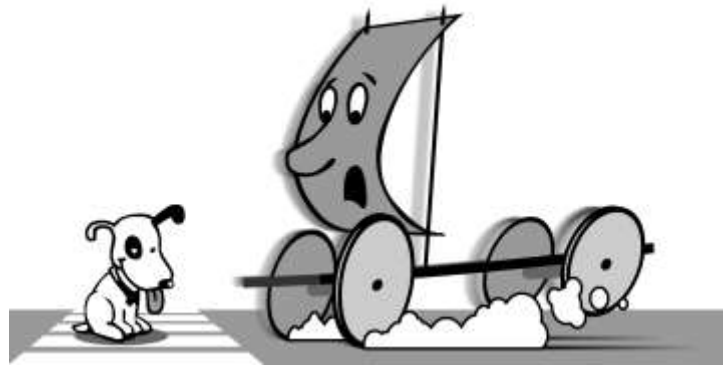


# בנו. לכם מכונית

שייקה שפריר, ד"ר קובי בן-ברק



יעוץ מדעי: ד"ר יכין אונא, האוניברסיטה העברית  
עריכה: ד"ר אבי פולג, ד"ר שרה גרופר, זאב קרקובר



מדעים – יסודי

מהדורת תמוז תשע"ה

יולי 2015

חומרי הלימוד הנם לשימוש בהוראת תכנית "מצינות 2000" בלבד. אין להפיצם בלא רשות, מראש ובכתב, מן המרכז הישראלי למצינות בחינוך.

## הקדמה

ילדים, מעצם טבעם, אוהבים לשחק ולבנות. מורים, מעצם טבעם, אוהבים ללמד. מדוע שלא נשלב את שתי האהבות הללו? באמצעות בניית מודל של מכונת נוכל אנו, המורים, להשיג את מטרותינו החינוכיות; התלמידים, מצדם, יזכו בשיעור מהנה ומרחיב דעת. נושא פעילות זו הוא בניית מכונת. התלמידים מתבקשים לבנות מכונת אשר תנוע ללא מגע, בהשפעת רוח, למרחק מסוים, וזאת בעזרת פריטי ציוד המסופקים להם. אמנם, זוהי פעילות מהנה, אולם אל לנו להסתפק ב"כף" בלבד. פעילות זו יכולה (וצריכה) להיות כלי משמעותי ללמידה ולטיפוח מיומנויות. אנו נשתמש בה על-מנת לעורר סקרנות, תושייה, ידע מדעי וכן הערכה עצמית של התלמיד.



המכונות שיבנו צוותי התלמידים תעמודנה לתחרות, ובעזרת ניתוח של ביצועי המכונות יוכלו התלמידים להבין מספר עקרונות חשובים במדע. אך על-מנת לנצח במירוץ זה, אין זה מספיק שהתלמידים יהיו בנאים טובים; הם צריכים להיות בנאים נבונים ובעלי ידע. הם צריכים לפעול תוך שימוש באסטרטגיות, ולא רק בגישת "ניסוי וטעייה", אותה נוטים רבים מהתלמידים הצעירים לאמץ.

## רציונאל היחידה

בנוסף ללמידה והבנה של החוקים הבסיסיים של פיזיקה, פעילות מהנה זו מְזַמַּנת לנו, המורים, מצע פורה לטיפול מיומנויות מדעיות ואישיותיות מגוונות וחשובות. כדי להיות ממוקדים, מומלץ להתרכז במיומנויות אלה:

### מיומנויות אותן ניתן לרכוש ביחידה זו:

- חשיבה יצירתית
- תכנון ניסוי
- בידוד משתנים
- הצגת תוצאות
- ניתוח התוצאות
- יכולת התמודדות עם תסכול
- יצירת מוטיבציה לשיפור מתמיד

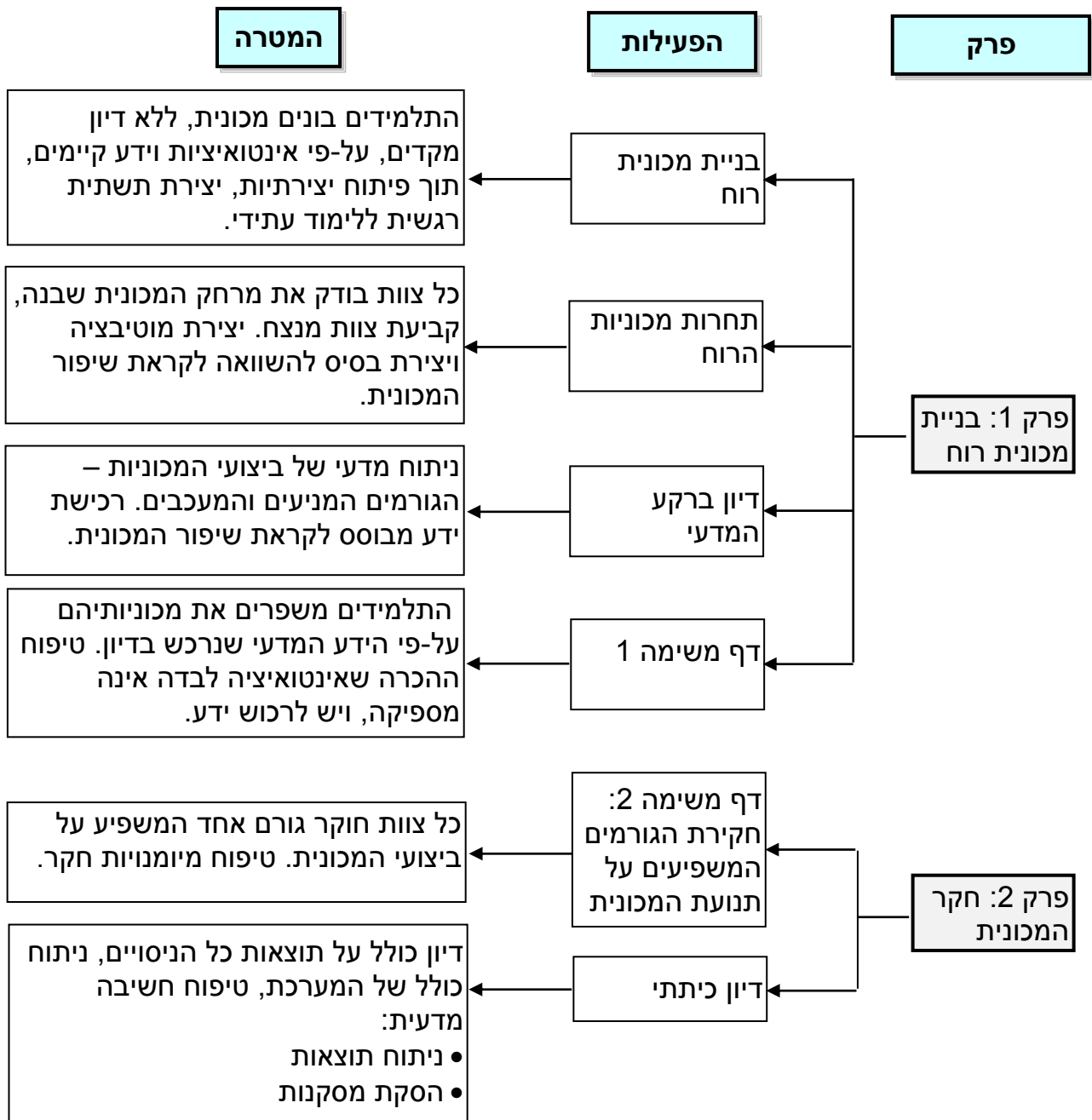
## משך הפעילות

מומלץ להקדיש ליחידה זו 4-5 מפגשים כפולים בני 90 דקות כל מפגש.

## התאמה לקבוצת גיל

פעילות זו מומלצת להפעלה בכיתות ה' - ו'.

