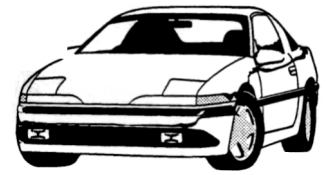
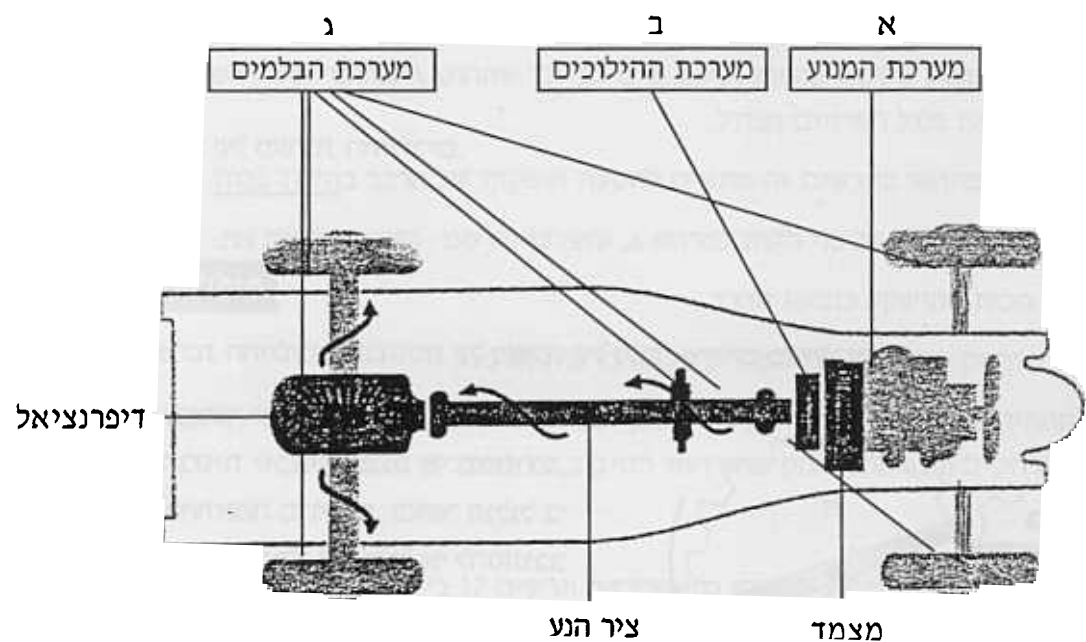


### 3. תהליכים שהתרחשו ברכב



הנהג שולט במהירות הרכב ע"י שינוי מהירות הסיבוב של גלגליו. כאשר הוא מאיץ - הוא מגביר את לחיצתו על דוושת התאוצה - ומעלה את מהירות סיבוב הגלגלים. כאשר הוא בולם, הוא מקטין את מהירות הסיבוב של הגלגלים. בסעיף זה נלמד אילו פעולות יכול הנהג לבצע על מנת לבלום, וכיצד מסייעות לו בכך מערכות הבלימה של הרכב.

הקטנת מהירות סיבוב הגלגלים ברכב יכולה להיעשות באמצעות שלוש מערכות טכנולוגיות הקיימות בכל רכב:

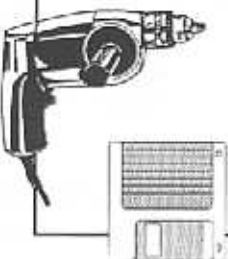


תרשים 15

נבחן את שלוש המערכות הללו

**א. בלימה באמצעות המנוע** - כשהנהג מקטין את הכוח בו הוא לוחץ על דוושת התאוצה או מפסיקו, ע"י הורדת הרגל מהדוושה, המנוע מאיט את קצב פעולתו. את קצב פעולת המנוע מקובל למדוד בסיבובים לדקה (R.P.M.). משמעות ההאטה היא שפוחת מספר סיבובי המנוע לדקה - סל"ד. בעקבות הקטנת סיבובי המנוע קטן גם הסל"ד של הגלגלים - והמכונית מקטינה את מהירותה.

כשמכונית נוסעת 60 קמ"ש  
מספר סיבובי המנוע שלה  
הוא בין 2,000 - 3,000 סל"ד  
(בהתאם לתנאי הדרך וסוג הרכב).  
בתנאים אלה גלגלי הרכב מבצעים כ-500 סל"ד.

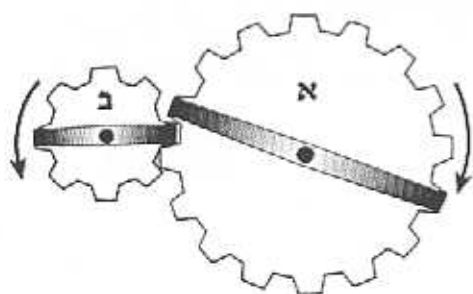
| סדרי גודל של מהירות סיבוב בסל"ד                                                     |                   |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
|    | מנוע מכונית       | כ- 3,000 |
|                                                                                     | מנוע אופנוע       | 6,000    |
|                                                                                     | מקדחה רגילה       | 1,500    |
|                                                                                     | מקדחת רופא שיניים | 15,000   |
|                                                                                     | דיסקט מחשב        | 8,000    |
|  |                   |          |

**ב. בלימה באמצעות מערכת ההילוכים** - מקור הכוח המניע את המכונית, שמאפשר לה לנוע בכוחות עצמה, הוא המנוע. בנסיעה, כשהמנוע פועל, הציר היוצא ממנו מסתובב ומסובב את גלגלי המכונית. הקשר בין המנוע לגלגלים אינו ישיר אלא דרך מערכת העברת הכוח, שבמרכזה מערכת הילוכים. זו האחרונה מעבירה את הכוח המניע אל גלגלי המכונית ושולטת במהירותם וכיוון תנועתם (קדימה או אחורה).

נרחיב על דרך פעולתה של מערכת ההילוכים.

### פעולת מערכת ההילוכים

דרך פעולתה של מערכת ההילוכים מבוססת על פעולה של גלגלי שיניים משולבים.



תרשים 16

נתבונן בתרשים 16, כאשר שני גלגלי שיניים משולבים. תפקיד השיניים להבטיח שכאשר גלגל א' מסתובב, יסתובב גם גלגל ב' בהתאמה מדויקת. כאשר הגלגל ב' מסתובב לכיוון אחד, הוא מאלץ את גלגל א' להסתובב בכיוון ההפוך.

לגלגל א' שבתרשים יש מספר כפול של שיניים מאשר לגלגל ב'. לכן כאשר גלגל ב' מסתובב, גלגל א' מסתובב מחצית ממספר הסיבובים של גלגל ב'.

נרחיב על דרך פעולתה של מערכת ההילוכים:

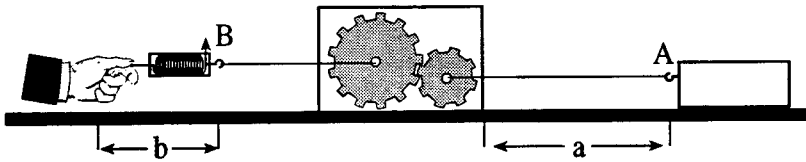
כאשר ידועים מספרי השיניים בכל אחד מהגלגלים, אפשר לדעת מה מספר הסיבובים של גלגל אחד כאשר האחר מסתובב סיבוב אחד. בתרשים 16, כאשר גלגל א' מסתובב סיבוב אחד, גלגל ב' מסתובב שני סיבובים. היחס בין מספרי הסיבובים ב' : א הוא 2 : 1.

ליחס זה קוראים בשם "יחס התמסורת שבין גלגלי השיניים".

בכל תיבת הילוכים קיימות כמה תמסורות מסוג זה. בחירת התמסורת המתאימה לתנאי הנסיעה מאפשרת לנהג שליטה טובה ויעילה בביצועי הרכב. על כך נלמד בניסויים הבאים.

## הדגמה - פעולת התמסורת

הציוד: לוח עץ ומתקן תמסורת מחובר אליו  
תיבות חיכוך  
חוטי קשירה  
מד כוח.



תרשים 17 א'

א. נניח את הלוח על פני שולחן אופקי כפי שמראה תרשים 17 א'.  
נחבר לקצה החוט A את התיבה המייצגת את גוף הרכב ולקצה החוט B את מד הכוח המייצג את הכוח שהמנוע משקיע בהנעת הרכב. שים לב לכך שהחוט A מחובר לגלגל השיניים הקטן ו"המנוע" מסובב את גלגל השיניים הגדול.

המצב המתואר בתרשים זה מתאים להסעה אופקית של הרכב בהילוך גבוה.

נניע את התיבה על פני הלוח למרחק  $a$ , שאורכו 40 סמ'. נמדוד ונרשום את:

א. הכוח שהושקע בהנעת הרכב.

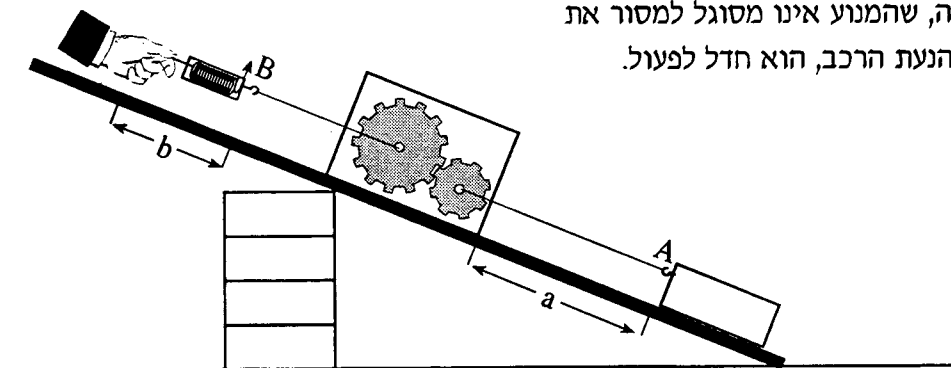
ב. המרחק  $b$  המייצג את המרחק שלאורכו כוח זה פעל.

המהירות כזכור היא מרחק ליחידת זמן. מכיוון ש"המנוע" וה"רכב" נעו יחד באותו פרק זמן, יחס המרחקים  $a : b$  הוא כיחס מהירויות הסיבוב של הגלגלים בתמסורת.

ב. נציב את הלוח בשיפוע לשולחן כפי שמראה תרשים 17 ב'. מצב זה מדמה נסיעה בעליה, שבו נדרש המנוע להשקיע כוח רב יותר בהסעת הרכב, וההילוך לא הוחלף.  
נחזור על חלק א' של הניסוי.

נמדוד ונרשום את: הכוח, המרחק  $a$  והמרחק  $b$ .

