

פרק ב

כוחות ותנועה

במרחב התעבורתי



עולם בתנועה

הכול זורם - הכול נמצא בתנועה. כל העצמים בטבע משנים ללא הרף את מקומם, גדולים כקטנים, חיים או דוממים. התנועה היא תכונה מתכונותיהם של כל העצמים ביקום. בעלי החיים נעים כדי להתקיים, ועצמים דוממים נמצאים בתנועה בשל התכונות הפיסיקליות שלהם והמגמה הטבעית של כל הגופים בטבע להגיע למצבים של מנוחה. גם אם נדמה לך שאתה עומד, אתה נמצא בתנועה. כדור הארץ נע סביב השמש, והשמש נעה סביב הגלקסיה שלנו. התנועה לעולם איננה נפסקת.

המרחב התעבורתי הוא תחום שבו מתנהלת תנועה. במרחב התעבורתי נעים כל הזמן כלי רכב ועוברי דרך שונים כמו: הולכי רגל, ילדים, נהגים, רוכבי אופניים, רוכבי אופנוע וכדומה.

במרחב זה אנו יכולים לנוע ולנוד ממקום למקום באמצעים שונים ובדרכים שונות, למשל: בטיסה, בהליכה, ברכיבה על אופניים ועוד.

- כיצד הגעתם היום לבית-הספר?

- הלכתם ברגל? נסעתם במכונית? רכבתם על אופניים?



- איזו דרך נתפסת בעיניכם כדרך הנוחה והבטוחה ביותר להגיע ממקום למקום?

- מהם הסיכונים, לדעתכם, בכל אחת משלוש הדרכים?

- על מה אתם מבססים את תחושת הביטחון שלכם שלא תיפגעו?

כדי להבין מהם הסיכונים בתנועה במרחב התעבורתי ובשימוש באמצעי התחבורה השונים, נלמד בפרקים הבאים מהי תנועה וכיצד נגרמים שינויים במצבי התנועה של גופים שונים. נלמד כיצד אפשר להפחית את הסיכונים ואת הנזקים שנגרמים לנו ולכלי הרכב שאנחנו משתמשים בהם. בסופו של תהליך הלמידה נדע לנצל את הידע בנושא ולהפוך את התנועה שלנו לבטוחה יותר.

מהבנה לתובנה

המרחב התעבורתי

המרחב התעבורתי הוא מרחב ציבורי שנועד לשרת את כולם באופן שוויוני. לכל בני האדם הזכות המלאה להשתמש במרחבי התעבורה על-פי החוקים הנהוגים בו, והחלים באופן שוויוני על כל משתמשי הדרך. ההכרה במרחב התעבורתי כמשאב משותף העומד לרשות הכלל אינה מתקבלת לעיתים על כלל משתמשי הדרך, והם דורשים לעצמם זכויות-יתר ומעמד מועדף. בכך הם הופכים לגורמי סיכון במרחב.

מהי תנועה?

התבוננו בתמונות הבאות:



- אילו מצבים מתוארים בהם, ומה משותף להם? נמקו!
-
- למי מביניהם יהיה קשה יותר לעצור את תנועתו? נמקו!
 - א. למהיר מביניהם
 - ב. לכבד מביניהם
 - ג. למהיר ולכבד מביניהם
 - האם אותם גופים היו יכולים לנוע ללא מגע עם הקרקע?
 - א. כן

ב. לא

ג. חלקם כן וחלקם לא

נמקו:

- אילו התקיימה תחרות ביניהם מי היה מנצח בתחרות?

א. המכונית

ב. הסוס

ג. אי-אפשר לדעת

נמקו:

- מהו המרחק הסביר שאותו יעבור הצב שבתמונה במשך דקה אחת אם יתמיד בתנועתו?

א. מטר אחד

ב. כעשרה מטרים

- מהו המרחק הסביר שאותו יעבור האיש הרץ במשך דקה?

א. 200 מטר

ב. 2000 מטר

- מהו המרחק הסביר שאותו תעבור מכונית המירוץ במשך שעה?

א. 300 ק"מ

ב. 50 ק"מ

כעת הגדירו - מהי לדעתכם תנועה ומה מאפיין אותה.

תנועה

תנועה היא השינויים המתרחשים במקומו של גוף במהלך פרק זמן מסוים.

כלומר:

גוף נע הוא גוף שנמצא בזמנים שונים במקומות שונים. גוף נח הוא גוף הנמצא בזמנים שונים באותו מקום עצמו.

הכול יחסי

למה אנחנו מתכוונים כשאנחנו אומרים שכל תנועה היא יחסית?

תנועה איננה דבר מוחלט היא תמיד יחסית, מאחר ומקום איננו דבר מוחלט. המושגים 'מנוחה' ו'תנועה' הם מושגים יחסיים. גוף נע מוגדר כגוף המשנה את מקומו יחסית לגוף אחר הנמצא בסביבה. לכן, כאשר אנו רוצים לתאר אם גוף נמצא בתנועה או במנוחה יש לציין ביחס למה הוא נע או נח. הנקודה שיחסית אליה נמדדים המרחקים והתנועות נקראת בשם 'נקודת הייחוס'.

תרגיל

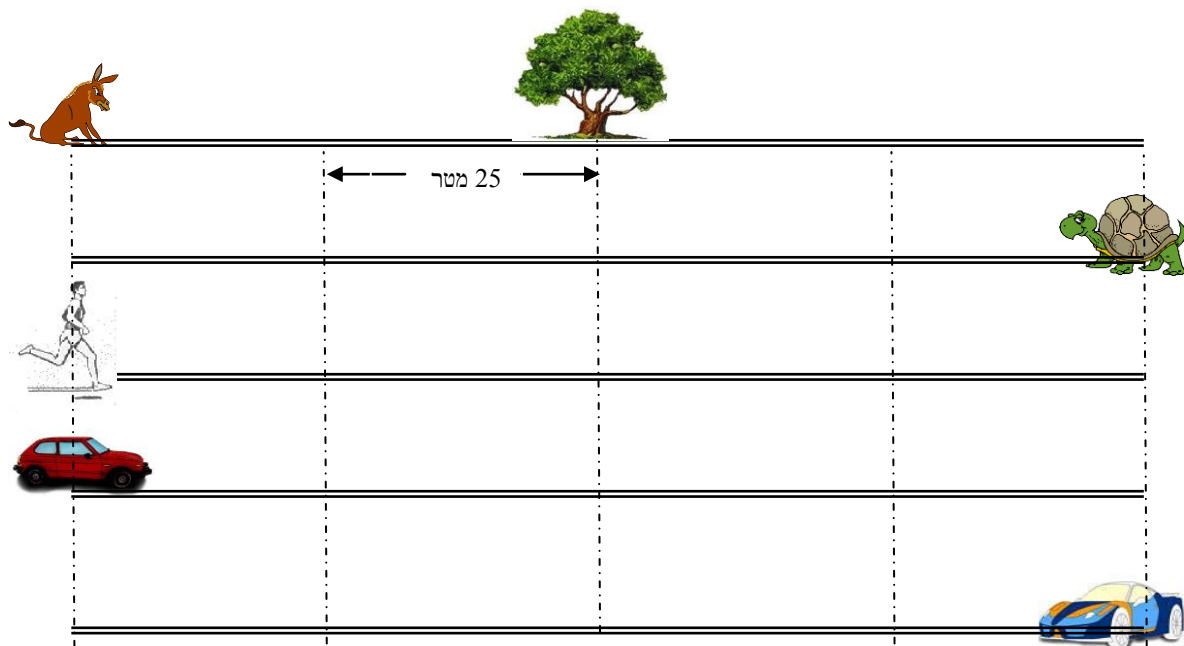
באמצעו של קטע דרך ישר ואופקי שאורכו 100 מטרים ניצב עץ. כל חמשת גיבורי הסיפור שלנו: החמור, הצב, האדם, המכונת הפרטית ומכונת המירוץ נמצאים באחד משני קצות קטע הדרך, והם מתחילים לנוע יחדיו. (ראה תרשים 1)

ואלו נתוני התנועה של גיבורי השאלה:

- כולם מתחילים לנוע יחדיו
- החמור איננו זז ממקומו
- הצב עובר מרחק של עשרה סנטימטרים בשנייה אחת
- האדם עובר מרחק של מטר אחד בשנייה אחת
- המכונת הפרטית עוברת 10 מטרים בשנייה אחת
- מכונת המירוץ עוברת מרחק של 25 מטרים בשנייה אחת
- כיצד אתם מציעים לקבוע את מקומו של כל אחד מהם לפני שהוא מתחיל לנוע?

כעת, קבעו את נקודת הייחוס שלכם לצורך מדידת המרחקים. סמנו את המרחקים המתאימים ממנה על כל אחד מהקווים המסומנים לרוחב הדרך. אלה ישמשו אותנו ליצירת סרגל מדידה של המרחקים בשאלה. כדי לפשט נקבע ונמדוד את המרחקים האופקיים בלבד.

- מהו מקומו של כל אחד מהגופים ביחס לנקודת הייחוס שקבעתם?



תרשים מספר 1

חשבו, מה היה קורה אילו היינו קובעים נקודת ייחוס שונה עבור כל אחד מהגופים, ומדוע רצוי תמיד לבחור בנקודת ייחוס נייחת?

שאלות למחשבה

1. אילו נקודות מתאימות להיות נקודות ייחוס לקביעת מקומותיהם ותנועותיהם של גיבורי השאלה? נמקו!
2. קבעו את נקודת הייחוס למדידת המרחקים ולהגדרת הכיוונים הדרושים. שימו לב, אחרי שנקבעה נקודת הייחוס אין משנים אותה. סמנו בתרשים באמצעות חיצים את מקומותיהם של גיבורי השאלה לפני תחילת התנועה וכעבור שנייה אחת.
3. באיזה מרחק מנקודת הייחוס נמצא כל אחד מגיבורינו לפני התחלת התנועה ושנייה אחת לאחר מכן?
4. כעבור כמה שניות יהיה שווה לאפס המרחק בין מכונית המירוץ לבין נקודת הייחוס שקבעתם?
5. נהג מכונית המירוץ רואה את המכונית הפרטית מתקרבת אליו במהירות של 35 מטרים בכל שנייה. נכון/לא נכון?
6. לאיזה כיוון נראה לנהג המכונית הפרטית האדם הרץ?

7. אופק טוען שהרץ רץ מהר מאוד, ואילו עומרי, הנוהג במכונית, טוען כי הרץ רץ לאט. מי מהם צודק? נמקו.

8. נהג מכונית המירוץ טוען שהוא נמצא במנוחה והכול סביבו, כולל הכביש, נמצא בתנועה. באיזה מקרה הוא צודק כאשר הוא טוען כך?

9. רינה פגעה במכוניתה ברכב שנסע לפניה. להגנתה הסבירה, שהיא עמדה במקומה והוא זה שפגע בה בנסיעה לאחור. כיצד ניתן לקבוע מי מהם צודק?

זכרו, אין בנמצא מקום מוחלט או מהירות מוחלטת. כל מקום וכל מהירות נקבעים ביחס לנקודת ייחוס מוסכמת. שימו לב לכך, שללא נקודת ייחוס מוסכמת כל אחד יכול לטעון שהוא נמצא במנוחה והאחרים נמצאים בתנועה ביחס אליו!



כדור הארץ נע סביב השמש, השמש נעה סביב מרכז הגלקסיה שלנו, הגלקסיה נעה סביב צירי כוכבים ענקיים ואין שום נקודה בכל היקום שנמצאת במנוחה מוחלטת וללא תנועה.

נראה תופעות אחדות הממחישות את יחסיות התנועה:

- הנוסעים באוטובוס נמצאים בתנועה ביחס לאדם העומד ברחוב, אך ביחס לנהג האוטובוס הם נמצאים במנוחה.
- בנסיעה בתוך קרון סגור ללא חלונות במהירות קבועה ובקו ישר - אין מרגישים בתנועה. אנו נרגיש בתנועה רק אם הקרון ינוע בדרך מפותלת ומהירותו תשתנה, או כאשר נפתח חלון בקרון, נציץ החוצה ונבחין כי הקרון נע ביחס לנוף, לעצים וכד'.



- שני נהגים נוהגים בשתי מכוניות שנעות באותו הכיוון: האחת עוקפת והאחרת נעקפת. לנהג המכונית הנעקפת נדמה שהמכונית הנעקפת נוסעת כביכול לאחור. כאשר מהירויותיהם שוות הן נראות ללא תנועה לשני הנהגים.

מהבנה לתובנה: תנועה יחסית

- ככל שהתנועה במרחב התעבורתי אחידה יותר הן בכיוונה והן במהירותה, כן בטוח יותר המרחב.
- מסיבות פיזיולוגיות מתקשים בני אדם לאמוד את המהירות במרחב ולתפוס את כיווני התנועה. מסיבות של יחסיות התנועה אנו לא יכולים לדעת מי נע ומי נח, או מי נע במהירות ומי באיטיות. לכן, קשה לנהגים להחליט באיזו מידה ניתן להספיק לבצע פעולות הדורשות שינוי מהירות במרחב, כמו: בלימה, עצירה, עקיפה וכדומה.



היכנסו לסביבת הלמידה חשיבה בתנועה', לפעילות 'אימוני עקיפה'.

במסלול זה תתרגלו עקיפה בתנאי דרך מגוונים, ותבחנו את השפעתם של גורמים שונים על היכולת לעקוף בהצלחה. עליכם להגיע אל נקודת הסיום בתוך פרק זמן שאינו עולה על ארבע דקות, מבלי שהרכב שלכם ייפגע. כמובן, שאין לעקוף במקום שבו מסומן קו הפרדה (קו לבן רציף), ואסור להתנגש בכלי רכב אחרים. פעלו על-פי ההנחיות בדפי המשימה.

מהירות



גלילאו גליליי¹, מדען שחי ופעל במאה ה-17, היה הראשון שהבין שתנועה מקשרת בין מקום לבין זמן. הוא טען, שתנועה היא שינוי המקום (מרחק) במשך פרק זמן, הגדיר את שינויי המקום בזמן וקרא להם **מהירות**. כלומר, ככל ששינויי המקום בפרק זמן נתון גדולים יותר, המהירות גבוהה יותר.

על-פי גליליי, המהירות היא **קצב** שינוי המקום בזמן. בניסוח אחר, המהירות היא הערך הכמותי של היחס בין המרחק לבין הזמן. ככל שערכו של יחס זה גדול יותר כן גדלה המהירות, ולהיפך.

הפירוש שניתן למושג מהירות אפשר בראשונה להשוות בין מהירויות שונות גם אם הגופים אינם נעים באותו כיוון או שאינם נעים באותם זמנים. אנחנו מקבלים זאת כיום כמובן מאליו, אבל באותה תקופה הייתה זו פריצת דרך מחשבתית גדולה.



על-פי הגדרתו של גליליי, כיצד נוכל להשוות בין מהירותם של שתי דמויות מצוירות אלה ולקבוע מהירותו של מי גבוהה יותר?

על-פי הגדרת התנועה כשינוי במיקומו² של גוף בפרק זמן מסוים ניתן להגדיר גם מהירות:

המהירות היא היחס שבין השינוי במרחק לבין משך הזמן שבו הוא התרחש.

כלומר:

$$\text{מהירות} = \frac{\text{השינוי במרחק}}{\text{השינוי בזמן}}$$

את הזמן בתנועה אנו מודדים ביחידות של שנייה או שעה, ואת המרחקים אנו מודדים ביחידות מרחק של סנטימטרים, מטרים או קילומטרים.

יחידת המידה של המהירות תהיה לפיכך: מטר בשנייה (מ"/ש) או קילומטר בשעה (קמ"ש) או כל יחידת אורך חלקי יחידת זמן. מהירות של מ"/שנייה שווה למהירות של 3.6 קמ"ש. 10 מ"/שנייה = 36 קמ"ש או: 25 מ"/שנייה = 90 קמ"ש.

¹ גלילאו גליליי – איש אשכולות, פיזיקאי, אסטרונום ופילוסוף איטלקי. חי בין השנים 1564-1642. מחקריו ותצפיותיו הניחו את היסודות למדע המודרני בתחומי הפיזיקה, האסטרונומיה והמכניקה.

² מקום הגוף – מרחק הגוף מנקודת ייחוס מסוימת.



בתרשים מתואר מד-המהירות שנמצא בכל כלי רכב.

באילו יחידות נמדדת המהירות בלוח השנתות החיצוני, ובאילו - בלוח השנתות הפנימי?

מהי המהירות שאותה מראה מד-המהירות?

כמה קילומטרים תעבור מכונית זו אם תמשיך לנוע במהירות זו במשך חצי שעה? / שעתיים?

שימו לב לכך, ששינוי גדול במרחק בפרק זמן קצר פירושו מהירות גבוהה; שינוי קטן במרחק באותו פרק זמן פירושו מהירות נמוכה יותר.

המהירות היא גורם פיזיקלי בעל ערך וכיוון – שנקרא בשם **וקטור**. וקטורים מתארים באמצעות חיצים. אורך החץ מייצג את ערכה המוחלט של המהירות וכיוונו של החץ מצביע על הכיוון.

בתצלום נראות עקבותיו בחול של אדם שצעד לאורך החוף בקצב קבוע של פסיעה בכל שנייה. אורכה של כל פסיעה הוא כחצי מטר.



1. לאיזה מרחק צעד האדם על-פי המתואר בתצלום?
2. כמה שניות נמשכה תנועתו של האדם שפסיעותיו נראות בתצלום?
3. האם תוכלו לדעת מהי מהירותו?

השוואת מהירויות

טיול של בוקר

האב יוסי ובתו איילת יצאו לטיול של בוקר.



שניהם אחזו ידיים והלכו יחדיו לאורך אותה דרך כשהם משוחחים ביניהם על משמעות החיים ועל העתיד. כידוע לכל ילד שטייל עם אביו, פסיעותיו של האב גדולות מפסיעותיה של הבת.

- בהסתמך על הגדרת מושג המהירות, רשמו ונמקו אילו מבין הטענות הבאות, המתייחסות לתנועתם של השניים, הן נכונות:

- א. המהירות של שניהם שווה.
- ב. שניהם נעו באותם פרקי זמן.
- ג. שניהם נעו לאורך מרחק שווה.
- ד. כשיספרו את מספר הפסיעות של שניהם, יימצא שמספר פסיעותיה של הבת יהיה גדול ממספר פסיעותיו של האב באותה כבדת דרך.
- ה. מאחר שמהירותם שווה, קצב הפסיעות שלהם (כלומר, מספר הפסיעות שלהם ביחידת זמן) חייב להיות שווה.
- ו. קצב הפסיעות של הבת גדול מזה של האב.
- ז. מהירותם תלויה רק בגודל הפסיעות של הבת.
- ח. מהירותם תלויה בקצב הפסיעות של האב.
- ט. צעדיה של הילדה קטנים יותר ולכן היא נעה במהירות גבוהה יותר מאביה.

שיטות שונות להשוואת מהירויות

התבוננו בנתונים המופיעים בטבלאות הבאות, ומבלי לחשב את המהירות קבעו איזה זוג של מספרים מייצג את המהירות הגבוהה ביותר. דרגו את המהירויות מהגבוהה ביותר (1) אל הנמוכה ביותר (3).

טבלה 1: חישוב מהירות

הזמן מדוד בשניות	המרחק מדוד במטרים	דרוג המהירויות
10	1	
10	2.5	
10	30	

- על-פי מה קבעתם את החלטתכם?

טבלה 2: חישוב מהירות

הזמן מדוד בשניות	המרחק מדוד במטרים	דרוג המהירויות
20	0.2	
1	0.2	
10	0.2	

- על-פי מה קבעתם את החלטתכם?
- מה ההבדל בין שתי הטבלאות?
- באיזו מבין שתי השיטות קובעים מיהו המנצח בתחרות ריצה?
- באיזו דרך קובעים מי מבין שני מטוסים הוא המהיר יותר? נמקו!

המהירות במרחב התעבורתי



במרחב התעבורתי התנועה היא במהירויות גבוהות יחסית למהירות תנועתו הטבעית של האדם, והיא באה לידי ביטוי בכלי רכב כבדים לאין ערוך ממנו. בני האדם נולדו עם מערכות חישה מותאמות למהירויות ולשינויים איטיים הרבה יותר. התכונות הגנטיות שלנו לא השתנו, אך לעומת זאת הטכנולוגיה של המרחב ושל כלי הרכב משתנה ללא הרף. כתוצאה מכך נוצרת בעיה קשה של תפיסת המרחב והסיכונים בו, מגבלה המקשה על חלק מבני האדם להשתלב בו. קצב השינויים וההתרחשויות

במרחב הוא מהיר מאוד. הקושי לתפוס מצבים משתנים ואת מגמות השינוי שלהם מסכנת מאוד את בני האדם במרחב.

כלי רכב יכולים לנוע כיום במהירויות גבוהות מאוד. אולם, במרחב התעבורתי מהירות תנועתם חייבת להיות מוגבלת ומותאמת לתנאי המרחב. כך לדוגמה, בשטח עירוני צפוף המהירות מוגבלת ל-50 קמ"ש, ובשטח בין-עירוני פתוח מותרת מהירות גבוהה יותר, עד 110 קמ"ש. כל רכב שנוסע במהירות החורגת מן המותר מסכן את עצמו ואת משתמשי הדרך האחרים.

משטרת ישראל נוהגת להשתמש במצלמות מהירות הבודקות את מהירות נסיעת כלי הרכב השונים כדי לאכוף את מגבלות המהירות.



מצלמות המהירות מודדות את פרק הזמן שבו עובר כלי הרכב מרחק ידוע בין שתי נקודות נתונות. למעשה, מוצבות בדרך שתי מצלמות. הרכב חולף על פני מצלמה אחת ומצולם על-ידה ולאחר כמה קילומטרים מצולם שוב כאשר הוא עובר על פני מצלמה אחרת. מכיוון שהמרחק בין המצלמות קבוע, ניתן לחשב בקלות את מהירות הנסיעה הממוצעת, ולוודא שבעל הרכב לא האט לפני המקום שבו מוצבת המצלמה המוכר לו, והאיץ מעבר למהירות החוקית אחר כך.

תיעוד המהירות באמצעות מצלמות המהירות נחשב לעדות קבילה בבית-משפט בכל הנוגע לעבירות תנועה הקשורות למהירות.

שאלות

1. מכונית תועדה באמצעות מצלמות מהירות. המרחק בין שתי המצלמות הוא 1.5 קילומטר והמכונית עברה מרחק זה במשך 0.5 דקה. מהי מהירותה ביחידות קילומטר בשעה (קמ"ש). רמז: בשעה אחת מונים 60 דקות.

2. בתמונות הבאות מתועדות עבירות תנועה שביצעו נהגים שונים.



מהמכונות המותצות במצלמה עבורה את המדגם בין המצלמות בפרק זמן של 2 דקות מיהל המכונות?

3. לטענתם של נהגים רבים, מהירות הנסיעה נאכפת באמצעות מצלמות מכיוון שעבירת מהירות היא הקלה ביותר לאכיפה ולא מפני שהיא המסוכנת ביותר. מה דעתכם על טענה זו? נמקו! שאלו גם את הורכם לדעתם על כך.

מהבנה לתובנה

כאשר מכוניות מתחרות במסלול מרוצים ישר ללא הגבלת מהירות, המהירה מביניהן תגיע ראשונה לקו הסיום. אולם, במרחב התעבורתי אין זה תמיד כך. לא כל מי שנוסע מהר יותר יגיע בפרק זמן קצר יותר ליעדו. על מנת לקצר את זמני הנסיעה במרחב התעבורתי בוחרים נהגים מנוסים במסלולי נסיעה שבהם יתקלו במספר העיכובים הקטן ככל האפשר. העיכובים בנסיעה הצפויים לנהג לאורך מסלול נסיעתו הם לדוגמה: הימנעות מנסיעה בנתיבים העמוסים בכלי רכב, בחירה בצירי תנועה ללא רמזורים וללא דרכים חוצות, בחירה נכונה בשעת הנסיעה, התאמת המסלול לתנאי מזג האוויר לתנאי הראות ולמצב רוחו ועייפותו של הנהג. לכן, על כל נהג השואף להגיע ליעדו בבטחה ובזמן הקצר ביותר לתכנן את מסלול נסיעתו מראש, ולא בהכרח לנסוע במהירות גבוהה. מהירות גבוהה לא תבטיח לנו שבכל פעם נגיע בזמן קצר יותר ליעד שלנו.

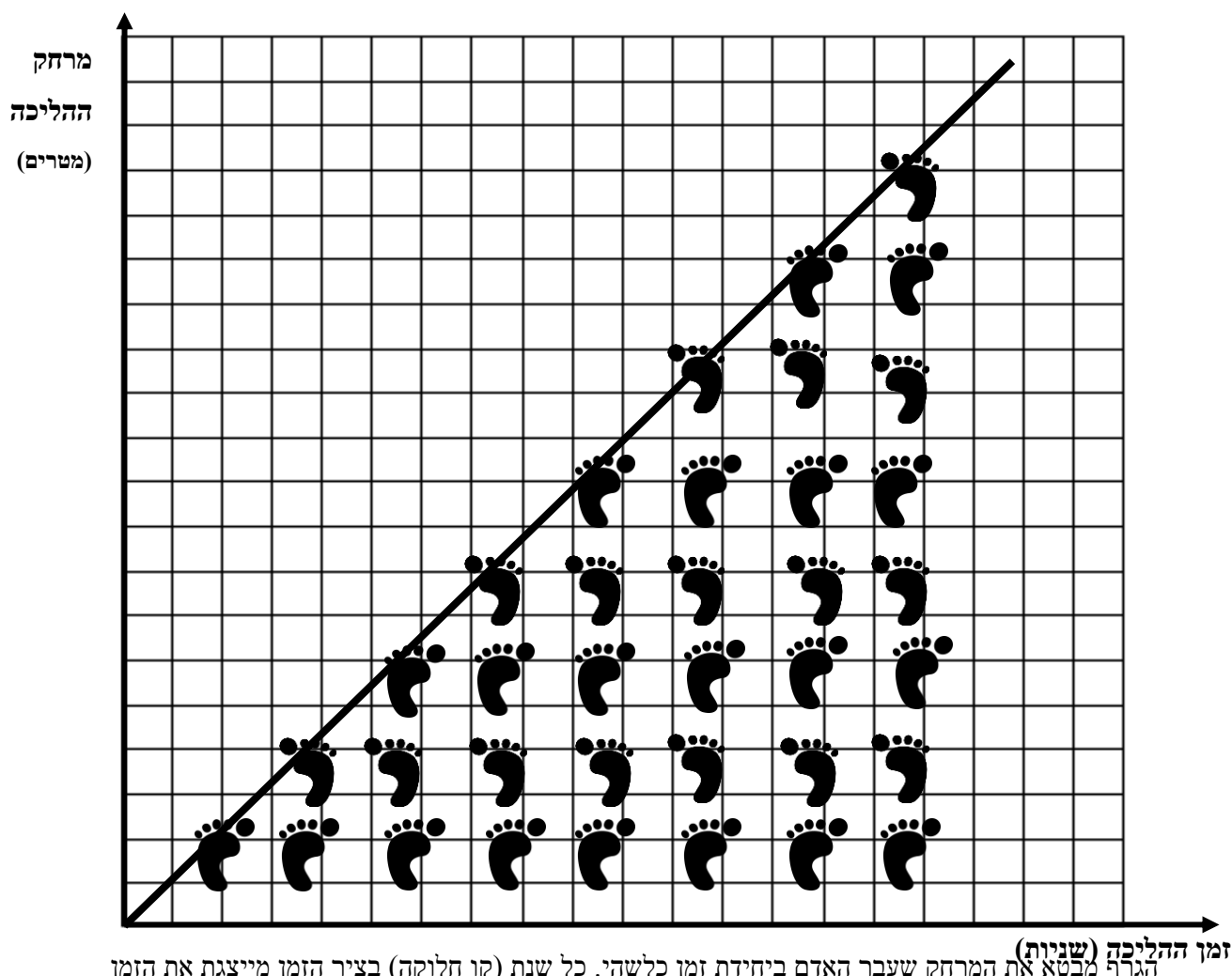
ייצוג גרפי של תנועה

לאחר שפירש גלילאו גליליי את מושג המהירות הציע רנה דקרט³ את תיאור המהירות על פני מערכת הצירים שהמציא. במערכת זו מייצג הציר האופקי את הזמן והציר האנכי - את המרחק.

³ רנה דקארט = פילוסוף ומתמטיקאי שחי במאה ה-16. המציא את מערכת הצירים הניצבת לתיאור מיקומן של נקודות במישור. מערכת זו נושאת את שמו עד היום - 'מערכת צירים קרטזית'.

נציג את הליכתו של אדם באמצעות תיאור פסיעותיו במערכת צירים זו.
 נניח שקצב פסיעותיו הוא פסיעה בכל שנייה ואורך כל פסיעה הוא מטר אחד.
 שני קווי החלוקה על פני ציר הזמן מייצגים שנייה אחת, וקו חלוקה אחד על פני הציר האנכי מייצג מטר אחד.

נסמן במערכת הצירים את מספר הפסיעות שפסע האדם בזמן שהוא נע, ובמקום שבו מסתיימת הפסיעה האחרונה נסמן נקודה. נחבר את כל הנקודות בקו. מתקבל קו ישר המייצג את תנועתו של האדם.



הגרף מבטא את המרחק שעבר האדם ביחידת זמן כלשהי. כל שְׁנֵת (קו חלוקה) בציר הזמן מייצגת את הזמן שחלף מרגע תחילת תנועתו, ומספר הפסיעות מייצג את מרחקו מנקודת התחלת התנועה. לדוגמה: במהלך 5 שניות התרחק האדם מרחק של 5 פסיעות מנקודת ההתחלה.

התבוננו בגרף וענו על השאלות הבאות המתייחסות להליכתו של האדם:

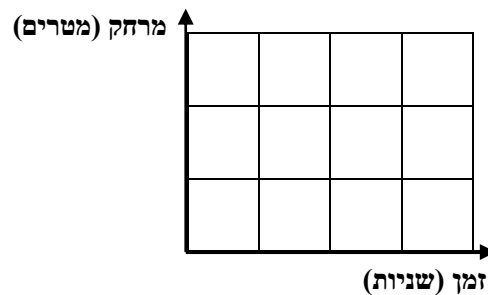
1. כמה מטרים עובר האדם במשך 4 שניות? 0 שניות?
2. בכמה זמן עבר מרחק של 6 מטרים? 8 מטרים?
3. כיצד ניתן לתת תשובות לגבי נתונים שאינם מפורשים במערכת הצירים, כמו לדוגמה: בכמה זמן יעבור האדם 10 מטרים, 15 מטרים או 30 מטרים?

4. קשבו ושרטטו כיצד תיוצג במערכת צירים מסוג זה תנועתו של אדם שאורך פסיעותיו כפול מפסיעותיו של האדם המתוארות בגרף.
5. כיצד תיוצג תנועתו של אדם שאורך פסיעותיו מחצית מאורך פסיעותיו של האדם המתוארות בגרף? שרטטו.
6. מהו ההבדל בין שלושת הגרפים? מהי משמעותו של הבדל זה?

מקום ומרחק על פני קו ישר

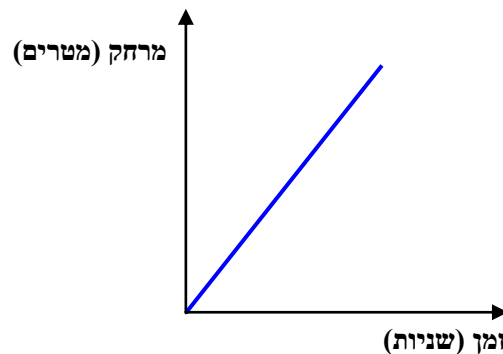
תיאור מקומו של גוף הנע לאורך קו ישר⁴ נעשה באמצעות מערכת צירים. הציר אופקי הוא ציר הזמן שנמדד בשניות, ואילו הציר האנכי הוא ציר המרחק שנמדד במטרים.

נקודת החיתוך של הצירים נקראת **ראשית הצירים**, והיא מייצגת את נקודת הייחוס של התחלת התנועה. בוחרים לסמן נקודה זו כנקודת האפס.



הגרף המתקבל נקרא **גרף תנועה** ועבור גוף הנע בקו ישר ובמהירות קבועה הוא מתבטא בקו ישר משופע ונראה כך:

גרף תנועה של גוף הנע בקו ישר ובמהירות קבועה

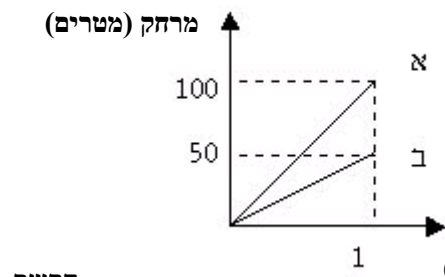


⁴ בשלב זה נגביל את הדיון לתנועה ישרה בלבד.

בגרף הבא מתוארת תנועתן של שתי מכוניות א' ו-ב'. השווו בין מהירויותיהן של שתי המכוניות.

• מי משתי המכוניות נעה מהר יותר?

• כיצד ניתן לדעת זאת?

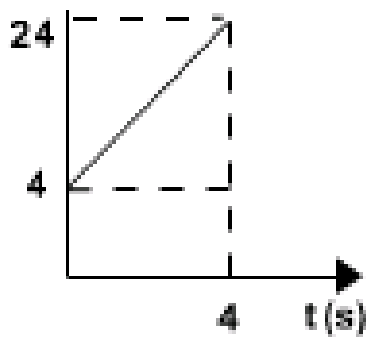


בהסתמך על גרף זה, נסחו כלל המגדיר את בין המהירות לבין שיפוע הקו.

שיפוע הקו בתרשימים התנועה מייצג את מהירות התנועה של הגוף. ככל ששיפוע הקו גדול יותר מהירות הגוף גבוהה יותר, וככל ששיפוע הקו קטן יותר מהירות הגוף נמוכה יותר.

לפניכם תרשים נוסף המתאר את תנועתו של רוכב אופניים.

מרחק (מטרים)

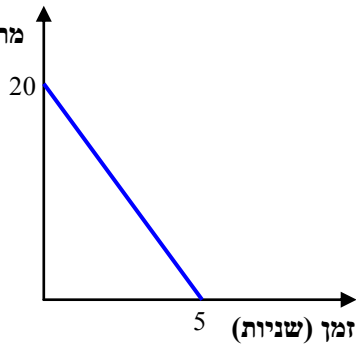


• במה שונה גרף זה מהגרף הקודם המתאר את תנועת המכוניות?

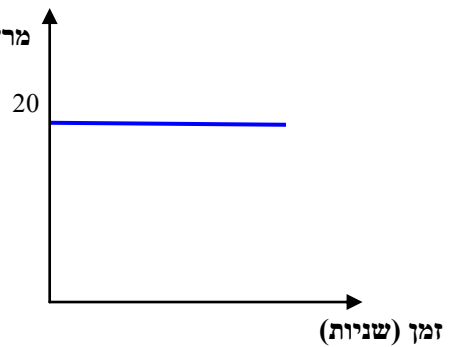
1. באיזה מקום התחיל הרוכב את הרכיבה?
2. כמה מטרים עבר בסה"כ?
3. כמה זמן נמשכה נסיעתו?
4. באיזו מהירות רכב?

הגרפים הבאים מתארים תנועה בקו ישר של שני גופים א' ו-ב'.

