויות המקנות לתלמידים אסטרטגיה ופרוצדורות לפתרון בעיות במכניקה. הם ליוו את הפיתוח וההפעלה של הפעילויות במחקר שתוצאותיו מצביעות על כך שלתלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת הסבירו וחזו טוב יותר סיטואציות מחיי היומיום מאשר תלמידים אחרים בארץ ובעולם, שלמדו בגישות המסורתיות, וכן חל שינוי חיובי בעמדות המורים והתלמידים כלפי מקצוע הפיסיקה.

לדעתי, יכולה המודעות למודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו (1982) להוסיף מימד נוסף להוראת החוק השלישי של ניוטון ולהגביר את המשמעותיות של הלמידה. הרעיונות שאציג בהמשך אינם באים להחליף את השימוש באסטרטגיות כמו אלו שהוזכרו ע"י מועלם ואלון, אלא להוסיף להם, ולתרום לכך שהתלמידים יאמצו את התפיסה הפיסיקלית בצורה משמעותית יותר.

לרעיונות הדידקטיים שיוצגו להלן יש היבט פילוסופי והיבט פסיכולוגי.

**ההיבט הפילוסופי** – קשור לנושא המכונה בספרות של הוראת המדעים בשם "תדמית המדע" או "ידע על מדע" (The nature of science או The image of science). בעוד שבעבר שלטה בפילוסופיה של המדע התפיסה האמפיריציסטית שטענה כי מטרת המדע היא לגלות את ה"אמת" על העולם ותיאוריות מדעיות הן "אמיתות", הרי היום מקובלת יותר התפיסה הקונסטרוקטיביסטית שלפיה רעיונות מדעיים אינם מתגלים אלא נבנים במוחם של המדענים על סמך אופן ההסתכלות על העולם הנובע מהנחות יסוד מסוימות. לפי גישה זו כל תיאוריה מדעית היא דרך מסוימת להסביר את העולם ושום תיאוריה אינה יכולה להתהדר בתואר "אמת" (ראה הרחבה של ההיבט הפילוסופי בתוך יחיאלי ונוסבוים תשס"ב 2002). ההשלכה הדידקטית של היבט פילוסופי זה היא כי בעוד שבעבר תיאוריות מדעיות הוצגו לתלמידים כ"האמת" על העולם והתלמידים היו אמורים לאמץ אותם מבלי ערעור, הרי שאם מקבלים את ההשקפה הקונסטרוקטיביסטית למהותו של המדע, על התלמידים להבין שישנן דרכים שונות להסתכל על העולם ולהתייחס אליו, והפיסיקה היא אחת הדרכים הללו. דרכי הסתכלות והתייחסות אחרות הן לדוגמה: הספרות, השירה, הציור, האינטואיציה היומיומית, וכדומה. לכל אחת מדרכים אלו יש מאפיינים אחרים ואף אחת מדרכים אלו אינה

עדיפה על זולתה – כולן לגיטימיות<sup>3</sup>. החוק השלישי של ניוטון הוא חלק מתפיסה פסיקלית ומהסתכלות פסיקלית על העולם, והיא שונה מההסתכלות היומיומית על העולם. אין אנו לומדים ומלמדים את הפיסיקה הניוטונית כי היא ה"אמת", אלא משום שזו התיאוריה המקובלת במדע לתיאור תופעות שונות בעולם, ויש להבין שהטענות של תיאוריה פסיקלית זו לא התגלו אלא נבנו במוחו של ניוטון. כדי ללמוד תיאוריה זו בצורה משמעותית – יש ללמוד אותה על רקע הנחות היסוד שלה.

**ההיבט הפסיכולוגי** – ידוע כיום כי תלמידים מגיעים ללמידת כל נושא מדעי עם תפיסות מוקדמות שלעיתים קרובות סותרות את התפיסות המדעיות המקובלות (תופעה זו מכונה בז'רגון של הוראת המדעים בשם "תפיסות שגויות"). ממחקרים רבים שנערכו בארץ ובעולם, מתברר כי כדי שתלמידים יזנחו את תפיסותיהם השגויות ויאמצו את התפיסה המדעית המקובלת אין זה מספיק שיציגו בפניהם את התפיסה המדעית המקובלת, אלא על המורה להפעיל דידקטיקות מיוחדות (להרחבה, ראה למשל: יחיאלי ונוסבוים תשנ"ה 1995). בהקשר לענייננו, התלמידים מגיעים ללמידת פיסיקה בכלל והחוק השלישי של ניוטון בפרט עם תפיסות שגויות רבות (חלק מהן מוזכרות במאמרו של רוזן 2000) שרובן נובעות מאינטואיציות המבוססות על הניסיון היומיומי עם גופים ועם הכוחות שהם מפעילים. כדי שהתלמידים יאמצו בצורה משמעותית את החוק השלישי של ניוטון עליהם לעבור תהליך של שינוי תפיסתי. כדי לעבור תהליך זה בצורה משמעותית על התלמידים להיות מודעים לכך שהתפיסות הקיימות אצלם אינן מתאימות ולהבין מדוע עליהם להחליפן בתפיסות אחרות. המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו יכול לספק למורים תובנות לגבי התהליך שתלמידיהם מצופים לעבור, והנחיות דידקטיות לעידוד תהליך זה. תובנות והנחיות אלו אינן באות להחליף את הפעילויות שהציעו בן צוק (1998) ומועלם ואלון (2005), אלא לפרש ולארגן אותן במסגרת החשיבתית של המודל לשינוי תפיסתי. מן הכתוב לעיל מתברר כי העובדה שהחוק השלישי של ניוטון אינו עומד בשלשת התנאים של המודל לשינוי תפיסתי היא מכשול הניצב בפני אימוץ משמעותי של חוק זה. נבחן כעת מה יש לעשות כדי שחוק זה אכן יעמוד בשלושת התנאים של המודל.