## מבנה היחידה



# פרק 1: למקומות, היכון, צא!

## בניית "מכונית רוח"

בפרק זה יבנו התלמידים "מכונית רוח". המכונית תנוע קדימה בעזרת רוח שתנשוב עליה ממאוורר. המכוניות שייבנו צוותי התלמידים תעמודנה לתחרות; לאחריה יתקיים דיון, בו ינותחו ביצועי המכוניות השונות והחוקים על-פיהם הן נעות עד לעצירתן. פעילויות אלה תהווה את הבסיס לחקירה מדעית של הגורמים השונים המשפיעים על תנועת המכונית, כפי שיפורט בפרק הבא.

## ניהול השיעור

הפעילות תבוצע על-פי השלבים הבאים:

1. **בניית המכונית** – הצוותים בונים מכונית המונעת על-ידי רוח חיצונית.
2. **תחרות המכונית המצטיינת** – מי מבין המכוניות שנבנו הרחיקה בתנועתה?
3. **ניתוח ביצועי המכוניות** - מהם הגורמים הדוחפים ומעכבים את תנועת המכונית?
4. **שיפור המכונית** – התלמידים ישפרו את מכוניותיהם בהתאם לידע המדעי שרכשו.

נתאר כעת שלבים אלה ביתר פירוט, ולאחריהם גם את הרקע המדעי, בו יתוארו הכוחות והגורמים המניעים או מעכבים את תנועת המכונית.

### 1. בניית המכונית

המשימה המוגדרת של כל אחד מצוותי התלמידים היא לבנות "מכונית רוח", בעזרת הציוד המסופק להם. המכונית תונע באמצעות רוח הנוצרת על-ידי מאוורר. המכונית שתנוע למרחק הגדול ביותר תוגדר כמנצחת בתחרות. יש לאפשר לצוותי התלמידים לתכנן ולבנות את המכוניות באופן חופשי, ליהנות מתהליך התכנון והבנייה ולתת דרור ליצירתיות.



### שלבי הבנייה הם:

- בקשו מהתלמידים להתחלק לצוותים של 3-4 תלמידים בכל צוות.
- הציגו את המשימה בפני התלמידים - בניית מכונית המונעת על-ידי רוח (מאוורר או מייבש שיער). אין לגעת במכונית בשום שלב של תנועתה. בסיום הבנייה תתקיים תחרות ובה יזכה הצוות שבנה את המכונית שהגיעה למרחק הגדול ביותר.
- חלקו לכל קבוצה את הציוד בו הם יכולים להשתמש לבניית המכונית. הם אינם חייבים להשתמש בכל הציוד שניתן להם, אולם עליהם לבנות את המכונית מציוד זה בלבד. רשימת הציוד לכל קבוצה מופיעה בסוף היחידה.

- הקציבו זמן מוגדר לבנייה – להשלמת הבנייה בשלב ראשון יספיקו 30-40 דקות.
- ניתן להניח שהתלמידים, כדרכם של תלמידים, יבנו את המכונית על-פי האינטואיציות, ויקדישו זמן מועט לתכנון מוקדם. הם יקדישו מעט זמן לניתוח שאלות כמו: האם ראוי להשתמש במפרש רחב או צר? האם יש לבנות גלגלים גדולים או קטנים? כיצד ניתן להקטין את החיכוך בין הגלגלים לצירים עליהם הם סובבים?
- בסופה של יחידת לימוד זו מפורטות הוראות לדוגמה לבניית סוג אחד של "מכונית רוח". בסיום הפעילויות, מכונית זו תסייע לנו בהסבר הכוחות הפועלים עליה. אין להראות מכונית זו לתלמידים, ומובן שהם יהיו רשאים לתכנן ולבנות מכוניות כפרי רוחם ודמיונם הפורה.

## 2. תחרות המכונית המצטיינת

- בדקו את ביצועיה של כל מכונית בנפרד, כאשר כל הצוותים צופים בביצועי המכוניות של הקבוצות האחרות. בקשו מנציג של אחד הצוותים להעמיד בתורו את המכונית שבנה הצוות על קו הזינוק, אותו תסמנו קודם לכן על הרצפה, כאשר המאוורר נמצא 30 ס"מ לערך מאחור (המרחק המדויק אינו חשוב, אך הוא חייב להיות קבוע משך כל התחרות).
  - כאשר הנציג ישחרר את המכונית, היא תנוע עד מרחק מסוים.
  - מדדו עם התלמידים את המרחק אליו הגיעה המכונית.
  - חזרו על פעולה זו עבור המכוניות של שאר הצוותים. המרחק בין המאוורר לקו הזינוק של המכוניות, כמו גם עוצמת הרוח, חייבים כמובן להישאר אחידים לאורך כל התחרות (זהו עיקרון "בידוד המשתנים", אליו נגיע בהמשך).
  - הכריזו על הצוות המנצח והעניקו לו פרס (ראו הערות בהמשך בנוגע לחלוקת הפרסים).
- אלה שלא זכו בתחרות - אל יאוש! הזדמנות שנייה תינתן.



בסיום התחרות, שאלו את כל הצוותים (כולל הצוות המנצח), האם הם סבורים שהם בנו את המכונית הטובה ביותר? האם וכיצד ניתן לשפר אותה?

שאלות אלה תובלנה אתכם ואת התלמידים לניתוח מבנה המכונית, ניתוח שיהיה מבוסס על ידע מדעי, כפי שיפורט בהמשך.

## 3. ניתוח ביצועי המכוניות

לאחר התחרות הראשונית, הגיע הזמן לנתח בצורה רציונאלית את המערכת. מטרת הדיון היא להדגיש שיש חשיבות רבה ליצירתיות אותה הפגינו התלמידים בבניית המכונית, אך אין להסתפק ביצירתיות לבדה. מדען, מהנדס וכל אדם המבצע משימה מורכבת, ראוי שיהיה מצויד גם בידע נרחב.



**המוטיבציה ללימוד העקרונות הפיסיקליים תנבע מכך שהתלמידים ילמדו עקרונות אלה למען מטרה הנוגעת אליהם אישית – הרצון לשפר את ביצועי המכונת שלהם. כך אנו רותמים את הרגש לתהליך הלמידה.**

במהלך התחרות, התלמידים יופתעו בוודאי מהשונות הגדולה בביצועי המכונות השונות. ניסיון העבר מגלה שישנם תלמידים אשר הצליחו לבנות מכונות הנעות למרחק של 3-4 מטרים, לעומת כאלה הנעות למרחק 40 ס"מ בלבד.

מדוע? מהם הכוחות הפועלים על המכונת? מדוע עצרה המכונת דווקא בנקודה בה עצרה? כדי לענות על שאלות אלה יש להכיר את החוקים הפועלים על המערכת ביתר עומק. פירוט הכוחות והגורמים הפועלים על המכונת מובא בהמשך בסעיף "רקע מדעי". היעזרו בו על-מנת לקיים את הדיון הכיתתי, אשר יקדים את השלב הבא:

#### **4. שיפור המכונות**

לאחר דיון מדעי, ובהתבסס על ידע מאותו הדיון, יציעו התלמידים דרכים לשפר את המכונת שבנו כך שהיא תנוע למרחק גדול יותר. פרטים לגבי תהליך השיפור מופיעים בדף משימה 1. מקובל לחשוב שיצירתיות ואינטואיציות נשלטות על-ידי ההמיספרה הימנית של המוח, ואילו החשיבה האנליטית נעשית בהמיספרה השמאלית.

יש להודות שחלוקה כה חדה לשני סוגי חשיבה אלה אינה מדויקת לחלוטין, אך אם נאמץ אותה לצרכינו כעת – הגיע העת להפעיל את ההמיספרה השמאלית במוחם של התלמידים.

#### **רקע מדעי**

כדי לנתח את ביצועי המכונת, עלינו לשאול עצמנו ראשית לכל את שתי השאלות הבאות:

1. מה גורם למכונת לנוע קדימה?

2. מדוע המכונת נעצרת, בסופו של דבר?