מרחק (מטרים)



מרחק (מטרים)



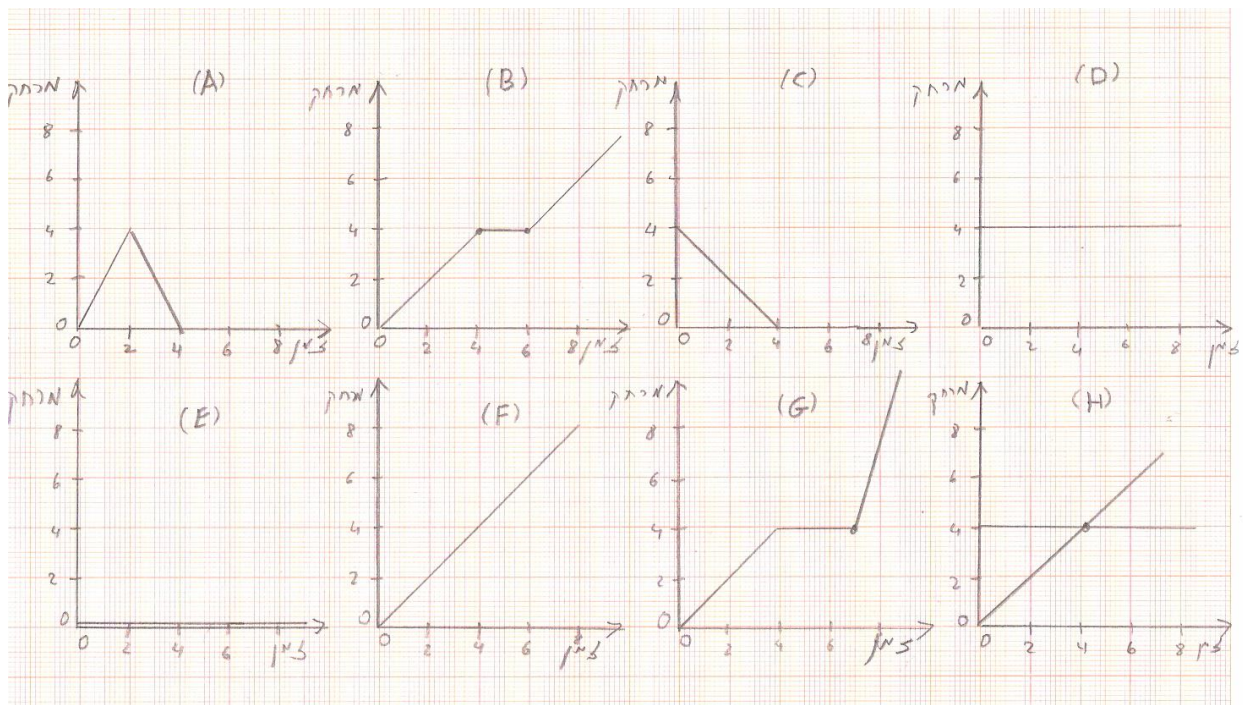
1. באיזה מרחק מהראשית נמצאים שני הגופים ברגע תחילת תנועתם?
2. באיזה מרחק מהראשית נמצא גוף א' כעבור 5 שניות מתחילת תנועתו?
3. באיזה מרחק מהראשית נמצא גוף ב' כעבור 5 שניות מתחילת תנועתו?
4. מה תוכלו לומר על תנועתם של שני גופים אלו?
5. הכלילו את מסקנתכם: מהי משמעותו של קו משופע יורד בגרף תנועה? מה משמעותו של קו ישר אופקי בגרף תנועה?

למידת סוגי תנועות מתוך התבוננות בגרפים כל תנועה ניתנת לייצוג באמצעות גרפים במערכת צירים ניצבת של זמן ושל מרחק. כל נקודה במערכת צירים כזו מיוצגת באמצעות זמן נתון וציון המרחק שלה מנקודת הייחוס.

לדוגמה: במערכת שבה הזמן נמדד בשניות והמרחק נמדד במטרים, כל נקודה מיוצגת כאמור על-ידי שני ערכים (המרחק, הזמן). הנקודה (2,4), למשל, משמעותה, שכעבור שתי שניות ימצא הגוף במרחק של ארבעה מטרים מנקודת הייחוס.

נקודת הייחוס מיוצגת על-ידי זוג המספרים (0,0). הנקודה (0,0) במערכת הצירים נקראת גם נקודת ראשית הצירים.

התבוננו בגרפים הבאים המתארים תנועה של גופים שונים, וענו על השאלות הבאות: (הגרפים מסומנים



באותיות A,B,C,D,...)

שאלות

איזה גרף או גרפים מתארים את התנועות במצבים הבאים:

1. אתה נשאר עומד במקומך.
2. אתה צועד בקצב קבוע על פני כביש ישר.
3. אתה צועד שני צעדים לפנים ושני צעדים לאחור.
4. אתה הולך צעד אחד לפנים, עומד שתי שניות, וממשיך ללכת.
5. אתה צועד במכון כושר על פני מסלול הליכה.

6. אתה צועד ומסיע את אופניך, עוצר למשך שלוש שניות, עולה על אופניך וממשיך לרכוב עליהם במהירות גבוהה יותר מהליכתך.
7. אתה נמצא במרחק ארבעה מטרים מנקודת הראשית ונשאר עומד במקומך.
8. אתה נמצא במרחק ארבעה מטרים מנקודת הראשית ונשאר עומד במקומך. חברך נמצא בנקודת הראשית ומתחיל ללכת עד אשר הוא פוגש אותך וממשיך ללכת.

סיכום

בפרק זה למדנו מהי תנועה ומהם שלושת הגורמים המשפיעים על התנועה: מהירות, זמן ומרחק. למדנו, כי המרחק והמהירות הם גדלים יחסיים ונמדדים ביחס לנקודת ייחוס קבועה. ניתן לתאר את התנועה בצורה גרפית באמצעות גרף תנועה, ולהשוות בין סוגי התנועה השונים.

אינטראקציות וכוחות

איך ניתן לגרום לכך שגוף במנוחה יתחיל לנוע, או שגוף נע ישנה את מהירותו? מהו הדבר הגורם לתנועתו של גוף?

בתמונות נראים גופים בתנועה. פרטו כיצד נגרמת תנועתו של כל אחד מהגופים הבאים: הסירה, עגלת התינוק, המכונית, הקרון הנגרר והמטוס.



העולם שבו אנחנו חיים כולל גופים מגוונים שמשנים ללא הרף את מקומם ואת צורתם. השינויים הללו הם תוצאה של פעולות גומלין בין הגופים במערכות ובסביבות החיים שלנו. לפעולות גומלין אלה אנחנו קוראים בשם **אינטראקציות**.

מהן אינטראקציות?

אינטראקציה בין גופים היא פעולת גומלין הדדית ביניהם, כלומר כל גוף המשתתף באינטראקציה משפיע בצורה כלשהי על הגוף האחר וגם מושפע ממנו.

התבוננו שוב בתמונות שלמעלה המציגות מצבים של תנועה ואינטראקציות שונות. זהו את הגופים המעורבים באינטראקציות, תארו אותן וכתבו על כל אחת מהן:

- מיהם הגופים המשתתפים באינטראקציה?
- אילו שינויים מתרחשים בכל אחד מן הגופים כתוצאה מהמפגש ביניהם?
- האם הגופים חוזרים לצורתם המקורית אחרי המפגש?

התבוננו בדוגמאות הבאות, המתארות אינטראקציות.



קסדה



חגורת בטיחות

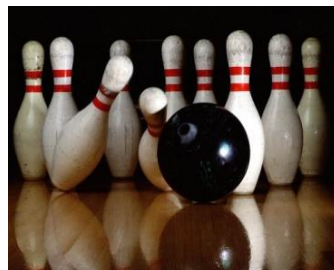


כרית אוויר

- כרית האוויר, חגורת הבטיחות והקסדה נועדו למניעת אינטראקציות אחרות. מהן?
- מהו המשותף לשלוש האינטראקציות הללו?
- איזו חשיבות נודעת לאמצעי בטיחות אלו בחיי היום-יום שלנו?

נתייחס עתה לתוצאות האינטראקציה בין גופים.

התבוננו בדוגמאות הבאות:



- בין אילו גופים מתרחשות האינטראקציות המתוארות בכל אחת מהדוגמאות?
- בשלוש מבין ארבע האינטראקציות תוצאת האינטראקציה היא דומה. מהן ומהי התוצאה?
- מהם השינויים שחלו בגופים המשתתפים באינטראקציה?
- במה שונה האינטראקציה המתוארת באירוע הנקר בגלגל מן האחרות?
- כיצד ניתן להגביר את השינויים שנוצרו כתוצאה מהאינטראקציות בכל אחד מהמקרים?
- מה היו תוצאות האינטראקציה אילו הכדורים היו עשויים זכוכית?

תוצאות האינטראקציות

כפי שראינו וכפי שניתן ללמוד מתוך החקירה, שלוש תוצאות אפשריות לאינטראקציות:

- שינוי בצורתם של הגופים המשתתפים באינטראקציה – **עיוות**.
- שינוי במהירות הגופים, בכיוון התנועה שלהם או במקומותיהם – **תנועה**.
- שינוי בצורה ובתנועה של הגופים גם יחד.

הביאו דוגמאות נוספות לאינטראקציות בין גופים שאתם מכירים שתוצאותיהן הן:

א. שינוי צורה



ב. שינוי תנועה

הכוח

הכרנו סוגי אינטראקציה שונים המתקיימים בתנאים שונים בין גופים הנמצאים במגע זה עם זה, וראינו כי התוצאה של אינטראקציה פיזית היא שינוי במצבם, בצורתם או במהירותם של הגופים השותפים. **הגורם לשינויים בצורתם או בתנועתם של גופים המשתתפים באינטראקציה הוא : כוח.**

כלומר, בין גופים המשתתפים באינטראקציות פיזיות פועלים **כוחות**. כל אחד מהגופים מפעיל כוח על הגוף האחר, וכתוצאה מפעולת הכוחות מתרחשים שינויים בשני הגופים.. אם מבחינים בשינוי תנועתם או בצורתם של גופים אלה ניתן להסיק כי פעלו עליהם כוחות.

כוח הוא הגורם לשינויים בתנועתם או בצורתם של גופים

במהלך אינטראקציה ביניהם.

אינטראקציה וכוחות

עתה, משהגדרנו את מושג הכוח נוכל לתאר אינטראקציות בין גופים באמצעות פעולת כוחות. למדנו כבר, כי כל אינטראקציה בין גופים היא הדדית, כלומר כל אחד משני הגופים פועל על הגוף האחר, משפיע עליו וגם מושפע ממנו. אם נתאר זאת במונחים של כוחות נאמר, כי גוף א' מפעיל כוח על גוף ב', וגוף ב' בתגובה מפעיל כוח על גוף א'.

לדוגמה:

בתמונה נראית מכונית העומדת על הכביש. המכונית נמצאת באינטראקציה עם הכביש. כלומר, המכונית מפעילה כוח על הכביש ובתגובה מפעיל הכביש כוח על המכונית.



באינטראקציה בין הנהג היושב במכונית לבין המכונית מפעיל הנהג כוח על מושב המכונית, ובתגובה מופעל עליו כוח על-ידי מושב המכונית.

- כאשר המכונית נמצאת בתנועה והנהג מסובב את ההגה המכונית נעה מתנועת בסיבוב. איזו

אינטראקציה גורמת לסיבוב המכונית? חשבו ונמקו את תשובתכם.

א. בין הנהג לבין ההגה

ב. בין ההגה לבין הגלגלים

ג. בין הגלגלים לבין הכביש

ד. בין הגלגלים לבין ההגה

- באינטראקציה שבהתנגשות בין שתי המכוניות הזהות המתוארת באיור מכונית א' מפעילה כוח

F_1 על מכונית ב', ומכונית ב' מפעילה בתגובה כוח F_2 על מכונית א'.



א. כיצד אנו יודעים שפעלו כוחות בין המכוניות?

ב. מה דעתכם על גודל הכוחות שהפעילו המכוניות זו על זו? האם הם שווים או שונים בגודלם?

נמקו את תשובתכם.

הכוחות שמפעילים שני גופים זה על זה - עקרון הפעולה והתגובה

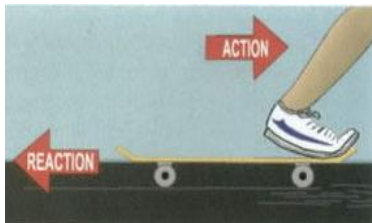
כאמור, באינטראקציה משתתפים שני גופים, וכל אחד מהם מפעיל כוח על האחר. הכוחות הפועלים גורמים לשינוי תנועתם או צורתם של הגופים. כלומר, אם גוף משנה את תנועתו משמע שפעל עליו כוח.

ניזכר בדוגמת החותר בסירה שראינו בתחילת הפרק:



החותר היושב בסירה (הוא חלק ממנה) מפעיל כוח על המים (באמצעות המשוט). כתוצאה מכך הסירה נעה ומתקדמת. אך, כאמור, גוף משנה את תנועתו רק אם פועל עליו כוח. האם אכן פועל כוח על הסירה? מי מפעיל כוח זה?

המסקנה המתבקשת היא, שבאינטראקציה בין המים לסירה מפעילים המים כוח בכיוון המנוגד לכיוון הכוח שמפעיל החותר באמצעות המשוט. כוח זה של המים גורם להתקדמות הסירה.



כאשר מנסים לגלוש בעזרת גלגשת (סקייטבורד) ימינה, הגלגשת תנוע שמאלה. הסבירו מדוע?

נוכל להסיק אם כן, כי הכוחות המופעלים על-ידי גופים באינטראקציה הם הפוכים זה לזה בכיוונם.

דוגמאות



השחיין דוחף את המים לאחור
ובתגובה המים דוחפים אותו קדימה



תותח נרתע לאחור בתגובה לשיגור
הפגז לפנים

מה נוכל לומר על גודלם של הכוחות?

אם החותר יפעיל כוח גדול יותר, מה יקרה לסירה?

מהי המסקנה המתבקשת על כוח התגובה שמפעילים המים על המשוט?

אם החותר יפעיל כוח חלש יותר מה יקרה לסירה? מה תהיה אז המסקנה הנוגעת לכוח המים?

נסחו מסקנה כללית ביחס לעוצמת הכוחות הפועלים באינטראקציה.

בכל פעם שנוצרת אינטראקציה של **מגע** בין גופים הכוחות ההדדיים שהם מפעילים זה על זה שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם. לאינטראקציה מסוג זה קרא ניוטון '**פעולה ותגובה**'. כוח **הפעולה** שגוף אחד מפעיל על השני שווה לכוח **התגובה** שהגוף השני מפעיל עליו.

כשדוחפים קיר, כשמכונית נוסעת, כשמניעים גוף על מסילה או כשכדור הארץ והגופים סביבו נמשכים זה אל זה - בכל המקרים נוצרים כוחות הפעולה והתגובה שהם שווים בגודלם והפוכים בכיוונם.



גם כאשר הכוחות נוצרים באינטראקציות ללא **מגע**, כמו הכוחות המגנטיים הכוחות החשמליים, וכוחות הכבידה, **כוחות הפעולה והתגובה שווים בעוצמתם והפוכים בכיווניהם**, גם אם הגופים שונים מאוד במסותיהם.

כלומר, גם כאשר הגופים באינטראקציה שונים זה מזה, הכוחות הפועלים על הגוף הגדול ועל הגוף הקטן ממנו שווים זה לזה בגודלם.



עיקרון זה הוא אחד משלושת חוקי התנועה שנוסחו על-ידי ניוטון⁵ ונקרא: '**חוק הפעולה והתגובה**'. כמסקנה מכל הדוגמאות אפשר לנסח את **הרעיון המדעי** הבא:

הכוחות שמפעילים שני גופים זה על זה שווים בגודלם והפוכים בכיוונם

⁵ סר אייזק ניוטון היה פיזיקאי ומתמטיקאי אנגלי, אשר נחשב לאחד המדענים הגדולים בכל הזמנים. בחיבורו 'העקרונות המתמטיים של פילוסופיית הטבע', שפורסם בשנת 1687, תיאר ניוטון את כוח הכבידה כמו גם את שלושת חוקי התנועה, והניח את הבסיס למכניקה הקלאסית.

שימו לב לדוגמה הבאה:

רכבת מתנגשת במכונית. זוהי אינטראקציה שבה פועלים כוחות הפעולה והתגובה בין המכונית לבין הרכבת. על-פי עקרון הפעולה והתגובה הם שווים בעוצמתם, אבל במבחן התוצאה?

התשובה לפניכם:



כוח שמסוגל למעוך את המכונית איננו מסב כמעט שום נזק לרכבת.

מסקנה

גם אם כוחות הפעולה והתגובה שווים בגודלם, תוצאות פעולתם - הנזקים או השינויים במצבם של הגופים - לא בהכרח יהיו שווים. עוצמת הנזק תיקבע על-פי ממדיו וחוזק המבנה של כל אחד מהגופים בהתנגשות. ככל שהגופים מפעילים זה על זה כוחות גדולים יותר, השפעתם ההדדית על תוצאות האינטראקציה גדולה יותר.

נתבונן בדוגמאות של אינטראקציות במרחב התעבורתי.

1



3



2



4



○ תארו את הגופים המעורבים באינטראקציות ואת מצבם לפני האינטראקציה.

○ במה השתנה מצבם כתוצאה מהאינטראקציה?

○ אילו גורמים משפיעים, לדעתכם, על תוצאות האינטראקציה?

מהבנה לתובנה: עקרון הפעולה והתגובה

מבין כל הגופים הנעים במרחב התעבורתי האדם הוא בעל המסה הקטנה, ועמידות מבנהו באינטראקציה עם גופים אחרים היא נמוכה ביותר, במיוחד עם גופים שמסתם גדולה משלו. משמעות הדבר היא, שכל אינטראקציה שלו עם גופים במרחב התעבורתי עלולה להיות מסוכנת עבורו, ואין זה משנה כלל באיזה סוג של אינטראקציה מדובר. לעיתים אפילו אינטראקציה שעוצמתה נמוכה עלולה לגרום לאדם פגיעות קשות. אין רמת סף לעוצמה של אינטראקציה של גוף האדם במרחב התעבורתי שמתחת לה אנחנו בטוחים. כל אינטראקציה עם גופים נעים או נייחים במרחב מסוכנת עבורנו, ולכן עלינו להשתדל להתנהג באופן שיגרום לנו מראש להימנע מכולן.

אינטראקציות בתאונת שרשרת

כל אחד מהגופים במרחב התעבורתי יכול לקחת חלק באינטראקציות רבות ושונות עם סביבתו בו-זמנית, ולעיתים לא ניתן לדעת מה תהיה התוצאה.

גוף איננו יכול להיות באינטראקציה עם עצמו בלבד. זו מתקיימת תמיד בין שני גופים שונים. כל אחד מהשותפים יכול לקחת חלק בכמה אינטראקציות עם גופים נוספים בעת ובעונה אחת.



ש
אינטראקציה במרחב התעבורתי שבה מעורב לפחות כלי רכב אחד שנמצא בתנוע
התנגשות. בכל תאונת דרכים נוצרת התנגשות של כלי רכב אחד באחר, בעצם נייה או בהולך רגל במרחב.

תאונת שרשרת היא סדרה של התנגשויות הקורות בזו אחר זו בין כלי רכב רבים כתוצאה מחוסר הקפדה על כללי נהיגה נכונים. נרחיב בנושא זה בפרק הבא.



התצלום מציג תאונת שרשרת שבה מעורבים כלי רכב רבים. ידועים מקרים שבהם נהרגו אנשים בתאונות שרשרת במרחק רב מאוד מהמקום שבו התחילה התאונה.

1. כיצד ניתן להסביר זאת?
2. במה שונה תאונת השרשרת מהתנגשות רגילה?
3. מה גרם לתאונת השרשרת וכיצד היה ניתן למנוע את היווצרותה?
4. האם כל האינטראקציות התרחשו באותו זמן? הסבירו.
5. תאונת שרשרת היא אינטראקציה בין מספר רב של גופים. האם כל אחת מהמכוניות נמצאת באינטראקציה עם כל שאר המכוניות? כמה מכוניות יכולות להיות מעורבות באינטראקציה אחת? הסבירו.
6. מה הייתה השפעת האינטראקציה על כל אחד מהגופים שהיו שותפים בה? חשבו במונחים של לפני ואחרי...

ונקודה למחשבה...



- אילו אינטראקציות (לאו דווקא פיזיקליות) יש לנהג המכונית שבתצולם עם סביבתו?
- אלו אינטראקציות מתרחשות במגע ואילו - ללא מגע?
- מהי הסכנה שטמונה במעורבות הנהג באינטראקציות רבות בעת ובעונה אחת?

אינטראקציות תקשורתיות במרחב התעבורתי

מלבד האינטראקציות הפיזיות, מתרחשות אינטראקציות נוספות בין בני אדם, ואלה באות לביטוי באמצעות סימנים וסמלים שונים המסדירים את התנועה במרחב התעבורתי. **האינטראקציה התקשורתית היא העברת מידע** הנוגע להתמצאות במרחב ולסכנות הטמונות בו, על מנת להשפיע על בני האדם להתנהג בהתאם לתנאים במרחב. כמו לדוגמה: צפירה, איתות, קשר-עין, שילוט והדרכה באמצעות סימנים.

הציגו מספר דוגמאות למצבים בהם מתרחשת אינטראקציה תקשורתית במרחב התעבורתי במהלכה מועבר מידע.



אינטראקציות תקשורתיות בזמן נהיגה, כמו: שיחת טלפון, כתיבת מסרון או אפילו האזנה למוזיקה בעוצמה גבוהה, עלולות לגרום להסחת הדעת של הנהג ממשימת הנהיגה.

כל פעולה הגורמת להסחת הדעת ממשימת הנהיגה נחשבת למסוכנת. הסחת הדעת גורמת לכ-20% מכלל תאונות הדרכים.

לפניכם תיאור של תאונת דרכים שהתרחשה בחורף.

"היו לה סידורים בחיפה והיא שאלה אותי אם אני רוצה שהיא תקפוץ אלי כשהיא תסיים, כי אני גר 10 דקות מחיפה. השעה הייתה כבר 23:00 בלילה, והיא עוד לא התקשרה להודיע מה קורה איתה. אז שלחתי לה הודעת סמס כדי לוודא שהכול בסדר ולשאול מתי היא תגיע. היא השיבה מהדרך ואמרה שתגיע בעוד כחצי שעה, ואם אני רוצה, נלך לאכול סושי. לאחר שסיימנו את הארוחה המשותפת ליווייתי אותה לרכב שלה, חיבקתי אותה חיבוק חם לפרידה והיא יצאה חזרה לביתה. ירד גשם שוטף, והלילה היה חשוך כשהיא יצאה לדרכה. דאגתי לה מאוד, וכעבור 10 דקות שבמהלכן לא הצלחתי להפסיק לחשוב עליה, שלחתי לה סמס - 'אני כבר מחכה לראות אותך שוב..', ובאמת שהתכוונתי לזה. חשבתי לעצמי שהיא בטח מחייכת עכשיו מאוון לאוון כשהיא קוראת את ההודעה הזו. אין מצב שלא.

עברו 5 דקות, 10 דקות, חצי שעה, שעה ויום שלם, והיא לא ענתה. זה נראה לי מוזר. היא הייתה מחוברת למסנג'ר אבל היא לא כתבה כלום, כתבתי לה והיא לא ענתה. החלטתי שבשום פנים ואופן אני לא אהיה זה שיתקשר. עבר שבוע ולא שמעתי ממנה, וכעסתי מאוד. ביום חמישי (אחרי שבוע בדיוק), קראתי את עיתון מעריב של יום שישי האחרון. שם פורסמה ידיעה, שנערה בשנות ה-20 לחייה נהרגה בתאונת דרכים ביציאה מחיפה.

זו הייתה היא.

בידיעה נאמר עוד, כי חוקרי התאונה סבורים, שהתאונה נגרמה בגלל הודעת סמס שכנראה הסיחה את דעתה של הנהגת, שחצתה צומת ברמזור אדום, אומנם במהירות מותרת על-פי החוק, אבל גבוהה לתנאי הנסיעה. לדעת החוקרים, הנהגת לא הייתה חגורה בחגורת בטיחות, כריות האוויר של המכונית נפתחו, היא כלל לא ניסתה לבלום, הצד השמאלי של מכוניתה נפגע מפגיעה בחזית של משאית כבדה שנהגה ניסה אך לא יכול היה לבלום. היא גררה את מכוניתה של הנהגת למרחק של 25 מטרים, והעיפה אותה מהכביש. נהג המשאית נפצע באופן קל מאוד. התאונה התרחשה באותה שעה ששלחתי לה את הסמס שלי, והיא כנראה ראתה אותו. היא נהרגה בתאונת דרכים, והכול בגלל ההודעה שלי. זהו הדבר האחרון שהיא ראתה, ואני כל כך מקווה שלפחות היא חייכה ושחיממתי לה את הלב ברגעיה האחרונים."

בהסתמך על הפרטים המופיעים בקטע, ענו על השאלות ונמקו כל תשובה.

1. תלמידים נשאלו מה לדעתם גרם למותה של הצעירה בתאונה. התקבלו התשובות הבאות:

- א. ההודעה ששלח לה החבר
 - ב. העובדה שהיא סימסה בזמן נהיגה
 - ג. העובדה שנסעה במהירות גבוהה
 - ד. הכוחות שפעלו עליה בזמן ההתנגשות במשאית
 - ה. העובדה שנהג המשאית לא בלם
 - ו. העובדה שירד גשם ותנאי הראות היו לקויים
 - ז. העובדה שלא הייתה חגורה בחגורת בטיחות
- בחרו ונמקו את התשובה הנכונה לדעתכם.
 - בחרו שלוש תשובות אחרות שאינן נכונות על-פי דעתכם, ונמקו מדוע אתם חושבים שאינן נכונות.
2. מה דעתכם על סגנון התנהגותה ונהיגתה של הצעירה? נסחו טיעון הכולל נימוקים מתוך סיפור התאונה.
3. שופט ששפט את נהג הרכב הפוגע שהיה מעורב בתאונה זיכה אותו מאשמה, וקבע שהצעירה היא האשמה בתאונה. אילו הייתם אתם השופטים מה היה פסק דינכם ועל אילו ראיות הייתם מבססים אותו?
4. בפסק דינו קבע השופט, שנהגים אינם נדרשים רק לנהוג על-פי חוקי התנועה, אלא, ובעיקר על-פי חוקי הפיזיקה. למה הוא התכוון?
5. באיזה שלב משלבי האירוע הייתה לגשם שירד השפעה רבה על תוצאותיו?
6. מדוע לא הצליח נהג המשאית לבלום על-אף ניסיונותיו?
7. מדוע הצעירה לא בלמה כלל?
8. מה גרם לה להתעלם ולא לראות את הרמזור האדום?
9. מה יכולות להיות הסיבות לכך, שהצעירה נהרגה ואילו נהג המשאית נפצע פצעים קלים בלבד?
- א. על המכונית של הצעירה פעל כוח רב יותר מאשר על המשאית.
 - ב. האנרגיה של מכוניתה הייתה רבה מזו של המשאית.
 - ג. היא לא הייתה חגורה בחגורת בטיחות.
 - ד. כיוון הכוח שפעל עליה לא היה בכיוון נסיעתה.
- נמקו את תשובתכם!

ניתוח אירוע של אינטראקציות במרחב התעבורתי

תיאור מקרה

"מר כהן יצא מביתו למקום עבודתו כמנהגו מדי בוקר. הוא החל לנסוע במכוניתו. דרכו של מר כהן עוברת בסמוך לבית-ספר. השעה הייתה מאוחרת ומר כהן חשש מאד לאחר. כשהוא ממוקד בנהיגתו

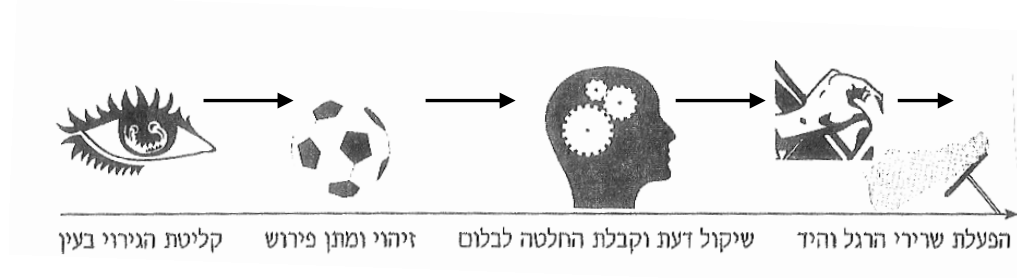


ובמחשבותיו הבחין מר כהן לפתע בכדור המתגלגל אל הכביש במרחק של 30 מטרים לפניו. ללא כל היסוס בלם מר כהן את מכוניתו, על-אף שלא נשקפה לו שום סכנה מצד הכדור. גלגלי המכונית השאירו סימני בלימה שחורים על פני הכביש...

מה שקרה כמה שניות לאחר מכן אישר, שהחלטתו של מר כהן הייתה נכונה..."

מה לדעתכם קרה שהצדיק את החלטתו של מר כהן?

בשפה ציורית ניתן לתאר את האירוע כשרשרת של סיבות ותוצאות על פני ציר הזמן, מקליטת תמונת הכדור בעין ועד הבלימה.



השלימו בטבלה את תיאור האינטראקציות שהתרחשו במהלך האירוע כולו, הן אלה הפיזיות שבמגע והן אלה שללא מגע.

בין..	לבין..	סוג האינטראקציה (במגע/ללא מגע)	תוצאות האינטראקציה
מר כהן	הכדור		
מר כהן	דוושת הבלם		
הבלמים	גלגלי הרכב		
גלגלי הרכב	הכביש		

- מהי האינטראקציה שגרמה להיווצרותם של סימני הבלימה על הכביש?
- מהי האינטראקציה שאפשרה את בלימת הרכב?
- הסבירו על-פי הרעיון המדעי של עקרון הפעולה והתגובה, מה התרחש במהלך האינטראקציה שגרם למכונתו של מר כהן להאט ולהיעצר לבסוף?

אינטראקציות חברתיות במרחב התעבורתי

אינטראקציות מתרחשות גם בסביבה החברתית בין שני בני אדם או יותר, כמו למשל: פעולת דיבור בין בני אדם, שיתוף פעולה, עזרה הדדית, מריבות, אלימות פיזית ועוד. במרחב התעבורתי אינטראקציות חברתיות רבות הקשורות לדפוסי ההתנהגות המגוונים של האנשים המשפיעים על אופן נהיגתם והתנהגותם.

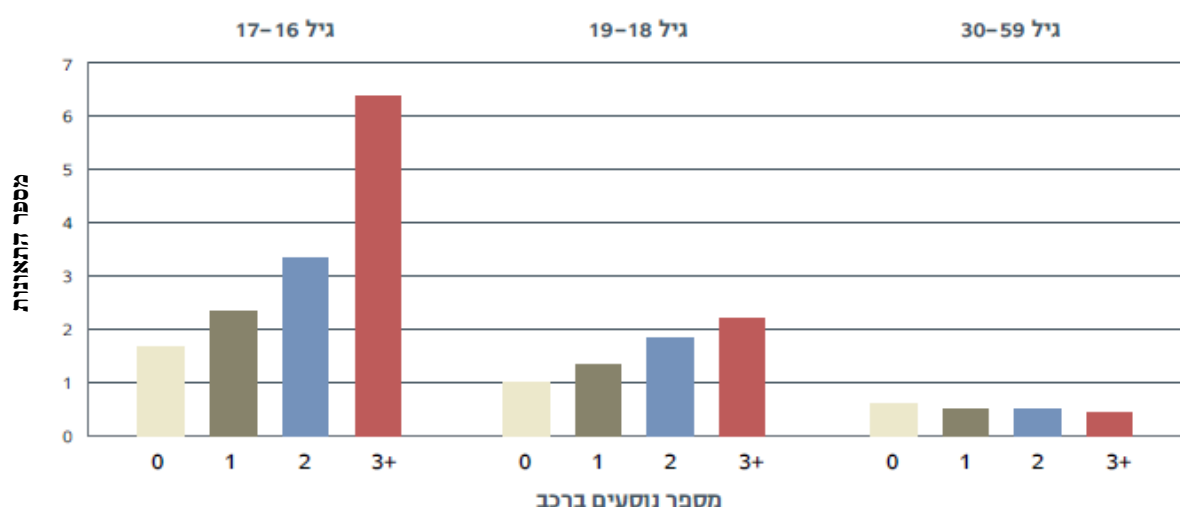
הביאו דוגמאות אחדות לאינטראקציות חברתיות שאתם מכירים במרחב התעבורתי ותארו את תוצאותיהן.



חברה ונהיגה

מחקרים רבים שנערכו בעולם מלמדים, כי הסעת נוסעים בגילאי העשרה ברכב שבו נוהג נהג צעיר מגדילה את ההסתברות למעורבות בתאונות דרכים בכלל ובתאונות דרכים קטלניות בפרט. עוד נמצא, כי מספר הנוסעים ברכב, גילם ומינם משפיעים על ההסתברות למעורבות בתאונה. ומידת הסיכון גדלה ככל שגדל מספר הנוסעים בני העשרה ברכב.

הגרף הבא מתאר את מספר תאונות הדרכים על-פי גיל ומספר הנוסעים שאינם הנהג, בארצות-ברית בשנת 2003 (שיעורים ל-10,000 נסיעות)



מקור: Williams, 2003

מספר תאונות הדרכים על-פי גיל ומספר הנוסעים בארצות הברית בשנת 2003
(שיעורים ל-10,000 נסיעות)

התבוננו בגרף העמודות וענו על השאלות הבאות:

1. תארו במילים את הנתונים המוצגים בגרף.
2. מהי המשמעות של אפס נוסעים ברכב?
3. כמה תאונות (ל-10000 נסיעות) שהיו מעורבים בהן נהגים בגילאי 18 - 19 אירעו כאשר מספר הנוסעים ברכב היה שלושה ומעלה?
4. בהתייחס לכמות הנוסעים ברכב שהיה נהוג על-ידי בני 18 - 19, מתי היה מספר התאונות הנמוך ביותר?
5. מה תוכלו לומר על הקשר בין מספר הנוסעים לבין מספר התאונות שבהן היו מעורבים נהגים בגילאי 30 - 59?
6. כיצד קשורים הנתונים המוצגים בגרף זה לאינטראקציות במרחב ולהשפעותיהן?
 - אילו סוגי אינטראקציות משפיעים על הנתונים המופיעים בגרף?
 - מהו הקשר בין הנתונים בגרף לבין אינטראקציות חברתיות? הסבירו.

מהבנה לתובנה: אינטראקציות במרחב התעבורתי

יכולתם של בני האדם להיות מעורבים בכמה אינטראקציות בו-זמנית ולנהל אותן כהלכה היא מוגבלת. לפיכך, הם מתפקדים במצבים כאלה ברמה נמוכה הרבה יותר מזו שביכולתם. כושרם של בני האדם לקבל החלטות נפגע עד כדי כך שהוא מתבטל כמעט כאשר הם נחשפים לאינטראקציות מרובות בעת ובעונה אחת. אנשים מתקשים להחליט מה חשוב ונכון יותר לעשות ומה פחות. האינטראקציה עם מידע חשוב קשה במיוחד כאשר הוא רב ומוזרם בפרק זמן קצר מאוד. אחת התוצאות של הצפה במידע היא הנטייה הטבעית להתעלם מפרטים חשובים שמשבשת את קבלת ההחלטות..