**כיצד ניתן לגרום לכך שהחוק השלישי של ניוטון יעמוד בתנאי הראשון - תנאי המובנות?**  
 לשם כך על המורה להיות מודע בעצמו ולהבהיר לתלמידים שישנם מושגים רבים שיש להם משמעות שונה בשפת המדע ובשפת יומיום. על התלמידים להבין כי בכל הקשר ראוי להשתמש במושג הרלבנטי להקשר זה ואין המושג המדעי בא להחליף את המושג היומיומי, אלא רק בהקשר המדעי. הבהרה זו יכולה לשרת את הלמידה המשמעותית של מושגים

3 אין הכוונה להציג כאן גישה פוסטמודרנית קיצונית לפיה "הכל הולך" – אלא לטעון שקיימות צורות הסתכלות שונות והן מייצגות את הדיסציפלינות המקובלות בחברה.

מדעיים רבים (ראה יחיאלי תשנ"ה, תשנ"ז). כדי שהתלמידים יאמצו את המשמעות המדעית של המושגים "כוח" ו"הפעלת כוח" - מומלץ להעלות לדיון בכיתה את משמעות מושגים אלו לגבי התלמידים (באמצעות דיון כיתתי, דיון בזוגות או בקבוצות, באמצעות כרטיסיות או באמצעות כל אסטרטגית הוראה אחרת). אחרי שהתלמידים יבהירו לעצמם מה הם מבינים כשאומרים "כוח" ו"הפעלת כוח" – על המורה להציג בפניהם את המשמעות המדעית של מושגים אלו. הרעיון של הצגת המושג "אינטראקציה" כמסגרת מושגית להצגת המושג "כוח" (המופיע למשל אצל בן צוק, 1998; רוזן, 2000; The Physics Classroom ובמקורות נוספים) נראה לי רעיון טוב מאד. סביר להניח שלא יהיה לתלמידים קושי להבין ולהפנים את הרעיון שבכל 4 הדוגמאות שצויינו לעיל בתחילת מאמר זה (אם המנשקת את תינוקה, מכונת הנעה על כביש, ילדים רבים, פטיש ומסמר, ארגזים על עגלה) מתרחשת אינטראקציה בין כל שני גופים. לאחר שהתלמידים ישימו לב לאינטראקציות שבכל אחת מהדוגמאות הנ"ל – אפשר להציג את התפיסה הפיסיקלית של המושג "כוח" ולציין שלמושג "כוח" בפיסיקה יש משמעות שונה מאשר המשמעות היומיומית. "כוח" בפיסיקה נובע מאינטראקציות בין גופים והוא אמצעי שבהם משתמשת הפיסיקה לתיאור אינטראקציות אלו ולטיפול מדעי בהן. כל פעם שישנה אינטראקציה בין שני גופים – הפיסיקה "טוענת" כי על כל אחד מהגופים פועל כוח באותו גודל אך בכיוון שונה. כדאי גם להרחיב ולציין שלא תמיד מבחינים בתוצאות של הפעלת הכוחות הללו (למשל: בדוגמא של הארגזים על העגלה – המצב הוא סטאטי ואין שום שינויים, ואעפ"כ בהתאם להסתכלות הפיסיקלית על מצב זה – פועלים שם כוחות). חשוב מאד שהמורה לא ישלול את ההתייחסות היומיומית למושג "כוח" אלא יבחין בינה לבין ההתייחסות הפיסיקלית. על המורה להתייחס באמפתיות ובהבנה לתפיסה היומיומית (שכן גם הוא משתמש בה כשהוא נמצא בסיטואציות יומיומיות), שהרי מושגים הם "כלי חשיבה" ובכל "כלי" משתמשים בהקשר המתאים לו<sup>4</sup>.

בסוף שלב זה על המורה לבדוק האם התלמידים מבינים את החוק השלישי של ניוטון כפי שהוא מבין אותו. כלומר, שכאשר אנו מסתכלים על אינטראקציה בין שני גופים, היא יכולה לגרום לשינוי תנועה ו/או לשינוי צורה של אחד משני הגופים או של שניהם. אבל גם כאשר שום שינוי אינו נראה לעין (כמו למשל כאשר ספר מונח על שולחן) – אפשר לדבר על האינטראקציה שבין הספר לשולחן ואת האינטראקציה הזו מתארים בפיסיקה באמצעות המושג הפיסיקלי "כוח" (השונה מהמושג היומיומי).

<sup>4</sup> פרק א' "כוחות" בספרם של גלילי ועובדיה (תשנ"ה 1995) עוסק במשמעויות היומיומיות והמדעיות של המושג "כוח", אבל לדעתי הוא לא נותן מספיק לגיטימציה להמשך השימוש במשמעויות היומיומיות של המושג בהקשרים יומיומיים. בהקשר למושג היומיומי כתוב "לכל אחד יש תחושה אינטואיטיבית מהו כוח" ואילו בהקשר למושג המדעי כתוב "למושג כוח כפי שהוא מקובל בשפת המדעים המדויקים, יש משמעות שונה מהמשמעות אותן הבאנו בדוגמאות שלעיל". התלמיד עלול לחשוב שהספר מדריך אותו להחליף את המושגים היומיומיים שהם פרי אינטואיציה במושג המדעי שהוא "מדויק".