כמו כל גוף בטבע, תנועת המכונת מושפעת מן הכוחות הפועלים עליה. אם הכוחות הפועלים עליה בכיוון מסוים יהיו גדולים מן הכוחות המעכבים – המכונת תואץ לכיוון זה. אם הכוחות המעכבים יהיו גדולים מן הכוחות המניעים, המכונת תואט ומהירותה תקטן. אם מאזן הכוחות יהיה אפס (הכוחות המניעים יהיו שווים לכוחות המעכבים) – המכונת לא תשנה את תנועתה ותישאר במנוחה או תנוע במהירות קבועה.

אם כך, כדי לשפר את ביצועי המכונת (משמע, המרחק אליו היא מגיעה בעזרת הרוח), עלינו לפעול בעזרת האסטרטגיה הבאה:

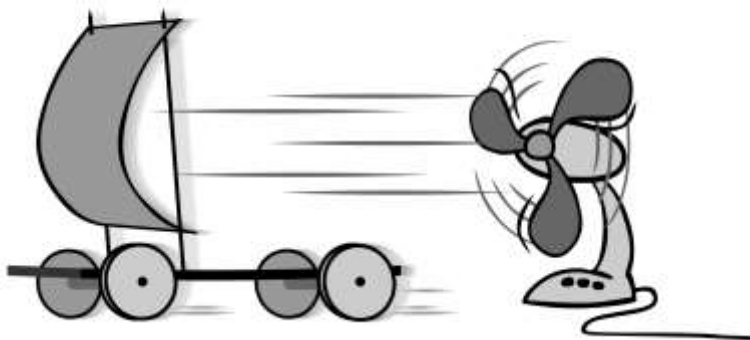
- יש להגדיל את השפעת הגורמים המאיצים קדימה.
- יש להקטין את השפעת הגורמים המעכבים.

דונו בשאלות אלה עם התלמידים, ושאלו אותם מהם המרכיבים במכונית היכולים להשפיע על הגורמים המאיצים קדימה ועל הגורמים המעכבים. התלמידים בוודאי יציעו הצעות רבות. רשמו את הצעותיהם על הלוח, ודונו עימם על כל אחת מהן בהתאם לניתוח המופיע בהמשך. תוכלו להיעזר גם בטבלה המופיעה בדיון לאחר דף משימה 1, בה תמצאו רשימה של כמה מן הגורמים החשובים המשפיעים על תנועת המכונית. דיון זה יעזור לנו מאד כאשר נגיע לפרק 2, בו יחקרו התלמידים את הגורמים הללו באופן מפורט.

הבה ננתח את שני סוגי הגורמים הפועלים על המכונית - הגורמים המאיצים קדימה והגורמים המעכבים.

### הגורמים המאיצים

למכוניות שבנו התלמידים אין מנוע פנימי. הכוח הדוחף את המכוניות קדימה הוא הרוח שמקורה במאוורר. עוצמת הרוח קבועה, ומרחק המאוורר מנקודת הזינוק אף הוא קבוע. אך שימו לב שככל שהמכונית מתקדמת, כך היא מתרחקת ממקור הכוח הדוחף, עד כי הוא קטן מאד, הכוחות המעכבים גוברים עליו והיא נבלמת עד לעצירה מוחלטת.



אם כך, האם נוכל להשפיע על עוצמת כוח הדחף? התשובה לכך חיובית. נוכל להשפיע על כמות הרוח הנקלטת במכונית עצמה. עלינו לגרום לכך שרוח רבה ככל האפשר, הנפלטת מן המאוורר, תשפיע על המכונית. גודל המפרש, צורתו והזווית בה הוא מתוח על המכונית הם המועמדים הטבעיים לכך (ראו דוגמה בהמשך).

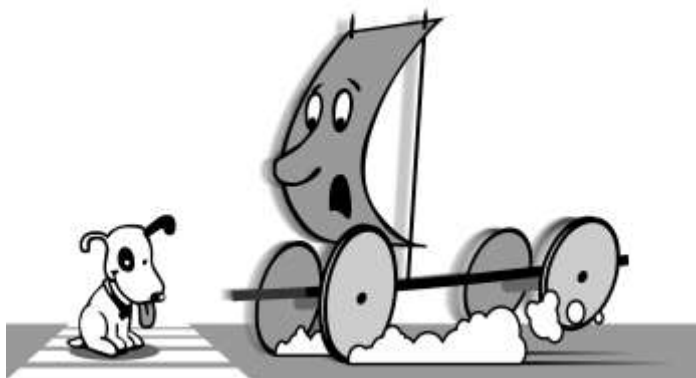


## הגורמים המעכבים

הניתוח כאן מורכב יותר, כיוון שיש מספר גורמים מעכבים. ננתח גורמים אלה על-פי מבנה "מכונית הרוח" המוצע בנספח בסיום היחידה. עקרונות אלה ישימים גם למכוניות בעלות מבנה שונה במקצת.

- **התנגדות האוויר (גרר) –** ככל ששטח המגע בין המכונית לבין האוויר הסובב אותה (להבדיל מן האוויר הדוחף אותה, שמקורו במאוורר) יהיה רב יותר, כך יגדל החיכוך. החיכוך הרב ביותר נובע, למרבה הפרדוקס, מן המפרש עצמו. גודל המפרש תורם לכוח הדוחף, אך הוא גם מעכב, כיוון שהוא נתקל בכמות רבה של אוויר הנמצא לפניו, בכיוון התקדמות המכונית<sup>1</sup>. ראינו שכדאי להגדיל את המפרש, על-מנת להגדיל את הכוח הדוחף. אך ככל שנגדיל את המפרש כך יגדל גם החיכוך עם האוויר (וגם מסת המכונית). כאשר המכונית קרובה אל מקור הרוח, הכוח הדוחף יהיה גדול מן הכוח המעכב, כמובן. אך ככל שהמכונית מתרחקת ממקור הרוח, הולכת עוצמתו של הכוח הדוחף וקטנה. בתחילת התנועה המהירות גדלה, ובעקבותיה גם הגרר. בשלב מסוים הגרר גובר על הכוח המאיץ (כיוון שהאחרון נחלש, כאמור, עם גדול המרחק), והמכונית מאיטה, עד לעצירה.

בהתחשב בשני הגורמים המנוגדים, קשה לשער מראש מהו גודלו המיטבי של המפרש (זה שבו המכונית תנוע למרחק הגדול ביותר). לא נותר לנו אלא לערוך ניסוי שיברר נקודה זו (ראו בהמשך).



לא רק המפרש מתחכך באוויר. גם המכונית עצמה. לכן, הרעיון ליצור מבנה אווירודינמי על-ידי חידוד חרטום המכונית, אם יציעו אותו התלמידים, הוא רעיון נכון.

- **חיכוך הגלגלים ברצפה –** חיכוך זה הוא גורם המעכב את תנועת

<sup>1</sup> מסיבה זו בנויים החלונות הקדמיים של המכוניות בזווית. אם היו החלונות ישרים (בניצב לאדמה), היה החיכוך עם האוויר בקדמת המכונית רב מאד. הזווית מעניקה למכוניות (ולמטוסים) מבנה אווירודינמי. גם לדגים יש מבנה מוארך, מסיבה זו בדיוק. מבנה זה של גופים הנעים במים נקרא הידרודינמי. בשני המקרים, העקרון של הקטנת החיכוך עם התווך בו נע הגוף הוא זהה.

המכונית<sup>2</sup> ויש להקטין אותו ככל שניתן. החיכוך מנוצל במכונית כדי לבלום אותה (דמיינו מכונית המחליקה על כתם שמן בכביש וראו מה קורה כאשר החיכוך בין המכונית לכביש הוא קטן מאד).

- **החיכוך של צירי הגלגלים – סביר מאד שהתלמידים ידביקו את השיפודים אל תחתית המכונית.** השיפודים, המהווים את צירי המכונית, לא יוכלו להסתובב, והגלגלים הם שינועו סביבם. בנקודת הציר ייווצר, אפוא, חיכוך רב. הרחבת פתח הציר תקטין אמנם את החיכוך, אך תהפוך את תנועת הגלגלים לבלתי יציבה. הדרך להקטין חיכוך זה היא להדביק שתי קשיות שתייה לרוחב המכונית (ראו נספח בניית מכונית רוח בסוף היחידה), ולהשחיל את השיפודים דרכן. הגלגלים עצמם יהיו מחוזקים אל השיפודים, והחיכוך יהיה בין השיפודים לבין קשיות השתייה. זהו חיכוך קטן יחסית, וגם אותו ניתן להקטין על-ידי סיכת השיפודים בשמן או חומר סיכה אחר. החיכוך של צירי הגלגלים גורם להאטת סיבובם, ולעצירת המכונית עקב חיכוך הגלגלים עם הרצפה.