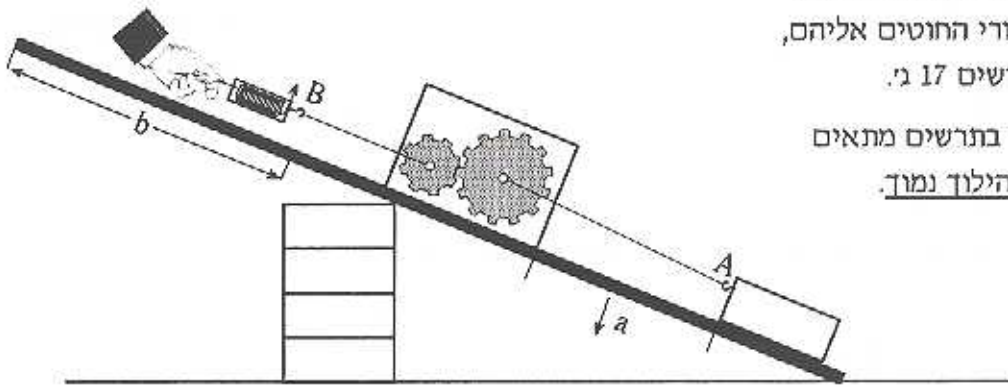
לעתים מצב כזה, שהמנוע אינו מסוגל למסור את הכוח הדרוש להנעת הרכב, הוא חדל לפעול.



תרשים 17 ב'

ג. נחזור על חלק ב' בניסוי כאשר נחליף את תפקידי גלגלי השיניים על ידי שינוי אופן חיבורי החוטים אליהם, כפי שמראה תרשים 17 ג'.

המצב המתואר בתרשים מתאים להנעת הרכב בהילוך נמוך.



תרשים 17 ג'

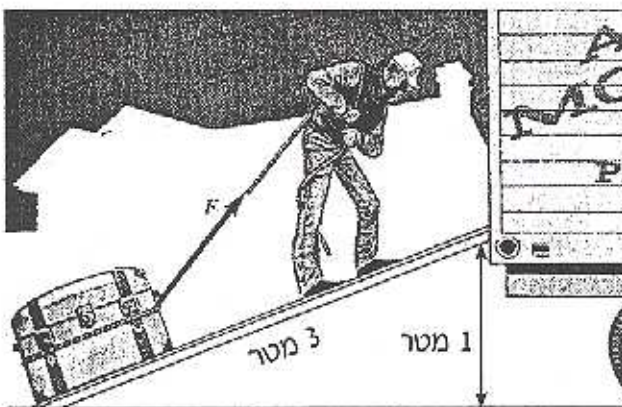
כאשר נשווה את תוצאות הניסויים שהתקבלו בשלושת חלקי הניסוי, נוכל ללמוד על פעולת התמסורת ברכב. היפוך התפקידים בתמסורת הקטין את העומס על המנוע. כלומר, באופן זה חסכנו מאמץ מהמנוע, אבל שילמנו על כך מחיר בהקטנת המהירות של הרכב.

תמסורת גלגלי השיניים ברכב מאפשרת התאמת הנסיעה לתנאי הדרך: כאשר דרוש כוח רב - פוחתת מהירות הרכב, כאשר דרושה מהירות גבוהה - פוחת הכוח.

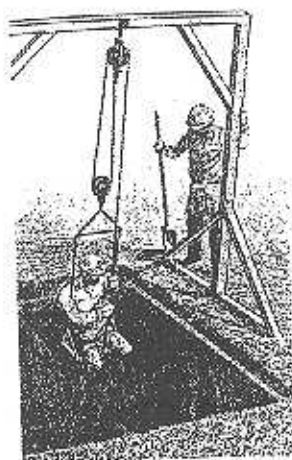
### עקרון הפיצוי

ישנם מקרים רבים בהם הניסיון לחסוך במאמץ של הפעלת כוח, כרוך בתנועה לאורך מסלול ארוך יותר.

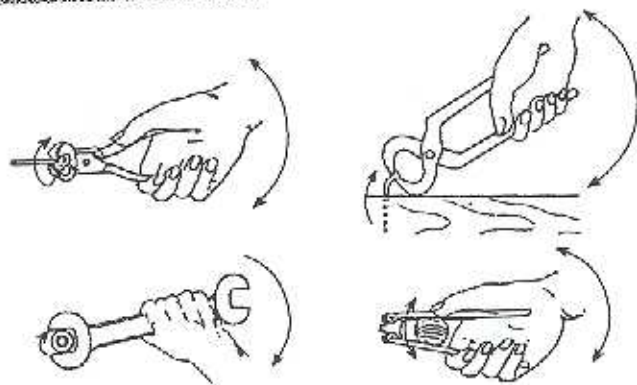
דוגמאות:



א. מישור משופע - מאפשר לגרור ארגז בכוח קטן ממשקלו לאורך 3 מטר, במקום להרים איתו בכוח השווה למשקלו לאורך מטר.

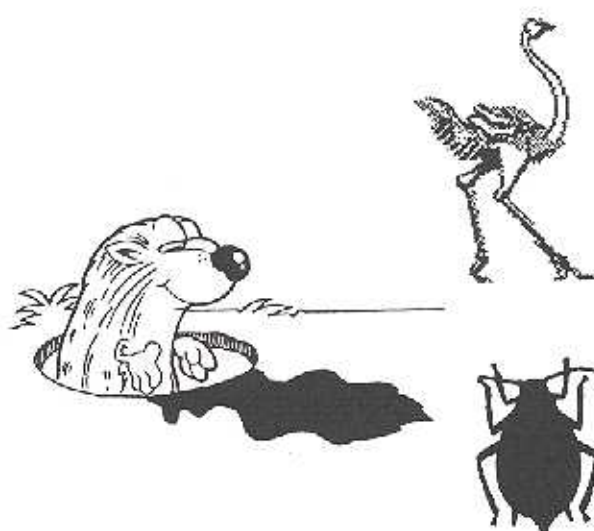


ב. מערכת גלגלות - האדם יכול למשוך בחבל, בכוח קטן ממשקלו לאורך מרחק גדול, ולהרים את מלוא משקלו מרחק קצר.



ג. מנופים פשוטים - הפעלת כוח קטן באמצעות זרוע ארוכה ותנועה ארוכה, מאפשרת להתגבר על כוח גדול בעל זרוע קצרה ותנועה קצרה.

ד. בעולם החי והצומח, עקרון הפיזיו נושא אופי של הסתגלות המינים השונים לסביבתם. תורתו של ציארלס דארווין (1809-1882), חוקר הטבע הנודע, שידועה בשם תורת האבולוציה, המקובלת על דעתם של אנשי מדע כיום, קובעת שהסתגלות היא התנאי להתפתחות והישרדות המינים השונים.



היען איבד את כושר התעופה ואת כנפיו, ופיצה את עצמו באמצעות רגליים חזקות להתגוננות ושיפור כושר הריצה שלו.

החולד איבד את חוש הראייה שלו ופיתח כתוצאה מכך את חוש המישוש והריח.

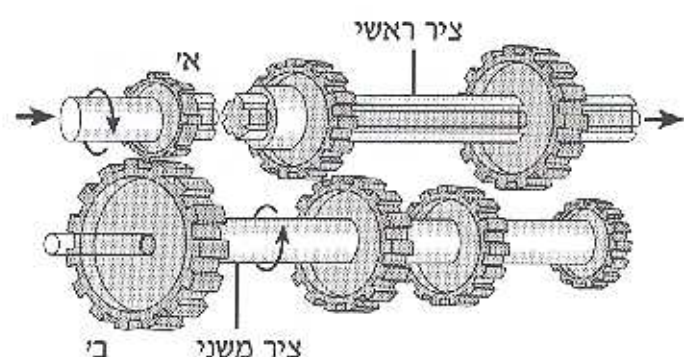
חיפושיות שנחפרו ברוח, ויתרו על כושר התעופה שלהם לטובת אחיזה יציבה בקרקע.

אדם שחוש הראייה שלו נפגע משפר בהדרגה את רגישות חוש השמיעה ואת חוש המישוש.

אדם שחוש השמיעה שלו נפגע מפתח את חוש המישוש.

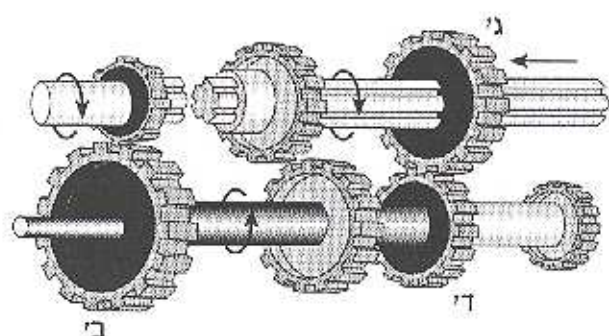


בעקבות ההדגמה בעמ' 31 נוכל להבין טוב יותר את פעולת תיבת ההילוכים. בתרשים 18 מתוארים ארבעה מצבים של תיבת ההילוכים:



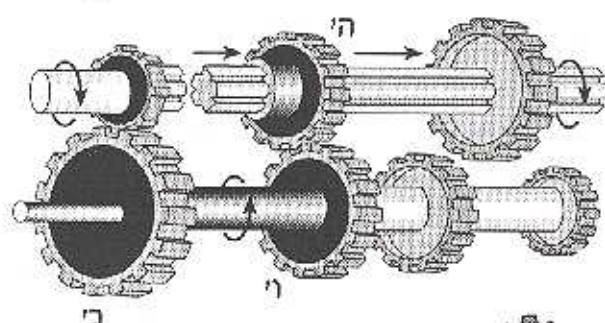
## I הילוך סרק (neutral)

גלגל שיניים א', שהוא חלק של ציר המנוע, משולב באופן קבוע עם גלגל השיניים ב', שהוא חלק של הציר המשני. כל יתר גלגלי השיניים אינם משולבים ביניהם ולכן הציר הראשי אינו מסתובב.



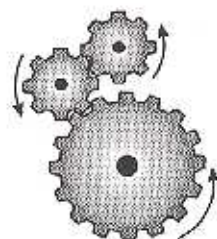
## II הילוך ראשון

גלגל שיניים ג', שעל הציר הראשי, משולב עם גלגל שיניים ד', שעל הציר המשני. גלגל השיניים ד' קטן יותר מגלגל השיניים ג' ולכן נקבל מהירות סיבוב נמוכה של הציר הראשי בכוח רב יותר.



## III הילוך שני

גלגל שיניים ה' משולב עם גלגל שיניים ו'. קוטר גלגל השיניים ו' גדול מקוטר גלגל השיניים ה' ולכן נקבל מהירות גדולה של הציר הראשי בפחות כוח.



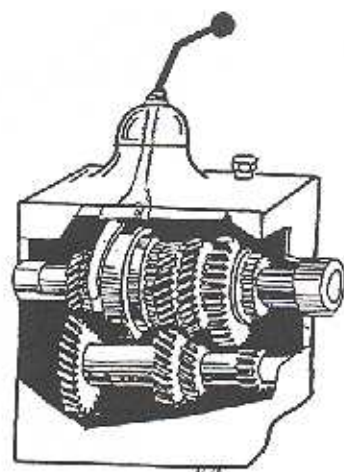
תרשים 18

## IV הילוך אחורי

לשם שינוי כיוון הנסיעה אחורה, השילוב בין ציר הביניים לציר גלגלי הרכב הוא דרך גלגל ביניים כפי שמראה התרשים.