כוחות ותנועה

למדנו שבין גופים המשתתפים באינטראקציה במגע פועלים כוחות.

אנו נתקלים כמעט מדי יום במושג 'כוח', אולם הכוחות עצמם אינם נראים לעין ורק השפעותיהם מעידות על קיומם. הפעלת כוח מאפשרת ביצוע פעולות שונות כגון: משיכה, דחיפה, הרמה, לחיצה. השינוי המתרחש בגופים כתוצאה מפעולת הכוחות עליהם תלוי במאפייני הכוח.

- תנו כמה דוגמאות לתופעות בחיי היום-יום שלכם שבהן אתם מזהים פעולה של כוחות. פרטו כל אחת מהדוגמאות ותארו את תוצאת פעולת הכוח: האם הכוח גורם לתנועה או מעכב תנועה או גורם לשינוי צורה. ערכו את הדוגמאות בטבלה הבאה:

פירוט ותיאור	תוצאת פעולת הכוחות			תופעה
	שינוי צורה	שינוי תנועה		
		מעכב תנועה	גורם תנועה	
אדם מפעיל כוח על מריצה ודוחף אותה, כתוצאה מכך העגלה נעה ומתחולל שינוי בצורת ידיו של האדם.	✓		✓	דחיפת מריצה 
				משיכת חבל 
				הרמת משקולות 
				קפיצה על טרמפולינה
				מתיחת קפיצים
				שחייה 
				משחק כדורגל 
				מכונית גוררת רכב 
				מכונית פוגעת בעמוד חשמל

- הדוגמאות שבדקנו כוללות תופעות שבהן פועלים הכוחות באמצעות מגע. בטבע קיימות תופעות שבהן פועלים כוחות מרחוק (ללא מגע). תנו דוגמאות לתופעות שאתם מכירים מחיי היום-יום שפועלים בהן כוחות מרחוק.

כל כוח מאופיין על-יד שלושה גורמים:

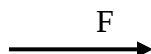
א. נקודת אחיזה - הכוח יכול לפעול על מקומות שונים בגופים. שינוי מקום פעולת הכוח עשוי לשנות את אופן השפעתו על התנהגות הגוף, על-אף שעוצמתו לא השתנתה. את הנקודה שעליה פועל הכוח אנו מגדירים כ**נקודת אחיזה**.

ב. קו פעולה - **קו פעולת הכוח** הוא קו דמיוני המתאר את כיוון פעולתו. כאשר **קו פעולתו של כוח** קבוע **איננו משתנה**, **תוצאות פעולתו של הכוח על הגוף אינן משתנות**. אולם, אם **נשנה את קו פעולת הכוח**, נסובב אותו בזווית כלשהי או נהפוך אותו, יחול שינוי בתוצאות פעולתו על הגוף. כך לדוגמה, כוח מניע, שכיוון פעולתו בכיוון נסיעת הרכב, יגרום לסיבוב הרכב אם נשנה את כיוונו.

ג. עוצמת הכוח - **עוצמת הכוח הפועל מתארת את גודלו**. כוח גדול יותר יגרום לשינויים גדולים יותר בגוף, ולהפך.

סימון כוחות

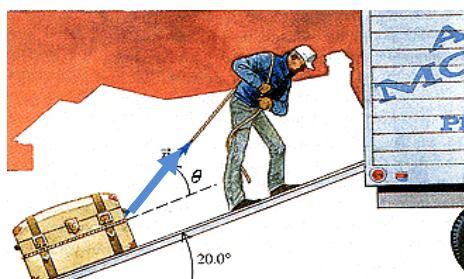
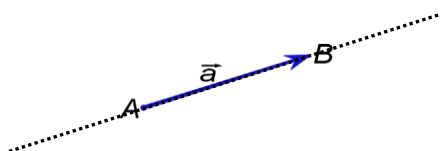
הכוח הוא גודל פיזיקלי בעל עוצמה וכיוון. גדלים פיזיקליים שלהם כיוון נקראים **וקטורים**. על כן נהוג לתאר כוחות באמצעות חיצים, שבהם כיוון החץ מייצג את כיוון פעולת הכוח, ואורך החץ - את עוצמתו. מסמנים את הכוח כך:



דוגמאות

כיוון החץ בתרשים מייצג את כיוון פעולת הכוח לאורך קו הפעולה הדמיוני (מקווקו).

כיוונו של הכוח מנקודה A לנקודה B. הנקודה A היא נקודת האחיזה של הכוח, ואורך החץ מייצג את עוצמת הכוח (גודלו).

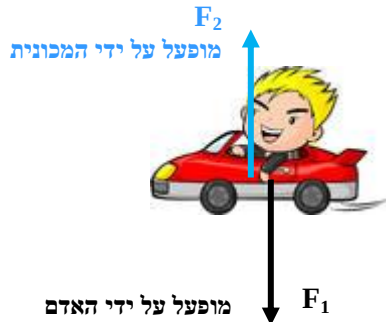


האדם שבתרשים גורר תיבה בכוח F.

החץ הכחול מתאר את כיוון הכוח
שהאדם מפעיל על התיבה, ואורכו של החץ
מתאר את עוצמתו.

תיאור גרפי של כוחות – תרשים כוחות

כעת נוכל לתאר אינטראקציות בשפת הכוחות באמצעות **תרשים כוחות**.



בתרשים מוצגים הכוחות באמצעות חיצים.

כיווני החיצים מייצגים את כיוון הפעולה של הכוחות

ואורך החיצים - את עוצמת הכוח.

בתרשים זה נראה אדם יושב על מושב המכונית.

במצב זה פועלים שני כוחות בין האדם לבין המושב. הכוח שהאדם מפעיל על המושב מיוצג על-ידי הכוח F_1 , והכוח שמושב המכונית מפעיל על האדם מיוצג על-ידי F_2 .
אורכי החיצים המייצגים את שני הכוחות שווים. מכאן ניתן להסיק, כי הכוחות שווים בעוצמתם והפוכים בכיווניהם.

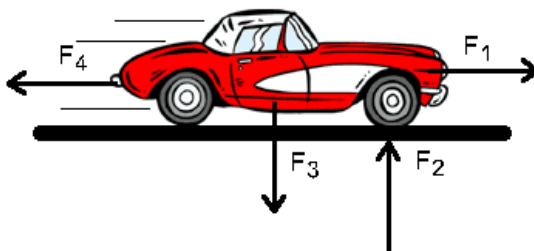


באינטראקציה של ההתנגשות המתוארת באיור,

מפעילה מכונית א' כוח F_1 על מכונית ב',

ומכונית ב' מפעילה בתגובה כוח F_2 על מכונית א'.

• מה מעיד על כך שפעלו כוחות בין המכוניות?



בתרשים הבא מתוארים ארבעה כוחות הפועלים על הרכב.

כוח מניע, כוח בולם, כוח תגובת הכביש ומשקלו של הרכב.

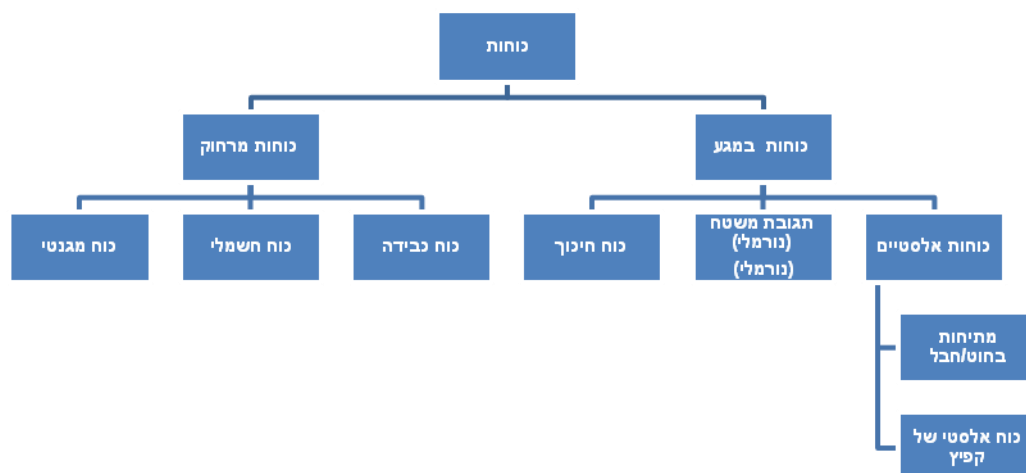
א. זהו את הכוחות על-פי מספריהם ורשמו מיהו כל אחד מהם.

ב. רשמו ליד כל כוח מי מפעיל אותו על הרכב.

ג. מה יקרה לדעתכם לרכב אם אחד מהם יחדל מלפעול.

סוגי כוחות

בטבע ובחיי היום-יום אנו נתקלים בכוחות מסוגים שונים. את כלל הכוחות ניתן לחלק לשתי קבוצות: כוחות הפועלים במגע וכוחות הפועלים מרחוק. בתרשים הבא מתוארים סוגי הכוחות השונים.



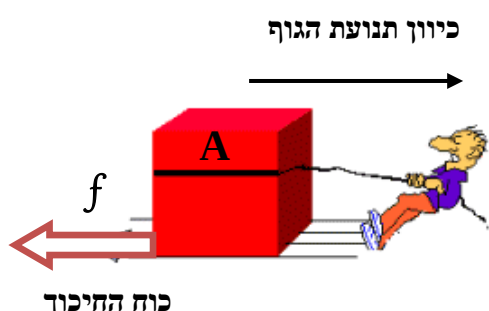
סוגי הכוחות הפועלים במרחב התעבורתי

א. כוח החיכוך

כוח החיכוך הוא כוח הפועל במגע ומתפתח באינטראקציה בין שני גופים בזמן שמניעים או מנסים להניע גוף אחד על פני האחר. כוח החיכוך נוצר בין משטחי המגע שבין הגופים, וכיוון פעולתו הוא תמיד בכיוון המנוגד לכיוון התנועה.

אם גוף A נע על המשטח ימינה, ייווצר כוח חיכוך f בין הגוף למשטח וכיוונו שמאלה (ראה איור). כוח זה מעכב את התנועה.

האם שאלתם את עצמכם מהו הכוח המניע את כל הגופים הנעים במרחב התעבורתי, את בני האדם את המכוניות ואת רוכבי האופניים?



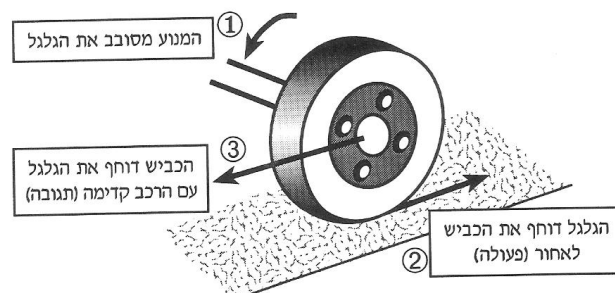
כוח החיכוך



באיזה אופן הם מתקדמים ונעים?

כוח החיכוך הוא זה שמאפשר את נסיעת כלי הרכב וגם את ההליכה של בני האדם על פני הדרך. בלעדי כוח החיכוך היו הגופים נעים זה על גבי זה בתנועת החלקה. כלומר, לא היינו יכולים ללכת או אפילו לעמוד, ולא ניתן היה לשלוט בכיווני תנועת המכונית או לבלום אותה.

תנועת המכונית או של כל כלי רכב בעל גלגלים מתאפשרת כתוצאה מפעולת כוח מניע שנוצר באינטראקציית החיכוך שבין הגלגלים לבין הכביש. אינטראקציה זו היא אינטראקציית פעולה ותגובה. בנקודת המגע שלהם עם הכביש מפעילים הגלגלים כוח על הכביש לאחור, ובתגובה מפעיל הכביש כוח חיכוך על הגלגלים בכיוון ההפוך. ראו הסבר באיור.



הליכה מתאפשרת כתוצאה מאינטראקציות החיכוך בין כפות הרגליים לדרך. כפות הרגלים מפעילות כוח לאחור על הדרך, ובתגובה מפעילה הדרך כוח חיכוך בכיוון המנוגד לכיוון הדחיפה על הרגליים, כלומר קדימה. זהו סוד התנועה שלנו. כך אנחנו נעים. כשיש חיכוך קל להתקדם. על משטח חלק מאד קשה להתקדם.



ברכיבה על אופניים אנחנו מפעילים כוח על הדוושות, שמועבר באמצעות השרשרת אל הגלגלים האחוריים. הכוח הזה גורם לסיבוב הגלגל, וכתוצאה מכך נעים האופניים קדימה. ללא החיכוך עם הכביש לא היו האופניים נעים.



- כדי לשפר את תנועתם נועלים שחקני כדורגל נעליים מיוחדות עם בליטות, וכן גם בהחלקה על הקרח. הסבירו באיזה אופן קשורים אמצעים אלו לכוח החיכוך, וכיצד הם תורמים לשיפור התנועה?

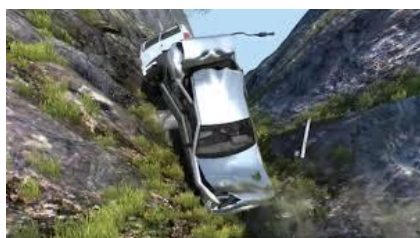


החלקת מכוניות על פני כבישים רטובים דומה להחלקה על קרח, מכיוון שהיא נעשית על פני שכבת המים שבין הצמיג לבין הכביש. מטרתם של החריצים על פני צמיגי המכונות היא למנוע את החלקתם על שכבת המים. המים מתנקזים באמצעות החריצים וניתנים לצדדים. כתוצאה מפעולת כוח החיכוך בכיוון ההפוך למגמת התנועה נגרמת האטה בתנועת הגוף.

ב. כוח הכבידה

כוח הכבידה נוצר באינטראקציה של משיכה הדדית בין כל שתי מסות ביקום. עוצמתו והשפעתו נקבעות על-ידי המסות השותפות באינטראקציה ועל-ידי המרחק ביניהן. כוח הכבידה הוא הכוח המרכזי שגרמי השמים מפעילים זה על זה ועל הגופים הנמצאים על פניהם או בקרבתם. כיוון פעולתו של כוח הכבידה הוא תמיד אל מרכז הגוף השמימי. מקובל לקרוא לכוח הכבידה ההדדי בין גוף לכדור הארץ בשם **משקל**.

הגוף.



כוחות הכבידה הם הכוחות המצמידים את כלי הרכב אל הכבישים. כאשר כלי הרכב מאבדים את האחיזה בכביש הם עלולים למצוא את עצמם בתנועת נפילה חופשית בהשפעת כוח הכבידה.

כוחות הכבידה הם המקשים עלינו לנסוע בעליות, ומקלים עלינו בנסיעה במורדות. כוחות הכבידה

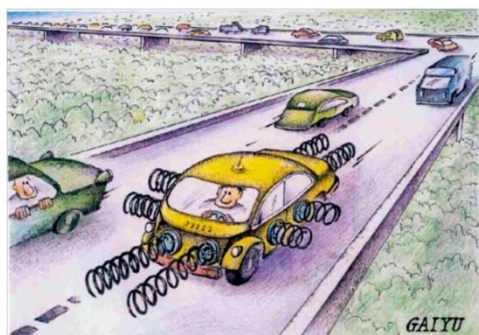


Miro Stefanovic
Serbia & Montenegro

מירו סטפנוביץ
סרביה ומונטנגו

מכוונים אל מרכז כדור הארץ. בנסיעה על פני כביש משובש או בעל שיפועי צד עלולים כוחות הכבידה במקרים מסוימים לגרום להתהפכות הרכב.

ג. הכוח האלסטי



כוח אלסטי הוא הכוח המחזיר גופים אלסטיים שעברו שינוי צורה, לצורתם המקורית. לדוגמה, קפיץ, כאשר מפעילים עליו כוח חיצוני נמתח או מתכווץ, וכתוצאה מכך נוצר בו כוח אלסטי. כאשר מפסיקים את פעולת הכוח החיצוני עליו, מחזיר אותו הכוח האלסטי לצורתו המקורית. בכל כלי רכב מותקנים בולמי זעזועים העשויים מקפיצים שמתכווצים כאשר פועל עליהם כוח, כתוצאה מכוחות ניצבים שפועלים על גלגלי הרכב בנסיעה על פני דרך משובשת. הקפיצים

חוזרים לצורתם המקורית מיד לאחר שכוחות אלה חדלים לפעול. בדרך זו מרסנים הקפיצים את החבטה

שהיו חשים נוסעי הרכב כתוצאה מהנסיעה. פגושי הרכב עשויים מחומרים אלסטיים ונוצרים בהם כוחות אלסטיים הגורמים להפחתת החבטה במקרה של התנגשות.



שקול הכוחות

למדנו, שגוף יכול להיות באינטראקציה בו-זמנית עם כמה גופים, ויכולים לפעול עליו כוח אחד או כוחות אחדים, שהם תוצאה של האינטראקציות שבהן הוא נתון. שינוי במצבו או במהירותו של גוף נקבע על-ידי כל האינטראקציות שלהן הוא שותף וסך כל הכוחות הפועלים עליו כתוצאה מכך.

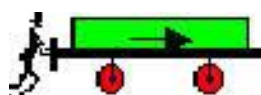
את כל הכוחות הפועלים על גוף ניתן להחליף בכוח יחיד שתוצאת פעולתו תהיה זהה לתוצאת פעולתם המשותפת. לכוח יחיד זה קוראים בשם **הכוח השקול** או **שקול הכוחות**. שקול הכוחות הוא סכום הכוחות הפועלים על גוף כלשהו. בפרק זה נעסוק רק במציאת שקול של כוחות ניצבים או שקול של כוחות אופקיים הפועלים לאורכם של קווי פעולה מקבילים.

כאשר **שני כוחות שווים בעוצמתם** פועלים בכיוונים מנוגדים על גוף לאורך אותו קו פעולה הכוח השקול שווה לאפס. במקרה כזה לא יהיו שינויים בתנועתו של הגוף או במצבו.

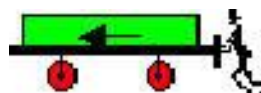
כאשר **שני הכוחות שונים בעוצמתם** גודל הכוח השקול שווה להפרש שבין הכוחות, וכיוון הכוח השקול הוא בכיוון הכוח הגדול מבין השניים.

מהירותו או צורתו של גוף ישתנו רק אם שקול הכוחות הפועלים עליו יהיה שונה מאפס.

לדוגמה:



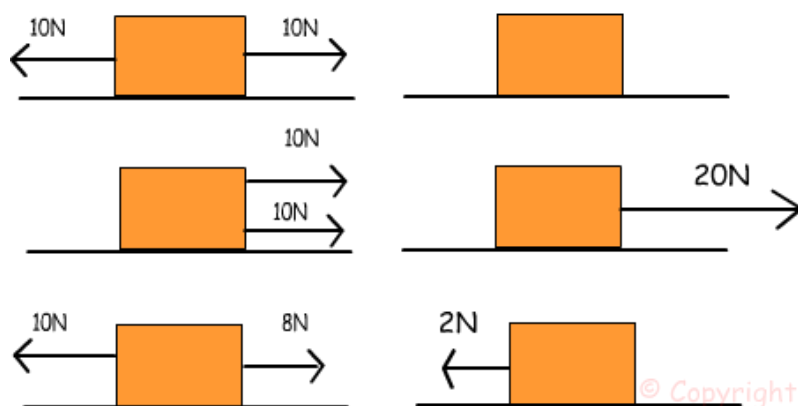
כאשר אדם מפעיל על עגלה כוח אופקי יחיד בכיוון ימין, תוצאת פעולת כוח זה תהיה תנועה של העגלה ימינה



כאשר יפעיל אדם על העגלה את אותו כוח בכיוון שמאל, תוצאת הפעולה תהיה תנועה של העגלה שמאלה.

כאשר שני כוחות השווים בעוצמתם יפעלו יחדיו, שקול הכוחות יהיה אפס והעגלה לא תזוז ממקומה.

התבוננו בדוגמאות הבאות. מהו גודלו של שקול הכוחות ומהו כיוונו בכל אחד מהמקרים?



איזון כוחות

כוחות מאוזנים נוצרים כאשר כמה כוחות פועלים על גוף באופן שהם מבטלים אלה את השפעתם של אלה. הכוחות פועלים כל אחד בכיוונו, כך שאין שינויים במצבו של הגוף.

כאשר אתם יושבים עכשיו על מושבי כיסאותיכם מפעיל עליכם כדור הארץ כוח כבידה כלפי מטה, ומושב הכיסא מפעיל עליכם כוח כלפי מעלה.



אם ימשכו לפתע את המושב שמתחתיהם תרגישו בפעולתו של **כוח לא מאוזן**, שכן, הכוח כלפי מעלה הפסיק את פעולתו. התוצאה תהיה שתמצאו את עצמכם בתנועה כלפי מטה.

אם לפתע מסיבה כלשהי יפעיל עליכם המושב כוח גדול יותר מכפי שאתם מפעילים עליו, תרגישו בפעולתו של כוח בלתי מאוזן כלפי מעלה. הרגשתכם תהיה כמו זו של אסטרונאוטים המשוגרים בטיל אל החלל.

דוגמה נוספת הממחישה איזון וחוסר איזון בין כוחות היא משיכת חבל.



משיכת חבל זו אינטראקציה בין שתי קבוצות המושכות כל אחת בצידו האחר של החבל. הקבוצה המנצחת היא זו שמצליחה לגרור לכיוונה את הקבוצה היריבה, מפני שהיא הפעילה כוח גדול יותר מאשר הקבוצה היריבה..

חשבו על תוצאות האינטראקציה במצבים הבאים:

- שתי הקבוצות מפעילות כוחות שווים.
- קבוצה אחת מרפה לפתע מן החבל.
- החבל נקרע באמצעו.
- מחליפים את החבל בגומייה.

כאמור, מהירותו או צורתו של גוף משתנה רק אם פועל עליו כוח, כלומר, אם הוא באינטראקציה עם גוף אחר, או שסכום הכוחות הפועלים עליו שונה מאפס. גוף איננו יכול להניע את עצמו באמצעות כוח פנימי, משמע, איננו יכולים להרים את עצמנו.

מן הדוגמאות למדנו, שכאשר פועלים על הגוף כוחות שווים בגודלם והפוכים בכיוונם, כלומר סכום הכוחות הפועלים על הגוף שווה לאפס - לא נבחין בשום שינוי במצב הגוף. הגוף יתמיד בתנועתו ומהירותו לא תשתנה. מצב זה נקרא **התמדה**.

עקרון ההתמדה

כל מערכת וכל גוף הם בעלי נטייה טבעית להישאר במצב שבו הם נמצאים. אם גוף יימצא במנוחה נטייתו תהיה להישאר בה, ואם הוא בתנועה הוא ייטה להמשיך ולנוע באותה מהירות ובאותו הכיוון. עד מתי? עד אשר כוח חיצוני כלשהו ימנע זאת ממנו. לתכונה זו קוראים בשם **התמדה**.

עקרון ההתמדה קובע, כי כאשר לא פועל על גוף כוח כלשהו, או שסכום הכוחות הפועלים עליו הוא אפס, מהירותו לא תשתנה. כלומר, כל מערכת וכל גוף נוטים להישאר במצב שבו הם נמצאים - אם במנוחה - יישארו במקומם, ואם בתנועה - ימשיכו לנוע באותה מהירות (עוצמתה וכיוונה).

דוגמאות

1. כאשר אתה גולש בגלגשת (סקייטבורד) מהירותך תישמר עד אשר האוויר או החיכוך עם הכביש יגרמו להפחתת המהירות עד כדי עצירה. אם הסקייטבורד ייעצר בפתאומיות אתה עלול ליפול ממנו קדימה, מכיוון שגופך ימשיך לנוע במהירות שבה נעת לפני העצירה.

2. כאשר הרכב שבו אתה נוסע נבלם בפתאומיות, אתה וכל החפצים בו תמשיכו לנוע במהירות המכנית שהייתה לרכב לפני שנבלם. תנועתכם תיפסק רק כאשר כוח חיצוני שיפעל על גופכם יעצור אתכם.

ההתמדה קשורה קשר ישיר לתכונה אחרת של כל הגופים - מסה. למסה ישנן הגדרות ומשמעויות שונות. אנחנו נבחר בהגדרה האומרת שמסה היא כמות החומר הנמצאת בגוף. את המסה מודדים ביחידת מידה שהיא הקילוגרם, או בנגזרות של הקילוגרם כמו: 1000 ק"ג שנקרא טון, או אלפית הק"ג שנקרא גרם. גופים בעלי מסה גדולה מתנגדים במידה רבה יותר לשינויים כלשהם במצבי תנועתם. כלומר, על מנת לשנות את מצבי תנועתו של גוף בעל מסה גדולה דרוש כוח רב יותר מאשר את מצבו של גוף בעל מסה קטנה ממנו. לכן, ההתמדה של גופים בעלי מסה גדולה רבה יותר מאשר זו של גופים בעלי מסה קטנה.

לדוגמה: כדי להניע משאית דרוש כוח רב יותר מאשר להניע מכונית, וכדי להניע מכונית דרוש כוח רב יותר מאשר להניע אופניים. ובדיוק על פי אותו העיקרון, כדי לבלום משאית דרוש כוח רב יותר מזה שנדרש לבלום מכונית פרטית או אופניים.

חשוב לזכור: התמדה איננה כוח אלא תכונה של מסת הגוף. כדי להפסיק את תנועת ההתמדה דרוש כוח.

דוגמה: מכוניות מתנגשות בלונה פארק

נוסעי מכוניות מתנגשות בלונה פארק מרגישים בכוחות ההדדיים הנוצרים בזמן האינטראקציה של מכוניות עם גופים אחרים. זהו שעשוע של אנשים המבוסס על עקרון הפעולה והתגובה.

כאשר המכוניות מתנגשות מרגישים הנוסעים שינוי במהירות תנועתם וחשים על גופם את תנועת ההתמדה שלהם. כאשר מכוניות נעצרות במהלך התנגשות, גופם של הנוסעים בהן ממשיך לנוע בכיוון התנועה שלפני ההתנגשות. גם מסתם של הנוסעים משפיעה על תנועת ההתמדה שלהם. על-אף שכל הנוסעים ממשיכים לנוע באותה מהירות, ככל שמסתו של הנוסע גדולה יותר דרוש כוח רב יותר על מנת לעצור אותו. קל יותר לעצור ילד קטן. קשה יותר לעצור גבר גדול ושמן.

זו גם הסיבה לכך, שהנוסעים במכוניות מתנגשות נדרשים לחגור חגורת הבטיחות. החגורה מפעילה כוח נגדי על הגוף ומונעת את תנועת ההתמדה שלו. אלמלא היו חגורים הייתה תנועת ההתמדה נמשכת עד אשר היו נתקלים ונעצרים בגוף המכונית ונפגעים.

אם לא פועל על הגוף כוח כלשהו או ששקול הכוחות הפועלים עליו הוא אפס יתמיד הגוף במצבו. כאשר שקול הכוחות שונה מאפס יגרום הכוח הפועל על הגוף לשינויים במהירותו או בכיוון תנועתו, בהתאם לכיוון פעולת הכוח.



כמסקנה מן הנלמד עד כה אפשר לנסח את הרעיון המדעי הבא:

כוח⁶ הפועל על גוף משפיע על תנועתו.

כוחות פנימיים וחיצוניים

גוף איננו יכול להניע את עצמו באמצעות כוח פנימי הפועל בתוכו. הכוח המניע אותו חייב להיות חיצוני במהלך אינטראקציה עם גוף אחר בסביבתו. לדוגמה, איננו יכולים להרים את עצמנו על-ידי משיכה בשערות הראש שלנו ולהתגבר על כוח הכובד. גם כאשר נדחוף בכוח רב מאוד את המכונית המשפחתית כשאנו ישובים בתוכה היא לא תזוז. כאשר אנחנו נמצאים במכונית אנו חלק ממערכת המכונית. כל כוח

שנפעיל הוא כוח פנימי של מערכת המכונית. כוח פנימי איננו יכול לשנות את מצב המערכת או להניע אותה. רק כוחות חיצוניים מסוגלים לעשות זאת.

הברון הגרמני קרל פרידריך מינכהאוזן הצטיין בגוזמאות מופרכות על מעלליו ועל מעשיו. באחת מהן סיפר כיצד שקע בבוץ כשהוא רכוב על סוסו, ונחליץ מתוכו כאשר משך את עצמו בשערות ראשו כלפי מעלה והרים את עצמו עם הסוס.



מדוע לדעתכם הדבר בלתי אפשרי?

⁶ הכוח המשפיע על תנועת הגוף הוא כוח חיצוני שמופעל עליו על-ידי גורם או גורמים בסביבתו.

משימה

לפניכם כתבה שפורסמה בעיתון 'הארץ'. קראו את הכתבה וענו על השאלות בסופה.

10 פצועים בהתנגשות אוטובוס ורכבת ליד ניצנים

כוחות מד"א פינו מהזירה עשרה פצועים, כולם באורח קל. איש מנוסעי הרכבת לא נזקק לטיפול רפואי.

במשטרה בוחנים את נסיבות האירוע

יגנר יגנר, הארץ', 22.06.2012

עשרה בני אדם נפצעו באורח קל בהתנגשות בין רכבת לאוטובוס אחר הצהריים (שישי) סמוך לצומת ניצנים בכניסה לאתר הקרווילות ניצן. עם קבלת הדיווחים הראשונים הוכרו אירוע רב-נפגעים (אר"ן), ולמקום הוזרמו כוחות גדולים של מגן דוד אדום, כיבוי אש, משטרה ואיחוד והצלה.

עם הגעת הכוחות לשטח התברר, כי ישנם רק 10 פצועים, כולם נוסעי האוטובוס שהתהפך מעוצמת הפגיעה. כוחות מד"א טיפלו בשטח בנפגעים באורח קל שפוננו לבית-החולים ברזילי באשקלון. חוקרי תאונות הדרכים של משטרת ישראל נמצאים בזירת האירוע ובוחנים את הסיבות לתאונה. במקום נוצרו עומסי תנועה כבדים. אברמי פורגס מ'איחוד והצלה' סיפר, כי "ישנם כמה נפגעים קל. האוטובוס התהפך אחרי שהרכבת פגעה בו.

עד כה לא אותרו נפגעים קשה בזירה". הוא ציין, כי עם הגעת

הכוחות הראשונים לזירה, בוטלה הגעת כוחות נוספים.

על-פי גורמים במשטרה נהג האוטובוס יצא מהיישוב ניצן ועבר

במחסום הרכבת שהיה מורם ככל הנראה. הרכבת פגעה בו בצידו

האחורי, פגיעה שהובילה להתהפכותו. כרגע בודקים במשטרה אם

הייתה תקלה במחסום. לצד המחסום ניצב תצפיתן שתפקידו להתריע

במקרים שבהם המחסום לא עובד.

שאלות

1. הכתבה והתמונה מתארות את תוצאותיה של התנגשות בין רכבת לאוטובוס.

א. מהי התנגשות?

ב. מהם הכוחות הפועלים בהתנגשות בין רכבת לאוטובוס? מה תוכלו לומר על כוחות אלו?

ג. מהן תוצאות ההתנגשות המתוארת? הסבירו את התוצאה באמצעות הרעיון המדעי 'כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו'.

2. עם הגעת הכוחות לשטח התברר כי רק 10 אנשים נפצעו, כולם נוסעי האוטובוס שהתהפך. איש מנוסעי הרכבת לא נזקק לטיפול רפואי.

למדנו כי 'הכוחות שמפעילים שני גופים זה על זה שווים בגודלם והפוכים בכיוונם'.

אם כך, כיצד ייתכן כי איש מנוסעי הרכבת לא נפגע ואילו נוסעי האוטובוס נפגעו? הסבירו.

3. בפסקה האחרונה בכתבה נאמר כי "על-פי גורמים במשטרה נהג האוטובוס יצא מהיישוב ניצן ועבר

במחסום הרכבת שהיה מורם ככל הנראה. ... כרגע בודקים במשטרה אם הייתה תקלה במחסום.

לצד המחסום ניצב תצפיתן שתפקידו להתריע במקרים שבהם המחסום לא עובד".



א. האם נוכחות תצפיתן במחסום הרכבת הייתה יכולה למנוע את התאונה? כיצד?
ב. הביעו את דעתכם: האם הכרחי שיימצא תצפיתן בכל מחסום רכבת? נסחו פסקת טיעון הכוללת את טענתכם או עמדתכם בעניין והציגו שני נימוקים לפחות. אם אפשר הוסיפו גם הסברים ודוגמאות.

נסכם וננסח את הרעיונות המדעיים שלמדנו עד כה:

1. באינטראקציה משתתפים שני גופים וכל אחד מפעיל כוח על האחר. הכוחות שמפעילים שני הגופים זה על זה שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.
 2. כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו ו/או על צורתו.
- התבוננו בתמונה והסבירו את המתואר בה באמצעות שני רעיונות אלו.**



מהבנה לתובנה - כוחות

תנועה במרחב התעבורתי היא בעיקרה תוצאה של פעולת כוחות במהירות תנועה גבוהה או איטית בני אדם עלולים לספוג או לחוש בכוח כאשר הם נמצאים בתוך כלי הרכב שלהם. מרבית הכוחות האלה גדולים בהרבה ממה שהגוף האנושי מסוגל לספוג ולעמוד בהם. ללא שימוש פעיל באמצעי הגנה מתאימים עלולים בני האדם במרחב התעבורתי למצוא את עצמם בהשפעת כוחות הגדולים פי 100 ויותר מכפי שגופם מסוגל לשאת. התוצאות הן פגיעות קשות ואובדן חיים.

התאוצה – עולם של שינויים

מעטים הדברים בעולם שנחים ללא שינוי. סביבנו מתחוללים שינויים ללא הרף בין אם אנו חשים בהם ובין אם לאו. המקומות שבהם אנחנו נמצאים משתנים כל העת, הזמן חולף, תנוחת הגוף משתנה וכיווני התנועה שלנו משתנים ועמם המהירויות. שינויי המהירות והתנועה נקראים בשם **תאוצה**.

מהי תאוצה?

לפניכם דוגמאות אחדות לשינויי תנועה של גופים במצבים שונים. שחקנית כדור הבסיס רצה ומחליקה על פני המגרש ונעצרת בנקודת הבסיס. מהירותה פוחתת עד לעצירתה. מהירותה משתנה, תנועתה היא תנועה בתאוצה.



לכן

מכונית המירוץ מתחילה את הזינוק ממצב מנוחה ללא תנועה. תוך זמן קצר מאוד תגיע מהירותה ל- 200 קמ"ש. מהירותה גדלה במשך זמן, לכן תנועתה היא תנועה בתאוצה.



גלגלי המטוס מתנתקים מהקרקע היא תנועה בתאוצה. כאשר מהירותו מגיעה ל-300 קמ"ש. הוא מגיע למהירות זו כעבור 20 שניות מרגע התחלת ההמראה. המראה



מעבורת החלל נוחתת ומפעילה מצנחי בלימה. מהירותה קטנה עד לעצירתה. המעבורת נוחתת בתנועה מואצת.

