

# אוגדן פעילויות לתלמידים עתודה מדעית-טכנולוגית פיזיקה כיתה ט'

מבוסס על יחידות ההוראה שפותחו ביוזמת  
משרד החינוך בשיתוף עם המכון למצוינות  
בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך

עבור תלמידי העתודה  
המדעית-טכנולוגית  
בשנת הלימודים תשע"ה

האוגדן אינו תחליף לספר לימוד



Photo credit: NASA/Bill Ingalls

תשע"ה 2015

ללא עריכת לשון

## **תלמידים יקרים,**

באוגדן שלפניכם פעילויות אשר פותחו ביוזמת מנהל המינהל למדע וטכנולוגיה ד"ר עופר רימון והפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה בשיתוף עם "המכון למצוינות בהוראה - המרכז הישראלי למצוינות בחינוך" עבורכם, תלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית, בכיתה ט' בתחום הפיזיקה.

התכנית נועדה להקנות לכם הלומדים ידע מדעי טכנולוגי של עובדות, מושגים ועקרונות הקשורים לתחום הפיזיקה, החיוניים לכל אזרח בעולם המודרני ומהווים בסיס ללימודי המשך בחטיבה העליונה.

בנוסף, התכנית נועדה לטפח את דרכי החשיבה, הלמידה בדרך החקר המדעי, ולמידה באמצעות פתרון בעיות, כל זאת תוך פיתוח המצוינות האישית והחברתית, טיפוח הסקרנות, ההתלהבות ואהבת הלמידה.

האוגדן הותאם למסמך האב המעודכן לשנת הלימודים תשע"ה והוא מבוסס על האוגדן של תשע"ד הקיים באתר המינהל.

אנו תקווה כי הפעילויות באוגדן יפתחו בפניכם צוהר לעולם העשייה והחשיבה המדעית והטכנולוגית, יסייעו לכם בפיתוח היכולות האישיות ויקדמו את הישגיכם הלימודיים.

## **בברכת שנת לימודים פורייה ומאתגרת**

שושי כהן  
מנהלת תחום מדעים  
ומפמ"ר מדע וטכנולוגיה

## תוכן העניינים

| הנושא                                  | תתי נושאים                                                                                                                                                                                                     | שם היחידה                                       | עמוד     |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|
| 1. אנרגיה ומערכות טכנולוגיות           | א. חוק שימור אנרגיה<br>ב. אנרגיית גובה והשימושים בה<br>ג. אנרגיית תנועה<br>ד. אנרגיה תרמית<br>ה. אנרגיה במערכות חשמליות<br>ו. אנרגיה: הפקה ושימושים (הרחבה)<br>ז. קרינה אלקטרומגנטית-שימושים והיבטים סביבתיים. | <a href="#">כל היחידות מערכת ה.ל.ה.</a>         | כניסה    |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">רשימת ספרי לימוד קיימים/מאושרים</a> | מחקשורים |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">זרם חשמלי</a>                       | 4        |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">חיבור בטור ובמקביל וחשמל בבית</a>   | 19       |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">אנרגיה חשמלית</a>                   | 38       |
| 2. כוח ותנועה בשני ממדים על הארץ ובחלל | א. גדלים וקטוריים                                                                                                                                                                                              | <a href="#">צירוף תנועות בממד אחד</a>           | 45       |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">העתק ומהירות במישור</a>             | 55       |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">תנועה במישור אנכי</a>               | 67       |
|                                        |                                                                                                                                                                                                                | <a href="#">הכוח כווקטור</a>                    | 77       |
|                                        | ב. תנועה מעגלית אופקית (רק במהירות שגודלה קבוע)                                                                                                                                                                | <a href="#">תנועה מעגלית בשמיים ובארץ</a>       | 86       |

## פיתוח היחידות:

זאב קרקובר - המכון למצוינות בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך  
יחידות בנושא הזרם החשמלי: ד"ר סימון גפן, ד"ר שלמה פישר, מרינה זיו, גנייה חייקין

## קראו והעירו:

- מיכאל סבין, גנייה חייקין, אתי טל - משרד החינוך, צוות מדריכים ומורי מורים  
- ד"ר אבי פולג - המרכז הישראלי למצוינות בחינוך

עורכי החוברת: קיבה יעקב, גנייה חייקין, אתי טל ורימונדא ביבאר

לכולם התודה והברכה.

## **1. אנרגיה ומערכות טכנולוגיות**

### **זרם חשמלי<sup>1</sup>** **במה עוסקת היחידה?**

היחידה עוסקת במושג זרם חשמלי, יחידותיו ומדידתו, וכן בתכונות מוליכות החומרים והתנגדותם למעבר הזרם. במהלך היחידה בונים התלמידים מעגלים חשמליים ולומדים להשתמש במד זרם ונגד משתנה (ראוסטט). כמו כן, עוסקים התלמידים בקביעת קשר בין גדלים פיזיקליים שונים הקשורים לזרם חשמלי.

יחידת ההוראה זו עוסקת בתכנים המופיעים במסמך האב על פי הפירוט הבא:

- הזרם החשמלי כתנועה מסודרת של מטענים חשמליים
- מדידת עוצמת זרם חשמלי (יחידות מידה ומכשירי מדידה)
- רכיבי מעגל חשמלי וסמליהם
- התנגדות רכיבים למעבר זרם חשמלי, מושג המוליכות, יחידת ההתנגדות
- הגורמים המשפיעים על עוצמת הזרם החשמלי

### **מטרות היחידה**

- התלמידים יבינו את המושג זרם חשמלי.
- התלמידים יתנסו במדידה של זרם חשמלי באמצעות אמפרמטר ויכירו את היחידה למדידה של עוצמת הזרם החשמלי התקנית "אמפר".
- התלמידים יבינו כי במעגל טורי פשוט עוצמת הזרם זהה בכל חלקי המעגל.
- התלמידים ידעו מהו הקשר הכמותי בין מטען חשמלי העובר במעגל לבין עוצמת הזרם.
- התלמידים יבינו כי מעבר זרם אפשרי רק דרך מוליכים וכי עוצמת הזרם תלויה בסוג המוליך.
- התלמידים יכירו את המושג התנגדות, יחידותיה והשפעתה על זרם חשמלי.
- התלמידים יבינו את תלות ההתנגדות באורך ובעובי (שטח חתך) של המוליך.
- התלמידים יכירו את חוק אוהם – חוק הקובע קשר בין זרם למתח ולהתנגדות.

### **מיומנויות**

- בניית מעגל חשמלי פשוט
- שימוש במכשיר מדידה אמפרמטר
- תכנון ניסוי
- איסוף נתונים, בניית טבלה וגרף
- עיבוד תוצאות הניסוי והסקת מסקנות

## מבנה היחידה

היחידה כוללת מהלך של פעילויות התומכות בהוכחת קיום זרם במעגל חשמלי, שכל מרכיביו עשויים מחומר מוליך. בהמשך מבינים התלמידים כי בחיבור מרכיבי המעגל בטור עוצמת הזרם שווה בכל חלקי המעגל החשמלי. הפעילויות מלוות בתרגול השימוש בסימנים מוסכמים ושימוש במד הזרם. מהלך של פעילויות נוספות מסייע לחקירת הגורמים המשפיעים על התנגדות המוליך: אורך, שטח חתך וסוג החומר שממנו עשוי המוליך. בנוסף, התלמידים נחשפים לקשר בין זרם במעגל לבין המתח (המבוסס בכמות הסוללות השונה) ובין הזרם לבין התנגדות המוליך.

היחידה כוללת סקירה היסטורית של התפתחות המדע בתחום החשמל והשימוש בו. במהלך הלמידה משולבים ניסויי תלמיד והדגמות מורה.

## רקע היסטורי

ביחידת ההוראה אלקטרוסטטיקה למדו התלמידים כי ניתן לטעון גופים מקרוסקופיים במטענים שנמצאים במקומם. ביחידה הזו ידובר על המטענים החשמליים בתנועה.

עד לשנת 1800 ההתפתחות הטכנית של חשמל הסתכמה אך ורק ביצירת כמויות של חשמל סטטי בעזרת חיכוך, אך לא היה לכך שום יישום פרקטי. בשנת 1800 התרחש אירוע חשוב ביותר בתורת החשמל: המדען האיטלקי אלסנדרו וולטה (Alessandro Volta, 1745-1827) המציא סוללה חשמלית אשר גרמה לזרימה יציבה של מטען חשמלי – זרם חשמלי. התגלית הזו פתחה עידן חדש אשר שינה את פני הציוויליזציה כולה, כי הטכנולוגיה של ימינו מבוססת על הזרם החשמלי. הסוללה של וולטה יצרה מתח קטן יחסית בהשוואה למתח המיוצר על ידי מחולל אלקטרוסטטי של אותה תקופה, אך היתרון העצום שלה היה יכולתה ליצור זרימה של מטענים באופן קבוע ולמשך זמן רב יחסי.



מחולל אלקטרוסטטי הומצא על ידי הפיזיקאי הגרמני אווגוסט טפלר בשנת 1865. בו-זמנית המציא גם מדען גרמני אחר, וילהלם הולץ, מחולל כזה. המחולל של הולץ אפשר קבלה של הפרש פוטנציאלים גדול יותר ויכול היה לשמש כמקור מתח ליצירת זרם ישר. יחד עם זאת המבנה שלו היה פשוט יותר. הממציא האנגלי גיימס וימשרסט שכלל מחולל זה בין השנים 1880-1883. המחולל העכשווי מהווה וריאציה של המחולל של וימשרסט.

עקרון הפעולה של מחולל זה מתבסס על הפרדת המטענים תוך כדי ניצול התופעה של ההשראה האלקטרוסטטית. זוהי תופעה מורכבת יותר מאשר טעינת הגוף על ידי השפשוף, אך בדומה לשפשוף מקלון ה-PVC מתקיים

במחולל תהליך של ההפרדה בין המטענים. אין צורך להסביר לתלמידים לעומק את עקרון הפעולה של המחולל. מספיק לציין שגם בו מנוצל חשמל סטטי המצטבר בצנצנות לייצור הנמצאות בשני הצדדים של

המחולל. (צנצנת לייזר היא הקבל<sup>1</sup> הראשון והפשוט ביותר. תמונות של צנצנות לייזר שונות ניתן לראות באתר הבא: <http://www.sparkmuseum.com/LEYDEN.HTM>).

כידוע, כל החומרים בנויים מאטומים. חלקיקי יסוד הקרויים אלקטרונים הם בעלי ממדים זעירים ביותר וקשורים לגרעיני האטום שבו הם מצויים. מטען האלקטרון בעל סימן "-" (שלילי), וערכו המספרי קבוע. בחלק מהיסודות האלקטרוניים נמצאים בקשר חזק לגרעין, ואילו בחלק אחר - אלקטרונים מסוימים קשורים חלש לגרעיניהם. אלקטרונים אלה הם "אלקטרונים חופשיים" או "אלקטרוני הולכה". אלקטרונים חופשיים נעים בצורה אקראית בתוך החומר מאטום אחד למשנהו.

חומרים שבהם מצויים אלקטרונים חופשיים, נקראים בשם "מוליכים", ואילו החומרים האחרים נקראים בשם "מבודדים". כאשר מעגל חשמלי סגור, הסוללה מפעילה כוח חשמלי על האלקטרונים החופשיים שמצויים במוליכים. כתוצאה מכך האלקטרונים מתחילים לנוע מההדק השלילי של הסוללה להדק החיובי. (חשוב לציין כי הסוללה אינה מספקת אלקטרונים למעגל, אלא גורמת לאלקטרונים החופשיים המצויים במוליך לנוע בכיוון אחד.) כך נוצר זרם חשמלי במעגל.

#### זרם חשמלי – תנועה מכוונת של מטענים חשמליים במעגל חשמלי.

בתוך כל מכשירי החשמל שבהם אנו משתמשים בחיי היום-יום, מובנים מעגלים חשמליים. בכל המכשירים, כגון: פנס, טלפון נייד, רדיוטייפ, נגן וידאו, מחשב נייד, מחשבון, מערכת חשמלית של מכונית, ישנו מעגל חשמלי שבו נוצר הזרם על ידי הסוללה או מערכת הסוללות (מצבר).

חשוב לציין כי המוליך שבו עובר הזרם אינו טעון בעצמו. כמות המטענים החיוביים במוליך נשארת שווה לכמות המטענים השליליים הנמצאים בו בכל רגע ורגע, ולכן המטען הכולל של המוליך שווה לאפס (המוליך ניטרלי).

כדי לאפיין מספרית זרם חשמלי במעגל, משתמשים בגודל פיזיקלי הנקרא **עוצמת הזרם**. למעשה, גודל זה מהווה קצב זרימת המטענים דרך המוליך בנקודה כלשהי במעגל. יחידת מדידתו נקראת **אמפר** על שמו של המדען הצרפתי אנדרה אמפר (André Ampère, 1775-1836), וסימונה [A]. זרם זה שווה למעבר של 6.25 מיליארד מיליארדים של אלקטרונים ( $6.25 \cdot 10^{18}$ ) בשנייה אחת בכל מקום במוליך. זהו למעשה זרם כאשר בכל שנייה עובר בחתך המוליך מטען חשמלי של 1C. גודלו של הזרם תלוי בכמות האלקטרונים החופשיים הנמצאים במוליך ובמהירותם. ככל שהאלקטרונים נעים מהר יותר, יירשם זרם רב יותר.

1 אמפר היא יחידת זרם גדולה מאוד. קיימות יחידות קטנות יותר של זרם (mA – מילי-אמפר,

μA – מיקרו-אמפר):

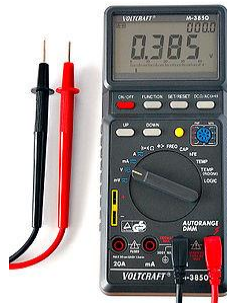
$$1 \text{ mA} = 0.001 \text{ A} \quad 1 \text{ } \mu\text{A} = 0.000001 \text{ A}$$

<sup>1</sup> נושא קיבול וקבלים אינו נלמד במסגרת לימודי פיזיקה בבית הספר.

באופן מתמטי הקשר בין עוצמת הזרם לבין מטען מבוטא על ידי הנוסחה (זרם = מטען העובר בחתך של מוליך/זמן):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

מכשיר מדידה של עוצמת הזרם נקרא מד-זרם או בלועזית – אמפרמטר. סימונו המוסכם:



אמפרמטר דיגיטלי (בתוך רב-מודד)



אמפרמטר אנלוגי

כדי למדוד את עוצמת הזרם, יש לחבר אמפרמטר במעגל **בטור** עם המכשירים האחרים שאנו מעוניינים למדוד זרם דרכם. בשלב זה התלמידים לא חשופים לאפשרויות חיבור טורי ומקבילי, על זה הם ילמדו בהמשך. ניתן לומר להם כי מד הזרם יחובר למעגל באופן זהה לשאר מרכיביו.

מטרת הפעילויות הבאות היא לאפשר לתלמידי להיווכח כי חשמל סטטי העובר דרך הנורה גורם לה להאיר; למיין חומרים למוליכים ומבודדים; להתנסות בבניית מעגל חשמלי ולמדוד את עוצמת הזרם במעגל באמצעות אמפרמטר.

### הגורמים המשפיעים על עוצמת הזרם הם:

1. המתח שבמעגל

2. התנגדות המוליך

1. המתח הוא סיבה להופעת הזרם במעגל חשמלי סגור. מקור מתח מפעיל כוח על האלקטרונים החופשיים וגורם לתנועתם בכיוון אחד. ככל שהמתח המסופק על ידי המקור יהיה גדול יותר, יתפתח זרם רב יותר. התלמידים עד כה מכירים את המתח כ"חוזק הסוללה" או "מה שמספקת חברת החשמל". בכל אופן, עליהם להגיע למסקנה כי ככל שמחובר למעגל מקור מתח עוצמתי יותר, כך הזרם במעגל יהיה גדול יותר (כשהתנגדותו של המעגל קבועה). הסימון המוסכם של מתח הוא V (Voltage), ויחידתו היא 1 וולט על שמו של אלסנדרו וולטה, הפיזיקאי האיטלקי הידוע בעיקר כממציא הסוללה החשמלית. הוולט, יחידת המידה של המתח החשמלי, נקרא על שמו מאז 1881.

2. עוצמת הזרם במעגל תלויה לא רק במתח המסופק למעגל, אלא גם בהתנגדות של המוליכים לזרימת האלקטרונים. אלקטרונים הנעים לאורך המעגל מעוכבים על ידי השפעה עליהם מצד חלקיקים אחרים שמהם עשוי המוליך.

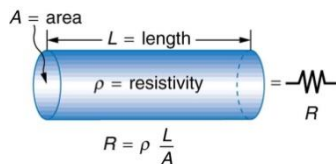
(הסבר על תלות הזרם בשני הגורמים הראשונים אפשרי במידה טובה תוך כדי התבססות על האנלוגיה עם זרימת המים. גם כאן יש **זרימה** של חלקיקים (טיפות מים). **הסיבה לזרימה** – הפרש גבהים (בנפילת המים

מגובה) או עוצמה של משאבה הגורמת לזרימת המים בצינורות, והתנגדות לזרימה על ידי צוקים, אבנים או דופנות הצינורות).

כל המתכות מוליכות זרם במידה שונה. מוליכות היא תכונה של החומר. בתורת החשמל קיים המושג **התנגדות חשמלית** – והיא היכולת של החומר להתנגד למעבר הזרם. מושג ההתנגדות הפוך במשמעותו למושג המוליכות. ככל שמוליכות טובה יותר, ההתנגדות קטנה יותר. לכל חומר ישנה התנגדות סגולית ( $\rho$ ) אשר מראה את התנגדותו של מוליך ביחידת אורך וביחידת שטח חתך אחת.

התנגדות המוליך תלויה בשלושה גורמים עיקריים (לא מדובר בתלות בטמפרטורת המוליך בשלב זה):

- אורך המוליך (יחס ישר);
- שטח חתך המוליך (יחס הפוך);
- החומר שממנו המוליך עשוי (יחס ישר להתנגדות הסגולית של החומר).



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

הקשר המתמטי בין התנגדות המוליך לבין שאר הגורמים מתבטא בנוסחה:

ובה  $R$  – התנגדות המוליך;  $l$  – אורך המוליך,  $A$  – שטח חתך המוליך,  $\rho$  – ההתנגדות הסגולית של החומר.

בשלב נוכחי אין צורך בחישוב כמותי של ההתנגדות לפי נוסחה זו. יחד עם זאת, יש מקום לפתרון שאלות חצי-כמותיות, כאשר משנים אחד ממאפייני המוליך ושואלים כיצד השינוי ישפיע על ההתנגדות.

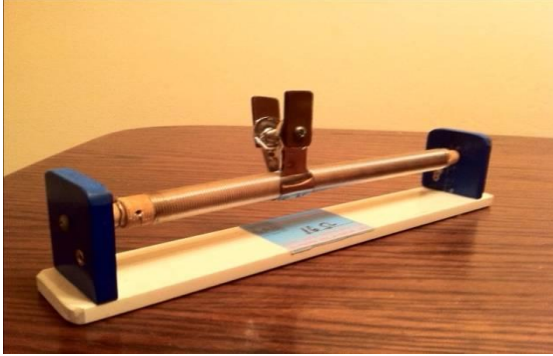
הקשר בין עוצמת הזרם, מתח והתנגדות נקבע באופן ניסויי על ידי הפיזיקאי הגרמני גאורג סימון אוהם (Georg Simon Ohm, 1789-1854). אוהם קבע כי הזרם העובר במוליך נמצא ביחס ישר למתח על קצותיו וביחס הפוך להתנגדות המוליך. הקשר המתמטי שמבטא את חוק אוהם:

$$I = \frac{V}{R}$$

כאשר  $I$  – עוצמת הזרם ביחידות אמפר (A),  $V$  – מתח ביחידות וולט (V), ו- $R$  – התנגדות המוליך ביחידות אוהם ( $\Omega$ ). (ניקח בחשבון עובדה כי חוק אוהם מתאר באופן מדויק את המתרחש במוליכים מתכתיים שבהם התנגדות למעבר הזרם קבועה דייה, ולא את המתרחש במכשירים אחרים בעלי התנגדות חשמלית משתנה שאינם מוליכים אוהמיים). בשלב מסוים אנו יכולים להגדיר התנגדות של מוליך כיחס בין המתח על קצותיו לבין הזרם העובר דרכו.

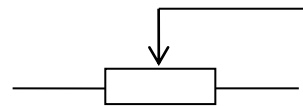


את הקשר בין אורך הנגד לבין התנגדותו וכן בין עוצמת הזרם במעגל ניתן להדגים לתלמידים באמצעות נגד משתנה (ראוסטט) המחובר במעגל. חיבור נגד משתנה במעגל עם נורה ואמפרמטר אשר מראים את עוצמת הזרם, מאפשר לשנותה כאשר גררת הנגד המשתנה מוזזת ממקומה לאורך הנגד.



ראוסטט (נגד משתנה)

הסימון המקובל של נגד משתנה הוא :



תמונות של נגדים משתנים ראשוניים ניתן לראות [באתר הזה](#).

ניתן להראות כי התנגדות המוליך (והזרם דרכו) תלויה בשטח חתך המוליך תוך כדי שימוש בסרגל התנגדות הנמצא במעבדות לפיזיקה. רצוי להשתמש בסרגל עם תילים חשמליים העשויים ממתכת זהה בעלי קטרים שונים, לדוגמה : 0.25, 0.35, 0.5, 0.7 מ"מ.

## פעילות ראשונה

### דף חקר: האם ניתן להדליק נורה ללא סוללה?

#### ציוד

- נורת ניאון קטנה בקופסה שחורה
- סרגל PVC ומטלית צמר



נורת ניאון 1

#### הנחיות לתלמידים

1. טענו את הסרגל תוך כדי השפשוף במטלית הצמר שברשותכם.
2. החזיקו את נורת הניאון כך שאחת האצבעות שלכם נוגעת בהדק האחד שלה. העבירו את הסרגל במגע עם ההדק השני של הנורה. תארו מה ראיתם. הסבירו: מה עובר בנורה? מדוע היא נדלקת? מה ניתן להסיק מכך?
3. מדוע הנורה האירה זמן קצר כל כך? מה לדעתכם יש לעשות כדי שהנורה תדלוק במשך זמן רב יותר?

פעילות ממוחשבת מומלצת בנושא תלות ההתנגדות בממדי המוליך מוצגת [כאן](#)

## פעילות שנייה

### דף חקר: האם ניתן להדליק נורה ללא סוללה?

#### ציוד

- 2 סוללות 1.5V
- 2 נורות מעבדה קטנות (3V) בתוך בית הנורה, כל אחת
- אמפרמטר אנלוגי
- תילים חשמליים

#### הנחיות לתלמידים

##### לפניכם שלושה מעגלים חשמליים:

1. תכננו ניסוי שמטרתו לבדוק אם הנורה צורכת זרם חשמלי.
2. ערכו תרשים של מעגל חשמלי הדרוש לביצוע ניסוי זה. לאחר אישור המורה חברו את המעגל לפי תרשימכם.
3. מדדו את עוצמת הזרם בשלושה ניסיונות שונים, שבכל אחד מהם מד הזרם מחובר בחלק אחר של המעגל.
4. תכננו טבלה להצגת ממצאי המדידה.

##### 5. דיון ומסקנות

- א. הסבירו את תוצאות הניסוי
- ב. מה ניתן להסיק מניסוי זה?

## **פעילות שלישית**

### **דף חקר: האם כל המתכות מוליכות זרם חשמלי באותה מידה?**

בפעילות זו נבדוק אם כל המתכות מוליכות חשמל במידה שווה.

#### **הנחיות לתלמידים**

1. תכננו ניסוי שבאמצעותו תבדקו אם כל המתכות מוליכות חשמל במידה שווה.
2. מה הם הגורמים הקבועים, ומה הם הגורמים המשתנים בניסוי זה?
3. ציירו תרשים של מעגל החשמלי של ניסוי זה.
4. בצעו את הניסוי ורשמו את תוצאותיו בטבלה.
5. מה ניתן להסיק מניסוי זה על יכולת של חומרים שונים להוליך זרם חשמלי?
6. **התנגדות** היא גודל פיזיקלי ההפוך למוליכות. סדרו את המתכות שבדקתם לפי ההתנגדות העולה.
7. השלימו את המשפט הבא: זרם חשמלי במעגל תלוי ב- \_\_\_\_\_ של רכיביו.

#### **משימת בווט**

8. מדדו מסה ונפח של כל מקלון וגלו מאיזו מתכת הוא עשוי. סדרו את המתכות על פי ההתנגדות.

## פעילות רביעית

### דף חקר: איך נשלוט בעוצמת האור?

#### ציוד

- 2 סוללות 1.5V בתוך בית הסוללות
- נורה קטנה (3V) בתוך בית הנורה
- אמפרמטר אנלוגי
- נגד משתנה
- תילים חשמליים

#### הנחיות לתלמידים

ערב אחד נפגשו שני חברים, עומר ועופר, כדי ללכת לראות סרט פעולה חדש. הם רכשו כרטיסים, פופקורן ושתייה והתיישבו באולם הקולנוע בציפייה לקראת הסרט שעמד להתחיל בכל רגע. לאחר הצלצול השלישי המודיע על תחילת הסרט, עומר שם לב כי האור באולם כבה בהדרגה.

- "רגע", אמר עומר, "איך הם עושים את זה?"
- "ימה זה?" שאל עופר.
- "כשאני מכבה אור בחדר שלי, הוא נכבה מיד ברגע שאני לוחץ על המפסק"
- "נו?" עדיין לא הבין עופר.
- "אז איך הם מצליחים לכבות את האורות באיטיות ובהדרגתיות?"
- "עומר, הסרט מתחיל", השיב עופר, "בוא ונראה!"

הסרט היה מעניין וסוחף, אבל עומר לא הצליח להתרכז בו. המחשבה על האורות הנכבים אט-אט לא נתנה לו מנוחה. למחרת בבוקר בבית הספר הוא גרר את עופר, הגיע עמו לחדר פיזיקה וביקש מהמורה הסבר... אך המורה לא מיהר לתת הסברים. במקום זאת הוא נתן לתלמידים סוללות, נורה, תילים חשמליים ועוד מכשיר שהם לא ראו קודם. "זהו **נגד משתנה**", אמר המורה.

1. סרטטו מעגל חשמלי הכולל מקור מתח, נורה, מד זרם ונגד משתנה.
2. חברו מעגל לפי הסרטוט. בחיבור נגד משתנה שימו לב כי יש לחבר אחד מהתילים לקצה הנגד ואת התיל השני לחבר לגררה. (מדוע?)

3. הזיזו בעדינות את הגררה לאורך הנגד המשתנה מבלי לנתק אותה. מה קורה עם אור הנורה?
4. תארו מה קורה לעוצמת הזרם.
5. איזה גודל פיזיקלי השתנה ואיזה גודל נשאר קבוע במהלך הניסוי?
6. נסחו מסקנה לגבי הקשר בין אורך המוליך לבין עוצמת הזרם החשמלי.
7. אם נמקם את גררת הנגד המשתנה בדיוק באמצעו, כיצד תושפע מכך ההתנגדות של הנגד? כיצד יושפע הזרם?
8. נסו להסביר לעומר ועופר כיצד ניתן לשלוט בעוצמת האור של הנורה בעזרת הנגד המשתנה. כתבו הנחיות מפורטות לגבי כיוון התזוזה של הגררה במטרה לקבל את התוצאה הרצויה.
9. דונו בקבוצה וענו על השאלות שבהמשך: במעגל חשמלי הבנוי מסוללה, נגד מתכתי ואמפרמטר, זורם זרם 0.25A. הוציאו נגד זה ובמקומו חיברו למעגל נגד אחר, הזהה לקודם, אך ארוך פי 5 ממנו.
- א. מה יראה אמפרמטר במקרה זה?
- ב. כיצד תשתנה הוריית האמפרמטר, אם נחבר למעגל רק חצי מהנגד המתכתי?
- עד כה בדקנו את השפעתו של סוג המוליך ואת אורכו על התנגדותו, וכתוצאה מכך על הזרם דרכו.
- האם יש עוד גורם אשר יכול להשפיע על הזרם?**
- תכננו ניסוי אשר יראה כיצד התנגדות המוליך תלויה בעוביו (שטח חתך). מה הם הגורמים אשר חייבים להישאר קבועים במהלך הניסוי? ומה הם הגורמים המשתנים? מה ניתן להסיק מניסוי זה? לאחר הניסוי דונו בקבוצה וענו על השאלות: אם במוליך מסוים זורם זרם של 0.5A, מה תהיה עוצמת הזרם אם נקטין את שטח חתך המוליך פי 2? מה תהיה עוצמת הזרם אם ניקח במקומו מוליך בעל שטח חתך גדול פי 3 מזה של המוליך הראשון?