## תיבת הילוכים ידנית

הזזת גלגלי השיניים נעשית באמצעות מוט ההילוכים. כך קובע הנהג את אופן צירופי גלגלי השיניים בתיבה. מספר ההילוכים נקבע לפי יעוד כלי הרכב. ברכב כבד יש יותר הילוכים מאשר ברכב פרטי.



תרשים 19

## תיבת הילוכים אוטומטית



תרשים 20

ברכב עם תיבת הילוכים אוטומטית, החלפת ההילוכים איננה מתבצעת ידנית ע"י הנהג, אלא באופן אוטומטי על פי העומס ותנאי הנסיעה של הרכב. בתיבה זו ישנה ידית באמצעותה ניתן לבצע:

P חניה בטוחה.

D נסיעה עם החלפה אוטומטית של ההילוכים.

R נסיעה לאחור.

1-2-3 בחירת תחום הילוכים מוגדר ע"י הנהג.

בלימה באמצעות מערכת ההילוכים נעשית ע"י העברה להילוך נמוך יותר. בלימה בדרך זו מבוקרת ונעימה יותר לנהג ולנוסעים.

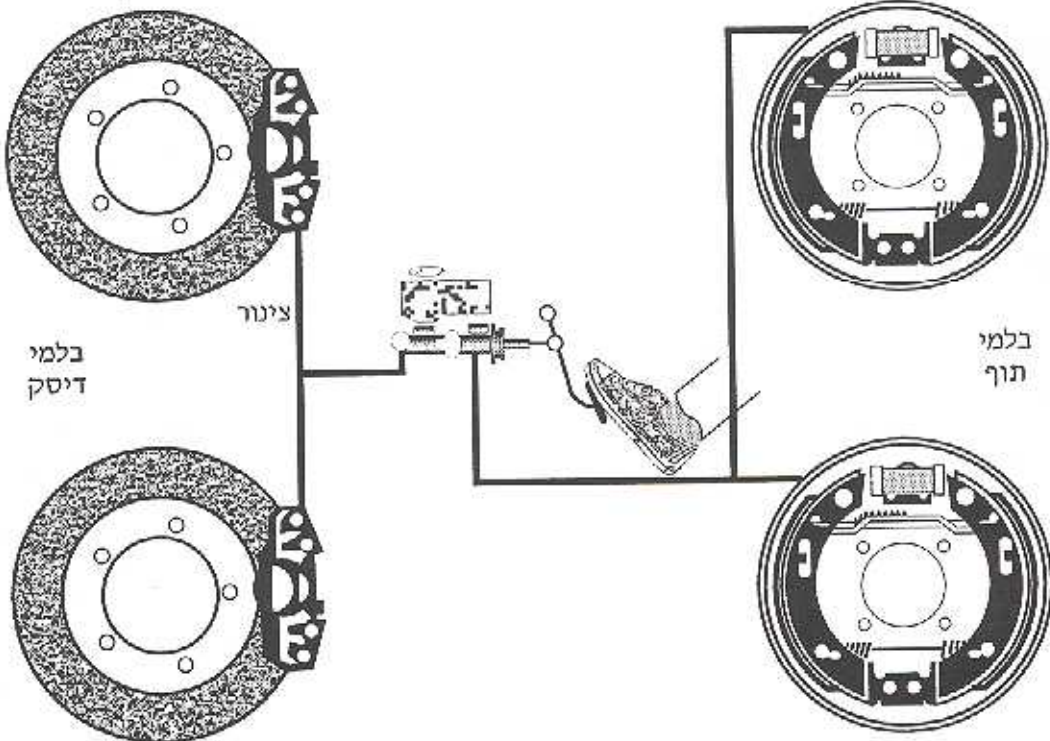
בלימה מסוג זה מתאימה להאטה לפני רמזור, בזמן פניה בדרך או בזמן נסיעה במדרון. במקרה חרום, כשהבלמים יוצאים מכלל פעולה, זוהי הדרך היחידה לבלום את הרכב.

**ג. בלימה באמצעות הבלמים** - לחיצה על דוושת הבלם מפעילה מערכת מנופים ובוכנות,

שמעבירות כוח באמצעות נוזל בלמים אל רפידות הבלמים, כפי שמראה תרשים 21. רפידות הבלמים נלחצות אל צירי הגלגלים והכוח הנוצר כתוצאה מכך מקטין את מהירות סיבוב הגלגלים.

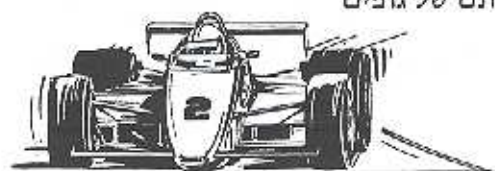
גלגלים קדמיים

גלגלים אחוריים

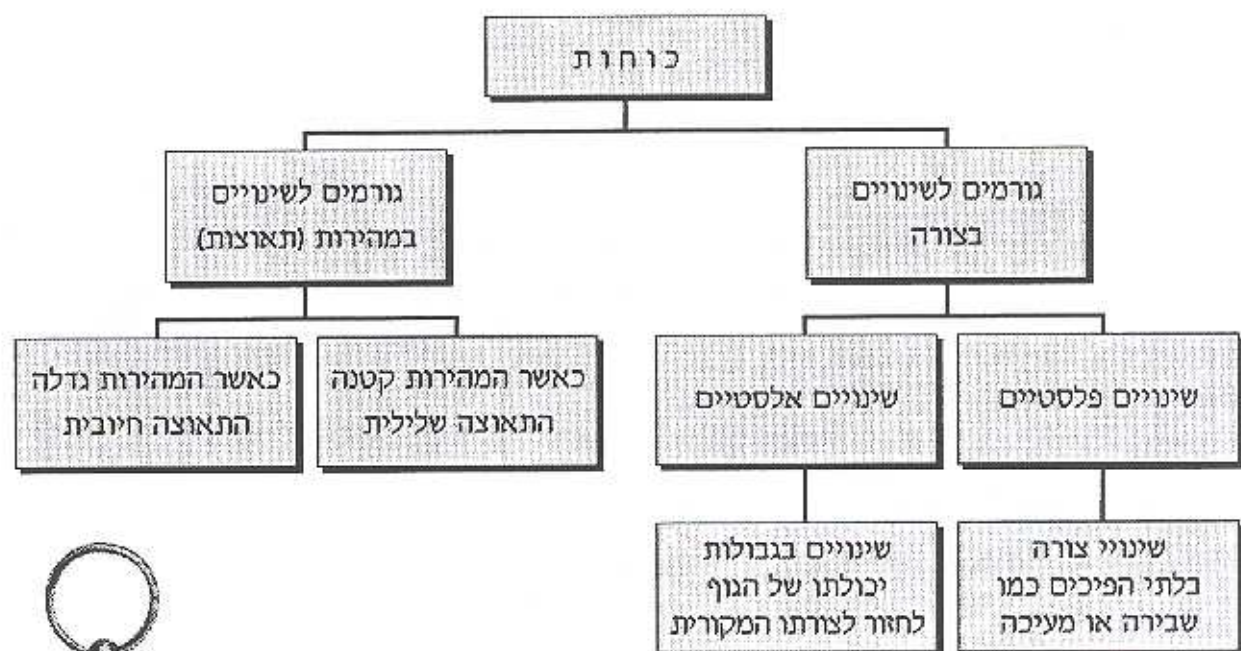


תרשים 21 - מערכת הבלימה

השתמשנו במושג הכוח מספר פעמים בהקשרים שונים, ולא הבהרנו עדיין את מהותו של מושג זה.



**כוח:** כוח הוא הגורם לשינוי מהירותם של גופים או לשינוי צורתם.



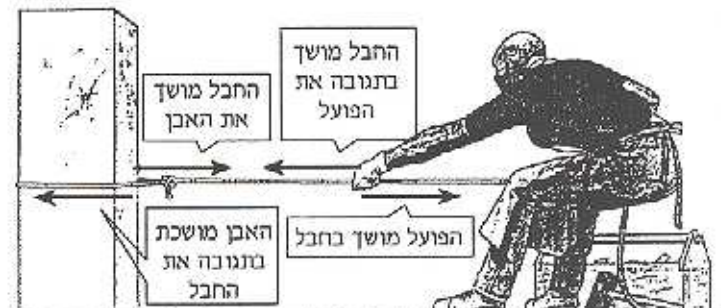
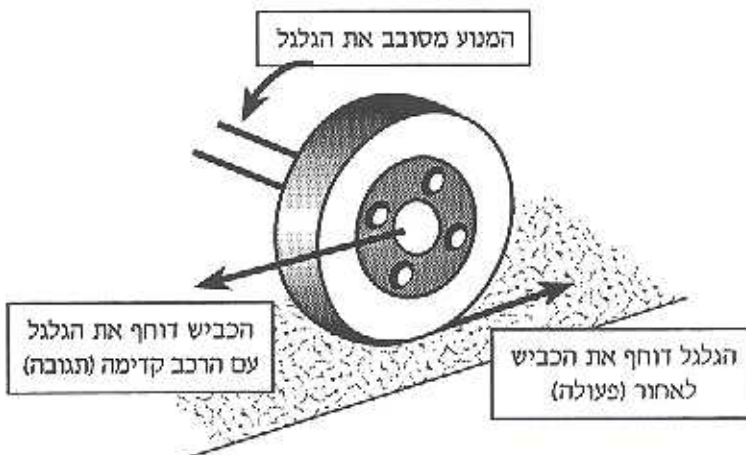
כוחות מודדים באמצעות התארכות קפיץ.  
יחידת המידה היא הניוטון (N).