ה"ניתנות להבנה" של תפיסה - היא תנאי ראשוני והכרחי לכך שתלמיד יאמץ תפיסה זו, שכן תפיסה שאיננה ניתנת להבנה – איננה יכולה להיות מאומצת בצורה משמעותית. תנאי זה כמובן איננו מספיק - חייב להצטרף אליו התנאי השני של המודל – ההתקבלות על הדעת.

### **כיצד ניתן לגרום לכך שהחוק השלישי של ניוטון יעמוד בתנאי השני - תנאי ההתקבלות על הדעת?**

לאחר שהתלמידים מבינים שכאשר המורה אומר את המשפט "אם גוף א' מפעיל כוח F על גוף ב', אזי גוף ב' מפעיל כוח על גוף א' השווה ל-F בגודל ומנוגד לו בכיוון" הוא מתכוון לכך שכאשר שני גופים נמצאים באינטראקציה, הפיסיקה מתארת את האינטראקציה הזו באמצעות זוג הכוחות ההדדיים שהגופים מפעילים זה על זה – תפקידו של המורה לגרום למשפט זה להתקבל על דעתם של התלמידים. משימה זו אינה פשוטה כי על פניו – משפט זה אינו מתקבל על דעתם של תלמידים (כפי שהראינו לעיל).

מה אם כן ניתן לעשות?

בשלב ראשון – לשאול את התלמידים: האם החוק השלישי של ניוטון נראה לכם הגיוני? האם הוא מתקבל על דעתכם? קשה לזלזל בחשיבותן של שאלות אלו. הן נותנות לתלמידים לגיטימציה לבטא את יחסם לחומר הנלמד. אינני זוכרת שהמורים שלי לפיסיקה שאלו אותי אי פעם האם מה שהם מלמדים אותי נשמע לי הגיוני. התחושה היתה שאם דבר מסויים כתוב בספר הלימוד או נאמר על ידי המורה – הרי שזה חייב להיות הגיוני, ולא ניתן הזדמנות ולגיטימציה לבחון האם הדברים הנלמדים מסתדרים עם הידע הקודם של התלמידים. אם המורה יצור בכיתה אוירה שתאפשר תלמידים להביע את תחושותיהם בכנות – הרי סביר להניח שיהיו תלמידים רבים שיודו כי מנקודת מבטם החוק השלישי של ניוטון אינו הגיוני ואף ידעו לגבות את דבריהם בנימוקים שונים (למשל: "זה לא הגיוני שהתינוק מפעיל כוח על האם הרי הוא לא עושה דבר!"). אמצעי דידקטי נוסף להעלאת תנאי "ההתקבלות על הדעת" לדיון בכיתה, הוא הצגה בכתב או בע"פ של דברי תלמידים הטוענים שהחוק השלישי של ניוטון אינו נשמע להם הגיוני ועידוד התלמידים לבדוק את התייחסותם לדברים אלו ולהביע התייחסות זו (למשל: המורה עשוי לומר בכיתה: "תלמיד בכיתה אחרת טען שמה שאמרתי כעת אינו נשמע לו הגיוני. מה דעתכם?")<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> רעיונות נוספים לעיסוק בנושא ה"הגיוניות" של התפיסה הנלמדת:

א. ניתן למשל לתת לתלמידים לקרוא קטעים מתמליל השיעור המצוטט במאמרם של Klaasen & Lijnse (1996) והמופיע כנספח למאמר זה ולבקש את התייחסותם למתרחש בשיעור זה.  
 ב. ניתן לתת לתלמידים דף עם ציטוטים של דברי תלמידים ולבקש מהם להביע את התייחסותם. במנגנון כזה נעשה שימוש בספר הלימוד "ריק וחלקיקים" (נוסביום תשס"א 2000) בעמודים 81, 93, 107, 114 ואחרים.

לאחר שהתלמידים יביעו את תחושותיהם – חשוב מאד שהמורה יפגין **אמפתיה קוגניטיבית**<sup>6</sup> כלפי תחושות אלו ויאמר כי הוא מבין מדוע התלמידים חושבים שהחוק אינו הגיוני, הרי זה מנוגד לאינטואיציות היומיומיות. בחיי יומיום אנחנו לא נאמר כי התינוק מפעיל כוח על האם ולא נאמר שהמסמר מפעיל כוח על הפטיש, ואם כבר נסכים שהתינוק מפעיל כוח על האם – הרי לא נעלה בדעתנו כי הכוח שהתינוק מפעיל על האם שווה לכוח שהאם מפעילה על התינוק! המורה יכול לגם לרמוז על התהליך שהוא עצמו עבר באימוץ משמעות של החוק השלישי של ניוטון.<sup>7</sup>

התייחסות אמפתית זו של המורה חשובה מאד לתהליך הלמידה של תלמידיו, שכן היא נותנת לגיטימציה לתחושותיהם של התלמידים, מאפשרת להם להתבטא בכיתה בחופשיות ללא חשש ומספקת גם תמיכה, עידוד ומוטיבציה להמשך הלמידה. בשלב זה מומלץ מאד שהתלמידים ייחשפו להדגמות שונות (כמו אלו המופיעות אצל: בן צוק 1998, רוזן, 2000, מועלם ואלון 2005 ובמקומות נוספים) היכולות לעזור להם להתמודד עם אי ההתקבלות על הדעת של ההיבטים השונים של החוק השלישי של ניוטון. מומלץ שכל הדגמה תתחיל בהצגת קושי ספציפי בליווי אמפתיה לקיומו של קושי זה ותוצג כניסיון משותף של המורה והתלמידים להתגבר על הקושי. לאחר ההדגמה חשוב שהתלמידים יתייחסו לשאלה: האם הדגמה זו עזרה להם להתגבר על הקושי ולאמץ את הרעיון המדעי המקובל? לבסוף – רצוי שהתלמידים יתנסו בפתרון בעיות על סמך הבנתם החדשה. בטבלה הבאה יוצגו דוגמאות לכמה היבטים שונים של החוק השלישי של ניוטון, תוך בחינת התקבלותם על הדעת ובליווי כמה הצעות לפעילויות כדי להתמודד עם קשיים אלו<sup>8</sup>:

