

2. התהליכים שהתרחשו על פני הכביש



המתבונן באירוע מן הצד איננו מודע לתהליכים שעבר הנהג. הוא מבחין רק באופן נסיעת המכונית ובכך שהיא מאיטה ולבסוף עוצרת.

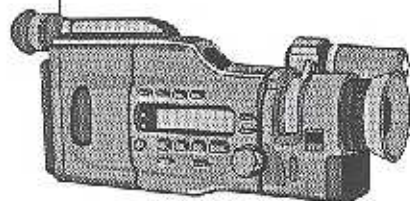
מרחק הבלימה - המרחק שהמכונית עברה מרגע שהחלה הלחיצה על דוושת הבלם ועד לעצירת המכונית.

כדי לנתח ביתר דיוק מה התרחש בתהליך הבלימה, נעזר במצלמת וידאו. תיעוד האירוע והצפייה במה שצולם, תמונה אחר תמונה בנפרד, יוצר את רצף התמונות שבעמוד הבא.



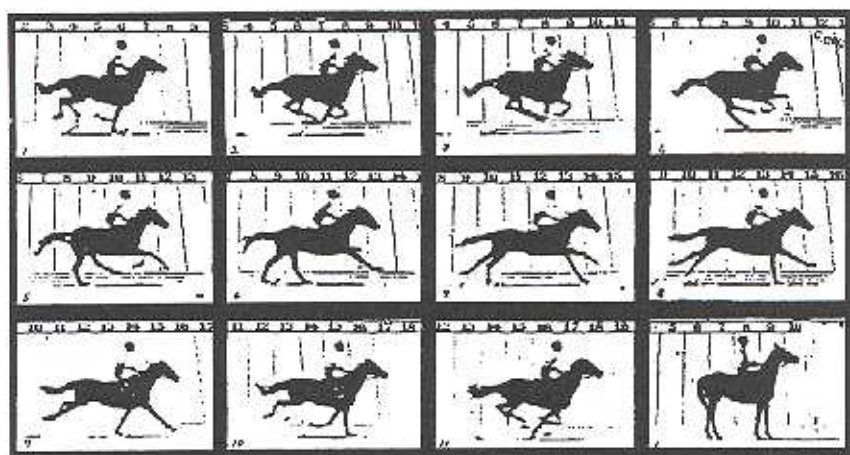
מעט על ההיסטוריה של צילום תנועה

מצלמת וידאו ביתית רגילה
מצלמת 25 צילומים בשנייה.
קצב צילום זה יוצר כעין
אשליה של תנועה רציפה.
מכשיר וידאו ביתי רגיל
מאפשר עצירת הסרט
להצגת תמונות בודדות.



צילום בוידאו הנו המשך ישיר של צילום במסרטת קולנוע.
אדוארד מאיברידיג' - מודד וצלם במקצועו (1830-1904)
התבקש לבדוק בעזרת צילום, האם סוס מנתק את ארבעת
רגליו בבת אחת מהקרקע בזמן דהירה. הוא צילם דהירת
סוס במספר מצלמות, על מנת לקבל רצף של תמונות.
כאשר שילבו את תמונות הסוס הדוהר במתקן אנימציה
מתאים, שוחזרה דהירת הסוס.

השימוש בסרט הנע היה השלב הבא בהתפתחות הצילום.
מצלמת ההסרטה ומסרטת הוידאו, כפי שהן קיימות
כיום, התפתחו הודות לפיתוח סרט הצלולויד לצילום,
הוספת הקול המוקלט לדמות הנעה, הניתוח הדיגיטלי
של אותות וכיוצא באלה.

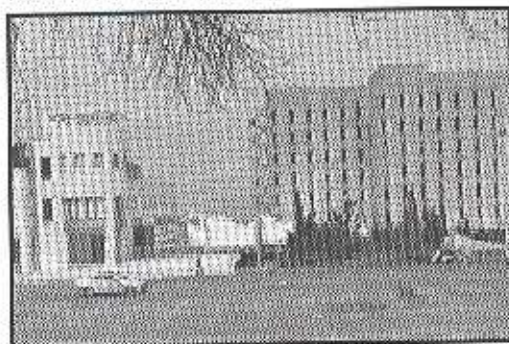


צילום 1 - דוגמה לרצף צילומים שמאיברידיג' כינה "סוס בתנועתו"

רצף תמונות תהליך הבלימה

בתרשים נראית המכונית בשמונה תמונות מתוך 100 התמונות שצולמו בתהליך הפרשי הזמן בין צילום לצילום כ-0.4 שניות.