### דוגמאות לסדרי גודל של כוחות בטבע

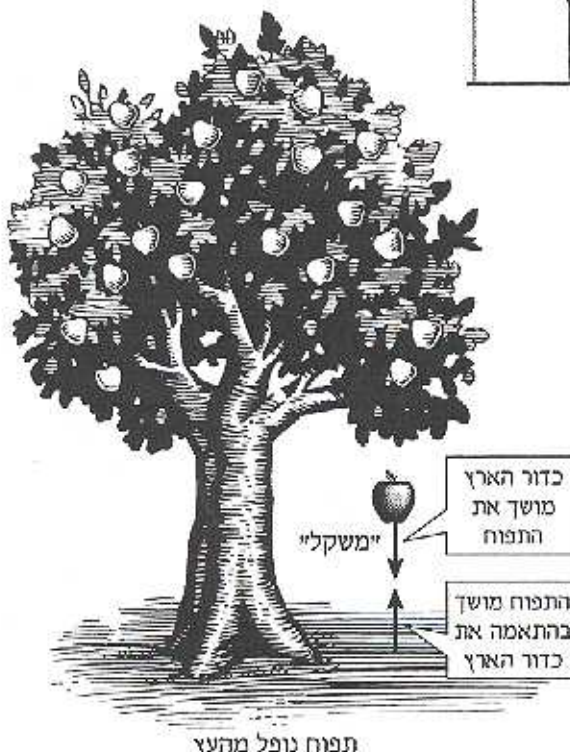
|        |            |                                                      |
|--------|------------|------------------------------------------------------|
| ניוטון | $10^{22}$  | כוח המשיכה הגרביטציונית שבין השמש לכדור הארץ         |
| ניוטון | $10^{20}$  | כוח המשיכה הגרביטציונית שבין כדור הארץ לירח          |
| ניוטון | $10^7$     | כוח הדחף של מנוע רקטי                                |
| ניוטון | $10^5$     | כוח הדחף של מנוע מטוס בואינג 747                     |
| ניוטון | 10         | הכוח בו נמשך 1 ק"ג מסה אל כדור הארץ                  |
| ניוטון | 1          | כוח המשיכה של תפוח ע"י כדור הארץ (זה שנפל על ניוטון) |
| ניוטון | $10^{-7}$  | כוח המשיכה החשמלי בין אלקטרון לפרוטון                |
| ניוטון | $10^{-8}$  | כוח המשיכה שבין חידק קטנטן וכדור הארץ                |
| ניוטון | $10^{-26}$ | משקלו של אטום מימן                                   |

אחד מגדולי הפיסיקאים בכל הזמנים היה איזיק ניוטון (1642-1727). הוא חקר את האופן שבו פועלים הכוחות בטבע והגיע למסקנה שכוחות מופיעים תמיד בזוגות. הוא ניסח זאת באמצעות עקרון הפעולה והתגובה הנושא את שמו.

לכל כוח שגוף אחד מפעיל על גוף שני קיים כוח נגדי (תגובה) שמפעיל הגוף השני על הגוף הראשון. הפעולה והתגובה שוות בעוצמתן והפוכות בכיוון.



פועל גורר בחבל גוש אבן על פני הרצפה



תפוח נופל מהעץ

### גרביטציה

כוח משיכה הפועל בין כל חלקיקי החומר ביקום ושואף להצמידם זה לזה.

לכוח המשיכה הפועל בין כדור הארץ לבין הגופים הנמצאים בסביבתו הקרובה מקובל לקרוא **משקל**.

באירוע אותו אנו מנתחים, קטנה מהירות המכונית (ראה עמוד 17). מכאן אנו למדים שפעל עליה כוח שגרם לכך.

עד כה הסתפקנו בתאור התהליכים שהתרחשו באירוע. עתה, כדי להבין את השפעת הכוח ותפקידו בתהליכים אלה, ניישם את דרך החקירה המדעית.



## חקירה מדעית

חקירה מדעית מתחילה כאשר מבקשים למצוא פיתרון לבעיה לא מובנת. בתהליך החקירה מזהים מספר שלבים:

א) זיהוי הגורמים המשפיעים על התופעה והגדרת הקשרים ביניהם. החוקר ממין, אוסף ומרכז את העובדות הקשורות לבעיה. הוא בונה **השערה** בעזרת היגיון וחשיבה, המבוססים על ידע קודם - תיאוריה קיימת וחשיבה יצירתית.

...

**חיכוך** - תופעה המתרחשת כאשר מגעים גוף אחד על פני גוף אחר. החיכוך בדרך כלל פועל בין שני הגופים ונגד מגמת תנועתם.

## הבעיה -

על השולחן מונחות ארבע תיבות עץ בעלות מימדים שווים. תיבה אחת מונחת על משטח מגומי, כפי שמראה תרשים 22. עליכם להפעיל כוח על מנת לגרור את התיבות על פני השולחן.

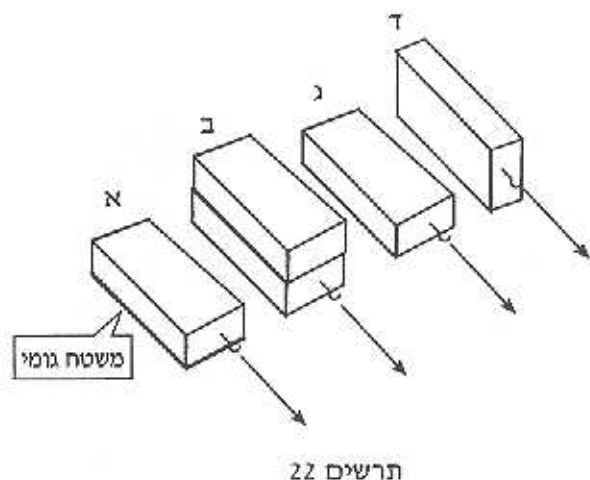
באיזה מצב (א', ב', ג' או ד') צריך להפעיל את הכוח הקטן ביותר על מנת להזיז את התיבות ממקומן?

באופן אינטואיטיבי אפשר לזהות 3 גורמים הקשורים ביניהם בפתרון הבעיה:

1. שטח המגע שבין התיבות לבין השולחן.

2. משקל כל תיבה.

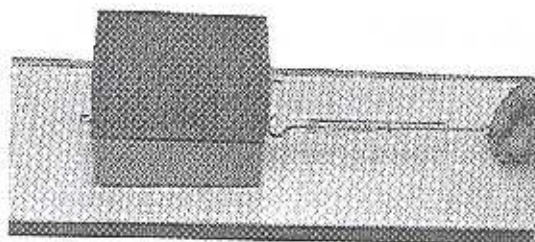
3. טיב פני השטח - החומר ממנו עשוים משטחי החלקה וטיב עיבודם.



**אינטואיציה** - היא צורת חשיבה המסתמכת על האופן שבו אדם מסביר לעצמו תופעות מעברו, על מנת לבנות הסברים לתופעות דומות בעתיד.

לצורת החשיבה האינטואיטיבית נודעת חשיבות רבה בחיזוק בטחונו העצמי של כל אדם ויכולתו לבנות הסברים לתופעות חדשות עבורו.

בני אדם שבונים הסברים אך ורק על בסיס תחושותיהם ואמונתם, ואינם נעזרים באיסוף עובדות ומידע, יוצרים הסברים חסרי בסיס מדעי. במקרים רבים הסברים אינטואיטיביים מסוג זה עלולים להיות שגויים.



תרשים 25

- ד. נחזור על הניסוי שבסעיף ג' כשאנו מניחים את התיבות אחת על גבי השניה, כפי שמראה תרשים 25, ונרשום את התוצאות בטבלה.
- ה. נחזור על ניסויים ג' ו-ד' כשאנו משתמשים ב-3 תיבות, ונשלים את הטבלה.

| קריאת מד הכוח | אחת אחר השניה | אחת על גבי השניה |
|---------------|---------------|------------------|
| של 2 תיבות    |               |                  |
| של 3 תיבות    |               |                  |

האם התוצאות תומכות בהשערה א' או מפריכות אותה?

**מסקנה** – תוצאות הניסוי מפריכות את השערה א'.  
לגודל שטח המגע אין כמעט השפעה על גודל כוח החיכוך.



### ... חקירה מדעית

ג) אם ההשערה נדחת, אפילו בעקבות ניסוי אחד, מעלים, לעתים קרובות, השערה חדשה ועורכים סדרה חדשה של ניסויים המותאמת לבדיקתה.

**השערה ב'** – ככל שמשקל התיבה גדול יותר, דרוש כוח רב יותר להזיזה ממקומה.

נתבונן בתוצאות הניסוי הקודם שבטבלה האחרונה, ובעזרתן נבדוק השערה זו.

מה קרה כשעברנו מתיבה אחת לשתיים או לשלוש תיבות?

מהו סוג הקשר בין משקל הגוף הנגרר לבין כוח החיכוך שעליו צריך להתגבר כדי להזיז אותו? האם קיים בין שני הגדלים יחס ישר? (ראה עמ' 23).

**מסקנה** – המשקל משפיע על גודל הכוח הדרוש לגרירת התיבות על פני השולחן.  
הכוח נמצא ביחס ישר למשקל הגוף הנגרר.

**השערה ג' – לטיב פני השטח יש השפעה על גודל הכוח הדרוש להזזת התיבה.**

### ניסוי 3 – בדיקת השפעת פני השטחים המחליקים על כוח החיכוך

נחזור על ניסוי 2 שבעמוד 39 (חלק א') עם תיבה מצופה בגומי, כאשר דופן הגומי מונחת על השולחן. נשווה את התוצאות שקיבלנו בניסוי זה עם התוצאות מהניסוי הקודם. האם התוצאות שקיבלנו תומכות בהשערה ג'?

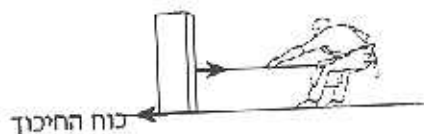
**מסקנה – לטיב פני השטח השפעה על גודל הכוח הדרוש להזזת התיבה ממקומה.**

אם נאחד את שלושת המסקנות מהניסויים שבצענו, נקבל הסבר שיטתי מקיף לתופעה:

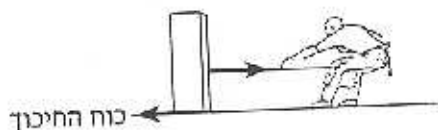
(א) גודל הכוח הדרוש לגרירת עצמים ממקומם, נמצא ביחס ישר למשקלם.

(ב) כוח החיכוך תלוי בטיב המשטחים המחליקים. משטח מחומר רך, בד"כ, יוצר כוח חיכוך גדול יותר.

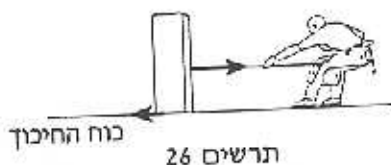
(ג) כוח החיכוך כמעט ואינו מושפע מגודלו של שטח המגע בין המשטחים המחליקים.



כאשר אנחנו מושכים תיבה כפי שמראה תרשים 26 והיא עדיין לא נעה, כוח החיכוך שווה לכוח המשיכה ומנוגד לו בכיוונו (עפ"י עקרון הפעולה והתגובה, עמוד 35).



כאשר אנו מגבירים את כוח המשיכה והתיבה מגיעה אל סף התנועה, כוח החיכוך הגיע לערכו המקסימלי. כאשר אנו מוסיפים למשוך והגוף נמצא בתנועה, כוח החיכוך קטן.



### ... חקירה מדעית

חקירה בדרך זו מפתחת זיקה אישית קרובה בין המדען לבין התופעות שאותן הוא חוקר. תגליות מדעיות חשובות נושאות את שמם של מגליהן. שיטת המחקר המדעי מקובלת כשיטה היחידה לאישוש או הפרכה של תיאוריות. בחקירה מדעית משתמשים בכמה מושגים חשובים:

מסגרת חשיבה הנשענת על עקרונות מדעיים, שמציעה הסבר שיטתי לתופעה או מספר תופעות, ולקשר ביניהן.