הרעיון הנלמד	הקושי באימוץ הרעיון או מדוע הוא לא מתקבל על הדעת?	הפעילות המוצעת להתמודדות עם קושי זה	פעילויות נוספות
כל מגע עם גוף אחר הוא בעצם אינטראקציה	בחיי יומיום ישנן פעולות שמתייחסים אליהן כפעולות חד צדדיות (למשל: נשיקה, הכאה, דחיפת קיר וכדומה)	<b>מתן אמפתיה קוגניטיבית ולאחר מכן</b> הצגת השקפתה של הפיסיקה על מגע בין גופים: המושג "אינטראקציה" מתייחס לשני הגופים ללא קשר ל: הבדלי הגודל שבין הגופים, לשאלה: מי יזם את המגע? לכוונת יזם המגע, לתוצאת המגע וכו'. העלאת המודעות לכך שאי אפשר לגעת בגוף מבלי שהוא יגע בגוף הנוגע בו.	תרגול התפיסה החדשה על סיטואציות יומיומיות נוספות (למשל: על ידי הצגת איורים של סיטואציות של אינטראקציות וציון הגורמים המשתתפים בכל אינטראקציה).

<sup>6</sup> באומרנו שעל המורה להפגין "אמפתיה קוגניטיבית" הכוונה היא לכך שהמורה יבין את קשייו של התלמיד, יפגין הזדהות עם קשיים אלו ויעניק לתלמיד תמיכה רגשית וקוגניטיבית להתמודדות עם הקושי הספציפי (במקרה זה: אימוץ משמעותי של החוק השלישי של ניוטון).

<sup>7</sup> הכוונה היא להתבטאויות כגון: "גם אני חשבת כי כמכם וגם לי היה קשה מאד להסכים עם החוק השלישי של ניוטון. מה ששכנע אותי היה...".

<sup>8</sup> הפעילויות לקוחות מהיואייט (1997), בן צוק (1998), רוזן (2000), מועלם ואלון (2005). בטבלה מובאות רק כמה הצעות כדי להדגים את הגישה ואין הן מערכי שיעור.

פעילות המשך	הפעילות המוצעת להתמודדות עם קושי זה:	הקושי באימוץ הרעיון או מדוע הוא לא מתקבל על הדעת?	הרעיון הנלמד
<p>תרגול התפיסה החדשה על הסיטואציות היומיומיות שתורגלו לעיל (למשל, ע"י הוספת חץ אחד מכיוון של יזם הפעולה או הגורם האקטיבי לכיוון הגורם הפסיבי).</p>	<p><b>מתן אמפתיה קוגניטיבית ולאחר מכן</b> פיתוח נוסף של המושג הפיסיקלי "אינטראקציה". המושג "כוח" בפיסיקה הוא הכלי שבאמצעותו הפיסיקה מנתחת אינטראקציות והוא אינו קשור ליוזמה, לאלומות, או לרצון לפגוע. כשאם נושקת לתינוקה היא לא רוצה להזיק לו. אבל הפיסיקה משתמשת במושג "כוח" כדי לתאר ולנתח את המגע שלה עם תינוקה.</p>	<p>בניח שהתלמיד כבר התרגל לרעיון שאי אפשר לגעת בגוף מבלי שהוא יגע בגוף הנוגע בו. הרעיון שבכל מגע כזה מופעל כוח – עלול להתפס אצלו כלא הגיוני, שכן בחיי יומיום לא נאמר שאם הנושקת לתינוקה – מפעילה עליו כוח!</p>	<p><b>הפיסיקה מתארת אינטראקציות באמצעות כוחות</b></p>
<p>תרגול התפיסה החדשה על הסיטואציות היומיומיות שתורגלו לעיל (למשל ע"י הוספת חץ נוסף לכל אינטראקציה – שיוביל מהגורם הפסיבי לכיוון הגורם האקטיבי). מומלץ להשתמש בכלי החשיבה הראשון ("אפיון מערכת") המופיע במאמרם של מועלם ואלון (2005).</p>	<p><b>מתן אמפתיה קוגניטיבית ולאחר מכן</b> פיתוח נוסף של המושג הפיסיקלי "אינטראקציה". כדי לומר שהתינוק מפעיל כוח על האם - אין צורך לייחס לו יוזמה. כאשר יש מגע בין התינוק לבין האם, לא רק התינוק מרגיש את האם – גם האם מרגישה את התינוק והרגשה זו מתורגמת בפיסיקה לכוח. כמו כן, ההתנגדות של הקיר לדחיפה של הילד (שאותה חש הילד) מתוארת בפיסיקה במונחים של כוח. כדאי לחזור ולהדגיש כי המושג "כוח" בפיסיקה אינו תלוי ביוזמה.</p>	<p>בניח שהרעיון שכאשר אם נושקת לתינוקה היא מפעילה עליו כוח – כבר התקבל על דעתו של התלמיד. הרעיון שגם התינוק מפעיל כוח על האם – עלול להישמע לו כלא הגיוני. הרי הוא לא יזם את המגע ביניהם והוא הרבה יותר קטן מהאם! כמו כן – הרעיון שכאשר הוא דוחף קיר – הקיר דוחף אותו בחזרה – גם כן לא ישמע לו הגיוני. הוא עשוי לומר שהקיר מתנגד, או שהוא "סתם שם!".</p>	<p><b>בכל אינטראקציה מופעלים שני כוחות</b></p>
<p>תרגול התפיסה החדשה על הסיטואציות היומיומיות שתורגלו לעיל (הוספת חץ נוסף השווה בגודלו ומנוגד בכיוונו לחץ הקודם). מומלץ להשתמש בכלי החשיבה השני ("מערכות לגופים נבחרים") המופיע במאמרם של מועלם ואלון (2005).</p>	<p><b>מתן אמפתיה קוגניטיבית ולאחר מכן</b> ביצוע מספר הדגמות שיכולות לשמש כאנלוגיה לסיטואציות האם והתינוק, ולהדגים את העובדה שהכוחות הפועלים בין שני גופים באינטראקציה הם אמנם שווים גודלם, ללא תלות בהבדלי הגודל, המהירות, והיוזמה שביניהם. למשל: 1. בריון וחלשלוש מושכים שני מדי-כוח מחוברים (עמ' 53 אצל בן צוק 1998) 2. לוחצים שני מדי-משקל המוצבים "גב לגב" אל שולחן ומשווים קריאה ביניהם: האחד מראה את הכוח שמפעיל האדם על השולחן והשני מראה את הכוח אותו מפעיל השולחן על האדם. 3. ילד נותן מכה לקיר. עוצמת ההתנגדות או הכאב שהוא חש תלויים בעוצמת המכה. אם הוא חש התנגדות חזק יותר או כאב גדול יותר כשהוא מכה את הקיר בחוזק גדול יותר – הרי במונחים פיסיקליים נהוג</p>	<p>אם התלמיד כבר מוכן לאמץ את הרעיון שגם התינוק מפעיל כוח על האם, סביר להניח כי הוא יסכים שכוח זה פועל בכיוון הפוך לכוח שהאם מפעילה על תינוקה. אבל הרעיון שכוח זה שווה בגודלו לכוח שהאם מפעילה על התינוק עלול לא להתקבל על דעתו! כמו כן העובדה שהקיר מפעיל כוח על הילד הדוחף אותו עלולה להישמע לו לא הגיונית משום שהקיר הוא דומם והוא סביל!</p>	<p><b>שני הכוחות המופעלים בכל אינטראקציה הם שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם</b></p>