- **גלגלים שאינם עגולים – גלגלים כאלה, וכן גלגלים עגולים שהציר אינו עובר דרך מרכזם, גורמים לנסיעה מקרטעת.** כך נגרם אובדן של אנרגיה קינטית, ונוצרים חיכוכים פנימיים שונים, שבסופו של דבר מביאים להגברת החיכוך עם הכביש ולהגדלת הכוח המעכב.
- **מסת המכונית – ככלל, ככל שמסתו של גוף גדלה, קשה יותר להאיץ אותו (נסו לדחוף משאית לעומת מכונית צעצוע).** זה נכון הן להאצה והן להאטה. כלומר, גוף קל יואץ יותר ויואט יותר. אם כך, כל דיון משמעותי על השפעת המסה במקרה שלנו חורג מתחומי היחידה הזאת. הדבר אינו מונע, כמובן, חקירה ניסויית של השפעת המסה.

### אסטרטגיה וטקטיקה

**אסטרטגיה** היא תכנון מקיף לפיתרון של בעייה או אתגר. **טקטיקה** היא פעולה או אמצעי ספציפי הננקטים בכדי להשיג פיתרון זה. אסטרטגיה, אם כך, היא חשיבה רחבה, בה מותווה הכיוון הכללי לפיתרון. כדי שאסטרטגיה תפעל, יש לפרוט אותה לאמצעים טקטיים שונים. אם נביא דוגמה מהבעייה המדעית שלפנינו, תלמידים נוטים לחשוב במונחים טקטיים ("הבה נחدد את חרטום המכונית"). העלו בדיון את רמת החשיבה לרמה האסטרטגית – "המשימה היא להקטין את הכוחות המעכבים. הבה נמצא אמצעים שונים להשגת מטרה זו". זו חשיבה מסדר גבוה יותר, כיוון שחידוד החרטום אינו אלא אחת הטקטיקות להשגת האסטרטגיה של הקטנת הכוחות המעכבים.

<sup>2</sup> במכוניות רגילות, בעלות מנוע, חיכוך הגלגלים בכביש הוא גם הכוח המאפשר למכונית לנוע קדימה. במקרה שלנו "המנוע" הוא חיצוני (הרוח), ולכן החיכוך הוא גורם מעכב בלבד.

לאחר הניתוח המדעי, בקשו מהתלמידים לנתח את מבנה המכונית שבנו בתחילת הפרק, ולנסות ולאתר את הדרכים בהן ניתן לשפר את ביצועיה, כך שמרחק התנועה שלה עם הרוח יגדל משמעותית.

חלקו כעת לתלמידים את **דף משימה 1**. אל תאיצו בהם לסיים את מלאכתם. הקציבו להם זמן בלתי מוגבל לחשיבה על האופן בו הם יכולים לשפר את המכונית, כמו גם לביצוע השיפורים בפועל.

## שיפור מכונת הרוח

- האם המכונת שהצוות שלכם בנה היא המכונת הטובה ביותר שאתם יכולים לבנות?
- האם תוכלו לחשוב על דרכים בהן ניתן לשפר את מבנה המכונת כך שתגיע למרחק גדול יותר?

לאור הידע שנוסף לכם בדיון, נתחו את מבנה המכונת שלכם. כתבו את פירוט השינוי שאתם בוחרים לעשות במכונת, תוך ציון ההסבר לשינוי זה. לדוגמה: האם השינוי גרם להגדלת הכוח הדוחף? האם הוא גרם להקטנת הכוחות המעכבים?

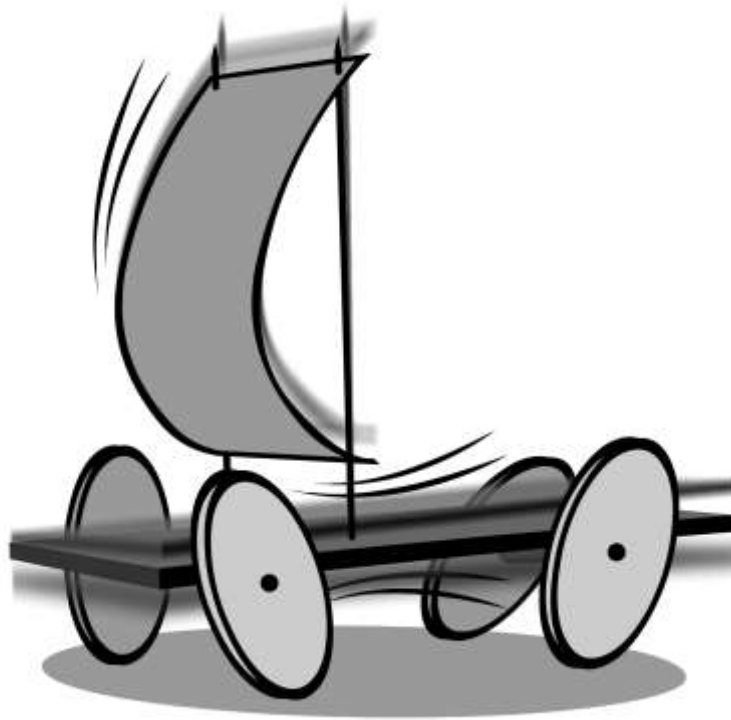
מספר השינוי	פירוט השינוי	הסיבה לשינוי
1		
2		
3		
4		

לא תמיד תדעו מהי הסיבה לשינוי כלשהו, ובכל זאת תרצו לבצע אותו. גם זו גישה נכונה מאד. גם מדענים גדולים עורכים לעתים "ניסויי גישוש" מסוג זה, ולעתים אף מגלים תופעות חשובות, שאת ההסבר להן מגלים רק לאחר שנים רבות. אם תרצו לבצע שינויים שאת ההסבר להם אינכם יודעים, כתבו את פירוט השינוי, וציינו "איננו יודעים" בעמודת "הסיבה לשינוי". ייתכן שתעשו שינוי במכונת רק למען הסקרנות, והשינוי יוביל לשיפור משמעותי במרחק שעברה המכונת. את ההסבר לכך תצאו לגלות בעצמכם, ואם נדרש לכם ידע שאין ברשותכם כעת – צאו וחפשו אותו עד שתבינו.

הראו למורה את הטבלה וקבלו את אישורו/ה לתחילת ביצוע השיפורים במכונת. לאחר שסיימתם לשפר את המכונת, היו מוכנים לתחרות נוספת.

גם אם לא ניצחתם בתחרויות, האם ניצחתם בתחרות **כנגד עצמכם**? רשמו בטבלה למטה את ביצועי המכונת המקורית שבניתם בתחילת הפעילות ואת ביצועיה לאחר השיפורים, כפי שמודגם בשורה לדוגמה בטבלה הבאה. בכמה השתפרה המכונת שלכם?

יחס השיפור	ההבדל במרחק (מטר)	המרחק שעברה המכונית המשופרת (מטר)	המרחק שעברה המכונית המקורית (מטר)	
$3.6/1.5=2.4$	2.1	3.6	1.5	<b>דוגמה</b>
				<b>המכונית שלנו</b>



## המלצות לניהול שיעור - שיפור מכונית הרוח

הטבלה המופיעה בדף משימה 1 תעזור לתלמידים לחשוב באופן מסודר, חשיבה המבוססת על ידע ולא רק על אינטואיציה. לאחר שהתלמידים ימלאו את הטבלה, הם יבצעו את השינויים ויראו אם הצליחו לשפר את מכוניותיהם.