ציפיה להתנהגות במערכת נחקרת. כל השערה עומדת לביקורת ומזמינה תגובות ונסיונות להפרכתה. השערה נחשבת תקפה - כל עוד לא הופרכה.

בודק השערה בהסתמך על עובדות נצפות, שניתן לשחזרן בכל מקום וזמן.

תיאוריה –

השערה –

ניסוי –

תיאוריה חדשה

## גלגוליה של השערה מדעית – מדוע נופלים גופים

**אריסטו (336–384 לפנה"ס, יוון)**

"כל הגופים בנויים מ-4 יסודות. העפר, המים, האוויר והאש. כל גוף שואף להגיע למקומו הטבעי. העפר למטה, האוויר מרחף, והאש עולה כלפי השמים".

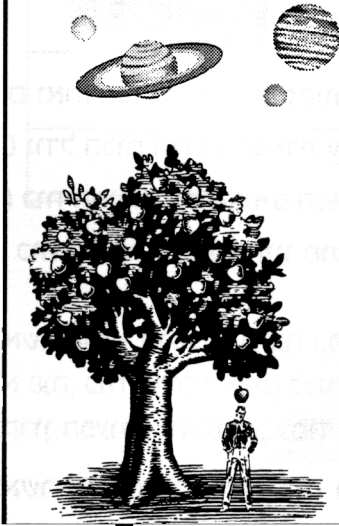


**ניקולס קופרניקוס (1473–1543, פולין)**

"אינני רואה את הכובד אלא כמו תשוקה טבעית של כל העצמים, שנטעה בהם יד ההשגחה האלוהית, כדי שיתקבצו יחד בצורת הכדור באחדות מושלמת. תכונה זו קיימת גם בירח וגם בשמש ובשאר כוכבי הלכת, כדי שישמרו בכוח פעולתה של אותה הצורה העגולה שבה הם נראים".

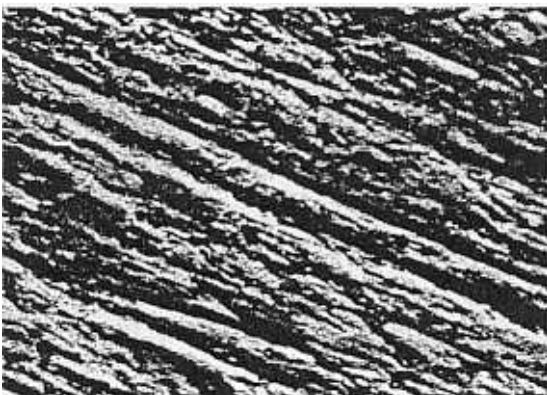
**איזק ניוטון (1642–1727, אנגליה)**

"כל שני גופים בטבע מושכים זה את זה. התפוח נופל מאחר וכדור הארץ מושך אותו אליו".

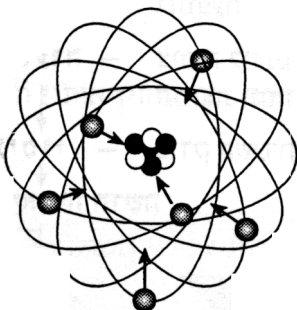


## הסיבות המיקרוסקופיות לחיכוך -

א. זיזים ובליטות הקיימים על פניהם של משטחים שביניהם מתרחשת התנועה הם הסיבה העיקרית לחיכוך. אפילו משטחים הנראים לעין חלקים אינם כאלה, כפי שמגלה צילום מיקרוסקופי.



פני שטח של כדור פלדה מלוטש.  
החריצים נוצרו בתהליך העיבוד.  
מוגדל פי 3,300.



ב. קיימים כוחות הדבקה חשמליים. כוחות אלה פועלים בין חלקיקי החומר של שני הגופים ויוצרים את החיכוך בניהם.

## הקטנת החיכוך - ישנם כמה אופנים להקטין את החיכוך:

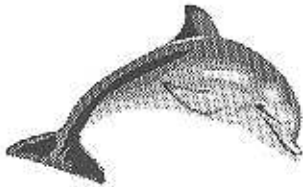
א. ליטוש פניהם של הגופים המחליקים זה על גבי זה, כמו במיסבים.

ב. שימוש בחומרי סיכה - שמן, מים וכו'.

ג. שימוש בגלילים או בכדורים (ראה בהמשך - בפרק על הגלגול).

לשם הקטנת החיכוך שבין מוצקים לזורמים, כמו אוויר או מים - נעשה עיצוב אוירודינמי המקטין את התנגדות הזורם למעבר דרכו או על פניו.

כדי להפחית את החיכוך במים, לדולפין יש צורה אוירודינמית וגופו מרוח בשכבת שומן חלקה.



## תופעת החוס המתלווה לחיכוך -

חיכוך מלווה תמיד בהופעת חוס. כתוצאה מכך עולה הטמפרטורה של הגופים המתחככים.

דוגמאות:



- כשאתם מחככים שתי ידיים זו בזו אתם מרגישים חוס.

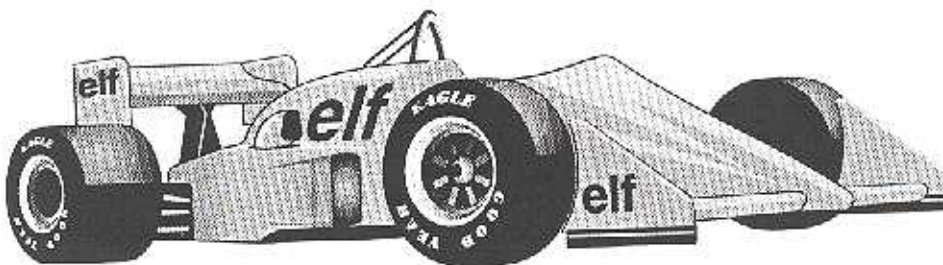
- הבערת אש ע"י חיכוך הנהוגה עד היום ע"י שבטים פרימיטיבים באוסטרליה.

- חיכוך גפרור בקופסא יוצר חוס המצית את הגפרור.

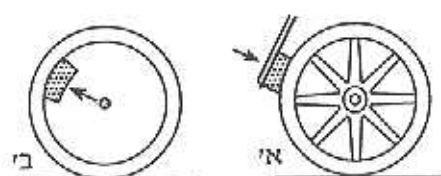
- בירידה ממצוקים בעזרת חבלי סנפלינג, משתמשים בכפפות לשמירה על הידים מפני כוויות.

- חלקי מכוונות הנעים זה על גבי זה, מתחממים בשל החיכוך. כתוצאה מכך הם עלולים לשנות את צורתם. מסיבה זו מתמשים בחומרי סיכה המקטינים את החיכוך.

- במכוניות מרוץ יוצרים אחיזה חזקה במיוחד בין הצמיגים והמסלול ע"י שימוש בתרכובת גומי שמתחממת ונעשית דביקה בזמן נסיעה מהירה. השימוש בצמיג רחב נעשה על מנת להגדיל את שטח המגע עם המסלול.



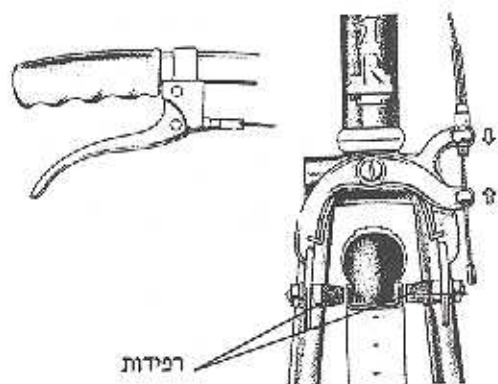
**מבנה מערכת הבלימה** - תפקיד מערכת הבלימה הוא להקטין את מהירות הסיבוב של הגלגלים. הבלם יוצר כוח חיכוך נגד מגמת הסיבוב של הגלגלים. הבלם הפשוט ביותר הוא בלם העגלה, קוביית עץ הנלחצת אל גלגל העגלה.



תרשים 27

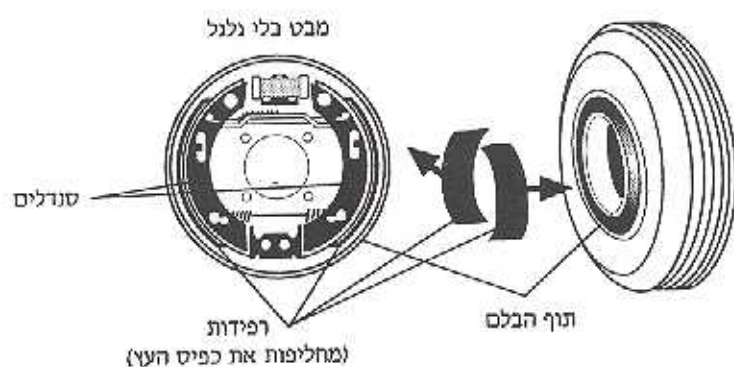
בתחילה הוצמד העץ אל היקף הגלגל מבחוץ, כבתרשים 27 א'. עם הזמן, על מנת לשמור על הבלם ולחסוך במקום, העבירו את כפיס העץ אל פנים הגלגל כבתרשים 27 ב'.

בלם דומה לבלם העגלה הוא בלם האופניים (ראה תרשים 28).



תרשים 28

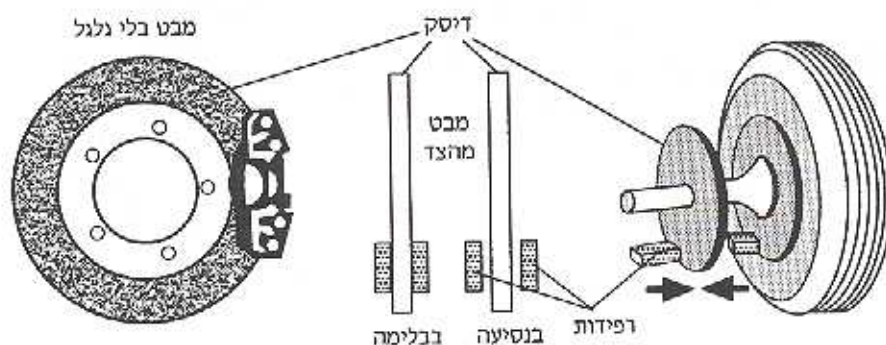
במכונית נפוצים שני סוגי בלמים - בלמי התוף ובלמי דיסק.



תרשים 29

**בלמי תוף** (בתרשים 29) - צמודים לציר הגלגל. שני סנדלי הבלימה נלחצים אל צידו הפנימי של התוף המסתובב עם הגלגל, יוצרים חיכוך העוצר את סיבוב הגלגל. הסנדלים מצופים ברפידות אסבסט - חומר שעומד בפני שחיקה וחום רב. בלמי התוף מחייבים תכנון, ייצור ואחזקה מדויקים וקפדניים.