	לומר שבמקרה זה הכוח שהוא מפעיל על הקיר וגם הכוח שהקיר מפעיל עליו הם גדולים יותר.		
תרגול התפיסה החדשה על הסיטואציות היומיומיות שתורגלו לעיל באמצעות כלי החשיבה השני "ממערכות לגופים נבחרים" המופיע במאמרם של מועלם ואלון (2005).	<b>מתן אמפתיה קוגניטיבית ולאחר מכן</b> שימוש באמצעי הוראה המעודדים את התלמידים לעבור מהתבוננות במערכת בת שני גופים הנמצאים באינטראקציה למערכת של אחד משני הגופים ולניתוח כל הכוחות החיצוניים הפועלים עליו. מטרת הפעילות הזו היא להביא למודעותם של התלמידים שתוצאות האינטראקציה תלויות בכוחות הנוספים הפועלים על כל גוף (מומלץ להשתמש בכלי החשיבה השני "ממערכות לגופים נבחרים" המופיע במאמרם של מועלם ואלון (2005).	זהו היבט נוסף של הקושי הקודם. הרעיון שהכוחות שווים בגודלם עלול לא להתקבל על הדעת משום שתוצאות האינטראקציה עשויות להיות שונות בהקשר לגופים השונים המשתתפים באינטראקציה. לדוגמה: אם בריון וחלשלוש מושכים שני מדי-כוח מחוברים (עמ' 53 אצל בן צוק 1998) – ושני מדי הכוח מראים אותה קריאה – מדוע בריון מצליח למשוך את חלשלוש לכיוונו?	<b>למרות שבאינטראקציה מופעלים כוחות שווים – הרי תוצאת האינטראקציה עשויה להיות שונה ותלויה במאפייני כל אחד מהגופים (למשל: במסתו, במהירותו, בחומר ממנו הוא עשוי וכדומה).</b>

מטרת כל ההתערבויות שצוינו בטבלה זו, כמו גם של התערבויות אחרות, היא לגרום לכך שהיבטיו השונים של החוק השלישי של ניוטון יתקבלו על דעתם של התלמידים. חשוב לזכור שהמורה לא יכול להחליט ולקבוע שהחוק יתקבל על דעתם של תלמידיו. התלמידים הם אלו שצריכים לתת דין וחשבון על מידת ההתקבלות על הדעת של החוק הזה. הוראה דיאלוגית בשיטת "המשא ומתן הכיתתי" (ראה יחיאלי ונוסבוים, תשס"ב 2002 ב') המאופיינת באווירה פתוחה, מקבלת ותומכת, עשויה לעזור למורה לאבחן את הבעיות של תלמידיו באימוץ משמעותי של החוק השלישי של ניוטון ולעזור לתלמידיו לאמץ חוק זה בצורה משמעותית.

### **כיצד ניתן לגרום לכך שהחוק השלישי של ניוטון יעמוד בתנאי השלישי- תנאי הפוריות?**

אנו מעוניינים כמובן בפוריות מבחינה אינטלקטואלית ולא בפוריות מדומה כי שצויין לעיל. לאחר שהחוק השלישי יעמוד בשני התנאים הראשונים של המודל – תנאי המובנות ותנאי ההתקבלות על הדעת - רצוי להציג בפני התלמיד סיטואציות יומיומיות שונות. התלמיד ייווכח שיש בידי כלים מתאימים לניתוח סיטואציות אלו ולהבנת המתרחש בהן (דוגמאות רבות מופיעות במקורות שצוינו לעיל).