תאוצה היא שינוי במהירות. אין זה משנה אם המהירות גברה או פחתה, גוף שנע במהירות משתנה הוא גוף שנע בתאוצה. גוף שנע ללא תאוצה מתמיד לנוע במהירות קבועה. כאשר נוצרת תאוצה מתחוללים שינויים בתנועה. כפי שכבר למדנו, שינויים בתנועה יכולים להיות בגודל המהירות או בכיוונה. שינויים במהירות נגרמים כתוצאה מפעולת כוחות על גופים, הנבדלים זה מזה במסות שלהם. כאשר כוח שווה בגודלו פועל על גופים בעלי מסות שונות תוצאת פעולתו תהיה מגוונת. ככל שמסת הגוף קטנה יותר כן תגדל השפעת הכוח עליו והוא ינוע בתאוצה גבוהה יותר. גובהה של התאוצה מושפע הן מגודל הכוח שפועל על הגוף והן מהמסה של הגוף.

לדוגמה:

אדם שמסוגל להפעיל כוח על המכונית הפרטית שלו, דוחף אותה, ומסוגל ולהזיז אותה לא יצליח להזיז משאית ממקומה בהפעלת אותו כוח.

תאוצה במרחב התעבורתי

כלי הרכב במרחב התעבורתי נעים במקרים רבים בתנועה מואצת, למשל כאשר הם מתחילים לנוע, עוקפים או כשהם בולמים ועוצרים. גם כאשר הם משנים את כיווני הנסיעה שלהם, כמו בסיבובים, הם נעים בתנועה מואצת אפילו אם מד המהירות אינו מראה שינוי במהירות.

שלושת מחוללי התאוצה של הרכב

בכל רכב קיימים שלושה מחוללי תאוצה:

- **דוושת הדלק**

לחיצה על דוושת הדלק מגבירה את זרימת הדלק למנוע ואת קצב סיבובי המנוע, וכך היא מגבירה את מהירות התנועה של כלי הרכב.

- **דוושת הבלם**

לחיצה על דוושת הבלם גורמת לרפידות מערכת הבלימה להיצמד בכוח אל צירי הגלגלים כדי לעכב את תנועת הסיבוב שלהם, ואלה גורמים להאטה ולעצירת הרכב.

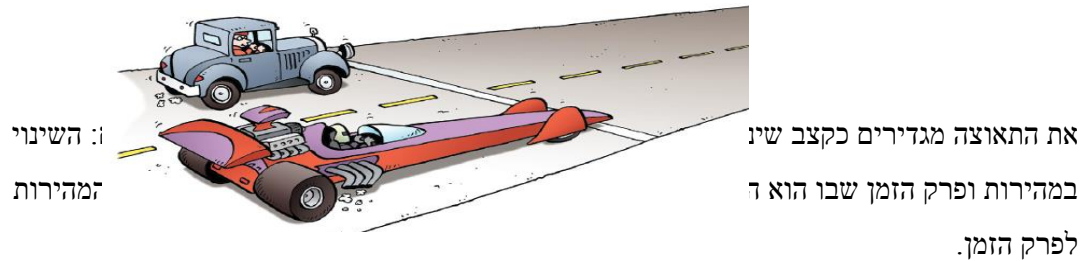
- **ההגה**

סיבוב ההגה משנה את כיוון הכוח הפועל על הגלגלים הקדמיים, וכתוצאה מכך על הרכב כולו. כוח זה גורם לשינוי כיוון תנועת הרכב, ושינוי כזה גם הוא סוג של תאוצה.



כיצד מודדים את התאוצה?

שתי המכוניות שבתרשים מתחרות ביניהן. שתיהן מתחילות לנוע בקו הזינוק ממצב של מנוחה. הן מגבירות את מהירותן ומגיעות ל-60 קמ"ש. האחת מגיעה למהירות זו בשתי שניות והאחרת ב-12 שניות. תאוצתה של מי מהן גבוהה יותר?



כך נמצא שתאוצות המכוניות שבתרשים הן:

30 קמ"ש בשנייה והאחרת 5 קמ"ש בשנייה.

בכל שנייה הגבירה המכונית הראשונה את מהירותה ב30 קמ"ש ואילו האחרת ב5 קמ"ש בלבד.

השינוי במהירות

השינוי בזמן

= תאוצה



לדוגמה: בכל מכונית מותקן מד-מהירות. בתחילת המדידה

הראה מד-המהירות 20 קמ"ש, או ביחידות אחרות 5.6

מטר/שניה. לאחר 4 שניות הוא הראה 60 קמ"ש שהם 16.7

מטר/שניה. מה ערכה של תאוצת המכונית?

החישוב:

השינוי במהירות ביחידות של מטר/שניה הוא

$$16.7 - 5.6 = 11.1$$

השינוי בזמן הוא 4 שניות.

לכן, ערך התאוצה הוא $11.1 / 4 = 2.8$ מטר/שניה².

כאשר מודדים את המהירות במטרים לשנייה ואת הזמן בשניות,

יחידת המידה של התאוצה היא מטר לשנייה בשנייה. זוהי יחידת

המידה המקובלת לתאוצה.

תרגיל

מהי התאוצה של מכונית שמגיעה ממהירות של 0 מטר לשנייה למהירות של 20 מטר לשנייה בפרק זמן

של 10 שניות?

בטבלה הבאה נתונים ערכי מהירותו של רוכב אופניים שנמדדו בפרקי זמן קבועים.

כיצד ניתן לחשב את התאוצה של רוכב האופניים על-פי

נתוני הטבלה?

א. האם התאוצה של רוכב האופניים קבועה? נמקו.

ב. חשבו את תאוצתו של רוכב האופניים.

Time	Speed
0 (start)	0 (start)
1 s	2 m/s
2 s	4 m/s
3 s	6 m/s
4 s	8 m/s
5 s	10 m/s

תנועה בתאוצה

בלימה

הבלימה היא תהליך של שינוי במהירות, כלומר תנועה בתאוצה שבה המהירות פוחתת. תאוצה נוצרת תמיד כתוצאה מפעולת כוחות על הגוף. רק כאשר שקול הכוחות הפועלים על גוף שונה מאפס הוא יכול לנוע בתאוצה. גוף ששקול הכוחות הפועלים עליו הוא אפס אינו משנה את מהירותו. אנו מבחינים בין שלושה מקרים של תאוצה:

- א. תאוצה חיובית - כאשר הכוח השקול הפועל על גוף הוא בכיוון תנועתו.
- ב. תאוצה שלילית - כאשר הכוח השקול פועל נגד כיוון תנועתו של הגוף.
- ג. תאוצה אפס - כאשר הכוח השקול הוא 0.

חשבו:

- באיזה משלושת המקרים תגבר מהירות התנועה?
- באיזה מהמקרים המהירות תפחת?
- באיזה מהמקרים תישאר המהירות ללא שינוי?
- תארו את תהליך הבלימה באמצעות מושגים: כוח, תאוצה ומהירות, ובאמצעות הרעיון המדעי 'כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו'.

מהי בלימה?

הבלימה היא תהליך האטת מהירות התנועה. כאשר תהליך האטת המהירות של גוף כלשהו מסתיים, והגוף מגיע למצב של מנוחה מוחלטת, התהליך נקרא '**עצירה**'. כלומר, עצירה היא תהליך בלימה שבסופו נמצא הגוף ללא תנועה (במהירות אפס).

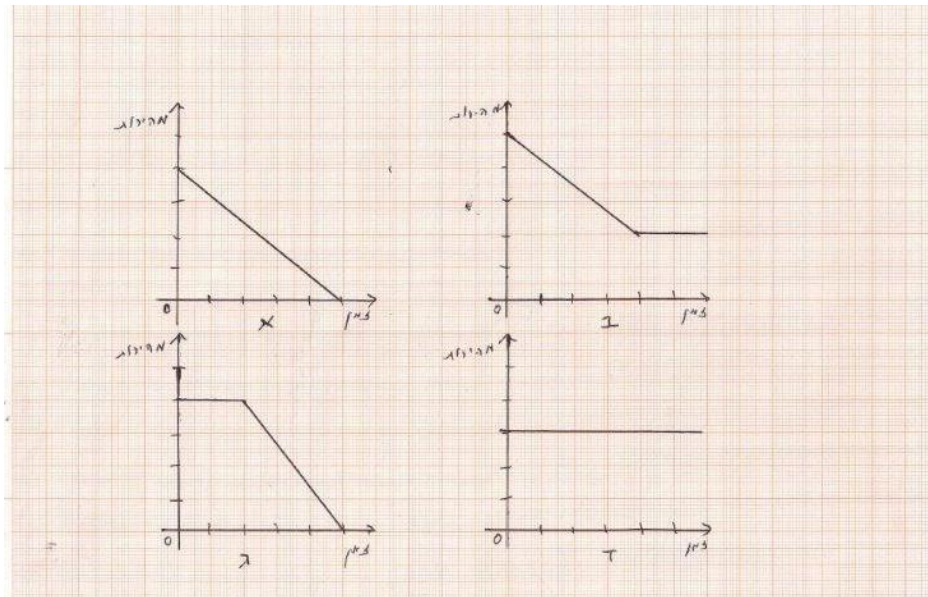


היכנסו לסביבת הלמידה 'חשיבה בתנועה', לפעילות 'אימוני בלימה'.

בהדמיה (סימולציה) זו תתנסו במצבים שונים שבהם נדרשת בלימה בנסיעה בתנאים שונים, במהירויות שונות ובתוואי דרך מגוונים, ותבחנו את השפעתם של גורמים שונים על תהליך הבלימה. בכל פעם שתבלמו את הרכב תופיע על המסך טבלה מסכמת שתכלול נתונים על: זמן התגובה שלכם, מרחק הבלימה ומרחק העצירה. פעלו על-פי ההנחיות בדפי המשימה.

ייצוג גרפי של תהליך הבלימה

התבוננו בארבעת הגרפים הבאים (א, ב, ג, ד) וענו על השאלות הבאות:



- אילו מבין הגרפים מתארים תהליכים של בלימה?
- אילו מביניהם מתארים תהליך של עצירה?
- מי מביניהם מתאר את תהליך הבלימה הקצר ביותר?
- באיזה מהם השינוי במהירות הוא הגדול ביותר?
- מהו ההבדל בין התנועה המתוארת בגרף א' לבין גרף ב'?

מהם כוחות הבלימה

- כל כוח הפועל נגד מגמת התנועה של הגוף יכול לשמש ככוח בלימה. שניים מבין סוגי הכוחות הטבעיים שפועלים ככוחות בולמים בדרך כלל על גוף נע הם: כוח הכבידה וכוח החיכוך.
- כאשר גוף עולה במעלה מדרון פועל עליו כוח הכבידה עליו ככוח בלימה.
 - כוח החיכוך, הפועל תמיד בין כל גוף נע לבין האוויר שהגוף נע בתוכו וכוח החיכוך הפועל בין הגוף לבין הדרך שעליה הוא נע, פועלים ככוחות בלימה.
 - כוחות החיכוך הפנימיים הנוצרים באופן מכוון במערכת הבלימה של הרכב פועלים ככוחות בלימה.



כל גוף בתנועה יוצר באופן טבעי, אינטראקציה של חיכוך עם האוויר שדרכו הוא עובר. כוח החיכוך עם האוויר איננו מספיק כדי לבלום את כלי הרכב במרחב התעבורתי. מכונות מרוץ או מטוסים בנחיתה משתמשים לעיתים במצנחי בלימה כדי לנצל את החיכוך באוויר לשם בלימה.

כל מכונית מצוידת במערכת בלימה פנימית. מערכת המפעילה כוחות על צירי הסיבוב של הגלגלים, שיכולים לסייע בתהליך הפחתת המהירות של המכונית. הכוחות שמנוצלים למטרה זו במערכת הבלימה של כלי הרכב הם בדרך כלל כוחות החיכוך.

תאונה מחרידה בטבריה: שמונה בני משפחה נהרגו

תאונת דרכים מזעזעת התרחשה הלילה בטבריה. משפחה שלמה, הורים ושישה מילדיהם נהרגו בדרך לטבריה בעת שמכונית המיני-ואן שבה נסעו איבדה שליטה בכביש בשל בעיות בבלמים, התהפכה, עלתה באש ושרפה למוות את כל בני המשפחה. ילדה אחת כבת 7 ניצלה ואושפזה. טרגדיה מזעזעת התרחשה הלילה (ג') בטבריה. משפחה שלמה, הורים ושישה מילדיהם נהרגו בדרך לטבריה בעת שאיבדו שליטה על מכונית המיני-ואן שבה נסעו. הרכב התהפך לוואדי סמוך והתגלגל עשרות מטרים עד שנבלם בקרקע והחל לעלות באש. רק ילדה אחת מבני המשפחה שרדה מן התופת.



התאונה הקשה התרחשה סמוך לשעה 01:30 בלילה, בדרך מנחם בגין – הכביש היורד מצומת פורייה לכיוון העיר טבריה. אבי המשפחה איבד שליטה ברכב מסוג מיצובישי בשל בעיות בבלמים, פגע במעקה בטיחות, הידרדר לוואדי סמוך והרכב החל לעלות באש."

התאונה המחרידה בדרך לטבריה מעוררת תהיות אם היה ניתן לעשות משהו כדי למנוע אותה או לפחות לצמצם את תוצאותיה הקטלניות.

התשובה לכך היא ככל הנראה חיובית. בעת מצבי חירום ברכב יש לפעול בנחישות ובשיקול דעת ולגרום להאטת הרכב.

תחושה של 'אין בלמים' בכביש במדרון תלול היא אחד מתסריטי האימה שממנו חושש כמעט כל נהג. אך דווקא מכיוון שהנושא נמצא בתודעה של נהגים רבים ניתן להתכונן אליו ולשנן את סדר הפעולות שיש לנקוט במקרה שנתקלים במצב מפחיד כזה במציאות.

מה עושים כשמערכת הבלמים איננה פועלת? (מעובד על-פי: ירחון אוטו, יואל שורץ, 23.05.12)

המלצות לנהגים

חשוב שלא לאבד שליטה ולהפעיל שיקול דעת.

אין ספק שמדובר במצב מבהיל, אבל חשוב לזכור שניתן לנקוט פעולות נוספות כדי לבלום ולהביא את הרכב לעצירה גם בלי נזק.

- **שימוש בבלם החנייה**

- **הורדת הילוכים**

- **מציאת עליות או מסלולי מילוט ויציאה.**

עלייה, ולו הקטנה ביותר תאט באופן משמעותי את תנועת הרכב. לעיתים ניתן למצוא בצידי הכביש מסלול מילוט ויציאה המיועד בדיוק לשם כך. בהיעדר כוחות חיכוך לבלימה כוח הכבידה הוא הכוח הטבעי היחיד שיכול לסייע בבלימה. כוח הכבידה ישמש ככוח בולם רק בתנועה בעלייה במעלה כביש.

חיכוך במעקה בטיחות

כוח החיכוך משמש ככוח בולם. התחככות במעקה הבטיחות העשוי בטון או מתכת, אומנם יגרום נזק לרכב, אבל כוח החיכוך גם יאט את מהירותו של הרכב. פעולה כזו צריכה להיעשות בשליטה מלאה ובעדינות כשהרכב מקביל ככל האפשר למעקה ולא מתנגש בו.

שימוש בשולי הכביש להפחתת מהירות

אם אין מעקה בטיחות אפשר להשתמש בשוליים. כוח החיכוך שנוצר בנסיעה על שולי הדרך הוא גבוה יותר מזה שנוצר על פני הכביש, ועשוי לגרום להאטת מהירות התנועה. חשוב שהירידה לשוליים תיעשה בזהירות רבה ובאופן הדרגתי, ויש להימנע מסיבוב חד של ההגה. אבל, הדרך הטובה ביותר שלא לאבד בלמים היא לדאוג לתקינותם בטרם הנסיעה, לעשות בהם שימוש נכון, והקפדה על טיפול נכון ובדיקות תקופתיות של כלי הרכב.



הגורם האנושי בתהליך הבלימה והעצירה

שינוי במהירות התנועה מתרחש במשך פרק זמן מסוים. לא ניתן לעצור גוף בתנועה באופן מיידי ברגע שנדרשת עצירה. תהליך **עצירת הרכב** נעשה בשני שלבים: שלב קבלת ההחלטה לבלום, שתלוי באדם, בכישוריו ובמצבו ושלב הבלימה, שהוא תהליך טכנולוגי שמושפע מפעולתן של מערכות הבלימה.

שלב קבלת ההחלטה לבלום

במהלך כל תנועה במרחב התעבורתי נוצרים מצבים שבהם נדרשים משתמשי הדרך השונים להגיב, לקבל החלטות ולבצע שינויים בתנועתם. השינויים יכולים להיות: האטה ועצירה, האצה, פנייה. לכל אחת מפעולות נדרש זמן. הזמן החולף מרגע שמזהים מצב המחייב תגובה ועד לרגע תחילת יישום ההחלטה נקרא בשם 'זמן תגובה'.

זמן התגובה הממוצע של בני האדם נאמד בשנייה אחת. הוא עשוי להשתנות בהתאם למצבו וליכולותיו של כל נהג, לגילו, לחושים שלו, לתגובות ולתנועות הגוף שלו, ליכולת הראייה והריכוז, למיומנות ולשליטה במכונית במצב מפתיע. זמן התגובה מושפע גם מגורמים חיצוניים כמו:

- שימוש בסמים, באלכוהול ובתרופות.
 - **שעמום ומונוטוניות** - נסיעה ארוכה או נסיעה בדרך ארוכה חד-גונית בעלת נופך שאין בו שינויים רבים, כמו הדרך לאילת.
 - **תנאי מזג אוויר ותנאי ראות** – חמסין, גשם, סנוור, חשיכה, חימום-יתר ברכב.
 - עייפות.
 - רעש, שמיעת מוזיקה בעוצמה גבוהה.
 - הסחת דעת – עיסוק בכמה פעולות בעת ובעונה אחת כמו דיבור בטלפון, כתיבת מסרונים, הרמת חפץ, טיפול בילדים ועוד.
- במשך זמן התגובה מתמיד כלי הרכב בתנועתו ללא כל שינוי. המרחק שהוא עובר בפרק זמן זה נקרא '**מרחק התגובה**'. למרחק התגובה מקובל לקרוא גם בשם '**מרחק חוסר השליטה**'. מדוע לדעתכם מתאים שם זה למרחק התגובה?
- 'מרחק חוסר השליטה'** הוא המרחק שאותו נעבור מבלי שנבצע כל פעולה לבלימת המכונית או למניעת סיכון. **מרחק זה שווה למכפלת זמן התגובה במהירות התנועה**.
- מבחינת הנהגים, זמן התגובה משמעותו מרחק נסיעה ללא שליטה במכונית. איננו מסוגלים למנוע או לפעול למניעתו של כל אירוע שיתרחש בפרק זמן קצר יותר מזמן התגובה שלנו.

לדוגמה,

חתול מזנק אל הכביש במרחק של 2 מטרים לפני רכב הנוסע במהירות של 50 קמ"ש.

אם זמן התגובה של הנהג הוא שנייה אחת, המכונית תמשיך לנוע במהירות 50 של קמ"ש (כ-

13.8 מטר/שנייה) ותעבור מרחק של

13.8 מטרים = 1 שנייה X 14 מטר/שנייה, לפני שתתחיל בכלל בלימת הרכב.

כלומר, דינו של החתול נחרץ מאחר שהמרחק של החתול מהרכב קטן יותר מ'מרחק חוסר השליטה', ולנהג אין כל אפשרות למנוע את הפגיעה בו אפילו אם הוא רוצה בכך! כל חלק שנייה בזמן התגובה הוא קריטי לבטיחות משתמשי הדרך ובמיוחד בתנועה במהירויות גבוהות. מחקרים קובעים, כי קיצור זמן התגובה בכמה עשיריות השנייה בלבד עשוי להפחית תאונות בגלל אי-שמירה על מרחק של כ- 90% מן הנוהגים.. ככל שזמן התגובה יהיה קצר יותר נהיה כולנו בטוחים יותר.

טבלת מרחק חוסר השליטה - ב'זמן התגובה' של שנייה אחת

מהירות המכונית (קמ"ש)	המרחק שנעבור בשנייה אחת (מטרים)
20	5.5
30	8.3
40	11.1
50	13.8
60	16.6
70	19.4
80	22.2
90	25
100	27.7
110	30.5

- בהסתמך על הנתונים המופיעים בטבלה, מהו הקשר בין מהירות התנועה לבין מרחק חוסר השליטה, כאשר זמן התגובה הוא שנייה אחת?
 - מכונית נוסעת במהירות של 80 קמ"ש. הנהג מבחין בהולך רגל היורד מהמדרכה ומתחיל לחצות את הכביש במרחק שלפני הערכתו הוא 60 מטר לפני המכונית. אם זמן התגובה של נהג המכונית הוא 1.5 שנייה, האם יוכל למנוע הנהג את הפגיעה בהולך הרגל?
 - אם הנהג נתון להשפעת אלכוהול זמן התגובה שלו יתארך ויעמוד על 3 שניות. האם אז יצליח למנוע את הפגיעה בהולך הרגל?
- העצירה כולל תהליך בלימה שמסתיים במנוחה מוחלטת של כלי הרכב נקרא בשם 'תהליך עצירה'. תהליך העצירה כולל שני שלבים: שלב התגובה ושלב הבלימה. במהלך תהליך זה ממשיך כלי הרכב לנוע ועובר מרחק הנקרא בשם 'מרחק העצירה'.

מרחק העצירה = מרחק התגובה + מרחק הבלימה
--

מרחק התגובה תלוי באופן מלא בנהג – ביכולתו הביולוגית ובאישיותו וכן במהירות נסיעתו. מרחק הבלימה תלוי בטכנולוגיה - במערכת הבלימה של הרכב וביכולתה לפתח כוחות בלימה, בתנאי הדרך, בצמיגי המכונית, בתקינות הבלמים וכו'.

משימה

לפניכם טבלת מרחקי העצירה, כאשר זמן התגובה הוא שנייה אחת.

מהירות המכונית(קמ"ש)	מרחק העצירה (מטרים)
20	2
30	5
40	9
50	14
60	20
70	27
80	36
90	46
100	56
110	68

שאלות

- א. מה יהיה מרחק העצירה של מכונית הנוסעת במהירות של 80 קמ"ש וזמן התגובה של הנהג שנייה אחת?
- ב. מהו הקשר בין מהירות התנועה לבין מרחק העצירה?
- ג. האם הכפלת המהירות פי שניים תגרום למרחק העצירה לגדול פי שניים? הביאו דוגמה.
- ד. מהו הקשר בין יחס המהירויות ליחס מרחקי העצירה?

משימה לתלמידים

כשמסמים לא נוהגים!

היכנסו לאתר הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, <http://www.youtube.com/rsa>

בחרו את הסרטון: 'כשמסמים לא נוהגים' וצפו בו.

<http://www.youtube.com/user/LearnToSayLo/RSA>

משימות

1. בסרטון נאמר: "כשאת מסמסת, את לא באמת ברכב" - למה הכוונה במשפט הזה?
2. כאשר הנהג/ת עסוק/ה בכתיבת סמס או בדיבור בטלפון,
 - אילו גורמים הקשורים לאדם הנוהג מושפעים מכך?
 - אילו גורמים הקשורים לתנועת הרכב מושפעים מכך?
3. מהן הסכנות המתעוררות בעקבות כך?
4. הסבירו באיזה אופן מושפעים הגורמים השונים שהזכרתם וכיצד הם עלולים להשפיע על תנועת המכונית והסכנות הנובעות מכך?
5. האם ניתן לקשור את הסיסמה כשנוהגים לא מסמים' לרעיון המדעי 'כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו' הסבירו!
6. התינוק היושב ברכב נמצא בסיכון בגלל אימו המשתמשת בטלפון הנייד בעת נהיגתה, אך המכונית מצוידת באמצעים המגנים עליו.
 - א. ציינו מהם האמצעים המגנים והסבירו כיצד הם תורמים לבטיחותו של התינוק.
 - ב. כיצד קשורה ההוראה לחגירת חגורת בטיחות לרעיון המדעי 'כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו' הסבירו כיצד הוא קשור לתינוק.

המשמעות הפיזיקלית של זמן התגובה בניתוח תאונות הדרכים

ננתח מקרים אחדים שהתרחשו, ובאמצעותם נברר לעצמנו את המשמעות המורכבת של זמן התגובה והשלכותיו על גרימת תאונה.

מקרה ראשון

"מר כהן הוא נהג בן 73. הוא התנגש בהתנגשות צד ברכב אחר שיצא מדרך צדדית וחצה את נתיב נסיעתו. התאונה התרחשה באור יום ובתנאי ראות טובים. לטענתו של מר כהן, הוא התקרב לצומת בזהירות רבה מאוד מאחר שחווה בעבר כמה מצבים של 'כמעט תאונה' בצומת זה. תחושת הסכנה הצפויה הגבירה אצל מר כהן את הדריכות והוא נהג במשנה זהירות כאשר התקרב לצומת. מר כהן נסע במהירות של 54 קמ"ש, מתחת למהירות המותרת על-פי החוק בקטע כביש זה, כך גם על-פי עדותו של חוקר תאונות הדרכים. מר כהן טען, שאחת הפעולות שנקט על מנת להגביר את זהירותו הייתה הנחת כף רגלו על דושת הבלם למקרה שיאלץ להשתמש בה. 30 מטרים לפני הצומת הוא הבחין ברכב החוצה את נתיבו, לחץ על דושת הבלם ובכל זאת פגע בו. מהי מידת אחריותו של מר כהן לתאונה? בהנחה שהנתונים שנמסרו נכונים, נעריך את זמן התגובה המתאים למקרה של מר כהן: זמן התגובה האופייני של נהג במצבים מסוג זה הוא 1.5 שניות. אולם, הנסיבות המיוחדות מחייבות שינוי בהגדרת 'זמן התגובה האופייני'.

ראשית, לדריכות ולציפייה לתאונה השפעה גדולה על קיצור זמן התגובה. מאחר שמר כהן היה מודע לסכנה התקצר זמן התגובה שלו והיה צפוי להיות 1.0 - 1.1 שניות.

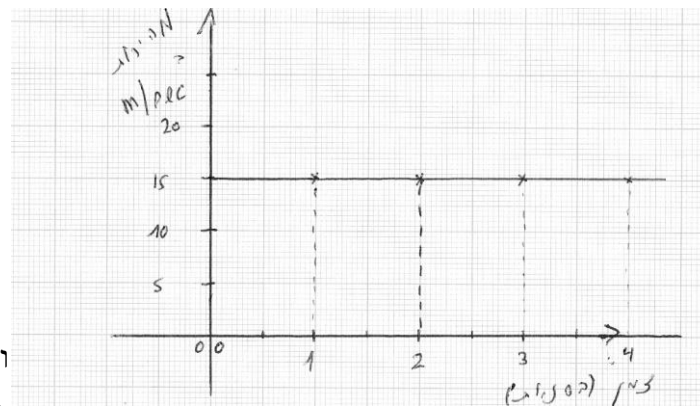
שנית, מר כהן הניח כבר את כף רגלו על דושת הבלם. פעולה הנמשכת כ- 0.2 שניות כאשר העיתוי בלתי צפוי. את פרק הזמן הזה נחסיר, ונקבל שזמן התגובה עמד על 0.9 - 1.0 שניות.

שלישית, מר כהן בן 73. הגיל מאריך את זמן התגובה. השינוי בזמן התגובה האופייני לגיל זה עומד בממוצע על 0.8 - 1.0 שניות. השפעה זו מאריכה את זמן התגובה שלו ל- 2.0 שניות בקירוב.

נתמקד בניסיון לתאר את האירוע בצורה מדויקת ככל האפשר על סמך הנתונים שבידינו. לשם כך ניצור את גרף התנועה והמהירות של מר כהן.

שלב ראשון

מר כהן נהג לפני ההתנגשות במהירות קבועה של 15 מטרים בכל שנייה (54 קמ"ש). אילו היה ממשיך בתנועתו גרף התנועה שלו היה נראה כך-



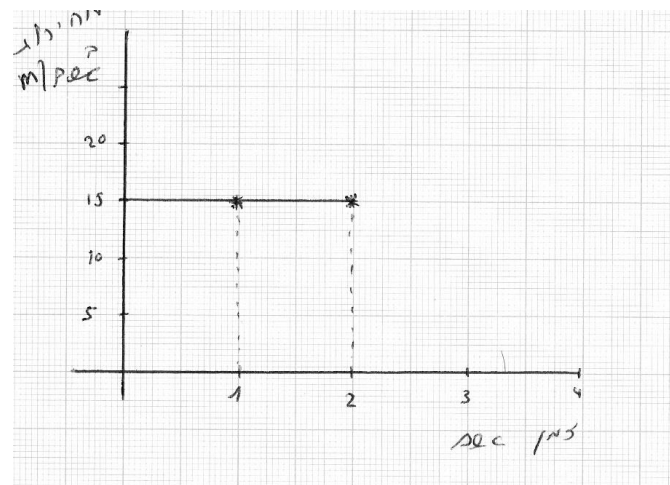
והזמן. השטח הכלוא
שעובר מר כהן בכל

התיאור הגרפי של
בין גרף המהירות

פרק זמן בתנועתו. כך לדוגמה, בשנייה הראשונה הוא עבר 15 מטרים, במשך 2 שניות 30 מטר וכו'.

תנועתו של מר כהן בשלב זה קצובה ובקו ישר, ללא שינויים במהירות.

לפתע מבחין מר כהן בסכנה! הוא שוקל בדעתו כיצד להגיב ומחליט לבלום. על-פי נתוניו במשך שתי שניות אין לו שליטה במהירות. גרף התנועה השתנה לפתע. תנועתו הקבועה של מר כהן נפסקה.

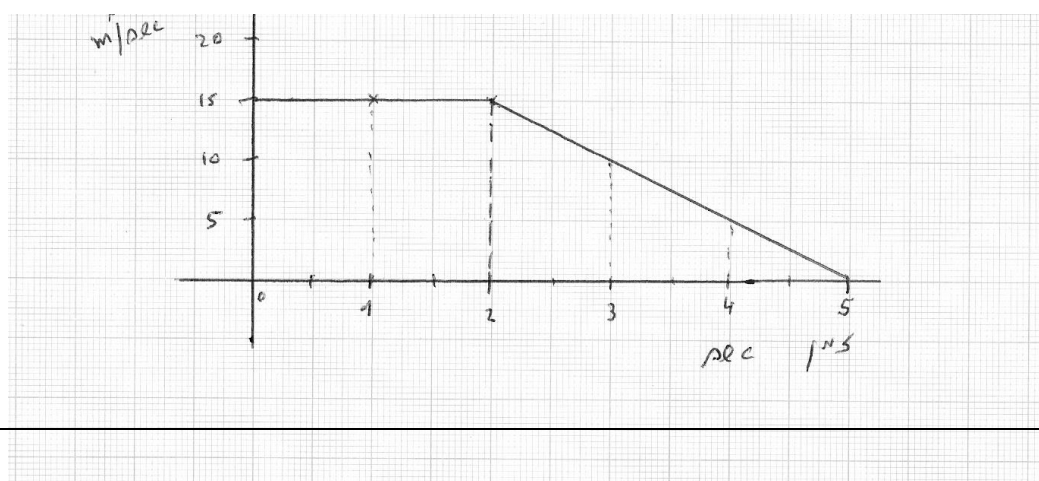


שניות, לאחר
החוצה, הוא

רק כעבור שתי
שהבחין ברכב

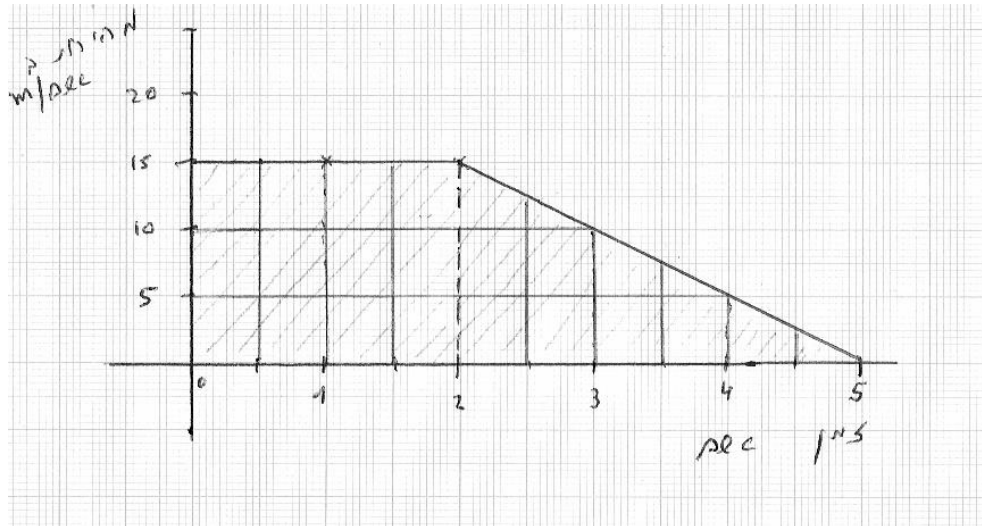
התחיל בתהליך האטת המהירות. במשך אותן שתי שניות המשיכה מכוניתו לנסוע ללא כל שינויים במהירותה. אז החל תהליך הבלימה עד לעצירה המשווערת.

מהירותו של מר כהן ירדה מ-15 מטר בשנייה עד ל-0 מטרים בשנייה, כלומר עד עצירה מוחלטת. בגרף זה נראים כך הנתונים:

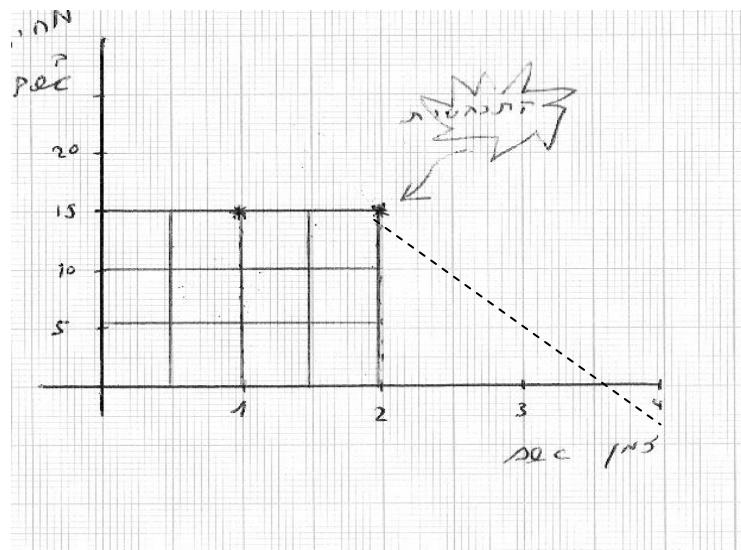


מר כהן נע בתנועה מואטת עד לעצירתו.

מהו המרחק שעבר עד לעצירה המשווערת? מבלי שיהיה צורך לחשב, אפשר לדעת זאת מתוך גרף התנועה. כאמור, המרחק מיוצג בגרף שבחרנו על-ידי השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר הזמן. כל ארבע משבצות מייצגות מרחק של 10 מטרים.



ספירה של המשבצות וחלקי המשבצות מעלה כ-21 משבצות שמייצגות 50 מטרים בקירוב. אבל... על-פי העדויות, מר כהן היה במרחק של 30 מטרים מהצומת שבו התרחשה ההתנגשות. כלומר, על-פי נתוני המקרה ההתנגשות הייתה בלתי נמנעת, והיא התרחשה עוד לפני שמר כהן החל לבלום את מכוניתו, בתוך פרק זמן התגובה שלו.



- האם
- וכיצד
- היה ניתן
- למנוע

את התאונה?

- האם לדעתכם אשם מר כהן בגרימת התאונה? הסבירו את טענתכם והביאו שלושה נימוקים לפחות.