**בלמי דיסק** (תרשים 30) - נכנסו לשימוש רחב בשנים האחרונות. בשיטה זו הוחלפו הסנדלים ברפידות הנלחצות אל דיסקה המחוברת לציר הגלגל. בבלמי הדיסק החלפת הרפידות נוחה, אין צורך בהתאמה מדויקת של חלקי הבלם, קירור הבלם מהיר יותר ואין כמעט צבירה של תוצרי שחיקה ולכלוך בבלם.



תרשים 30

## סיפורה של מערכת בלימה

אחת ממערכות הבלימה היעילות והבטוחות ביותר שפותחו עבור כלי רכב, היא מערכת הידועה בשם A.B.S., שפירושה בעברית "מערכת למניעת החלקה בזמן בלימה". תפקידה של המערכת היה לקצר את טווחי הבלימה וסייע לנהגים לשלוט שליטה מלאה ברכבם בזמן בלימות חירום או נסיעה בסיבוב. מערכות הבלימה הוכיחו את עצמן מעבר לכל ספק כיעילות ביותר בשמירת יציבות כלי הרכב בזמן נסיעה בתנאים קיצוניים של בלימה, סיבוב, או על פני כביש חלק. יצרני כלי הרכב החליטו להתקין את המערכת בכל כלי הרכב מתוצרתם, ובכך קיוו שיוכלו לסייע בשיפור רמת בטיחות הנסיעה ויקטינו את רמת ההיפגעות בתאונות הדרכים.

כולם ציפו לכך שמידת המעורבות בתאונות של מכוניות המצוידות במערכות בלימה אלה, תהיה נמוכה באופן משמעותי מכלי רכב אחרים. להפתעם כולם הסתבר שלא נמצא שום יתרון לכלי רכב אלה ומעורבותם בתאונות לא היתה שונה כלל ממעורבותם של כלי רכב אחרים, למרות שללא כל ספק מערכות הבלימה פועלות כתיקונן ויעילותן מוכחת מעל לכל ספק.

מסקנת החוקרים היתה מפתיעה למדי:

נהגים שיודעים שבמכוניתם מותקנת מערכת בלימה כל כך יעילה ובטוחה, נוטים ביתר קלות להעלות את רמת הסיכונים שהם מוכנים ליטול על עצמם בזמן נהיגה. רמות הסיכונים הרגו מגבולות ביצועי המערכת והנהגים נפגעו כדרך שנפגעים נהגים בכלי רכב אחרים. דוגמה בולטת היתה בחירה לא נכונה של מהירות הנסיעה בסיבובים.

יש כאן עדות חשובה לגבי הטבע האנושי, שהופך מערכות בעלות יתרונות מכניים ברורים לבלתי יעילות בשמירה על רמת הבטיחות בכבישים, וכך הופכת טכנולוגיה מתקדמת ובטוחה לנשק השמור לאדם לרעתו.



כאשר עוברים עם רכב בשולית מים והבלמים  
נרטבים, יורד כושר הבלימה של הרכב. המים מקטינים  
את החיכוך בין הרפידות לתוף או לדיסק הבלם.

**חיכוך ובלימה** - כשחקרנו את תופעת החיכוך, גילינו שעוצמת החיכוך נמצאת ביחס ישר למשקל.

בניסויים שערכנו היה המשקל הכוח שהצמיד את הגופים המתחככים זה לזה. במקרים רבים, הכוח המצמיד אינו המשקל. לדוגמא: כשאנו מחככים את כפות הידיים זו בזו, הכוח המצמיד הוא כוח השרירים. עוצמתו של הכוח המצמיד בבלמים נקבע ע"י עוצמת לחיצת הנהג על דוושת הבלם. הלחיצה על דוושת הבלם מפעילה מערכת של מנופים, בוכנות ונוזל בלמים שגורמים לבלימה.

בעגלות ובמכוניות הראשונות העברת כוח הבלימה נעשתה ע"י זרועות ומנופים מכניים. עם הזמן נתבררו מגבלותיהם: בלאי גבוה, הנובע משחיקת החלקים, ובעיקר: קושי להשיג באמצעותם בלימה אחידה, בכל הגלגלים, הדרושה לשם שמירה על מסלול הנסיעה של הרכב בזמן הבלימה ומניעת איבוד השליטה עליו במצב זה.

על קשיים אלו מתגברים באמצעות **מערכת הידראולית**.

מערכת הידראולית היא מערכת להעברת כוח באמצעות נוזל דרך צינורות אל בוכנות. פעולת המערכת ההידראולית מבוססת על תכונה אופיינית של נוזלים, המאפשרת העברת כוח דרכם בו זמנית ובעוצמה שווה.

תכונה זו מכונה על שמו של החוקר, המדען והפילוסוף הצרפתי בליז פסקל (1623-1662), שקבע חוק פיסיקלי האומר כי -

לחץ הפועל על נוזל במערכת סגורה, נמסר על ידו לכל הכיוונים  
בכל חלקי הנוזל במידה שווה

לשם הבנת החוק נעזר במספר ניסויים והדגמות.

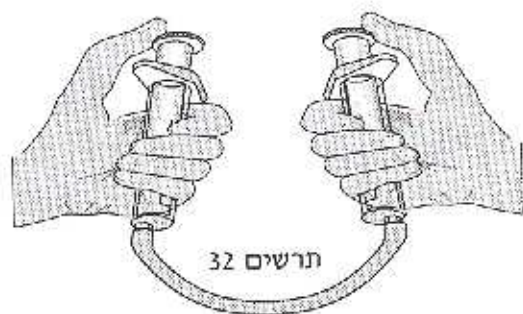
#### ניסוי 4 - העברת כוחות באמצעות נוזלים

**חלק א'** הציוד: 2 בוכנות זהות  
צינוריות חיבור

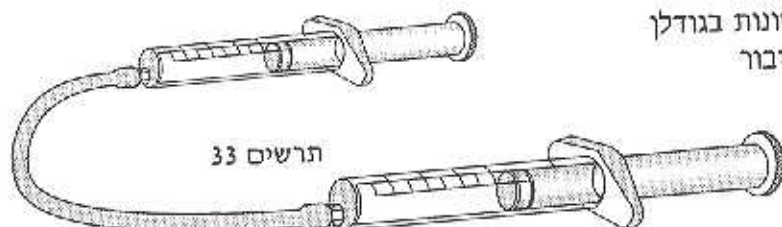


תרשים 31

לפניך שתי בוכנות זהות, מלאות במים, מחוברות זו לזו בצינור, כפי שמראה תרשים 31. נדחוף את בוכנה א' למרחק 2 ס"מ. בכמה תזוז בוכנה ב'? מהי, לדעתך, הסיבה לכך?



החזק את שתי הבוכנות כפי שמראה תרשים 32.  
האם הכוח שאתה משקיע בבוכנה א' הועבר  
במלואו, באמצעות המים, לבוכנה ב'?



חלק ב' הציוד: 2 בוכנות שונות בגודלן  
צינוריות חיבור

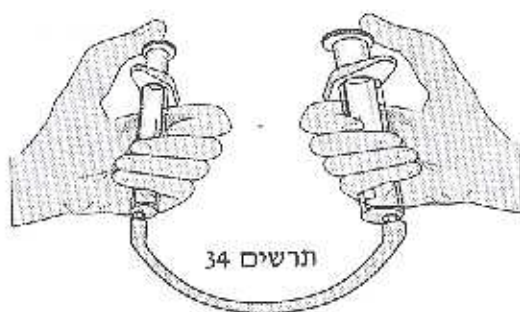
לפניך שתי בוכנות שונות בגודלן, מלאות במים, מחוברות זו לזו בצינור, כפי שמראה תרשים 33.  
נדחוף את בוכנה א' עד קצה הצילינדר. בכמה זזה בוכנה ב'?

החזק את שתי הבוכנות כפי שמראה תרשים 34.

האם הכוח שהפעלת על בוכנה א' הועבר  
באמצעות המים לבוכנה ב' - הוגבר, נחלש, או  
נשאר ללא שינוי?

בדוק את התופעה גם בכיוון ההפוך.

כיצד תסביר את התופעה?



### תגובת המים ללחץ

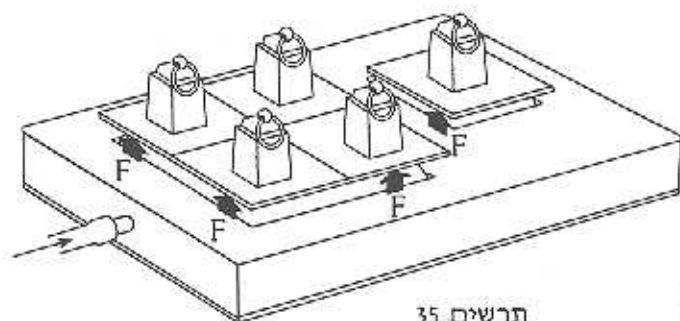
ככלל אפשר לקבוע שבתנאים רגילים מים אינם ניתנים לדחיסה.  
דרוש לחץ עצום, של 100 ניוטון לסמ"ר, על מנת להקטין ב-5 אלפיות את נפחם ההתחלתי.

### תגובת האוויר ללחץ

ככלל אפשר לקבוע שאוויר מתנהג באופן הבא:  
אם נשמור על כמות האוויר שאותה דוחסים ונדאג שהטמפרטורה שלו תישאר ללא שינוי,  
הכפלת הלחץ פי 2 תקטין את נפח האוויר פי 2.

לשם המחשת התופעה שראינו בחלק ב' של ניסוי 4, נתבון בהדגמה של "קופסת אוויר".

## הדגמה - העברת כוחות באמצעות אוויר



תרשים 35

כשנושפים אוויר לתוך שקית שנמצאת בתוך קופסא, היא מתמלאת אוויר ומתנפחת.

נשים את המכסה הקטן ואת המכסה הגדול במקומם ונניח על כל אחד משקולת של 1 ק"ג.

ננשוף פעם נוספת. איזה מכסה יתרומם ראשון?

מה יקרה אם נוסיף משקולת שניה של 1 ק"ג על המכסה שהתרומם?

מה יקרה אם נוסיף משקולת שלישית, רביעית וחמישית על אותו מכסה?

שני המכסים עלו יחדיו כלפי מעלה רק כאשר יחס המשקולות שעליהם היה שווה ליחס השטחים שביניהם - 1:4. כלומר, האוויר בשקית הפעיל על המכסה הגדול כוח גדול פי ארבע מהכוח שהפעיל על המכסה הקטן.