## פעילות חמישית

### דף חקר: בדיקת הקשר בין זרם, מתח והתנגדות

#### ציוד

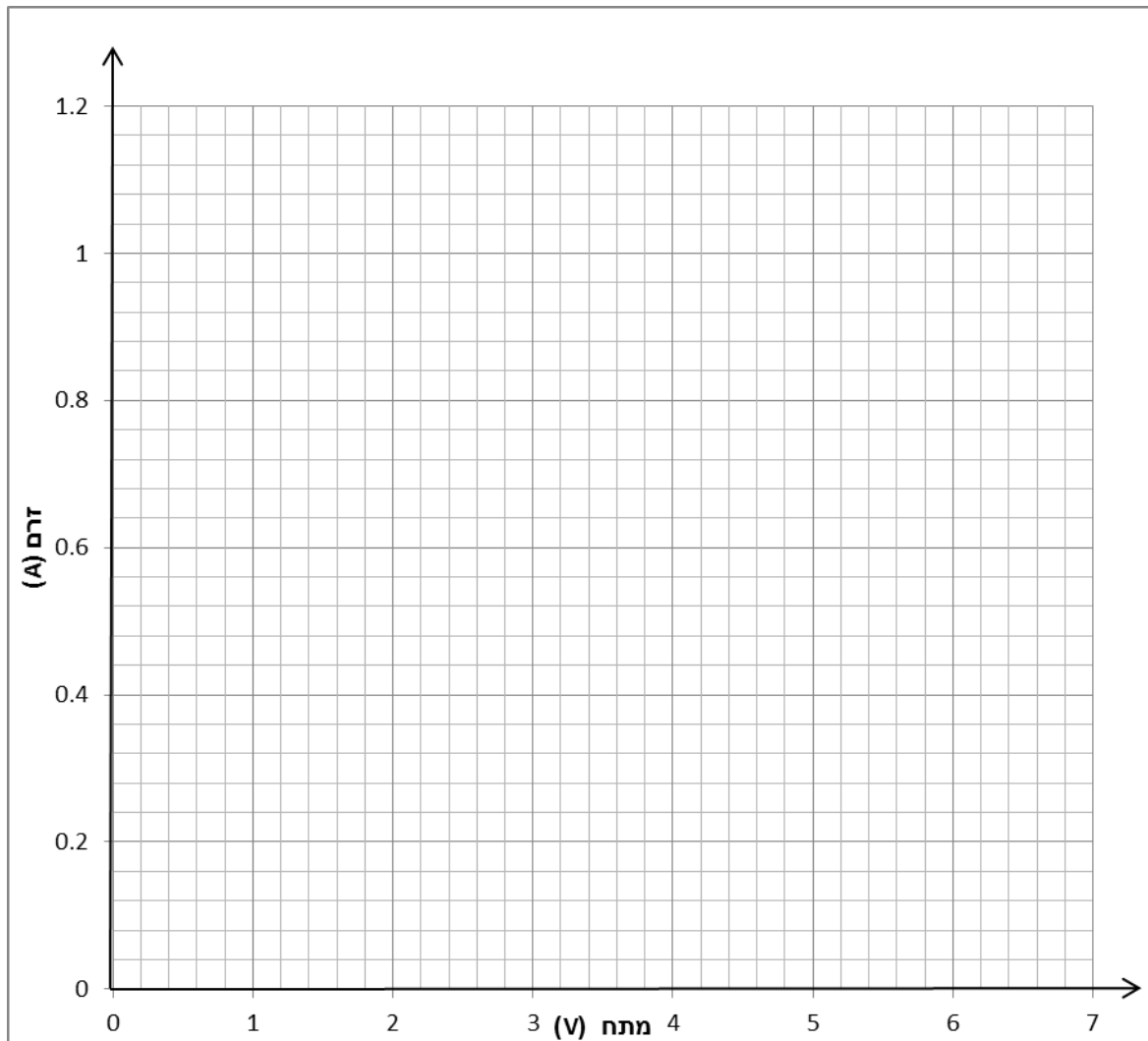
- 4 סוללות 1.5V בתוך בית הסוללות
- אמפרמטר אנלוגי
- נגד משתנה
- תילים חשמליים

#### הנחיות לתלמידים

1. חברו את הנגד המשתנה בשני קצותיו למעגל יחד עם סוללה אחת ומד זרם.
2. רשמו את הוריית מד הזרם.
3. כעת חברו למעגל 2 סוללות וחזרו על הפעולה.
4. חזרו על הפעולה כאשר במעגל 3 סוללות, 4 סוללות.
5. על כל סוללה רשום מה המתח שהיא אמורה לספק. ככל שמספר הסוללות גדל, המתח גדל בהתאם.
6. מלאו את הטבלה:

| מספר מדידה | מספר הסוללות | מתח המסופק למעגל (V) | עוצמת הזרם במעגל (A) |
|------------|--------------|----------------------|----------------------|
| 1          | 1            |                      |                      |
| 2          | 2            |                      |                      |
| 3          | 3            |                      |                      |
| 4          | 4            |                      |                      |

7. בנו גרף המתאר את הקשר בין המתח לבין עוצמת הזרם. מקמו נקודות מתאימות בגוף הגרף והעבירו קו מגמה (אין לחבר נקודות בקווים בודדים!).
8. מהי צורת הגרף?
9. מה ניתן להסיק על הקשר שבין המתח לעוצמת הזרם במעגל כאשר ההתנגדות של המעגל קבועה?
10. לו הייתם משתמשים בנגד בעל התנגדות גדולה יותר, האם שיפוע הגרף היה משתנה? אם כן - גדול יותר או קטן יותר? נמקו את קביעתכם.



### חוק אוהם

חוק אוהם התגלה בשנת 1826 על ידי הפיזיקאי הגרמני גאורג אוהם. חוק זה מציג קשר פשוט, ועם זאת קשר חשוב בין הזרם, המתח וההתנגדות החשמלית במוליך. גאורג אוהם שם לב כי היחס בין המתח המסופק למוליך לבין הזרם דרכו, הוא קבוע ושווה להתנגדותו של המוליך. החוק קובע כי **הזרם דרך המוליך נמצא ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות המוליך**. חוקיות זו ניתן לתאר בעזרת הנוסחה:

$$I = \frac{V}{R}$$

1. התבוננו בנוסחה והוכיחו כי שיפועו של הגרף שווה ל- $(1/R)$ .

2. מתוך שיפוע הגרף שבניתם חשבו את התנגדות המעגל.

פתרו את שאלות החישוב הבאות:

א. סוללה מספקת למוליך מסוים מתח של 1.5V. חשבו את הזרם שעובר דרך המוליך אם

התנגדותו שווה  $10\Omega$ .

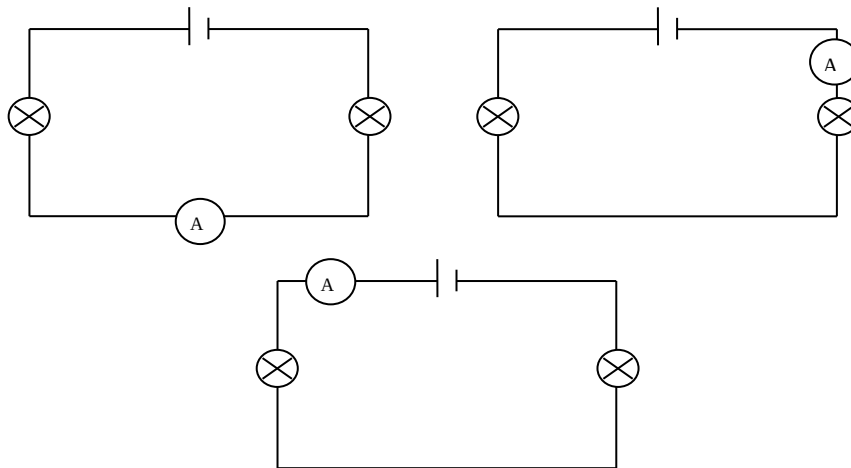
ב. נורת להט מקבלת מתח של 220V. חשבו את התנגדותה של הנורה אם זרם דרכה זרם השווה

ל-0.2A.



## דוגמאות לשאלות לסיכום

1. במעגל חשמלי זורם זרם שעוצמתו 4 אמפר. כמה אלקטרונים עוברים בכל נקודה במעגל במשך שנייה אחת?
2. זרם חשמלי יציב של 2.5 אמפר זורם בתיל חשמלי במשך 4 דקות. חשבו כמה אלקטרונים עוברים במצב זה בכל חלק של המעגל.
3. מצבר של מכונית יכול להתרוקן אם הוא מזרים למעגל זרם גבוה במשך זמן קצר או זרם נמוך במשך זמן ארוך. מצבר אופייני, טעון לגמרי, מסוגל לספק כ-60 אמפר/שעה (60 אמפר למשך שעה אחת או 30 אמפר למשך שעתיים או 15 אמפר למשך 4 שעות וכך הלאה). לילה אחד החנה הנהג את מכוניתו ושכח לכבות את שני הפנסים הראשיים שצורכים 3 אמפר כל אחד (במעגלים נפרדים מאותו המצבר). כמה שעות יעברו עד שהמצבר יתרוקן לגמרי?
4. אם במעגל עם שתי נורות המחוברות בטור זרם של 1 אמפר דרך נורה אחת, מהו הזרם הזורם דרך הנורה השנייה?
5. היכנסו למעבדת זרם וירטואלית בקישור הבא: [מעבדת זרם ישר](#). בנו מעגלים חשמליים כמו בניסוי שביצעתם בכיתה. מדדו זרם על ידי מד הזרם בחלקים שונים במעגל וציינו מהי הוריית האמפרמטר בכל אחת מהמידות. להזכירכם, להלן המעגלים:



6. אתם יודעים כי במעגל סגור הכולל סוללה (מקור מתח), נורה, אמפרמטר ותילים חשמליים זורם זרם חשמלי. האם המתח יוצר זרם או הזרם יוצר מתח? מהי הסיבה ומהי התוצאה?
7. האם מים יזרמו ביתר קלות דרך צינור צר או דרך צינור רחב? האם זרם חשמלי יזרום ביתר קלות דרך חוט מוליך עבה או דרך חוט מוליך דק?
8. נתון תיל נחושת שאורכו 3 מטרים. התנגדותו של תיל זה שווה  $0.03 \Omega$ .
  - א. מצאו מהי התנגדותו של תיל שאורכו חצי מן התיל זה.
  - ב. מה תהיה התנגדותו של תיל נחושת בעל אורך זהה אך בעל שטח חתך גדול ממנו פי 3 בדיוק?
9. היכנסו [למעבדה הוירטואלית](#) של מטח ובנו מעגלים שונים. מדדו זרם חשמלי בעזרת מד זרם וירטואלי ובדקו את עוצמות הזרם בחלקי מעגל שונים. (למורים מומלץ לתת לתלמידים משימות שונות בחיבור מעגלים שונים. ההדמיה מאפשרת בנייה של מגוון מעגלים תוך כדי חיבור פריטים בטור, במקביל או במשולב, שימוש במגוון פריטים ואפשרות מדידה של הזרם שבמעגל).
10. המצבר במכונית מספק לנורה של הפנס הראשי מתח של 12V. מהי התנגדות הנורה אם הזרם הזורם בנורה שווה 2.5A?
11. כמה וולט מושקע בנורת LED של גן DVD, בעלת התנגדות של  $140 \Omega$ , כדי שהזרם דרכה יהיה 25mA?
12. נורת פנס קטנה מאירה בעוצמה מלאה כאשר זורם דרכה זרם של 300mA. נורה זו מחוברת לסוללה שמספקת לה מתח של 1.5V.
  - א. חשבו מהי ההתנגדות של נורה זו.
  - ב. אם הסוללה נחלשת ומספקת רק 1.2V, כיצד ישתנה הזרם? חשבו את גודלו.
13. מקור מתח של 9V גורם לזרם בנורה שהתנגדותה  $1.6 \Omega$ . כמה אלקטרונים עוברים דרך הנורה בכל דקה?
14. מדוע משתמשים בתילי חשמל עבים לנשיאת זרמים חשמליים גדולים ולא בחוטים דקים?
15. נורת פנס קטנה מאירה בעוצמה מלאה כאשר זורם דרכה זרם של 300mA. נורה זו מחוברת לסוללה שמספקת לה מתח של 1.5V.
  - ג. חשבו מהי ההתנגדות של נורה זו.
  - ד. אם הסוללה נחלשת ומספקת רק 1.2V, כיצד ישתנה הזרם? חשבו את גודלו.
16. מקור מתח של 9V גורם לזרם בנורה שהתנגדותה  $1.6 \Omega$ . כמה אלקטרונים עוברים דרך הנורה בכל דקה?
17. מדוע משתמשים בתילי חשמל עבים לנשיאת זרמים חשמליים גדולים ולא בחוטים דקים?

- 
1. פול ג' היואיט, פול, ג' (1977). **פיזיקה לכל**. הוצאת מכון ברנקו וייס
  2. Douglas C. Giancoli. **Physics: principles with applications**. 5th ed.

## **חיבור בטור, במקביל וחשמל בבית**

### **במה עוסקת היחידה?**

יחידת לימוד זו היא חלק ממסמך האב בנושא "חשמל ומגנטיות", והיא מהווה הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת באופנים השונים שבהם ניתן לחבר צרכנים למקור אנרגיה חשמלית. היא דנה בהבדלים בין חיבור בטור לחיבור במקביל בהקשר של שימוש בחשמל בבית ובהשלכות על בטיחות השימוש בחשמל.

יחידת הוראה זו עוסקת בתכנים הבאים:

- חיבור צרכנים בטור ובמקביל.
- קצר, עומס יתר והגורמים להם.
- עקרון הפעולה של אמצעי בטיחות בחשמל - ממסר פחת ומפסק אוטומטי.

### **מטרות היחידה**

1. התלמידים יזהו, יסרטטו ויבנו מעגל טורי ומעגל מקבילי.
2. התלמידים יסבירו כיצד אופן חיבור הצרכנים משפיע על הזרם העובר דרכם.
3. התלמידים יסבירו כיצד אופן חיבור הרכיבים השונים משפיע על הזרם הכולל במעגל.
4. התלמידים יתארו את אופן חיבור מכשירי החשמל בבית.
5. התלמידים יצינו את המצבים המסוכנים העלולים להיווצר במערכת החשמלית: קצר, עומס יתר, התחשמלות, וידעו מה גורמיהם.
6. התלמידים יתארו את עקרון פעולתם של ממסר פחת ומפסק אוטומטי.

### **מיומנויות**

- ביצוע ניסויים והסקת מסקנות.
- עיבוד תוצאות הניסוי באמצעות הכללה.
- בניית מעגלים חשמליים על פי סרטוטם.
- סרטוט מעגל חשמלי שהורכב בכיתה באמצעות שימוש בסימנים מוסכמים.
- דרכי פתרון בעיות.

## **מבנה היחידה**

הפעילויות המוצעות ביחידה זו מבוססות על הידע שנלמד ביחידות הקודמות בנושא חשמל.

הידע החדש נבנה בהדרגתיות בעזרת פעילויות בעלות אופי חקרני.

1. בניית מעגלים שונים (בטור ובמקביל) בעזרת מרכיבים דומים.
  2. הבנת ההשפעה של אופן החיבור של הרכיבים על הזרם דרך כל רכיב ועל הזרם הכולל במעגל.
  3. היכרות עם התופעות של קצר, עומס יתר והתחשמלות. היכרות עם הסכנות הטמונות בתופעות אלו ודרכי ההתמודדות אִתָּן.
  4. היכרות עם אמצעי בטיחות (ממסר פחת ומפסק אוטומטי) למניעת סכנות אלה.
- ביחידה דוגמאות לתופעות מחיי היום-יום ופיתוחים טכנולוגיים הקשורים למושגים אלה. במהלך הלמידה משולבים ניסויי תלמיד ודיונים.

## דף חקר 1: חיבורים שונים במעגלים חשמליים

### מטרה

בניית מעגלים חשמליים שונים ממרכיבים זהים והבנת ההבדלים ביניהם.

### ציוד

- בית סוללות עם 3 סוללות של 1.5 וולט כל אחת
- 3 נורות זהות של 4.5 וולט
- חוטי חיבור מוליכים
- מפסק
- 2 מדי זרם (לא לשימוש בתחילת הניסוי)

### הנחיות לתלמידים

### חלק א: כמה מעגלים ניתן לבנות ממרכיבים נתונים?

1. לפניכם 3 נורות, בית סוללות עם 3 סוללות של 1.5 וולט כל אחת, חוטי חיבור מוליכים, מפסק. דונו בקבוצתכם על המעגלים השונים שניתן לחבר מציוד זה. נסו להציע כמה שיותר מעגלים חשמליים.
2. סרטטו תרשים לכל אחד מהמעגלים שהצעתם. כמה מעגלים **שונים** הצלחתם לסרטט?
3. השוו את התרשימים שסרטטתם לתרשימים של קבוצות אחרות.
4. בנו בעזרת הציוד הנתון את אחד מהמעגלים שהצעתם (היעזרו במורה להנחיה איזה מבין המעגלים הקבוצה שלכם תבנה). חברו את המפסק בסמוך למתקן הסוללות.
5. השוו את עוצמת ההארה של הנורות השונות במעגל שבניתם.
6. רשמו את התוצאות עבור המעגל שבניתם בצורה הבאה: (אור חלש, בינוני, חזק)

**שמות חברי הקבוצה:**

**תרשים המעגל**

**עוצמת האור: נורה 1 \_\_\_\_\_ נורה 2 \_\_\_\_\_ נורה 3 \_\_\_\_\_**

7. רכזו את התוצאות של כל הקבוצות בטבלה הבאה:

| מספר המעגל | עוצמת האור נורה 1<br>(חלש, בינוני, חזק) | עוצמת האור נורה 2<br>(חלש, בינוני, חזק) | עוצמת האור נורה 3<br>(חלש, בינוני, חזק) | סרטוט המעגל<br>(כולל מספור של כל נורה) | סוג המעגל: A או B<br>(יושלים בהמשך הפעילות - סעיף 8) |
|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| מעגל 1     |                                         |                                         |                                         |                                        |                                                      |
| מעגל 2     |                                         |                                         |                                         |                                        |                                                      |
| מעגל 3     |                                         |                                         |                                         |                                        |                                                      |
| מעגל 4     |                                         |                                         |                                         |                                        |                                                      |
|            |                                         |                                         |                                         |                                        |                                                      |



18. בנו מעגל עם נורה אחת בלבד ומד זרם. השוו את קריאת מד הזרם לקריאה מסעיף הקודם  $I_2 = \text{---} (A)$ .

19. מה תהיה לדעתכם עוצמת הזרם  $I_3$  במעגל שבו שתי הנורות מחוברות באופן זהה לצורת החיבור שבמעגל B (דרגו את  $I_3, I_2, I_1$  מהקטן לגבוה)? נמקו.

20. בנו את המעגל, הכולל שתי נורות, ומדדו את הזרם העובר דרך המקור. האם השערתכם הייתה נכונה? רכזו את המדידות בטבלה שלפניכם:

| מספר נורות במעגל   | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|---|---|---|
| עוצמת הזרם הכולל I |   |   |   |

21. אופן החיבור במעגל B נקרא טורי. מה ניתן להגיד על פי הניסוי, על הקשר בין עוצמת הזרם הכולל במעגל ומספר הנורות במעגל טורי?

22. תארו את הקשר בין ההתנגדות הכוללת של המעגל הטורי לבין מספר הנורות באותו המעגל.

### נסכם את אשר למדנו:

קיימות שתי אפשרויות לחיבור מעגלים חשמליים: חיבור במקביל וחיבור בטור. מה ההבדלים בין חיבורים אלה?

#### חיבור במקביל

במעגל A - שלוש הנורות מחוברות במקביל זו לזו.

במעגל זה עוצמת הזרם של נורה אחת במעגל כמעט ולא מושפעת ממספר הנורות המחוברות במקביל אליה, וכך גם עוצמת ההארה.

לעומת זאת, המטענים העוברים דרך כל נורה שונים: הזרם הכללי במעגל מתפצל בין הנורות השונות. חלק ממנו עובר דרך הנורה הראשונה, חלק דרך הנורה השנייה וחלק דרך הנורה השלישית. מכיוון שדרך כל נורה עובר זרם דומה למה שהיה עובר דרכה אילו חברה לבד למקור, הזרם הכולל יגדל ככל שנחבר במקביל מספר רב יותר של נורות.

על פי חוק אום:

$$I = \frac{V}{R}$$

אם **עוצמת הזרם הכולל** (העובר דרך הסוללה) **גדלה**, משמעות הדבר שככל שמחברים יותר רכיבים במקביל, ההתנגדות הכוללת של המעגל **קטנה**.

#### סיכום מעגל בחיבור במקביל:

- עוצמת הזרם הכולל גדלה ככל שמוסיפים רכיבים במקביל.
- עוצמת הזרם הכולל היא סכום עוצמות הזרמים העוברים דרך הרכיבים השונים.
- ההתנגדות הכוללת קטנה ככל שמחברים יותר רכיבים במקביל.
- הוצאת רכיב אחד מהמעגל כמעט שאינה משפיעה על שאר הרכיבים.

## חיבור בטור

במעגל B - שלוש הנורות מחוברות בטור זו לזו. הנורות נמצאות באותה לולאה, והמטענים העוברים דרך נורה אחת, עוברים אחר כך דרך הנורה השנייה והנורה השלישית. בחיבור בטור עוצמת הזרם הכולל קטנה ככל שנחבר יותר נורות. ולכן על פי חוק אום : בחיבור בטור ההתנגדות הכוללת גדלה ככל שמחברים בטור יותר רכיבים.

## סיכום חיבור בטור:

- עוצמת הזרם העובר דרך כל רכיב במעגל שווה.
- עוצמת הזרם הכולל קטנה ככל שמוסיפים רכיבים במעגל.
- ההתנגדות הכוללת גדלה ככל שמחברים יותר רכיבים במעגל.
- הוצאת רכיב אחד מהמעגל מפסיקה את הזרם בכל המעגל.

## שאלות לדיון:

1. ציירו שוב את תרשימי ארבעת המעגלים מחלק א של הפעילות הקודמת. הוסיפו לכל תרשים מכשירי מדידה היכולים למדוד את עוצמת הזרם **דרך כל נורה** ועוצמת הזרם **הכולל**. **שימו לב**: יש לצייר את מספר מדי הזרם **המינימלי** הדרוש.
2. ציינו בטבלה את סוג החיבור של כל מעגל.
3. נסו לדרג את עוצמת הזרם העוברת דרך כל נורה ואת עוצמת הזרם הכוללת בכל מעגל (השתמשו במילים: חלש, בינוני או חזק כדי לתאר את עוצמת הזרם).

| עוצמת הזרם<br>הכולל במעגל | עוצמת הזרם<br>נורה 3 | עוצמת הזרם<br>נורה 2 | עוצמת הזרם<br>נורה 1 | סוג החיבור<br>(טורי/<br>מקבילי) |        |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|--------|
|                           |                      |                      |                      |                                 | מעגל 1 |
|                           |                      |                      |                      |                                 | מעגל 2 |
|                           |                      |                      |                      |                                 | מעגל 3 |
|                           |                      |                      |                      |                                 | מעגל 4 |

4. השוו את הטבלה שבניתם לטבלה שקיבלתם בחלק א לגבי עוצמת ההארה של הנורות השונות בכל מעגל.
5. מה ניתן להסיק מהטבלה? השלימו את המשפטים הבאים:
  - בחיבור בטור ככל שמספר הנורות גדל, התנגדות המעגל \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה), ועוצמת הזרם הכולל (שעובר דרך הסוללות) במעגל \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה).
  - בחיבור במקביל ככל שמספר הנורות גדל, ההתנגדות הכוללת \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה) ועוצמת הזרם הכולל (שעובר דרך הסוללות) במעגל \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה).
  - בחיבור בטור הוספת נורה \_\_\_\_\_ (משפיעה / כמעט שלא משפיעה) על שאר הנורות.
  - בחיבור במקביל הוספת נורה \_\_\_\_\_ (משפיעה / כמעט שלא משפיעה) על שאר הנורות.



### **חלק ג (רשות): כיצד משפיע ניתוק של נורה אחת על עוצמת האור של הנורות המחוברות?**

בפעילות הקודמת ראינו מה קורה כאשר מוציאים נורה מבית נורה במעגל טורי ובמעגל מקבילי. ננסה לשער מה יקרה לשני המעגלים הנוספים שחקרנו בתחילת הפעילות ( נסמן אותם באותיות C ו-D בתיאום עם המורה).

1. מה לדעתכם יקרה לשאר הנורות אם אחת הנורות במעגל נשרפת. כתבו את השערתכם ונמקו לגבי כל אחת משתי הנורות הנוספות במעגל.
2. רכזו את התוצאות שקיבלתם בטבלאות הבאות. (לגבי כל נורה יש לכתוב: נותקה, דולקת או כבויה)

#### **מעגל C**

ציור המעגל כולל סימון מספור הנורות:

| נורה 1 | נורה 2 | נורה 3 |
|--------|--------|--------|
| נותקה  |        |        |
|        | נותקה  |        |
|        |        | נותקה  |

#### **מעגל D**

ציור המעגל כולל סימון מספור הנורות:

| נורה 1 | נורה 2 | נורה 3 |
|--------|--------|--------|
| נותקה  |        |        |
|        | נותקה  |        |
|        |        | נותקה  |

3. מה ניתן להסיק מפעילות זו?

4. בחרו באפשרות הנכונה בטבלה שלפניכם:

| במעגל טורי                                                                                        | במעגל מקבילי                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| הוספת מכשיר או נורה <b>משפיעה</b> / <b>לא משפיעה</b> על תפקוד המכשירים האחרים.                    | הוספת מכשיר או נורה <b>משפיעה</b> / <b>לא משפיעה</b> על תפקוד המכשירים האחרים.                    |
| כיבוי אחד המכשירים (שריפת אחת הנורות) <b>מונע</b> / <b>לא מונע</b> את הפעלת המכשירים האחרים.      | כיבוי אחד המכשירים (שריפת אחת הנורות) <b>מונע</b> / <b>לא מונע</b> את הפעלת המכשירים האחרים.      |
| הוספת מכשירים נוספים (נורות נוספות) <b>מגדילה</b> / <b>מקטינה</b> את ההתנגדות הכוללת של המעגל.    | הוספת מכשירים נוספים (נורות נוספות) <b>מגדילה</b> / <b>מקטינה</b> את ההתנגדות הכוללת של המעגל.    |
| הוספת מכשירים נוספים (נורות נוספות) <b>מגדילה</b> / <b>מקטינה</b> את הזרם הכולל דרך מקור האנרגיה. | הוספת מכשירים נוספים (נורות נוספות) <b>מגדילה</b> / <b>מקטינה</b> את הזרם הכולל דרך מקור האנרגיה. |

5. כיצד יש לחבר את מכשירי החשמל בבית? בטור או במקביל זה לזה? הביאו שני נימוקים לטענתכם.

## דף חקר 2: בטיחות

### הסיפור של עמוס

"חורף. קר וחשוך בחוץ. עמוס חוזר הביתה לאחר יום עבודה מפרך. בדרכו הביתה הוא חולם על מקלחת חמה, קפה מהביל וקרואסון חם.