המדע הוא כמו טיול בטבע – יש ללמוד על מה להסתכל ומה לחפש. כך הסיכויים לגלות תופעה או חוק חדשים הם גדולים יותר. היכולת לצפות עם דיעה פתוחה יכולה להביא שיפור, המצאה, וגילוי. המדען החשוב לואי פסטר, אבי המיקרוביולוגיה, צדק כשאמר: "המזל מעדיף את המוח המוכן לו" (Chance favors the prepared mind).

סביר להניח שרמת הידע של התלמידים עדיין אינה מאפשרת להם להבין מדוע גלגלים שאינם עגולים, למשל, פוגמים בביצועי המכונית. כפי שנאמר בדף המשימה, יש מקום במדע, ובוודאי בחינוך המדעי, לביצוע "ניסויי הרפתקה" אלה. הם רק יוסיפו לסקרנותם של התלמידים ולחדוות הגילוי שלהם. ההסבר יגיע בכיתות גבוהות יותר.

עברו בין הצוותים ושוחחו עמם על הסיבות לשינויים אותם הם מבקשים לערוך. עמדו על כך שהשינויים יהיו מבוססים על העקרונות שלמדו בדיון. כל שינוי יהיה מכוון להגברת הכוח המניע ו/או להקטנת הכוח המעכב, כפי שראינו בפרק הקודם.

בטבלה הבאה מובאות מספר דוגמאות לשינויים אפשריים, אותם יכולים התלמידים להציע. לא תמיד הם יוכלו לנמק את הסיבה לשינוי שהם מציעים (כפי שכתבנו, לצורך ההדגמה, "איננו יודעים" במספר סעיפים):

מספר השינוי	מהות השינוי	הסיבה לשינוי
1	הגדלת שטח המפרש	הגדלת הכוח המניע
2	שינוי היחס בין אורך המפרש לרוחבו	קליטה יעילה יותר של הרוח הנפלטת מהמאוורר
3	הקטנת גודל המכונית	הקטנת המסה - איננו יודעים כיצד תשפיע, אך נבדוק זאת בניסוי
4	שינוי קוטר הגלגלים (הגדלה? הקטנה?)	איננו יודעים כיצד תשפיע, אך נבדוק זאת בניסוי
5	הקטנת מספר הגלגלים לשלושה	הקטנת המסה - איננו יודעים כיצד תשפיע, אך נבדוק זאת בניסוי
6	יצירת חרטום חד למכונית	הקטנת החיכוך עם האוויר
7	חיתוך מדויק של גלגלים עגולים	איננו יודעים
8	הגדלת מרחק הגלגלים מגוף המכונית	הגדלת יציבות המכונית
9	שינוי מיקום המפרש	הגדלת יציבות המכונית

## תחרות המכונית המשופרת

לאחר סיום שיפור המכוניות על-ידי הצוותים השונים, קיימו תחרות נוספת. בקשו מהתלמידים להשוות בין ביצועי המכונית הראשונה שבנו לבין ביצועיה כעת, לאחר השיפור. לאחר התחרות, ראוי לציין לשבח את הצוותים ששיפרו את ביצועי המכונית ביחס לביצועיה הקודמים, גם אם לא זכו בתחרות! השתדלו להקטין את אווירת התחרות וליצור אווירה בה כל צוות מתחרה בעצמו, ומנסה לשפר את ביצועי המכונית שהוא בנה, בלי להשוות עצמו בהכרח לביצועי הצוותים האחרים.



## פרסים

תחרות היא חרב פִּיפּוּת – היא תורמת לאווירה ויוצרת מוטיבציה, אך מנגד, היא עלולה לגרום לתסכול רב. בתחרות יש מנצח אחד ומפסידים רבים. בתחרות נגד עצמך אתה תמיד מנצח.

מכאן שראוי להעניק פרסים גם בקטגוריות נוספות לזו שהוצגה במקור. למשל, ניתן להעניק פרס למכונית הנאה ביותר, המקורית ביותר, בעלת המבנה המקורי ביותר, וכדומה. בנוסף, לאחר התחרות שתיערך בין המכוניות המשופרות, מומלץ מאד להעניק פרס ל"מכונית המשופרת ביותר", זו שהיחס בין המרחק שעברה לאחר השיפור לבין זה שעברה בצורתה המקורית היה הגדול ביותר (ניסיוננו מלמד שהיו צוותים ששיפרו את ביצועי מכוניתם פי 10!).

## פרק 2: מכונית ניסוי

לאחר שתי התחרויות וההתרגשות שנלוותה אליהן, הגענו כעת אל החלק השני של יחידת לימוד זו, ובה תשמש המכונית אותה בנו התלמידים בחלק הראשון מצע נוח לתרגול מיומנויות חקר כלליות.

מומלץ להשתמש במכוניות שבנו ושיפרו הצוותים, כל צוות ומכוניתו. זו מערכת מוכרת לתלמידים, וכך הם יהיו מסוגלים להתרכז בנושאי החקר עצמם, ולא בפרטים הטכניים הכרוכים בהכרת מערכת חדשה.

בפרק הקודם דנו באריכות בכוחות הפועלים על המכונית והגורמים לה לנוע קדימה או להיעצר. במהלך שיפור המכונית ביצעו התלמידים מספר פעולות שמטרתן הייתה להגדיל את הכוח הדוחף ו/או להקטין את אחד (או יותר) מהגורמים המעכבים.

עם זאת, ולמרות שהמכוניות שופרו, כלל לא בטוח שהתלמידים הגיעו להבנה עמוקה של פעולת המכונית. כדי לחזק גם זאת, יש לחקור את כל אחד מהגורמים באופן מדוקדק יותר. בפרק זה יתרכז כל צוות בגורם אחד מכלל הגורמים ויחקור אותו לעומקו, לפי תהליך החקר אותו תרגלנו גם ביחידות לימוד אחרות.

### ניהול השיעור

הציגו את נושא הפרק: "חקירה מפורטת של הגורמים השונים הפועלים על המכונית". דונו עם התלמידים בנושא זה בדיון פתוח, ורשמו את הצעותיהם על הלוח. חלקם הגדול של הגורמים הוזכר כבר בוודאי בדיון בפרק הקודם. נזכיר רשימה זאת שוב, יחד עם גורמים אפשריים נוספים אותם עשויים התלמידים להעלות:

- מיקום המפרש
- זווית המפרש
- מסת המכונית
- עוצמת הרוח (עוצמת סיבוב המאוורר)
- המרחק בין המאוורר למפרש
- גודל הגלגלים
- מספר הגלגלים
- חידוד החרטום
- גורמים נוספים?

בחרו ב-3-4 גורמים בלבד והפכו אותם לנושאי חקר פתוח (דרגה 4). כל צוות יבחר נושא חקר אחד מתוך הרשימה. בקשו מכל צוות של תלמידים לרשום את שאלת החקר המתאימה





לגורם אותו בחרו. למשל, "מהי השפעת זווית המפרש על המרחק שעוברת המכונית?".  
לאחר מכן הם יתכננו את מהלך הניסוי ויבצעו אותו.  
כנהוג, בקשו מהם להראות לכם את פרוטוקול הניסוי. בדקו שהוא כתוב היטב ובאופן חד-משמעי (אל תתקנו את השגיאות, אך רשמו אותן לדיון בשלב מאוחר יותר) ואשרו להם לבצע את הניסוי.  
לאחר תהליך החקר, אספו את התלמידים לדיון כיתתי, כפי שיפורט בהמשך.

## מכונית ניסוי

בפרק הקודם בניתם מכונית רוח משוכללת, שנעה למרחק גדול בעזרת הדחף שקיבלה מן המאוורר. לאחר דיון, בו סקרתם את הגורמים המשפיעים על תנועת המכונית, שכללתם והפכתם אותה למכונית מרוץ של ממש. כעת תשתמשו במכונית זו כדי לערוך חקירה מדעית של הגורמים השונים הפועלים עליה, באופן מדויק ומסודר.