כאן המקום לשלב את סימולציית הבלימה

מהבנה לתובנה

התאוצה היא הגורם העיקרי למותם של בני האדם בתאונות. ולא כפי שחושבים רבים, הגוף איננו עשוי מקשה אחת אלא מורכב מחלקים שונים שלכל אחד מהם מסה שונה. מסות שונות מאיצות במידות שונות בהשפעת אותו כוח. שינויים פתאומיים וחדים במצב התנועה יכולים לגרום לשינויים גדולים במהירות שגורמים להתנתקות אברי הגוף מאלה. כך קורה בזמן תאונות. פרק הזמן שנמשך תהליך הניתוק של אברי הגוף השונים הוא לעיתים קצר יותר מאשר זה הנדרש ממערכות הבטיחות להגיב.

תנועה בסיבוב

עד כה עסקנו בתנועה של גופים הנעים בקו ישר, הנקראת תנועה קווית. אך במרחב התעבורתי לא תמיד נעים משתמשי הדרך בקווים ישרים. בפרק זה נדון בתנועה שאיננה בקו ישר.



זהירות! תנועה בסיבוב לפניך

סיפור ילדותו של פיזיקאי אמריקני

"אני מתגורר במרחק של 15 דקות נסיעה מדיסנילנד. בני משפחתי וחבריי התפלאו מאוד שמאז ימי ילדותי לא ביקרתי באתר שנחשב בעיני כולם פסגת ההנאות וממלכת קסם לילדים. האמת היא, שדיסנילנד עבורי לא היה תענוג כל כך גדול. ההיפך הוא הנכון, הוא היה עבורי חוויה מעוררת פחד. אימא שלי הושיבה אותי בתוך קרונית מעוצבת בצורת טיל, שהסתובבה במהירות סביב עמוד שאליו הייתה מחוברת בכבל חזק, והתרוממה לאוויר. הייתי משוכנע שאני הולך למות. חשתי כיצד כוח איתנים מנסה להשליך אותי מתוך הקרונית. לא האמנתי שחגורות שבאמצעותן הייתי רתוק למושב יצילו אותי מפני הכוח הנורא. צרחתי במלוא כוחי כדי שאימא שלי תעשה משהו להצילי ותוציא אותי ממלכודת המוות. באופן מפתיע היא הייתה סבורה שאני נהנה הנאה מרובה, ושהצרחות שלי הן צרחות של שמחה. נראה היה, שהיא



הייתה אדישה לחלוטין לסכנה האיומה שהייתי נתון בה. ידיעותיי בפיזיקה לא הספיקו לי בימים ההם להבין שאימא כלל איננה מודעת ואיננה מסוגלת לחוש את הכוח הנורא שעמד לפגוע בי.

הבנתי את התנועה בסיבוב הייתה בחלקה נכונה ובחלקה בלתי נכונה. ראשית, טעיתי בכך שתנועה בסיבוב יוצרת

כוח הפועל מכיוון מרכז הסיבוב כלפי חוץ ומבקש להשליך אותי בכיוון זה. צדקתי בכך שהבנתי, שללא פעולה של כוח לא תיתכן תנועה בסיבוב.

כשהעמקתי את ידיעותיי מאוחר יותר גיליתי להפתעתי את העובדה הפיזיקלית ש בתנועה בסיבוב לא פועל שום כוח הפונה החוצה מציר הסיבוב. זה רק נדמה לנו. זוהי אשליה של כל מי שנמצא בתנועה סיבובית. הנטייה של כל גוף להתמיד בתנועתו היא מקור הטעות. היא מתפרשת בעיני מי שמסתובב כאילו כוח 'מסתורי' זורק את הגוף המסתובב החוצה ממעגל הסיבוב. כלומר, הטעות שלנו מבוססת על הרגשה שאיננה תואמת תמיד את המציאות הפיזיקלית. לא כל מה שאני חש הוא בהכרח מציאות פיזיקלית".

על מנת להבין מדוע טענה זו נכונה, עלינו להבין מהי תנועה בסיבוב ואת הסיבות להיווצרותה.

מהן הסיבות לתנועה בסיבוב?

תנועה בסיבוב היא כל תנועה שאינה נעשית לאורך קו ישר. היא איננה חייבת להיות תנועה מחזורית על פני מסלול מעגלי כמו קרוסלה. התנועה בסיבוב היא גם תנועה על פני עקומות שהן חלקים ממסלולים



מעגליים. כל מי שהתנסה בתנועה כזאת משוכנע שאכן 'כוח מסתור' רב עוצמה דוחף אותו בכיוון מנוגד למגמת הסיבוב. כלומר, אם הסיבוב הוא שמאלה 'הכוח המסתורי' דוחף אותו ימינה.

האם אכן קיימים כוחות כאלה בתנועה בסיבוב?

למרבה הפלא התשובה היא - לא. אם כך, כיצד נוצרת תנועה בסיבוב?

למדנו כבר, כי גוף משנה את תנועתו רק כאשר פועל עליו כוח. כלומר, כל גוף מתמיד בתנועתו לאורך קו ישר ובמהירות קבועה אלא אם פועל עליו כוח ומאלץ אותו לשנות את מצבו. כוח שפועל בכיוון התנועה מגביר את המהירות, וכוח שפועל נגד מגמת התנועה מפחית את המהירות. כדי להבין כיצד נגרמת תנועה בסיבוב נתבונן במסלול תנועתו של כדורסל הנזרק לסל.



1. מהי צורת המסלול של הכדור?
2. מדוע הכדור איננו נע בקו ישר?
3. אילו כוחות פועלים על הכדור בזמן תנועתו באוויר, לאחר שעזב את היד, ומהו מקורו של כל אחד מהם?
4. במה דומה תנועת מכונית בסיבוב לתנועת הכדור בדרכו אל הסל?
5. תארו בתרשים את כיווני הכוחות הפועלים על מכונית בסיבוב ועל הכדורסל במסלולו.
6. נסו לתת הסבר על-פי דוגמה זו לאופן היווצרותה של תנועה בסיבוב ולכיוון הסיבוב.

7. לפניכם תמונת תותח. תותח זה יורה פגז שכיוון יציאתו מהקנה מתואר בעזרת החץ האדום.

8. האם לדעתכם ינוע הפגז בקו ישר? במסלול אחר?



9. שרטטו במחברת את מהלך תנועתו של הפגז מרגע יציאתו מקנה הפגז ועד לפגיעתו בקרקע.

10. הסבירו את צורת המסלול שתיארתם: איזה כוח פועל על הפגז בשעת מעופו ומהו כיוונו?

11. מהי תוצאת פעולתו של כוח זה?

12. למדנו, כי תנועתו של גוף משתנה בהשפעת פעולתם של כוחות. מהם הכוחות הפועלים על הפגז בעת מעופו ומהם כיווני פעולתם?

13. אם תותח זה יורה את הפגז בחלל, האם גם אז מסלול תנועתו היה כפי שציירתם? הסבירו וציירו את המסלול שבו לדעתכם ינוע הפגז בחלל, בהזנחת כוחות כבידה.

14. נסו לתת הסבר על-פי דוגמה זו לאופן היווצרותה של תנועה בסיבוב.

תנועה בסיבוב נגרמת כתוצאה מפעולת כוח על גוף שנמצא בתנועה שלא בכיוון תנועתו. **תנועה מעגלית** נוצרת כאשר כוח זה פועל במשך כל זמן תנועתו של הגוף בכיוון ניצב לכיוון תנועתו. התנועה הנגרמת כתוצאה מפעולת כוח כזה היא תנועת סיבוב סביב נקודה אחת הנקראת בשם 'נקודת מרכז הסיבוב'. הכוחות המסובבים פועלים בכיוון מרכז הסיבוב.

דויד, גוליית ותנועה סיבובית



כולנו מכירים את הסיפור המקראי על אבן הקלע במלחמת דויד בגוליית. בואו נחשוב כיצד שיגר דויד את אבן הקלע בדיוק למצחו של גוליית הענק הפלישתי.

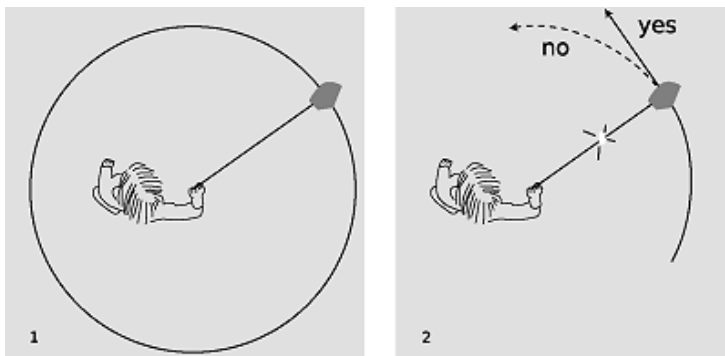
דויד הניח את האבן בכף הקלע. הוא החזיק בידו את שתי הרצועות של כף הקלע. בשלב הזה היו הרצועות רפויות והאבן - ללא תנועה. בהדרגה החל דויד לסובב את הרצועות והאבן החלה לנוע

בתנועה סיבובית מעל לראשו. שתי הרצועות נמתחו והאבן החלה לנוע בתנועה סיבובית. היא הגבירה את מהירות הסיבוב שלה ככל שהשקיע דויד כוח רב יותר במתיחת הרצועות של הקלע.

שימו לב:

- איזה כוח פעל על אבן הקלע ומי הפעיל אותו?
- האם יכול היה דויד לשלוט במהירות הסיבוב של אבן הקלע? כיצד?

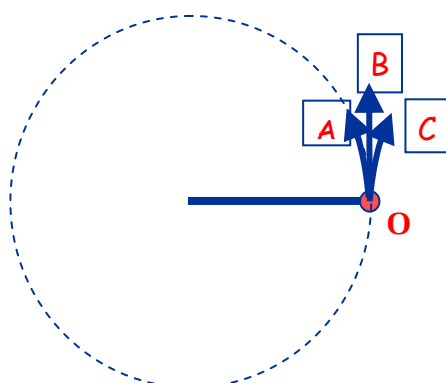
האבן נמשכה לכיוונו של דויד כתוצאה ממתיחת הרצועות. משיכה בכוח רב יותר של הרצועות גרמה להגדלת מהירות הסיבוב של הקלע. שימו לב, כיוון משיכת הקלע הוא ככיוון פעולת הכוח שפעל עליו, כלומר לכיוונו של דויד, לא בכיוון ההפוך. אילו דויד לא היה משקיע כוח באמצעות הרצועות לכיוון כף ידו, לא הייתה נוצרת התנועה הסיבובית של הקלע.



כיצד שיגר דויד את אבן הקלע?

בעת ובתנאים המתאימים לתחושתו של דויד שהאבן אכן תיפגע בנקודה שאליה הוא כיוון, הוא שחרר את אחת הרצועות, והקלע שוגר לדרכו.

שאלות לדייון



1. כיצד הגביר דויד את מהירות הסיבוב של הקלע?
2. כיצד ידע דויד מהם התנאים המתאימים לשחרור הקלע?
3. לאיזה כיוון פעל הכוח שסובב את הקלע?

4. לאיזה כיוון A, B או C נע הקלע ברגע שדויד שיגר אותו? נמקו את בחירתכם.

א. המשיך להסתובב

ב. כיוון C - בתנועה סיבובית ימינה

ג. בכיוון A - בתנועה סיבובית שמאלה

ד. בכיוון B – לפנים, בתנועה ישרה

5. על-פי הרעיון המדעי 'כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו', לאיזו מטרה דרוש הכוח שמפעילות הרצועות על הקלע?

א. לשינוי בכיוון התנועה

ב. לשינוי בקצב הסיבוב

ג. לשינוי במהירות הסיבוב

ד. כל התשובות נכונות

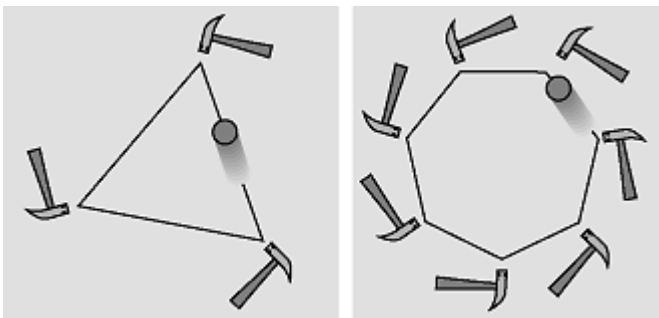
6. ברגע ששיגר דויד את הקלע, איזה כוח חדל לפעול על הקלע?

א. כוח המשיכה

ב. הכוח שהרצועות הפעילו עליו

ג. כוח הסיבוב

ד. כוח התנועה



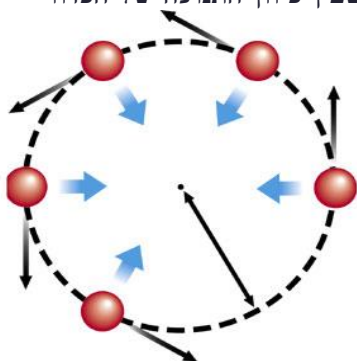
7. התבוננו בתרשים שבצד שמאל, המתאר מסלול תנועה משולש ומסלול תנועה משובע בעל שבע צלעות. לצורך הפשטות תנועת הכדור על גבי המסלולים נעשית ללא חיכוך. בתרשים מבקשים להניע את הכדור ברציפות וללא הפסק לאורכם של המסלולים באמצעות חבטות פטיש. כיצד עושים זאת? חשבו וענו על השאלות הבאות:

- כמה חבטות פטיש דרושות כדי שהכדור ינוע לאורך המסלול המשולש?
- כמה חבטות דרושות על מנת שהכדור ינוע במסלול המשובע?
- אילו היה לפניכם מסלול בעל 12 צלעות, כמה חבטות פטיש היו דרושות כדי שהכדור ינוע לאורך כל המסלול? ב- 20 צלעות? ב- 100 צלעות?
- לאיזו צורת מסלול מתקרב מסלול בעל מספר גדול מאוד של צלעות? כמה חבטות דרושות ולאיזה כיוון כדי להניע את הכדור במסלול זה?

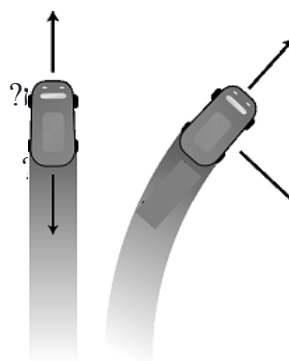
- התבוננו בכיוון תנועת הכדור ובכיוון חבטות הפטישים. האם חבטות הפטיש הן בכיוון תנועת כדור?
- מהו הכיוון הכללי של כל חבטות הפטישים?
- מהי תוצאת הפעולה של כל חבטה?
- במה דומה פעולת חבטות הפטיש לפעולתן של הרצועות באבן הקלע של דויד?
- האם הכדור יכול לשנות את כיון תנועתו בלי חבטות הפטיש?

8. מה מסמנים כיווני החיצים הכחולים והשחורים שבתרשים?

9. התרשים שבצד שמאל מתאר כדור שנע במסלול מעגלי. מהו הקשר שבין כיוון התנועה של הכדור בכל נקודה ונקודה לבין כיוון הכוחות הפועלים עליו?



10. בתרשים מתוארת מכונית שנעה בתנועה ישרה, ואותה

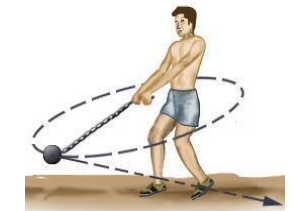


מכונית כאשר הנהג מסובב את ההגה ין

- איזה מבין החיצים מייצג את כיוון
- מהו סוג הכוח הגורם למכונית לנו
- מהו כיוון הפעולה שלו בהשוואה

זכרו!

תנועה בסיבוב לא נוצרת ללא הפעלה של כוח

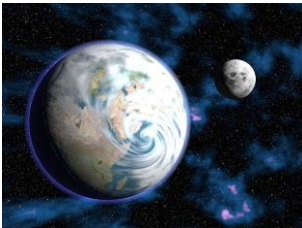


■ הכוח שדוויד הפעיל באמצעות הרצועות על אבן הקלע גרמה לה לנוע בסיבוב.



כוח החיכוך שבין גלגלי המכונית לבין כביש גורם לסיבוב המכונית.

■ כוח המשיכה שבין כדור הארץ לירח גורם לירח לנוע בסיבוב מסביב לכדור הארץ.



למדנו, כי '**התמדה**' מתקיימת כאשר סכום הכוחות הפועלים על הגוף (הכוח השקול) שווה לאפס. במקרה כזה תנועת הגוף לא תשתנה, כלומר, הגוף ימשיך לנוע במהירות קבועה ולאורך קו ישר. פעולת כוח נוסף על גוף שנמצא בתנועת התמדה תגרום לו לשינויים במהירותו. מאחר שהמהירות היא גודל וקטורי (בעלת כיוון וערך) יכולים לחול שינויים הן בגובה (ערך) המהירות והן בכיוון. **כוחות הפועלים בכיוון התנועה** מגדילים או מקטינים את **ערך** המהירות. **כוחות שאינם פועלים בכיוון התנועה** גורמים לשינויים בכיוון המהירות, כלומר בכיוון התנועה.

למעשה, **סיבוב הוא שינוי בכיוון מהירות התנועה** של הגוף כתוצאה מפעולת כוח שקול בכיוון הניצב לכיוון התנועה. כשיחדל הכוח מלפעול הגוף יחדל להסתובב ויתחיל לנוע בתנועת התמדה לאורך קו ישר. כוח זה נקרא '**כוח צנטריפטלי**'.⁷

- כשדוויד הרפה מהרצועות הוא הפסיק את פעולת הכוח על הקלע, והקלע המשיך את תנועתו לאורך קו ישר.
- כשיחדל לפעול כוח המשיכה בין כדור הארץ לבין הירח ימשיך הירח בתנועה ישרה אל עבר החלל.
- כשיחדל לפעול החיכוך בין גלגלי המכונית לבין הכביש היא תמשיך לנוע לאורך קו ישר.

⁷ **כוח צנטריפטלי** פירושו כוח הפועל בכיוון מרכז הסיבוב. מקור המלה בלטינית centrum - מרכז

ו- 'petere' - שואף אל.

הסיבוב במרחב התעבורתי

המכוניות ומשתמשי הדרך האחרים הנעים בסיבוב במרחב התעבורתי אינם קשורים בחוט למרכז הסיבוב וגם אין מכים בהם בפטיש כדי לגרום להם להסתובב. אם כך, מהו הכוח הגורם לסיבוב בכבישים?

האם החיכוך הוא הגורם לסיבוב המכונית?

אנחנו כבר מבינים, שהחיכוך הוא הכוח המאפשר את תנועת המכונית בתנועה ישרה קדימה. האם ייתכן שהוא גם הגורם לסיבוב שלה?

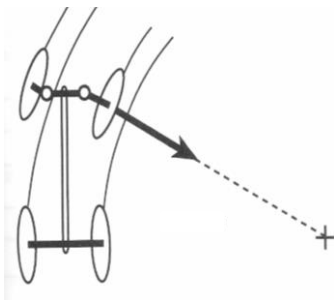
כדי לענות על שאלה זו נתנסה בתנועה בסיבוב באמצעות ההדמיה 'תנועה בסיבוב'.

היכנסו לסביבת הלמידה 'חשיבה בתנועה' לפעילות 'תנועה בסיבוב'.
במסלול זה תתרגלו תנועה במסלול סיבובי בתנאי דרך משתנים. במהלך התנועה בסיבובים ובפניות תבחנו את השפעתן של התכונות הפיזיקליות של הכביש ושל כלי הרכב על היכולת להשלים בהצלחה סיבובים ופניות. פעלו על-פי ההנחיות בדפי המשימה.



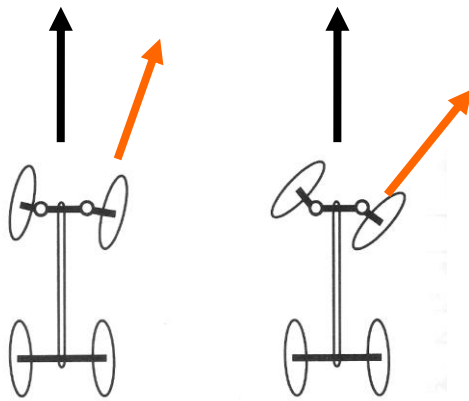
כפי שלמדנו, סיבוב נגרם כתוצאה מפעולת כוח צנטריפטלי, שכיוונו אל מרכז הסיבוב של התנועה. הכוח הצנטריפטלי מונע מהמכונית מלהמשיך לנוע בכיוון ההתמדה שלה, וגורם לשינוי כיוון התנועה שלה. כוח צנטריפטלי יכול להיות כל כוח שאיננו פועל בכיוון התנועה. כל זמן שהמכונית נעה בסיבוב פועל עליה כוח מסוג זה. ברגע שיחדל מלפעול תחזור המכונית ותתמיד בתנועה ישרה.

כדי לסובב את המכונית משתמש הנהג בהגה. ההגה מציב את הגלגלים בכיוון שונה מהכיוון של תנועת המכונית באותו זמן. כאשר הנהג מסובב את ההגה ימינה גלגלי המכונית פונים ימינה וכיוון התנועה משתנה בהתאם לכך. כתוצאה מסיבוב ההגה נוצר הכוח הצנטריפטלי הגורם לכך שהמכונית תסתובב.



כיצד?

היווצרות הכוח הצנטריפטלי הגורם לסיבוב המכונית



התבוננו במצב הגלגלים כאשר המכונית מסתובבת ימינה. שימו לב למצבם של הגלגלים הקדמיים.

החץ השחור מייצג את כיוון התנועה של המכונית

החץ האדום - את כיוון הכוח המניע

מתוך התבוננות במצבם של שני חיצים אלה, ברור שהכוח המניע אינו פועל בכיוון התנועה. הכוח הפועל על הגלגלים משפיע על תנועת המכונית בשני אופנים בו-בזמן: חלקו של הכוח מניע את

המכונית קדימה וחלקו פועל עליה בכיוון הניצב לתנועתה ומסובב אותה. חלק זה של הכוח פועל ככוח צנטריפטלי. כלומר, הוא הכוח המסובב.

מכיוון שהכוח המניע הוא תוצאה של כוח החיכוך, ניתן להסיק מכך שחלקו של כוח החיכוך הוא זה שגורם לסיבוב. בהיעדר החיכוך לא ניתן לבצע על פני הכביש תנועה בסיבוב.

- מניסיונכם, באילו מצבים קשה או לא ניתן להסתובב בכביש? ציינו דוגמאות.

- מהם הגורמים שיכולים להשפיע על סיבוב המכונית?

בתמונות שלפניכם שתי מכוניות הנעות בעיקול הכביש.

- מהם הכוחות הפועלים על המכוניות?

סמנו על גבי התמונה את הכוחות ואת כיוונם, ורשמו באשר לכל כוח - מי הגוף שמפעיל אותו.



מה יקרה כשכוח החיכוך בין גלגלי המכונית לכביש יפסיק לפעול?

בתמונה הבאה נראית מכונית שאיננה מצליחה לנסוע בסיבוב.



- מה קורה למכונית?
- מה גורם לכך שהיא אינה מצליחה לנוע בסיבוב?
- הסבירו מדוע אין המכונית מצליחה לנוע בסיבוב על סמך הרעיונות המדעיים שלמדתם עד כה.

מהן מגבלותיו של כוח החיכוך בסיבוב?

למדנו, שכוח החיכוך הוא הגורם לסיבוב המכונית. סיבוב ההגה והגלגלים גורם לכוח החיכוך לפעול בכיוון שאיננו כיוון תנועת המכונית, וכך מניע אותה בסיבוב. ככל שמהירות המכונית גבוהה יותר והמסה שלה גדולה יותר, כן דרוש כוח חיכוך רב יותר על מנת לסובב אותה. על מנת לסובב משאית דרוש כוח חיכוך רב עוד יותר מאשר לסובב מכונית משפחתית הנעה באותה מהירות. כמו כן, למכונית שמגבירה את מהירותה דרוש כוח חיכוך רב יותר על מנת שתסתובב.

והנה הבעיה: אחת מתכונותיו של כוח החיכוך היא שהוא **מוגבל בערכו**. הוא יכול להתפתח עד **ערך מקסימלי** שממנו איננו גדל יותר. את ערכו המקסימלי של כוח החיכוך קובעים בין השאר איכותם של הצמיגים ופני הכביש שעליו נוסעת המכונית.

כאשר כוח החיכוך איננו מספיק לשמור על התנועה הסיבובית הדבר דומה לרצועות שאינן מסוגלות לסובב את אבן הקלע של דויד, או לכוח הכובד בין הארץ לירח שאיננו מספיק כדי להניע את הירח סביב כדור הארץ.

התחושות הנגרמות לבני האדם בזמן תנועה בסיבוב

עתה, משלמדנו כיצד נוצרת תנועה בסיבוב, ניזכר שוב בסיפורו של הפיזיקאי האמריקני שחש כי כוח מסתורי דוחף אותו בעת הסיבוב.

כיצד ניתן להסביר את תחושתו?

ההסבר קשור להבנת הקשר בין עקרון ההתמדה לבין התנועה בסיבוב.

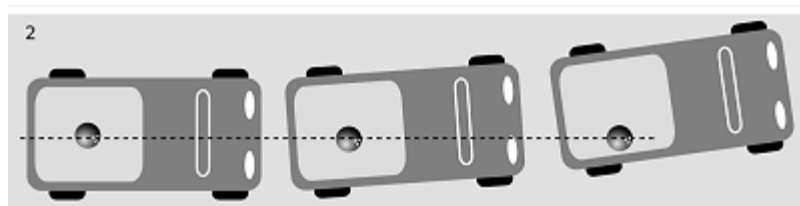
כיצד קשורה תנועת ההתמדה לתחושה שלנו בזמן הסיבוב?

כאמור, ההתמדה היא הנטייה של גוף להתנגד לכל שינוי במצב תנועתו. גופים שנעים בתנועה סיבובית משנים לא הרף את כיוון תנועתם בהשפעת הכוח הצנטריפטלי.

בכל רגע ורגע בתנועת הסיבוב באה לביטוי גם נטייתו של הגוף להתמיד בתנועה ישרה. בדומה למכונית, גם לגופו של נוסע היושב במכונית מסתובבת הנטייה להמשיך בתנועה ישרה בזמן שהמכונית מסתובבת.

בואו ונראה מה קורה כתוצאה מכך.

נתבונן בנוסע הנמצא באמצע מכונית מסתובבת ואינו מחובר אליה. כמו כל גוף, גם לנוסע זה יש נטייה להתמיד בתנועה ישרה וקבועה גם כאשר המכונית שבה הוא נמצא מסתובבת. התחושה של הנוסע היא שהוא נצמד לדופן המכונית, כפי שמראה ציור 2.



מכיוון שהמכונית מסתובבת והנוסע ממשיך לנוע בתנועה ישרה, נראה למי שנמצא בתוך המכונית שהוא לא נשאר במקומו באמצע המכונית אלא נע לכיוון הדופן שלה. כשהוא נתקל בדופן המכונית מפעילה עליו הדופן כוח בכיוון הסיבוב, כלומר כוח צנטריפטלי, המונע ממנו להתמיד בתנועה הישרה וגורם לו לנוע בסיבוב.

במצב זה נוטים רבים לחשוב שקיים כוח המניע את הנוסע בכיוון המנוגד לכיוון הסיבוב. הם גם זיכו אותו בשם **כוח צנטריפוגלי**.⁸ **זו טעות, לא קיים כוח כזה!** קיימת רק תנועת ההתמדה של הנוסע בשעה שהמכונית מסתובבת.



במתקן הסיבוב הנראה בתמונה צמודים כל הילדים אל הדופן. הם חשים בכוח שהדופן מפעילה עליהם ומונעת מהם מלהמשיך לנוע בתנועת ההתמדה שלהם בקו ישר וגורמת להם לנוע בסיבוב.

מה יקרה לילדים אם נסיר את הדופן לפתע?

חשבו וענו:

1. בהסתמך על הרעיונות המדעיים שלמדתם מהו הפירוש המדעי של התופעה והאמירה "המכונית לא לקחה את הסיבוב" או "לא לקחה את הסיבוב", ובשל אילו תנאים היא נגרמת?

⁸ **כוח צנטריפוגלי** הוא **כוח מדומה** הפונה החוצה ממרכז המעגל. מקור השם בלטינית: 'בורח מהמרכז'. centrum - מרכז ו - fugere - לברוח. הכוח המושך גוף הנתון בתנועה מעגלית לאורך רדיוס הסיבוב בכיוון.

2. מה קורה למכונית שלא הצליחה "לקחת את הסיבוב"?

3. היכן מוצאת את עצמה מכונית שלא "הצליחה לקחת את הסיבוב"?

4. התבוננו בתמרור המופיע בתמונה.

• מפני מה מזהיר התמרור הבא וכיצד הוא קשור לכוח החיכוך?

• באילו תנאים לא יצליח נהג מכונית להימנע מן הסכנה שהתמרור מזהיר מפניה?



אובדן שליטה בסיבוב

אחת מתאונות הדרכים הנפוצות היא תוצאה של אובדן שליטה וחוסר אפשרות לנוע בסיבוב כאשר כלי הרכב נע במהירות גבוהה.

משתני הדרך המשפיעים על התנועה בסיבוב הם:

- **טיב הדרך (פני הדרך, רטיבות, יובש וכו')**
- **המהירות שבה מתחילים להסתובב**
- **מחוג (רדיוס) הסיבוב שבו מבקשים לנוע**
- **איכות הצמיגים ואחיזת הרכב בכביש**

נרחיב על כמה מהם.

איכות הצמיגים

כוח החיכוך שבין הצמיגים לבין הכביש נקבע על-פי איכות הצמיגים ופני הכביש. כפי שלמדנו, כוח זה מאפשר את התנועה בסיבוב. איכות הצמיגים נקבעת על-פי כמה מדדים:

- עומק החריצים שעל פני הצמיג
- מידת השחיקה של הצמיג
- מידת הניפוח של הצמיג
- מידת האלסטיות של הגומי שממנו עשוי הצמיג
- מידת התאמתו של הצמיג לכלי הרכב ולמשקלו

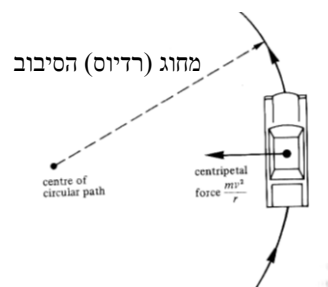
אי-הקפדה על איכות הצמיגים ועל מצבם פוגעת בשליטה וביציבות של כלי הרכב. צמיגים בלתי תקינים אינם מאפשרים לנוע כהלכה בסיבוב במיוחד במהירויות גבוהות.

פני הכביש

פני הכביש משפיעים על כוחות החיכוך של הצמיגים עם הכביש. כאשר הכביש רטוב, בוצי או מכוסה בחומר כלשהו כוח החיכוך הנוצר בין הגלגל לכביש קטן. כתוצאה מכך מחליק הרכב על הכביש ויכולת הבלימה וההאצה של הרכב נפגעת. במצב זה, הסכנה היא איבוד השליטה ברכב.

מחוג הסיבוב

ככל שמחוג הסיבוב קטן יותר נדרש כוח צנטריפטלי גדול יותר לקיום התנועה במסלול העקום. מחוג סיבוב קטן (סיבוב חד) פירושו שינוי גדול בכיוון התנועה, ולכן נדרש כוח רב לשם כך. ככל שמחוג הסיבוב גדול יותר נדרש כוח צנטריפטלי קטן יותר. צמיגים שאינם תקינים מקשים על תמרון ועל סיבובים חדים יותר מאשר על סיבובים רחבים.



הסבירו מהו הקשר בין טיב הצמיגים ומידת שחיקתם לבין הכוח הצנטריפטלי ויכולת הסיבוב של כלי רכב?

מהירות התנועה בסיבוב

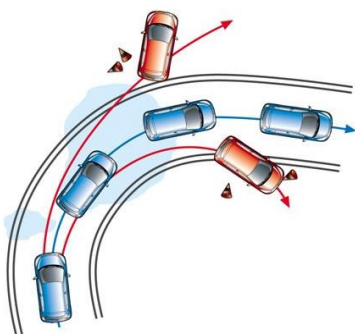


יכולתו של הנהג לנוע בסיבוב בצורה מדויקת מותנית ביכולתו להתאים את מהירות התנועה של כלי הרכב שלו לתנאי הסיבוב. אתם ומרבית הנהגים תיכשלו ללא ספק במבחן נהיגה במכונית מירוץ שנעה בסיבובים חדים במהירויות גבוהות מאוד. תמצאו את עצמכם ודאי מחוץ למסלול המירוץ נעוצים בערימות הקש או הצמיגים שמונחים שם בדיוק למטרה זו. הסיבה לכך היא חוסר

ניסיונכם בהתאמת המהירות לתנאי הסיבוב. יכולתם של נהגי המרוצים להתאים לכל סיבוב את המהירות הדרושה היא סוד הניצחונות שלהם במסלולי המירוצים. הם גם יודעים לכלכל את ההיבטים הסביבתיים הקשורים למירוץ כמו קרבתם של נהגים אחרים, מזג האוויר, תכונות כלי הרכב שלהם ומגבלותיו, ואת גובה הפרסים שבהם יזכו אם ינצחו.

חוקי הפיזיקה קובעים מהירות מקסימלית לתנועה במסלול מעגלי מבלי לחרוג ממנו. כלומר, לכל סיבוב מתאימה מהירות מקסימלית שונה. חריגה ממהירות זו תגרום לסטייה ממסלול הנסיעה.

מהירות קריטית בסיבוב



בכל מקרה של נסיעה על פני כביש שטוח ואופקי כוח החיכוך בין צמיגי המכונית לכביש הוא הגורם לסיבוב של כלי הרכב. על מנת לנוע בסיבוב בעל רדיוס קטן ובמהירות גבוהה נדרש כוח רב. כזכור, כוח החיכוך מוגבל בערכו. במקרים שבהם כוח החיכוך המקסימלי שונה מהכוח המתאים לנוע בסיבוב בכביש לא תוכל המכונית להסתובב, ויקרה אחד משני המצבים:

- המכונית תסטה מהכביש בצידו החיצוני
- המכונית תסטה מהכביש בצידו הפנימי



באילו תנאים של פעולת כוח החיכוך יקרה כל אחד מהאירועים הנ"ל? סמנו את האפשרות הנכונה והסבירו את בחירתכם:

המכונית תרד מהכביש בצידו החיצוני כאשר כוח החיכוך גדול / קטן מהנדרש, כי

המכונית תרד מהכביש בצידו הפנימי כאשר כוח החיכוך מותאם גדול / קטן מהנדרש, כי

המכונית תנוע בסיבוב כנדרש כאשר כוח החיכוך מותאם / גדול / קטן מהנדרש, כי

מהירות הנסיעה הגבוהה ביותר האפשרית לתנועה בסיבוב מבלי להתהפך נקראת בשם **המהירות הקריטית** של הסיבוב. המהירות הקריטית תלויה במידה רבה מאוד בחיכוך שבין הצמיגים לבין כביש וברדיוס הסיבוב.

- כאשר מהירות הרכב קטנה מהמהירות הקריטית אין לרכב כל בעיה לנוע בסיבוב בכביש.
- כאשר מהירות הרכב זהה למהירות הקריטית יתחיל הרכב לאבד את האחיזה שלו בכביש, והנהג לא יוכל לבלום או לשלוט בכיווני נסיעתו.
- כאשר מהירות הרכב גבוהה מהמהירות הקריטית יסטה כלי הרכב ממסלול נסיעתו בכביש ירד אל השול החיצוני ויתהפך לצידו החיצוני של הסיבוב.