### **לסיכום:**

מטרתו של מאמר זה היתה להדגים את היתרונות שבמודעות למודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו (1982) לעידוד הלמידה המשמעותית של החוק השלישי של ניוטון. הרעיונות הדידקטיים המובעים במאמר זה מבוססים על פעילויות לימודיות מעניינות ומשמעותיות שפותחו בידי מורים וחוקרים.

**תודות:**

ברצוני להודות לרוני מועלם שגישתו להוראת החוק השלישי של ניוטון כפי שהוצגה בהשתלמות המורים "מי מפחד מפסיקה?" בקיץ תשס"ו במכון דוידזון, היתה השראה לכתיבת מאמר זה.

**ביבליוגרפיה:**

בגנו, א. אלון, ב.ש. ולוי, ס. (2004) השימוש באתר אינטרנט ככלי להתפתחות מקצועית של מורים לפסיקה. **פיסיקהפלוס - המגזין המקוון של החברה הישראלית לפסיקה, גליון מספר 2**

נדלה ב-23.7.06 מ:

[http://physicaplus.org.il/zope/home/he/2/edu\\_internet](http://physicaplus.org.il/zope/home/he/2/edu_internet)

בן דב, י. (1997). **תורת הקוונטים מציאות ומסתורין**. תל אביב: דביר.  
בן צוק, מ. (1998). **אינטראקציה וכוחות – פרק א'**. המחלקה להוראת המדעים, מכון וייצמן למדע.

גלילי, י. ועובדיה, ד. (1995). **יסודות הפסיקה**. תל אביב: מאור.

היואיט, פ. ג (1997). **פיסיקה לכל**. ירושלים: מכון ברנקו וייס.

יחיאלי, ת. (1994). חיבורו של דני, או האם צריך לדבר בשפת ה-Sc? **עלון למורי הביולוגיה, 139, 67-73**.

יחיאלי, ת. (1996). שימוש ביקורתי במילון על ידי המורים למדעים. **דפים 24**, מכון מופ"ת.

יחיאלי ת. ונוסבוים י. (1995). **תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים**. תל-אביב: מכון מופ"ת.

יחיאלי, ת. ונוסבוים, י. (2002 א). תדמית המדע העכשווית והשלכותיה ללמידת המודל החלקיקי של החומר. בתוך: **"ריק וחלקיקים" – מדריך למורה**. רחובות: הוצאת מטמו"ן מכון ויצמן למדע.

יחיאלי, ת. ונוסבוים, י. (2002 ב). "משא ומתן כיתתי" כשיטת הוראה קונסטרוקטיביסטית" בתוך: **"ריק וחלקיקים" – מדריך למורה**. רחובות: הוצאת מטמו"ן מכון ויצמן למדע.

ינקלביץ מ. (2000). ניסויים אחדים להדגמת החוק השלישי של ניוטון. **תהודה, 21(2), 30-32**

מועלם, ר. ואלון, ב.ש. (2005). פיסיקה עם חיוך בחטה"ב: כיצד להסביר תופעות בעזרת אסטרטגיה "איכותית" לפתרון בעיות. **תהודה 25 (1)**.

נוסבויים, י. (2000) "ריק וחלקיקים". רחובות: הוצאת מטמו"ן מכון וצמן למדע.

רוזן ע. (2000), החוק השלישי של ניוטון – קשיי תלמידים ודידקטיקה. **תהודה**, (3)20, 33-38.

Brown, D. (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, **24**, 353-358.

Hewson, P. W. & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science E*, **v.11**, special issue, 541-553.

Klaasen, C.W.J.M & Lijnse, P.L. (1996). Interpreting Students' and Teachers' Discourse in Science Classes: An Underestimated Problem? *Journal of Research in Science Teaching*, **v. 33**, n. 2 pp. 115-134.

Maloney, D. (1990). Forces as interactions. *The Physics Teacher*, **28**, 386-390.

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.

Newton's third law of motion, The Physics Classroom, Glenbrook South High School in Glenview, Illinois. Retrieved 23/7/06 from:

<http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/newtlaws/u2l4a.html>

## נספח:

### תמליל של שיעור במכניקה\*

בשיעור הקודם הכתה צפתה בסרט וידיאו שעסק בכוחות הפועלים בתנועה מעגלית. התמליל שלהלן מתחיל עם המורה אשר מתכוון לסכם את סרט הוידאו באמצעות מסילת האוויר. שאלת הפתיחה שלו היא: מהם הכוחות הפועלים על העגלה כאשר היא נמצאת במנוחה על גבי מסילת האוויר שעדיין איננה פועלת? מטרת שאלה זו היא פשוט להזכיר לתלמידים (מה

\* לקוח מהמאמר:

Klaasen, C.W.J.M & Lijnse, P.L. (1996). Interpreting Students' and Teachers' Discourse in Science Classes: An Underestimated Problem? *Journal of Research in Science Teaching*, **v. 33**, n. 2 pp. 115-134.

מתורגם על ידי תמי יהיאלי

שאמור להיות מאד מוכר להם) את הכוחות הסטטיים הפועלים במצב זה. אחר כך התרחש הדיון הבא שערך כ- 20 דקות.