הוא נכנס הביתה, מדליק את האורות והמזגן, מפעיל את הדוד לחימום המים, מניח את הקרואסון לחימום במיקרוגל. מפעיל את הקומקום החשמלי וכבר מתחיל לחייך בציפייה לפינוק שלו הוא ייחל כל הדרך הביתה. אבל ברגע שהוא מפעיל את מדיח הכלים, החשמל בבית "קופץ". איזו אכזבה!!!"

• עזרו לעמוס להבין מה קרה.

• כיצד יוכל להתגבר על התקלה?

### מהסיפור של עמוס לבטיחות בשימוש בחשמל בבית

1. באיזה אופן מחוברים המכשירים בביתו של עמוס? בטור או במקביל? נמקו.
2. הסבירו כיצד משפיע חיבור מספר רב של מכשירים על ההתנגדות הכוללת של המעגל הביתי.
3. הסבירו כיצד משפיע חיבור מספר רב של מכשירים על עוצמת הזרם הכולל במעגל.
4. שער מה עלול לקרות לחוטי החשמל בכניסה לבית כתוצאה מכך.



ראוסטט (נגד משתנה)

**כדי לאמת את השערתכם לשאלה הקודמת, נצפה בהדגמה הבאה:**

נבנה מעגל הכולל סוללות או ספק מתח ונחבר אליו מד זרם ונגד משתנה. נתחיל מהתנגדות מרבית (הגררר הכי רחוקה מנקודת הכניסה של הזרם). נקרב בהדרגתיות את הגררר לנקודת הכניסה ונצפה במתרחש.

### ענו על השאלות וסכמו את אשר ראיתם:

- מה קורה להתנגדות הנגד המשתנה ככל שאורך קטע החוט שבמעגל קטן? התנגדות \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה)
- מה קורה לעוצמת הזרם העובר בחוט של הנגד המשתנה? ככל שאורך קטע החוט שבמעגל קטן, עוצמת הזרם \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה).
- הניחו מד טמפרטורה על גבי החוט וגלו מה קורה לטמפרטורה של החוט של הנגד. ככל שאורך החוט קטן, עוצמת הזרם דרכו \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה), והטמפרטורה של החוט \_\_\_\_\_ (עולה/יורדת).

### שאלות לדיון:

1. חשבו מה עלול לקרות אם חוטי החשמל בכניסה לבית יתחממו יתר על המידה. גם אם לא קורה אסון, האם יהיה קל לתקן את התקלה?
2. כיצד ניתן לדעתכם למנוע את הסיכונים האלו ולגרום לכך שקל יהיה לטפל בבעיה?

## **האם נוכל לשתות קפה בזמן המתנה לחימום המים בדוד חימום חשמלי (בוילר)?**

**כמה מכשירים נוכל להפעיל בו זמנית?**

**התשובה תלויה בגודל חיבור החשמל בדירתכם. מה הן האפשרויות?**

בעידן הטכנולוגי איכות החיים שלנו ושל משפחתנו קשורה לשימוש במכשירי חשמל רבים. לעתים קרובות נדרשת הפעלת מספר רב של מכשירי חשמל בו זמנית.

כפי שראינו בפעילות הקודמת, המכשירים בבית מחוברים במקביל. ככל שמשתמשים במספר רב של מכשירים בו זמנית, עוצמת הזרם הכולל של הבית גדלה.

הזרם המרבי המותר בבית נקבע על פי היכולת של חוטי החשמל, שחברת החשמל מתקינה, לשאת אותו בלי להתחמם חזק מדי. כפי שראיתם, עוצמת זרם גדולה מדי עלולה לגרום להתחממות יתר של החוטים.

עד לפני כמה שנים, כל בית אב היה מחובר כך שיוכל להשתמש בו זמנית בעוצמת זרם כוללת של 25 אמפר.

היום עוצמת זרם זו כבר לא מספיקה! ניתן להזמין הגדלת חיבור, כלומר – להגדיל את עוצמת הזרם הכולל

המותרת לדירה מ-25 אמפר ל-40 אמפר או להתקין חיבור המאפשר להגדיל את הזרם פי 3 (הנקרא "חיבור

תלת-פאזי"), זאת אומרת  $25 \times 3 = 75$  אמפר.

**חריגה מעוצמת הזרם הכולל המותרת נקראת "עומס יתר".**

באתר הרשום למטה תוכלו לבדוק מהם המכשירים שניתן להפעיל בו זמנית לפי גודל החיבור שעומד לרשותכם בבית.

סמנו את המכשירים שתמצו להפעיל בו זמנית וקבלו את התשובה.

[מחשבון העומס](#)

## **אמצעי בטיחות בשימוש בחשמל להגנה מפני עומס יתר (משימה לבית)**

היעזרו במקורות מידע וחפשו מידע על אמצעי הבטיחות להגנה מפני עומס יתר: מבטח חשמלי ונתיך.

בדקו לגבי כל אמצעי בטיחות את התשובות לשאלות שלפניכם:

1. מה התפקיד של אמצעי הבטיחות?

2. מה עקרון הפעולה שלו?

3. מה היתרונות בשימוש בו?

4. מה החסרונות בשימוש בו?

### **סיפורו של עמוס (המשד)**

**עמוס הפנים את המסר וכיבה חלק מהמכשירים. אבל על קפה חם, אין לוותר!**  
**בזמן שהפעיל את הקומקום, איתרע מזלו ונשפכו מים על נקודת המגע של הקומקום. שוב "קפץ החשמל".**

- מה קרה עכשיו? עזרו לעמוס להבין.
- מה עליו לעשות כדי "שהחשמל לא יקפוץ"? האם יזכה היום לשתות קפה חם? הפעם עמוס גרם ל"קצר חשמלי".

### **קצר חשמלי**

קצר חשמלי זהו מצב שבו נוצר מגע ישיר בין חלקי מעגל חשופים. ההתנגדות החשמלית קטנה באופן משמעותי, וכך גדלה משמעותית עוצמת הזרם. מאחר שזרם חשמלי גורם לחימום התילים, זרם גדול מדי גורם לחימום רב ופיתאומי של התילים. הסיבות להיווצרות הקצר רבות ומגוונות. ישנם מקרים של קצר חשמלי הנובעים מתקלה כלשהי בארון החשמל עצמו, ואילו במקרים אחרים הקצר עלול להיגרם בעקבות תקלה במכשיר החשמל או בחוט החיבור. כמו כן הקצר עלול להיגרם מחדירה של נזל מוליך אל תוך המכשיר החשמלי. לא משנה מהי הסיבה לקצר או מהו מקורו, מדובר באירוע שעלול גם להסתיים באסון כבד.

### **שאלות למחשבה ולדיון**

#### **ראשל"צ: אסון נמנע ברחוב החרצית (27/3/2009)**

דרמה גדולה התחוללה בשבוע שעבר בבניין דירות ברחוב החרצית בראשון לציון לאחר ששריפה שפרצה באחת הדירות עקב קצר חשמלי, התפשטה בבניין ואיימה לפגוע בדיירים.

#### **האב וילדי הובאו למנוחות 27/3/2012**

לפי הערכה ראשונית של המשטרה, השריפה שפרצה אמש בבית משפחת שאער ברחובות, נגרמה ככל הנראה כתוצאה מקצר חשמלי של מטען שהיה מחובר לחשמל.

#### **כיצד מטען לטלפון נייד יכול לגרום לקצר חשמלי?**

1. הסבירו כיצד המטען החשמלי גרם לשריפה.
2. כיצד ניתן למנוע קצר חשמלי שעלול לגרום לשריפה?
3. על איזה אמצעי בטיחות הייתם ממליצים?

### **דף חקר 3: האם גופינו מוליך זרם חשמלי?**

כדי לענות על השאלה נשתמש בטסטר הכולל סוללה/מיקרואמפרמטר. צרו מעגל אנושי מתלמידי הכיתה. החזיקו ידיים. הראשון יחזיק במברג שבטסטר, והאחרון - בבורג שבקצה גוף הפלסטיק.

האם הנורה נדלקת? מה זה אומר לגבינו?

**לתשומת לבכם! הזרם המסופק על ידי הסוללה שבטסטר נמוך מאוד ואינו מסוכן. אין לבצע את הניסוי בעזרת מקור חשמל אחר!**

#### **הגדר החשמלית**

1. פנו לפעילות [גדר חשמלית](#) שבאתר מוזיאון המדע בירושלים. צפו בתחילת [הסרט על גדר חשמלית](#).
2. ענו על [שאלון ההשערות](#) תוך כדי צפייה.
3. חזרו וצפו בסרטון כולו אם יש צורך.
4. ענו על [שאלון מסכם לפעילות](#).
5. בתום הפעילות צרו שרשרת של תלמידים והדגימו מדוע הזרם הולך וקטן מתלמיד לתלמיד. לאן עבר הזרם שחסר?
6. מה מאפיין אם כך מעגל חשמלי שבו היה מקרה של התחשמלות?
7. נסו להציע פתרון טכני לזיהוי התחשמלות במעגל חשמלי.

#### **התחשמלות (הרחבה)**

סכנה חמורה נוספת העלולה לקרות בעת שימוש בחשמל, היא סכנת **ההתחשמלות**. כידוע אנחנו מוליכים חשמל כתוצאה מהנוזלים שבגופנו. בעת התחשמלות עובר זרם חשמלי דרך גוף האדם או גוף בעל חיים. כמה גורמים משפיעים על חומרת ההתחשמלות ועל מידת הנזק שאותה היא גורמת:

- המתח בין נקודת הכניסה והיציאה משפיע על הזרם אשר יזרום דרך גוף האדם (על פי חוק אום), זרמים חזקים יותר יגרמו לנזקים חמורים יותר.
- ההשוואה בין זרם החילופין (שמסופק על ידי חברת החשמל) והזרם הישר קשה יותר מכיוון שאין כלל ברור בנושא. מצד אחד, זרם ישר מביא לכיווץ שרירים המונע מהקורבן לנתק מגע וגורם לכוויות רבות. מצד שני, זרם חילופין הזורם דרך רשת החשמל, גורם להפרעות חזקות יותר בתפקוד הלב.
- ההתנגדות החשמלית הממוצעת של עור האדם נמצאת בסביבות 10,000 אום. לעומת זאת, עור רטוב הוא בעל התנגדות חשמלית קטנה בערך פי 10 ומגדיל משמעותית את הסיכוי להתחשמלות.
- למסלול הזרימה עצמו ישנה השפעה חזקה על הנזקים הנגרמים. לדוגמה, מצב שבו נקודות הכניסה והיציאה הן שתי הידיים, מסוכן הרבה יותר ממצב שבו הנקודות נמצאות על אותה יד. זאת משום שבמקרה הראשון הזרם החשמלי יעבור דרך החזה, סמוך יותר ללב ולריאות.
- הגורמים המשפיעים בעיקר הם **הזרם וזמן החשיפה**.

## **הסכנות הנגרמות כתוצאה מהתחשמות (הרחבה)**

הטבלה הבאה מרכזת את הנזקים העלולים להיגרם כתוצאה מהתחשמות.

| זרם חשמלי<br>(מיליאמפר) | מתח נדרש<br>בעור יבש<br>(וולט) | מתח נדרש בעור<br>רטוב<br>(וולט) | השפעות אפשריות                                                            |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1                       | 10                             | 1                               | אין כל השפעה על הגוף.                                                     |
| 5                       | 50                             | 5                               | מכת חשמל מורגשת, אך לא מכאיבה.                                            |
| 10-20                   | 100-200                        | 10-20                           | כיווץ שרירים, הקטנת יכולת שליטה.                                          |
| 50                      | 500                            | 50                              | כיווץ שרירים ללא יכולת שליטה, כוויות, הפרעות לפעילות הלב, קשיים בנשימה.   |
| יותר מ-100              | יותר מ-1,000                   | יותר מ-100                      | כיווץ שרירים ללא יכולת שליטה, כוויות, פרפור חדרי הלב, קשיים בנשימה, מוות. |

מידע נוסף על סכנות התחשמות:

1. [מאמר רקע: על סכנת התחשמות](#)
2. [זיהוי ועזרה ראשונית לנפגעי התחשמות](#)

## **פוליגרף או "מכונת אמת" - יישום טכנולוגי לתופעת המוליכות החשמלית של גופינו (הרחבה)**

**פוליגרף** הוא מכשיר אשר נועד לקלוט את תגובותיו הבלתי רצוניות של בן אדם כדי לבדוק אם הוא משקר. הפוליגרף משמש בעיקר בחקירה פלילית, אך משמש גם במבדקי תעסוקה ובאבטחה. אמינות הפוליגרף, כמו גם לגיטימיות השימוש בו, שנויה במחלוקת. מקור השם פוליגרף ביוונית, ומשמעו רב (פולי) רישום (גרף). מדובר במכשיר שהומצא בשנות ה-20 של המאה ה-20 בארצות הברית לצורך אבחון אמת או שקר. הפוליגרף מבוסס על ההנחה שכאשר אדם משקר, מתרחשים בגופו שינויים פיזיולוגיים בלתי נשלטים כגון: עלייה בלחץ דם, שינוי בדופק ושינוי במוליכות החשמלית של העור. ההנחה היא שאם האדם משקר, זיעתו מוגברת והולכתו גדלה.

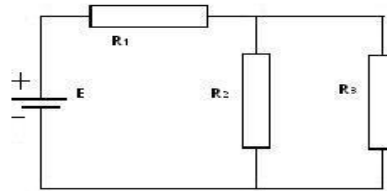
## **דוגמאות לשאלות לסיכום**

1. ככל שהמוליך עבה יותר, התנגדותו יורדת (שאר הגורמים קבועים). לאיזה מעגל - טורי או מקבילי - התנהגות זו דומה? הסבירו.
2. ככל שהמוליך ארוך יותר, התנגדותו גדלה (שאר הגורמים קבועים). לאיזה מעגל - טורי או מקבילי - התנהגות זו דומה? הסבירו.
3. דנה ועומר רוצים לבנות שרשרת נורות לסוכה. עומר מציע לחבר את הנורות בטור כי זו שרשרת. דנה טוענת שפתרון זה אינו יעיל שכן הנורות לא יאירו באור חזק, אם בכלל.
  - א. מי צודק? הסבירו.
  - ב. כיצד תציעו להם לחבר את הנורות בסוכה? הביאו שני טיעונים לתשובתכם.
  - ג. בסוכה של דנה ועומר חיבור חברת החשמל מאפשר זרם כולל של 25 אמפר. בהנחה שדרך כל נורה, במצב תקין, זורם זרם של 0.1 אמפר - כמה נורות יוכלו לחבר במקביל בשרשרת (בהנחה שאין מכשיר חשמלי אחר הפועל בסוכה)? הסבירו כיצד הגעתם לתשובה.
4. למשפחת להט תנור חימום, ובו שתי ספירלות (גוף חימום) זהות. לתנור שלושה מצבים:
  - מצב 1: רק ספירלה אחת עובדת.
  - מצב 2: שתי הספירלות מחוברות בטור.
  - מצב 3: שתי הספירלות מחוברות במקביל.
  - א. באיזה מצב הזרם העובר דרך התנור יהיה הקטן ביותר? באיזה מצב הוא יהיה הגדול ביותר?
  - ב. באיזה מצב צבע הספירלות יהיה חזק יותר (אדום יותר)? במצב 2 או במצב 3? נמקו.
  - ג. באיזה מצב צבע הספירלות יהיה חזק יותר (אדום יותר)? במצב 1 או במצב 2? נמקו.
  - ד. באיזה מצב צבע הספירלות יהיה חזק יותר (אדום יותר)? במצב 1 או במצב 3? נמקו.
5. לפעמים נשפכים מים מהקומקום ומרטיבים את המגע החשמלי שמתחת לקומקום. המבטח המותקן על לוח החשמל מפסיק את הזרם החשמלי. איזו תקלה קרתה כאן? הסבירו.
6. צחי חזר הביתה לאחר יום לימודים ארוך והדליק את דוד המים החשמלי (בוילר) כדי לעשות מקלחת חמה. על מנת לא לבזבז זמן הוא גם הפעיל בו זמנית את מדיח הכלים, מכונת הכביסה, הקומקום החשמלי ואת האורות בכל הבית. פתאום נעשה חושך? מה קרה? מה צחי צריך לעשות כדי שיהיו לו מים חמים?

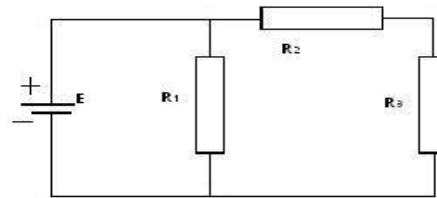
7. (רשות) בסרטוטים הבאים כל הנגדים זהים, וכל הסוללות זהות.

א. דרגו את עוצמת הזרם העובר בנגדים השונים במעגל, מהגבוה לנמוך (השתמשו בסימן גדול מ, קטן מ, או שווה).

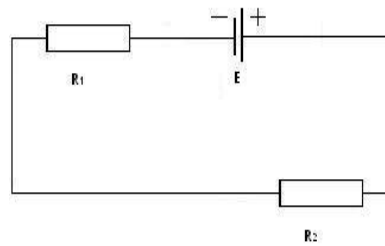
א :



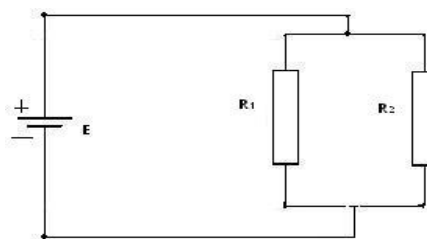
ב :



ג :



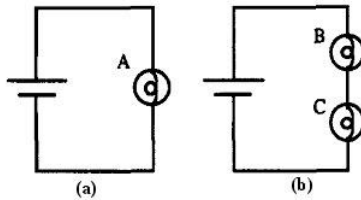
ד :



ב. באיזה מעגל הזרם הכולל גדול יותר, ג או ד?

ג. באיזה מבין המעגלים, א או ב, הזרם העובר דרך  $R_1$  גדול יותר?

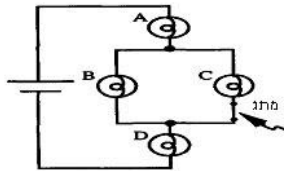




8. במעגלים המסורטטים שתי הסוללות זהות. כמו כן הנורות A, B ו-C זהות.

א. האם ההתנגדות במעגל (a) גדולה, קטנה או שווה להתנגדות במעגל (b)?

ב. האם עוצמת הזרם במעגל (a) גדולה, קטנה או שווה לזרם במעגל (b)?  
נמקו.

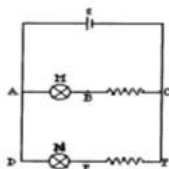


9. במעגל המסורטט המתג שליד נורה C סגור בהתחלה.

א. דרגו את עוצמת ההארה של הנורות השונות כשהמתג סגור.  
ב. מה יקרה להתנגדות המעגל אם נפתח את המתג שליד C?  
תגדל / תקטן / לא תשתנה? נמקו.

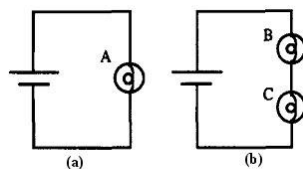
ג. מה יקרה לעוצמת ההארה של נורה A אם נפתח את המתג שליד C? תגדל / תקטן / לא תשתנה?  
נמקו.

ד. דרגו את עוצמת ההארה של הנורות השונות כשהמתג פתוח.



10. במעגל המסורטט שתי הנורות M ו-N דולקות. מוציאים את הנורה N מבית הנורה שלה. האם עוצמת ההארה של הנורה M תגדל, תקטן או לא תשתנה? נמקו.

11. במעגלים המסורטטים שתי הסוללות **לא** זהות. הנורות A, B ו-C זהות. עוצמת ההארה של הנורות בשני המעגלים זהה. באיזה מעגל המתח שמספקת הסוללה גדול יותר? הסבירו.



## **תופעות ובטיחות בשימוש באנרגיה חשמלית**

### **תופעות במעגל החשמלי**

#### **1. קצר חשמלי**

קצר חשמלי הוא מצב שבו נוצר מגע ישיר בין חלקי מעגל חשופים. ההתנגדות החשמלית קטנה באופן משמעותי, וכך גדלה משמעותית עוצמת הזרם. מאחר שזרם חשמלי גורם לחימום התילים, זרם גדול מדי גורם לחימום רב ופתאומי של התילים. קצר חשמלי הוא אחת התופעות השכיחות בבתיים, והסיבות לה רבות ומגוונות. ישנם קצרים חשמליים שהסיבה להם היא תקלה כלשהי בארון החשמל עצמו או במכשיר חשמלי. לא משנה מהי הסיבה לקצר או מהו מקורו, מדובר באירוע שיכול גם להסתיים באסון כבד.

#### **מדוע זה קורה?**

ישנם מקרים שבהם הקצר החשמלי נובע מבידוד לקוי בארון החשמל שלנו או במכשיר פגום או חוט חשמל פגום. גם במקרים שבהם קיימת חדירה של נוזלים או חומרים אחרים ישירות אל ארון החשמל או בין הכניסה ליציאה ממכשיר החשמל (כגון מים שהרטיבו את נקודות המגע של קומקום חשמלי), עשוי להיגרם קצר כזה. כשמדובר במכשירי החשמל עצמם, הסיבות לכך דומות. פגיעה במוליכים החשמליים או בבידוד של המכשיר מובילה לקצר חשמלי שמקורו במכשיר החשמלי שברשותנו. כדי לטפל במקור הבעיה באופן הנכון ביותר, חשוב לזהות את מקור הקצר. ייתכן כי מדובר בשקע חשמלי, במנורה שנשרפה או במכשיר חשמלי שגרם לקצר. לעתים נוכל אנו עצמנו לפתור את הבעיה על ידי החלפת נורה שנשרפה למשל. אולם, ישנם מצבים שבהם נזדקק לעזרתם של אנשי מקצוע מתאימים לצורך הטיפול בבעיה שעשויה להיות מורכבת יותר.

כתוצאה מהתקלות המוזכרות, מוצא זרם החשמל דרך קיצור בעלת התנגדות נמוכה. למשל, במכשיר פגום יכול להיווצר מגע בין הכניסה והיציאה של מעגל החשמלי של המכשיר בלי לעבור דרך המכשיר עצמו. למכשירים יש התנגדות גדולה בהרבה מזו של החוטים המוליכים. אם נוצר מגע כזה, נוצר בעצם מעגל מקביל למכשיר, בעל התנגדות נמוכה מאוד. כפי שלמדנו בפעילות הראשונה, התנגדות נמוכה משמעותה זרם גבוה. כתוצאה מהקצר עובר עכשיו זרם גבוה מאוד במעגל!!! כתוצאה מכך עלולים להיגרם נזקים שונים:

- הרס פיזי של המכשיר כתוצאה מהחום הגבוה המופק;
- שריפה שנגרמת מהחום;
- התחשמלות אם הקצר נגרם על ידי מגע אדם.

**זכרו! קצר מהווה מצב של סכנה, ושריפות רבות נגרמות מקצר חשמלי.**

**אם הרחתם ריח שרוף המגיע מכיוונו של מכשיר חשמלי כלשהו, כבו אותו מיד או נתקו אותו מהחשמל. במקרים רבים, מומלץ לגשת ישירות אל ארון החשמל ולהוריד את מפסק החשמל.**

## **2. עומס יתר**

עומס יתר נוצר כאשר במעגל חשמלי מחוברים צרכנים רבים באופן מקבילי זה לזה, וזורם במוליכים זרם גדול יותר מזה שביכולתם של מוליכי המעגל לשאת. ככל שהעומס גדל, חוטי החשמל מתחממים יותר. במצב תקני, קצב התחממות החוטים שווה לקצב התקררותם כתוצאה מהעברת חום לסביבה. אם האיזון מופר וקצב ההתחממות גדול מקצב ההתקררות, קיימת סכנת התחממות יתר של המוליכים. התחממות חריגה של המוליכים עלולה לגרום להתבלות מואצת של הבידוד, ולהוביל לקצר. לעתים נדירות עלולה גם לפרוץ שריפה כתוצאה מההתחממות החריגה של המוליכים.

## **א. אמצעי בטיחות בחשמל**

### **1. אמצעי בטיחות להגנה מפני עומס יתר וקצר**

#### **מבטח חשמלי**

מבטח חשמלי הוא רכיב חשמלי המותקן בכניסה לבית, ומטרתו הגנה מפני קצר חשמלי או עומס יתר. המבטח מגן על ידי ניתוק התקלה ממקור החשמל. ישנם שני סוגים של מבטחים:

- נתיך
- מפסק אוטומטי מגנטי תרמי : מאמ"ת

#### **נתיך**

הרכיב המרכזי של הנתיך המצוי הוא תיל מתכתי דק. בעת עלייה חריגה של הזרם החשמלי במעגל התיל מתחמם וניתך, ועל ידי כך מנותקת התקלה ממקור הזרם. לפני החלפת הנתיך מנתקים את הצרכנים המחוברים למעגל של הנתיך. בעצם הנתיך מונע מצב שחוט ניתך במקום כזה שקשה להגיע אליו על ידי כך שהוא הנקודה "החלשה" במעגל.

#### **יתרונות**

- אמינות גבוהה ביותר. למעשה כמעט שאין סיכוי לכך שבעת תקלה הנתיך לא יפעל.
- עלות נמוכה.
- אין מנוס מלטפל במפגע, אחרת הנתיך החדש גם יישרף.

#### **חסרונות**

- חד פעמי. חייבים להחליף נתיך שנשרף כדי להפעיל מחדש את המכשיר או את המעגל.
- סרבול. פעולת ההחלפה דורשת זמן ומאמץ (לא גדולים, אך גדולים יותר מלחיצה על כפתור).
- הנתיך הוא רכיב גדול יחסית ולא אסתטי.

#### **מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת)**

המאמ"ת מנתק את התקלה ממקור הזרם על ידי ניתוק מגעים הנמצאים בתוכו. במקרה של קצר ניתוק זה מבוצע על ידי אלקטרומגנט, ובמקרה של עומס יתר על ידי דו מתכת.

#### **יתרונות**

- ניתן לחיבור מחדש לאחר ביצוע פעולת הניתוק - פשוט על ידי הרמת מתג.
- גודל פיזי קטן יחסית.

#### **חסרונות**

- פחות אמין מנתיך: בזרמי קצר גבוהים במיוחד המגעים לא יוכלו להיפתח, וכן אם הופעל כמה פעמים תיתכן פגיעה במגעים שתפגע בתפקודו.
- עלות גבוהה יחסית.
- כיום כבר לא משתמשים בנתיכים אלא במאמ"ת, ורצוי לבדוק את תקינותו מפעם לפעם.

## 2. אמצעי בטיחות בבית למניעת התחשמלות

### ממסר פחת

מקור ויקיפדיה



**ממסר פחת, מפסק דלף או מפסק מגן** הם מפסק המגן, והם מנתקים אוטומטית את מערכת החשמל ממקור המתח במקרה של הופעת זרם זליגה במתקן. מטרתו של המפסק לשפר את רמת ההגנה מפני התחשמלות וכן למנוע את הסכנה להתפתחות שריפה במתקן החשמלי.

עקרון הפעולה של המכשיר מתבסס על מדידת ההפרש בין הזרם המגיע לממסר הפחת לבין הזרם החוזר ממנו. כאשר קיים הפרש בין הזרמים, כלומר הזרם החוזר נמוך יותר, משמעות הדבר היא זליגת הזרם דרך מקום אחר שמקורה עלול להיות בהתחשמלות אדם, ואז ממסר הפחת מנתק את הזרם, בהתאם לרמת הרגישות שלו שנמדדת במיליאמפר. במכשיר ביתי רגיל הרגישות עומדת על 30 מיליאמפר.