שאלות

1. לפני כל סיבוב או עקום בכביש מותקן תמרור המזהיר את הנהגים מפניו. אילו סכנות צפויות לנהג הנוסע בסיבוב? חשבו על סיבות רבות ככל האפשר ורשמו אותן.



2. מה לדעתכם קרה לאופנוע הנראה בתמונה? שימו לב לסימני ההחלקה של גלגלי האופנוע על הכביש, והסבירו את שאירע בעזרת הרעיונות המדעיים שלמדתם.



יציבות

האם הייתם מוכנים לנסוע ברכב עמוס כדוגמת זה המתואר בצילום?
מהי הבעיה שבפניה היה ניצב מוביל האופניים לו ביקש לרכוב על אופניו?



- מהו המשותף לשני המצבים המתוארים?
 - מהן הסכנות שבנסיעה במכונית ובאופניים במצבים כאלה?
 - האם ניתן לנהוג או לכוון כלי רכב במצב כזה?
 - מה עלול לקרות לרכב במצב כזה בזמן תנועה בסיבוב?
- שני המקרים הם דוגמאות למצבים שבהם הועמסו כלי הרכב בעומס-יתר.

עומס-יתר

עומס-יתר הוא מצב שבו כלי הרכב עמוס במשקל הגדול מזה שמותר לו לשאת על-פי הוראות היצרן, וחלוקת המשקל על גלגליו מסכנת את היכולת לשלוט בו.

משקל הרכב והמטען שהוא נושא מתחלק בין כל הגלגלים וכתוצאה מכך פועלים כוחות פעולה ותגובה בין הגלגלים לבין הכביש בנקודות המגע שלהם. ככל שהמטען כבד יותר כן גדולים יותר הכוחות הפועלים.

ככל שהכוחות הפועלים על הגלגלים הקדמיים גדולים יותר, קשה יותר לסובב את ההגה של המכונית, מכיוון שכוח החיכוך בין הגלגלים לבין הכביש גדל. ככל שכוחות אלה קטנים כן קל יותר לסובב את ההגה. אבל, מכיוון שכוח החיכוך קטן יותר נאבד את היכולת לנוע בסיבוב. במקרים קיצוניים כאשר הגלגלים הקדמיים מתנתקים מהכביש אין כל אפשרות לשלוט ברכב ובכיווני התנועה שלו.

לשם המחשה נתבונן במקרה הבא: מי פה החמור?



המשקל הכולל של המערכת הנראית בתמונה מתחלק על פני רגלי החמור הקדמיות, האחוריות וגלגלי העגלה.

- על מי מהם פועל הכוח הרב ביותר?
- מהו הכוח הפועל בין הרגליים הקדמיות של החמור לבין הדרך?
- במה דומה מצב זה למצב של כלי רכב שהמטען שהוא נושא מרוכז בחלקו האחורי?
- האם ניתן לשלוט בכיווני תנועתו של רכב במצב כזה? הסבר מדוע.

עומס-יתר הוא הגורם המשפיע במישרין על בטיחות הנסיעה בכביש. משקל המטען מפעיל על הצמיגים כוח רב המקשה על השליטה בכלי הרכב ויוצר בעיות קשות בהיגוי ובבלימה. בנוסף לכך, גורם עומס-יתר לשקיעת הכבישים וליצירת מהמורות בהם. השמירה על איכותם ועל תקינותם של נתיבי התעבורה היא אחד מהתנאים החשובים לבטיחות בדרכים.

משרד התחבורה קבע ש: "כלי רכב הנע בעומס-יתר מהווה סכנת מוות ברורה ומוחשית".

קביעה זו נעשתה בעקבות ריבוי המקרים שבהם היו מעורבים נהגי משאיות רבים בתאונות בגלל אובדן שליטה בכלי רכבם. גורמי האכיפה הגיעו למסקנה, שמשאיות אלה היו עמוסות בעומס-יתר שלא אפשר לנהגים למנוע את התאונות. לנוכח ממצאים אלו הוחלט להגביר את האכיפה של החוק העוסק בעומס-יתר על משאיות. בין היתר, למשטרה יש זכות להחרים את הרכב שבו הובל מטען בעומס יתר.

- כיצד יכול עומס-יתר לגרום לתאונות דרכים? הסבירו.

עומס-יתר איננו בעיה של נהגי משאיות בלבד. היא נוגעת לכל מי שמנסה להוביל ברכבו מטען שמשקלו גדול מכפי שהרכב מסוגל לשאת.



עומס-יתר משפיע על יכולת השליטה בכלי הרכב, והיכולת לשלוט קשורה לתכונת ה**יציבות** שלו.



היכנסו לסביבת הלמידה 'חשיבה בתנועה', לפעילות 'אימוני יציבות'.

במסלול זה תתרגלו נהיגה בכלי רכב עמוס מטען בתוואי דרך מאתגר. עליכם לשמור על יציבות הרכב ולהגיע לנקודת הסיום מבלי שהוא יתהפך ומבלי לאבד את כל המטען. לשם כך עליכם להתאים את נסיעתכם לגודלו של המטען שמועמס על הרכב, למשקלו ולמיקומו. פעלו על-פי ההנחיות בדפי המשימה.

יציבות מהי?

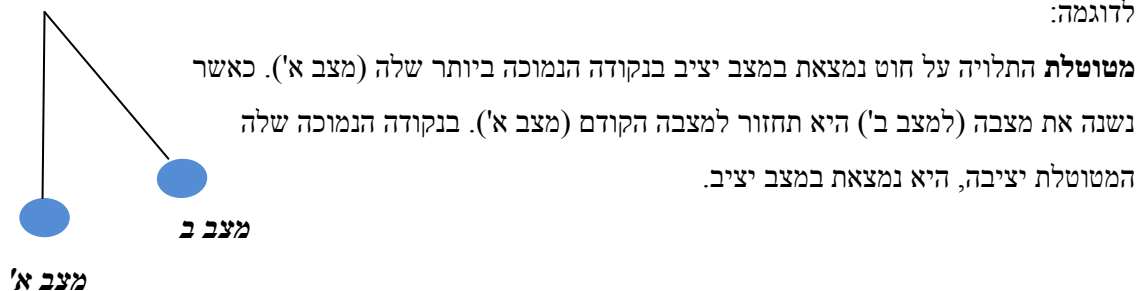
בהיבט המעשי יציבות פירושה היכולת לשלוט בתנועת כלי הרכב בכל תנאי הנסיעה בדרך: בתנועה מהירה, בזמן תנועה בסיבובים, ובזמן תמרונים בלתי צפויים של התחמקות מתאונה או מהתנגשות. השליטה בתנועה פירושה היכולת לבלום, להאיץ ולשמור על כיווני הנסיעה של הרכב. יציבותו מאפשרת לנהג לפעול כנדרש בדרך ובמצבי חירום כאשר הוא חש אובדן יציבות רגעי ולחזור לשלוט בו. כאשר הרכב אינו יציב לא ניתן לשלוט בכיווני תנועתו ובמהירותו. חוסר יציבות מוחלט יגרום להתהפכות. לכן נהוג להציג את היציבות כהיפוכה של ההתהפכות. יציבות רבה פירושה סיכוי נמוך להתהפכות, יציבות גרועה פירושה סיכוי גבוה להתהפכות. בהיבט של השליטה ברכב משמעותה של היציבות היא התאמה בין פעולות הנהג לבין תנועת הרכב בפועל. בהיבט הפיסיקאלי יציבות פירושה הנטייה של גוף או מערכת לשמור על מצבם (מקומם ומהירותם), ובאופן טבעי לחזור אליו בכל פעם שמנסים לשנותם. נטייה טבעית פירושה שפועלים על הגוף כוחות חיצוניים המחזירים אותו למצבו היציב.

גורמים המשפיעים על יציבות הרכב

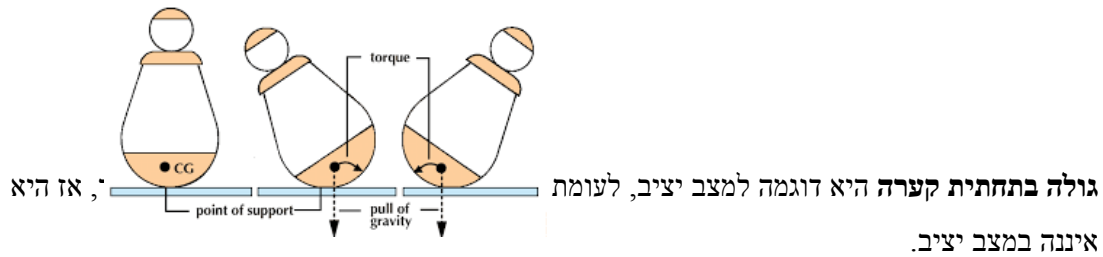
יציבותם של גופים מושפעת מהכוחות הפועלים עליהם בזמן תנועתם. כוחות אלו הם:

- כוח הכובד - משקלו של הרכב והמטען שאותו הוא נושא
- כוחות צנטריפטליים הנוצרים בזמן תנועה בסיבוב
- כוחות הנוצרים כתוצאה משיפועי הדרך
- כוחות המופעלים על-ידי רוחות חזקות

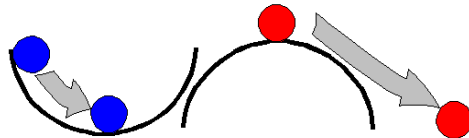
לדוגמה:



'נחום תקום', הבובה שתמיד נעמדת על בסיסה, היא דוגמה למערכת שנמצאת במצב יציב.



אם נזיז את הגולה מתחתית הקערה ונרפה, היא תחזור למצב הראשוני.



רכב במצב יציב הוא רכב שבו נשמר מגע קבוע בין גלגליו לבין הכביש בכל תנאי הנסיעה, גם כאשר פועלים עליו כוחות חיצוניים.

מכונית עומדת או מכונית שבתנועה שכל גלגליה נוגעים בכביש היא מכונית במצב יציב. בדומה לגולה, מכונית יציבה היא מכונית שחוזרת למצב שבו ארבעת גלגליה נוגעים בכביש גם לאחר שפעלו עליה כוחות חיצוניים שגרמו להם להתנתק.

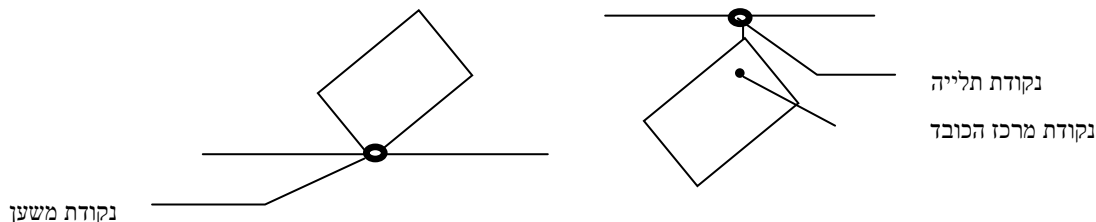
התהפכות כלי רכב היא דוגמה לסטייה ממצב יציב, ומעבר למצב שבו הכוחות המחזירים אינם מספיקים כדי להשיב אותו למצבו היציב.

אובדן היציבות משמעותו היעדר יכולת לשמור על מצב קיים או לחזור אליו.

הגדרת המושג מרכז הכובד

כל גוף הוא בעל מרכז כובד. מרכז הכובד של גוף הוא הנקודה שאליה אפשר להתייחס כאילו כל משקלו של הגוף נתון בה. זוהי הנקודה שאם תומכים בה או תולים בה את הגוף, הוא יעמוד יציב מבלי ליפול או להסתובב. נקודה זו יכולה להימצא מחוץ לגוף או בתוכו.

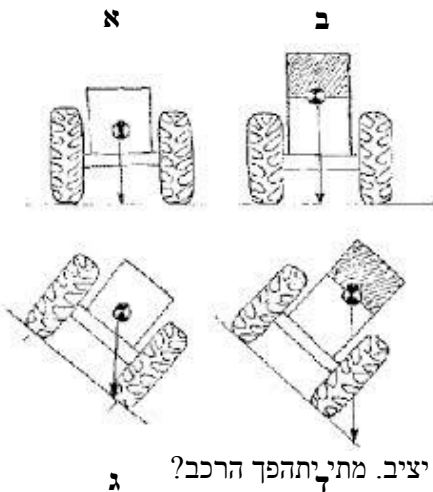
גוף שומר על שיווי משקל יציב רק אם מרכז הכובד שלו יהיה נמוך מנקודת המשען או מנקודת התלייה.



משום כך אי-אפשר להעמיד ריבוע, למשל, על אחד מקודקודיו. לעומת זאת, אין כל קושי לתלות את הריבוע בנקודת הקודקוד, כי במצב זה מרכז הכובד שלו נמצא מתחת לנקודת התלייה.

במקרים רבים במקום לדון בהשפעתם של כוחות חיצוניים על גוף ממשי בעל נפח וצורה, נוהג יותר לדון בהשפעת הכוחות על נקודת מרכז הכובד בלבד.

משקלו של גוף הוא הכוח הפועל בין כדור הארץ לבין הגוף. כוח זה פועל תמיד בין שני מרכזי הכובד של הגוף ושל כדור הארץ. כלומר, הקו הישר המחבר בין שני מרכזי הכובד הוא קו הפעולה וכיוונו של משקל הגוף. כיוונו של המשקל הוא תמיד בניצב (מאונך) לפני כדור הארץ, והוא נקרא 'קו הפעולה של כוח הכובד'.⁹



לכל גוף שטח משען שעליו הוא מונח. שטח משען של מכונית הוא השטח שבין ארבעת גלגליה. שטח המשען של בני האדם במצב עמידה או הליכה הוא השטח שבין כפות הרגליים. שטח המשען של מגדל פיזה הוא שטח הבסיס שעליו ניצב המגדל.

בתרשים מתוארים: רכב, נקודת מרכז הכובד שלו וקו הפעולה של משקלו. נקודות המשען של הרכב הן בתחום שבין שני גלגלי הרכב. כאשר מעמיסים מטען על הגג (מצב ב'), נקודת מרכז הכובד עולה וקו הפעולה עדיין עובר דרך תחום המשען. כאשר מטים את הרכב (מצבים ג' ו-ד') קו הפעולה של משקלו משנה את מקומו יחסית לנקודות המשען ונוצר מצב בלתי יציב. מתייית הפך הרכב? הוא יתהפך כאשר קו הפעולה יחרוג מגבולות תחום המשען של הרכב.

איך כל זה קשור ליציבות?

גוף נמצא במצב יציב כאשר נקודת מרכז הכובד שלו נמצאת מעל לתחום שטח המשען שלו, או ש'קו הפעולה של כוח הכובד' עובר דרך שטח המשען של הגוף. כוחות חיצוניים עלולים לשנות את מיקומה של נקודת מרכז הכובד. כאשר נקודת מרכז הכובד חורגת מתחום המשען יאבדו כל גוף שהוא או כלי רכב את יציבותם ויתהפכו.

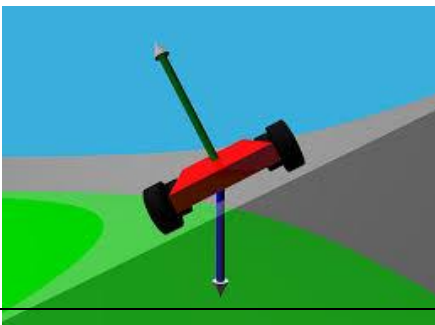


מתי ייפול מגדל פיזה ומדוע לא נפל עד כה?

כאשר נשרטט את קו הפעולה של משקלו של המגדל ('קו הכובד') נראה, שהוא עובר עדיין דרך שטח המשען של המגדל. זוהי הסיבה שעדיין לא נפל. ככל שתגדל נטייתו של המגדל כן יתקרב קו הפעולה של המשקל לקצה שטח המשען. כאשר הקו יחצה את גבולות שטח המשען, המגדל יתמוטט. לכן כדי לשפר את יציבותו, מרחיבים את בסיסו ומנמיכים את מרכז הכובד שלו על ידי הוספת מטען כבד בשטח הקרוב לבסיסו.

איך כל זה קשור למרחב התעבורתי?

⁹ המושגים 'משקל הגוף' ו'כוח הכובד' שקולים זה לזה.



דבר דומה עלול לקרות גם לכלי רכב במרחב התעבורתי.
ברכבי שטח, לדוגמה, נקודת מרכז הכובד גבוהה מאוד, והם נוסעים בשיפועים חדים הן קדימה, הן אחורה
והן לצדדים. לכן, לעיתים תכופות הם מאבדים את יציבותם ומתהפכים.
דוגמה נוספת, כאשר מכונית ניצבת על פני כביש אופקי, קו הפעולה של משקלה עובר דרך שטח המשען
שלה ולכן היא יציבה. כאשר נציב אותה על פני דרך משופעת עלול קו הפעולה לחרוג מתחום המשען
והמכונית תתהפך.

גם כאשר נושבת רוח צד חזקה עלול מקומה של נקודת מרכז הכובד להשתנות, וקו הפעולה של המשקל יחרוג מעבר לשטח הבסיס, והמכונית תתהפך.

ישנם תמרורים המזהירים את הנהגים מפני משבים של רוחות צד העלולים לפגוע ביציבותו של כלי הרכב.



גם בסיבוב חלים שינויים במקומה של נקודת הכובד כתוצאה מהכוחות הפועלים עליה במצבים אלה. כאשר תחרוג נקודת מרכז הכובד ממקומה מעל לשטח המשען של המכונית, שני הגלגלים הפנימיים ינתקו את המגע שלהם עם הכביש, וכל משקל המכונית יעבור אל הגלגלים החיצוניים. כאשר נקודת מרכז הכובד תחרוג מעבר לכך - המכונית תתהפך.

לסיכום, חשוב לזכור!

- כוחות חיצוניים עלולים לשנות את מקומו של מרכז הכובד.
- כאשר מרכז הכובד חורג מתחום המשען כל גוף או כלי רכב מאבדים את יציבותם ומתהפכים.
- כוחות הפועלים בסיבוב גורמים למרכז הכובד לזוז אל מחוץ לסיבוב. כאשר מרכז הכובד חורג מגבולות שטח המשען הרכב יתהפך.
- העמסת-יתר או שינויי צורה שנעשים במכונית משפיעים על מרכז הכובד ועלולים לגרום לה לאבד את יציבותה.
- כוחות חיצוניים הפועלים על המכונית אינם קובעים רק את השינויים במהירותה, הם קובעים גם את יציבותה.

כוחות בסיבוב, יציבות והתהפכות

רכב יציב הוא רכב שמשקלו מחולק במידה נכונה בין כל גלגליו, כך שניתן לשלוט בו. במרחב התעבורתי נוצרים מצבים מסוכנים שבהם מאבדים נהגים את היכולת לשלוט ברכבם כתוצאה מחלוקת משקל לא אחידה בין גלגלי הרכב.

המצבים שבהם משקלו של הרכב איננו מתחלק במידה שווה בין גלגליו הם:

- תנועה בסיבוב
- בלימה
- האצה

יציבות בזמן תנועה בסיבוב

כפי שלמדנו, תנועה בסיבוב נגרמת כתוצאה מהכוח הצנטריפטלי הפועל על כלי הרכב שלא בכיוון תנועתו. כוח זה פועל על צידו של כלי הרכב וגורם לו להסתובב.

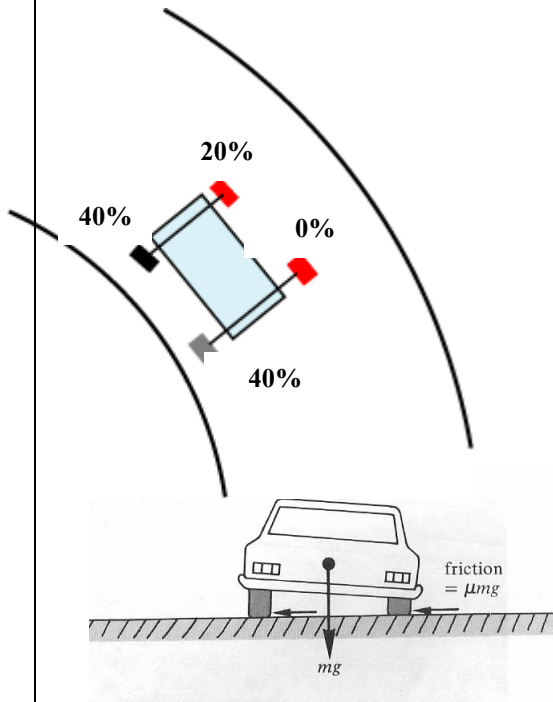
התבוננו בתצלום של הטרקטור במצב בלתי יציב הנע בסיבוב, וענו על השאלות הבאות:



1. האם הטרקטור נמצא בתנועת סיבוב לצד שמאל או לצד ימין?
2. אילו גלגלים נושאים בנטל משקל הטרקטור?
3. מהן לדעתכם הסיבות שבגללן התהפך הטרקטור?
4. האם ניתן לשלוט בכיוון תנועתו של הטרקטור במצב כזה?

בתרשים מתוארת באחוזים חלוקת המשקל של הרכב על פני הגלגלים בזמן שהוא נע בסיבוב שמאלה.

- אילו גלגלים נושאים במרבית המשקל של כלי הרכב?
- איזה גלגל סביר שניתק כבר מגע עם הכביש? נמקו.
- לאיזה צד עומד כלי הרכב להתהפך, ימינה או שמאלה?
- מהי הסיבה הסבירה ביותר להתהפכות במקרה זה?



התבוננו בכלי הרכב הנראה בתרשים. מה מתואר בתרשים וכתוצאה מאילו שתי סיבות שונות יכול להיווצר מצב כזה?
(רמז - האחת שהרכב במנוחה והאחרת בתנועה)

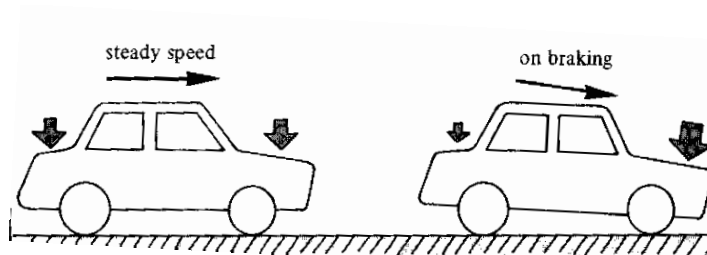
התבוננו בשני התצלומים של מגרש הניסויים לבדיקת יציבותם של כלי רכב הנעים בסיבוב. הסבירו מה יכולה להיות מטרת הניסויים בשני המקרים, ואת השפעתם של אילו גדלים פיזיקליים מבקשים לבדוק בניסוי?



יציבות בזמן תהליך הבלימה

תהליך הבלימה הוא תהליך של האטה. כאשר ההאטה מבוקרת לא ייווצר קושי לבלום ולשלוט בכלי הרכב. אולם, כאשר הבלימה היא פתאומית ומהירה מאוד עלולות להתעורר בעיות בשליטה.

בזמן בלימה מועבר משקלו של הרכב אל חלקו הקדמי, כפי שניתן לראות בתרשים, כך שהמשקל איננו מתחלק במידה שווה בין הגלגלים, ועל הגלגלים הקדמיים מועמס משקל רב יותר מאשר על האחוריים. תופעה זו מתרחשת עקב התמדת המכונית, על-פי עקרון ההתמדה.

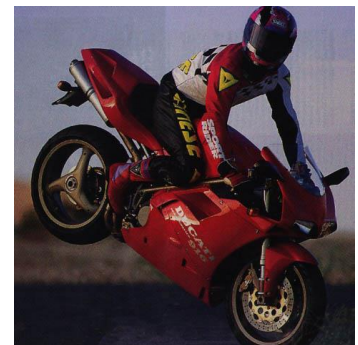


תגרום

ברכב דו-גלגלי

תופעת העברת המשקל בבלימה לניתוק כליל של הגלגל האחורי מן המגע שלו בקרקע, וכל משקל האופנוע והרוכב יעבור לגלגל הקדמי. במקרים קיצוניים ייזרק הרוכב אל הכביש מעל לכידון של האופנוע.

במצב שבו ניתן המגע עם הכביש של חלק מהגלגלים, לא מסוגל הרוכב לשלוט בתנועת האופנוע.



יציבות בזמן האצה

בתצלום מתוארת מכונית בעלת הינע אחורי, המאיצה בכוח רב מאוד. כפי שניתן לראות, גלגליה הקדמיים של המכונית ניתקו מהכביש.



- האם ניתן לנהוג או לכוון אותה במצב הזה?
- מהי הסיבה שמצב כזה נוצר?



בתמונה מצולמת מכונית מירוץ, שאמורה להישאר יציבה במהירות של 300 קמ"ש.

- כיצד משרת תכנון צורתה של המכונית את יציבותה ואת בטיחותה?



- האם אוטובוס הקומתיים יכול לתמרן כמו מכונית המירוץ?
- מדוע לא?
- כיצד משפיע אכלוס מרבית הנוסעים בקומה השנייה על יציבותו של אוטובוס הקומתיים?

המכונית שבצילום מבצעת ניסוי של תנועה בסיבוב במהירויות גבוהות.



- מהו כיוון הסיבוב בכביש, ומהו הכיוון שאליו מכוונים הגלגלים, האם שני הכיוונים זהים?
- כיצד לדעתכם נוצר מצב כזה?
- מה יקרה כאשר הנהג יאבד שליטה במכונית?



המכונית שבצילום מבצעת ניסוי תנועה בסיבוב.

- לאיזה כיוון, ימינה או שמאלה, מנסה נהג המכונית להסתובב?
- אילו גלגלים ניתקו ראשונים את המגע עם הכביש? אלה שמצדו הפנימי או החיצוני של הסיבוב?

מרביתם לכתוב בעיתונים על כך, שתאונות דרכים נגרמות בשל איבוד השליטה ברכב. מתוך מה שלמדנו, הסבירו באילו נסיבות מאבד הנהג את השליטה ברכב, וכיצד הוא יכול להימנע ממצבים כאלה.

כיצד מתמודדים עם אובדן היציבות של כלי רכב – מערכות טכנולוגיות לשמירת היציבות

אחת מהשיטות להתגבר על אובדן היציבות היא התקנת מערכת טכנולוגית לבקרת היציבות.

מערכות לבקרת יציבות

מערכת לבקרת יציבות, או בשמה האנגלי (Electronic Stability Program -ESP) נחשבת למערכת המתקדמת ביותר בתחום הבטיחות האקטיבית במכונית המודרנית. המערכת מסייעת ליציבות המכונית בכל מצב, בין אם הוא משתנה עקב תנאי כביש קשים או בגלל טעויות של נהג. המערכת מתחילה לפעול בכל מצב שבו סוטה הרכב ממסלול הנסיעה בניגוד לפעולת ההיגוי של הנהג, עם זיהוי מצב החלקה או אובדן שליטה. המערכת מייצבת את אחיזת המכונית על-ידי האטת פעולת המנוע והפעלה של הבלמים בגלגלי המכונית במידת הצורך באופן נפרד, וכל זאת מבלי שהנהג ילחץ על דוושת הבלם. הפעולה מאפשרת לנוהג לחמוק ממצבי היגוי מסוכנים או ממכשול ולמנוע תאונה.

דרך נוספת לשמור על יציבות כלי הרכב היא התאמה של משקל המטען לכלי הרכב.

טכנולוגיות מתקדמות לאכיפת המשקל

טכנולוגיית השקילה במהלך הנסיעה Weigh-in-Motion או בקיצור (Systems WIM) כבר מוכרת ופועלת זה שנים רבות. מדובר בתהליך שבו נהגי המשאיות אינם נדרשים כלל לעצור לצורך שקילה, אלא לנסוע בנתיב מיוחד שבו מזוהה המשאית ונשקלת בצורה אוטומטית לחלוטין. השקילה נעשית באמצעות חיישני משקל הטמונים בתשתית הכביש, ואלה מעבירים אות חשמלי בהתאם לעומס ולשינויי הצורה בצמיגים שנוצרים עקב הלחץ שהם מפעילים על פני הכביש. במרחק מתאים מנקודת השקילה יעצרו גורמי החוק כל משאית שנמצאה בה חריגה במשקל המטען המותר ולא יאפשרו לה להמשיך בדרכה.

שאלות

- מדוע נוטים נהגי המשאיות להעמיס את כלי רכבם עומס-יתר?
- לאילו תוצאות הקשורות ליציבות ולבטיחות הרכב גורמת נסיעה עם עודף משקל?
- גם לאופן שבו מסודר המטען על גבי המשאיות יש השפעה על יציבותן. מהי ההשפעה?
- מהו יתרונה של שיטת מדידת המשקל בתנועה?

פרק ג

אנרגיה והתנגשויות

במרחב התעבורתי



מהי אנרגיה?

אנרגיה היא תכונה שבה ניחנות כל המערכות, בכל סדרי גודל, המאפשרת להן להתקיים, לפעול ולהשתנות. תכונה של מערכת היא משתנה של המערכת, שהוא בעל ערך כמותי מספרי, וניתן למדוד אותו, לחשב אותו, ולקבוע את ערכו בצורה ישירה או באמצעות ניסוי. אנרגיה איננה ניתנת למדידה ישירה, אך ניתן לחשב את כמות האנרגיה הטמונה בכל מערכת.

אנרגיה מופיעה בצורות שונות, שהחשובה שבהן היא זו המתבטאת בתנועה. בחיי היום-יום היא באה לידי ביטוי בתחבורה, בהנעת מכונות בתעשייה ועוד. גוף הנמצא בתנועה אוצר אנרגיה רבה יותר מאשר גוף דומה הנמצא במנוחה.



למדנו כבר, כי על מנת לשנות את תנועתו של גוף יש צורך להפעיל כוח. מהירותו של גוף יכולה להשתנות רק בהשפעתו של כוח, וכתוצאה משינוי מהירותו יהיה גם שינוי באנרגיה שלו. למשל, כאשר מחזיקים כדור ברזל והודפים אותו בכוח - כוח הזרוע במקרה זה - הוא ינוע במהירות מסוימת, וכך יצבור אנרגיה רבה יותר מאשר אילו נשאר במצב מנוחה.

סוגי אנרגיה

נהוג למיין את האנרגיה לשני סוגים: אנרגיה קינטית ואנרגיה פוטנציאלית.

❖ **אנרגיה קינטית** היא זו שאוצרים גופים בתנועה. היא קיימת בכל מערכת שבה גופים בעלי מסה נמצאים בתנועה, ולא משנה מה גודלם, ונמסרת מגוף לגוף במהלך התנגשויות ביניהם. חשיבותה של האנרגיה הקינטית היא **בזמינותה**, וביכולת המיידית של בני אדם להשתמש בה, כמו למשל ניצול האנרגיה הקינטית של האוויר לשם סיבוב טחנות רוח והפקת חשמל.

❖ **אנרגיה פוטנציאלית** היא זו האגורה בגופים שונים, ואיננה ניתנת לשימוש מיידי. ונדרש תהליך כדי להפיק אותה ולהפוך אותה לאנרגיה קינטית זמינה. האנרגיה הפוטנציאלית במערכת יכולה להיות אגורה בצורות שונות: כאנרגיה כימית בחומרי דלק או במזון, כאנרגיה חשמלית בסוללות, כאנרגיה גרעינית בתוך האטום וכאנרגיה פוטנציאלית כובדית (אנרגיית גובה).

התבוננו בתמונות וציינו מהי האנרגיה האגורה בכל אחד מהדימויים המתוארים בהן.





אנרגיית גובה (אנרגיית גובה)

בין כל הגופים שהם בעלי מסה מתקיימת אינטראקציה של משיכה הדדית. אינטראקציה זו נקראת בשם גרביטציה או כבידה. התחום שסביב הגופים שבו מורגשת משיכת הכבידה נקרא בשם 'שדה הכבידה' או 'שדה הכובד'. לכל גוף יש שדה כובד. גופים בעלי מסה גדולה כדוגמת כדור הארץ הם בעלי שדות כובד חזקים במיוחד.

גוף הנתון להשפעה של שדה כבידה הוא בעל אנרגיה פוטנציאלית הנקראת גם בשם 'אנרגיה פוטנציאלית כובדית'. האנרגיה הפוטנציאלית של גוף תלויה במשקלו. משקלו של הגוף מתבטא במסתו ובעוצמת שדה הכבידה שבו הוא מצוי. ככל שהמסה גדולה יותר האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית גדולה יותר, וככל שעוצמת הכבידה גדולה יותר כן גדלה גם האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית. האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית של הגוף תלויה גם בגובהו היחסי של הגוף (H). ככל שגובהו היחסי¹⁰ רב יותר כן תהיה האנרגיה שלו גדולה יותר.



לדוגמה, כאשר גולש סקי נמצא בגובה של 3 מטרים מעל לפני השלג, יש לו כמות אנרגיה פוטנציאלית גדולה פי שלושה מכמות האנרגיה שתהיה לו כאשר יהיה בגובה של מטר אחד מעל לשלג.

¹⁰ גובה יחסי = הגובה ביחס לרמת האפס שהוגדרה.

ניתן להגדיר את רמת האפס באופן שרירותי.

כיצד מחשבים את כמות האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית?
 כאמור, שני גורמים משפיעים על כמות האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית: משקל הגוף וגובהו היחסי.
 אם כך, מחשבים את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית על-ידי המכפלה של משקל הגוף בגובה שבו הוא נמצא, כאשר משקל הגוף הוא מכפלת מסת הגוף (M) בעוצמת הכבידה (g) של שדה הכובד שבו הוא נמצא.

אנרגיה פוטנציאלית כובדית של גוף = גובה הגוף X משקלו.

בשפת הסימנים:

$$E_h = W \cdot H = M \cdot g \cdot H$$

W = משקל הגוף ביחידות ניוטון

M = מסת הגוף ביחידות קילוגרם

$g = 10 \text{ N/m}$ = עוצמת הכבידה. בכדור הארץ

H = גובה הגוף ביחידות מטר

E = כמות האנרגיה ביחידות ג'ול

או כפי שהפיזיקאים נוהגים לכתוב: **השינויים באנרגיית הגובה של גוף נובעים מהשינויים בגובה**

שבו הוא נמצא.

$$\Delta E_h = M \cdot g \cdot \Delta H$$

האות היוונית דלתא Δ מסמלת את המילה שינוי. ΔH מייצג את השינוי בגובה.

יחידת המידה לאנרגיה

יחידת המידה למדידת אנרגיה היא ג'ול.¹¹

הגדרה: 1 ג'ול הוא כמות האנרגיה הפוטנציאלית שיש לגוף שמסתו 100 גרם (0.1 ק"ג) המצוי בגובה של 1 מטר.

יחידת אנרגיה אחת (ג'ול אחד) שקולה לכמות האנרגיה בהתנגשות של גוף בעל מסה של ק"ג אחד (ליטר מים, למשל), שנופל מגובה של 10 ס"מ, או גוף בעל מסה של מאה גרם (חבילת חמאה, למשל), הנופל מגובה של מטר אחד.

צורות שונות של אנרגיה פוטנציאלית

• **אנרגיה פוטנציאלית כימית** היא אנרגיה האגורה בחומרים אורגניים.¹²

אנרגיה זו אגורה בקשרים הכימיים שבין חלקיקי החומר, והיא משתחררת והופכת לאנרגיה זמינה בתהליך כימי.