על הלוח ירשום המורה את רשימת הגורמים האפשריים המשפיעים על יעילות תנועת המכונית, כפי שהצעתם בדיון הכיתתי. **בחרו גורם אחד מתוך הרשימה, וערכו ניסוי ובו תחקרו את השפעתו על ביצועי המכונית.**

פעלו על-פי שלבים אלה:

- **נסחו את שאלת החקר:**

שאלת החקר מגדירה את מטרת המחקר. שאלת החקר בוחנת את הקשר בין משתנים כמותיים בטבע. התשובה לשאלת המחקר תתגלה באמצעות ניסוי. כל שאלת מחקר בודקת שני משתנים: המשפיע והמושפע<sup>3</sup>. **המשתנה המשפיע** הוא המשתנה שאתה מפעיל בכדי לבדוק את השפעתו על **המשתנה המושפע**. למשל: מהי השפעת קוטר הגלגלים על מרחק התנועה של המכונית? בשאלה זו אתם חוקרים את השפעת **המשתנה המשפיע** (קוטר הגלגלים) על **המשתנה המושפע** (מרחק התנועה).

מהם המשתנים ששאלת המחקר שלכם בודקת?

○ **המשתנה המשפיע:** \_\_\_\_\_

○ **המשתנה המושפע:** \_\_\_\_\_

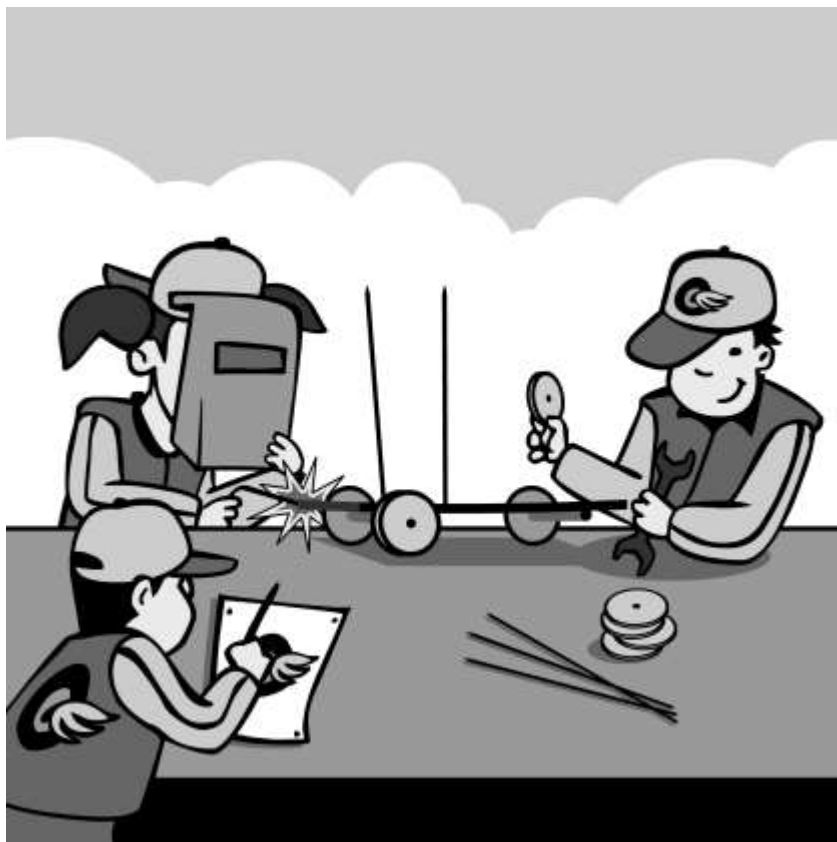
○ **שאלת החקר:** \_\_\_\_\_

### כתבו את פרוטוקול הניסוי:

- כתבו כיצד יש לבצע כל שלב באופן מפורט כך שכל אדם, גם זה שאינו חלק מהצוות, יוכל לבצע את הפעולה במדויק ללא הסבר נוסף.
- הכינו את הטבלה (או הטבלאות) בה תכתבו בעמודה הימנית את ערכיו של המשתנה המשפיע (קוטר הגלגלים, בדוגמה למעלה), ובעמודה השמאלית תכתבו את התוצאות המושגות בניסוי עצמו.
- הכינו את מערכת צירי הגרפים (X-Y) בה תשרטטו את תוצאות הניסוי.

<sup>3</sup> ראה הסבר לגבי מושגים אלה ביחידת הלימוד "דו"ד השמש הצבועים".

- הראו למורה את פרוטוקול הניסוי וקבלו את אישורו/ה לתחילת ביצוע הניסוי.
- **בצעו את הניסוי, הציגו את התוצאות בטבלה ובגרף.**
- **מהן המסקנות מן הניסוי? זכרו - ייתכן שיתברר כי הגורם הנבדק אינו משפיע על המערכת.** אין מדובר כאן בכישלון, אלא בגילוי, שעשוי להיות משמעותי ביותר.
- אם לא תוכלו להסיק מסקנות, אם לא השגתם תוצאות אמינות, או אם התגלה בניסוי קֶשָׁל טכני – שפרו את פרוטוקול הניסוי וחזרו על הניסוי שוב עד שתושג הצלחה!



## המלצות לניהול שיעור - מכונית ניסוי

סדרת ניסויים זו שיבצעו התלמידים היא שיאה של יחידת לימוד זו, ובה באים לידי ביטוי הידע והמיומנויות שצברו התלמידים במהלך החלק הראשון. כנהוג בעת ביצוע ניסויים פתוחים, תפקידנו, המורים, הוא להנחות את התלמידים, אך להותיר להם את האחריות הכוללת על התכנון והביצוע של הניסויים. אל תתקנו את השגיאות בהן אתם מבחינים בעת תכנון מהלך הניסויים, אך השגיחו שההוראות לביצוע הניסוי הן קפדניות וחד-משמעיות.

נפרט כעת דוגמה של ניסוי אפשרי אחד. מבין הגורמים שהוצעו על-ידי התלמידים, הצוות בחר לבחון את השפעת גודל המפרש על ביצועי המכונית.

### 1) ניסוח שאלות חקר

שאלת חקר בודקת את הקשר בין שני משתנים כמותיים – **המשתנה המשפיע** (אותו אנו קובעים) ו**המשתנה המושפע** (אותו אנו מודדים כתגובת המערכת על הפעלת המשתנה המשפיע עליה).

בדוגמה שלפנינו ננסח את שאלת החקר הבאה: "כיצד משפיע שטח המפרש על מרחק תנועת המכונית?"

### 2) כתיבת פרוטוקול הניסוי

כל שלב של פרוטוקול הניסוי חייב להיכתב בבירור ובאופן מפורט. למשל, צוות תלמידים עשוי לכתוב הוראה כמו: "חיתוך מפרשים בעלי שטחים שונים". זו אינה הוראה מפורטת דיה. הצוות חייב לציין במדויק את השטחים הספציפיים של המפרשים אותם הוא מעוניין לבדוק. יש לכתוב את הערכים המדויקים בטבלה המוכנה מראש. אם יתברר במהלך הניסוי שערכים אלה אינם מתאימים מסיבה כלשהי (או שיש להוסיף ערכים נוספים), יש להכין טבלה חדשה ולבצע את הניסוי עם הערכים המעודכנים.

### 3) תכנון הניסוי וביצועו

נניח כי הצוות יצר בתחילה מפרש בגודל של  $15 \times 10$  ס"מ (שטח פנים של  $150 = 15 \times 10$  סמ"ר) וחיבר אותו לגוף המכונית באמצעות שני שיפודים. הצוות ערך ארבע הרצות של המכונית עם מפרש זה, וחישב את ממוצע המרחק שעברה. לאחר ארבע ההרצות הראשונות הוא ביצע ניסויים נוספים עם מפרשים קטנים יותר, על-ידי חיתוך המפרש לאורך של 10 ס"מ (שטח של  $10 \times 10 = 100 \text{cm}^2$ ), 5 ס"מ (שטח של  $5 \times 10 = 50 \text{cm}^2$ ) וללא מפרש כלל, וביצע ארבע הרצות עבור כל מפרש.