**מסקנה** — על כל יחידת שטח הפעיל האוויר כוח שווה.  
על השטח הגדול יותר הפעיל האוויר כוח גדול יותר.

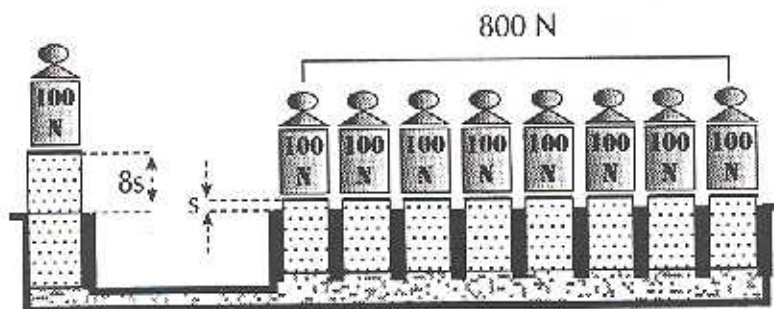
**לחץ** — כוח הפועל על יחידת שטח נקרא בשם לחץ.

כשם שתופעת הלחץ קיימת באוויר, היא קיימת גם בנוזלים.

## יישומו של חוק פסקל בתהליך בלימת כלי הרכב

כפי שניתן לראות בתרשים 33, כלא נוזל בלמים בין הבוכנה המרכזית שעליה לוחץ הנהג ברגלו, לבין הבוכנות בכל אחד מגלגלי הרכב. בכל אחד מהבלמים שבגלגלי הרכב ישנן שתי בוכנות. בכל לחיצה כזאת מופעל ע"י הבוכנות כוח המצמיד את רפידות הבלם אל התוף או הדיסקה שבמערכת הבלימה.

נתבון בתרשים 36:



תרשים 36

נניח שעל הבוכנה הבודדת שבצד שמאל, לוחץ הנהג בכוח של 100 ניוטון. מהו הכוח שיפעל כלפי מעלה כתוצאה מכך, בכל אחת משמונה הבוכנות שממין?

מה יהיה גובה התנועה כלפי מעלה של כל אחת מהשמונה, אם השמאלית תרד ב-8 ס"מ?

## תכונותיו החשובות של נוזל הבלמים:

1. נקודת רתיחה גבוהה ונקודת קיפאון נמוכה.
2. שלא יגיב כימית עם החומרים מהם בנויה מערכת הבלמים.
3. שתכונותיו הפיסיקליות והכימיות לא תשתנה לאחר אחסון ממושך ובטמפרטורות קיצוניות.
4. שיהיה לו כושר שימון טוב בכל התנאים.
5. שיהיה ניתן לערבב אותו עם נוזלי בלמים אחרים.

נוזל בלמים, בדרך כלל, סופח לחות מן האוויר. כתוצאה מכך, יורדת טמפרטורת הרתיחה של הנוזל ויש חשש להיווצרות טיפות מים במערכת הבלמים. משום כך חייבים להחליפו לעיתים מזומנות.

## המשוב בפעולת הבלמים

הנהג לוחץ על דוושת הבלם ויוצר לחץ על נוזל הבלמים בבוכנה המרכזית. נוזל הבלמים מעביר את הלחץ אל הבוכנות שבגלגלים, שמפעילות כוח על הרפידות לצורך עצירת הגלגלים. הנהג אינו יודע במדויק את יחס הכוחות בין עוצמת הלחיצה על הדוושה, לבין כוח הבלמים הנוצר בבלמים. הפעלת כוח במידה המתאימה נלמדת בדרך של **משוב** בין ביצועי הבלמים של הרכב לבין מהירות הנסיעה הרצויה.



את המשוב ממיינים לשני סוגים עיקריים:

**המשוב השלילי** – משוב הפועל במגמה להקטין את הפער שבין הביצוע בפועל לבין הביצוע הנדרש. כיוון התיקון הפוך לכיוון הסטייה.

**המשוב החיובי** – משוב הפועל במגמה להגדיל את הפער שבין הביצוע בפועל לבין הביצוע הנדרש. כיוון התיקון הוא בכיוון מגמת הסטייה.

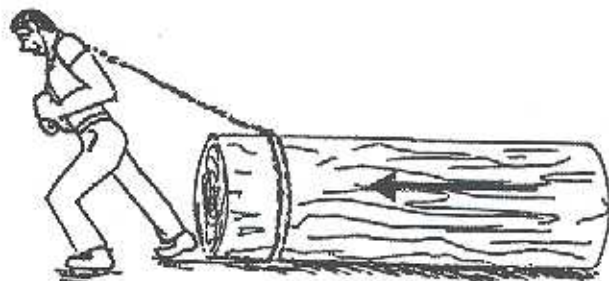
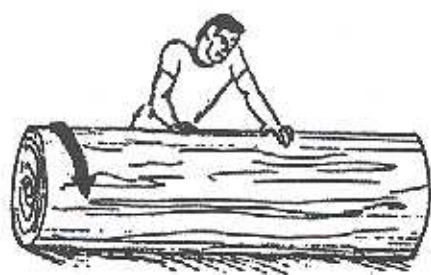
לנהג מנוסה יש את היכולת ללחוץ במידה המונאימה על דוושת הבלם להשגת ההאטה הנדרשת. משתמע מכך, שמי שאינו מנוסה בנהיגה תכופה, או שאין לו רכב קבוע, חייב לנסות את פעולת הבלמים מיד עם תחילת הנהיגה.

## "מעשה במלוא שסופו ריב משפטי"

בני הצא שרה ומשה. קנו אצלם סדינים ושמאלים וזמן ימים אהם בארץ. לפני הסדינים היו ווסטי וימאות באמצעות ניגן היה לקבוע את הטמפרטורה המדויקת של כל סדין. בלוי אורף קר האכו בני הצא אישון. אלא מאי. משה טעה ונטל את שלט-הגומא של שרה. שרה לא שמה לב ונטלה את שלט הגומא של משה. הכו התנהל אישיין עד שפגש גש משה באום משיק והגליט אהוריד את הטמפרטורה באמצעות השלט שבידו... על מה ולמה רבו משה ושרה בבוקרו של אותו לילה?

## חיכוך הגלגול

כפי שכבר למדנו, תהליכים רבים אינם יכולים להתרחש ללא חיכוך. במקרים בהם חיכוך ההחלקה מפריע, מעדיפים על פניו את חיכוך הגלגול כמו לדוגמה, הזזת הקורה שבתרשים 37.

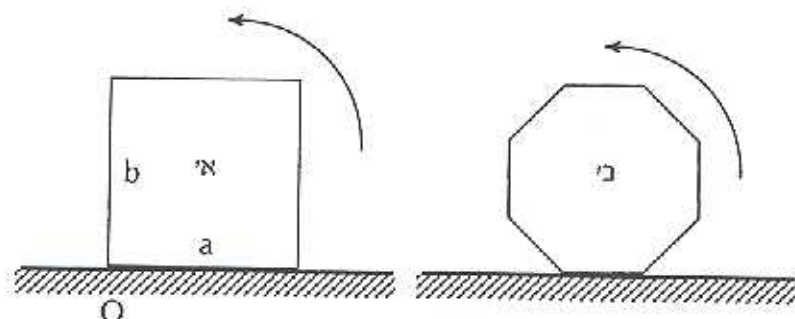


תרשים 37

נלמד עתה כמה תופעות הקשורות לחיכוך הגלגול\*.

## הדגמה - גלגול

הציוד: קרטון  $5 \times 5$  ס"מ מספרים



תרשים 38

נכין ריבוע מקרטון שצלעו 5 ס"מ.

נניח אותו בניצב לשולחן על הצלע  $a$  שלו ונסובב אותו ללא החלקה כפי שמראה תרשים 38 א'.

הריבוע מסתובב סביב הקודקוד המסומן ב-O עד שהצלע  $b$  מגיעה אל השולחן.

קל לראות, שתוך כדי הסיבוב, הקודקוד O נמצא במנוחה ביחס לשולחן.

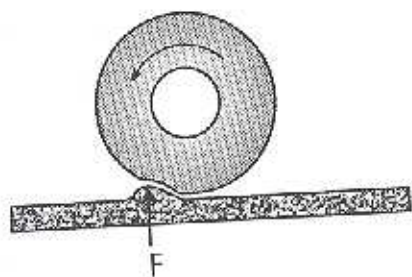
כל הנקודות האחרות של הריבוע נעות ואינן נמצאות במנוחה. ככל שהנקודה רחוקה יותר מהקודקוד, היא נעה במהירות גדולה יותר.

נחתוך את פינות הריבוע כפי שמראה תרשים 38 ב' ונקבל מתומן (מצולע בעל 8 צלעות).

נחזור על הניסוי פעם נוספת. נראה שגם הפעם כל קודקוד שהקרטון מתגלגל סביבו, נמצא במנוחה עד שהצלע הסמוכה לו מגיעה אל השולחן.

אם נוסיף לקצץ את הפינות, נתקרב לצורת מעגל, ונוכל להיווכח שגלגל מתגלגל על כביש - מסתובב סביב הנקודה הנמוכה ביותר שלו, שנמצאת תמיד במנוחה ביחס לכביש (כאשר אין החלקה!).

\* ישנן עדויות מתפירות בעירק על השימוש בגלגל כבר מ-3,000 לפנה"ס. בתרבות האינקא שביבשת אמריקה הכירו את המעגל, אך את הגלגל הכירו רק בסביבות שנת 1,500 אח"ס.



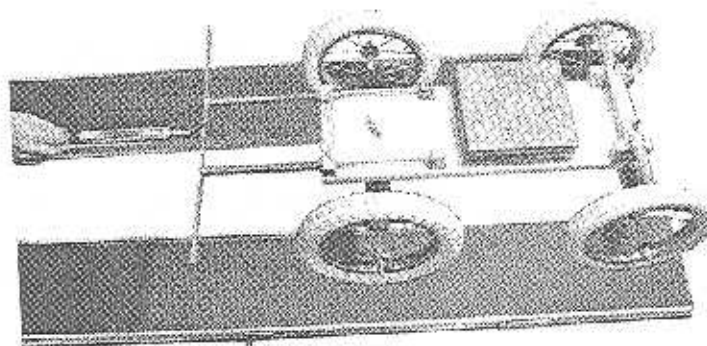
תרשים 39

הצמיגים הם המקשרים בין הרכב לבין הכביש. בזמן הגלגול, חל עיוות בצורת הצמיג וגם בפני הכביש, בנקודות המגע שביניהם. כתוצאה מכך, הגלגל צריך להתגבר על הכוח  $F$  הנוצר כתוצאה מהעיוות, וזאת סיבת חיכוך הגלגול.

אם החומר ממנו עשוי הצמיג וצורת פניו מתוכננים כראוי, הרי שבתהליך הגלגול מידת ההחלקה בינו לבין הכביש היא מיזערית וכוח האחיזה בין הצמיג לכביש גדול.

נמשך ונחקר בחקירה מדעית את הגורמים המשפיעים על חיכוך הגלגול\*.