0.8 שניות מתחילת הבלימה



1.2 שניות



1.6 שניות



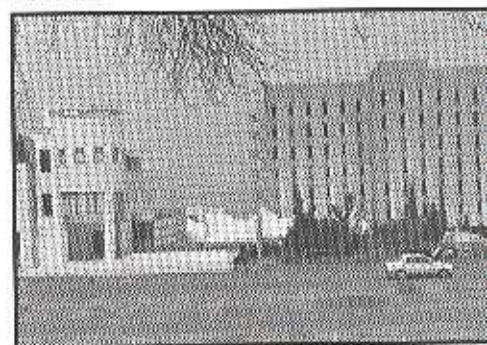
2.0 שניות



2.4 שניות



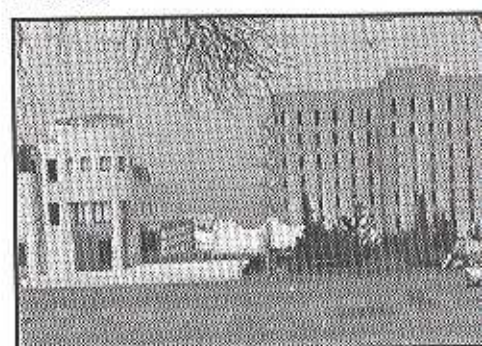
2.8 שניות



3.2 שניות



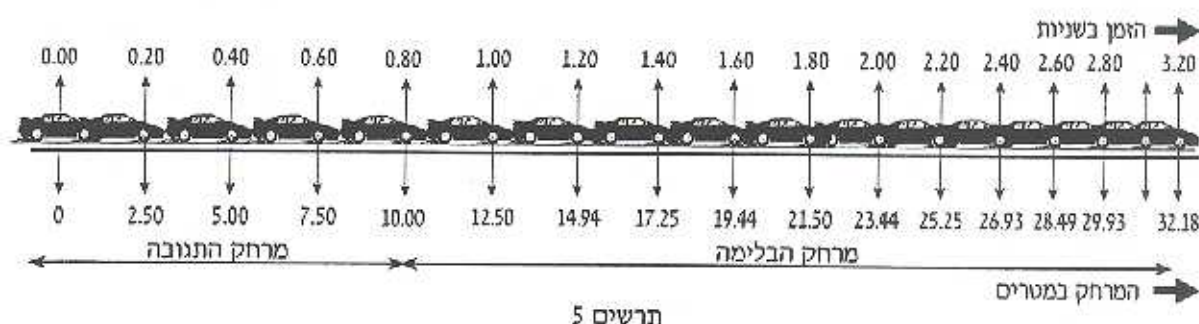
3.6 שניות



צילום Z - רצף תמונות תהליך הבלימה

קשה מאוד לנתח בעת ובעונה אחת מספר רב של צילומים ולהבחין בשינויים שביניהם.

נוח יותר להבחין בשינוי מיקום המכונית כשהוא מוצג כפי שמראה תרשים 5.



בייצוג זה רואים, על פי הסרגל התחתון, מה מקום המכונית בכל צילום, ועל פי הסרגל העליון מה הזמן שחלף מתחילת האירוע ועד שהגיעה המכונית לכל אחד ממקומות אלה.

מיקומה של המכונית נרשם בכל 0.2 שניות במשך כל זמן האירוע עד עצירתה. אפשר לראות שברוחי הזמן הראשונים עברה המכונית מרחקים שווים. פירוש הדבר שהמכונית נעה במהירות קבועה. זוהי מהירות המכונית בזמן התגובה. הבלימה בשלב זה עדין לא החלה.

מהתרשים רואים, כי רק לאחר שהמכונית עברה כ-10 מטרים, פעולת הבלימה וההאטה החלה. מרחק הבלימה הוא קטע הדרך שבין המטר ה-10 לבין המטר ה-33, כלומר 23 מטרים בקירוב. מציאת מרחק העצירה של מכונית הוא חלק חשוב בניתוח האירוע.

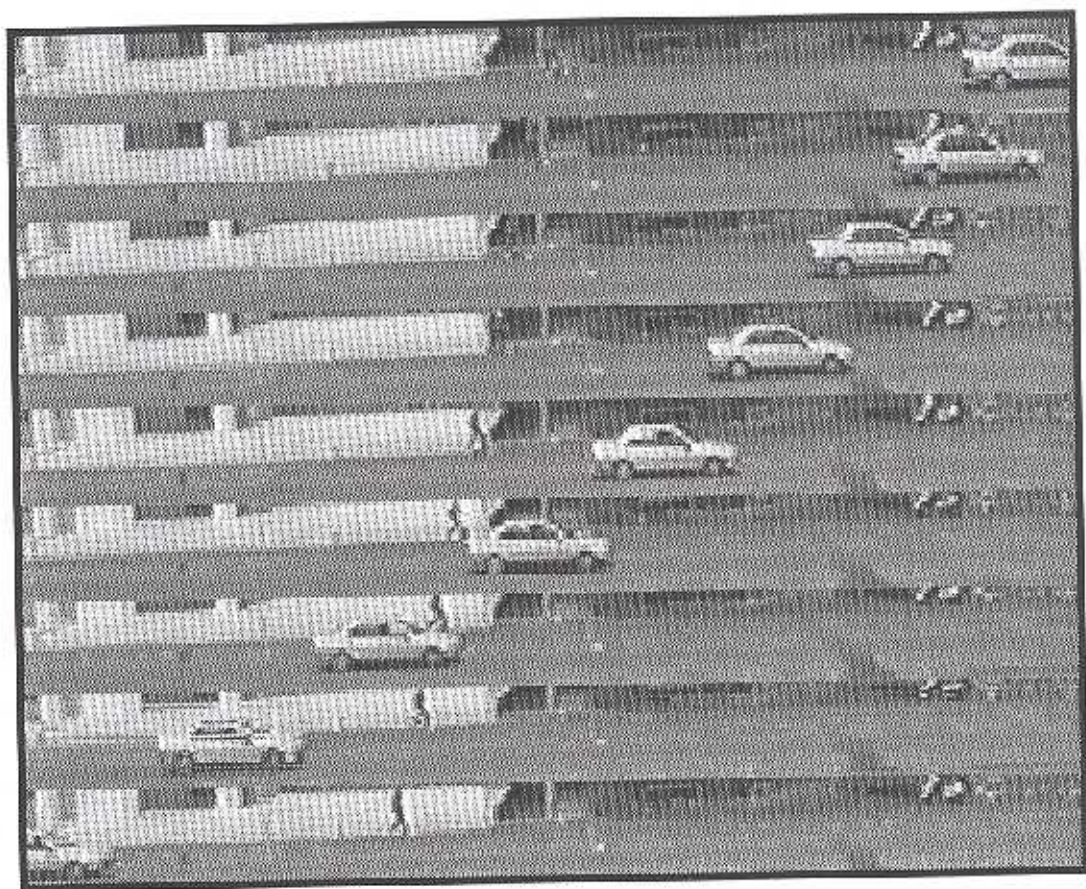
בקטע זה, מאחר וצילומי המכונית הולכים ומצטופפים, קשה להבחין ביניהם וקשה לקבל אינפורמציה נוספת כמו: מיקומה המדויק של המכונית בכל שלבי תהליך הבלימה.