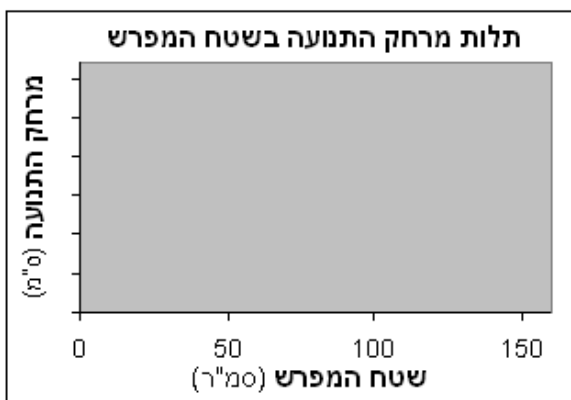
התכנון המפורט של הניסוי חייב את התלמידים לחשוב על ההיבטים הבאים:

**בידוד המשתנים:** על הצוות לשנות את גודל המפרש בלבד, ולשמור שכל הגורמים האחרים (למשל, עוצמת הרוח, זווית המפרש והמרחק בין המאוורר לקו הזינוק) יישארו קבועים. שימו דגש רב על "בידוד משתנים". שאלו את התלמידים: ואם היינו משנים את גודל המפרש וגם מרחיקים את המאוורר, מה הייתם מסיקים מן התוצאות? התלמידים יבינו בוודאי שלא ניתן להסיק כל מסקנה חד-משמעית מניסוי בו השתנו שני משתנים במקביל.

תלות מרחק התנועה בשטח המפרש	
מרחק התנועה (מטר)	שטח המפרש (סמ"ר)
	150
	100
	50
	0

**הכנת טבלאות וגרף/ים:** שרטוט הטבלאות וצירי הגרפים (כולל היחידות הנמדדות) לפני ביצוע הניסוי יאלץ את התלמידים לתכנן במדויק את הניסוי – מהם גדלי המפרש השונים הנבדקים? כיצד יימדד מרחק הנסיעה? דוגמה לטבלה אפשרית:

שטחי המפרש (המשתנה המשפיע) נקבעים על-ידי הצוות, ומרחק התנועה (המשתנה המושפע) הוא זה שיימדד בניסוי. טבלה מסוג זה צריכה להיות מוכנה עוד לפני הניסוי, כך שבעת ביצועו הם ידעו בדיוק מהו שטח המפרש אותו יש להכין בכל שלב, ולא יאלתרו תוך מהלך הניסוי.



**תצוגה גרפית:** האם המשתנים הם בדידים או רציפים? באיזה סוג של עקומה צריך להשתמש? מדוע? במקרה שלפנינו, שני המשתנים, שטח המפרש ומרחק התנועה, הם רציפים, ולכן גרף רציף ייצג נכונה את התוצאות. במקרה של "מכונת עם חרטום מחודד" לעומת "מכונת עם חרטום פחוס" (משתנה בדיד), גרף עמודות יהיה הגרף המייצג.

יש להנחות את התלמידים לכך שבעולם המדעי מוסכם שבגרף המכיל שני צירים: המשתנה המשפיע נרשם בציר האופקי (ציר X) והמשתנה המושפע נרשם בציר האנכי (ציר Y).

דוגמה למערכת צירי הגרף אותה יש לשרטט לפני הניסוי בדוגמה זו מובאת בסמוך.

**ממוצע ופיזור התוצאות:** בקשו מן התלמידים שלא להסתפק בהרצה אחת עבור כל ערך של המשתנה המשפיע, אלא לחזור על ההרצות מספר פעמים. דונו עמם על הסיבות האפשריות לכך שהמכונת נעה למרחק שונה בכל פעם, למרות שהתנאים היו שווים, לכאורה, בכל הרצה. עד כמה התוצאות היו מפוזרות סביב לממוצע בכל שטח מפרש? התלמידים ילמדו

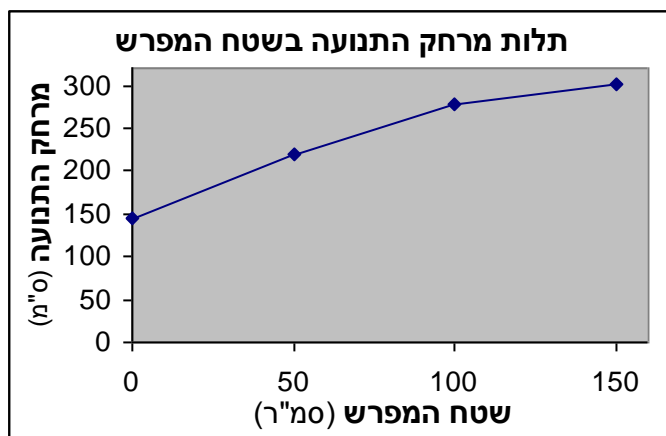
שממוצע הוא הערך אותו מקבלים בסיכום ההרצות השונות. מומלץ להגיע עם התלמידים להבנה שפיזור התוצאות סביב הממוצע קובע את מהימנותן. ככל שפיזור התוצאות סביב לממוצע גדול יותר – מהימנות התוצאות קטנה. הפיזור הרב מצביע על כך שביצענו את הניסוי בתנאים לא מיטביים. סביר שהמכונת הושפעה מגורמים עליהם לא שלטנו, ולכן יקשה עלינו להסיק מסקנות מניסוי בו התוצאות הינן בעלות שונות רבה.

#### 4) ניתוח התוצאות

לאחר סיום הניסויים, דונו בתוצאות של הצוותים השונים, כך שהתלמידים יקבלו תמונה שלמה ככל הניתן של החוקים הגורמים לתנועת המכונת, וכן ישכילו מהערותיכם לצוותים האחרים.

נביא כאן תוצאות של ניסוי אופייני בו נחקרו ביצועי המכונת כתלות בגודל המפרש. נוכל לנתח את התוצאות כך:

גודל המפרש אמנם משפיע על מרחק תנועת המכונת, אך לא באופן לינארי (ישר). יתרה מזאת – המכונת ללא מפרש נעה



למרחק מפתיע של קרוב ל-1.5 מטר. אם היינו מבקשים מהתלמידים לחזות את תוצאות הניסוי, סביר שהיו משערים שכאשר יסלקו את המפרש, המכונת לא תנוע כלל.

הסבר אפשרי הוא שהרוח הפוגעת בגוף המכונת יוצרת דחף רב, המניע את המכונת למרחק גדול גם אם אין

עליה מפרש כלל! גוף המכונת שימש כעין מפרש, הנדחף על-ידי הרוח.

גרף מסוג זה יכול לעורר שאלות מעניינות, כגון: מה, לדעתכם, היה מרחק התנועה אם היינו משתמשים במפרש בן 200 סמ"ר? 300 סמ"ר? מה היה קורה אם היינו מחוררים חור גדול במפרש? מדוע לנחש? כדאי לנסות! ומדוע מרחק התנועה במכונת ספציפית זו אינו תלוי באופן לינארי בגודל המפרש?

מובן שהגדלת המפרש מגדילה גם את מסת המכונת, ולכן את החיכוך של הגלגלים במשטח עליו היא נעה ואת חיכוך השיפודים (הצירים) בקשית-השתייה. היא מגדילה גם את חיכוך המפרש באוויר לתוכו הוא מפלס את דרכו בקדמת המכונת. סיבות אלה עשויות להוות את

הגורמים לכך שהגדלת המפרש מעבר לגודל מסוים מגדילה את טווח התנועה אך במעט, ביחס להגדלה בה צפינו כאשר בדקנו מפרשים קטנים יותר. האם אלה כל הגורמים? לא תמיד אנו, המורים, יודעים את כל התשובות. אל לנו להרגיש לא נוח עם כך. נהפוך הוא. המערכת היא מורכבת, ולא תמיד יכולים גם מהנדסים ומדענים מנוסים להסביר בקלות את התופעות המורכבות והבלתי צפויות בהן הם נתקלים. בהחלט ניתן לציין זאת בפני התלמידים. החווייה המדעית, דרכי החשיבה והמיומנויות אותן רכשו עד שלב ההסבר המדעי של התופעה מהוות בפני עצמן רווח גדול.