ממסר הפחת אינו מקטין את הזרם העובר דרך האדם המתחשמל (ה"קורבן"), אלא רק מגביל את משך הזמן לכדי 10-30 מילישניות. רמת סכנת ההתחשמלות נובעת משילוב כמה גורמים, כגון עוצמת הזרם, זמן החשיפה, זרם חילופין או זרם ישר. מומלץ לבדוק את תקינותו של ממסר הפחת פעם בחודש.

### הארקה

**הארקה** היא חיבור חשמלי מלאכותי בין גוף מוליך, שבאופן טבעי מבודד חשמלית מכדור הארץ, לבין כדור הארץ. תוצאת ההארקה היא כי הגוף המוארק יימצא באותו פוטנציאל חשמלי שבו נמצא כדור הארץ באזור ההארקה.

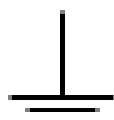
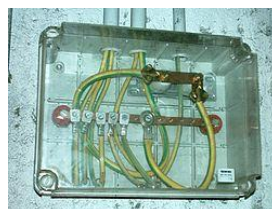
ההארקה מחוברת לגופים מתכתיים שעליהם לא אמור להימצא מתח חשמלי אלא במקרה תקלה, כגון שלדה של מכשיר חשמלי, ומטרתה להגן על אדם הנוגע בגוף או על מכשיר אלקטרוני עדין המחובר לגוף מפני זרם חזק. במקרה של תקלה שבה ייווצר מגע בין מוליך חשמלי כלשהו לגוף המתכתי, הארקה תקינה תוליך כל זרם שייווצר במסלול בטוח אל האדמה, ואף תפעיל אמצעי הגנה אחרים אם קיימים במערכת.

### שימו לב!

**בחלק מהבתים הישנים ההארקה עברה דרך צנרת הנחושת. עם הזמן הוחלפו צינורות הנחושת בצינורות פלסטיק מבלי שהדיירים יהיו מודעים לכך שבעצם נשארו ללא הארקה, ואסונות נגרמו כתוצאה מכך!!!**  
**בקשו מההורים לבדוק אם יש הארקה בביתכם.**

סימן מוסכם  
להארקה  
על מכשירי  
חשמל ורכיבים  
חשמליים

תיבת חיבור הארקה בארון  
חשמל (ויקיפדיה)



## **אנרגיה חשמלית**

### **במה עוסקת היחידה?**

נושא אנרגיה חשמלית הוא חלק מתכנית הלימודים: לימודי מדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים, ונלמד בקרב כלל תלמידי חטיבת הביניים.

יחידת לימוד זו בנושא אנרגיה חשמלית מיועדת לתלמידי כיתה ח' בתכנית עתודה מדעית-טכנולוגית, בהלימה לתכנית הלימודים בחטיבות הביניים והתכנית התוספתית בעתודה.

היחידה עוסקת בתכנים המופיעים במסמך האב על פי הפירוט הבא:

- דרכים לקבלת אנרגיה חשמלית
  - צריכת אנרגיה חשמלית בעת מעבר זרם במוליך
  - המרות אנרגיה במעגל חשמלי פשוט ויישומים טכנולוגיים להמרת אנרגיה
  - שימור אנרגיה ושימור מטען במעגל חשמלי
- יחידה זו פותחת צוהר לנושא אנרגיה, תועלת ומחיר סביבתי: התועלת בשימוש באנרגיה חשמלית, המחיר הסביבתי של שימוש במקורות אנרגיה ופתרונות בגישה הקיימת.
- בנושאים אלו מוצע להיעזר בחומרי הלמידה החדשים [המאוסרים](#) שפותחו לכלל התלמידים.

### **מטרות היחידה**

- התלמידים יכירו דרכים להפקת אנרגיה חשמלית.
- התלמידים יכירו תופעות ותהליכים הקשורים להמרת אנרגיה במעגל חשמלי פשוט ויוכלו לציין את המרות האנרגיה המרחשות בהם.
- התלמידים יבינו כי ניתן להסביר תופעות הקשורות לזרימת הזרם החשמלי או להצטברות מטען חשמלי בגוף בעזרת מושגי אנרגיה חשמלית.
- התלמידים יבינו שתפקיד מקור המתח הוא לספק אנרגיה חשמלית למערכת.
- התלמידים יבינו ש"מקור המתח" החשמלי מספק אנרגיה למערכת באמצעות המרתה מסוגי אנרגיה אחרים.
- התלמידים יבינו שחוק שימור אנרגיה תקף לגבי אנרגיה חשמלית.

### **מיומנויות**

- ביצוע ניסוי.
- טיעון מדעי.
- תיעוד התצפית, הבחנה בין תיעוד לבין הסבר.

## דף עבודה 1 לתלמידים: יריד התופעות

לפניכם כמה תחנות. התבוננו בתהליכים המתרחשים ובתופעות המוצגות בתחנות הללו ומלאו את המשימות הבאות עבור כל אחת מהתחנות:

1. תארו את המתרחש בתופעה המוצגת בתחנה. עשו זאת בעל פה תוך כדי דיון קבוצתי.
2. זהו את סוגי אנרגיה המעורבים בתהליך הנידון.
3. הסבירו את המתרחש באמצעות תיאור תרשים המתאר את המרות אנרגיה בתהליך או בתופעה שצפיתם.
4. מצאו בטבלה את השורה המתאימה לתופעה שתיארתם וסכמו בה את תשובתכם.

| שם התחנה                                              | תיאור המתרחש | הסבר המתרחש<br>(מומלץ להציג בעזרת תרשים זרימה) |
|-------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------|
| כדור קלקר המורם לגובה על ידי מוט PVC טעון גנרטור ידני |              |                                                |
| מנוע חשמלי                                            |              |                                                |
| "ברק מלאכותי"                                         |              |                                                |
| מגנט נע בתוך סליל                                     |              |                                                |
| מעגל חשמלי פשוט                                       |              |                                                |
| מנוע מרים משא                                         |              |                                                |

5. במילים "שימוש באנרגיה חשמלית" או מתכוונים להמרת אנרגיה מצורה חשמלית לצורה אחרת. ציינו לאילו צורות אנרגיה המרנו את האנרגיה החשמלית במהלך "יריד התופעות".

---



---

6. כידוע מחוק שימור אנרגיה, במילים "יצירת אנרגיה חשמלית" אנו מתכוונים להמרת אנרגיה מצורה כלשהי לצורת אנרגיה חשמלית. ציינו אלו צורות אנרגיה הומרו לאנרגיה חשמלית במהלך "יריד התופעות".

---

---

7. הביאו דוגמאות נוספות לתהליכים שבהם מתקיימות המרות אנרגיה, כאשר באחד השלבים מעורבת אנרגיה חשמלית. תארו את התהליכים ופרטו את המרות האנרגיה המלוות אותם.

---

---

---

---

---

---

---

---



## דף עבודה 2 לתלמידים:

### היכן נמצאים האלקטרונים? באילו דרכים ניתן להפיק זרם חשמלי?

- א. פתחו את ההדמיה "[קלט מעגלי זרם ישר](#)" באתר אוניברסיטת קולורדו.
  - ב. בנו בעזרת ההדמיה מעגל חשמלי פשוט הכולל נורת להט, סוללה ומוליכי חיבור (ראו איור 1). ודאו כי הנורה נדלקה. ציינו מה המקור לאנרגיית אור שבנורה.
  - ג. כתשובה לשאלה "מהו המקור לאנרגיית האור שבנורה?" רוני טענה: "הסוללה מספקת את האלקטרונים במעגל החשמלי". האם אתם מסכימים עם הטענה של רוני? נמקו את תשובתכם.
  - ד. הציעו דרך לבדיקת התשובה.
- הפעילויות הבאות יכולות לסייע לכם בבדיקת השערתכם לגבי מקור האלקטרונים במעגל החשמלי. בצעו את הפעילויות וענו על השאלות הבאות:
- ה. היעזרו בציווד הבא: מיקרו-אמפרמטר, מגנט מוט, סליל השראה מנחושת.
    - חברו את המיקרו-אמפרמטר לסליל ההשראה.
    - הניעו את המגנט בתוך הסליל. תארו את המתרחש.
    - הפסיקו את התנועה. תארו את המתרחש.
    - הניעו את הסליל ביחס למגנט. תארו את המתרחש.
    - האם נוצר זרם חשמלי? כיצד אתם יודעים זאת? הסבירו מה המקור לאלקטרונים.
  - ו. פתחו את ההדמיה לפעולת [גנרטור](#) של זרם חשמלי.
    - הפעילו את ברז המים. הסבירו מה גרם לנורה להאיר במקרה זה.
    - עצרו את זרימת המים והחליפו את הנורה במד-מתח. האם לפי הוריית מד המתח ניתן להסיק על קיום זרם חשמלי במעגל? כעת תפתחו שוב את הברז ועקבו אחרי המתרחש. תארו את כיוון תנועת האלקטרונים בסליל (בכיוון השעון, נגד כיוון השעון, משתנה).
    - בחרו מתוך לשוניות המופיעות בחלק עליון של מסך ההדמיה את הלשונית "סליל אינדוקציה", הזיזו את המגנט בתוך הסליל ותעדו את המתרחש. תנו הסבר לתופעה הנצפית תוך כדי שימוש במושגים הקשורים לאנרגיה והמרותיה.
    - מה ניתן ללמוד מפעילויות אלה?
  - ז. חזרו על תשובתכם לסעיף ג ובדקו את נכונותה לאור ההתנסות בהדמיית הגנרטור.
  - ח. היעזרו במקורות מידע והציעו דרכים נוספות בהן ניתן להפיק אנרגיה חשמלית ללא סוללה.
  - ט. באילו דרכים ניתן להפיק אנרגיה חשמלית בתחנת הכוח? ציינו לגבי כל אחת מהדרכים מהו מקור האנרגיה.

## דוגמאות לשאלות בנושא המרות אנרגיה ושימור אנרגיה

1. חברת חשמל מפיקה אנרגיה חשמלית בתחנות הכוח בארץ באמצעות שימוש בחומרי דלק: פחם, סולר, מזוט וגז טבעי.

א. אילו המרות אנרגיה מתרחשות בתהליך הפקת החשמל? הסבירו.

ב. לפניכם תרשים זרימה המציג את המרות האנרגיה העיקריות המתרחשות בתחנת כוח המבוססת על שריפת דלק מאובן. תארו בעזרת התרשים שלפניכם את השלבים בתהליך ייצור החשמל.



ג. הכינו תרשים זרימה המתאר את המרות האנרגיה העיקריות בתחנת כוח הידרו-חשמלית.

ד. מנו סוגי אנרגיה נוספים העשויים להיות מומרים לאנרגיה חשמלית.

2. מכשירים ביתיים רבים "מנצלים" אנרגיה חשמלית.

א. הסבירו מה משמעות המילים "ניצול אנרגיה".

ב. באיור 1 שלפניכם מוצגים שלושה מכשירים הנמצאים כמעט בכל בית. עבור כל אחד מהמכשירים הללו:

- ציינו לאיזה סוג אנרגיה מומרת האנרגיה החשמלית המנוצלת במכשיר.

- הביאו דוגמה למכשיר נוסף שבו מתרחשות המרות אנרגיה זהות.

- הביאו דוגמה למכשירים שבהם מתרחש תהליך הפוך של המרת אנרגיה לזה שתיארתם בתת-סעיף ראשון.



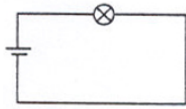
איור 1: מכשירים וצעצועים חשמליים, הנפוצים בביתנו  
צילום: באדיבות מרינה זיו

3. התבוננו סביבכם וציינו לפחות שני מכשירים חשמליים שתפקידם העיקרי להמיר אנרגיה חשמלית ל:

א. אנרגיה תרמית.

ב. אנרגיית אור.

ג. אנרגיית תנועה.



איור 2: תרשים מעגל חשמלי פשוט



איור 3: תרשים מצב קצר

4. יוסי וטליה הרכיבו מעגל פשוט, המתואר באיור 2 שלפניכם. כאשר נדלקה הנורה, שמח יוסי: "הנה, הסוללה התחילה להזרים מטענים לנורה". טליה אמרה: "המטענים היו בנורה כל הזמן, הסוללה רק גרמה להם לנוע". מי משני הילדים צודק? הסבירו את טענתכם.

5. דני שאל את המורה: "מה משמעות המספר 1.5V שרשום על סוללות רבות?" המורה הסבירה: "משמעות הרישום הוא - שמתח הסוללה 1.5 וולט, כלומר שסוללה מספקת אנרגיה של 1.5 ג'ול לכל יחידת מטען לצורכי תנועתו במעגל חשמלי". דני שמח: "עכשיו הבנתי מדוע סוללה 'נגמרת' כאשר 'מקצרים' אותה כפי שמתואר באיור 3".

א. בהנחה שמתח הסוללה באיור 2 ובאיור 3 זהה, ציינו באיזה מעגל

יזרום זרם גדול יותר. הסבירו את טענתכם. כדאי לצרף להסבר נוסחה מתאימה.

ב. הסבירו כיצד עוצמת הזרם במעגל קשורה לכמות המטען הזורם דרכו. רשמו נוסחה המתאימה להסבר המילולי שלכם.

ג. הסבירו את טענתו של דני מדוע הסוללה 'נגמרת' מהר, כאשר 'מקצרים' אותה.



תקע חשמלי פגום  
צילום באדיבות מרינה זיו

6. האיור שלפניכם מציג תקע חשמלי לא תקין.

א. הסבירו מה לא תקין בתקע שבאיור.

ב. תארו במושגי אנרגיה מה הסכנות הכרוכות בשימוש בתקע זה.

7. **בסרטון שלפניכם** רואים שתי נורות: נורת ליבון (משמאל) ונורת פלואורסצנט (מימין) המחוברות למתח זהה. ניתן לראות שעוצמת האור של נורת פלואורסצנט גדולה בהרבה מזו של נורת ליבון. זאת אף שמד זרם המחובר אליה מורה על עוצמת זרם נמוכה יותר מזו שבנורת ליבון (69 מיליאמפר לעומת 135 מיליאמפר). במקרה זה יהיה נכון לטעון שכמות האנרגיה החשמלית המושקעת בנורת פלואורסצנט נמוכה בערך פי שתיים מזו שמושקעת בנורת ליבון.



א. הסבירו כיצד הטענה מתיישבת עם חוק שימור האנרגיה?

ב. בתרשים שלפניכם מוצגת חלוקת אנרגיה הנפלטת מנורת ליבון.

איזה סוג של אנרגיה מוצג על ידי כל אחד מהחלקים בתרשים?

ג. האם נורה זו נחשבת לנורה חסכונית? הסבירו מדוע.

ד. בדקו אילו נורות יכולות להחליף את נורת הליבון. ציינו את

היתרונות של נורות אלה על פני השימוש בנורת הליבון.

8. תמי שמה לב ששתי נורות שולחן הנמצאות בביתה מאירות בעוצמת אור שונה אף ששתיהן מחוברות לאותה רשת חשמל ביתית, ומקבלות אותו מתח זהה - 220 וולט. היא החליטה לחקור את הנושא. תחילה היא מדדה את עוצמת הזרם וגילתה שבאחת הנורות זרם חשמלי שעוצמתו 0.455 אמפר ובשנייה - 182 מיליאמפר.



**שתי נורות להט שונות**  
**צילום: באדיבות מרינה זיו**

- א. חשבו את ההתנגדות של כל אחת מהנורות.
- ב. כאשר תמי התבוננה מקרוב בשתי הנורות, היא זיהתה שאורך חוט הלהט בשתייהן זהה, אך בנורה הימנית חוט הלהט עבה בהשוואה לנורה השמאלית. ציינו באיזו נורה זרם גדול יותר - בנורה הימנית או בשמאלית. הסבירו את שיקולכם.

## 2. כוח ותנועה בשני ממדים על הארץ ובחלל

### צירוף תנועות בממד אחד

#### עקרונות, יישומים, יישומים בתחום חקר החלל



<http://spaceplace.nasa.gov/launch-windows/>

התמונה שלפנינו צולמה זמן קצר לאחר שיגור טיל שמיועד להכניס לוויין למסלול. במבט ראשון, המסלול מפתיע. הטיל יוצא לדרכו אנכית (כלפי מעלה), אך בהדרגה הוא משנה את המסלול לכיוון אופקי. כתוצאה מכך הטיל ינוע מרחק גדול יותר בתוך האטמוספירה ויהיה חשוף יותר לאפקט המעכב של האוויר. התוצאה תהיה בזבוז אנרגיה גדול. מדוע, אם כן, אין משגרים את הטיל אנכית עד ליציאה מן האטמוספירה? התשובה לכך קשורה בצירוף מהירויות, שהוא עיסוקנו ביחידת לימוד זו. בהמשך הפרק נגיע אל התשובה לשאלה שהוצגה כאן.

#### מטרות היחידה

הנושא מכניקה נלמד בקרב תלמידי כיתה ט' הלומדים בתכנית העתודה המדעית-טכנולוגית.

יחידת לימוד זו עוסקת בנושא "גדלים וקטוריים". היחידה עוסקת בפרקים הבאים מתוך [מסמך האב](#):

#### גדלים וקטוריים

- העתק, מהירות, תאוצה וכוח כגדלים בעלי כיוון
- המושג וקטור, תנועה במישור: חיבור וחסור וקטורים בשיטה גרפית (יחידת לימוד זו עוסקת בהעתק ובמהירות בממד אחד בלבד).

#### מיומנויות: סרטוט וקטורים

הסברים מילוליים

## הכול יחסי?

בתחילת המאה העשרים פרסם איינשטיין את תורת היחסות, ומאז דומה כי "הכול יחסי". זה עומד בניגוד מסוים לתחילתה של המהפכה המדעית. אז הטענה הייתה כי יש מערכת מועדפת, וכי הארץ סובבת את השמש, ולא להפך. תחילת המהפכה המדעית הייתה בהחלפת המערכת המוחלטת. המהפכה של איינשטיין ביקשה לקבוע כי אין מערכת מוחלטת. מהו אם כן המסר המדעי הנכון? אכן הדברים קשים, גם לתלמידי אוניברסיטה. מדוע אנו מזכירים זאת כאן? זה מפני שאי אפשר לדבר על חיבור מהירויות מבלי לדבר על המושג "מהירות יחסית". כאשר אנו עוסקים באדם שהולך בתוך רכבת נוסעת, אנו מחברים את מהירות הרכבת למהירות הנוסע **ביחס** לרכבת. זה אכן מסובך בכל גיל, בפרט בחטיבת הביניים. יהיה עלינו להיות זהירים. בשלב הזה, במסגרת הכחולה הזו, למורים בלבד, נרשה לעצמנו לראות עד כמה העניינים עלולים לבלבל.

**היחסי כמוחלט:** מהי מהירותו של האדם שהולך בתוך הרכבת הנוסעת? מי שנמצא ברכבת מזהה מהירות אחת. מי שנמצא בחוץ מזהה מהירות אחרת. מהירות אינה, אפוא, עניין מוחלט, אלא תלוי בנקודת המבט. לעומת זאת, גם מי שנמצא ברכבת וגם מי שנמצא בחוץ מסכימים על גודלה של המהירות היחסית שבין הנוסע לבין הרכבת. מתברר, אפוא, שמהירות אינה מוחלטת והיא תלויה בנקודת הראות, אך מהירות יחסית היא דווקא מוחלטת ומוסכמת על הכול. אם כך, היחסי הוא המוחלט. גם זה מבלבל.

**אנרגיה קינטית כגודל יחסי:** יתר על כן, אם מהירות תלויה בנקודת הראות, הרי שגם האנרגיה הקינטית תלויה בנקודת הראות. כאשר הנוסע יושב ברכבת, נוסע אחר שיושב ברכבת חושב שאין אנרגיה קינטית שקשורה בתנועתו של הנוסע הראשון. המתבונן מן החוץ מזהה אנרגיה קינטית כזאת. אם אנרגיה תלויה בנקודת הראות, האם ייתכן שמד האנרגיה של חברת החשמל יורה תוצאות שונות מנקודת ראות שונה? אכן, העיסוק במעבר בין מערכות ייחוס הוא דיון מתקדם.

**האם יש נקודות ראות מועדפות?** ככל שהדבר נוגע למדידות קינמטיות (מקום, מהירות תאוצה) אין נקודות ראות מועדפות (כולל נקודות ראות שנעות ביחס לאחרות). הנוסע ברכבת אינו מועדף על מי שמתבונן מן החוץ, ולהפך. לעומת זאת, כאשר מתבוננים בחוק השני של ניוטון, שהוא חוק ההתפתחות בזמן של כל מערכת פיזיקלית, מתברר שיש נקודות ראות מועדפות. מערכות הייחוס המועדפות הן אלה שבהן מתקיים החוק השני של ניוטון. אנו מכנים אותן בתואר מערכות התמדיות (אינרציאליות). מהו הגורם להבחנה הזאת בין מערכת למערכת? מבקרי ניוטון ראו בכך נקודת חולשה של התיאוריה המצליחה שלו. שאלת מערכת הייחוס התעצמה כאשר נוסחו חוקי האלקטרומגנטיות של מקסוול (שנוסחו ב-1861-2). בסופו של דבר נאלץ איינשטיין לנסח מסגרות תיאורטיות חדשות (תורת היחסות הפרטית ותורת היחסות הכללית) כדי להתגבר על הבעיות האלה.

**האם יש מערכת ערכים מוחלטת?** אין הכרח להבין את תורת היחסות של איינשטיין כדי לעשות בה שימוש רטורי בהקשרים אחרים, וכך אכן נעשה במהלך המאה העשרים. אם הכול יחסי, הרי שאין מערכת ערכים מוחלטת, אלא הכול תלוי בנקודת הראות. מוסר הוא עניין יחסי. אם כך, למה נחנך בבית הספר? השאלות האלה, הפיזיקליות והמוסריות, שאין ערוך לחשיבותן, חורגות מיחידת לימוד זו.

### איך אפשר לנוע מהר ולא להתקדם?

לעתים אנו רואים אנשים ממהרים שאינם מתקדמים. דוגמה כזאת אפשר למצוא בכתובת הבאה :

<http://www.youtube.com/watch?v=txNmh8i3AyA>

בסרטון אנו צופים באדם שמנסה לרדת במדרגות שנעות כלפי מעלה. התוצאה היא שהאדם דורך על מקומו אף שהוא מנסה להתקדם. מדוע הוא מתנהג כך? זה מפני שהוא שתוי. יש גם כאלה שמנסים לעלות על המדרגות היורדות ונותרים במקום, כפי שאפשר לראות בסרטון הבא :

<https://www.youtube.com/watch?v=eI8KiDv3v7w>

גם ציפור עלולה להיקלע למצב כזה :

<https://www.youtube.com/watch?v=8OfWT28ADOY>

לעתים אנו רואים ילדים שמנסים להתקדם כנגד תנועת המדרגות. יש להם סיבות משלהם. ייתכן שהם רוצים למרוץ. ייתכן שהם רואים בכך ספורט אתגרי. ייתכן שהם נהנים מן הסיכון (המיותר). במבט ראשון, נראה לנו שמבוגר שנמצא במלוא חושיו, לא יעשה דבר הבל שכזה. מתברר שהמציאות שונה. רבים מוכנים לרוץ על משטח נע (הליכון שמשמש ל"אימוני כושר") ולהישאר במקום. מתברר שהם אינם מעוניינים להתקדם, אלא להישאר במקום מול מסך הטלוויזיה. הם מנמקים את המעשה בכך שהריצה אינה מיועדת לשינוי מקום, אלא קשורה באמונה שריצה תגרום לשינוי הכמות של החומר שממנו הם עשויים. מסה אינה נחשבת היום בהכרח כמעלה, אלא יותר כמגרעת שיש לתקן אותה. לא רק בני אדם עושים כך, כפי שאפשר לראות בכתובת הבאה :

<https://www.youtube.com/watch?v=ESM3495FiZM>

מה קרה למהירות הגדולה של הרצים האלה? היא התקוזה עם המהירות ההפוכה של המסוע שעליו הריצה (או ההליכה) התרחשה. לפנינו תופעה של **צירוף מהירויות** (שנכנה אותה בהמשך גם **חיבור מהירויות**). ביחידת לימוד זו נבחן כיצד מצרפים מהירויות (והעתקים) בממד אחד.

אתגר מיוחד הוא לקחת קליע שנורה מלוע מתקן שגיור במהירות גדולה ולהסיע את מתקן השיגור באותה מהירות בכיוון הפוך. הצופה מן הצד רואה את הקליע יוצא ללא מהירות מלוע המשגר, משם הוא נשטט אנכית ארצה. דוגמה כזאת תמצאו בכתובת הבאה :

<http://www.youtube.com/watch?v=BLuI118nhzc>

### תנועה על המסוע

לאחר שראינו איך אפשר ללכת על המסוע מבלי להתקדם, נבחן עתה את אפשרויות ההתקדמות על המסוע. בנמלי תעופה גדולים יש מסועים אופקיים שמסייעים לנוסעים להתקדם עם הכבודה שלהם לאורך מרחקים גדולים. הנוסע יכול ללכת על המסוע. אם המסוע נע במהירות של  $1 \text{ m/s}$  והנוסע נע עליו במהירות  $1.5 \text{ m/s}$  (ביחס למסוע ובאותו כיוון), הרי שהנוסע יתקדם במהירות של  $2.5 \text{ m/s}$ . הנוסע יכול להחליט לא להתאמץ, ולעמוד על גבי המסוע. במקרה כזה הוא יתקדם במהירות של  $1 \text{ m/s}$ . דוגמה כזאת יש בכתובת הבאה :

<https://www.youtube.com/watch?v=cbKL1bWQrVk>

יש נוסעים שמוכנים ללכת כנגד כיוון המסוע, לפחות חלק מן הזמן :

<https://www.youtube.com/watch?v=6xY6BcO0mfQ>

בקטע זה של הדרך, אם נשתמש בדוגמה המספרית שלנו, הנוסע התקדם במהירות  $0.5\text{m/s}$  כנגד כיוון תנועת המסוע.

כל החישובים כאן הם פעולות פשוטות של חיבור וחסור. אף על פי כן נראה כי אפשר להציג את הדברים גם באמצעות ציור חצים. חץ כחול קטן שייצג את מהירות המסוע, וחץ כחול ארוך ממנו ב-50% שייצג את מהירות האדם. כאשר האדם נע בכיוון תנועת המסוע, נציג זאת באופן סימבולי כך:



הצמדנו את זנב חץ המהירות השני לראש חץ המהירות הראשון. המהירות המצורפת מיוצגת על ידי חץ אדום שזנבו בזנב החץ הראשון, וראשו בראש החץ השני.

אותו עיקרון ישמש אותנו בצירוף מהירויות שהכיוונים שלהן הפוכים זה לזה.



כאשר האדם נע כנגד כיוון תנועת המסוע, נציג זאת באופן סימבולי כך:

### חיסור מהירויות

נדון במקרה שבו אדם הולך בתוך הרכבת. מהירות האדם (ביחס לרכבת) תסומן ב- $v_1$ . מהירות הרכבת תסומן ב- $v_2$ . נניח שהרכבת נוסעת צפונה במהירות  $10\text{m/s}$ , וכי הנוסע מתקדם בתוכה במהירות  $1\text{m/s}$  (ביחס לרכבת) דרומה. נבחר בכיוון צפונה ככיוון החיובי. במקרה זה מתקיים כי

$$v_1 = -1\text{m/s}, \quad v_2 = 10\text{m/s}$$

מהירות הנוסע ביחס לפני הקרקע היא:

$$V = v_1 + v_2 = -1\text{m/s} + 10\text{m/s} = 9\text{m/s}$$

במקרה אחר הרכבת עדיין נוסעת באותה מהירות. אדם מן החוץ מודד את מהירות הנוסע ומוצא כי היא  $8.5\text{m/s}$ . במקרה זה מתקיים כי

$$v = 8.5 \text{ m/s}, \quad v_2 = 10 \text{ m/s}$$

מכאן עולה כי

$$v_1 = v - v_2 = 8.5 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s} = -1.5 \text{ m/s}$$

הפעם עשינו פעולה של חיסור. מתברר כי אפשר להתייחס למהירויות כמו למספרים, לצורך פעולות של חיבור וחסור, כאשר סימן המהירות מייצג את כיוון התנועה. מהירות חיובית היא מהירות בכיוון שנבחר (באופן שרירותי) להיות הכיוון ה"חיובי". מהירות שלילית מייצגת תנועה בכיוון ההפוך.



## חקירת תרחישים – תנועה על פני המים

שייטים מוצאים עצמם לעתים חותרים "נגד הזרם", כפי שלפעמים הם חותרים בכיוון זרימת המים. המים זורמים להם במהירות מסוימת (בכיוון מסוים). אם השייט יחתור כאילו המים היו במנוחה, מבלי לקחת בחשבון את מהירות המים, הוא עלול להיות מופתע. כיצד מצרפים את התנועות האלה? נתבונן בסרטונים שמייצגים אירועים של צירוף מהירויות.

### ברווזים משייטים

התבוננו בסרטון שנמצא בכתובת הבאה:

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

אנו צופים בברווזים שמשייטים במים. על פי תנועות הגוף שלהם הם חותרים בתוך המים. אנו מעוניינים לדעת אם הם נעים ביחס לחוף. ענו על השאלות הבאות:

א. האם המים נעים ביחס לחוף? אם כן, מה כיוון תנועת המים, ימינה או שמאלה?

---

ב. מה הן הראיות לכיוון התנועה של המים?

---

---

---

ג. האם הברווזים נעים ביחס לחוף? אם כן – באיזה כיוון?

---

ד. מה הן הראיות לכיוון התנועה ביחס לחוף?

---

---

---

ה. יש ברווזים שנראים לעתים נעים שמאלה ביחס לחוף. כיצד מזהים זאת?

---

---

---

ו. האם הברווזים האלה נעים אחורה גם ביחס למים?

ז. התייחסו למקרה שבו הברווז מצליח להתקדם ביחס לחוף. סרטטו חצי מהירות שמייצגים את מהירות המים ואת מהירות הברווז ביחס למים (חצים מייצגים, אין צורך בחישובים כמותיים), והשתמשו בהם כדי לסרטט את החץ שמייצג את מהירות הברווז ביחס למים.

**תזכורת:** כדי לצרף את החצים שמייצגים את הווקטורים, עליכם לסרטט את החץ הראשון תחילה.

אחר כך עליכם לסרטט את החץ השני, כך שזנבו צמוד לראש החץ הראשון.

המהירות המצורפת תיוצג על ידי חץ שזנבו בזנב החץ הראשון וראשו בראש החץ השני.

ח. חזרו על סעיף ז בהנחה שהברווז נסוג אחור אף על פי שהוא חותר קדימה.

ט. חזרו על סעיף ז בהנחה שהברווז אינו מצליח להתקדם ביחס לחוף, אך גם אינו נסוג אחור.

### דגי סלמון

דגי סלמון ידועים בכך שהם שוחים נגד הזרם. לעתים הזרם חזק למדי. התבוננו בסרטונים הבאים ורשמו את רשמיהם בכל הנוגע לכיוון זרימת המים, כיוון התנועה של הסלמון ביחס למים ולכיוון התנועה של הסלמון ביחס לקרקע. נמקו את דבריהם.

<http://www.youtube.com/watch?v=VfCjoZbYJw8>

<http://www.youtube.com/watch?v=l0uXmmVwirw>

---

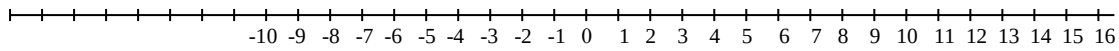
---

---

## העתקים ומהירויות כווקטורים

### העתק בממד אחד

כדי לתאר את מקומו של גוף בממד אחד משתמשים בציר המספרים. נקודה מסוימת שנבחרת באופן שרירותי, נקבעת כנקודת הראשית ומסומנת ב-0. עתה בוחרים (באופן שרירותי) את הכיוון החיובי על הישר ואת יחידת המידה. מן הרגע הזה לכל נקודה על הישר מתאים מספר, שמתאר את מיקומה ביחס לראשית. הערך המספרי של המספר מתאר את המרחק מנקודת הראשית. הסימן מתאר אם הנקודה



נמצאת מן הצד החיובי או מן הצד השלילי של הראשית.

את הציר הזה אנו יכולים לצייר על נייר או על הלוח, בקנה מידה שיהיה נוח (ביחס למציאות). מקובל (אך לא הכרחי) לציין את מקומו של הגוף באות  $x$  (גם  $y$  ו- $u$  כשרות, ולא רק הן).

לדוגמה: אם בחרנו שיחידת המידה תייצג מטר אחד, הרי שהסימון  $x = -5\text{m}$ , ייצג נקודה שנמצאת 5 מטרים מן הראשית, מצדה השלילי של הראשית.

אם גוף היה בנקודה שמסומנת ב- $x_1$  ועבר לנקודה שמסומנת ב- $x_2$ , אנו אומרים כי ההעתק שלו הוא  $\Delta x = x_2 - x_1$ . ההעתק מציין את שיעור ההתקדמות. **העתק חיובי מייצג התקדמות בכיוון של הציר. העתק שלילי מציין התקדמות כנגד הכיוון של הציר.**

לדוגמה: אם גוף עבר מן הנקודה  $x_1 = 3\text{m}$  אל הנקודה  $x_2 = 5\text{m}$ , ההעתק שלו הוא:

$$\Delta x = 5\text{m} - 3\text{m} = 2\text{m}$$

כלומר: הגוף התקדם 2 מטרים בכיוון החיובי.

אם הגוף עבר מן הנקודה  $x_1 = -5\text{m}$  אל הנקודה  $x_2 = -2\text{m}$ , ההעתק שלו הוא:

$$\Delta x = (-2)\text{m} - (-5\text{m}) = 3\text{m}$$

כלומר: הגוף התקדם 3 מטרים בכיוון החיובי.

אם הגוף עבר מן הנקודה  $x_1 = 1\text{m}$  אל הנקודה  $x_2 = -2\text{m}$ , ההעתק שלו הוא:

$$\Delta x = (-2)\text{m} - 1\text{m} = -3\text{m}$$

כלומר: הגוף התקדם 3 מטרים בכיוון השלילי.

בכל הדוגמאות האלה אנו רואים כי נוסחת ההעתק מבטאת את מה שאנו רואים בעין, כפי שצריך להיות. אם נבחר נקודת ראשית אחרת, ההעתק שהוא הפרש של ערכי המקום, לא ישתנה. כלומר: **ההעתק שהוא עובדה מן המציאות, אכן אינו תלוי בבחירה השרירותית של הראשית.**

### חיבור העתקים וחסורים

יש קשר בין חיבור מהירויות, שבו עסקנו קודם, לבין חיבור העתקים, שהרי ההעתק הוא מכפלת המהירות (הקבועה) במשך הזמן ( $\Delta t$ ) שבו נעשה ההעתק. אפשר להדגים את הדברים בדוגמאות מספריות ובציורי חצים. כללי החיבור (וגם כללי החיסור) של העתקים ומהירויות הם זהים. זה נכון כאשר עורכים חישובים מספריים (כולל סימנים). זה נכון כאשר עורכים תרשימי חצים. מקובל לכנות את החצים האלה בשם משותף – **וקטורים**. מעתה נוכל לדבר על חיבור וחסור של וקטורים (בינתיים בממד אחד). וקטור משמש כאן ככינוי גנרי (כולל) למושגים שיש להם יחידות שונות. כאשר נעסוק בחיבור ובחסור וקטורים באופן מופשט, הדבר יהיה נכון לכל יחידה באשר היא (ובלבד שנשמור על אותה יחידה לכל המשתתפים באותה פעולת חיבור).

## ניתוח מדידות – גאות ושפל

| x(m)  | t(h) |
|-------|------|
| 5.00  | 0    |
| 4.33  | 1    |
| 2.50  | 2    |
| 0.00  | 3    |
| -2.50 | 4    |
| -4.33 | 5    |
| -5.00 | 6    |
| -4.33 | 7    |
| -2.50 | 8    |
| 0.00  | 9    |
| 2.50  | 10   |
| 4.33  | 11   |
| 5.00  | 12   |
| 4.33  | 13   |
| 2.50  | 14   |
| 0.00  | 15   |
| -2.50 | 16   |
| -4.33 | 17   |
| -5.00 | 18   |
| -4.33 | 19   |
| -2.50 | 20   |
| 0.00  | 21   |
| 2.50  | 22   |
| 4.33  | 23   |
| 5.00  | 24   |

במקומות מסוימים על פני הארץ יש תופעות עזות של גאות ושפל. פני המים בחוף משתנים במהלך היממה במידה ניכרת. תלמידה חקרה את השתנות הגובה של פני המים. ברגע מסוים היא איפסה את השעון וסימנה את פני המים במצב הזה כנקודת הראשית של הציר האנכי. היא מדדה את גובה פני המים (ביחס לראשית שבחרה) בכל שעה וקיבלה את הטבלה שלפנינו. כיוון הציר נבחר להיות כלפי מעלה.

א. חשבו את ההעתק בשלוש השעות הראשונות של התנועה.

\_\_\_\_\_

ב. מה משמעות הסימן של ההעתק שחישבתם?

\_\_\_\_\_

ג. מהו ההעתק בשנים עשרה השעות הראשונות?

\_\_\_\_\_

ד. האם התוצאה שקיבלתם משקפת את סך כל הדרך שפני המים עברו בעלייתם ובירידתם?

\_\_\_\_\_

ה. מהו ההעתק החיובי הגדול ביותר שהתקבל בין שני זמנים כלשהם, בפרק הזמן שמתועד בטבלה?

\_\_\_\_\_

ו. מצאו פרק זמן שההעתק בו הוא חיובי וקטן מיחידה.

\_\_\_\_\_

ז. כמה פרקי זמן שמקיימים את התנאי שבסעיף ו כלולים בטבלה?

\_\_\_\_\_

### על המסוע

נוסעת שעומדת על מסוע בנמל התעופה, מתקדמת במהירות של  $1.5\text{m/s}$ . בהזדמנות אחרת היא עולה על אותו מסוע, אך הולכת עליו. מתברר כי המסוע מוביל אותה מהלך של  $30\text{m}$  במשך  $12\text{s}$ . חשבו את מהירות הנוסעת:

א. ביחס לנוסעת אחרת שניצבת מחוץ למסוע.

ב. ביחס למסוע.

### ברכבת

רכבת נוסעת במהירות  $20\text{ m/s}$ . אורך הרכבת הוא  $100\text{ m}$ . תלמידה שנמצאת בקצה האחורי של הרכבת, נעה לעבר הקצה הקדמי במהירות קבועה שגודלה  $2\text{ m/s}$  (ביחס לרכבת).

א. כעבור כמה זמן מגיעה התלמידה אל הקצה הקדמי של הרכבת?

ב. כמה התקדמה התלמידה ביחס למסילה בפרק זמן זה?

ג. כמה התקדמה הרכבת ביחס למסילה בזמן זה?

ד. סרטטו חצים שמייצגים את ההעתקים של הרכבת ביחס למסילה ( $v_1$ ), של התלמידה ביחס לרכבת ( $v_2$ ) ושל התלמידה ביחס למסילה ( $v$ ).

### שיגור לוויין

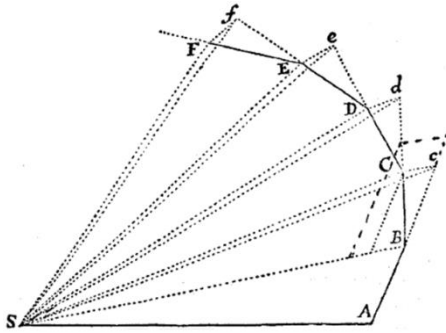
א. מדוע משגרים טילים לחלל כלפי מזרח? כיצד זה קשור בכיוון הסיבוב של הארץ על צירה?

ב. חשבו את המהירות של נקודה על פני הארץ על פני קו המשווה.

ג. השוו את המהירות שחישבתם למהירות הקול.

ד. האם המהירות שחישבתם בסעיף ב תקפה גם בישראל?

## העתק ומהירות במישור



הסרטוט שלפנינו לקוח מן ה-Principia של ניוטון. כאן ניוטון מוכיח את "חוק השטחים", באמצעות סרטוט שכולל העתקים, מהירויות ושינויי מהירות. לא ניכנס לדברים, אך ברור שמדובר בעניינים שבלב התיאוריה הניוטונית. אי אפשר לעסוק בתנועה בעולם הדו-ממדי (והתלת-ממדי) בלי דיון בווקטורים. לשם כך יש צורך לדעת משהו על וקטורים. לכך אנו מכוונים ביחידה זו.

## העתק במישור



נניח שנסענו מירושלים לנמל יפו. אפשר לעשות זאת במסלולים שונים. לפני מאה שנה עשו זאת ברכבת שמסלולה התפתל הרבה. היום עושים זאת בכביש פחות מפותל, אך ודאי שאינו ישר מקצה לקצה. אורך המסלול עשוי להיות שונה ממקרה למקרה. עם זאת, יש עניינים שאינם תלויים במסלול. כאשר עברנו מירושלים לנמל יפו, העתקנו את המקום שלנו בשיעור מסוים, שאינו תלוי במסלול. המושג הפיזיקלי המדיד שמתאר את המידה שבה העתקנו את מקומנו מכונה **העתק** (displacement).

בממד אחד ההעתק מיוצג על ידי השינוי במקום –  $\Delta x$ . ערכו המוחלט של ההעתק מתאר את המרחק מנקודת המוצא לנקודת היעד. סימנו של ההעתק מלמד אותנו אם העתקנו את מקומנו בכיוון הציר, או כנגדו. בשני ממדים הדברים מצריכים הרחבה, שהרי יש אינסוף כיוונים שבהם אפשר להתקדם.

נחזור לסיפור הנסיעה מירושלים לנמל יפו. נציג את ההעתק באמצעות חץ שזנבו בירושלים וראשו בנקודת היעד – נמל יפו (החץ משמאל). אורך החץ הוא 54 km. זהו חץ גדול למדי, שאין אפשרות לכלול אותו בתוך דף נייר, אלא אם כן משתמשים בקנה מידה. כך נעשה.

אורך החץ אינו מאפיין לגמרי את ההעתק, גם הכיוון חשוב. במקרה שלפנינו מדובר בהעתק שגודלו 54 km וכיוונו  $36^\circ$  צפונה מן המערב. בכך השלמנו את אפיונו של ההעתק. ההעתק במישור מחייב שימוש בשני מספרים – גודל וכיוון (או הצגה חלופית עם שני מספרים, כפי שנראה בהמשך).

אורך המסלול מירושלים לנמל יפו יהיה גדול מן ההעתק, מפני שאיננו מתקדמים בקו ישר. ההעתק אינו מתיימר לתאר את המסלול כולו, אלא רק את מיקומה של נקודת הסיום ביחס לנקודת ההתחלה.

2

נתבונן במסע נוסף – מנמל יפו לנצרת. נציג את חץ ההעתק בקנה המידה שהשתמשנו בו קודם. גודל ההעתק הוא 88 km וכיוונו הוא  $54^\circ$  צפונה מן המזרח. החץ מוצג מימין.

בשלב זה אתם מסוגלים לסרטט חצים שמייצגים את ההעתק במקרים שונים.

<sup>2</sup> המושג המוכר עבור ההעתק בשפת היומיום הוא "מרחק אווירי", והוא שאול מן ההדמיה למטוס הנע בקו ישר מנקודת המוצא לנקודת הסיום. בהמשך נראה כי תיאור מלא של ההעתק כולל לא רק את המרחק, אלא גם את הכיוון.

### צירוף העתקים עוקבים

מי שעומד לרשותו המידע בדבר שני המסעות, מירושלים לנמל יפו ומנמל יפו לנצרת, מסוגל לומר משהו על ההעתק הכולל במסע שתחילתו בירושלים, המשכו בנמל יפו וסופו בנצרת. המידע הזה מאפשר לנו להציג את ההעתק הכולל כצירוף של שני העתקים. מציבים את זנב החץ השני בראש החץ הראשון, ומעבירים חץ מירושלים לנצרת. את גודל ההעתק מודדים בעזרת סרגל. את כיוון ההעתק מודדים בעזרת מד זווית. החץ מוצג משמאל. מפעולת הסרטוט הזאת אנו לומדים כי המטיילים העתיקו את מקומם, מציאתם מירושלים ועד הגיעם לנצרת, במרחק של 103 km ובזווית  $88^\circ$  מן המזרח.<sup>i</sup>

בשלב זה אפשר להציג כמה דוגמאות של סרטוט וקטורים ושל צירופם. אתם תעשו זאת במחברותיכם בעזרת מד זווית. אם השימוש במד זווית אינו מוכר לכם מספיק, זוהי הזדמנות ללמוד כיצד משתמשים בו.

### חיבור העתקים – כלל המשולש

מקובל לכוונת את הפעולה של צירוף העתקים בשם **חיבור העתקים**. כדי לחבר מציבים את קצהו של אחד החצים בראשו של האחר ומחברים בין נקודות הקצה האחרות. ההעתק המצורף ("סכום ההעתקים") הוא הצלע השלישית במשולש. זהו "כלל המשולש" בצירוף העתקים. הדבר מעמיד לרשותכם כלי סרטוטי למציאת הצירוף.



## הכרת מושגים – מסע בארץ

חבורת טיילים יוצאת למסע בארץ. החבורה יוצאת מירושלים בדרכה לנמל יפו ומשם היא ממשיכה לנצרת. אנו נעקוב אחר המסע ובהזדמנות זו נכיר את המושג הפיזיקלי **העתק** – מהותו ותכונותיו.

נפתח בנסיעה מירושלים לנמל יפו. אין לנו מידע על הדרך שבה בחרו המטיילים לנסוע. ייתכן שהם השתמשו ברכבת שנעה בין הרים במסלול מפותל למדי. ייתכן שהם השתמשו בכביש שהוא פחות מפותל ויותר קצר. אולי הם מיהרו ועשו את דרכם במטוס, במסלול כמעט ישר. אם כך, לא נוכל לומר מהו אורך המסלול שהחבורה עברה. עם זאת, בכל המקרים נקודת המוצא ונקודת היעד זהות, ולכן נוכל לומר שהשינוי במקום היה זהה. השינוי במקום מכונה **העתק**. הבה נכיר אותו.

ידוע כי המרחק (בקו ישר) בין ירושלים לנמל יפו הוא 54 km, וכי נמל יפו נמצא מצפון מערב לירושלים -  $36^\circ$  מצפון לכיוון מערב.

ציירו חץ שזנבו בנקודת המוצא (ירושלים) וראשו בנקודת היעד (נמל יפו), בקנה מידה של אחד למיליון (1:1,000,000). השתמשו בסרגל ובמד זוית.

החץ הזה מייצג (בקנה מידה) את המידה שבה הועתק מקומו של הגוף (קבוצת המטיילים). שימו לב שנוקדנו לשני מספרים – מרחק וכיוון, כדי לתאר את שינוי המקום.

מדוע אנו זקוקים לשני מספרים כדי לתאר את שינוי המקום של המטיילים?

בהנחה שהמטיילים עברו את הדרך במכונית על גבי כביש מספר 1. האם מד הקילומטרים שבמכונית יורה שהמכונית נסעה 54 ק"מ? תוכלו להשתמש בתכנות כמו Google Earth. בסופו של דבר עליכם להגיע למסקנה כללית שאינה תלויה במסלול. מדוע?



עם סיום הביקור בנמל יפו, המטיילים המשיכו בדרכם לנצרת. המרחק בין שני האתרים הוא 88 ק"מ. נצרת נמצאת מצפון מזרח לנמל יפו -  $54^\circ$  מצפון לכיוון מזרח.

סרטטו (בקנה המידה שהשתמשו בו קודם), תוך כדי שימוש בסרגל ובמד זוית, חץ שמתאר את ההעתק בחלק זה של המסע (מירושלים לנמל יפו).

## הכרת מושגים – מסע בארץ - המשך

עתה עולה השאלה מהו ההעתק הכולל במסע הזה – מירושלים לנצרת. מתברר כי אין צורך במידע נוסף. יש בידכם מספיק מידע כדי להסיק זאת.

השתמשו בסרטוט עזר, שכולל את שני ההעתקים שכבר סרטטתם, כדי לסרטט את החץ שמתאר את ההעתק הכולל, תוך כדי שימוש בסרגל ובמד זווית, וקבעו את גודלו ואת כיוונו של ההעתק הכולל.

סרטוט

תוצאות מדידה

גודלו של ההעתק הכולל הוא \_\_\_\_\_ ק"מ.  
כיוונו של ההעתק הכולל הוא \_\_\_\_\_ מעלות  
צפונה מן המזרח/מערב (בחרו תשובה).



קבוצת מטיילים אחרת יוצאת אף היא מירושלים ומסיימת את המסע בנצרת, אך היא אינה עוברת בנמל יפו, אלא מטיילת לאורך הירדן, ומגיעה לנצרת דרך בית שאן.

האם ההעתק הכולל של קבוצת המטיילים השנייה גדול מזה של הקבוצה הראשונה? קטן יותר? האם אף אחת משתי התשובות האלה אינה נכונה? הסבירו מדוע.

---



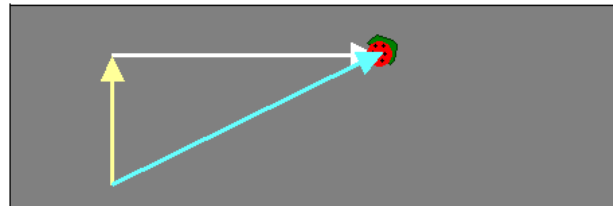
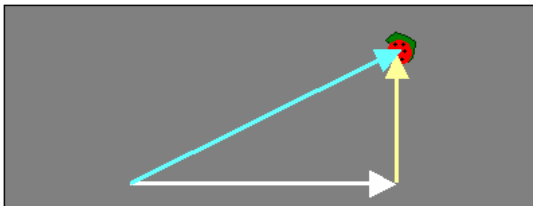
---

## צירוף של העתקים בו-זמניים

נתבונן בחיפושית שנמצאת על מסוע. החיפושית הקטנה אינה רואה למרחקים. ברגע זה כל עולמה מתמצה במסוע ובמה שמונח עליו. כיוון שאינה רואה את הסביבה, אין עולה בדעתה שהיא נמצאת על גבי משהו שנמצא בתנועה. החיפושית מזהה משהו טעים ומתחילה לנוע לעברו. בפרק הזמן שבו החיפושית משלימה את ההעתק שלה (חץ צהבהב), היא מוסעת, על ידי המסוע, ומתקדמת בכיוון התנועה של המסוע. ההעתק שקשור להסעה הזאת מיוצג על ידי החץ הלבן. החיפושית נעה בשני כיוונים שונים בעת ובעונה אחת (סימולטנית).

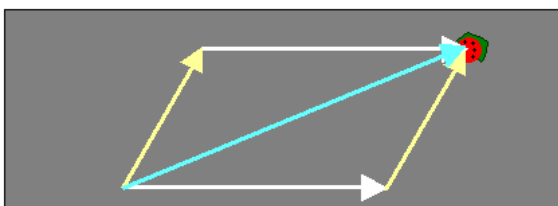
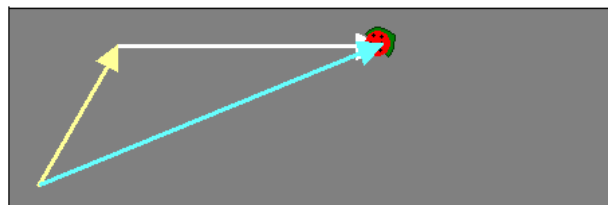
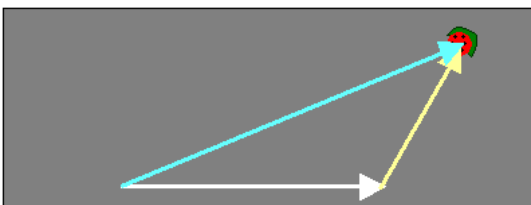


החיפושית שלנו נעה הן בכיוון תנועת המסוע והן בכיוון נוסף (בציר מוצג מקרה שבו הכיוון הזה ניצב לתנועת המסוע). יש כאן שני העתקים שקשורים לשתי תנועות. זה שונה ממה שראינו במסע לנצרת, שגם בו היו שני העתקים (מירושלים לנמל יפו ומנמל יפו לנצרת). במסע לנצרת שני ההעתקים היו עוקבים (נעשו בזה אחר זה). הפעם שני ההעתקים מתרחשים בו-זמנית. ובכל זאת, שני ההעתקים מתקיימים באופן בלתי תלוי, וההעתק הכולל מתקבל בדיוק באותה דרך (כלל המשולש). צופה מן החוץ שמתבונן במסוע, יגלה את המצב הבא ברגע שבו החיפושית מגיעה למזונה. אפשר לעשות זאת בשתי דרכים (ולקבל תוצאה זהה).



החץ האלכסוני (בצבע תכלת) מייצג את ההעתק הכולל, כפי שהוא נראה למי שמתבונן על המסוע מן החוץ.

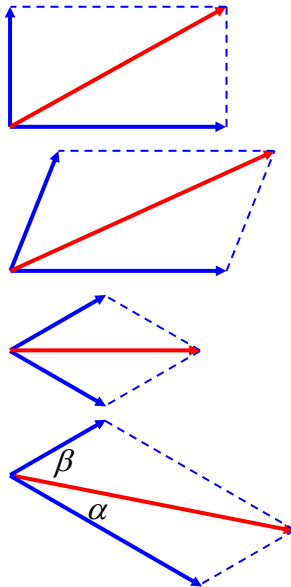
מה קורה אם שני ההעתקים אינם ניצבים? גם כאן פועלת שיטת המשולש.



נאחד את שני הסרטוטים. מתקבלת מקבילית. אם כן, הסכום של שני ההעתקים הוא האלכסון של המקבילית שנוצרת על ידיהם. אנו יכולים, אפוא, לראות את סכום ההעתקים כצלע שלישית של משולש – **כלל המשולש**, או כאלכסון של מקבילית – **כלל המקבילית**.

## כלל המשולש וכלל המקבילית

שני כללי החיבור שקולים זה לזה. הם מניבים תוצאה זהה<sup>3</sup>. עם זאת, כל אחד מהם מפנה את תשומת לבנו לעניינים שיש בהם משמעות. כאשר מדובר בהעתקים עוקבים, שיטת המשולש משקפת את התקדמות הגוף כמות שהיא, צעד אחר צעד.



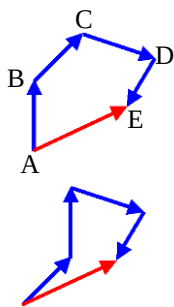
כאשר מדובר בחיבור העתקים בו-זמניים, דווקא סרטוט המקבילית משקף את הדברים טוב יותר, שהרי אין העתק אחד קודם למשנהו. האלכסון ממחיש לנו כי כיוונו של ההעתק הכולל (הסכום) הוא בין הכיוונים של שני ההעתקים הבודדים. זה נראה ברור אינטואיטיבית. לדוגמה: אם חיפושית מתקדמת בכיוון ציר  $x$  והמסוע מתקדם בכיוון ציר  $y$ , התוצאה היא ההעתק הכולל של החיפושית, המכוון בין שני הצירים. זה נכון גם כאשר מדובר בשני העתקים שאינם ניצבים. אלכסון המקבילית נמצא תמיד בין שני ההעתקים.

במקרה שבו שני ההעתקים הם שווי גודל, אין סיבה שכיוון ההעתק הכולל יהיה קרוב יותר לכיוונו של אחד משני ההעתקים הבודדים, מאשר לכיוונו של האחר. אם כך, ההעתק יהיה בכיוון חוצה הזווית<sup>4</sup>.

אם אחד משני ההעתקים גדול יותר, כיוון ההעתק הכולל יהיה קרוב יותר לכיוון שלו. בצירור רואים כי הזווית  $\alpha$  קטנה מן הזווית  $\beta$ . כלל המקבילית גם ממחיש היטב כי סדר החיבור אינו משנה.

## חיבור מרובה של העתקים

עד כה ראינו כיצד אפשר לחבר שני העתקים. האם אפשר להרחיב את פעולת החיבור למספר רב יותר של העתקים? אפשר כמובן, להתחיל בחיבור שני העתקים. מתקבל העתק שהוא סכום ההעתקים. לסכום הזה אפשר לחבר העתק נוסף, וכן הלאה. את זה אפשר לעשות על פי כלל המשולש או על פי כלל המקבילית.



אפשר גם אחרת. נתבונן במקרה של חיבור מרובה של העתקים עוקבים. בסרטוט שלפנינו ארבעה העתקים עוקבים (חצים כחולים), שמובילים בשלבים מן הנקודה A אל הנקודה E. ההעתק הכולל הוא החץ (האדום) המוביל מן הנקודה A אל הנקודה E. ההעתק הזה סוגר מחומש. אם כך, חיבור מרובה של העתקים מתקבל על ידי הכללה של כלל המשולש, שנוכל לכנותה **כלל המצולע**. כאשר פעולת החיבור נעשית בדרך זו, אין צורך בחישוב העתקי ביניים.

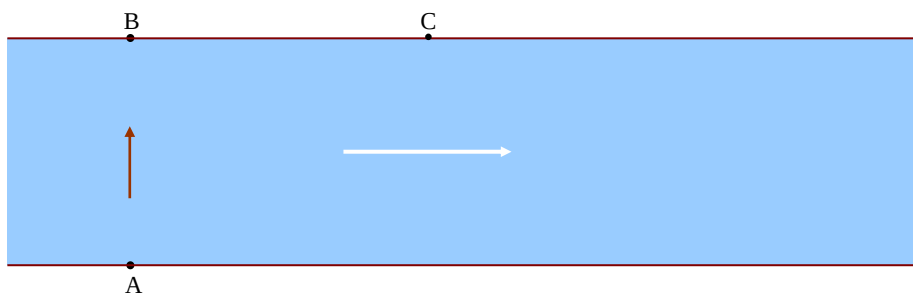
נתבונן בחיבור של ארבעת ההעתקים בסדר אחר. התוצאה זהה, כנדרש.

<sup>3</sup> סרטוט המקבילית כולל יותר קווים מאשר סרטוט המשולש. כאשר עובדים עם סרגל ומד זווית, נדרשות יותר פעילויות סרטוט.

<sup>4</sup> זהו המקרה שבו המקבילית היא מעוין.

## חקירה עיונית – סחיפה במורד הזרם

בתרשים שלפנינו מוצג נהר שרוחבו 45 m. מי הנהר נעים ימינה במהירות של 2 m/s.



נוסעת מבקשת לעבור בסירה ממזח שנמצא בנקודה A, למזח שנמצא בנקודה B שנמצאת מולה. משיט הסירה אינו שם לב לתנועת המים ומפנה את חרטום הסירה ישירות לעבר הנקודה B. הוא מפעיל את המנוע של הסירה

בעוצמה כזאת, שהייתה מביאה אותה לנוע במהירות של 1.5 m/s, אם מי הנהר היו עומדים (לא זורמים). כתוצאה מכך מגיעה הסירה, עם הסוור והנוסעת, לנקודה C על הגדה השנייה. עליכם לדון באירוע ולמצוא דרך להשיב על השאלות הבאות.

א. היכן נמצאת הנקודה C?

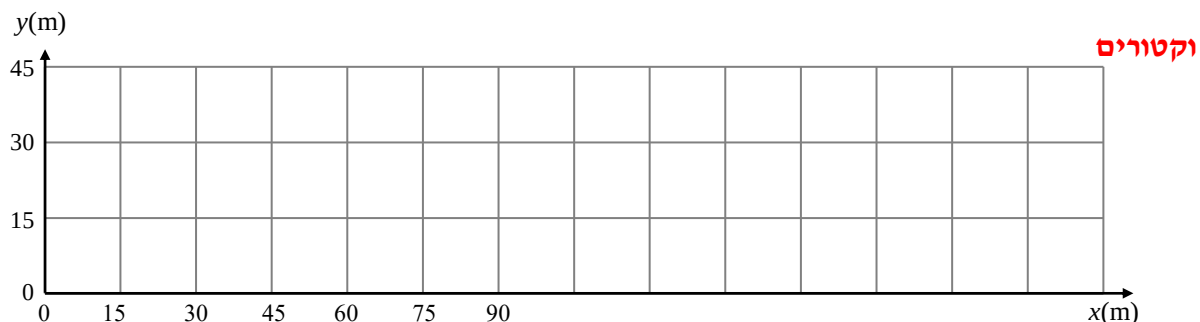
ב. איזה מרחק עוברת הסירה?

ג. באיזו מהירות מתקדמת הסירה?

ד. באיזה כיוון נעה הסירה?

ה. סרטטו את מסלול הסירה.

את הדרך לפתרון תבחרו במהלך של דיונים של צוות החקירה. אינכם חייבים להשיב על השאלות על פי הסדר שבו הן נשאלו. תוכלו להיעזר בסרטוט שלפניכם, שבו יש רשת קואורדינטות. תוכלו להשתמש בסרגל ובמד זווית.



## חקירה – חיבור מהירויות

נחזור אל הסירה שמשייטת בנהר ונבחן כמה מקרים. התייחסו לכל אחד מן המקרים.

**תנועה על קו המשווה:** נניח כי על קו המשווה נבנתה מסילת ברזל שמיועדת לרכבת מהירה במיוחד. הרכבת נוסעת על המסילה במהירות  $400 \text{ km/h}$  ( $400 \text{ ק"מ לשעה}$ ). צופה מחוץ לכדור הארץ שם לב כי מנקודת ראותו הארץ סובבת על צירה מזרחה (היקף הארץ הוא  $40,000 \text{ ק"מ}$ ), ויחד אֶתה נעות מזרחה מסילת הברזל והתחנות. חשבו מה תהיה מהירות הרכבת כפי שימדוד אותה הצופה הזה, ומה יהיה כיוון התנועה שלה מנקודת ראותו, בכל אחד מן המקרים הבאים:

- הרכבת נוסעת מזרחה (על קו המשווה).
  - הרכבת נוסעת מערבה (על קו המשווה).
  - הרכבת נוסעת צפונה (נעה על קו אורך שחוצה את קו המשווה).
- ציירו, על דף נפרד, את תרשימי הקצים המתאים והסבירו כיצד אתם נעזרים בו כדי לקבוע את התוצאות הכמותיות.

**תנועה במורד הנהר:** סירה נעה בנהר. משיט הסירה מכוון את המנוע כך שמהירות הסירה (ביחס למים) תהיה שווה למהירות המים ( $2 \text{ m/s}$ ), אך הכיוונים של שתי התנועות האלה יהיו שונים. צופה שמתבונן בנעשה מן החוף, טוען כי הוא רואה את הסירה נעה בכיוון אחר (שונה משני הכיוונים הקודמים), אך באותו גודל מהירות. האם הדבר ייתכן?

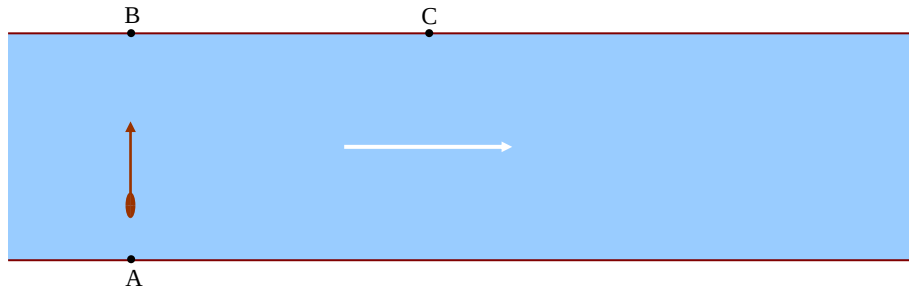
במילים אחרות: האם ייתכן שסכום של שני וקטורים  $A$  ו- $B$  שגודליהם שווים ( $A=B$ ), אך כיווניהם שונים, יהיה שווה בגודלו לגודלם של שני הווקטורים  $A$  ו- $B$ ? אם כן – ציירו את מערכת הווקטורים. אם לא – נמקו מדוע.

**עוד במורד הנהר:** ידוע כי המים זורמים במהירות  $2 \text{ m/s}$ , וכי משיט הסירה מכוון את המנוע כך שהסירה תנוע במהירות  $3 \text{ m/s}$  (ביחס למים), בכיוון כלשהו. האם ייתכן שצופה על גדת הנהר יראה את הסירה נעה במהירות: א.  $6 \text{ m/s}$  ב.  $5 \text{ m/s}$  ג.  $4 \text{ m/s}$  ד.  $0.5 \text{ m/s}$ ?

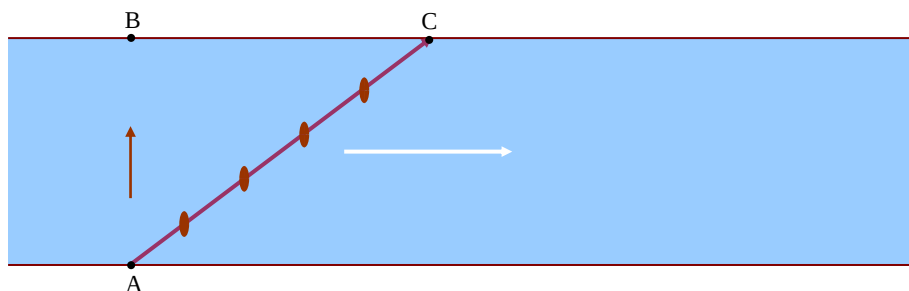
נמקו את תשובתכם בכל מקרה.

## חקר – מניעת סחיפה בנהר

באחת החקירות הקודמת עסקתם בסירה שנעה על פני המים. משיט הסירה מבקש להניע את הסירה בניצב לגדה, מן הנקודה A אל הנקודה B. הוא מכוון את חרטום הסירה לעבר הנקודה B, ומפעיל את המנוע כדי שהסירה תיסע במהירות  $1.5 \text{ m/s}$ .



משום שהמים זורמים במהירות של  $2 \text{ m/s}$ , תנועת הסירה בפועל היא בכיוון של סכום שתי המהירויות.



בנסיעה הבאה, משיט הסירה מנסה להתגבר על בעיית הסחיפה. הוא מכוון את המנוע כך שהסירה תנוע במהירות גדולה יותר, מבלי לשנות את הכיוון. האם הדבר יועיל?

משיט הסירה מבין שעליו להפנות את חרטום הסירה שלו שמאלה ולנוע עם מהירות שפונה באלכסון שמאלה. הוא גם מעוניין שהסירה תנוע בפועל לעבר הנקודה B במהירות  $2 \text{ m/s}$ . כזכור, מהירות המים היא  $2 \text{ m/s}$  ימינה. לאיזה כיוון על משיט הסירה להפנות את חרטום הסירה ולאיזו מהירות עליו לכוון את מנוע הסירה? סרטטו את מערך שלושת הווקטורים וערכו מדידות מתאימות כדי לחשב את הנדרש.

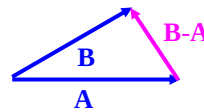
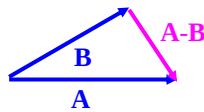
**סרטוט**

**תוצאות מדידה**

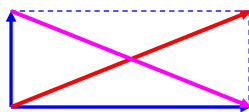
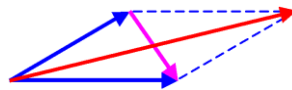
על משיט הסירה להפנות את הסירה  $^\circ$  צפונה מן המזרח/המערב (בחרו תשובה), ולהעניק לה מהירות של \_\_\_\_\_ ק"מ לשעה.



נתבונן בשני הווקטורים A ו-B. הווקטור A-B הוא הווקטור שיש להוסיף ל-B כדי לקבל את A. נציג זאת באמצעות כלל המשולש.



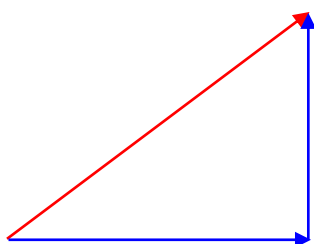
אנו רואים כי בניגוד לפעולת החיבור, בפעולת החיסור יש חשיבות לסדר הווקטורים. היפוך הסדר גורם להיפוך הכיוון של וקטור ההפרש.



את הסרטוט הזה אפשר לשלב בסרטוט המקבילית. אנו רואים כי בעוד האלכסון האחד של המקבילית (זה שממנו יוצאים שני הווקטורים המקוריים) מייצג את סכום הווקטורים, האלכסון השני מייצג את הפרשם (בשני כיוונים אפשריים).

אם שני הווקטורים ניצבים זה לזה, שני האלכסונים הם שווים גודל. במקרה כזה גודל וקטור הסכום שווה לגודל וקטור ההפרש. כיווניהם שונים.

### וקטור ורכיביו



נתבונן בגוף שני בקו ישר בכיוון צפון מזרח. ההעתק מיוצג על ידי חץ אלכסוני אדום. הוספנו לסרטוט עוד שני חצים כחולים. החץ האחד פונה מזרחה. החץ האחר פונה צפונה. הגוף לא נע לאורך החצים האלה. כאמור, הוא נע לאורך קו אלכסוני ישר. לשם מה הוספנו לסרטוט את החצים הכחולים? זה נעשה כדי לציין כי ההתקדמות האלכסונית כוללת בתוכה התקדמות כפולה – מזרחה וצפונה. החץ הנוסף האחד מספר לנו כמה הועתק הגוף מזרחה, בלי קשר להתקדמותו בכיוון צפון-דרום. החץ הכחול האחר מספר כמה הועתק הגוף צפונה, בלי קשר להתקדמותו בכיוון מזרח-מערב. שני החצים האלה מכונים **רכיבים**. במקרה שלנו, אלה הם **רכיבי וקטור ההעתק**.

באופן כללי, אפשר להציג וקטור כלשהו באמצעות רכיביו על שני הצירים במישור. זהו **פירוק לרכיבים**.<sup>5</sup> אתם תוכלו להשתמש בסרגל ובנייר משוּבָּץ כדי לפרק וקטור לרכיביו, וגם לבנות וקטור מתוך הכרת רכיביו, תוך כדי שימוש בסרגל ובמדד זווית. ראו שאלות בסוף הפרק.

אם אנו מכירים את הרכיבים של וקטור במישור, אפשר לשחזר את גודלו ואת כיוונו של הווקטור. מכאן שהרכיבים הם מאפיינים מלאים של הווקטור. אמור מעתה: אפשר לאפיין וקטור, חד ערכית, באמצעות ציון גודלו וכיוונו, אך אפשר גם לאפיין, חד ערכית, על ידי הצגת רכיביו.

### כאשר עוסקים בחיבור וקטורים ובחיסורם

חיבור וקטורים וחיסורם הם מן העניינים שתרגול מועיל בהם מאוד. כאשר עוסקים בחיבור העתקים, או בחיבור מהירויות, אין לשכוח שמדובר במושגים פיזיקליים מדידים בעלי יחידות. אין לשכוח לציין את היחידות.<sup>6</sup> לפי שעה עסקנו בווקטורי העתק ומהירות בלבד. בהמשך נתוודע לווקטורי תאוצה וכוח.

עם זאת, כיוון שווקטור הוא שם קיבוצי למושגים פיזיקליים שונים, יש היגיון בתרגול גנרי, שאין מדובר בו על מושג פיזיקלי מסוים, ושיהיה תקף למושגים פיזיקליים שונים, בעלי יחידות שונות. כאשר השאלה אינה מגדירה באיזה מושג פיזיקלי עוסקים, אלא מנוסחת עבור וקטור באשר הוא וקטור, אי אפשר לציין

<sup>5</sup> כיוון שבחירת כיוון הצירים היא עניין שרירותי, יש אינסוף אפשרויות של פירוק לרכיבים.

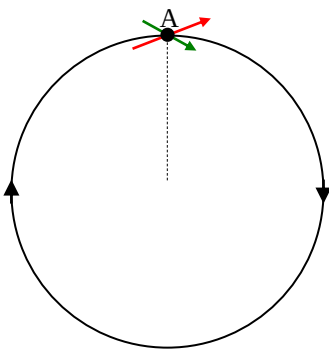
<sup>6</sup> אין לחבר וקטורים בעלי יחידות שונות. יש להאחד יחידות לצורך פעולת החיבור. אין לחבר וקטורים שמייצגים מושגים פיזיקליים שונים. לדוגמה: אין לחבר וקטור מהירות עם וקטור העתק.



יחידות. בשאלות אלה לא נוכל לצרף יחידות, כפי שאיננו מצרפים יחידות לשאלות מן הסוג "כמה זה חמש ועוד שלוש".

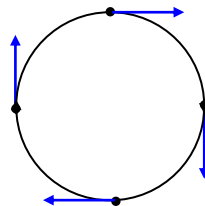
### כיוון וקטור המהירות בתנועה במסלול עקום

עד כה עסקנו בתנועות על קו ישר (ובצירופים שלהן במישור שהניבו תנועה ישרה בכיוון אחר). במקרים כאלה זיהוי הכיוון של וקטור המהירות עם כיוון התנועה עשוי להתקבל על ידכם בקלות יחסית. רוב התנועות במישור הן במסלולים שאינם ישרים. המסלול המעגלי מוכר מאוד, הן בשמים והן על פני הארץ. כאן ייתכן שהזיהוי של כיוון וקטור המהירות יהיה פחות נגיש לכם, בין היתר מפני שאין כיוון תנועה קבוע. חשוב לסייע לתלמידים להבהיר את הדברים, מפני שהזיהוי של כיוון התנועה עם המשיק הוא תנאי הכרחי להבנת מושג התאוצה בתנועה לא ישרה, ובכך נעסוק ביחידת הלימוד הבאה.



לשם פשטות, נדון בתנועה מעגלית. הדבר לא יפגע באופי העקרוני של ההסבר. ננסה להבין מהו כיוון וקטור המהירות בנקודה A.

אם וקטור המהירות היה מכוון כמו החץ האדום (שיוצא מן המעגל באלכסון), הגוף היה אמור לצאת מן המעגל ולהתרחק מן המרכז (לפחות זמנית). זה מנוגד לעובדה שמדובר במסלול מעגלי, שמאופיין על ידי רדיוס קבוע. באופן דומה, לא ייתכן שחץ המהירות ייכנס באלכסון לתוך המעגל, שהרי אז הגוף יחרוג מן המעגל פנימה, בניגוד לעובדה שהוא נע במסלול מעגלי. אם כך, חץ המהירות אינו יכול להיות "אלכסוני". חץ המהירות אמור להיות ניצב לרדיוס המעגל (הרדיוס מיוצג על ידי קו מקוטע). וקטור המהירות<sup>7</sup> אמור, אפוא, לפנות בכיוון המשיק.<sup>8</sup>



וזה הכלל: וקטור המהירות לעולם משיק למסלול.

### בין speed לבין velocity

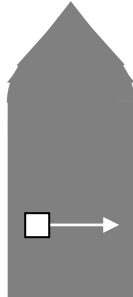
בשפה האנגלית יש הבחנה בין speed לבין velocity. שתי המילים הן תרגום של המילה העברית "מהירות". ביחידת לימוד זו עסקנו ב-velocity, הלא היא המהירות כווקטור, ויש לה גודל וכיוון. המילה speed משמשת אותנו לגודל המהירות, שמיוצג על ידי מספר לא שלילי, ללא ציון של הכיוון. זה מה שמראה מד המהירות במכונית. בעברית אין הבחנה כזאת.

<sup>7</sup> באיזו מהירות מדובר כאן? כזכור מהירות מתקבל מחלוקת העתק ( $\Delta x$ ) במרווח זמן ( $\Delta t$ ). מהו פרק הזמן? כדי לדייק כאן יש להבחין בין מהירות ממוצעת לבין מהירות רגעית. את העניין הזה אנו מותירים לחטיבה העליונה, משיקולים של הקצאת זמן ודרגת קושי. עם זאת, אם אתם מזהים שאתם מסוגלים לכך כבר עכשיו, אפשר לומר משהו קצר בעניין. לדוגמה: כיוון המהירות (הממוצעת) זהה לכיוון ההעתק. וקטור ההעתק הוא מיתר, שכיוונו הולך ומתקרב לכיוון המשיק, כאשר משך הזמן מתקצר והולך.

<sup>8</sup> אמנם חץ המהירות המשיק מצויר מחוץ למעגל, אך יש לזכור שהכיוון הזה הוא רגעי. בעוד זמן כלשהו, קצר ככל שיהיה, כיוון המהירות כבר ישתנה, אם מדובר במסלול מעגלי (או בכל מסלול שיש לו עקמומיות בנקודה זו). כאשר החץ אינו משיק, מתחייבת סטייה מן המעגל (יציאה או כניסה), אפילו לזמן קצר.

בכל הסעיפים השתמשו בסרגל ובמד זווית כדי לסרטט. מומלץ להשתמש בנייר משופץ.

### תנועה על הסיפון של נושאת מטוסים



עגלת ציוד נגררת על הסיפון של נושאת מטוסים בכיוון שמתואר בציור, במהירות של 4 ק"מ לשעה. כך נראים הדברים למלחים שנמצאים על הסיפון. באותו זמן נושאת המטוסים מתקדמת במהירות של 10 ק"מ בשעה. מעל לנושאת המטוסים מרחף מסוק, שנותר במקומו, ואינו מתקדם עם הספינה. הטייס מדווח על מהירותה של עגלת הציוד, כפי שהיא נראית לו.

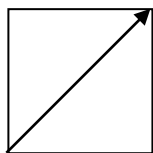
מהו גודל המהירות, ומה כיוונה, על פי דיווחו של הטייס? כדי למצוא זאת, סרטטו וקטורים וערכו מדידות באמצעות סרגל ומד זווית.

### חיבור וקטורים וחיסורם

הווקטור **A** מכיון ימינה וגודלו הוא 5 יחידות. הווקטור **B** מכיון בכיוון צפון מערב,  $45^\circ$  מכיוון מערב, וגודלו 6 יחידות.

- סרטטו את שני הווקטורים.
- סרטטו, תוך כדי שימוש בכלל המשולש, את וקטור הסכום **A+B**.
- מצאו, בדרך של מדידה, את גודל וקטור הסכום ואת כיוונו.
- תלמידה טוענת כי הסכום **B+A** זהה לסכום **A+B**. האם אתם מסכימים איתה? הסבירו.
- סרטטו, תוך כדי שימוש בכלל המשולש, את וקטור ההפרש **A-B**.
- מצאו, בדרך של מדידה, את גודל הווקטור **A-B** ואת כיוונו.
- תלמיד טוען כי ההפרש **A-B** זהה להפרש **B-A**. האם אתם מסכימים איתו? הסבירו.

### מה כיוונו של הקו



גבי מתאמן בסרטוט. הוא מסרטט את האלכסון של גיליון נייר ריבועי ( $30 \times 30$  ס"מ), כמתואר בציור. הוא מניע את ידו לאורך האלכסון, במהירות קבועה, ומשלים את סרטוט הקו במשך 3 שניות. לאחר אימונים מתאימים הוא מסוגל לחזור על הפעולה בדיוק רב, אפילו בעיניים עצומות, ולקבל אלכסון מופתי. גבי מראה לאסתי את יכולתו לחזור על הפעולה בעיניים עצומות. אסתי מפתיעה אותו. ברגע שהוא מתחיל לצייר את הקו, בצד שמאל של הגיליון, אסתי מתחילה למשוך את הגיליון שמאלה. גם היא מסוגלת לדייק. היא מושכת את הדף במהירות קבועה של 6 ס"מ לשנייה.

- סרטטו את וקטורי המהירות של הנייר ושל העיפרון של גבי. אסתי וגבי מתבוננים בקו שהתקבל על הנייר, שאיננו בכיוון שאליו גבי כיוון. הם חלוקים בשאלה אם כיוון הקו שהתקבל הוא כיוון הסכום של שני הווקטורים שציירתם, או כיוון ההפרש.
- מה דעתכם – האם הקו שהתקבל הוא בכיוון הסכום של הווקטורים שסרטטתם? בכיוון ההפרש? בכיוון אחר? נמקו.
- מהו אכן הכיוון של הקו? מצאו בדרך של סרטוט.

## תנועה במישור אנכי

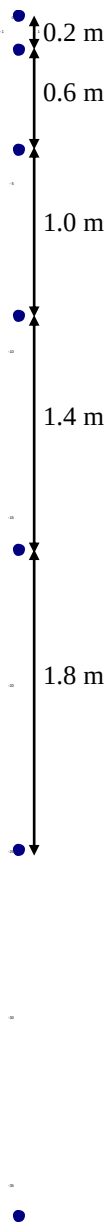
### תנועה בהשפעת הכובד על פי גלילאו



בתצלום שלפנינו נראה קילוח מים שיוצא ממשורה דרך נקב. כל טיפת מים יוצאת מן המשורה בכיוון אופקי. בהעדר כוח כובד הטיפה היתה מתמידה בתנועה האופקית, אך כוח הכובד מטה את המסלול. בתצלום אנו רואים את המסלול מתוך התבוננות בטיפות רבות מאוד שיצאו בזמנים שונים מן הנקב. גלילאו הצליח לבנות תיאוריה שבמסגרתה אפשר להבין שהמסלול הוא בעל צורה מתמטית מוגדרת – פרבולה. ביחידת לימוד זו נלך בעקבותיו.



עמוד השער של ספרו של גלילאו על "שני מדעים חדשים"



**הסדירות בהעתקים העוקבים:** הסרטוט משמאל מתאר את תנועתו של גוף שמשוחרר ממנוחה ונופל חופשית. הסימונים מייצגים את מקום הגוף במרווחי זמן זהים של חמישית שנייה (0.2 s). במרווח הזמן הראשון גודל ההעתק הוא 0.2 m (20 ס"מ). במרווח הזמן השני ההעתק הוא פי 3. במרווח הזמן השלישי ההעתק הוא פי 5 מזה שבמרווח הזמן הראשון. במרווח הזמן הבא ההעתק הוא פי 7 מזה שבמרווח הזמן הראשון, וכן הלאה. גלילאו הבחין בסדרה הזאת, שהיא **סדרת המספרים האי זוגיים**.

**הסדירות במהירויות בקטעים העוקבים:** בכל קטע אפשר לחשב את המהירות המתאימה לאותו קטע, על ידי חלוקת ההעתק בזמן. זוהי מהירות ממוצעת לאותו קטע, שהרי המהירות משתנה גם במהלך פרק הזמן הקצר הזה. המהירות הממוצעת בקטע הראשון מתקבלת מחלוקה של גודל ההעתק (0.2 m) בפרק הזמן (0.2 s) והיא 1 m/s. בקטע השני המהירות הממוצעת היא 3 m/s. בקטע השלישי המהירות הממוצעת היא 5 m/s, וכן הלאה. בכל חמישית שנייה המהירות הממוצעת גדלה ב-2 m/s. בכל שנייה המהירות הממוצעת גדלה ב-10 m/s. התאוצה היא, אפוא,  $10 \text{ m/s}^2$ . **נפילה חופשית היא תנועה בתאוצה קבועה.**

**מהירות רגעית:** עסקנו קודם במהירות ממוצעת. כך למשל, בקטע הראשון המהירות הממוצעת הייתה 1 m/s. כזכור, הכדור יצא ממנוחה. כלומר, ממש בתחילת הדרך לא הייתה לו מהירות. במהלך פרק הזמן הראשון המהירות גדלה בקצב קבוע מ-0 עד ל-2 m/s. בממוצע המהירות הייתה 1 m/s.<sup>9</sup> ההבחנה בין מהירות ממוצעת למהירות רגעית אינה פשוטה. גם אם נחלק את מרווח הזמן הראשון לעשרה חלקים נגלה כי המהירות הממוצעת ( $\Delta x / \Delta t$ ) הולכת וגדלה בכל קטע זמן חלקי. המהירות ברגע מסוים (מהירות רגעית) משקפת את מה שהיינו מקבלים אם יכולנו לחשב את המהירות הממוצעת בפרק זמן קטן מאוד (מאוד).<sup>10</sup>

**זמן הנפילה:** לצורך הדיון נבחר בציר שראשיתו בנקודה שבה גוף שוחרר ממנוחה וכיוון הציר הוא כלפי מטה. איזה מרחק (בבחינה שלנו המרחק הוא y) נופל גוף שמשוחרר ממנוחה במשך פרק זמן כלשהו (שנסמן אותו ב-t)? נחשב זאת.

הקשר בין המרחק לזמן הוא  $y = \bar{v}t$  (כאשר  $\bar{v}$  היא המהירות הממוצעת  $\Delta x / \Delta t$ ). מצד שני ראינו כי המהירות הממוצעת מתחילת הנפילה ועד לסוף פרק הזמן היא הממוצע בין המהירות ההתחלתית (אפס) לבין המהירות הרגעית הסופית (v), ולכן:  $\bar{v} = v / 2$ . מכאן:  $y = \bar{v}t = vt / 2$ .

המהירות כעבור זמן t היא תוספת המהירות במשך זמן t מרגע היציאה ממנוחה, כלומר  $v = gt$ . נציב זאת בביטוי ל-y ונקבל:

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

הצגנו כאן הוכחה כללית של הנוסחה מתוך שימוש בפרמטרים. אפשר להתחיל עם דוגמה מספרית ואז לעבור לחישוב הפרמטרים.

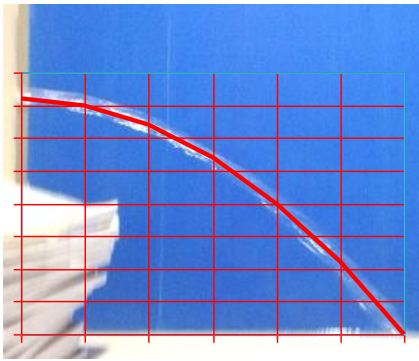
**שאלות כמותיות:** הנוסחה  $y = gt^2 / 2$ , מאפשרת לנו להביא תלמידים להתנסות בשימוש בכלי מתמטי לניתוח תרחישים וחישוב תוצאות כמותיות. אפשר להתחיל בשאלות שבהן שניים מן הגדלים y, g ו-t נתונים ויש לחשב את השלישי, ולהמשיך בשאלות מורכבות יותר. ראו דוגמאות כאלה בסוף היחידה.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> זה נכון אם התאוצה קבועה.

<sup>10</sup> המהירות הרגעית היא הגבול של המהירות הממוצעת כאשר מרווח הזמן שואף לאפס. לא נעסוק במושג הגבול בחטיבת הביניים.

<sup>11</sup> יש לשים לב שמדובר בבעיות שבהן הגוף משוחרר ממנוחה. בעיות מרוכבות יותר של תנועה אנכית בהשפעת הכובד (שבהן יש גם מהירות התחלתית) יידונו בחטיבה העליונה. ההתנסות הנוכחית היא מעין מדרגה לקראת החטיבה העליונה.

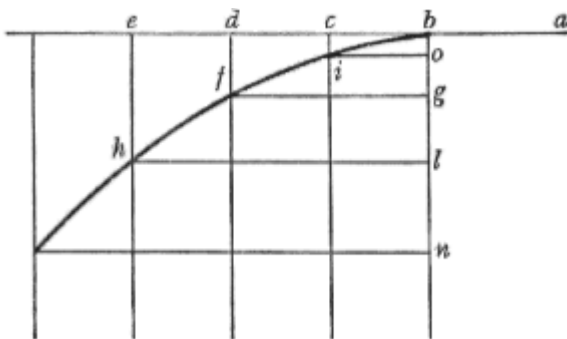
## נפילה בעקבות שיגור אופקי



**תיאור התנועה:** גוף שמשוגר אופקית יוטה מכיוונו המקורי בגלל כוח הכובד ויפול במסלול עקום ארצה. זרמי מים מדגימים את הדבר יפה. בעקבות גלילאו, נראה עתה כי אנו מסוגלים לחשב את המסלול בדיוק. אל התצלום צורף גרף תיאורטי.

**הפרדת הדיון לרכיבים:** אנו עוסקים בתנועה בשני ממדים – אנכי ואופקי. ההעתק, המהירות והתאוצה הם וקטורים. במהלך התנועה יש להעתק ולמהירות רכיבים בשני הממדים (הדברים מייחסים רק למה שמתרחש בעקבות היציאה מן הנקב). לתאוצה יש רק רכיב תאוצה אנכי – גודלו מסומן ב- $g$  וכיוונו כלפי מטה.

זה מאפשר לנו דיון יעיל תוך הפרדה לרכיבים. בכיוון האופקי אין תאוצה – המהירות קבועה (בהזנחת השפעת האוויר). בכיוון האנכי יש תאוצה קבועה. אם אנו משגרים את הכדור אופקית, אין למהירות רכיב אנכי ברגע השיגור. אם כך, אנו יודעים בדיוק איך ישתנו הרכיבים האנכיים של ההעתק והמהירות, שהרי פתרנו קודם את הנפילה האנכית החופשית בעקבות שחרור ממנוחה.



**הרכיב האופקי של התנועה:** בהעדר התנגדות אוויר אין כוח בכיוון אופקי ומכאן שאין תאוצה ברכיב האופקי. רכיב המהירות האופקי הוא, אפוא, קבוע, ולכן הוא שווה למהירות ההתחלתית, שהייתה אופקית. נסמן אותה ב- $u_0$ . אם נבחר כי בנקודת השיגור יתקיים  $x = 0$ , הרי שמתקיים כי  $x = u_0 t$ . **בכיוון האופקי הגוף עובר העתקים שווים בזמנים שווים.**

**הרכיב האנכי של התנועה:** בכיוון האנכי הכוח קבוע ולכן גם התאוצה קבועה. כיוונה הוא כלפי מטה. גודלה מסומן ב- $g$ . מצאנו כי הקשר בין זמן הנפילה ( $t$ ) לבין  $y$  הוא  $y = gt^2/2$ . **בכיוון האנכי הגוף עובר מרחקים שהולכים וגדלים בקצב קבוע בזמנים שווים.** הציון מספרו של גלילאו ממחיש את הדברים.<sup>12</sup>

**שאלות כמותיות:** צמד הנוסחאות  $x = u_0 t$  ו-  $y = gt^2/2$ , מאפשר לנו להביא תלמידים להתנסות בשימוש בכלי מתמטי לניתוח תרחישים ולחישוב תוצאות כמותיות בשני ממדים. הפעם אפשר לפתור שתי משוואות בשני נעלמים. בשאלה אופיינית שניים מן הגדלים  $x, y, u_0, g$  ו- $t$  יהיו נעלמים. היתר אמורים להיות נתונים. דוגמאות של שאלות כאלה תמצאו בסוף היחידה.

**צורת המסלול:** המסלול מתואר על ידי משוואה שמציגה את  $y$  כפונקציה של  $x$ . נעשה זאת בפרמטרים.

$$x = u_0 t \Rightarrow t = \frac{x}{u_0}$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow y = \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{u_0} \right)^2$$

התנועה הדו ממדית היא צירוף של שתי תנועות, אופקית ואנכית שמתרחשות בו זמנית. משתי הנוסחאות

$$y = \frac{g}{2u_0^2} x^2$$

נוכל לקבל את צורת המסלול -  $y(x)$ .

הקשר הוא ריבועי והוא מתואר באופן גרפי על ידי פרבולה.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> גלילאו בחר את הכיוון החיובי של ציר  $x$  שמאלה. זו אינה הבחירה השגרתית (זוהי בחירה "עברית" – מימין לשמאל), אך היא כשרה לחלוטין, כפי שבחירת ציר כלפי מטה אינה פחות כשרה מבחירת ציר כלפי מעלה.

<sup>13</sup> למרבה הצער, לא נוכל לראות בנוסחה את המקרה של נפילה אנכית מפני שבמקרה זה המונה והמכנה מתאפסים.

## דף מחקר – הטווח האופקי של שיגור אופקי

**האתגר:** לרשותכם עומדים אקדח צעצוע עם קליע, סרגל או נייר מילימטרי, כנים (סטטיבים), מתפסים לכנים וגומיות. המשימה המוטלת עליכם היא להציב את האקדח בגובה מסוים (שייקבע על ידי המורה), כך שהוא ישגר את הקליע בכיוון אופקי. עליכם לחשב מראש היכן אמור הקליע לפגוע ברצפה, להציב באותו מקום צלחת לשימוש חד פעמי, ללחוץ על ההדק ולברר אם אכן פגע הקליע בצלחת.

**קביעת מהירות השיגור:** כדי לקבוע את מהירות הקליע, הציבו את האקדח כך שהקנה שלו מופנה כלפי מעלה (אנכית, ככל שתוכלו לדייק). חזקו אותו כך שלא יזוז בעת הלחיצה על ההדק. השתמשו בסרגל או בנייר מילימטרי כדי לתכנן מערך שיאפשר לכם למדוד את הגובה המרבי שאליו יגיע הקליע (לפני שיחזור על עקבותיו כלפי מטה).

א. לחצו על ההדק ומדדו את הגובה המרבי. חזרו על המדידה מספר פעמים. רשמו את התוצאות.

---

ב. אם התוצאות קרובות זו לזו חשבו את הממוצע שלהן ורשמו אותו:

---

ג. השתמשו בנוסחה  $v_0 = \sqrt{2gy_{\max}}$  כדי לקבוע את המהירות ההתחלתית. פרטו בכתב את החישוב ואת התוצאה:

---



---

## דף מחקר-הטווח האופקי של שיגור אופקי - המשך

**חישוב מקום הפגיעה:** חשבו היכן יפגע הקליע ברצפה. לרשותכם עומדות הנוסחאות  $x = v_0 t$  ו-  $y = \frac{gt^2}{2}$ . כיוון ציר  $y$  הוא כלפי מטה. פרטו בכתב את החישוב ואת התוצאה:

---

---

---

**שיגור:** הציבו צלחת בנקודת היעד. לחצו על ההדק. האם הקליע פגע בצלחת? רשמו את תוצאות הניסוי.

---

**ניתוח התוצאות:** אם הקליע לא פגע בצלחת, ערכו דיון. רשמו את מסקנותיכם והציעו דרכי שיפור.

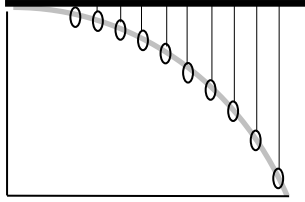
---

---

**שיגור חוזר:** חזרו על השיגור. האם התוצאות השתפרו?

---

## דף מחקר – שיגור אופקי דרך חישוקים



**האתגר:** לפנינו אתגר כיתתי. הכיתה מתחלקת לצוותים. כל צוות אחראי לחלק מן האתגר. ההצלחה מותנית בדיוק בעבודתם של כל הצוותים. בכיתה מוצב משגר. כדורים משוגרים ממנו אופקית. כל צוות מציב חישוק בדרכו של הכדור, כך שהכדור המשוגר יעבור דרך החישוק. כל צוות אחראי להצבת חישוק במרחק שונה מן המשגר. עבודתכם תיחשב להצלחה אם הכדור יעבור את דרך כל החישוקים.

**קביעת מהירות השיגור:** בתחילת השיעור יערכו מספרים שיגורים.

א. בכל שיגור, סמנו את מקומות הפגיעה ברצפה (באמצעות נייר פחם הפוך). בחרו בנקודה מייצגת במרחק המקבץ. מדדו את המרחק האופקי מנקודת השיגור אל מרכז המקבץ. רשמו את המרחק הזה.

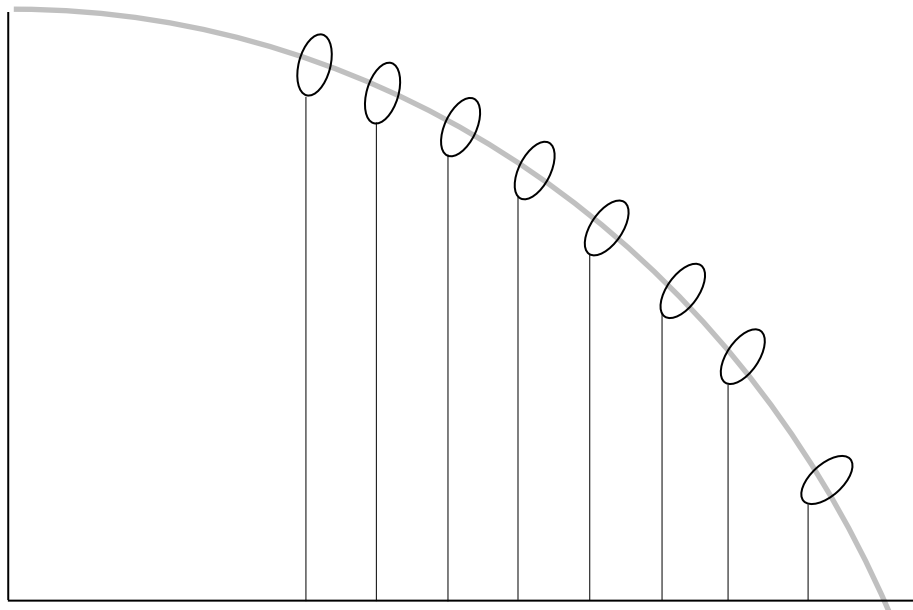
ב. מדדו את גובה נקודת השיגור מעל לרצפה.

ג. השתמשו בנוסחאות  $x = v_0 t$  ו-  $y = gt^2/2$  כדי לקבוע את המהירות ההתחלתית. פרטו בכתב את החישוב ואת התוצאה:

**חישוב המקום של החישוק:** כל צוות יקבל מן המורה מרחק אופקי מן המשגר שבו יהיה עליו להציב חישוק.

ד. בהתחשב במרחק האופקי. חשבו את הגובה שבו יוצב החישוק. רשמו אותו:





**הצבת החישוקים:** כל צוות אמור להציב את החישוק שלו במקום המדויק. אפשר להיעזר בכנים (סטטיבים), מוטות, מתפסים, שולחנות וכדומה.

**בדיקה כיתתית:** עד עתה כל צוות עבד לבד. עתה מליאת הכיתה תתבונן במערך החישוקים. האם הוא סביר? האם הוא נמצא במישור אנכי אחד?

**תיקונים:** כל צוות יערוך את התיקונים הנדרשים לקראת השיגור המכריע.

**השיגור המכריע:** כאשר הכיתה מוכנה ייערך השיגור המכריע, בתקווה שהכדור יעבור מבעד לכל החישוקים בדרכו אל הרצפה.

**נפילה אנכית – חישוב מרחקים**

כדור משוחרר ממנוחה ומתחיל ליפול מטה. נעקוב אחרי תנועתו לפני שהוא פוגע ברצפה.

א. תלמידים חישבו את המרחק שהכדור עבר בשתי השניות הראשונות לנפילתו, ובארבע השניות הראשונות לנפילתו. חשבו את שני המרחקים האלה.

ב. צוות אחר של תלמידות חישב את המרחק שהגוף עבר ב-1.5 השניות לתנועתו וב-3 השניות הראשונות לתנועתו. חשבו גם את שני המרחקים האלה.

ג. שני הצוותים הגיעו למסקנה שבזמן כפול עוברים הכדורים מרחק גדול פי 4. הם תהו האם זה מקרי, או שמדובר בתוצאה שתהיה נכונה לכל זוג זמנים שמתייחסים זה לזה כמו 1:2. מה דעתכם? האם מדובר במשהו כללי? האם אתם מסוגלים להוכיח זאת? אם כן – הוכיחו.

ד. בניסויים אחרים חישבו התלמידים את המרחקים שהגוף עובר בזוג זמנים שמתייחסים זה לזה כמו 1:3 (למשל: השוואה בין מרחק הנפילה בשנייה הראשונה לנפילתו לעומת מרחק הנפילה ב-3 השניות לתנועתו, או השוואה בין הנפילה ב-1.5 השניות הראשונות לתנועתו לבין הנפילה ב-4.5 השניות הראשונות לתנועתו). האם גם הפעם יש מסקנה משותפת? אם כן מהי? האם תוכלו להוכיח אותה? עם כן – עשו זאת.

ה. בעקבות שתי המסקנות הכלליות שהתקבלו בשני הסעיפים האחרונים, אפשר לנסח ולהוכיח טענה כללית יותר. נסו לנסח ולהוכיח.

**נפילה אנכית – חישוב זמנים**

- א. כדור משוחרר ממנוחה מגובה 5 מטרים מעל פני הקרקע. חשבו כמה זמן תימשך נפילתו.
- ב. חזרו על החישוב במקרים שבהם משחררים את הכדור מגובה 20 מטרים ומגובה 45 מטרים.
- ג. האם מתוך שלושת החישובים שלכם אתם מזהים תבנית כללית? אם כן – מהי? האם תוכלו להוכיח זאת מן הנוסחאות?

**נפילה על פני כוכב לכת מסתורי**

סייר חלל הגיע לכוכב לכת בלתי מוכר נטול אטמוספירה. הוא שחרר גוף מגובה 22.5 מטרים ומצא שהגוף מגיע לפני הקרקע כעבור 1.5 שניות. חשבו את תאוצת הנפילה החופשית על פני כוכב לכת זה.

**שיגור על פני כוכב לכת מסתורי**

סייר החלל מן השאלה הקודמת עורך ניסוי נוסף על אותו כוכב לכת. הוא משגר אופקית גוף במהירות 2 m/s, מגובה 90 m. חשבו היכן יפגע הגוף בקרקע.

**שיגור על פני הארץ**

משגרים כדור אופקית מגובה 20 מטרים מעל פני הארץ.

א. חשבו היכן יפגע הכדור בפני הארץ אם מהירות השיגור היא:

1. 10 m/s
2. 20 m/s
3. 30 m/s

ב. האם אתם מזהים תבנית בפתרונות? אם כן, נסו להוכיח את ההכללה שזיהיתם.

בסדרת ניסויים אחרת משגרים את הכדור במהירות 10 m/s מגבהים שונים – 5m, 20 m ו-45 m.

ג. חשבו את מרחק הפגיעה בכל אחד מן המקרים.

ד. האם אתם מזהים תבנית בסדרת הניסויים הזאת? אם כן, נסו להוכיח את ההכללה שזיהיתם.

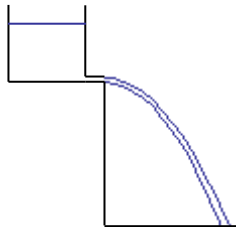
### הנחתת סיוע מן השמים

אנו מבקשים להנחית סיוע לאיזור שמוכה באסון טבע. לשם כך נשלח מטוס. המטוס נמצא במסלול אופקי. ברגע מסוים נפתחת דלת בתחתית המטוס ומטען סיוע שנמצא בבטן המטוס (מרופד היטב) מתחיל ליפול. בין תלמידים מתעורר ויכוח היכן יש לשחרר את המטען. תלמיד אחד טוען כי חשוב לדייק בשחרור החבילה ולכן יש לפתוח את הדלת כאשר המטוס נמצא ממש מעל ליעד. תלמידה טוענת כי דווקא במקרה זה ברור שהמטען לא יגיע ליעד.

א. מי מהם מתאר את המציאות כהווייתה? הסבירו. זכרו שאיננו מתחשבים בהשפעת האוויר על הנפילה.

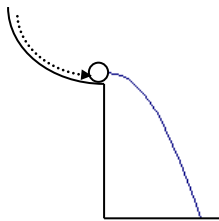
נתון כי המטוס טס בגובה 500 מטרים, במהירות 360 ק"מ לשעה.

ב. חשבו היכן יש לפתוח את הדלת כדי שהמטען יגיע ליעדו.



### חקירה עצמאית בקילוח מים

מים שיוצאים מנקב בדפנות מיכל, מתחילים בתנועה אופקית, אך הקילוח מוטה כלפי מטה בגלל כוח הכובד. הכינו מערך ניסוי כזה. צלמו תמונת סטילס של הקילוח ברגע מסוים. לצורך הצילום צרפו למערכת המצלמת סרגל, כדי שלתמונה יהיה קנה מידה. השתמשו בתמונה זו כדי לקבוע את מהירות היציאה של המים מן הנקב. נסו לעשות זאת תוך דיון בין חברי הצוות, לפני שאתם מבקשים הנחיה מן המורה.

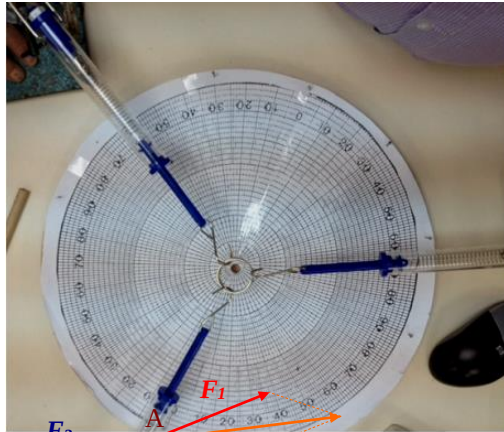


### חקירה עצמאית בכדור נופל

משחררים כדור מן הנקודה העליונה של מסילה עקומה, הכדור צובר מהירות תוך כדי ירידה על המסילה ויוצא מן המסילה בכיוון אופקי. חזרו על הניסוי מספר פעמים כדי לוודא שהכדור פוגע ברצפה בכל פעם באותו מקום (כמעט). השתמשו בתוצאות המדידה כדי לקבוע את מהירות היציאה של הכדור מן המסילה. לאחר מכן שנו את גובה המסילה. חשבו מה אמור להיות מקום הנפילה החדש ובדקו אם הדבר מתמשש במציאות.

## הכוח כווקטור

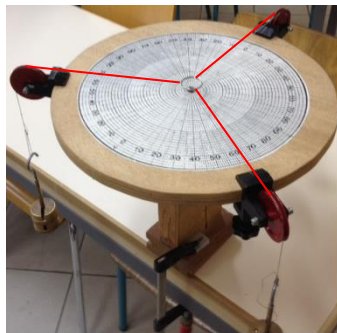
צירוף כוחות במישור – מדידה וסרטוט



בתצלום שלפנינו יש טבעת שמוחזקת במקומה באמצעות שלושה מדי כוח קפיציים. במערך זה כל מד כוח מודד את הצירוף הווקטורי (הכוח השקול) ששני מדי הכוח האחרים מפעילים על הטבעת.

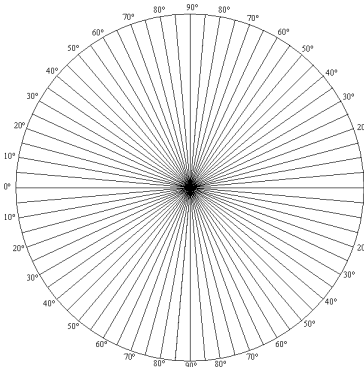
### מדידה של צירופי כוחות בשני ממדים

כאן אנו עוסקים בצירופי כוחות בשני ממדים. כיצד עושים זאת במעבדה? הניסוי שיוצע כאן מבוסס על השוואת הצירוף של שני כוחות ( $F_1$  ו- $F_2$ ) שפועלים על גוף מסוים (A) לכוח שלישי שפועל על אותו גוף ( $F_3$ ), במצב שיווי משקל. במצב כזה הצירוף של שני הכוחות הראשונים שווה בגודלו והפוך בכיוונו לכוח השלישי. מטרתנו היא להציע ניסויים שבהם אפשר לממש את המדידה.



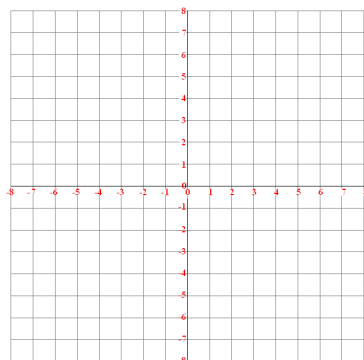
נציע כאן שני ניסויים. במערך הניסויי האחד (שולחן כוחות) הכוחות יופעלו על ידי חוטים שיימתחו על ידי משקולות שייתלו עליהם (תצלום משמאל).

במערך הניסויי האחר הכוחות יופעלו על ידי דינמומטרים (תצלום בראש העמוד וסרטוט משמאל). בהמשך היחידה נציג את שני המערכים, תחילה במסגרת הרקע למורה ובהמשך באמצעות דפי מחקר לתלמיד. אפשר להשתמש בכל אחד מן המערכים. אפשר גם שצוותים שונים יעבדו עם מערכי ניסוי שונים.

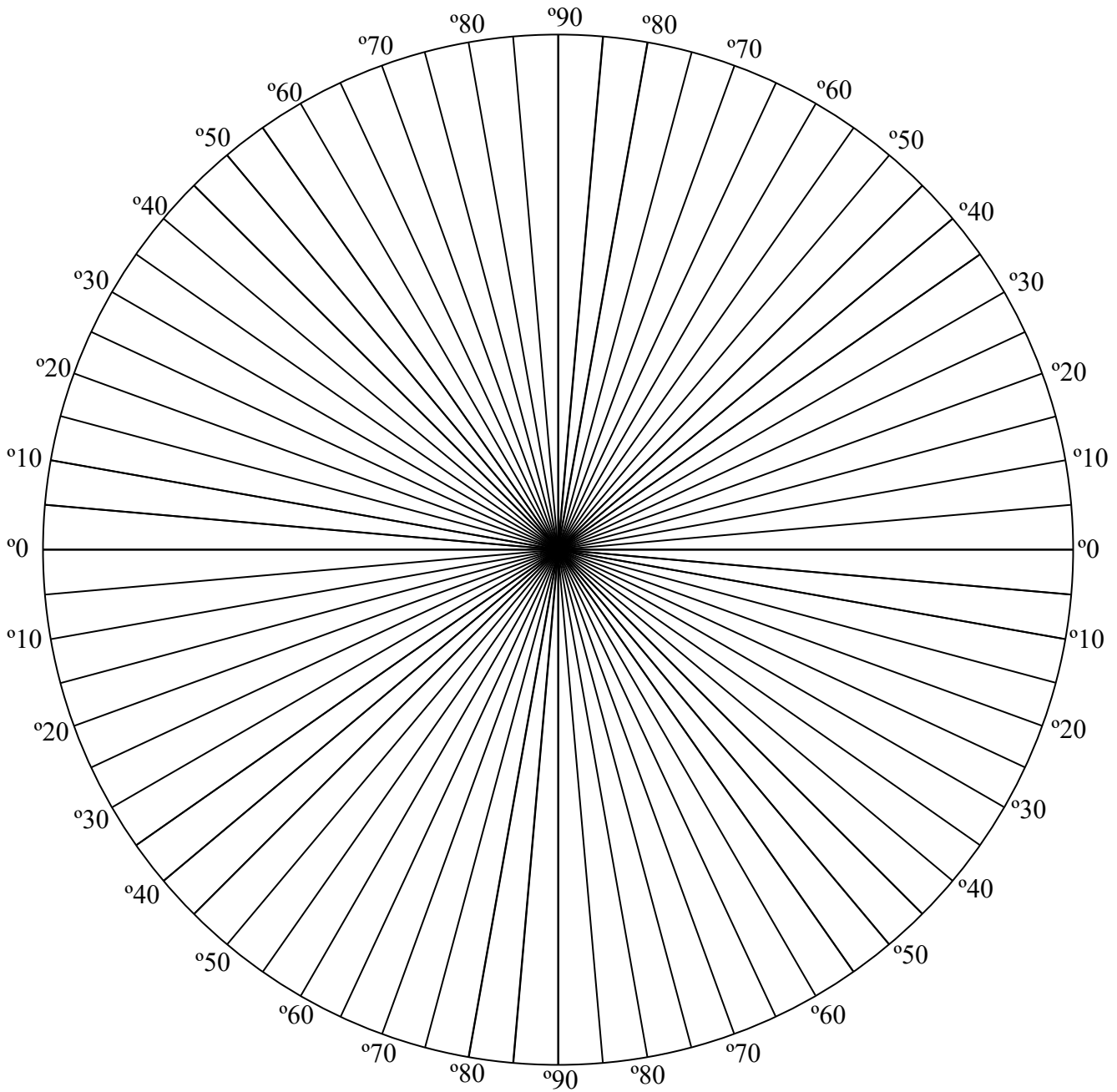


לצורך הסרטוט תוכלו להשתמש במד זווית ל- $360^\circ$  או במערכת צירים קרטזית שתמצאו בהמשך של יחידת לימוד זאת. אתם תוכלו לסרטט את הווקטורים על גיליונות נייר אלה.