¹¹ יחידת המידה ג'ול משמשת למדידת כל סוגי האנרגיה (ולא רק למדידת אנרגיית גובה).

האנרגיה הכימית היא אחת מצורות האנרגיה העיקריות בתאים חיים. אנרגיית החום הנפלטת משרפת חומר אורגני (נפט, עץ) מקורה באנרגיה הכימית שהייתה אצורה במולקולת החומר האורגני.

- **אנרגיה פוטנציאלית כובדית** היא אנרגיה שגוף צובר כתוצאה משינויים בגובה שבו הוא נמצא. אנרגיה פוטנציאלית ניתנת להמרה לצורות שונות של אנרגיה - אנרגיה קינטית, אנרגיית חום או אנרגיה פוטנציאלית מסוג אחר, ולגרום לפעולה.

- **אנרגיה פוטנציאלית אלקטית** נצברת בגוף כתוצאה משינויים אלסטיים בצורתו. אלסטיות היא היכולת של גופים לשנות את צורתם המקורית ולחזור אליה ללא עיוותים או שבירה.

- **אנרגיה פוטנציאלית חשמלית**



האנרגיה החשמלית משמשת אותנו להפעלת מכשירי החשמל בבית. האנרגיה החשמלית היא צורת אנרגיה הזמינה ביותר לשימוש לאדם. האנרגיה החשמלית יכולה לעבור באמצעות הולכת זרם חשמלי או באמצעות קרינה, כגלים, ללא כל צורך בתיווך של חומר שיעביר אותה. האנרגיה החשמלית העוברת ממקום למקום מלווה תמיד בתופעות מגנטיות, ולכן נהוג לקרוא להן בשם – 'האנרגיה האלקטרומגנטית'.

אנרגיה קינטית

כאמור, אנרגיה של גופים בתנועה נקראת בשם אנרגיה קינטית או אנרגיית התנועה. ככל שהגוף בעל מסה גדולה יותר והוא נע במהירות רבה יותר כן גדלה אנרגיית התנועה שלו. גוף מהיר שמתנגש בגוף איטי ממנו מעביר אליו את האנרגיה שלו, וכתוצאה מכך קטנה מהירות הגוף הפוגע וגדלה מהירות הגוף האחר.

כיצד מחשבים את כמות האנרגיה הקינטית?

האנרגיה הקינטית של גוף תלויה במהירותו ובמסה שלו, והיא ניתנת לחישוב באמצעות הנוסחה:

$$\text{מסה} \times \frac{\text{מהירות}^2}{2} = \text{האנרגיה הקינטית}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2$$

¹² חומר אורגני הוא תרכובת, המכילה בעיקר אטומי פחמן ומימן ושורים זה לזה. חומרים אורגניים הם חומרים הנוצרים

בגוף של יצורים חיים או שמקורם באורגניזם – יצור חי, כמו: סוכר, בשר, עצים, זפת/ביטומן וכו' או שהם מיוצרים על-ידי האדם (פלסטיק, למשל).

או בשפת הסימנים:

$M =$ מסת הגוף בקילוגרמים

$V =$ מהירות הגוף ביחידות מטר/שנייה.

$E =$ כמות האנרגיה ביחידות ג'ול

גורם המהירות בחישוב האנרגיה הקינטית הוא בעל השפעה רבה, מאחר שהוא מופיע בחזקה שנייה (בריבוע). כל שינוי קטן במהירות גורם לשינוי גדול מאוד באנרגיה הקינטית שהגוף הנע נושא עמו.

צורות של אנרגיה קינטית

- **אנרגיית הרוח**



הרוח היא תנועה של אוויר, לכן אנרגיית הרוח היא בעצם אנרגיית התנועה של חלקיקי אוויר. ניתן לנצל את האנרגיה הזו להפקת אנרגיה חשמלית.

- **אנרגיה של תנועת מים**



אנרגיית המים היא אנרגיה של זרם המים. ניתן לנצל אנרגיה זו לסיבוב ולהנעת גלגלים של מכונות שונות.

- **אנרגיית הקול**



קול הוא תוצאה של רעידות. כאשר משמיעים קול גורמים לתנודות מחזוריות של חלקיקי החומר (התווך) שבאמצעותו מועבר הקול. תנועת החלקיקים גורמת לשינויי לחץ בתווך. כך לדוגמה, שינויי לחץ, הנגרמים בגלל התפשטות הקול באוויר, מרעידים את עור התוף שבאוזן. רעידות אלו מתורגמות על-ידי האוזן לאותות חשמליים, שמתורגמים במוח שלנו לצלילים (קול נשמע). כאשר מטוס סילון מנמיך טוס מעלינו אנו מרגישים היטב באנרגיית הקול של רעש המנועים, הגורמת לכל הסביבה לרעוד ולעצמים מסוימים אפילו להישבר.

המרות אנרגיה

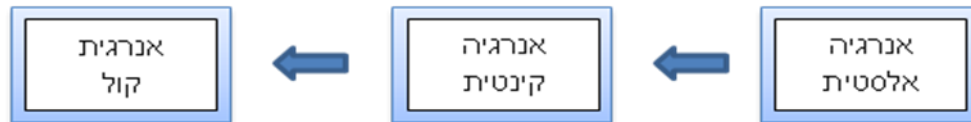
כאשר מעלים רכבת הרים לגובה מסוים ביחס לקרקע היא צוברת אנרגיה פוטנציאלית של הכובד. כאשר משחררים אותה משתחררת האנרגיה הפוטנציאלית שנצברה והיא באה לידי ביטוי בתנועת הרכבת. הרכבת מתחילה לנוע כלפי מטה לאורך המסלול. ככל שגובהה נמוך יותר כן קטנה האנרגיה הפוטנציאלית (אנרגיית הגובה) שלה. אך יחד עם הירידה בגובה גדלה מהירותה ואיתה גדלה גם כמות אנרגיית התנועה שלה (האנרגיה הקינטית). כלומר, ככל שהיא מאבדת אנרגיית גובה היא צוברת אנרגיית תנועה. תהליך זה נקרא המרת אנרגיה - אנרגיית הגובה מומרת לאנרגיה קינטית.

אנרגיית אור השמש מומרת לאנרגיית חום בקולטים של דודי השמש, ויכולה אף להפוך לאנרגיית חשמל בתאים סולריים, כמו במחשבון הסולרי. במנועים חשמליים הופכת אנרגיה אלקטרומגנטית לאנרגיה מכנית של תנועה, האנרגיה המכנית של מפלי המים הופכת לאנרגיה אלקטרומגנטית בתחנות כוח הידרואלקטריות, ובסוללה מומרת אנרגיה כימית לאנרגיה אלקטרומגנטית.

אם כך, אנרגיה יכולה לעבור מגוף לגוף או להיות מומרת מצורה אחת לצורה אחרת. מעברי אנרגיה אלו נקראים בשם **המרות אנרגיה**.

תרשים המרות ומעברי אנרגיה

ניתן לתאר את תהליכי המרות האנרגיה באמצעות תרשים מלבנים, במקום התיאור המילולי או מלבדו. בתרשים כזה מייצג כל מלבן צורה אחת של אנרגיה, וכל חץ מתאר המרה או מעבר של אנרגיה. לדוגמה, כאשר חץ נורה מקשת ופוגע בפעמון מתרחשות המרות האנרגיה הבאות: האנרגיה האלסטית של מיתר הקשת מומרת לאנרגיה קינטית (תנועה) של החץ, וזו מומרת לאנרגיית קול ברגע הפגיעה בפעמון. ניתן לתאר זאת באמצעות תרשים המלבנים הבא:



מרבית המרות האנרגיה נעשות בין צורות שונות של אנרגיה פוטנציאלית אגורה לאנרגיה קינטית של תנועה.

- תנו דוגמה למערכת שנעשית בה המרה של צורה כלשהי של אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית.
- תארו באמצעות תרשים מלבנים את המרות האנרגיה המתרחשות כאשר מכונית נוסעת במעלה הר.



המרות האנרגיה של רכבת ההרים

האם שאלתם את עצמכם פעם מדוע לרכבת ההרים אין מנוע? רוב הנוסעים ברכבת אינם יודעים זאת. מסתבר, שלא כל כלי התחבורה זקוקים למנוע כדי לנוע, אבל הם לא יוכלו לנוע אם לא תהיה להם אנרגיה מסוג כלשהו.

רכבת ההרים מתחילה את תנועתה במקום גבוה. הגדולות שברכבות ההרים מתחילות את תנועתן בגובה של קרוב ל-100 מטר. מנוע חשמלי מעלה אותן לגובה זה, ומשם מתחיל כל הכיף...

האנרגיה החשמלית שהושקעה בגרירת הרכבת לא נעלמה. היא נוצלה לשינוי הגובה של הרכבת. שינויי הגובה של רכבת ההרים הם אחת מצורות אגירת האנרגיה הפוטנציאלית.

מדוע שמה פוטנציאלית?

פוטנציאל מבטא סוג של יכולת שנצברה בעבר ומיועדת לשימוש בעתיד. האנרגיה הפוטנציאלית של הרכבת תתבטא בהמשך בהשגת תנועה מהירה במורד, להנאתם של הנוסעים בה. רכבת ההרים תמשיך לנוע בעזרת אנרגיה זו ותגלוש בתנועה מהירה עתירה לולאות וסיבובים עד אשר זו 'תכלה'.

○ האם אכן האנרגיה של הרכבת מתכלה? הסבירו מה קורה בעת גלישת הרכבת לאורך מסלולה.

○ תארו בשפת האנרגיה ובעזרת תרשים מלבנים את שרשרת המרות האנרגיה המתרחשת בעת

תנועת הרכבת.

בתחילת התנועה צברה הרכבת כמות מסוימת של אנרגיה פוטנציאלית. כאשר הרכבת נמצאת בתנועה כלפי מטה – אנרגיה פוטנציאלית מומרת לאנרגיה קינטית, ואילו במצבים שבהם הרכבת צוברת גובה מתרחש התהליך של המרת האנרגיה הקינטית לאנרגיה פוטנציאלית. בכל המצבים כמות האנרגיה לא גדולה יותר מכמות האנרגיה המקורית שהייתה לרכבת משהתחילה לנוע. ככל שמהירותה לאורך המסלול גדלה כן פחת הגובה שלה, וככל שהגובה שלה על פני המסלול גדל, כן קטנה מהירותה. כמות האנרגיה ההתחלתית של הרכבת מתחלקת בין שתי צורות האנרגיה הקינטית והפוטנציאלית. כמות האנרגיה הכללית של הרכבת איננה משתנה, וסכום האנרגיה הקינטית והפוטנציאלית בכל רגע שווה לכמות האנרגיה ההתחלתית. כמות אנרגיה זו תישאר קבועה ולעולם לא תוכל הרכבת לצבור בתנועתה אנרגיה רבה יותר מכפי שהייתה לה בהתחלה. אין זה משנה כלל מה יהיה אורך המסילה או צורתה: עליות, מורדות, סיבובים או תנועה ישרה. בכולם נשמרת האנרגיה ההתחלתית, וכל העת מתחוללות המרות בלתי פוסקות של האנרגיה הפוטנציאלית לאנרגיה קינטית, ולהפך.

האם אכן מתקיים תנאי זה תמיד ובכל מערכת?

עקרון שימור האנרגיה

אם נניח לכדור ליפול באופן חופשי מגובה של מטר, הוא יפגע ברצפה ויחזור לגובה של 80 ס"מ. כלומר, אנרגיית הגובה של הכדור בסוף התהליך היא קטנה מאנרגיית הגובה שהייתה לו לפני הנפילה. מדוע?

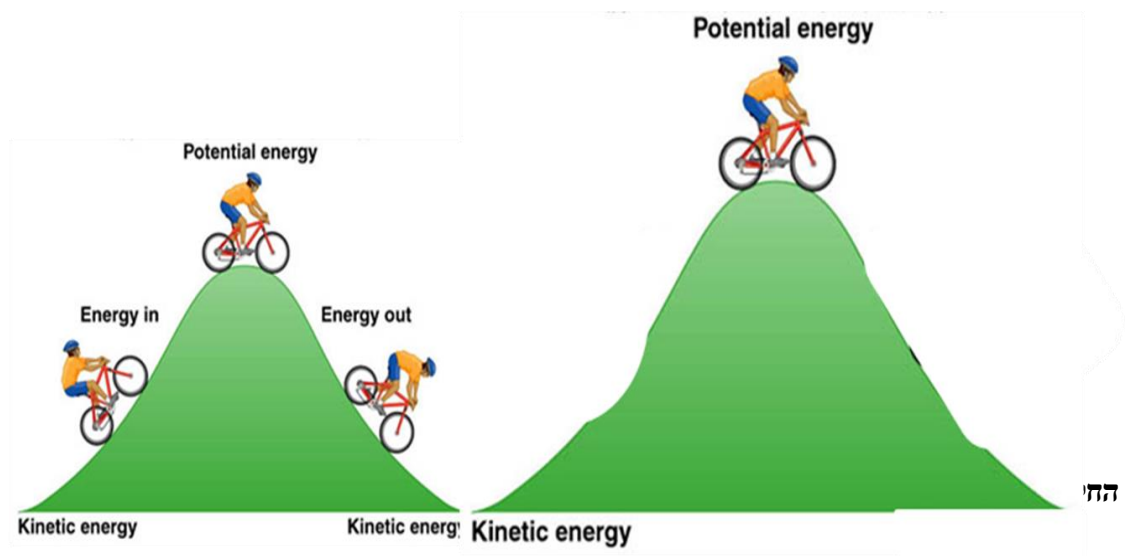
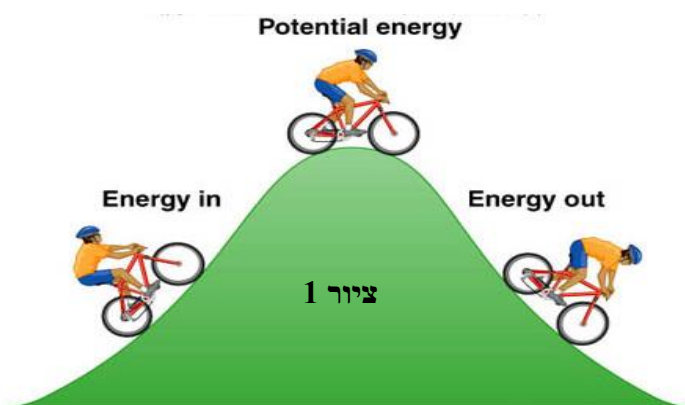
האם האנרגיה נעלמה? מה קרה לכמות האנרגיה?
 בתהליכי ההמרה של האנרגיה היא איננה הולכת לאיבוד ואיננה נוצרת יש מאין. היא מומרת לצורות שונות או עוברת מגוף לגוף, כך שכמות האנרגיה הכוללת נשארת קבועה. עיקרון זה נקרא בשם 'שימור האנרגיה'.

על-פי עקרון שימור האנרגיה:

במערכות סגורות אנרגיה אינה יכולה להתווסף או להיעלם בתהליכים השונים, היא יכולה רק לשנות את צורתה. כמות האנרגיה הכוללת במערכת נשמרת קבועה.

דוגמה – רכיבת הרים

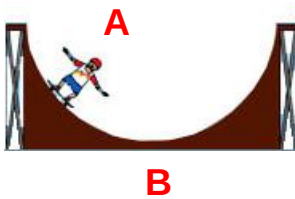
- כאשר רוכב האופניים עולה במעלה הגבעה הוא משקיע את האנרגיה של שריריו. כאשר הוא גולש במורד הוא משחרר אנרגיה. אילו המרות אנרגיה מתחוללות בתהליך הזה?
- מהו מקור האנרגיה שמשקיע רוכב האופניים?
- באיזו נקודה לאורך המסלול מהירותו היא הגדולה ביותר?
- באיזו נקודה מהירותו היא הקטנה ביותר? מה ערכה של מהירותו בנקודה זו?
- למה מתכוונים כשאומרים "האנרגיה של רוכב האופניים נשמרת לאורך מסלול תנועתו על פני הגבעה"?
- האם, לדעתכם יצליח רוכב האופניים להגיע לראש הגבעה השנייה, כנראה בציור 2, מבלי להניע את דוושות האופניים? הסבירו.



מניסיוננו בחיי היום-יום למדנו, שכאשר גופים מתחככים זה בזה הטמפרטורה שלהם עולה. עליית הטמפרטורה הזו נובעת מעלייה בכמות האנרגיה הקינטית של חלקיקי החומר שמהם מורכבים הגופים. לאנרגיה זו של חלקיקי החומר קוראים בשם '**אנרגיה פנימית**'. כך, שלמעשה החיכוך הוא תהליך של המרת אנרגיה חיצונית לאנרגיה פנימית של חלקיקי החומר בגופים. בכל תהליך שבו עולה הטמפרטורה האנרגיה החיצונית קטנה והאנרגיה הפנימית גדלה.

- האם תופעת החיכוך סותרת את חוק שימור האנרגיה? הסבירו.

גולש בגלגשת (סקייטבורד)



גולש בגלגשת (סקייטבורד) על משטח קעור נתון להשפעות החיכוך. בזמן הגלישה מומרת אנרגיית גובה לאנרגיית תנועה, וזאת מומרת חזרה לאנרגיית גובה. בסוף כל תנועה הגולש מסיים בגובה מעט נמוך יותר מהגובה ההתחלתי.

- איזה סוג אנרגיה יש לגולש הגלגשת בראש המסלול (בנקודה הגבוהה ביותר)?
- אילו סוגי אנרגיה יש לגולש במצב A המתואר בתמונה?
- אילו סוגי אנרגיה יש לגולש בתחתית המסלול (בנקודה B הנמוכה ביותר)?
- האם הגולש ימשיך להחליק ללא עצירה וללא מאמץ כל הזמן? הסבירו.
- האם יש בדוגמה זו סתירה לחוק שימור האנרגיה? נמקו והסבירו.

סוגי האנרגיה הנפוצים במרחב התעבורתי

המרחב התעבורתי כולל, כפי שכבר למדנו, מערכות סטטיות - מערכות של גופים ללא תנועה ומערכות דינמיות - מערכות של גופים בתנועה.

בדרך כלל האנרגיה במערכות סטטיות היא **האנרגיה הפוטנציאלית**, והאנרגיה במערכות דינמיות היא **האנרגיה הקינטית**. יחד הן נקראות **האנרגיה המכנית**¹³ של המערכת.

אלו הן שתי צורות האנרגיה הזמינות ששימשו את האדם להנעה של מערכות טכנולוגיות לפני שהחל להשתמש באנרגיה חשמלית. אלו הן גם **שתי צורות האנרגיה העיקריות במרחב התעבורתי**. מרבית המרות האנרגיה נעשות בין סוגים שונים של אנרגיה פוטנציאלית אגורה לאנרגיה קינטית של תנועה.

○ אילו סוגי אנרגיה נוספים שאתם מכירים קיימים במרחב התעבורתי? פרטו ותנו דוגמאות.

○ אילו המרות אנרגיה התרחשו בתהליך המתואר בתמונה?

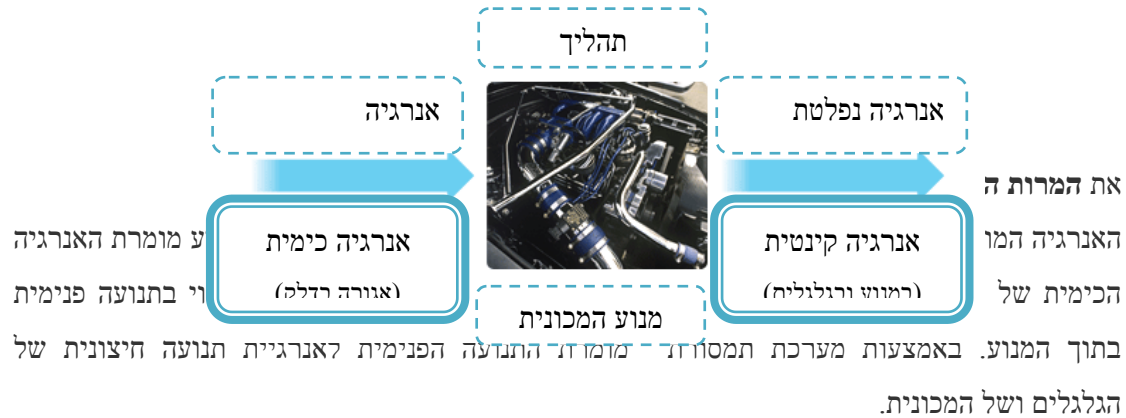


¹³ מכניקה = ענף של הפיזיקה שבו נחקרת השפעת כוחות על מערכות המורכבות מגופים בתנועה או במנוחה.

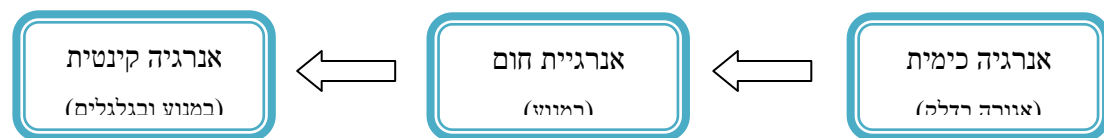
המכניקה נחלקת לשתיים: הסטטיקה - מערכות של גופים ללא תנועה, הדינמיקה - מערכות של גופים בתנועה.

תיאור המרות אנרגיה בפעולת המכונית

אם נתייחס למכונית כאל מערכת המבצעת תהליך מסוים, נוכל לתאר את המרות האנרגיה באמצעות תרשים, המציג את סוג האנרגיה הנכנסת למערכת, את התהליך, ואת סוג האנרגיה הנפלטת מן המערכת.



או באמצעות תרשים:



הבלימה כתהליך של המרת אנרגיה

בלימה היא אחד התהליכים החשובים של המרת אנרגיה במרחב התעבורתי. בתהליך הבלימה מומרת אנרגיית התנועה לצורות אנרגיה אחרות. מכיוון שבתהליך הבלימה המהירות פוחתת, הרי שגם האנרגיה הקינטית של הגוף פוחתת. כלומר, הבלימה היא תהליך שבו מופחתת כמות האנרגיה הקינטית של גופים. מכיוון שאנרגיה איננה יכולה להיעלם, על-פי חוק שימור האנרגיה, אנרגיית התנועה של הרכב עוברת ומומרת לצורות אחרות של אנרגיה. לאן ולמי עוברת האנרגיה החסרה של הגוף? במקרה שהכוח הבולם הוא כוח הכבידה, מומרת אנרגיית התנועה לאנרגיית הגובה של הגוף. במקרה של החיכוך עם האוויר הופכת האנרגיה לאנרגיית תנועה של האוויר, המפנה את מקומו לגוף הנע. במקרה שכוח הבלימה הוא כוח החיכוך שנוצר במערכת הבלימה, מומרת אנרגיית התנועה של המכונית לאנרגיה פנימית של חלקיקי החומר בכל חלקי הבלמים. כתוצאה מכך עולה הטמפרטורה שלהם במידה ניכרת.

¹⁴ מערכת תמסורת = מנגנון (של גלגלי-שיניים) המשמש להעברת אנרגיה מכנית.

קיימות תמסורות ליצירת תנועה ותמסורות אחרות להמרת תנועה סיבובית בתנועה קווית. **ברכב** בעל תיבת הילוכים ידנית תפקיד התמסורת הוא להעביר תנועה מן המנוע אל הגללים.



בסימולציה 'אימוני בלימה' עסקתם בבלימה כתהליך של הפחתת מהירות. חזרו שוב על הדמיה זו, וחקרו את תהליך הבלימה כתהליך של המרת אנרגיה. שימו לב לקשר שבין המהירות לבין האנרגיה ומרחקי הבלימה והעצירה.

כיצד פועלת מערכת הבלמים?



מערכת הבלמים פועלת באמצעות לחיצה על דוושת הבלימה. פעולה זו גורמת להיצמדות בכוח של רפידות אסבסט לדיסקה מתכתית המחוברת לצירי הגלגלים. לכל גלגל בלם משלו.

בזמן השימוש בבלמים נוצר חיכוך בין צירי הגלגלים לבין רפידות הלחיצה הנצמדות אליהן. בשלב זה מתרחש תהליך שבו אנרגיית התנועה של צירי הגלגלים מומרת לאנרגיית החום של הבלמים. כאמור, בתהליך זה

הטמפרטורה של כל מערכת הבלימה עולה במידה ניכרת. אם תהליך הבלימה מתחולל בשעה שכלי הרכב נע במהירות גבוהה, וכמויות אנרגיה גדולות מומרות לחום, עליית הטמפרטורה עלולה לפגוע ביעילותה של מערכת הבלימה ולהפסיק את פעולתה.

במקרים שבהם הלחיצה על הבלמים חזקה נוצר מצב, שבו הגלגלים מפסיקים להסתובב, והרכב ממשיך לנוע על פני הכביש בתנועת החלקה עד לעצירתו המוחלטת. החלקה כזאת מותירה סימני צמיגים על פני הדרך, מכיוון ששכבת הגומי שלהם מתקלפת ונמרחת על פני הכביש. סימני ההחלקה הם מהממצאים החשובים העומדים לרשות חוקרי תאונות הדרכים לבירור סיבות התאונה.

החלקה היא מצב מסוכן שבו אובדת השליטה בכיוון תנועתו של הרכב. לשם כך משווקות כיום מערכות בלימה מתקדמות המונעות את ההחלקה בעת הבלימה.

חשבו וענו על השאלות הבאות:

- תארו את תהליך הבלימה בשפת האנרגיה.
- על מה מעידים סימני בלימה ישרים וארוכים? על מה מעידים סימני בלימה ישרים וקצרים?
- על מה מעידים סימני בלימה מתפתלים?
- על מה מעיד היעדר סימני בלימה בתאונה? מדוע בתאונה מסוג כזה סביר שתוצאותיה קשות?

תרגום תמרורים לשפת האנרגיה

זהירות אנרגיה פוטנציאלית!

- מפני מה מזהיר התמרור, וכיצד זה קשור לאנרגיה הפוטנציאלית?
- של מי האנרגיה הפוטנציאלית שהוא מזהיר מפניה?



שתיפגע במשהו.



שמור על האנרגיה הקינטית שלך!

- שמור על רמה מתאימה של אנרגיה קינטית
- כך שתקטין או תימנע את הנזקים במקרה
- מהו הקשר בין מהירות לבין אנרגיה?

מהירים מאנרגיה קינטית לאנרגיה פוטנציאלית.

התופעה, ומדוע יש להזהיר מפניה?

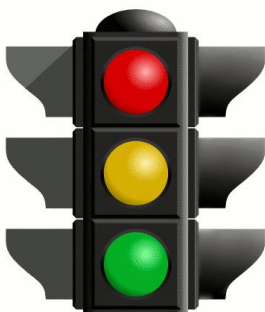


זהירות! ישנם מעברים

- הסבירו מהי

בשפת האנרגיה

צבעי הרמזור



הצבע האדום – הישאר ברמת אנרגיה פוטנציאלית בלבד

הצבע הצהוב – פרק זמן שנועד לקבלת החלטה הנוגעת

להמרת האנרגיה הפוטנציאלית של רכבך באנרגיה

קינטית

הצבע הירוק – הפוך את האנרגיה הפוטנציאלית של רכבך לאנרגיה

קינטית

האנרגיה הקינטית של כלי רכב במרחב התעבורתי היא במרבית המקרים המקור והסיבה לתוצאות

החמורות של תאונות הדרכים במרחב זה.

נרחיב על כך בהמשך.

התנגשויות במרחב התעבורתי

התנגשות היא אינטראקציה בין שני גופים שמפעילים כוחות חזקים אחד כלפי השני במשך פרקי זמן קצרים. כתוצאה מכך חל שינוי במהירות הגופים (תאוצה) המתנגשים ובצורתם (עיוות). מרבית מקרי ההתנגשות במרחב התעבורתי מתרחשים בתוך פרק זמן קצר מאוד, וכאשר מתבוננים לעיתים בממדי הנזקים שנגרמו כתוצאה מהתנגשות, קשה להאמין שהם קרו בתוך שניות או עשיריות השנייה.

בהתנגשות מתחוללים מעברי אנרגיה והמרות אנרגיה. תוצאות ההתנגשות תלויות בכוחות הפועלים ובכמות האנרגיה הקינטית של כלי הרכב המתנגשים. כמות האנרגיה תלויה בממדי כלי הרכב ובמהירותם. כאשר לא חל כל עיוות בצורתם והגופים ממשיכים לנוע בנפרד זה מזה נשמרת האנרגיה הקינטית. אם במהלך ההתנגשות חל עיוות בצורת הגופים פירוש הדבר הוא, שחלק מהאנרגיה הקינטית הומר לחום ולאנרגיה אלסטית.

בהתנגשויות שאורכות פרק זמן קצר ממשיכים שני הגופים לנוע בנפרד זה מזה מיד לאחר ההתנגשות ביניהם. במקרים שבהם הגופים נצמדים זה לזה, ונשארים צמודים גם לאחר ההתנגשות, פרק הזמן שארכה ההתנגשות הוא ממושך יותר. הגופים שנעים בנפרד זה מזה לאחר ההתנגשות יכולים לנוע באותו כיוון או בכיוונים מנוגדים.

ישנם שלושה סוגי התנגשויות עיקריים במרחב התעבורתי:

- התנגשות אלסטית לחלוטין
- התנגשות אי-אלסטית
- התנגשות פלסטית לחלוטין



התנגשות אלסטית לחלוטין היא זו שבה נשמרת האנרגיה הקינטית. האנרגיה הקינטית שהייתה לגופים



לפני ההתנגשות שווה לאנרגיה הקינטית שיש להם אחריה. זוהי התנגשות שבה שומרים הגופים המעורבים על צורתם המקורית ולא מתעוותים. בהתנגשות כזו האנרגיה הקינטית היא צורת האנרגיה היחידה הקיימת לפני ההתנגשות ואחריה.

הדוגמה המייצגת התנגשות אלסטית: שני כדורים קשיחים, כמו שני כדורי ביליארד, מתנגשים, נפרדים, וממשיכים לנוע בנפרד זה מזה לאחר ההתנגשות. במרחב התעבורתי לא מתחוללות כמעט התנגשויות שהן אלסטיות לחלוטין.

התנגשויות כאלה מתרחשות רק במגרשי שעשועים, בלונה פארק, בין מכוניות המתאימות לכך.

התנגשות אי-אלסטית היא זו שבה חלק מהאנרגיה הקינטית הופך לצורות אנרגיה אחרות במהלך



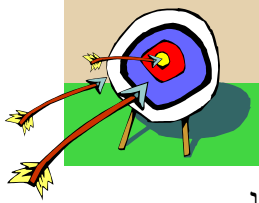
ההתנגשות. בכל התנגשות בין עצמים בקנה מידה גדול יהפוך חלק מהאנרגיה בזמן ההתנגשות לאנרגיה הפנימית של החומר בגופים המעורבים בהתנגשות ולצורות אחרות של אנרגיה. דוגמה המייצגת התנגשות אי-אלסטית: שני



כדורי פלסטלינה המתנגשים, נצמדים זה לזה וממשיכים לנוע יחד. ההתנגשות המתוארת בתמונה היא התנגשות אי-אלסטית.

הרכבת פוגעת במכונית וגוררת אותה במהלך ההתנגשות למרחק רב עד לעצירה.

התנגשות פלסטית לחלוטין – הגופים משנים את צורתם ומפסידים את כל האנרגיה הקינטית שהייתה



להם. התנגשות פלסטית לחלוטין היא התנגשות שבה שני הגופים נצמדים זה לזה ואינם נעים כלל אחריה. הדוגמה המייצגת להתנגשות פלסטית: חץ נורה מקשת פוגע במטרה ונתקע בה.

ההתנגשות מהסוג המתואר בתמונה היא התנגשות פלסטית. שתי המכוניות נשארו צמודות וללא תנועה מיד לאחר ההתנגשות.

התעבורתי **הן**
קצרים **מאוד,**
המתנגשים. **הן**
ומעברי אנרגיה.



חשוב לזכור: בכל מקרה, התנגשויות במרחב אינטראקציות שאורכות לעיתים פרקי זמן ונוצרים בהן כוחות חזקים מאוד בין הגופים מערבות אנרגיה רבה ומתרחשים בהן המרות



היכנסו לסביבת הלמידה 'חשיבה בתנועה', לפעילות 'מסלול התנגשויות'.

בהדמיה זו תתנסו בחוויות התנגשות בכלי רכב אחרים או בעצמים נייחים, ותבחנו את השפעתם של משתנים שונים, כמו: המהירות בזמן ההתנגשות, מסת הגופים המתנגשים והתכונות האלסטיות שלהם, ותעמדו על תוצאות ההתנגשות וחומרת תוצאותיה.

תוצאות ההתנגשות מוצגות באמצעות טבלה המפרטת את אומדן הנזק שנגרם לבני אדם באירוע, את הנזק לרכב, ואת הכוח המרבי שפעל על הגופים בהתנגשות. פעלו על-פי ההנחיות בדפי המשימה.

התנגשות כתהליך של המרת אנרגיה

לפניכם שתי דוגמאות של אירועים המתרחשים במרחב התעבורתי. קראו את תיאור המקרה ו/או התבוננו בתמונות המצורפות. ענו על השאלות הנוגעות לכל אחד מהמקרים.

- א. מהו התהליך המתרחש באירוע זה?
 - ב. אילו אנרגיות משתתפות בתהליך זה?
 - i. מהי האנרגיה ההתחלתית בתהליך?
 - ii. מהי האנרגיה המתקבלת בסופו של התהליך?
 - ג. תארו את האירוע כתהליך המרת אנרגיה באמצעות תרשים מלבנים. רשמו מתחת לכל מלבן את שם הגוף בעל האנרגיה.
- 
- ד. האם התרחשה בתהליך זה המרת אנרגיה או מעבר אנרגיה מגוף לגוף? הסבירו!
 - ה. אילו גורמים השפיעו על האנרגיה בתאונה?
 - ו. כיצד השפיעה האנרגיה בתאונה על תוצאותיה? השתמשו בהסבר בעקרון המרת האנרגיה ובחוק שימור האנרגיה.

דוגמה 1 – התנגשות

עדותו בבית-משפט של עד ראייה לתאונת דרכים

"המכונית הפרטית דהרה לתוך הצומת כשהנהג מתעלם מהרמזור ומהתמרורים המוצבים בו. הוא נהג במהירות גבוהה בהרבה מ-50 קמ"ש, זו המותרת על-פי החוק. את זאת אני יודע, מכיוון שהוא חצה את



הצומת שרוחבו כ-100 מטר ב-5 שניות. הוא פגע בחלק הקדמי של המשאית שהתחילה את נסיעתה בפנייה שמאלה. הנהג כלל לא ניסה לבלום. המכונית הפרטית נזרקה לגובה של כ-10 מטרים באוויר. הנוסעים, שכנראה לא היו חגורים, וחלקים של המכונית הושלכו ממנה. המכונית נחתה על הגג, והמשיכה לנוע בתנועת

החלקה על פני הכביש כשהיא מעלה אש ועשן. תוך כדי החלקה היא פגעה בשתי מכוניות נוספות שהמתינו ברמזור, והתלקחה. לאיש לא היה סיכוי לצאת שלם מהתאונה".