1. המורה: סרט הוידיאו בו צפינו היה על כוחות הפועלים בתנועה מעגלית. טוב, כאן (מצביע על העגלה הנמצאת על המסילה) יש לי מעין עגלה. אני רוצה ראשית, לשאול: מהם הכוחות הפועלים עליה? תנסו לענות: אלו כוחות אתם חושבים שפועלים כרגע? האם בכלל פועלים אלו שהם כוחות?
2. אריק: גרביטציה
3. המורה: אריק אומר גרביטציה. לו הכוח היחידי שהיה פועל היה כוח הגרביטציה, מה היה קורה?
4. אריק: במקרה כזה היא הייתה יורדת למטה.
5. המורה: במקרה כזה היא הייתה יורדת למטה. ארני, אלו כוחות אחרים יכולים לפעול כאן?
6. ארני: אה...טוב....
7. המורה: מה מונע ממנה ליפול למטה?
8. ארני: המסילה.
9. המורה: נכון, המסילה. אז המסילה חייבת להפעיל כוח נגדי למנוע מהעגלה מליפול למטה. רק לצורך השלמה: אריק, באיזה כיוון פועל כוח הגרביטציה?
10. אחד התלמידים צוחק - למעלה.
11. אריק: לא נכון, למטה.
12. המורה: אז, אורסון, הכוח שהמסילה מפעילה הוא כלפי מעלה, נכון?
13. ג'יין: איך זה?
14. אורסון: אחרת העגלה הייתה נופלת למטה.
15. המורה: הוא אומר שאחרת העגלה הייתה נופלת למטה. אז אם העגלה לא הייתה נחה על המסילה ואני הייתי מפיל אותה, אז היה פועל עליה רק כוח הגרביטציה והיא הייתה נופלת. אם המסילה רוצה לעצור אותה, אז היא חייבת לדחוף את העגלה כלפי מעלה.
16. ג'יין: אבל המסילה איננה דוחפת, נכון?
17. המורה: המסילה איננה דוחפת?

18. ג'יין: לא...
19. אורסון: המסילה היא סתם שם.
20. ג'יין: ...היא סתם שם.
21. (כמה תלמידים ממלמלים דברים כמו: "אל תעשי מזה עסק, קבלי את מה שהמורה אומר וזהו")
22. המורה: אם תפילי את העגלה, היא תיפול כלפי מטה; יהיה כוח שיפעל עליה.
23. ג'יין: בטח, אם המסילה לא תהיה שם
24. המורה: טוב. אם תשימי את העגלה על האצבעות שלך... אינני יכול להוריד את העגלה מן המסילה ( המורה מנסה להוריד את העגלה ממסילת האוויר ואיננו מצליח. הוא לוקח משקולת קטנה כתחליף) זה אותו דבר עם המשקולת הזו, נכון? אם תפילי אותה, היא תיפול למטה. עכשיו אם אני רוצה למנוע ממנה מליפול (שם את המשקולת על קצות האצבעות שלו). היות וזה משקל נמוך, לא מרגישים אותה כל כך. אבל אם תשימי משקל כבד על האצבעות שלך, תרגישי אותה.
25. ג'יין: נכון.
26. המורה: זה יקרה משום שתצטרכי להפעיל כוח נגדי. אז את תצטרכי ל...
27. ג'יין: בטח, אם אתה עושה זאת בעצמך.
28. המורה: אם אשים משקל כבד כאן, אז האצבעות שלי יתכופפו כלפי מטה. אם ארצה שהן תשארנה במקומן, אצטרך לדחוף את המשקולת כלפי מעלה. המסילה עושה אותו דבר, אלא שאנחנו איננו מבחינים בכך. איננו מבחינים בכך שהמסילה עושה את זה. המסילה הרי איננה זזה...
29. קרל: כן, אבל המסילה לא יכולה לדחוף כלפי מעלה, נכון?
30. המורה: ... לא, המסילה עושה את זה בדיוק באותה צורה.
31. קרל: כן, אבל המסילה לא יכולה לעשות את זה, נכון?
32. המורה: הן כן, היא יכולה לעשות בדיוק את זאת.
33. קרל: אתה יכול לדחוף כלפי מעלה עם האצבעות שלך, אבל המסילה לא יכולה.
34. המורה: אני אנסה לקחת משהו אחר, משהו יותר גמיש מאשר המסילה ( מביא חתיכת ספוג ושם אותה לפניו). טוב, אז עכשיו אני אנסה לשכנע אתכם שהמסילה באמת מפעילה כוח כלפי מעלה. אני הסכמתי עם אורסון, ג'יין לא הסכימה איתו. בואו נראה אם נוכל להגיע להסכמה (שם את המשקולת הקטנה על הספוג ששוקע פנימה