## ניסוי 5 - השפעת ניפוח צמיגים על חיכוך הגלגול



תרשים 40

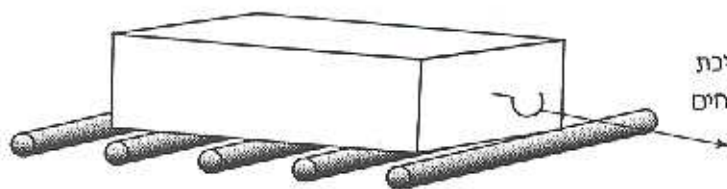
הציוד:  
עגלה  
משאבת אוויר  
6 מרצפות  
מד כוח  
מסלולי האצה

הרכב את הגלגלים, המשקולות ומד הכוח כפי שמראה תרשים 40.

רוקן את האוויר מהגלגלים והנח אותם על פני הרצפה.

העמס את העגלה ב-6 מרצפות.

התבונן במקום שבו נוגעים הגלגלים ברצפה. האם שטח המגע במצב זה גדול או קטן בהשוואה למצב שבו הגלגלים מנופחים?



\* כדאי לנסות ולבדוק מהו הכוח הדרוש למשיכת תיבת חיכוך כשהיא מונחת על גבי גלילים המונחים על השולחן.

משוך באיטיות את העגלה באמצעות מד הכוח ומדוד את הכוח הקטן ביותר הדרוש על מנת להזיז אותה ממקומה. רשום בטבלה במקום המתאים את הכוח שמדדת.

נפח בכל פעם גלגל אחד נוסף, חזור על מדידת הכוח ורשום את התוצאות במקום המתאים בטבלה.

| מציב הגלגלים     | שטח המגע של הגלגלים ברצפה<br>(קטן מאוד, קטן בינוני, גדול, גדול מאוד) | הכוח הדרוש<br>(בניוטון) |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 4 לא מנופחים     |                                                                      |                         |
| 1 מנופח ו-3 לא   |                                                                      |                         |
| 2 מנופחים ו-1 לא |                                                                      |                         |
| 3 מנופחים ו-1 לא |                                                                      |                         |
| 4 מנופחים        |                                                                      |                         |

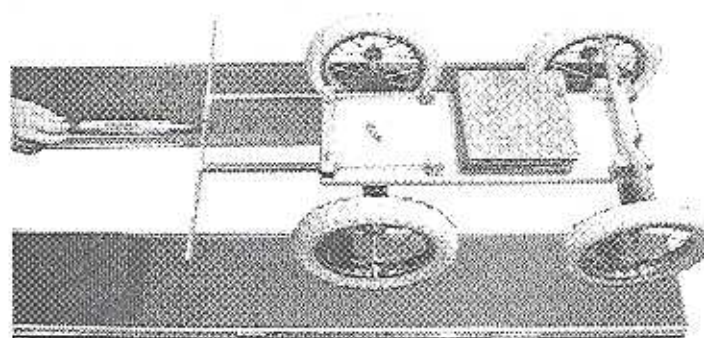
באיזה מקרה הכוח הדרוש להניע את העגלה היה הקטן ביותר? מהי, לדעתך, הסיבה לכך?  
כיצד משפיע שטח המגע של הגלגלים ברצפה, על חיכוך הגלגול שביניהם? נמק את תשובתך!

### נסכם את תוצאות הניסוי עד כה:

- חיכוך הגלגול תלוי בשטח המגע שבין הגלגלים לבין המשטח עליו הם מתגלגלים.
- ככל ששטח המגע גדל, גדל חיכוך הגלגול.
- ככל שהגלגלים מנופחים יותר, שטח המגע שלהם עם המשטח קטן יותר.
- כאשר מעמיסים משקל רב על הגלגלים, שטח המגע שלהם עם המשטח גדל.

נמשיך ונחקור גורם נוסף המשפיע על חיכוך הגלגול.

## ניסוי 6 – השפעת סוג המשטח על חיכוך הגלגול



תרשים 41

הציוד:  
עגלה  
מרצפות  
מד כוח  
מסלול פורמייקה  
מסלול מצופה נייר ליטוש

א. העמס את העגלה על המסלולים המצופים נייר ליטוש, כפי שמראה תרשים 41.

חבר לעגלה את מד הכוח ומדוד את הכוח הקטן ביותר הדרוש להזיז את העגלה ממקומה. רשום את תוצאת המדידה בטבלה.

ב. החלף את המסלולים למסלולי פורמייקה, וחזור על הניסוי. רשום את התוצאה בטבלה.

| סוג משטח המסלולים | הכוח הדרוש (בניוטונים) |
|-------------------|------------------------|
| נייר ליטוש        |                        |
| פורמייקה          |                        |

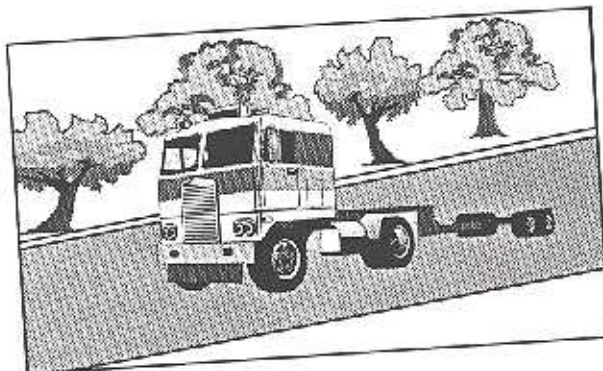
איזה גורם חקרת בחלק זה של הניסוי?

מהי השפעתו של גורם זה על חיכוך הגלגול?

סכם את תוצאות שני הניסויים (מסי' 5 ומסי' 6), ורשום מהם הגורמים המשפיעים על חיכוך הגלגול.

בתרשים 42 מתוארים שלושה מצבי נסיעה של מכונית:

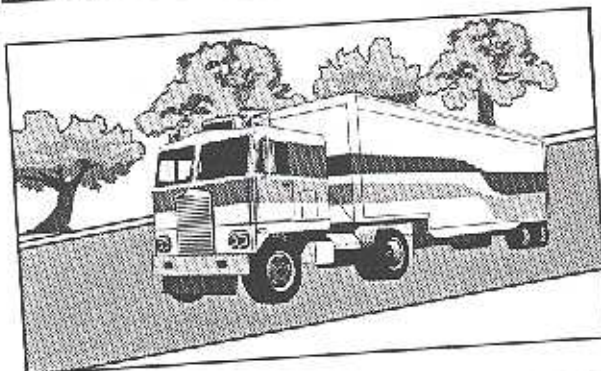
א. מכונית ללא מטען בנסיעה על פני כביש.



א



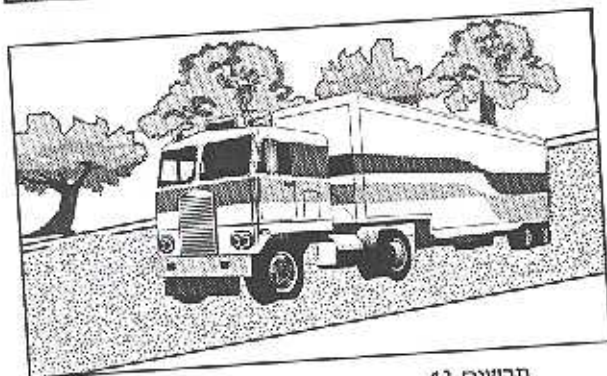
ב. מכונית עמוסה בנסיעה על פני כביש.



ב



ג. מכונית עמוסה נוסעת בדרך חולית.



תרשים 42

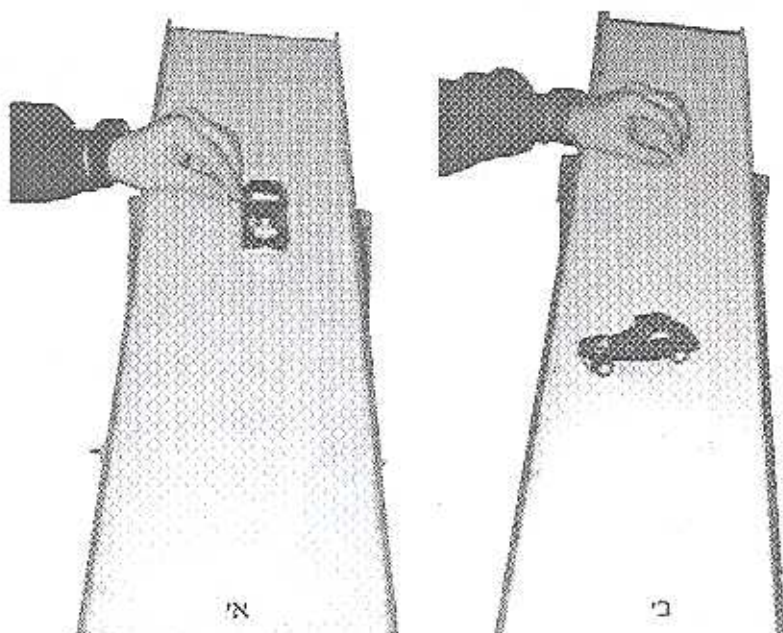


ג

באיזה מבין שלושת המצבים חיכוך הגלגול הוא הגדול ביותר?

על מנת להבטיח שליטה טובה של הנהג ברכב, יש להקפיד על כך שלחץ האוויר\* בצמיגי המכונית יהיה על פי הוראות יצרן הרכב. כשלחץ האוויר אינו שווה בין הגלגלים, שטח המגע שלהם עם הכביש אינו שווה, וחיכוך הגלגול אינו שווה בכל הגלגלים. במקרה כזה קיים חשש לאיבוד שליטה ברכב.

## הדגמה - בלימה לא אחידה



הציוד: מכוניות צעצוע  
מישור משופע  
נייר הדבקה  
או פלסטילינה

תרשים 43

### חלק א'

נועלים את הגלגלים האחוריים של המכונית באמצעות נייר הדבקה או פלסטילינה, ומניחים לה לגלוש באופן חופשי לאורך המדרון. המכונית מתחילה להסתחרר ויוצאת מכלל שליטה.

### חלק ב'

נחזור על הניסוי וננעל את גלגליה הקדמיים של המכונית. במקרה זה המכונית אינה מסתחררת, אבל לנהג אין יכולת לשלוט בכיוון תנועתה.

ההסבר לתופעות שראינו קשור בהבדל שבין חיכוך ההחלקה לחיכוך הגלגול. בין הגלגלים הנעולים לבין הכביש פועל חיכוך ההחלקה. בין גלגלים מסתובבים לכביש פועל חיכוך הגלגול. אם כוחות אלה אינם שווים, נפגעת יציבות הרכב ויש סכנה של איבוד שליטה.

איזה מבין שני המצבים מסוכן יותר לדעתך, המצב שבדקת בחלק א' או זה שבדקת בחלק ב'?

\* לחץ האוויר - זהו הכוח בו פועל האוויר הדחוס על כל יחידת שטח של הצמיג.

מקובלות שתי שיטות למדידת הלחץ בגלגלי הרכב. השיטה האנגלית-אמריקאית משתמשת ביחידות PSI והשיטה האירופית-יפנית משתמשת ביחידות אטמוספירה. הקשר בין היחידות  $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi}$ .