דוגמה 2: אירוע התנגשות במכוניות הממתינות ברמזור

עדויות של רוג'ית

נסעתי לכיוון צפון. בהתקרבי לצומת הבחנתי ברמזור האדום. האטתי את נסיעתי, ולבסוף עצרתי כשלפני עמדו עוד שתי מכוניות. בעומדי ברמזור הסתכלתי במראה וראיתי, כי מאחורי עצרה מכונית נוספת. לפתע הופיעה במראה דמותה של מכונית שחורה שנראתה נוסעת במהירות גבוהה לכיווננו. בעודי חושבת לעצמי שהנהג הזה מסכן את המכונית שאחרי, שמעתי את הבום, הרגשתי מכה חזקה, ועוד לפני שהבנתי מה קורה מצאתי את עצמי נוסעת קדימה.... המכונית השחורה התנגשה במכונית שמאחורי, וזו הועפה קדימה ופגעה במכונית. איני יודעת כמה זמן חלף (ודאי שבריר שנייה), עד שהתעשתי והבנתי שעלי לבלום, ואכן עשיתי זאת. אז קלטתי, שלמזלי התחלף בדיוק הרמזור לירוק, והמכוניות שעמדו לפני הספיקו להתקדם, וכך ניצלתי מפגיעה נוספת. אלמלא כן הייתה פוגעת מכוניתי במכונית שעמדה לפני.

משימה לתלמידים

קזרו לפרק 'כוחות ותנועה' שבעמוד 36, וקראו את הכתבה :

10 פצועים בהתנגשות בין אוטובוס לבין רכבת ליד ניצנים. נחזור ונדון באירוע המתואר בכתבה בהיבטים הקשורים לאנרגיה.

משימות

4. הכתבה והתמונה מתארות את תוצאותיה של התנגשות בין רכבת לבין אוטובוס.

תארו את מעברי האנרגיה והמרות האנרגיה המתרחשים בהתנגשות המתוארת בכתבה.

5. א. האם תוצאות התאונה היו שונות אילו הרכבת הייתה נוסעת במהירות אחרת? באיזה אופן?

ב. הסבירו את השפעת גורם המהירות על האנרגיה ועל הכוחות הפועלים בהתנגשויות, וכתוצאה מכך על תוצאת ההתנגשות. בהסברכם השתמשו ברעיונות המדעיים הבאים:

◊ כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו

◊ קיימים סוגים שונים של אנרגיה. כל העת מתחוללים מעברי אנרגיה מגוף לגוף והמרות אנרגיה מסוג אחד לסוג אחר.

◊ כמות האנרגיה הכללית במערכת מבודדת נשמרת (עקרון שימור האנרגיה).

אנרגיה כחומר למחשבה

כאשר מכונית נוסעת במהירות היא בעלת אנרגיה קינטית. כאשר היא מתנגשת בגוף אחר חלק מהאנרגיה של



המכונית עובר אל הגוף האחר. על-פי הנוסחה לחישוב כמות האנרגיה הקינטית תגרום הכפלת המהירות להגדלת כמות האנרגיה הקינטית פי ארבעה.

כאשר מכונית שמסתה 1000 ק"ג ומהירותה 100 קמ"ש מתנגשת בקיר, תוצאת ההתנגשות שקולה לנפילה חופשית של המכונית מקומה 11 של בניין רב-קומות, אם גובה כל קומה הוא 4 מטר. לעומת זאת, אם תיסע אותה מכונית במהירות של 50 קמ"ש ותתנגש באותו קיר, תוצאת התנגשות זו תהיה שקולה לנפילה מגובה של 3 קומות לערך באותו בניין. כלומר, למכונית הנמצאת בגובה של 11 קומות יש כמות אנרגיה זהה לזו של מכונית הנעה במהירות של 100 קמ"ש, ולכן מידת הנזק שייגרם כתוצאה מהתנגשות בקיר שקולה למידת הנזק שייגרם כתוצאה מהנפילה.

טבלת השוואה בין אנרגיה קינטית לפוטנציאלית

מספר הקומה בקירוב	שקול לנפילה מגובה של... (ביחידות מטר)	כמות האנרגיה הקינטית (ביחידות ג'ול)	המהירות בקירוב ביחידות מ"ש (מטר לשנייה)	המהירות ביחידות קמ"ש (קילומטר לשעה)
1	1.8	18000	6	20
2	7.2	72000	12	40
4	16.2	162000	18	60
7	28.8	288000	24	80
11	45.0	450000	30	100
16	64.8	648000	36	120
22	88.2	882000	42	140
28	115.2	1152000	48	160

בהסתמך על נתוני הטבלה:

- כמה אנרגיה יש למכונית הנוסעת במהירות של 100 קמ"ש?
- כמות אנרגיה זו שקולה לנפילת המכונית מהקומה ה-_____?
- כמות האנרגיה שיש למכונית הנוסעת במהירות של 80 קמ"ש שקולה לנפילה מהקומה ה-_____ ובמהירות של 40 קמ"ש לנפילה מהקומה ה-_____.
- כאשר מגדילים את מהירות הנסיעה פי שניים, פי כמה גדלה כמות האנרגיה הקינטית, ופי כמה גדל גובה הנפילה בהתאם לקומות הבית?
- בהסתמך על נתוני הטבלה, האם נכון שהכפלת מהירות הנסיעה מכפילה את כמות האנרגיה בהתנגשות?

- האם אתם מסכימים לכך, ששינוי קטן במהירות לא משפיע באופן משמעותי על תוצאת ההתנגשות? נמקו את תשובתכם.

המהירות הורגת

בספרות המחקר ידוע, כי מהירות משפיעה על בטיחות בדרכים בשני אפיקים:
האחד - ההסתברות להיות מעורב בתאונה, כלומר, **הקשר בין מהירות לשיעור התאונות**
השני - **חומרת התאונה**, כלומר, עוצמת הפגיעה בעת תאונה¹⁵
על-פי הממצאים, המהירות איננה הסיבה העיקרית להיקרות של תאונות דרכים, אבל היא בעלת השפעה מכרעת על חומרת תוצאותיהן.

בתשדיר של הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים נאמר: "כל קמ"ש, שאתה מוריד, מעלה את הסיכוי של הולך הרגל להישאר בחיים".
מדוע?

החיים תלויים במהירות שלך

היכנסו לאתר הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, בחרו בסרטון 'החיים תלויים במהירות שלך' וצפו בו.
1. הסבירו את שם הסרטון בהקשר לתוכנו.
2. כעת, לחצו על האיקון מימין בראש המסך 'החיים תלויים במהירות שלך' או היכנסו ישירות לכתובת הבאה:

<http://www.rsa.gov.il/mishtamaheyderech/nhageirechev/mehirut/Pages/default.a>

[spx](#) קראו את המידע המובא בפניכם בדף זה וענו:

3. בפסקה הראשונה נאמר כי: "ההסתברות למעורבות בתאונה עולה עם העלייה במהירות הנסיעה (בהנחה שכל שאר התנאים שווים), וככל שהמהירות גבוהה יותר, גם הפגיעה הגופנית והנזק מהתאונה יהיו חמורים יותר".
א. מהי המשמעות הפיזיקלית של השינוי במהירות הנסיעה (האצה או האטה של המהירות) ומה גורם לכך?

ב. על-פי הקטע, אילו השלכות יש לכך על הנהיגה והנסיעה ברכב?

ג. הסבירו, על סמך הרעיונות המדעיים שלמדתם, מדוע:

1. ההסתברות למעורבות בתאונה עולה עם הגברת מהירות הנסיעה?
2. ככל שהמהירות גבוהה יותר גם הפגיעה הגופנית והנזק מהתאונה יהיו חמורים יותר?

¹⁵ מתוך: מהירות – גורמים, סכנות ודרכי התערבות, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, 2010.

להזכירכם, הרעיונות שלמדנו הם:

- כוח הפועל על גוף משפיע על תנועתו (או שינוי בתנועת גוף נגרם כתוצאה מכוח הפועל עליו).
- קיימים סוגים שונים של אנרגיה. כל העת מתחוללים מעברי אנרגיה מגוף לגוף והמרות אנרגיה מסוג אחד לסוג אחר.

4. מדוע צוינה ההנחה, שכל שאר התנאים (מלבד הגברת המהירות) שווים? לאיזה עיקרון מדעי זה מתקשר? (עקרון הפרדת המשתנים - קשור לנושא מהות המדע. מורים שמדגישים נושאים אלו בהוראה יכולים להרחיב בעניין זה. אפשר גם לוותר על שאלה זו או לדון בה רק בכיתה שלא במסגרת דף העבודה).

5. א. אילו גורמים נוספים משפיעים על ההסתברות למעורבות בתאונה? מנה לפחות 5 גורמים נוספים.

ב. בחר 2 מבין הגורמים שמנית, והסבר כיצד הם עלולים לגרום לתאונה או להגדיל את הסיכוי להתרחשות תאונה. בסס את הסברך על הרעיונות המדעיים.

6. בסוף קטע המידע נאמר כי "הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים פועלת לשינוי של התנהגות הנהגים ולהורדת מהירות הנסיעה בדרכים עירוניות ולא-עירוניות באמצעות פעולות שונות בתחום ההסברה, החינוך וההכשרה, החקיקה, התשתיות והאכיפה". הציעו פעולה אחת אפשרית באחד מהתחומים הנזכרים (הסברה, חינוך, חקיקה ותשתיות), והסבירו כיצד היא תתרום להאטת מהירות הנסיעה ולמניעת תאונות דרכים.

7. הסבירו את הסיסמה המוכרזת בסרטון: "כל קמ"ש, שאתה מוריד, מעלה את הסיכוי של הולך הרגל להישאר בחיים".

בהסברכם קשרו בין הסיסמה לרעיונות המדעיים שעל אודותם למדתם, והשתמשו במושגים מהרשימה הבאה: מהירות, אנרגיה, אנרגיה קינטית, בלימה, מרחק בלימה, מרחק עצירה, כוח, מהירות נסיעה.

8. באחרונה שונה החוק במדינת ישראל, ומהירות הנסיעה המותרת בכבישים מהירים הועלתה מ-90 ל-100 קמ"ש ואף ל-110 קמ"ש.

א. רשמו שני נימוקים בעד ושני נימוקים נגד השינוי בחוק.

ב. האם, לדעתכם, החלטה זו היא נכונה? נסחו פסקת טיעון המציגה את דעתכם.

9. נניח שהנכם חברים בוועדה עירונית למניעת תאונות דרכים והוטל עליכם להוביל מסע הסברה להורדת מהירות הנסיעה בכבישי העיר שלכם.

הציעו סיסמאות למסע ההסברה ועצבו כרזה או עלון מידע להפצה בקרב תושבי העיר.

מהבנה לתובנה

האנרגיה היא סיבת כל ההתרחשויות והשינויים בטבע ובמרחב התעבורתי. ללא אנרגיה העולם שלנו היה חסר תנועה וקפוא. ככל שהאנרגיה באירוע מסוים רבה יותר, האינטראקציות הקשורות לאותו אירוע מתרחשות בעוצמה רבה יותר. האנרגיה הכללית בכל אינטראקציה שווה לסכום האנרגיות שכל אחד

מהגופים השותפים בה נשא איתו טרם האינטראקציה. כל גוף בתנועה נושא עימו אנרגיית תנועה ומעביר אותה בהתנגשות שלו עם גופים אחרים. כל שינוי קטן במהירותם של גופים מתנגשים יגרום לשינוי גדול באנרגיית התנועה שלהם ובתוצאות ההתנגשות שלהם זה בזה. בהתנגשות בין מכונית להולך רגל עוברת האנרגיה של המכונית או חלקה לגוף האדם. כמות אנרגיה זו היא גדולה מאוד ועלולה לגרום להתרסקות גוף האדם.

בני האדם הם הפגיעים ביותר במרחב התעבורתי. מספיקה כמות אנרגיה של עשרות ג'ולים כדי לגרום לפציעה חמורה שלהם. בחלק מההתנגשויות במרחב התעבורתי גדולות כמויות האנרגיה פי 1000 מכך. זו מהות הסכנה הנשקפת לאנשים במרחב זה.

גם כאשר מהירות תנועתו של גוף אינה גדולה, כמות האנרגיה הקינטית שהוא רוכש בזמן התנועה עלולה לגרום לו, או לגוף אחר שיפגע בו, נזק רב מאוד. אפילו כשכלי הרכב נעים במהירות נמוכה כמות האנרגיה שלהם עלולה להיות גדולה מספיק כדי גרימת נזק רב. לא כל הגופים במרחב התעבורתי מותאמים לספיגת כמויות אנרגיה גדולות. לדוגמה, גוף האדם מוגבל מאוד ביכולתו לספוג אנרגיה מבלי להיפגע. התנגשות שבמהלכה עוברת אנרגיה בשיעור של 10 ג'ול גורמת נזק מועט ביותר לכלי רכב, אך עלולה לגרום לפגיעה קשה בגוף האדם ואפילו למוות.

מה קורה לגוף האדם בזמן התנגשויות?

אם הייתם מעורבים בתאונת דרכים שבמהלכה חוויתם התנגשות במכונית אחרת או בעצם נייח כלשהו אתם יודעים עד כמה החוויה יכולה להיות מפחידה, אפילו אם ההתנגשות היא במהירות נמוכה. החבטה, הטלטול, הרעש, הפחד וחוסר האונים יוצרים תגובה רגשית עזה שמלווה כל אדם שהתנסה בכך לאורך זמן רב. ההתאוששות מחוויה זו היא לעיתים איטית ואיננה מאפשרת לנו לחזור לשגרת חיינו תקופה ארוכה. אצל בני אדם רגישים במיוחד משפיעה התגובה על התנהגותם לאורך כל ימי חייהם.

סיפור מותה של הנסיכה דיאנה



בחודש אוגוסט בשנת 1997 נהרגה בתאונת דרכים הנסיכה האנגלית דיאנה, שהייתה אשתו של נסיך הכתר האנגלי צ'ארלס. היא הייתה אהובה מאוד על תושבי אנגליה, שמותה הכה אותם בהלם, והמדינה כולה שקעה באבל. נסיבות התאונה של דיאנה עניינו חוקרים רבים והן נחקרו בדקדקנות.

התאונה התרחשה כאשר הרכב המהודר והבטיחותי שבו נסעה התנגש בעמוד בטון בתוך מנהרה. הנהג היה נתון להשפעת

אלכוהול ונסע במהירות על מנת להימלט ולחמוק מצלמי העיתונות שעקבו ללא הרף אחר אורחות חייה של הנסיכה. מהירות הנסיעה בזמן ההתנגשות הייתה כ-110 קמ"ש. איש מהנוסעים והנהג לא היה חגור בחגורת בטיחות. כל מערכות כריות האוויר שהיו מותקנות ברכב פעלו, אבל איש לא ניצל.

גופתה של הנסיכה נמצאה ברכב בשלמותה, ללא רוח חיים וללא כל סימני פגיעה חיצוניים.

השאלה שהטרידה רבים הייתה: כיצד זה לא מנעו כריות האוויר ברכב המשוכלל את מותם של כל הנוסעים? הרי כריות שמתנפחות היו צריכות למנוע את הפגיעה. התשובה שמצאו חוקרי התאונה הייתה חד-משמעית. דיאנה נהרגה עוד לפני שכריות האוויר התנפחו.

מותה של הנסיכה התרחש לפני שנפתחו כריות האוויר ולפני שהמכונית נמעכה.מה, אם כן, גרם למותה של הנסיכה במשך פרק זמן כה קצר?

גוף האדם במהלך התנגשויות

מה שנראה כהתנגשות אחת הוא למעשה אירוע שמתרחשות בו ארבע התנגשויות שונות:

התנגשות ראשונה היא זו של המכונית בעצם נייח או נייח שנמצא מחוץ למכונית. בהתנגשות זו מתרחש מעבר אנרגיה שיכול לגרום לשינויים גדולים במהירות הגופים המעורבים. כלומר, נוצרת תאוצה גבוהה במהלך תנועת ההתמדה קדימה של הרכב ושל הנוסעים בתוכו, ותוצאותיה עלולות להיות התפרקות חלקי הגוף השונים של גוף האדם, עד כדי ניתוק חוליות הצוואר של עמוד השדרה מהגולגולת, גם במקרה שחוגרים חגורת בטיחות. לרכב עצמו נגרמים נזקים כדוגמת כיפוף, מעיקה, שברים וריסוק. במקרים שבהם הנוסעים אינם חגורים הם עלולים להיפגע מן ההתנגשות בכביש עצמו כאשר הם נזרקים מתוך הרכב החוצה.

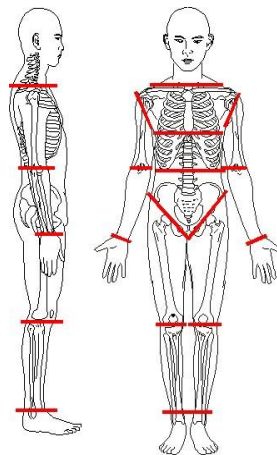
התנגשות שנייה נגרמת כתוצאה מהתנועה לאחר של הנוסעים בעקבות ההתנגשות הראשונה, והיא נובעת מפגיעת הנוסעים בעצמים נייחים שונים שבתוך הרכב כולל המושבים, שמשות החלון, חגורת הבטיחות או מתקני בטיחות אחרים, עד שהם מגיעים למצב של מנוחה. גם במהלך התנועה לאחר מתפתחת תאוצה גבוהה שעלולה לגרום לנוסעים לפגיעות קשות ביותר, במיוחד בעמוד השדרה הצווארי.

התנגשות שלישית היא התנגשות בין גופים שאינם רתוקים לגוף המכונית וממשיכים לנוע בתוכה במהירות הדומה לזו של מהירות המכונית לפני ההתנגשות, כמו בין נוסעים שאינם חגורים או חלקי מטען שונים לבין גוף האדם. במיוחד קשה פגיעתם של נוסעים שאינם חגורים באלה שחגורים.



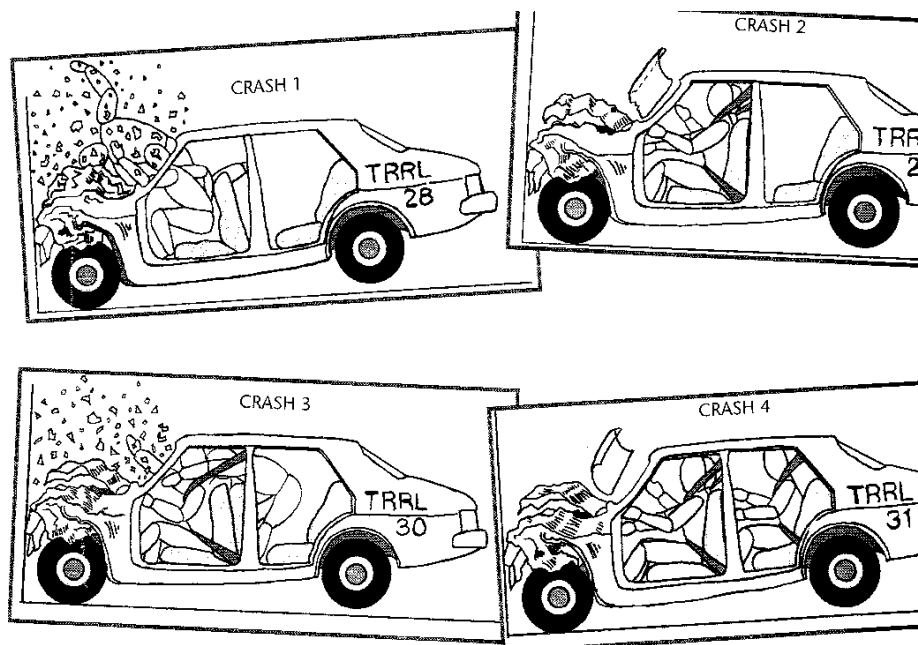
התנגשות רביעית היא פנים-גופית. האיברים הפנימיים בתוך גוף האדם מתנגשים אלה באלה. במיוחד חמורה פגיעתן של רקמות קשות ברקמות רכות, כמו הצלעות בריאות, עצמות הגולגולת במוח ועצמות הגפיים ברקמות השרירים. מהלכה של כל אחת מההתנגשויות שתיארנו עלול לגרום למוות לנוסעי המכונית.

גוף האדם איננו עשוי חטיבה אחת. הוא בנוי מחלקים שונים הנבדלים זה מזה במסה שלהם. במובנים רבים דומות מערכות השלד והשרירים בגוף האדם למערכת של מסות, צירים, קפיצים ומנופים המחוברים ביניהם. במהלך התנגשות ינועו חלקי הגוף השונים, כולל נוזלי הגוף, בתאוצות שונות בהשפעת הכוחות שנוצרים. התאוצות השונות של כל אחד מהם עלולות לגרום להתפרקות הגוף. בתרשים ניתן לראות את החלקים פיזיקלית, כאשר כל בתאוצה שונה. כתוצאה במהלך התנגשות.



תרגיל

בתרשים הבא מתוארים ארבעה מצבי התנגשות חזיתית בקיר של מכוניות זהות, הנעות במהירות שווה. במצב אחד הנוסעים והנהג אינם חגורים. בשני - הנהג חגור ללא נוסעים. בשלישי - הנהג חגור והנוסעים אינם חגורים, וברביעי - הנהג והנוסעים חגורים.



1. ערכו רשימה של גורמים שאותם מבקשים, לדעתכם, החוקרים לנתח באמצעות אירועים אלה.
2. תארו מה קורה לנהג ולנוסעים בתוך המכונית בכל אחד מן האירועים.
3. מדוע השמשה הקדמית נשארה שלמה באירועים 2 ו-4?
4. מדוע השמשה הקדמית של המכונית נשברה באירועים 1 ו-3, ומי גרם לשבירתה בכל אחד מהמקרים?
5. מדוע הנזק החיצוני שנגרם למכונית, למעט השמשה הקדמית, דומה בכל האירועים?
6. האם הדרישה מהנוסעים לחגור חגורת בטיחות מכוונת להגנה על חייהם בלבד? הסבירו!

מהו תפקידה של חגורת הבטיחות וכיצד היא מצילה את חיינו?

חגורת הבטיחות נחשבת למצילת חיים, ומאות אלפי בני אדם ברחבי העולם חבים לה את חייהם. חגורת הבטיחות מונעת מהנוסעים ברכב מלהיפגע מחלקים אחרים הנעים בתוך הרכב בזמן התנגשות, או להיזרק מתוך הרכב בזמן תאונה. בנוסף, תפקידה הוא גם למנוע או לרסן את עוצמת החבטה של גוף האדם בחלקיו הפנימיים של כלי הרכב בזמן ההתנגשות. חגורת בטיחות תקינה מאפשרת לנו לנוע בחופשיות כאשר משיכת החגורה איטית. החגורה נעלת מיד כאשר המשיכה היא מהירה ופתאומית, כמו במקרה של עצירה פתאומית או התנגשות.

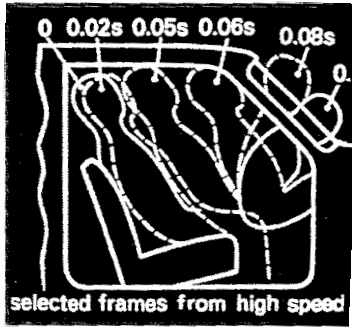
כיצד היא פועלת וכיצד כל זה קורה?

עקרון הפעולה של החגורה מבוסס על עקרון ההתמדה. כפי שלמדנו, התמדה היא הנטייה של כל גוף להמשיך בתנועתו, עד אשר פועל עליו כוח המונע זאת ממנו. כל הגופים הנמצאים בתוך מכונית הנוסעת במהירות מסוימת - הנהג, הנוסעים, המטען שהמכונית נושאת וכל האביזרים המותקנים בה - נעים באותה מהירות. מאחר שכולם נעים באותה מהירות הם נראים לנוסעים בתוכה כאילו הם קבועים במקומם ללא תנועה. כאשר המכונית עוצרת לפתע או מתנגשת בעצם כלשהו, כל הגופים יתמידו בתנועתם במהירות זו עד שיפעל עליהם כוח שיאט את מהירותם ויעצור אותם באופן מוחלט. מאחר שמסתם של הגופים ברכב היא שונה, נדרש כוח שונה על מנת לעצור כל אחד מהם, ולכן, ההאטה שלהם נעשית בקצב שונה.

מכיוון שקצב ההאטה שונה הגופים נעים בתוך המכונית במהירויות שונות ומתנגשים אלה באלה. חלקם אף יושלכו אל מחוץ לרכב וייעצרו רק בקרקע או בעת שיתקלו בעצם אחר מחוץ למכונית. כך נפגעים גם נוסעי הרכב כאשר הם אינם חגורים, ובמקרים רבים הם אף מושלכים אל מחוץ לרכב. חגורת הבטיחות היא זו שמפעילה עלינו, הנוסעים ברכב, את הכוח שעוצר אותנו ומונע מאיתנו מלהיפגע. אלמלא חגורת הבטיחות עצירת גופנו תתרחש בעת התנגשות הראש במשענות המושבים שלפנינו או על-ידי שמשות החלון הקדמי של המכונית, שעלולה לגרום למותנו.

כיצד בודקים את יעילותן של חגורות הבטיחות?

בניסויי בטיחות בודקים את תוצאות ההתנגשות באמצעות בובות. תיעוד וצילום ההתרחשויות שאורכות פרקי זמן קצרים ביותר מספקים את המידע כיצד לתכנן אמצעי הגנה יעילים.



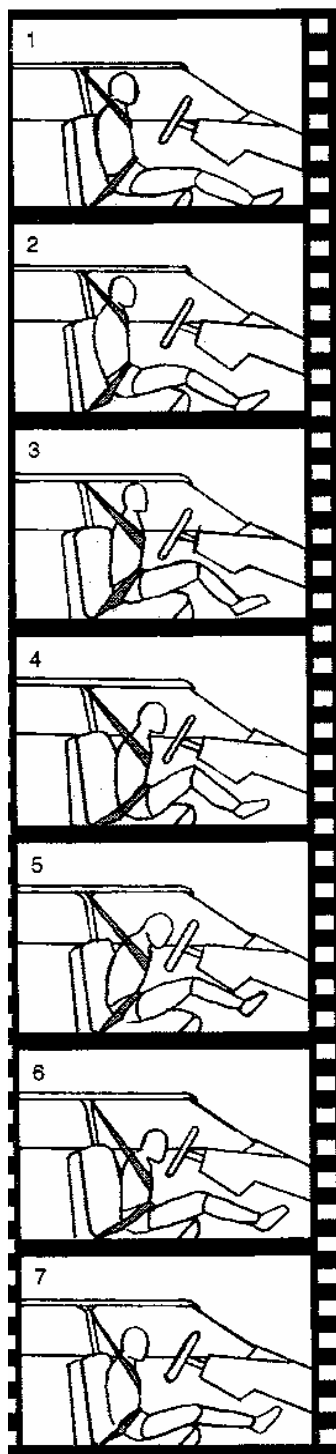
תוצאות ניסוי התנגשות במעבדה

לפניכם ניתוח של תוצאות התנגשות חזיתית של מכונית בקיר שבוצעה במעבדה. האירוע בשלמותו התרחש במהלך 0.2 שניות. כן, אם לא ידעתם זהו משך הזמן הממוצע של התנגשות. במקרה שלפנינו עוסק הניתוח בתוצאות הפגיעה בנהג ובנוסעים שבתוך המכונית, כאשר אלה אינם הגורים בחגורת בטיחות.

לפניכם הנתונים:

הזמן מרגע ההתנגשות (בשניות)	מה מתרחש?
0.026	פגושי המכונית מתכופפים
0.044	הנהג נחבט בגלגל ההגה
0.05	הכוחות הפועלים על המכונית בשיאם
0.075	ראשו של הנהג פוגע בשמשה הקדמית
0.1	הנהג קרוב לוודאי כבר מת
0.11	מכסה המנוע נמנע, הנוסעים היושבים מאחור פוגעים בנהג ובשמשה הקדמית, ובחלקו הקדמי של תא הנהג.
0.15	הסתיים תהליך מערכת המכונית
0.2	כל התנועות פסקו

שאלות



בהסתמך על הנתונים שבטבלה ועל תמונות הרצף של ההתנגשות (משמאל), חשבו וענו על השאלות הבאות. נמקו את תשובתכם.

1. זמן התגובה הממוצע של אדם הוא 0.5 שניות. האם היה יכול נהג הרכב המתואר בניסוי לעשות משהו כדי למנוע את תוצאות ההתנגשות? הסבירו.
2. לכל חגורת בטיחות זמן תגובה טכנולוגי משלה. מהו זמן התגובה הנדרש מחגורת הבטיחות למנוע את פגיעתו של הנהג?
3. מדוע הנוסעים שאינם חגורים במושב האחורי של הרכב פוגעים בנהג?
4. יש הסוברים, שחגורת הבטיחות מונעת מהנהג לזוז והוא נשאר קבוע במקומו. מה מלמדות אותנו התמונות? מדוע זה קורה?
5. הורים רבים מחזיקים בידיהם את ילדיהם הקטנים ומאמינים שכך יוכלו למנוע את פגיעתם בזמן התנגשות בתאונה. מה תאמרו להורים אלה וכיצד תשכנעו אותם, שבדרך זו אין להם כל יכולת להציל את ילדיהם? בססו את תשובותיכם על המידע שבטבלה שבעמוד הקודם ועל נתונים ועקרונות מדעיים נוספים שלמדתם.
6. בארה"ב נהרגים 600 ילדים ולמעלה מ-7000 נפצעים בתאונות דרכים, מפני שהוריהם לא הקפידו על חגירת חגורת הבטיחות במושבים האחוריים. במקרים רבים ילדים שלא היו חגורים במושב האחורי אף גרמו למותם של הוריהם שישבו במושבים הקדמיים. השתמשו בתמונות משמאל ובנתוני הניסוי בטבלה, ונסחו פסקת טיעון שמטרתה לשכנע הורים בדבר חשיבותה של חגורת הבטיחות.

מעקה בטיחות כאמצעי להצלת חיים

מטרתם של התקני הבטיחות במרחב התעבורתי היא להפחית את הסיכוי של בני האדם להיפגע באירועים כדוגמת התנגשויות. חומרת הפגיעה של בני אדם בהתנגשויות תלויה בכמות האנרגיה שגופם עלול לספוג. בעת התנגשות של כלי רכב בהתקן בטיחות עובר חלק מהאנרגיה הקינטית של כלי הרכב להתקן, ונבלע בו. כתוצאה מכך פוחתת כמות האנרגיה שעלולה לפגוע בגופם של בני האדם המעורבים, והנזק שעלול להיגרם לגופם קטן. כך יכולים להינצל חייהם של בני אדם המעורבים באירועים מסוג זה.

כפי שלמדנו, התאוצה היא אחת מהסיבות העיקריות למותם של בני האדם בתאונות. בזמן התנגשות מתרחשים שינויי מהירות גדולים ונוצרת תאוצה גבוהה. מידת ההיפגעות של בני האדם בהתנגשות תלויה במידה רבה בתאוצה שנוצרת. ככל שהתאוצה קטנה, כן מידת הנזק שתיגרם לאנשים, והסיכוי שימותו יהיה קטן יותר. מעקה הבטיחות הוא מתקן שמטרתו העיקרית היא להאריך את משך זמן ההתנגשות. ככל שתהליך שינוי המהירות בעת ההתנגשות יהיה ממושך יותר, כן תהיה התאוצה קטנה יותר.

שאלות

- מדוע לדעתכם עדיפה בלימה איטית ומתונה על פני בלימה חדה וקצרה? הסבירו במונחים הקשורים לאנרגיה.
- ציינו התקני בטיחות נוספים הנמצאים בשימוש במרחב התעבורתי. מה משותף לכל התקני הבטיחות במרחב התעבורתי?
- האם חגורת הבטיחות וכרית האוויר ברכב מאריכות את זמן ההתנגשות ובכך מצילות חיים? חשבו ונמקו.

מעקה בטיחות 'סופג אנרגיה'

התקנת מעקות בטיחות 'סופגי אנרגיה' בדרך היא אחת הדרכים להגברת הבטיחות של בני האדם. מעקה הבטיחות אמור לעצור את הרכב הפוגע בו, ולהפחית את הנזקים לנוסעים. בהתנגשות של כלי רכב במעקה בטיחות ייעצר כלי הרכב רק כאשר כל האנרגיה הקינטית שלו תעבור למעקה הבטיחות. משמעות הדבר היא, שעל מנת לעצור מכונית צריך להתרחש תהליך שבמהלכו תעבור האנרגיה של המכונית למעקה הבטיחות. תפקידם של התקני בטיחות אלה 'לספוג' את מרבית האנרגיה במקרה של התנגשות כלי רכב בהם, וכך להגן על הנוסעים.

מהו הרעיון המדעי שבבסיס הקמתו של מעקה בטיחות 'סופג האנרגיה'?

התקנים סופגי אנרגיה מוצבים בעיקר על קו ההפרדה בין נתיבים וביציאות ממחלפים בדרכים מהירות.



תפקידם הוא לאפשר לרכב שסטה מנתיבו להתנגש בהם ולספוג את מירב האנרגיה הקינטית של הרכב, באמצעות האטה הדרגתית של תנועת הרכב הפוגע. בזמן שפגיעה במכשול קשיח משנה את כיוון התנועה של הרכב הפוגע לכיוון ההפוך, מפחיתים סופגי האנרגיה

בהדרגה את המהירות וממתנים את השינוי בכיוון תנועת הרכב. האנרגיה נספגת באמצעות התכווצות ההתקן במידה רבה מאוד, לעומת הפחתה במידת התכווצותו של הרכב. יש הטוענים שב-30 השנים האחרונות הצילו סופגי האנרגיה חיים יותר מאשר חגורות הבטיחות. כל מתקן סופג אנרגיה מותאם למהירות הנסיעה בכביש ולמשקלם של כלי הרכב שעל בטיחותם הוא מופקד.

בתרשימים נראים מעקות בטיחות מסוגים שונים, חדישים וישנים. מעקה הבטיחות הישן עשוי גוש בטון יצוק לאורך הדרך, ואילו החדש בנוי ממערכת של גדר ומוטות גמישים הנשברים כאשר רכב פוגע בהם והוא המכונה בשם 'סופג אנרגיה'.



מעקה סופג אנרגיה לדרכים מהירות
שמותאם למהירויות שבין 60 ל-120
קמ"ש



מעקה סופג אנרגיה שמותאם לדרכים
עירוניות, שמותאם למהירויות של 50
עד 90 קמ"ש

לסיכום,

אם ננסה לפשט את משמעות התקנתו 'סופג אנרגיה', בלי כל קשר לדגם של המעקה ולמשקל המכונית הפוגעת, ניתן יהיה לומר, שבהתנגשות חזיתית של רכב במעקה בטיחות עשוי בטון, במהירות של 90 - 100 קמ"ש, יהרגו כל הנוסעים ברכב. אם יוצב במקום זה מעקה סופג אנרגיה, כולם יינצלו.

שאלות

- מהו עקרון הפעולה של מעקות סופגי האנרגיה?
 - מעקה סופג אנרגיה נבדל ממעקה קשיח בצורתו ובמבנהו.
 - א. מהו ההבדל?
 - ב. מהי תרומת צורתו ומבנהו של המעקה להצלת חיים. נמקו את תשובתכם באמצעות הרעיונות המדעיים שלמדתם.
 - מדוע משנה רכב הפוגע במעקה הבטיחות את כיוון תנועתו?
 - מדוע פגיעה בניצב (בזווית של 90 מעלות) למעקה קשיח מחזירה את הרכב הפוגע אל הכיוון שממנו הוא הגיע?
- מהו סוג ההתנגשות במעקה קשיח ומהו סוג ההתנגשות במעקה סופג אנר