אפשר לשפר את יכולת ניתוח האירוע ע"י כך שבמקום להניח צילום על גבי צילום, נגזור מכל צילום רצועה צרה ברוחב קבוע, שבה מופיעה המכונית. נניח את הרצועות אחת מעל השניה ונקבל את צילום 3, המופיע בעמוד 14.

צילום 3 מאפשר לראות ביתר דיוק את השינויים במיקום המכונית ואת הזמנים המתאימים להם במהלך האירוע.

לשם חקירה מפורטת של תהליך הבלימה בשלמותו, משתמשים בגרף המתאר את המרחקים שעברה המכונית בזמן האירוע.

לשם קבלת גרף כזה עורכים את הצילומים זה מעל זה, כמתואר בצילום 3.

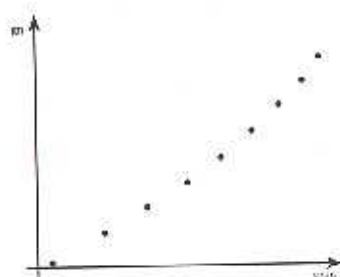
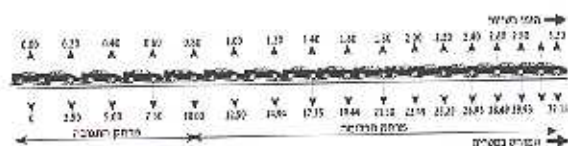


צילום 3

עושים את הדף השקוף על גבי צילום 3. על הדף משורטטים נקודות ושני סרגלים (צירים) ניצבים זה לזה. הסרגל האנכי מייצג את הזמן שחלף במהלך הבלימה, והסרגל האופקי מייצג את מקום המכונית תחתיה. כל נקודה בתרשים, על גבי הנייר השקוף, מתאימה למיקומו של הגלגל הקדמי במכונית. כל נקודה מייצגת את מיקומה של המכונית בזמן נתון.

6 — אוסף נקודות במערכת צירים נקראת גרף.

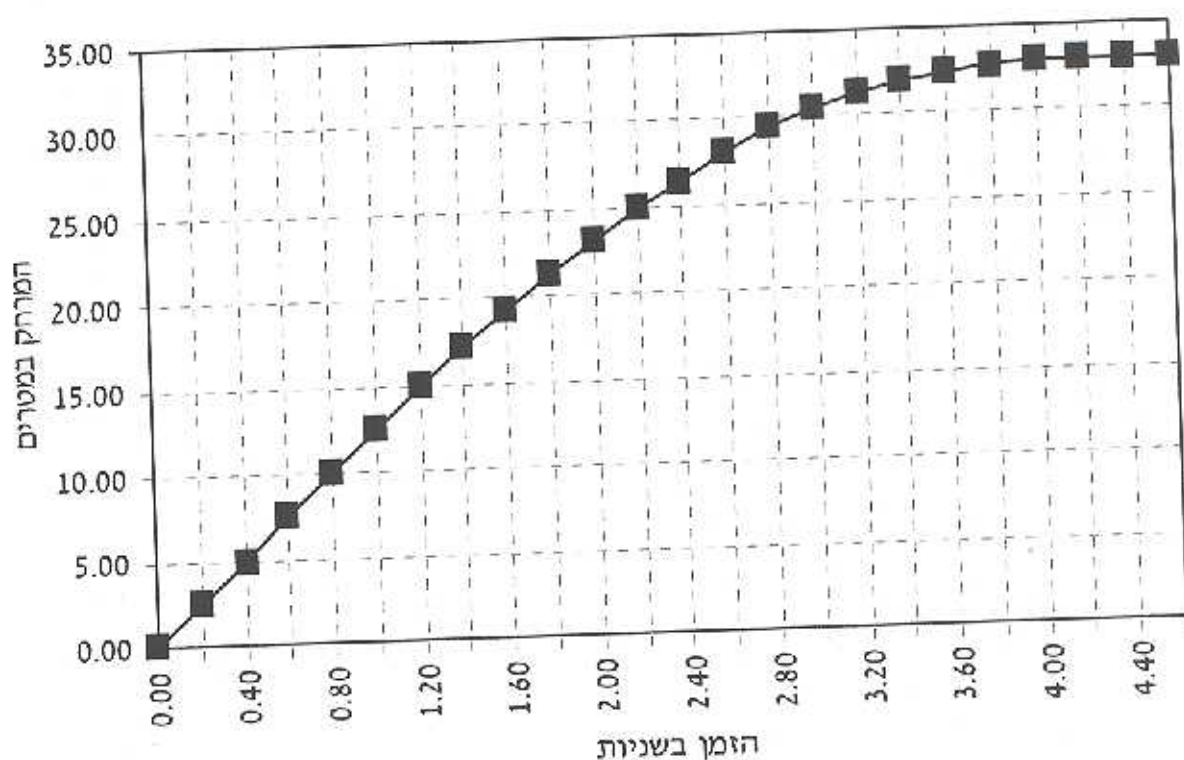
ס לב:



תמשנו עד כה בשתי צורות של ייצוג מידע. ישנם 5 נעשה ייצוג התהליך באמצעות שני צירים בילים. הציר התחתון היה סרגל המקום של מכונית במטרים והעליון תיאר את ציר הזמן, כשיחידות הזמן המסומנות עליו נמצאות חקיקים לא קבועים. בצילום 3 עברנו לייצוג ידוע באמצעות שני סרגלים ניצבים.

סרגלים ניצבים זה לזה ונחתכים בנקודה משותפת נקראים בשם רשת צירים קרטזית, על שמו של רנה דקרט (1595-1650), פילוסוף צרפתי. במערכת זו מתאימים לכל נקודה שני מציינים שנמדדים פני הסרגלים. הנקודה שבה נחתכים הסרגלים נקראת בשם "ראשית" משמשת לייצוג נקודת ההתחלה של התהליך.

לשם תיאור רציף של האירוע, מחברים בקו ישר כל שתי נקודות סמוכות בגרף, כפי שמתואר בתרשים 7.

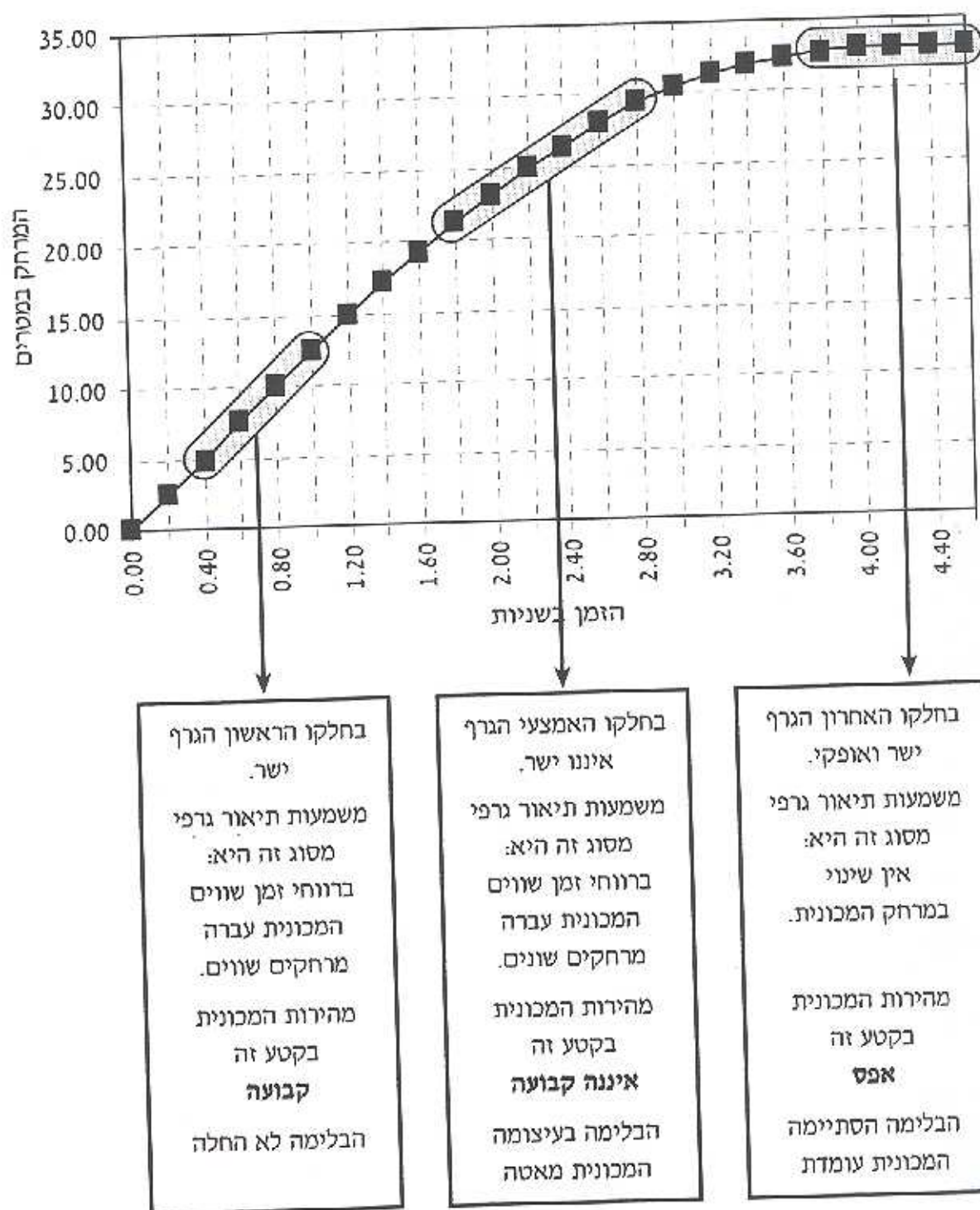


תרשים 7 - תיאור רציף של המרחקים בזמן הארוך

פעולת חיבור שתי נקודות סמוכות בקו ישר
מבוססת על ההנחה,
שאילו היו נבדקות נקודות נוספות בתהליך,
הן היו מתקבלות על פני ישרים אלה.
תהליך קירוב זה נקרא בשם אינטרפולציה.

שתמש בתרשים 8 להבלטת היתרונות של השימוש בגרף לשם ניתוח מדויק יותר של האירוע בכל שלביו.
שים לב לשלושת חלקי הגרף המודגשים.

תרשים 8 - תיאור רציף של המרחק בזמן



מתוך נתוני המרחקים שאותם עבר הרכב בזמן האירוע, אפשר לחשב ולדעת את מהירותו. ידיעת המהירות מאפשרת לגלות אם הנהג לא עבר על חוקי התנועה הקובעים מיגבלות מהירות, על פי תנאי הדרך. בטבלה שבעמוד הבא, מחושבים ערכי המהירות ובתרשים 9 הם מוצגים באופן גרפי.

הזמן בשניות	המרחק במטרים	המהירות מטר בשניה
0.00	0.00	12.50
0.20	2.50	12.50
0.40	5.00	12.50
0.60	7.50	12.50
0.80	10.00	12.50
1.00	12.50	12.50
1.20	14.94	11.87
1.40	17.25	11.25
1.60	19.44	10.62
1.80	21.50	10.00
2.00	23.44	9.37
2.20	25.25	8.74
2.40	26.93	8.12
2.60	28.49	7.80
2.80	29.93	6.87
3.00	31.18	5.62
3.20	32.18	4.37
3.40	32.92	3.12
3.60	44.42	1.87
3.80	33.67	0.62
4.00	33.67	0.00

ת - כאשר גוף נע ממקום למקום אפשר למדוד את המרחק במטרים ואת זמן תנועתו בשניות.

ת היא המרחק שעבר הגוף במשך שניה אחת.

המהירות המקובלת היא מטר בשניה.

המהירות:

בהם מבקשים לדעת את מהירותו של גוף נע בפרק זמן מודדים את המרחק שעבר הגוף באותו פרק זמן, ומחלקים ה פרק הזמן שנבחר.

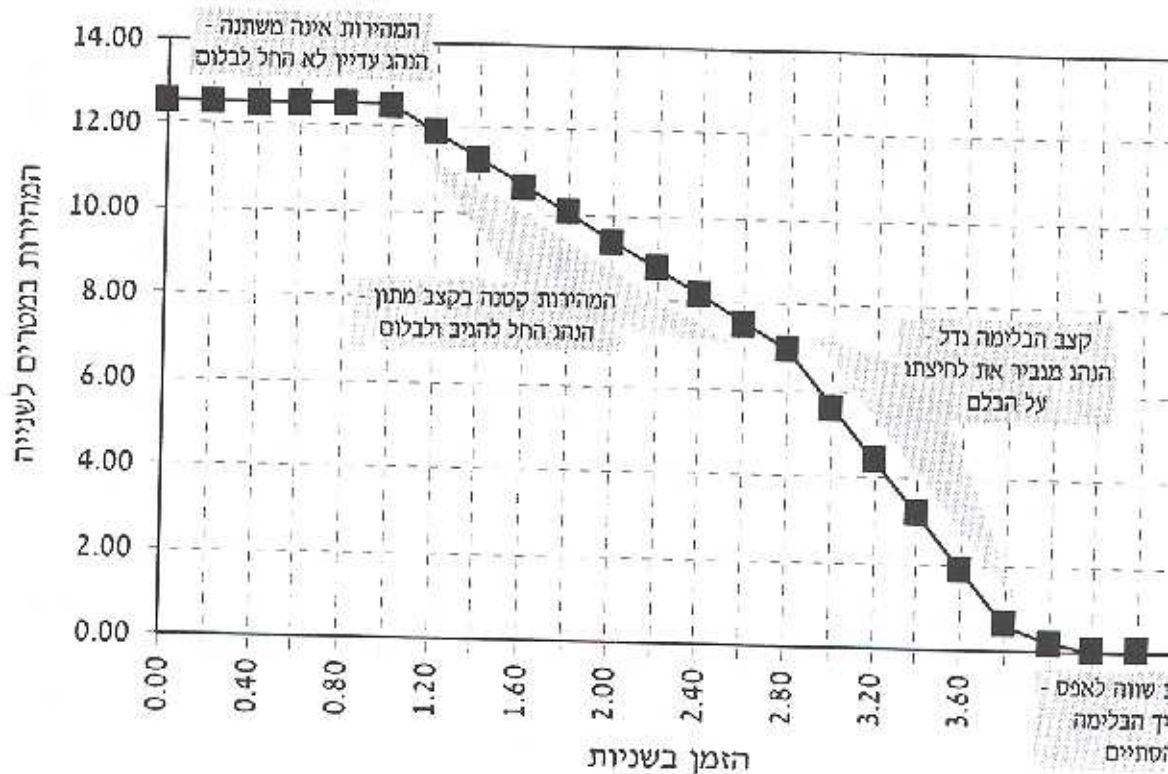
ק זמן של 0.2 שניות, בין השניה ה-2.4 ל-2.6 של זמני האירוע.

המרחק שעבר הרכב בפרק זמן זה

$$28.49 - 26.93 = 1.56 \text{ מטר}$$

$$1.56 / 0.2 = 7.80 \text{ מטר לשניה}$$

רפי של נתוני המהירות מהטבלה מאפשר להבין טוב יותר את תנועת הרכב והתנהגות הנהג.



יחידות מדידה של מהירות

את המהירות אפשר למדוד ביחידות שונות, כמו מטר בשניה, קילומטר בשעה, מייל בשעה וכו'. בטבלה מוצגות מהירויות בשני אופנים.

ק"מ בשעה	מטר בשניה
20	5.56
30	8.33
40	11.11
45	12.50
50	13.89
60	16.67
70	19.44
80	22.22
90	25.00
100	27.78

מהירות המכונית באירוע

לדוגמה:

מהירות של 80 קמ"ש שקולה למהירות של 22.2 מטרים בשניה.

אופן החישוב:

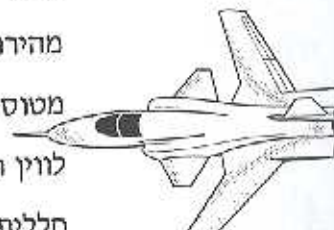
$$80,000 \text{ מטר} = 80 \text{ ק"מ}$$

$$80,000 \text{ מטר בשעה} = 80 \text{ קמ"ש}$$

$$3,600 \text{ שניות} = 1 \text{ שעה}$$

$$22.2 \text{ מטר בשניה} = \frac{80,000 \text{ מטר}}{3,600 \text{ שניות}} = 80 \text{ קמ"ש}$$

דוגמאות לסדרי גודל של מהירויות בטבע, ב-מטר בשניה:

0.001	זחילה של חלזון	
1.2	הליכה של אדם	
14	מכונית בשטח עירוני	
25	מכונית בשטח פתוח	
35	ברדלס	
200	מטוס נוסעים	
500	מהירות ממוצעת של מולקולת אוויר	
600	מטוס קרב	
3000	לווין תקשורת	
10,000 ומעלה	חללית במערכת השמש	
3×10^8	מהירות האור	

תרשים 8, המתאר את מקום הרכב, מאפשר לנו לדעת את מהירותו בכל רגע. ניתוח המהירות בתרשים 9 מגלה שהיו שינויים במהירות הרכב. לשינויים במהירות קוראים בשם תאוצה.

- תאוצה היא השינוי במהירות ביחידת זמן. יחד הזמן המקובלת היא שניה אחת. השינוי יכול להיות הגדלה הקטנה של המהירות.



כעבור 10 שניות



תרשים 10

וגמה: מד המהירות שבתרשים 10 מראה שמהירות המכונית תנתה מ-50 קמ"ש ל-100 קמ"ש במשך 10 שניות. כלומר, תאוצה גדלה ב-50 קמ"ש = 100 - 50. תאוצה המכונית וגמה זו נמשכה 10 שניות. לפי ההגדרה, התאוצה היא:

$$5 \text{ קמ"ש בשניה} = 50/10 \text{ קמ"ש}$$

תוצאות הרכב בתהליך הבלימה שבאירוע:

התאוצה יכול להיות חיובי, שלילי, או אפס. שר המהירות גדלה, ערך התאוצה חיובי. שר המהירות קטנה, ערך התאוצה שלילי. שר המהירות איננה משתנה, ערך התאוצה שווה אפס.

עוב התאוצה:

התאוצה מחשבים ע"י חלוקת השינוי במהירות בפרק המתאים לו.

וגמה:

הזמנים 1.8 ל-2.0 שניות, השינוי במהירות הוא:

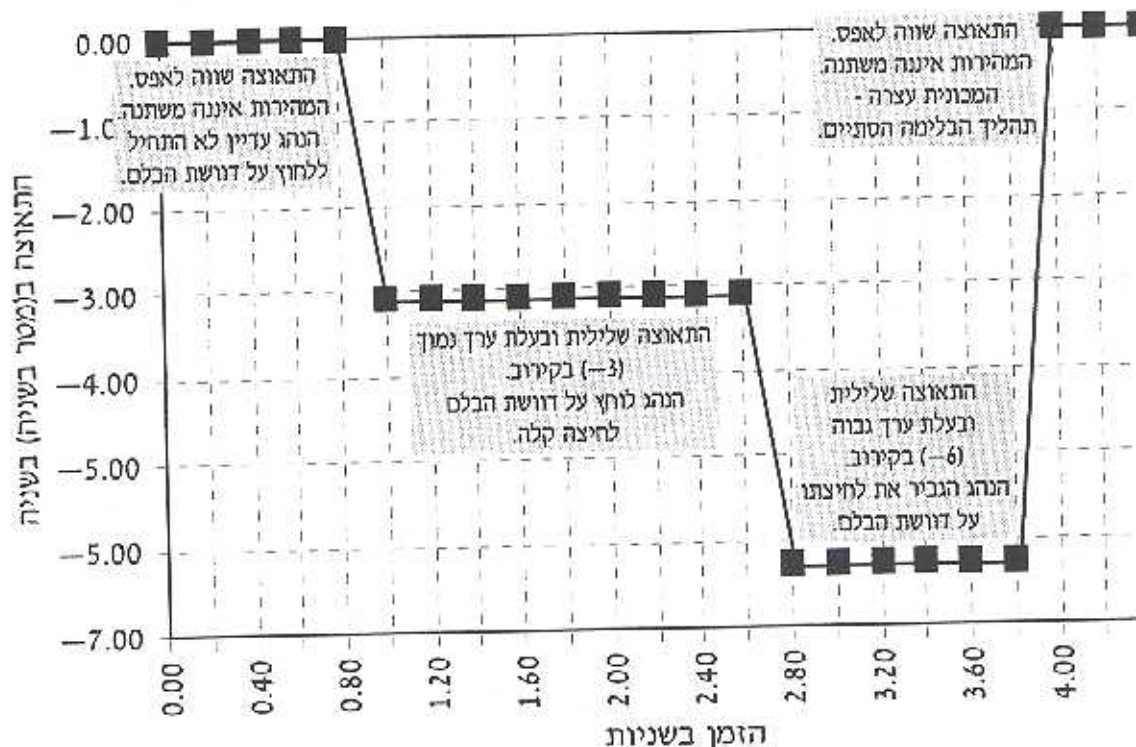
$$-0.63 \text{ מטר בשניה} = 10 - 9.37$$

נוי שלילי כיוון שהמכונית בלמה. פרק הזמן המתאים:

$$\text{שניות, לכן התאוצה היא: } -3.13 = -0.63/0.2$$

ת התאוצה היא: (מטר בשניה) בשניה.

התאוצה (מטר בשניה בשניה)	המהירות מטר בשניה	המרחק במטרים	הזמן בשניות
0.00	12.50	0.00	0.00
0.00	12.50	2.50	0.20
0.00	12.50	5.00	0.40
0.00	12.50	7.50	0.60
0.00	12.50	10.00	0.80
-3.13	12.50	12.50	1.00
-3.13	11.87	14.94	1.20
-3.13	11.25	17.25	1.40
-3.13	10.62	19.44	1.60
-3.13	10.00	21.50	1.80
-3.13	9.37	23.44	2.00
-3.13	8.74	25.25	2.20
-3.13	8.12	26.93	2.40
-3.13	7.49	28.49	2.60
-6.25	6.87	29.93	2.80
-6.25	5.62	31.18	3.00
-6.25	4.37	32.18	3.20
-6.25	3.12	32.92	3.40
-6.25	1.87	44.42	3.60
-6.26	0.62	33.67	3.80
0.00	0.00	33.67	4.00



מה ניתן ללמוד מהגרף המתאר את התאוצה באירוע שלנו?
 ב-0.8 השניות הראשונות, ערך התאוצה הוא 0. כלומר אין שינוי במהירות הרכב והיא נשארת קבועה.
 כשהחלה הבלימה, ערך התאוצה שלילי, וערכה נשמר עד גמר השניה ה-2.5 של האירוע.
 החל מהשניה ה-2.5 מפעיל הנהג כוח בלימה גדול יותר וערך התאוצה נעשה שלילי יותר.
 החל מהשניה הרביעית, רואים בגרף שהתאוצה מתאפסת. אין שינוי במהירות מאחר והמכונית עצרה
 ונשארה במקומה.



דוגמאות לתאוצות של מכוניות שונות:

התאוצה (במטר/שניה) בשניה	הזמן בשניות הנדרש להגיע מ-0 ל-100 קמ"ש	סוג המכונית
4.55	6.1	פרארי 308
4.48	6.2	פורשה 928S
3.97	7.0	וולוו 765 טורבו
3.75	7.4	ניסן 300
3.35	8.3	סאב 900
2.60	10.7	ב.מ.ו. 320
2.46	11.3	טויוטה קראון
2.14	13.0	סובארו ג'יטי

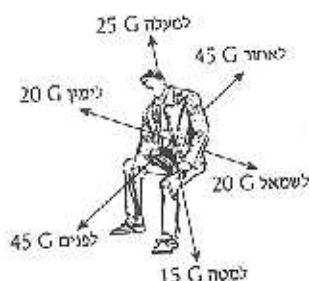


דוגמאות לסדרי גודל ב-(מטר בשניה) / בשניה של תאוצות בטבע:

2	תאוצה של מכונית פרטית ממוצעת
10	תאוצת הכובד של כדור הארץ*
30	תאוצה של מכונית מירוץ
40	תאוצה של מטוס
5000	תאוצה של חלקיק במאיץ חלקיקים

מיגבלות גוף האדם בתאוצות

לגוף האדם יש מגבלות יכולת של עמידה בתאוצות גדולות. חריגה ממגבלות התאוצות הללו עלולה לגרום למוות. בתרשים שמשמאל מתוארות מגבלות התאוצה של גוף האדם בכל אחד מהכיוונים השונים.



בזמן שיגור אסטרונאוטים לחלל הם נמצאים בתנוחה המתוארת בתרשים שמימין. מהי, לדעתך, הסיבה לכך?



* תאוצת הכובד (G) - התאוצה החופשית שבה נפלים גופים בהשפעת כדור הארץ, קרוב אל פניו.

מרחק העצירה - המרחק אותו עובר רכב החל מרגע שהנהג מבחין באירוע המחייב בלימה ועד עצירתו. מרחק זה בנוי משני מרכיבים:

1. מרחק התנועה של הרכב בזמן התגובה - **מרחק התגובה**. באירוע שלנו מהירות הרכב 45 קמ"ש והוא עבר קרוב ל-9.5 מטרים עד שהחל להאיט.

2. מרחק התנועה של הרכב בזמן הבלימה - **מרחק הבלימה**. במקרה שלנו הרכב נעצר לאחר עוד כ-25 מטרים.

שם מציאת מרחקי העצירה במהירויות שונות, משתמשים בטבלה הבאה. מהטבלה אפשר ללמוד מכוננית הנוסעת במהירות 50 קמ"ש, יש **מרחק תגובה** של 10 מטר, ובנוסף לכך היא עוברת עוד 20.5 מטר עד לעצירה - **מרחק הבלימה**.

אירוע שלנו, מהרגע שהנהג הבחין בכדור, החל ללחוץ על הבלם, ועד לעצירתה המוחלטת של המכונית, היא עברה את סכום המרחקים האלה - 30.5 מטר. זהו **מרחק העצירה** של הרכב.

מהירות הנסיעה

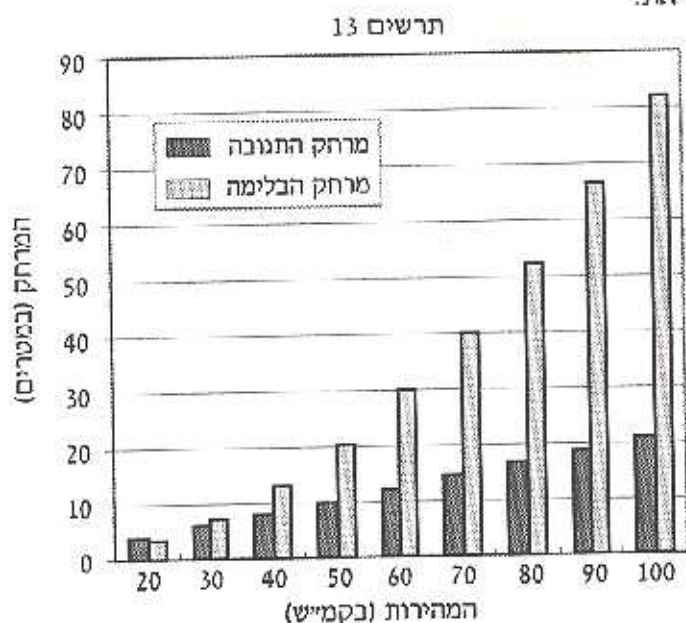
קמ"ש	20	4	7.5	מטר
קמ"ש	30	6	13.5	מטר
קמ"ש	40	8	21	מטר
קמ"ש	50	10	30.5	מטר
קמ"ש	60	12.5	42.5	מטר
קמ"ש	70	14.5	54.5	מטר
קמ"ש	80	17	69.5	מטר
קמ"ש	90	19	85.5	מטר
קמ"ש	100	21	103	מטר