## סיכום

ביחידה זו ראינו כיצד ניתן לרתום פעילות מהנה על-מנת לטפח יצירתיות ויכולת חשיבה, ללמד עקרונות מדעיים ומיומנויות חקר רבות. השילוב בין בנייה של מתקן (אותו יכולים התלמידים אף לקחת לביתם) ובין תכנון מוקפד עשוי להבטיח תהליך למידה אפקטיבי וטיפוח מיומנויות מתוך הנאה ומשחק.

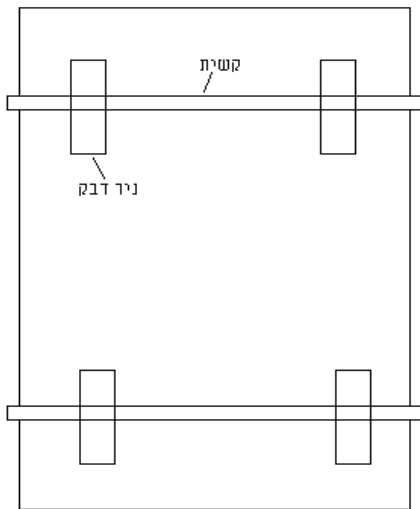


## נספח 1: בניית "מכונית רוח"

יש להתייחס להוראות כהצעה בלבד. זו אינה בהכרח המכונית היעילה ביותר, והתלמידים יכולים לבנות מכוניות שונות ואף יעילות יותר מזו.

### א. גוף המכונית:

חתכו מלבן מלוח פוליגל, בגודל 20X10 ס"מ בערך, בעזרת סרגל וסכין חיתוך או מספריים.



ציור 1: המכונית – מבט אל

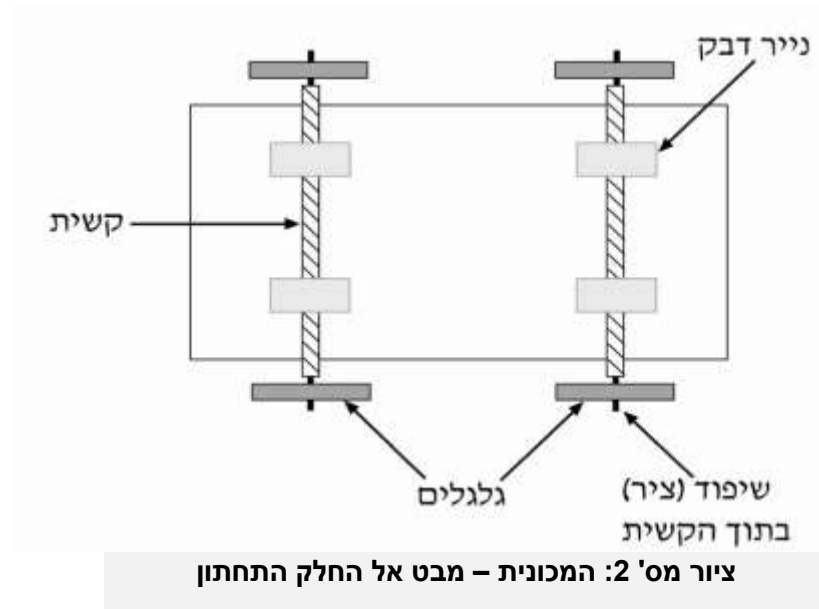
### ב. בית הצירים:

- חתכו שתי קשיות שתייה, כך שאורכן יהיה מעט גדול יותר מרוחב גוף המכונית (כחצי ס"מ מכל צד). אל תוך קשיות אלה יוכנסו השיפודים (הצירים) כדי למנוע חיכוך של הגלגלים בגוף המכונית (ראה ציור מס' 1).
- הדביקו את שתי הקשיות בניצב לחלק הארוך של המכונית, במרחק של כ- 5-7 ס"מ (כרבע מאורך המכונית) מכל קצה של גוף המכונית.

### ג. גלגלים וציר הגלגלים:

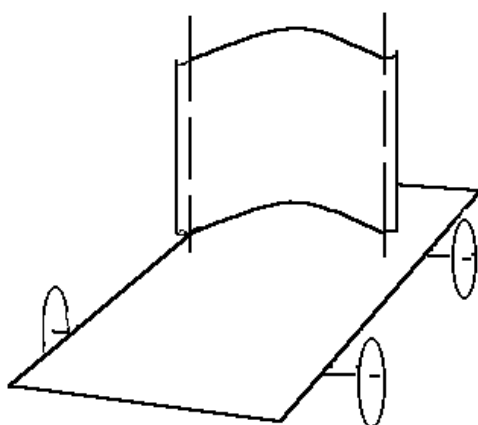
- סמנו באמצעות עפרון או עט וגליל נייר דבק (או כל חפץ עגול אחר) 4 מעגלים זהים על-גבי פוליגל.
- חתכו את ארבעת העיגולים, בדיוק האפשרי, בעזרת מספריים. קוטר כל גלגל 3-5 ס"מ, בהתאם לגודל החפץ העגול בו השתמשתם. הגודל המדויק אינו חשוב, אך חשוב שכל הגלגלים יהיו שווים במידותיהם.
- הניחו את הגלגלים בחפיפה, זה על-גבי זה, ובצעו תיקונים עדינים בעזרת מספריים, כך שיתקבלו עיגולים מושלמים עד כמה שניתן.
- אתרו את מרכזו המדויק של כל גלגל וחוררו אותו בעזרת הקצה החד של אחד השיפודים. יש להקפיד שהחור יהיה במרכז הגלגל במדויק.
- שני השיפודים משמשים כצירי הגלגלים. העבירו שיפוד אחד דרך מרכז אחד הגלגלים והכניסו אותו אל תוך הקשית.
- העבירו את השיפוד דרך אחת הקשיות שהדבקתם על גוף המכונית. לאחר שהשיפוד עבר אל צידה השני של הקשית, השחילו אותו במרכזו של הגלגל השני.

7. קבעו את מרחק הגלגלים מגוף המכונת וחתכו בעזרת מספריים את החלק העודף של השיפוד.
8. חזרו על פעולות 4-7 עבור השיפוד ושני הגלגלים הנוספים (ראו ציור מס' 2).



#### ד. התקנת המפרש

- העבירו שיפוד באחד מקצות החלק הרחבי של נייר A4, כמו מחט ברקמה. יש לחורר בנייר 2-4 חורים בלבד.
- חזרו על הפעולה הנ"ל עם שיפוד נוסף בצד השני של הנייר, כך ששני החודים של השיפודים יפנו לאותו הכיוון. הנייר ושני השיפודים מהווים את המפרש.
- מקמו את המפרש לרוחב החלק העליון של גוף המכונת (בחלק הנגדי של בתי הצירים של הגלגלים) באופן אנכי למכונת: בעזרת החודים של השיפודים חוררו את הפוליגל קרוב לקצות המכונת בערך במרכזה, כך שהנייר יקבל צורה מעגלית ("בטן") כלפי הצד המהווה



ציור מס' 3: המכונת - מבט עילי

- את החלק הקדמי של הרכב (על-פי החלטה שרירותית). הנמיכו עד כמה שאפשר את הנייר, כך שהוא יגע בגוף המכונת, על-מנת ליצור מרכז כובד נמוך למניעת התהפכות (ראו ציור מס' 3).
- ניתן לשפר את המפרש על-ידי יצירת חלק מחודד כך שיקטין את התנגדות האוויר, וגם "יאסוף" נפח גדול יותר של אנרגיית רוח

## נספח 2: ציוד וחומרים

### לכל צוות:

- חתיכת פוליגל (כ- 20X40 ס"מ)
- זוג מספריים
- סרגל באורך 30 ס"מ
- גליל נייר דבק
- 6 קשיות שתייה
- 6 שיפודי עץ
- עיפרון / עט / עט סימון (מרקר)
- 6 גליונות נייר A4

### לכיתה:

- מאוורר (או מייבש שיער)
- סרט מדידה עד אורך של 4 מטרים
- גליון פוליגל (אם יהיה צורך בתוספת)
- פרסים לצוותים המנצחים (חבילת שוקולד, למשל)