- מעט). אם אני שם את הדבר הזה כאן, הספוג נדחף פנימה, נכון? טוב, בעצם, אני צריך משהו יותר כבד...
35. ג'יין: הו, אני מאמינה לך גם כן.
36. המורה: כן? אז את בעצם מסכימה לזה (צחוק). אז הספוג יידחף פנימה אם תשימי עליו משהו כבד, ואם לא נשים עליו משהו כבד, אלא נדחוף אותו פנימה ונרפה (עושה כך עם אצבע). מה יקרה אז?
37. ג'יין: זה יעלה למעלה שוב.
38. המורה: זה יעלה למעלה שוב. למה?
39. ג'יין: משום שאין שום דבר עליו.
40. המורה: נכון, אבל מה זה עושה במקרה כזה, כאשר הוא עולה למעלה? במקרה כזה הוא דוחף כלפי מעלה, לא כן?
41. ג'יין: מה?
42. המורה: במקרה כזה הספוג ידחוף כלפי מעלה, נכון?
43. ג'יין: לא, הוא סתם יחזור למצב הקודם.
44. תלמידים מאבדים את סבלנותם וטוענים שג'יין היא סתם עקשנית)
45. ג'יין: לא אינני חושבת שזה שייך לעניין.
46. המורה: את לא חושבת? אני דוחף את הספוג פנימה, אני שם עליו משהו, והספוג דוחף אותו כלפי מעלה. זאת אומרת שיש כאן כוח כלפי מעלה.
47. ג'יין: אני חושבת שזה מאד מאד משונה.
48. המורה: באמת?
49. ג'יין: כן, זה לא...טוב...לא, זה לא כוח. אינני חושבת שזה באמת כוח.
50. המורה: אם את רוצה לדחוף משהו כלפי מעלה, אז למטרה זאת תצטרכי להפעיל כוח. ועכשיו ( דוחף את המשקולת לתוך הספוג ומרפה ומאפשר לספוג לחזור חזרה) הספוג נדחף פנימה והוא דוחף את המשקולת כלפי מעלה.
51. ג'יין: או ק"י.
52. המורה: אבל את לא חושבת שזה כוח.
53. ג'יין: נכון.

54. המורה: את לא חושבת שזה כוח. אבל זה אותו דבר, לא כן? והאם את חושבת שזה כוח כאשר זה נופל למטה?
55. ג'יין: בטח, זו גרביטציה.
56. המורה: אז, התנועה כלפי מטה נובעת מכוח, אבל אם זה נע כלפי מעלה (מאפשר שוב לספוג לדחוף את המשקולת כלפי מעלה) אז זה לא נובע מכוח?
57. ג'יין: נכון.
58. (כל הכיתה צוחקת. המורה נשאר רציני)
59. המורה: מה יקרה עכשיו אם...אזרוק את זה כלפי מעלה ככה?
60. (גם ג'יין מתחילה לצחוק על המצב המשונה)
61. המורה: האם זהו כוח או לא?
62. ג'יין: (צוחקת) כן, זהו הכוח של היד שלך.
63. המורה: זהו כוח של היד שלי. ועכשיו, אם אני מאפשר לספוג לעשות אותו דבר (עושה זאת שוב) ואז זה כבר לא כוח???
64. ג'יין: (עדיין צוחקת מעט) נכון.
65. המורה: מהו, אפוא, ההבדל?
66. ג'יין: (רצינית שוב) טוב, שם (בקשר לספוג) התנועה מתרחשת מעצמה. זוהי הדרך בה קורים דברים. (צחוק). אני באמת חושבת שזה משונה.
67. המורה: אז רק בגלל שזה קורה מעצמו, אז לדעתך אין כאן כוח?
68. ג'יין: כן
69. המורה: אני רואה. טוב, נראה שלא התקדמנו הרבה. אני חושב שכן יהיה כוח כאשר נדחוף את המשקולת פנימה וג'יין עדיין איננה חושבת שיש כאן כוח. נשאר את זה כך לזמן מה. בינתיים, כל אחד רשאי לחשוב מה שהוא רוצה על הנושא. הייתי רוצה לדעת מה שאר התלמידים חושבים על הנושא?
70. (רוב התלמידים האחרים מסכימים עם המורה. אף אחד איננו תומך בג'יין בגלוי. חלק מהתלמידים, ביניהם אורסון וקרל, מהססים)
71. המורה: טוב. נשאר את זה כך בינתיים. אולי אני אצליח לשכנע אותך מאוחר יותר. לדעתי, ההבדל בין המתכת לבין הספוג הוא שאי אפשר להבחין בכך שהמתכת היא קפיצית. אבל גם למתכת ישנה קפיציות שמאפשרת לה לדחוף חזרה. אז המתכת קשה יותר - ועכשיו אני אומר את דעתי - והיא נדחפת קצת פנימה, והיא דוחפת

חזרה ולכן מפעילה כוח נגדי. או קיי, זה באמת קצת משונה שאנחנו עדיין איננו מסכימים.



## 5.6 קישורים למאמרים נוספים וספרות בתחום

אתר מורי הפיזיקה בישראל <http://62.90.118.241/>

מאמרים במכניקה <http://62.90.118.241/Items/Items.asp?CategoryID=39>

מוטנט <http://www.motnet.proj.ac.il>

הפורטל למדע וטכנולוגיה

<http://wwwl.education.gov.il/scitech/index.html>

אתר מוט-נט

<http://www.motnet.proj.ac.il/>

חלון לפיזיקה, אתר של מורה מחמד"ע

<http://www.physics.co.il/>

אנרגיה בהיבט רב-תחומי

<http://stwww.weizmann.ac.il/Energy>

### רשימת ספרים ויחידות לימוד רלוונטיות:

- אשל, י. (1999), **מכניקה לתיכון ואוניברסיטה**, ת"א: אשל
- בן-צוק, מ. (2002), **אינטראקציה, כוחות ותנועה**, חלקים א' ו-ב', המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן.
- בן-צוק, מ. (2003), **אנרגיה ושימורה**, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן.
- בן-צוק, מ. (2003), **אנרגיה ושימורה - מדריך למורה**, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן.
- גילי ועובדיה (1995), **יסודות פיזיקה**, ת"א: הוצאת מאור
- זינגר (1999), **מכניקה**, הוצאת ריכגולד
- להבי, שור ורוזנפלד (2002), **ניתוח תנועות**, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן.
- סירס וזימנסקי (1994), **פיזיקה תיכונית: מכניקה**, ת"א: הוצאת יבנה
- רוזן וקרקובר (1994), **פרקים במכניקה ניוטונית**, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן.