

מהירות

פיתוח הפעילות¹: זאב קרקובר, המכון למצוינות בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך

מטרות היחידה

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה". היחידה עוסקת במושג המהירות (במובן של Speed ולא Velocity, כלומר: ללא התייחסות לאופי הווקטורי של המהירות) כמהירות ממוצעת (ולא כמהירות רגעית על פי הגדרתה הפורמלית) ובמשמעות הנובעות מכך.

מיומנויות: חישובים חשבוניים פשוטים לחישוב מהירות; שימוש בסרטי וידאו למעקב אחרי תנועה; שימוש ראשוני בקריאת גרפים.

מבנה היחידה

1. דיון כיתתי בהתפתחות שיא העולם בריצה למאה מטרים, מתוך קריאת גרף.
2. הגדרה של המהירות (במובנה הממוצע); יחידות המהירות.
3. צפייה בסרטי וידאו של תחרויות ריצה וחישובי מהירות במרווחי זמן שונים.
4. ייצוג באמצעות טבלה.
5. דיון בשאלה "מה מודד מד המהירות במכונית" – האם זו מהירות ממוצעת או "רגעית"?

לוח זמנים אפשרי

יחידה זו עשויה להתמשך (כולל שיעורי בית) שיעור כפול.

הרקע של התלמידים

ההנחה היא כי התלמידים כבר למדו את יחידות המרחק והזמן.

ציוד

מחשב מורה, מקרן, חיבור לאינטרנט, שעוני עצר.

¹ שותפים חשובים למעשה מוזכרים בעמוד הבא.

שותפים לעשייה

ואלה יעמדו על הברכה :

מיכאל סבין, מן הפיקוח על הוראת הפיזיקה, הוא שותף נאמן, משלב החשיבה והתכנון ועד לשלב הסופי.

ד"ר אבי פולג, ראש המכון למצוינות בהוראה במרכז הישראלי למצוינות בחינוך, שקרא, האיר וייצע.

ד"ר רחל קנול, מדריכה ארצית במו"ט, מן המינהל למדע וטכנולוגיה, קראה, האירה הציעה מניסיונה ושיפרה.

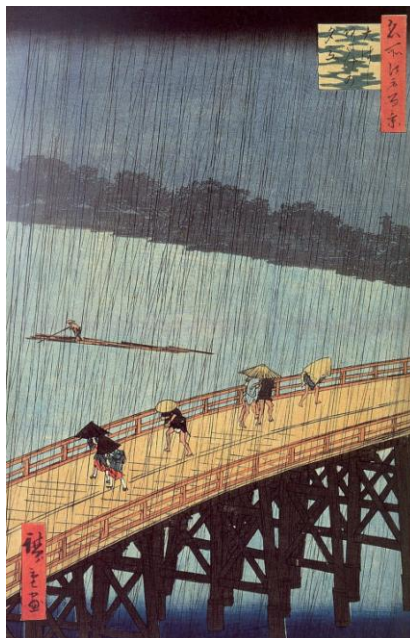
ד"ר ירון להבי, ממכללת דוד ילין, היה שותף לחשיבה ותרם ממחשבותיו ומניסיונו.

אתי טל, מדריכה ארצית במו"ט, מן המינהל למדע וטכנולוגיה, יעצה, תמכה והביאה לאתר.

לכולם תודתי נתונה.

ז.ק.

לעתים אפשר לזהות מתוך ציור בודד את קיומה של תנועה. הציור שלפנינו הוכן על פי מתווה של האומן היפני הירושיגה אוטגאוה (1797-1858). על ציור זה כתבה המשוררת הפולנייה, כלת פרס נובל, ויסלבה שימבורסקה, את שירה הידוע "אנשים על הגשר". הנה שני בתים מן השיר, בתרגום רפי וייכרט (הוצאת קשב לשירה) :



במבט ראשון שום דבר מיוחד.

רואים מים.

רואים אחת מגדוטיהם.

רואים סירה שטה בעמל רב נגד הזרם.

רואים גשר מעל המים ורואים אנשים על הגשר.

האנשים, באפן ברור, מרחיבים את צעדם ונחפזים,

כי בו פרע, מענן שחר,

גשם נתן בעצמה רבה.

כל הענן הוא בזה, ששום דבר לא ממשיך לקרות.

הענן אינו משנה את צבעו או צורתו.

הגשם אינו מתחזק ואינו חלל.

הסירה שטה ללא תנועה.

האנשים על הגשר רצים

בדיוק באותו המקום שבו רצו לפני רגע.



<http://www.freefoto.com/preview/23-22-1/Swansea-London-Paddington-High-Speed-Train--HST->

מהירות

הגדרה, יחידות, מדידות

מהירות עשויה "להדליק" את הדמיון של תלמידים. האסוציאציה המידית היא של רכבות מהירות ורקטות. יש לתלמידים הבנה אינטואיטיבית של מושג המהירות. מטרת היחידה היא להפוך את ההבנה האינטואיטיבית להגדרה ברורה ולבסס את חישוב המהירות כתוצאה של פעולת חילוק של מספר יחידות האורך שהגוף חלף על פניהן במספר יחידות הזמן.

מדידת מהירות

לפני שניגש להצעת השיעור, נאמר משהו בדבר האפשרות לעשות פעילות ניסויית של מדידת מהירות בכיתה. ההגדרה של המהירות קשורה בשיטת המדידה הבסיסית שלה. יש למדוד מרחק וזמן ולחלק את מספר יחידות האורך במספר יחידות הזמן. הדרך הפשוטה לממש זאת בשלב זה, ללא ציוד מתוחכם (שערים אופטיים, לדוגמה), היא במעקב אחרי ריצה, בשיעור ספורט (או בשיעור פיזיקה), תוך כדי שימוש בשעוני עזר. כאן אפשר לכוון ברית עם המורה לספורט (ולהרוויח זמן נוסף לשיעור הפיזיקה).

התלמידים כבר ראו כי מדידות של מרחק וזמן כוללות בעיה של דיוק. מכאן נובע שמדידת מהירות תכלול את אי דיוקים, הן ממדידת המרחק והן ממדידת הזמן. הדברים קשים במיוחד למדידה דווקא כאשר עוקבים אחרי עצמים שחולפים על פניהם במהירות גדולה.

סרטי וידאו עשויים להיות כלי נוח למעקב אחרי תנועה. אפשר לצלם לבד, אך הדבר צורך זמן לא מבוטל.² האינטרנט עשוי להיות מקור לסרטי וידאו שאפשר לנתחם ברמה איכותית ואפילו כמותית.³

רצוי לבדוק עם המורה למתמטיקה מתי הוא מלמד את מושגי התנועה, ובפרט המהירות ולנסות להימצא בתיאום.

מהלך השיעור

מגמות בשיא העולם בריצת 100 מטרים – ניתוח מתוך גרף

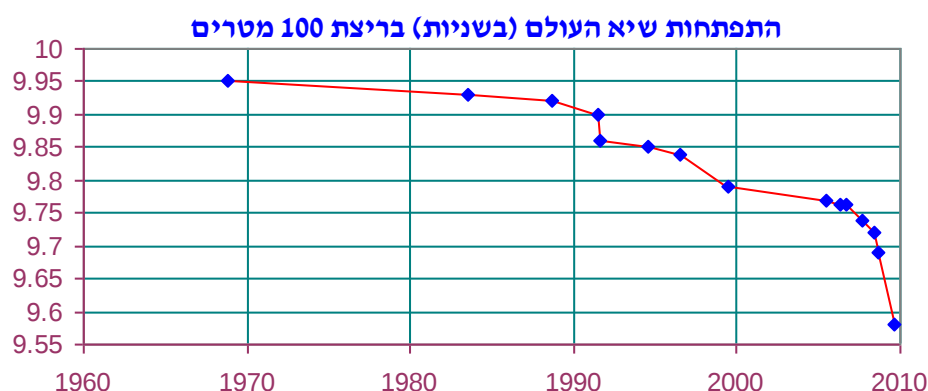
בני אדם מייצרים התקנים שמסוגלים לנוע במהירויות עצומות. הרקטה Saturn V הגיעה למהירות של למעלה מ-25,000 km/h. אך עד כמה מסוגל האדם להניע את עצמו ללא שימוש בטכנולוגיה? זאת נבחן בתחרויות ריצה. מקובל כי ריצת 100 מטרים היא המבחן למהירות המרבית של האדם. מתברר כי אימונים מסוגלים לשפר את תוצאות הריצה של כל אצן, וכתוצאה מכך, במהלך הזמן, משתפר גם שיא העולם. עם זאת, אנו תוהים אם אפשר לשפר אותו עוד ועוד, או שיש מגבלה. ההנחה שלנו היא כי כל שיפור נוסף יהיה מזערי. נתבונן, אפוא, בטבלה שמציגה את שיאי העולם בריצת 100 מטרים, שאין עליהן עוררין, מן השלב שבו הם ירדו מתחת ל-10 שניות:

² אם רוצים לעשות הכול לבד, הדבר מחייב. מדובר בתכנון של צילום טוב, בהעברתו למחשב ובניתוח עם תוכנה ייעודית או בהתקדמות Frame by Frame. זה מחייב לדעת כמה תמונות בשנייה נעשו. סרטי YouTube מקלים עלינו, כיוון שהם כבר מוכנים. אפשר לעצור אותם מדי פעם ולהתבונן בשעון שבתחתיתם.

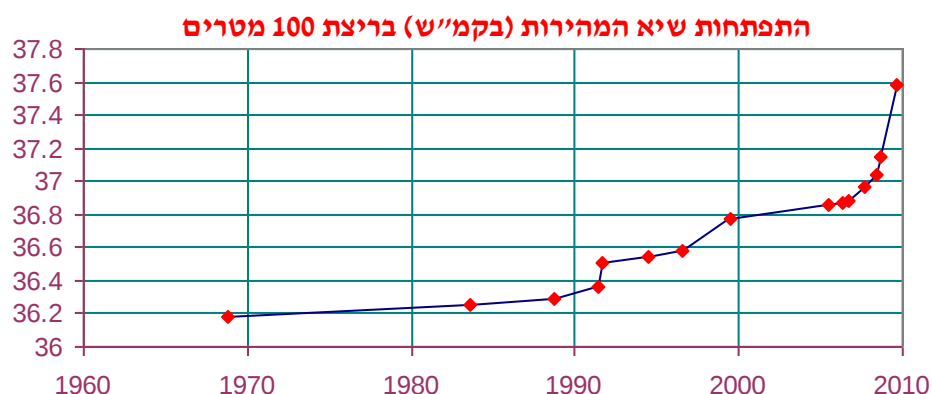
³ יחידת הלימוד "רואים תנועה" של ירון שור וירון להבי (המחלקה להוראת המדעים, מכון וייצמן למדע) משתמשת היטב בסרטי וידאו. מצורף לה תקליטור שכולל סרטי וידאו ותוכנת ניתוח שנוצרה על ידי שלמה רוזנפלד. במיטבה, יחידת לימוד כזאת אמורה להיעשות כאשר התלמידים יושבים מול מחשבים. כאשר יש מגבלות בתחום זה, לא נותר אלא להשתמש במחשב מעמדת המורה ובמקרן ולערוך דיון כיתתי. היחידה הנוכחית הולכת בכיוון זה.

שנה	אצן	מדינה	תוצאת השיא בשניות
1968	ג'ים היינס	ארה"ב	9.95
1983	קלווין סמית	ארה"ב	9.93
1988	קרל לואיס	ארה"ב	9.92
1991	לרוי בארל	ארה"ב	9.9
1991	קרל לואיס	ארה"ב	9.86
1994	לרוי בארל	ארה"ב	9.85
1996	דונובן ביילי	קנדה	9.84
1999	מוריס גרין	ארה"ב	9.79
2005	אסאפה פוואל	ג'מייקה	9.765
2006	אסאפה פוואל	ג'מייקה	9.763
2006	אסאפה פוואל	ג'מייקה	9.762
2007	אסאפה פוואל	ג'מייקה	9.74
2008	אוסין בולט	ג'מייקה	9.72
2008	אוסין בולט	ג'מייקה	9.69
2009	אוסין בולט	ג'מייקה	9.58

כדאי להתבונן בתצוגה גרפית. היא נותנת תובנות מידיות, ויש כאן השקעה לעתיד הקרוב (הקו בין הנקודות אינו מייצג שיאי עולם. הוא נמצא כאן כדי לסייע בהצגת מגמות):



כיוון שאנו מתעניינים במהירות, הבה נתבונן בגרף שמייצג את התפתחות המהירות:



יש בגרף משהו מפתיע. דווקא בזמן האחרון, יש מהלך של שינוי מהיר יחסית בשיא העולם. הנקודות האחרונות מעידות על סוג של קפיצת מדרגה. אם חשנו שאנו מתקרבים למיצוי היכולת, מתברר שיש חדש. הגרף זה מעיד על העוצמה של התצוגה הגרפית, ועל הצורך שלנו להכיר לתלמידים את שיטת הייצוג הזאת. נתחיל בזה עכשיו ונעביר מהלך ביחידה הבאה. זוהי הזדמנות לדון עם התלמידים על מה שאפשר ללמוד מן הגרף, כמותית ואיכותית.

כדי להבין מה קרה עם שיא העולם, כדאי שנדון תחילה בשאלה מהי מהירות וכיצד היא נמדדת ומחושבת.

מהי מהירות

מהירות בשגרת היומיום: אנו עומדים לחדד את מושג המהירות בהקשר של תנועה, אך המילה מהירות קיימת בהקשר רחב יותר. רק בספר בראשית מופיע השורש "מה ר" בהקשר של הגברת קצב העשייה, ולאו דווקא בהקשר של שינוי מקום במהלך הזמן. אפשר לפתוח את הדיון במושג המהירות בהבחנה הזאת. הדברים מתרחשים גם בבית הספר. יש תלמידים שמסיימים את שיעורי הבית מהר יותר (לא דווקא באיכות טובה). יש כאלה שמדברים מהר יותר. יש מורים שמלמדים מהר יותר. יש תלמידים שאוכלים מהר יותר. אפשר לעשות תחרויות מהירות שאינן קשורות בתנועה, לדוגמה: קריאה מהירה, ללא שגיאות, של שיר. תלמידים שונים קוראים ונמדדים בשעון עצר.

מהירות בהקשר של תנועה: אפשר להוביל דיון בעניין זה. מה משותף לכל אלה, וכיצד נמדדו מי מהיר יותר. הדיון יוביל אותנו לשתי הצעות. מהיר יותר הוא מי שמספיק לעשות אותה משימה בפחות זמן או מי שמצליח לעשות יותר באותו פרק זמן.

מהירות כגודל כמותי מוגדר: עתה אפשר לעבור למטרה העיקרית של השיעור הזה - להציג מושג מהירות שקשור בתנועה בלבד. המהיר יותר הוא מי שעובר אותה דרך בפחות זמן או מי שעובר יותר דרך באותו פרק זמן. למעשה אנו שואפים ליותר מזה. לא רק לקבוע מי מהיר יותר, אלא לתת מידה כמותית למהירות.

לכאורה, מושג המהירות נראה גם להדיוטות פשוט למדי. נתבונן באדם שנוהג במכוניתו כאשר מד המהירות מורה 80 ק"מ לשעה. מה משמעות הדבר? אם האדם יצליח לשמור על המצב של מד המהירות, כך שהוא מורה כל הזמן 80 ק"מ לשעה, הוא יחלוף על פני 80 ק"מ בשעה אחת. אם ינוע בתנאים כאלה במשך שעתיים, הוא יחלוף על פני 160 ק"מ. כדי לחשב את המהירות נחלק את מספר הקילומטרים במספר השעות. אם הנהג נסע 400 ק"מ במשך 5 שעות, אנו נחלק 400 ב-5, כדי למצוא שמהירותו הייתה 80 ק"מ לשעה. אפשר לכתוב זאת בהוראת חישוב פשוטה: **המהירות (בק"מ לשעה) מתקבלת מחלוקת מספר הק"מ במספר השעות**. זה נכון גם אם מספר השעות אינו שלם, ואפילו קטן מאחד. מי שנוסע במשך חצי שעה 40 ק"מ, נאמר עליו כי מהירותו היא 80 ק"מ לשעה, אף על פי שלא נסע במשך שעה. אם היה ממשיך לנסוע באותו קצב ומשלים שעה, היה עובר 80 ק"מ.

אם נסמן את הדרך ב-S ואת משך הזמן ב-T, נוכל לרשום כי המהירות V ניתנת על ידי $V = S/T$. דוגמאות: אם רכב חולף על פני 400 ק"מ במשך 2 שעות, המהירות היא (על פי פעולת החילוק) – 200 ק"מ לשעה.

ביחידה זו איננו עוסקים במהירות כווקטור, אלא במשמעות של Speed בלבד.

יחידות

כאשר מדובר במכוניות וברכבות, ק"מ לשעה הוא יחידה מקובלת, ומסמנים אותה כך: ק"מ/שעה או km/h (ולעתים קמ"ש). כזכור, היחידות התקניות למרחק ולזמן הן מטר ושנייה, בהתאמה. אם כך, היחידה התקנית למהירות היא מטר לשנייה, והיא תסומן על ידי מטר/שנייה או m/s. ק"מ/שעה אינו זהה למטר/שנייה. מי שנע במהירות של 1 km/h עובר 1,000 מטרים ב-3,600 שניות, ולכן מהירותו במטרים לשנייה תתקבל מפעולת החילוק $1000/3600 = 1/3.6$. מכאן נובע כי מהירות של 1 m/s שווה למהירות של 3.6 km/h (מי שמעדיף מספרים שלמים יאמר כי 10 m/s שווה ל-36 km/h). זהו שער המעבר בין יחידות המהירות התקניות לאלה שמקובל להשתמש בהן בכלי רכב. תלמידים אמורים להכיר זאת. אין לייגע אותם באינסוף תרגילי מעבר; אפשר לדרוש מהם לעשות זאת כאשר הדברים מתבקשים מן ההקשר, אך לא כמטרה לעצמה.

התופעה הקרוייה Usain Bolt

נחזור עתה לדיון במגמות השינוי בשיא העולמי במאה מטרים.

כיצד חושבו המהירויות שהופיעו בגרף? על ידי חלוקה של מספר יחידות האורך (100 מטר או 0.1 ק"מ) במספר יחידות הזמן שנמדדו לאורך כל המסלול.

עיקר השינוי המפתיע במגמת השיפור בשיא העולם קשור בתופעה המכונה אוסיין בולט, האצן מג'מייקה ששבר לאחרונה שלוש פעמים את שיא העולם. נחזור להתבונן בסרטי וידאו של ריצתו, כדי להבין טוב יותר את מושג המהירות. למען ההגינות, אפשר להזכיר אצן נוסף מג'מייקה, אסאפה פוואל, שסלל את הדרך לפני בולט, כפי שאפשר לראות מן הטבלה והגרפים.

המהירות בחלקים שונים של הריצה

הגרף הזה מביא אותנו להתעניין בדרך שבה בולט משיג את הישגיו. הבה נעקוב אחרי מספר ריצות שלו. נתחיל דווקא בריצה שאינה אחת מן הרשמיות – ריצת 150 מטרים. הריצה הזאת מוצגת בסרטון YouTube, ויש עניין להציגה.

<http://www.youtube.com/watch?v=h0d69bXakUoh&feature=fvsvr>



150m	14.36
100m	9.90
50m	5.64

זוהי ריצת רחוב שהתקיימה במנצ'סטר (17 במאי 2009). המדידות אלקטרוניות. מי שלא שמע את שדר הספורט בסרטון הזה לא שמע התלהבות מקינמטיקה מימיו. תוך כדי הריצה מוצגות תוצאות ביניים ("בזמן אמת"). התבוננות בתוצאות מלמדת אותנו כי למעבר על פני 50 המטרים הראשונים נדרשו לבולט 5.64 שניות, בעוד של-50 המטרים הבאים נדרשו לו 4.26 שניות. אנו רואים שלושה זמנים שמאפשרים לנו לחשב שש מהירויות (במסלול כולו; בכל אחד מן השלישים; במאה המטרים הראשונים ובמאה המטרים האחרונים). התוצאות אינן זהות. זה מעלה את השאלה מה הייתה המהירות בריצה זו. חשוב יותר: זה מעלה את הצורך בחידוד ההבנה של הגדרת המהירות.

מהי אם כן מהירות – מהירות ממוצעת

אם אפשר לחשב שש מהירויות שונות, דומה שהגדרת מושג המהירות לא חידדה אותו, אלא דווקא ערפלה אותו. כאשר הסרטון והתוצאות מוצגים בפני הכיתה, הם טוענים כי המהירות (במובנה האינטואיטיבי) משתנה. מהו אם כן ערכה של הגדרת המהירות כ- S/T ? מהירות זו אינה מייצגת מה שקורה בחלקים שונים של פרק הזמן, אלא רק "מהירות ממוצעת" בפרק הזמן כולו. חשוב שהתלמיד יידע כי "נוסחת המהירות" שברשותו מציגה "מהירות ממוצעת" בלבד.

תנועה קצובה

יוצא מן הכלל הוא המקרה המיוחד שבו בכל פרק זמן מתקבלת תוצאה זהה בחישוב המהירות. במקרה כזה אנו מדברים על "תנועה במהירות קבועה" או "תנועה קצובה". באלה תנאים משיגים מהירות כזאת? מתברר כי לא קל לשמור על מהירות קבועה. מצד שני, עוד יתברר בהמשך הלמידה, כי ברמה העקרונית יש מצב שבו מתקבלת מהירות קבועה (התמדה). לכך נתייחס באחת היחידות הבאות. אך נניח לכך לפי שעה ולא נקדים את המאוחר. האימפקט של דברים שמגיעים בעתם גדול מזה של אלה שהובאו בטרם עת.

דרך הפעולה בכיתה

כדאי לעשות את הדיון בסרטון של בולט במליאת הכיתה, כאשר הסרטון מוקרן (פעם ועוד), והתלמידים מחשבים מהירויות ממוצעות (על פני כל הריצה, במאה המטרים הראשונים, במאה המטרים האחרונים, בחמישים המטרים הראשונים, בחמישים המטרים הבאים, בחמישים המטרים האחרונים). אפשר לערוך את הדיון הכיתתי כאשר כל תלמיד מחזיק בידו "דף חקר" (תמצאו אותו בהמשך) וממלא אותו תוך כדי הפעילות המשותפת. המורה מקצה לתלמידים זמן לחישובים (באמצעות מחשבון). בעקבות החישוב בודקים אם כל התלמידים קיבלו תוצאות זהות, או שיש מקום להסבר נוסף.

התלמידים יתעניינו אם אפשר להסביר את השינוי במהירות. אף שזה אינו הכרחי מבחינת המטרות הישירות של השיעור, עדיין יש טעם לדבר. הריצה מתחילה ממהירות אפס. בתחילת הריצה האצן מגביר את המהירות בהדרגה, ולכן מהירותו הממוצעת קטנה יותר מאשר בהמשך. לכך יש להוסיף פרק זמן קצר של השהיה מרגע הירי של המזניק ועד שהאצן יוצא לדרך.

כדאי לשלב בשיעור יציאה לריצה ומדידת מהירויות בחלקי מסלול.

שימוש בטבלה

נעבור עתה לריצה התקנית ביותר – ל-100 מטרים. השיא העולמי הושג על ידי בולט באליופול העולם (16 באוגוסט 2009).

<http://www.youtube.com/watch?v=NHmEpqUFLZ8&feature=related>

הנה נתונים מפורטים של הריצה. אנו רואים כי מרגע ההזנקה ועד שבולט יצא לדרך חלפו 0.146 שניות. המהירות הממוצעת מרגע ההזנקה ועד שבולט חלף על פני 10 המטרים הראשונים, שונה מן המהירות הממוצעת מרגע היציאה לדרך ועד שבולט חלף על פני 10 המטרים הראשונים.

זה הזמן לבקש מן התלמידים לחשב את משך הזמן של כל אחד מעשרת הקטעים (הקטע הראשון יחושב מרגע ההזנקה). מתקבלת הטבלה שמשמאל:

לאחר שהמספרים יוצגו על ידי המורה, לצורך השוואה, אפשר לעבור למשימה הבאה. נשאל את התלמידים באיזה קטע המהירות הממוצעת הייתה הגדולה ביותר ובאיזה קטע הייתה הקטנה ביותר, וכן לחשב את שתי המהירויות האלה, תחילה במטרים לשנייה ואחר כך ביחידות המוכרות יותר – ק"מ לשעה.

מרחק מן הזניק (מטרים)	זמן מן הזניק (שניות)
0	0
0.146	0
1.89	10
2.88	20
3.78	30
4.64	40
5.47	50
6.29	60
7.10	70
7.92	80
8.75	90
9.58	100

משך הזמן (שניות)	מספר קטע
1.89	1
0.99	2
0.9	3
0.86	4
0.83	5
0.82	6
0.81	7
0.82	8
0.83	9
0.83	10

מהירות (ק"מ/שעה)	מהירות (מטר/שנייה)	משך הזמן (שניות)	מספר קטע
19.05	5.29	1.89	1
36.36	10.10	0.99	2
40.00	11.11	0.9	3
41.86	11.63	0.86	4
43.37	12.05	0.83	5
43.90	12.20	0.82	6
44.44	12.35	0.81	7
43.90	12.20	0.82	8
43.37	12.05	0.83	9
43.37	12.05	0.83	10

עם סיום משימת המחשבון, והשוואת התוצאות עם המורה, אפשר לגשת לדיון בתוצאות. מן הקטע החמישי ואילך המהירויות משתנות מעט מאוד. המהירות הממוצעת הגדולה ביותר התקבלה בקטע השביעי.

אפשר גם להשוות תוצאות עם ריצת ה-150 מטרים. מתברר כי המאה המטרים האחרונים של אותה ריצה נמשכו 8.82 שניות. זהו זמן קצר מזמן ריצת ה-100 מטרים כולה (9.58 שניות). מתברר כי זהו הזמן הנמוך ביותר שהתקבל ל-100 מטרים בכל הריצות שתועדו. אפשר לחשב מהי המהירות המתאימה.

כאמור, את הפעילות הזאת אפשר לעשות במליאת הכיתה, כאשר לכל תלמיד יש "דף חקר". החישובים ייעשו במחשבוני. בין שלב לשלב יתקיים דיון כיתתי.

בעמוד הבא מוצג "דף חקר" למורים שמעוניינים לנהל את השיעור כאשר התלמידים מצוידים ב"דף חקר".

דף חקר – ריצת 100 מטרים

הבה נעקוב אחרי ריצת 100 שהתקיימה ב-16 באוגוסט 2009, ושבה נקבע שיא העולם האחרון:

<http://www.youtube.com/watch?v=NHmEpqUFLZ8&feature=related>

זמן מן ההזנקה (שניות)	מרחק מן ההזנקה (מטרים)
0	0
0.146	0
1.89	10
2.88	20
3.78	30
4.64	40
5.47	50
6.29	60
7.10	70
7.92	80
8.75	90
9.58	100

התחרות מעניינת, אך אנו מתעניינים לא רק בתחרות, אלא גם במציאת המהירות של המנצח – אוסיין בולט. לפניכם טבלה שבה יש תוצאות ביניים. אנו רואים כי מרגע ההזנקה ועד לרגע שבולט יצא לדרך עברו 0.146 שניות. לאחר מכן הטבלה מספרת לנו כמה זמן עבר מרגע ההזנקה ועד לרגע שבו בולט עבר 10 מטרים מנקודת הזינוק, כמה זמן עבר מרגע ההזנקה עד שבולט עבר 20 מטרים מנקודת הזינוק וכן הלאה.

א. **חישוב המהירות במסלול כולו:** חשבו את המהירות, מרגע ההזנקה ועד לסיום. רשמו את התוצאה:

מטרים לשנייה _____

ק"מ לשעה _____

ב. **חישוב המהירויות בחלקי המסלול השונים:** המסלול מחולק לעשרה חלקים, שאורכו של כל אחד מהם הוא 10 מטרים. חשבו את משך הזמן של כל אחד מעשרת החלקים. רשמו בעמודה השנייה בטבלה:

מהירות מהירות משך הזמן מספר
(ק"מ/שעה)(מטר/שנייה) (שניות) קטע

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

ג. באיזה חלק מן המסלול מהירותו של בולט היתה הגדולה ביותר? מדוע? הסבירו בכתב:

ד. חשבו את המהירות באותו חלק של המסלול. רשמו בטבלה.

ה. חשבו את המהירות באותו פרק זמן ביחידות של ק"מ/שעה. רשמו בטבלה.

ו. השלימו את הטבלה.

הרחבה אפשרית – האם מהירות ממוצעת היא מושג מספק?

חלק זה של היחידה הוא הרחבה אפשרית, שמתאימה לחלק מן התלמידים. יש לשקול לעסוק בה, בהתאם להרכב הכיתה. אנו ממשיכים לעסוק כאן במושג המהירות (הממוצעת) כפי שהוגדר בשיעור, ומתעניינים בדרך הפעולה של מד המהירות במכונית.

מהירות ממוצעת בזמנים קצרים – דילמת הדיוק

מתברר כי מהירות ממוצעת אינה משקפת היטב את מה שמתרחש בפרקי זמני חלקיים. ייתכן שנרצה לברר מהי המהירות בפרקי זמן קצרים מאוד, כאלה שבהם המהירות כמעט שאינה משתנה (אם יש שינוי – הוא נמצא מתחת לסף ההבחנה שלנו). לשם כך עלינו למדוד במרווחי זמן ובמרווחי מרחק קצרים ביותר. ככל שנקצר יותר, נקבל תמונה עכשווית יותר, מבלי שנצטרך למצע על פני ההיסטוריה כולה. אלא שכאן מתעוררת בעיה קשה. כבר עסקנו במדידות של מרחק וזמן. שם ראינו כי מדידות של מרחקים וזמנים קצרים כרוכות בבעיות קשות של דיוק. אם נקצר מדי – נתפטר על דיוק. אם נאריך מדי – נתפטר על מיוצע. בסופו של דבר אנו מתפשרים בין שתי הפשרות.

האם אפשר לדבר על מהירות ברגע מסוים?

מד המהירות במכונית מתיימר לספר לנו מהי המהירות **עכשיו** – הייתכן? עקרונית, על פי ההגדרה של המהירות (S/T), זהו גודל שמוגדר בין שני זמנים, ואי אפשר לייחס אותה לזמן מסוים. אף על פי כן, אנשים עושים זאת באחת משתי דרכים. אם הם מצליחים למדוד מהירות ממוצעת בצורה משביעת רצון על פני פרק זמן קצר יחסית (שבו המהירות אינה משתנה, עד כמה שמכשירי המדידה שלנו מסוגלים למדוד), הם רואים זאת כ"מהירות רגעית". האופציה השנייה, שאינה רלוונטית לתלמידינו לפי שעה, היא ללכת בעקבות ניוטון ולדבר על המהירות הרגעית כגבול המתמטי של המהירות הממוצעת.

מה מודד מד המהירות במכונית?

האם המכשיר מודד מהירות ממוצעת או רגעית? התשובה לשאלה זו תלויה בשנת הייצור של המכונית. במאה העשרים נמדדה מהירות רגעית, כפי שהיא מוגדרת על ידי ניוטון (כגבול), ואינה מובנת על ידי תלמידי כיתה ז'. מכוניות מודרניות מודדות מהירות ממוצעת על פני פרק זמן קצר. נסביר את הדברים בקרוב.

תנועה כמושג יחסי

לפני שניגש לעקרון הפעולה, עלינו לשים לב שמדידת מהירות מתוך הגוף הנע מחייבת הרהור. אנו יודעים למדוד מהירות של גוף ביחס לרקע קבוע (אדני הזינוק, קו הסיום). כיצד אפשר למדוד מהירות של גוף מתוך הגוף הנע עצמו? אפשרות אחת היא לזהות רקע "קבוע" ולמדוד את מהירותו ביחס אלינו. זה מעלה את העיקרון שתנועה היא מושג יחסי ומהירות נמדדת כגודל יחסי. גם כאשר אנו מדברים על רקע קבוע, יהיה עלינו לתהות מניין אנו יודעים שהרקע קבוע. ייתכן שהרקע עצמו נע. כל ההתרחשויות על פני הארץ הן התרחשויות ביחס למערכת נעה. מהירות היא ביסודו של דבר גודל יחסי, כפי שמראה לנו הרהור קצר בדרך מדידתה. כל מי שישב בתחנת הרכבת (או האוטובוסים) הבחין כי ברגע מסוים חשב שהוא נוסע בכיוון אחד, שעה שרכב אחר נע בכיוון ההפוך.

הנה יישומון שעשוי להמחיש את הדברים:

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=140.msg704#msg704>

הסרטון הבא המתאר רכבות מהירות בסין, מספק שפע של סיטואציות עם תנועה יחסית:

<http://www.youtube.com/watch?v=MMCHDo4t6WA>

יש לקחת בחשבון כי תנועה יחסית אינה עניין פשוט. את עיקר ההתעמקות בה (כולל שיעורי בית) נתיר להזדמנות אחרת.

חזרה אל מד המהירות

מד המהירות במכונית אינו מודד את תנועתה על רקע של מערכת קבועה. אין מדובר במדידה של מהירות ביחס לרקע כלשהו. מדובר במדידת קצב הסיבוב של הגלגל (במובן האינטואיטיבי של המושג), בהנחה שהוא עובר גלגול מושלם, ללא החלקה. קצב הסיבוב קוצב את מהירות הנסיעה.

כיצד נמדד קצב הסיבוב? למטרה זו מגויס הכוח המגנטי. מגנט שצמוד לגלגל מסתובב עמו. מכשירי המדידה מבוססים על השפעת המגנט המסתובב. במכשירים המודרניים נמדד אות בכל פעם שהמגנט עובר סמוך לגלגל שצמוד לגוף מכונית. המערכת מודדת כמה מעברים כאלה מתרחשים ביחידת זמן ומחשבת את המהירות. במכוניות הקלאסיות המדידה נעשתה על ידי ההשראה האלקטרומגנטית שחוללו השינויים בשדה המגנטי שיצר הגלגל המסתובב. עוצמת ההשראה האלקטרומגנטית נקבעת על ידי קצב השינוי הרגעי (ולא הממוצע). לא נוכל להסביר זאת לתלמידינו בשלב זה. הם יוכלו להבין משהו מזה כשילמדו אלקטרומגנטיות. כיצד הצליח מושג הגבול המתמטי להיכנס למציאות? זהו כבר עניינה של תורת היחסות הפרטית. גם לזה, כמובן, נניח לפי שעה.

עוד מדידות מהירות של מכונית

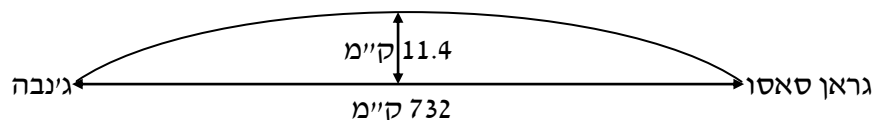
לאחר שבררנו איך נמדדת מהירות המכונית מבפנים, עולה השאלה כיצד היא נמדדת מבחוץ, על ידי המשטרה, לדוגמה. אפשר לפעול לפי ההגדרה: שני שוטרים מתמקמים במרחק ידוע ומודדים מתי עוברת המכונית ליד כל אחד מהם. יש להם מידע על מרחק וזמן, והם יכולים לחשב מהירות. דרך אחרת היא של המשטרה היא להשתמש באפקט דופלר באמצעות קרן לייזר. את זה נוכל להניח לפי שעה.

מהירות האור

האור נע מהר מאוד. הקדמונים לא ידעו אם אינו מגיע ממקום אחד למשנהו כהרף עין. אנו יודעים כי מהירותו היא 299,792,458 מ/ש. לפי תורת היחסות של איינשטיין זוהי המהירות המרבית האפשרית. אם נעגל, מדובר על 300,000 ק"מ בשנייה. זוהי מהירות עצומה. במהירות כזאת האור יכול להקיף את כדור הארץ שבע פעמים בשנייה. לכן כאשר מדובר במרחקים קטנים מאוד, כמו החדר, נדמה לנו שהאור הגיע אלינו באותו רגע שהפעלנו את המנורה, גם אם לקח שבריר שנייה עד שזה באמת קרה.

מדידות חדשות

לאחרונה יש קריאת תיגר על קביעתו של איינשטיין. חוקרים מדדו את זמן התנועה של נייטרינים (חלקיקים זעירים) מן המאיץ האירופי בג'נבה ועד למעבדת גראן סאסו במעבה האדמה באיטליה. המרחק בין שני המקומות הוא 732 ק"מ. זהו מרחק גדול מאוד. בגלל עקמומיות הארץ המסלול נעשה מתחת לפני האדמה, עד לעומק של 11.4 ק"מ (זאת עוד לפני שלקחנו בחשבון את גובהם של הרי האלפים). לצורך תנועת החלקיקים לא נחצבה מנהרה. הנייטרינים מסוגלים לנוע מבעד לכדור הארץ באופן כמעט חופשי, עד שהם פוגעים בגלאי נייטרינים (שהם מכשירים עדינים במיוחד, שהרי הנייטרינים כמעט אינם מושפעים על ידי שום דבר).



לאחר ניתוח מדוקדק מתברר כי לנייטרינים יש מהירות גדולה (במידה זעירה) ממהירות האור. החוקרים העמידו את ממצאיהם לעמיתיהם לבדיקה. אם יתברר שאין במדידתם שגיאה של ממש, הדבר יחולל רעידת אדמה בפיזיקה. המתניו בסבלנות, מדובר במדידה מורכבת במיוחד. בינתיים נמשיך להניח כי מהירות האור היא המרבית. נחזור לזה בשאלות לדוגמה בהמשך.

דוגמאות לשאלות (תרגילי כיתה, משימות בית)**מהירויות גבוהות**

בחרו את החקירות הבאות:

- מה הם כלי הרכב היבשתיים המהירים בעולם?
- מה הם כלי הרכב האוויריים המהירים בעולם?
- מה הם בעלי החיים המהירים בעולם?
- שאלות מסקרנות אחרות על מהירויות.

תוכלו להיעזר בספרים או באתרי אינטרנט, לדוגמה: היכנסו לאתר YouTube ורשמו בתיבת החיפוש "fastest animals". תקבלו סרטים רבים, ביניהם:

<http://www.youtube.com/watch?v=c-AjqGmMeSY>

<http://www.youtube.com/watch?v=AzRIW21rvxE>

<http://www.youtube.com/watch?v=zcWxAfl0okE>

<http://www.youtube.com/watch?v=-5lJQ7pQzKo>

<http://www.youtube.com/watch?v=j3mTPEuFcWk>

הכינו מצגת מעניינת ומרשימה ככל האפשר.

אוסטין בולט רץ 200 מטרים

<http://www.youtube.com/watch?v=MTmU4ln7Qbw>

באליפות העולם ב-2009 שבר אוסטין בולט את שיא העולם ב-100 מטרים (9.58 שניות) וב-200 מטרים (19.19 שניות). באיזו ריצה הייתה מהירותו הממוצעת גדולה יותר?

פעולות החילוק מניבות מהירות של 10.44 מטר/שנייה לריצת 100 מטרים ו-10.42 מטר/שנייה לריצת 200 מטרים. המהירות הממוצעת בריצת 100 מטרים גדולה יותר.

באותה ריצה (בת 200 מטרים) עבר בולט את 50 המטרים הראשונים ב-5.60 שניות, את 50 המטרים הבאים ב-4.32 שניות, את אלה שבעקבותיהם ב-4.52 שניות ואת 50 המטרים האחרונים ב-4.75 שניות.

באיזה חלק של המסלול המהירות הממוצעת הייתה הגדולה ביותר? לפני שאתם עונים, חשבו אם צריך לעשות פעולת חישוב כדי לענות על השאלה הזאת.

בחלק השני הזמן היה הקצר ביותר, ולכן המהירות הממוצעת הייתה הגדולה ביותר.

באיזה חלק של המסלול הייתה המהירות הממוצעת הקטנה ביותר?

בחלק הראשון של המסלול הזמן הוא הממושך ביותר, ולכן המהירות היא הקטנה ביותר.

מהי הסיבה להפרש הגדול בין המהירות הממוצעת בחלק הראשון לבין אלה שבחלקים האחרים?

החלק הראשון מגלם בתוכו גם את זמן התגובה, הנכלל בזמן הכולל של הריצה, אך האצן עדיין לא רץ. לכן, המהירות הממוצעת שלו בקטע זה יורדת משמעותית.

מחיאות כפיים סוערות

קהל נלהב מקבל אומן במחיאות כפיים קצובות (אחת בכל שנייה). אדם בקהל מניע את כפיו זו אל זו ובחזרה (במהלך מחיאת הכפיים). כל יד נעה 10 ס"מ, עד למרחק של 20 ס"מ בין כפות הידיים וחזרה. מהי המהירות של אחת מכפות הידיים?

הידיים מתרחקות למשך חצי שנייה ומתקרבות שוב למשך חצי שנייה. בכל חלק מן התנועה כל כף יד נעה 10 ס"מ. הדרך היא 10 ס"מ. הזמן הוא חצי שנייה. המהירות היא 20 סנטימטרים לשנייה.

כמה התקדם האוטובוס

תלמיד מתבונן במד המהירות של אוטובוס ובשעונו הפרטי בעת ובעונה אחת. הוא מגלה כי במשך דקה שלמה הנהג שמר על מהירות של 90 ק"מ/שעה. כמה מטרים מתקדם האוטובוס במשך זמן זה?

אם האוטובוס מתקדם בקצב של 90 ק"מ/שעה, אזי הא נע בכל דקה $1/60$ של 90 ק"מ. הווה אומר: האוטובוס התקדם 1.5 ק"מ, שהם 1,500 מטרים.

מהירות הצב

בהנחה שצב עובר 20 מטרים ב-3 דקות, מהי מהירות? רשמו את המהירות, הן ביחידות ק"מ/שעה והן ביחידות מטר/שנייה.

אם הצב עובר 20 מטר בשלוש דקות, הרי שבמשך זמן ממושך פי 3 (שעה) הוא יעבור 400 מטרים. מהירותו של הצב היא, אפוא, 400 מטר/שעה, שהם 0.4 ק"מ/שעה. כדי לעבור ליחידות של מטר לשנייה, יש לכפול ב-36/10. מתקבל כי המהירות היא 0.11 מטר/שנייה, בערך פי מאה ממהירותו של אצנים מהירים.

מהירויות וזמנים במערכת השמש

היקף הארץ הוא כ-40,000 ק"מ. אדם עומד על קו המשווה ונע יחד עם פני הארץ. אדם כזה משלים סיבוב של 40,000 ק"מ ב-24 שעות. מהי מהירותו?

לפי הגדרת המהירות יש לחלק 40,000 ב-24. התוצאה היא 1,667 ק"מ/שעה או 463 מטר/שנייה. זוהי מהירות גדולה – מעל מהירות הקול. אין חשש ל"פגם" על-קולי, מפני שגם האטמוספירה נעה באותה מהירות. מדוע איננו חשים במהירות הזאת? האם יש חשש שהאדם יעוף מן הארץ? נשאר שאלה זאת פתוחות, לפחות עד לשלב שבו נדון בהתמדה (בקרוב).

במהלך השנה הארץ מקיפה את השמש במסלול מעגלי שאורכו 9.245×10^8 ק"מ. מה מהירותה? הארץ משלימה הקפה של השמש ב-365 יממות. ביממה יש 24 שעות. לפי הגדרת המהירות יש לחלק את אורך המסלול ב-365×24. התוצאה היא 1.076×10^5 ק"מ/שעה, או 29,890 מטר/שנייה. שאלה זו, וזו שבעקבותיה, מיועדות לתלמידים שמסוגלים להתמודד עם הצגה של מספרים באמצעות חזקות. זו אינה חובה לכלל התלמידים.

מהירות האור היא 3×10^8 מ/ש. המרחק מן השמש אל הארץ הוא 150 מיליון ק"מ (1.5×10^{11} מטר). כמה זמן נדרש לאור להגיע מן השמש אל הארץ?

יש לחלק את הדרך במהירות. לאחר התאמת יחידות מתקבל כי הזמן הוא 500 שניות (כשמונה דקות).