		
מרחק תגובה	מרחק בלימה	מרחק עצירה

תרשים 12 - מרחקי העצירה של רכב, במהירויות נסיעה שונות
 כאשר מהירות הרכב קטנה בקצב של 18 קמ"ש בכל שניה -
 (תאוצה של 5 (מטר בשניה) בשניה)
 זמן התגובה המקובל הוא 0.75 שניות

מרחק התגובה ומרחק הבלימה - השוני שבין שני התהליכים

כאשר נערוך את הנתונים המספריים של מרחקי התגובה והבלימה כפי שמופיעים בתרשים 12, נקבל את הגרף המופיע בתרשים 13. הגרף מתאר את:



א. תהליך השינוי במרחקי התגובה.

ב. תהליך השינוי במרחקי הבלימה.

בתהליך א' שינוי המהירות מ-20 קמ"ש ל-40 קמ"ש (הגדלה פי 2), גורם לשינוי מרחק התגובה מ-4 מטר ל-8 מטר - שגם הוא הגדלה פי 2. תהליך מסוג זה נקרא **יחס ישר**.

בתהליך ב' שינוי המהירות מ-20 קמ"ש ל-40 קמ"ש (הגדלה פי 2), גורם לשינוי מרחק הבלימה מ-3.5 מטר ל-13 מטר - הגדלה פי 4! תהליך מסוג זה נקרא **יחס ריבועי**.

המהירות בקמ"ש	מרחק התגובה במטרים	מרחק הבלימה במטרים	מרחק העצירה במטרים
20	4.0	3.5	7.5
30	6.0	7.5	13.5
40	8.0	13.0	21.0
50	10.0	20.5	30.5
60	12.5	30.0	42.5
70	14.5	40.0	54.5
80	17.0	52.5	69.5
90	19.0	66.5	85.5
100	21.0	82.0	103.0

בדוק בעזרת הטבלה שהתופעה קיימת גם כאשר עוברים מ-20 קמ"ש ל-60 קמ"ש.

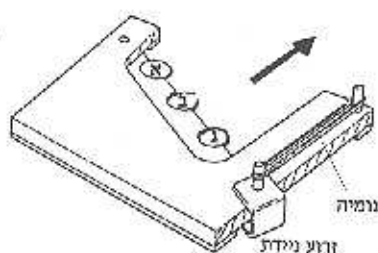
מהו יחס ישר?

מהנתונים אפשר לנלות שמרחק התגובה גדל כאשר המהירות גדלה. הגדלת המהירות פי 2 הגדילה את מרחק התגובה פי 2. הגדלת המהירות פי 3, הגדילה את מרחק התגובה פי 3. יחס כזה בין שתי תופעות נקרא במדע בשם **יחס ישר**. דוגמאות ליחס ישר:

- זמן הרתחה של מים בקומקום מסוים נמצא ביחס ישר לכמות המים בקומקום.
- מסתו של גוף העשוי מחומר אחיד, נמצאת ביחס ישר לנפח שלו.
- התשלום עבור ירקות בשוק נמצא ביחס ישר למשקלם ואז מספרם.
- במדחום, גובה עמוד הכספית נמצא ביחס ישר לסמפרטורה שהוא מודד.
- תאוצה של גוף נמצאת ביחס ישר לכוח הפועל עליו.

מסקנה – מרחקי הבלימה מתייחסים זה לזה כמו ריבועי המהירויות. כלומר – תהליך שינוי מרחקי הבלימה על פי המהירות, הוא תהליך ריבועי.

הקשר שבין מרחק הבלימה למהירות



תרשים 14

המתואר בתרשים 14, מניחים את הדיסקיות א', ב' ו-ג' שבזרוע הניידת. המרחקים של מרכזי הדיסקיות מהציר הם זה לזה כמו 3:2:1. הזרוע הניידת משוכה לאחר. רפים ממנה, הגומיה מתכווצת, מושכת את הזרוע, ת נזרקות בכיוון החץ במהירויות שמתייחסות זו לזו כמו 3:2:1. הדיסקיות נבלמות על פני השולחן. כשמשווים קי הבלימה של הדיסקיות לאחר כמה ניסיונות, מגלים ייחסים זה לזה כמו 9:4:1.

הדיסקיות אינן מתחילות לנוע במהירויות שוות?

הדיסקה א' מתחילה לנוע במהירות של 6 מ/ש - מה המהירות שבה תתחיל לנוע דיסקה ב'?

הדיסקה ב' תנוע מטר אחד עד שתיעצר, מה יהיו המרחקים שתעבורנה דיסקיות א' ו-ג'?

כוח בולם את הדיסקיות?

ביר מדוע תמרורי אזהרה והוריה לפני צמתים בכביש מהיר, מוצבים במרחקים גדולים מהצומת ה למיקומם בכבישים בשטח בנוי.

הבלימה ברכב דומה מאוד לתהליך הבלימה של הדיסקיות. בשני התהליכים קיים יחס ריבועי הירות למרחק הבלימה. חשוב מאוד לזכור זאת במיוחד כשמחליטים לנהוג במהירות גבוהה.

ניתחנו את התהליך שעבר הנהג בזמן האירוע ואת מה שהתרחש על פני הכביש. בהמשך נעבור התהליכים שהתרחשו בתוך הרכב - שהקטינו את מהירותו עד לעצירתו המוחלטת.