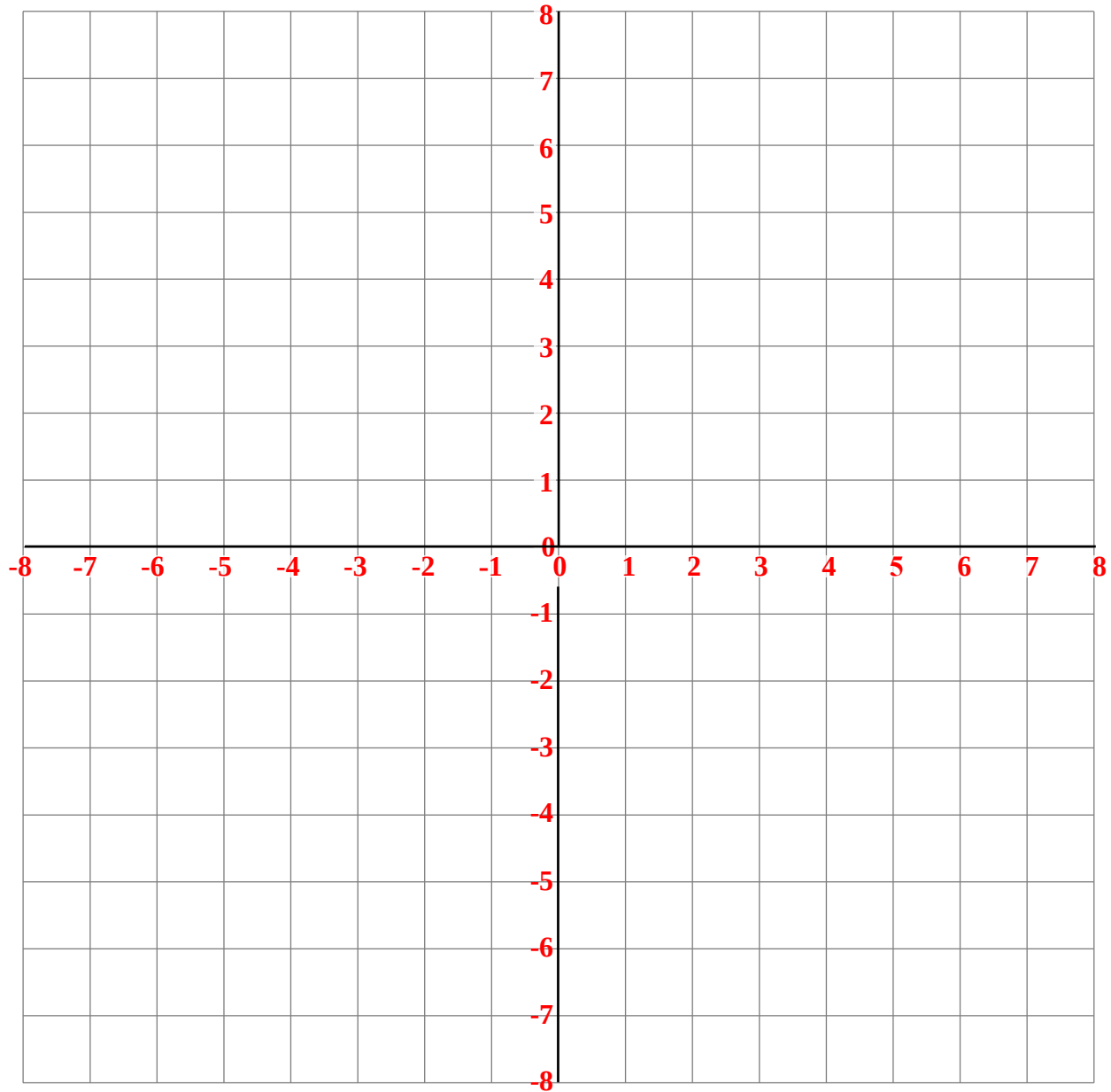
בניסויים אלה יש השוואה בין מה שמתקבל בניסוי לבין כלל החיבור (כלל המקבילית) שהוצג כבר ביחידות לימוד קודמות. בחלק מן המשימות אפשר להקדים מדידה לשימוש בכלל המקבילית, ובאחרות אפשר להקדים את השימוש בכלל המקבילית למדידה. זה יאפשר לכם לראות כי יש בכוחכם לחזות תיאוריה מן הניסוי, אך יש בכוחכם גם להשתמש בתיאוריה כדי לנבא תוצאות ניסוי. שני כיווני הפעולה הם מהותיים. שני כיווני הפעולה הם מעניינים ומספקים.



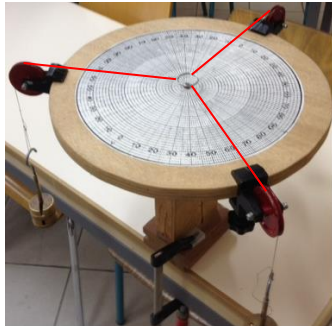
**מד זווית  $360^\circ$**



**רשת קואורדינטות**

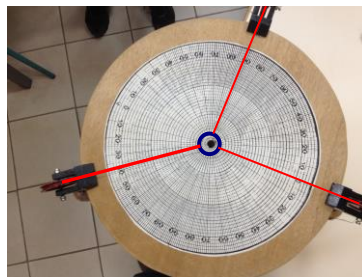


## דפי חקר – שולחן כוחות



תפסנים, גלגלות שאפשר השולחן. על שולי כל אחת מן האחד בטבעת שנמצאת חוט תלויה משקולת. על ידי לשלוט בגודל הכוחות. על ידי את כיוון הכוח. הגוף שאנו

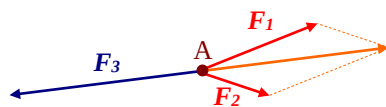
כדי לדעת אם תנועתו של הגוף קצובה או מואצת, עלינו לדעת מהו הכוח שפועל עליו. בדרך כלל פועלים על הגוף כמה כוחות. עלינו לדעת מהו "הכוח השקול" שהשפעתו על המערכות שקולה להפעלת כל הכוחות האלה ביחד. נחקור עתה כיצד עושים זאת מתוך מדידות במציאות. לשם כך ניעזר ב"שולחן כוחות" שמוצג בתצלומים משתי נקודות מבט, במבט מן הצד ובמבט מלמעלה.



במבט מן הצד אנו רואים שולחן עגול. לשוליים שלו מצמידים, באמצעות להניח באתרים שונים על שולי הגלגלות מניחים חוט, שאוחז בקצהו במרכז השולחן. על קצהו השני של כל תליית משקולות שונות אנו יכולים שינוי המיקום של הגלגלות אנו משנים

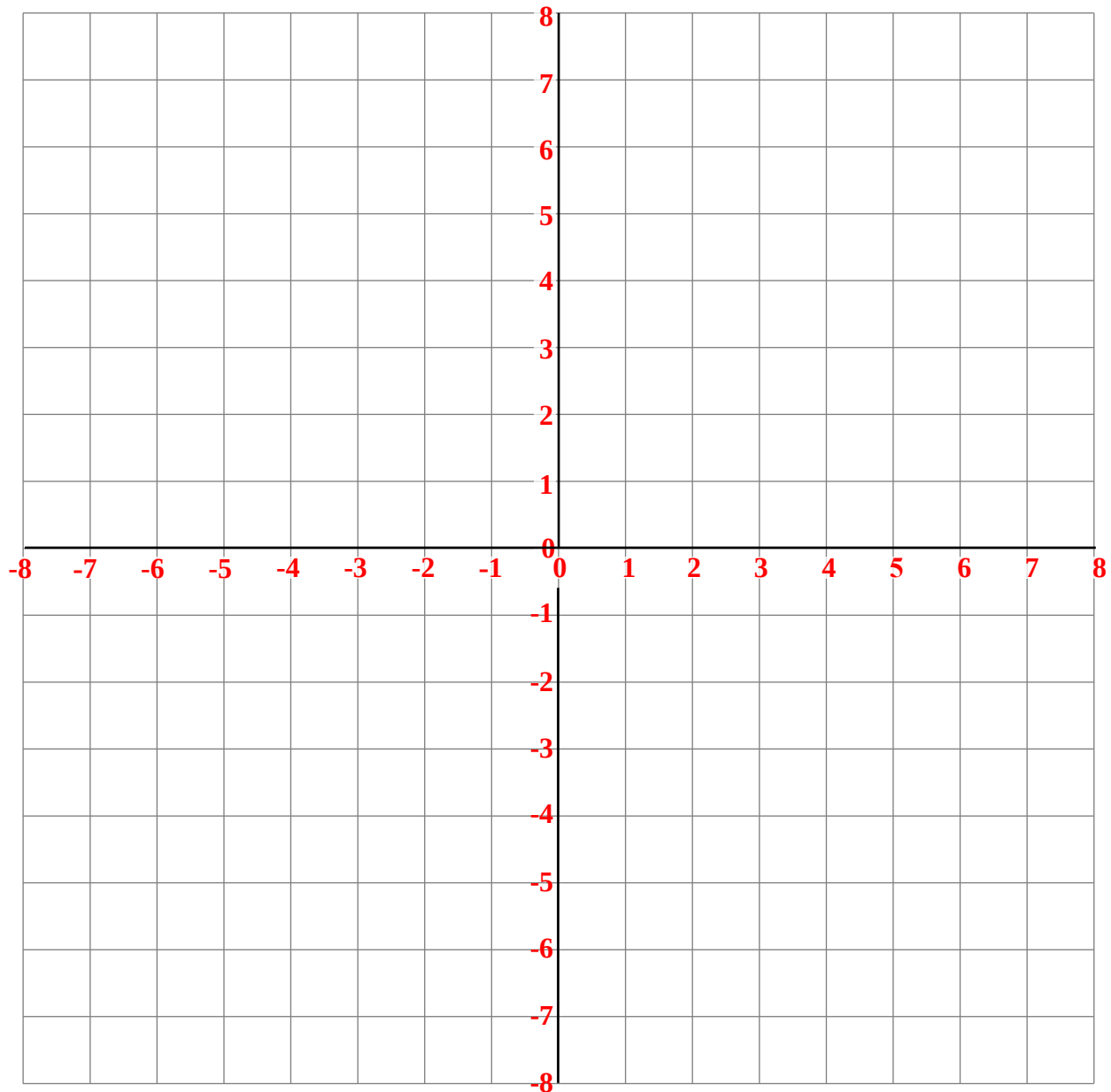
עוקבים אחריו הוא טבעת, שאליה קשורים החוטים. החוטים הם אלה שמפעילים את הכוחות על הטבעת. במצב שיווי משקל המתיחות של החוט שווה למשקל של המשקולת שתלויה עליו.

בתחילת הניסוי הטבעת מוחזקת באמצעות טריז שמונע ממנה לנוע. כאשר אנו רואים שהטבעת נותרת באמצע השולחן מבלי לגעת בטרזיז, אנו שולפים אותו ומגלים כי המערכת נמצאת בשיווי משקל. במצב



זה, כל אחד מן הכוחות (למשל  $F_3$ ) שווה בגודלו והפוך בכיוונו לכיוון הכוח השקול לשני הכוחות האחרים (למשל  $F_1$  ו- $F_2$ ). בניסוי נבדוק אם סכום הכוחות שנמדד שווה לסכום שמתקבל משימוש בכלל המקבילית. ראינו כי כך הדבר כאשר מסכמים העתקים, מהירויות ותאוצות. אם החוק השני של ניוטון תקף, הרי שגם הכוח אמור להסתכם כך. האומנם כן? נבדוק זאת.

א. נבחן את המקרה שבו שני כוחות שגודלם 6N ו-8N ניצבים זה לזה. השתמשו ברשת הקואורדינטות כדי למצוא את גודלו ואת כיוונו של הווקטור השקול. ציירו חץ שכיוונו מורה על הכיוון שבו יש להפעיל כוח שלישי שיאזן את המערכת.





ב. בדקו באמצעות שולחן הכוחות אם החישוב שלכם מתממש במציאות. לשם כך תלו את המשקולות המתאימות והציבו את הגלגלות במקומות הנכונים.

ג. תכננו ניסוי שבו כל שלושת הכוחות שווים זה לזה. רשמו מה אמורות להיות הזוויות בין הכוחות השונים. תוכלו לפתור זאת באמצעות סרטוט, אך אפשר להסביר את הדברים ללא סרטוט. רשמו את התוצאה שקיבלתם:

ד. ממשו את המערכת על שולחן הכוחות ובדקו אם התקבל שיווי משקל.

ה. בנו מערך של שלושה כוחות בגדלים ובכיוונים כרצונכם, ללא סרטוט מוקדם. שנו את המערכת עד שיתקבל שיווי משקל. במצב זה, רשמו את גודלי הכוחות ואת כיוניהם (זווית):

| כיוון (במעלות) | גודל (בניוטון) |         |
|----------------|----------------|---------|
|                |                | כוח I   |
|                |                | כוח II  |
|                |                | כוח III |

ו. סרטטו את שלושת וקטורי הכוח שלכם על רשת קואורדינטות. מצאו, בדרך של סרטוט, את הווקטור השקול לשניים מהם ובדקו אם הוא שווה בגודלו והפוך בכיוונו לווקטור השלישי.

תלמידים ביקשו להשתמש בשולחן הכוחות כאשר הם תלו על שלושת החוטים משקולות של 100 גרם, 200 גרם ו-400 גרם. הם התקשו למצוא מערך מתאים. הסבירו מדוע.

---

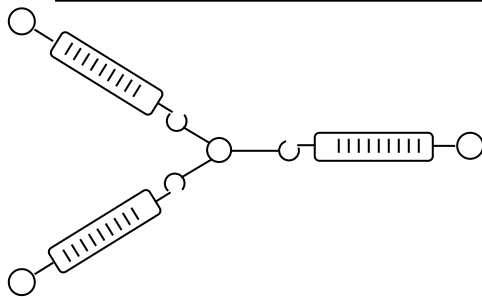


---



---

## דפי חקר – מערכת מדי כוח

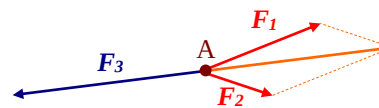


כדי לדעת כיצד גוף ינוע עלינו לדעת מהו הכוח שפועל עליו. בדרך כלל פועלים על הגוף כמה כוחות. עלינו לדעת מהו "הכוח השקול" שהשפעתו על המערכות שקולה להפעלת כל הכוחות האלה ביחד. נחקור עתה כיצד עושים זאת מתוך מדידות במציאות. נשתמש לשם כך במדי כוח קפיציים (דינמומטרים). מערך הניסוי מוצג בציור ובתצלום.



הכוחות מופעלים על טבעת שבה אוחזים שלושת מדי הכוח, שהם גם מפעילי הכוח וגם מודדיו. הקצה האחר של כל מד כוח צמוד לכך (סטטיב) שצמוד לשולחן באמצעות כליבה. שינוי במקום הכנים יגרום לשינוי מערך הכוחות. היזו את הכנים וראו כיצד גודלי הכוחות וכיווניהם משתנים.

את גודל הכוחות תקראו ממדי הכוח. את כיוונם תמדדו באמצעות מד זווית. לרשותכם עומד "מד זווית  $360^\circ$ ", שמודפס על גבי נייר.



הניחו אותו כך שמרכז המעגל של מד הזווית יהיה ממש מתחת

לטבעת. כך תוכלו למדוד זוויות. המידע

הזה מאפשר לנו לבחון את כללי החיבור של כוחות. במצב זה, כל אחד מן הכוחות (למשל  $F_3$ ) שווה בגודלו והפוך בכיוונו לכיוון הכוח השקול לשני הכוחות האחרים (למשל  $F_1$  ו- $F_2$ ). בניסוי נבדוק אם סכום הכוחות שנמדד שווה לסכום שמתקבל משימוש בכלל המקבילית. ראינו כי כך הדבר כאשר מסכמים העתקים, מהירויות ותאוצות. אם החוק השני של ניוטון תקף, הרי שגם הכוח אמור להסתכם כך. האומנם כן? נבדוק זאת.

א. בנו מערך של שלושה כוחות בגדלים ובכיוונים כרצונכם על ידי קיבוע הפנים במקומות אקראיים. במצב זה, הציבו את "מד זווית  $360^\circ$ " כך שמרכזו ממש מתחת לטבעת. רשמו את גודלי הכוחות ואת כיוניהם:

| גודל (בניוטונים) | כיוון (במעלות) |         |
|------------------|----------------|---------|
|                  |                | כוח I   |
|                  |                | כוח II  |
|                  |                | כוח III |

ב. סרטטו את שלושת וקטורי הכוח על רשת קואורדינטות. מצאו, בדרך של סרטוט, את הווקטור השקול לשניים מהם ובדקו אם הוא שווה בגודלו והפך בכיוונו לווקטור השלישי.

ג. תכננו ניסוי שבו כל שלושת הכוחות שווים זה לזה. רשמו מה אמורות להיות הזוויות בין הכוחות השונים. תוכלו לפתור זאת באמצעות סרטוט, אך אפשר להסביר את הדברים ללא סרטוט. רשמו את התוצאה שקיבלתם:

---

ד. ממשו את המערכת עם הציוד שברשותכם ובדקו אם התקבל שיווי משקל.

ה. תלמידים ביקשו לבנות מערך סטטי שבו הגדלים של שלושת הכוחות הם:  $1N$ ,  $2N$  ו- $4N$ . למרות מאמצייהם הרבים הם לא הצליחו להעמיד מערך כזה. הסבירו מדוע.

---



---



---

בכל הסעיפים השתמשו בסרגל ובמדד זווית כדי לסרטט. מומלץ להשתמש בנייר משוּבָּץ.

### שניים אוחזים בטלית

שניים אוחזים בטלית. האחד מושך מזרחה בכוח של 1N. השני מושך דרומה בכוח של 2N. חשבו את הכוח השקול.

### השקול של ארבעה כוחות

ארבעה כוחות שווי גודל, 5N כל אחד, פועלים על גוף. כיוונו של הכוח הראשון הוא מזרחה, השני - צפונה, השלישי - מזרחה והרביעי - דרומה.

א. חשבו את הכוח השקול.

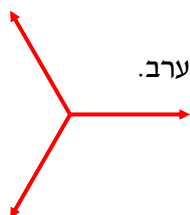
בניסוי אחר הכוח הראשון מכוון מזרחה וגודלו 1N. השני פועל צפונה וגודלו 2N. השלישי פועל מערבה וגודלו 3N. הרביעי מכוון דרומה וגודלו 4N.

ב. חשבו את שקול הכוחות במצב זה.



בניסוי אחר מפעילים שני כוחות, 6N כל אחד. אחד מן הכוחות פועל מזרחה. הכוח השני פועל בזווית  $60^\circ$  צפונה מן המערב.

ג. חשבו את הכוח השקול.



בניסוי נוסף הוסיפו לשני הכוחות האלה כוח נוסף זהה בגודלו שכיוונו  $60^\circ$  דרומה מן המערב.

ד. חשבו את הכוח השקול מחדש.

### גרירת תיבה על הרצפה

תיבה שמשקלה 100N נגררת על גבי רצפה חלקה באמצעות כוח שגודלו 100N וכיוונו  $45^\circ$  כלפי מעלה.

א. ערכו רשימה של כל הכוחות שפועלים על התיבה. רשמו איזה גוף מפעיל את כל אחד מן הכוחות. היעזרו בטבלה שלפניכם (ניתן להוסיף שורות במידת הצורך):

| שם הכוח | כיוון פעולתו | גוף שמפעיל כוח זה |
|---------|--------------|-------------------|
|         |              |                   |
|         |              |                   |
|         |              |                   |

ב. סרטטו תרשים כוחות.

ג. האם הכוח מספיק כדי להרים את התיבה כלפי מעלה?

ד. חשבו את הכוח השקול שפועל על התיבה.

ה. חשבו את גודלו של הכוח הנורמלי שהרצפה מפעילה על התיבה.

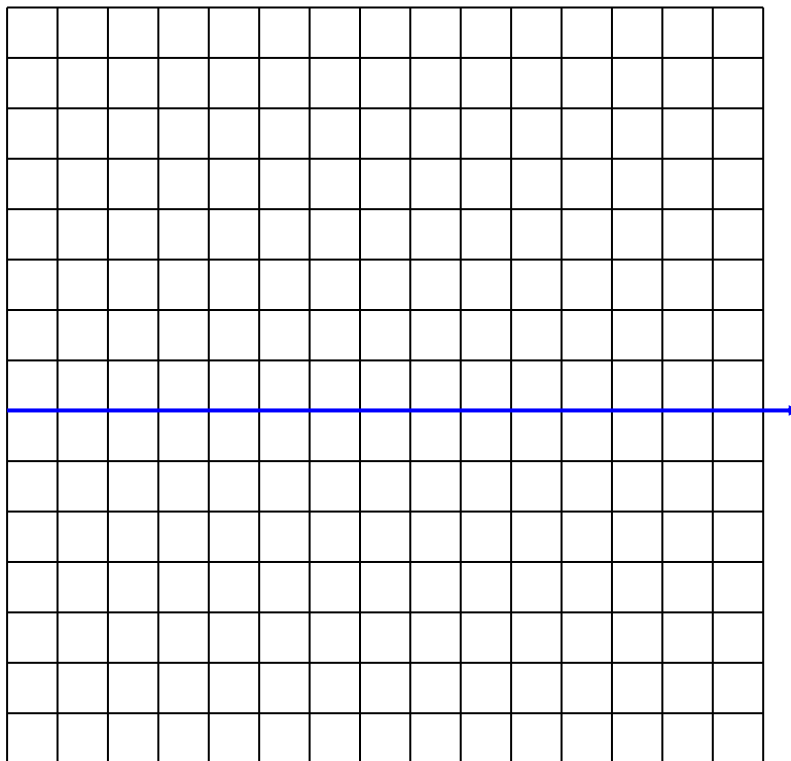
### האם זה אפשרי?

שני סבלים מעוניינים למשוך ארגז על גבי הרצפה כך שהוא ינוע לאורך קו ישר. התרשים מציג את המצב במבט מלמעלה.



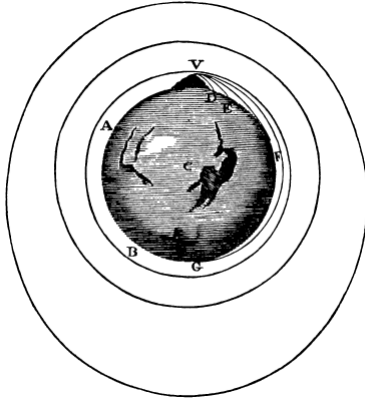
כל אחד מהסבלים יכול להפעיל כוח רק בזווית  $45^\circ$  לכיוון הרצוי. סבל א' מפעיל כוח של 200 ניוטון, ואילו סבל ב' מפעיל כוח של 100 ניוטון. בצעו סרטוט מתאים וענו על השאלות הבאות:

- האם יצליחו שני הסבלים להזיז את הארגז לאורך קו ישר? נמקו. תוכלו להיעזר בסרטוט.
- אם נתתם תשובה שלילית לסעיף הקודם, מהו הכיוון של הכוח הקטן ביותר שיש להפעיל על מנת לעזור לסבלים כדי לעמוד במשימתם?



## תנועה מעגלית בשמים ובארץ

### פיזיקה אחת לכל

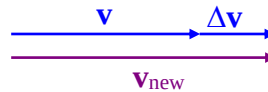


הציור הזה, מתוך ה-Principia של ניוטון, מקשר שמים וארץ. בציור זה מראה ניוטון כי אין הבדל עקרוני בין גוף שנזרק על פני הארץ לבין לווין שמקיף את הארץ. אותם חוקי טבע ואותן דרכי עבודה ישימות כאן ושם. מעבר למה שנראה בציור זה, ניוטון טוען כי האבן שנמצאת בכף הקלע, ונעה במסלול מעגלי באמצעות חבל מסתובב, אינה מתנהגת באופן שונה מהותית מן הארץ שסובבת את השמש. תנועה במסלולים מעגליים (או כמעט מעגליים) כרוכה בקיומו של כוח שניצב (או כמעט ניצב) לתנועה ומכוון למרכז מסוים.

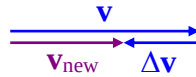
### כוח כמשנה כיוון

נחזור ונחיד דברים שכבר נלמדו. על פי החוק השני של ניוטון, התאוצה מתכונתית לכוח. כיוון התאוצה הוא ככיוון הכוח. במילים אחרות: הכיוון של השינוי במהירות שהכוח מחולל הוא ככיוון הכוח. נבחן כמה מקרים.

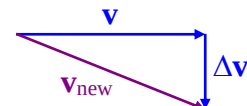
**הכוח פועל בכיוון התנועה:** במקרה זה השינוי במהירות הוא בכיוון התנועה. המהירות גדלה.



**הכוח פועל נגד כיוון התנועה:** השינוי במהירות הוא כנגד כיוון התנועה. המהירות קטנה.



**הכוח פועל בניצב לכיוון התנועה:** השינוי במהירות הוא בניצב לכיוון התנועה. הוקטור  $\Delta v$  ניצב ל- $v$ . כתוצאה מכך כיוון התנועה משתנה. שינוי בכיוון התנועה מחייב שיהיה כוח בכיוון ניצב לתנועה.



**כוח בכיוון אחר:** אם הכוח אינו באחד מן הכיוונים הקודמים, נוכל לראות אותו כצירוף של שני רכיבים. רכיב הכוח שניצב לתנועה משנה את כיוון התנועה. רכיב הכוח שמקביל לתנועה (עמה או כנגדה) משנה את גודל המהירות.

**תנועה מעגלית קצובה:** זוהי תנועה שבה הגוף נע במעגל במהירות שגודלה אינו משתנה (הכיוון משתנה, כמובן, כל הזמן). כיוון שהגודל אינו משתנה, אין לכוון רכיב עם כיוון התנועה או כנגדו. יש רק רכיב ניצב לתנועה (ניצב למהירות). כדי שתנועה תהיה מעגלית, מידת הכיפוף של המסלול חייבת להיות קבועה, וזה מחייב שגודל הכוח יהיה קבוע.

## כוכבי הלכת

כוכבי הלכת נעים סביב השמש, במסלולים כמעט מעגליים (צורת המסלול היא אליפסה). הדבר מעיד על כך שפועל עליהם כוח שמכוון אל השמש, שאם לא כן היו נעים בקו ישר. כוח המשיכה הזה הוא הכבידה.

| Planet  | רדיוס מסלול<br>ממוצע (m) | תאוצה ( $m/s^2$ )     | כוכב לכת |
|---------|--------------------------|-----------------------|----------|
| Mercury | $5.83 \times 10^{10}$    | $3.99 \times 10^{-2}$ | כוכב חמה |
| Venus   | $1.08 \times 10^{11}$    | $1.13 \times 10^{-2}$ | נָה      |
| Earth   | $1.50 \times 10^{11}$    | $5.94 \times 10^{-3}$ | ארץ      |
| Mars    | $2.27 \times 10^{11}$    | $2.55 \times 10^{-3}$ | מאדים    |
| Jupiter | $7.78 \times 10^{11}$    | $2.22 \times 10^{-4}$ | צדק      |
| Saturn  | $1.43 \times 10^{12}$    | $6.51 \times 10^{-5}$ | שבתאי    |

הקדמונים עקבו אחרי מסלולי כוכבי הלכת. הם מדדו את הזמן שבו כוכב לכת מקיף את השמש ואת המרחק אל הכוכב. בתחילת המאה ה-17 הראה קפלר כי למסלולים יש צורת אליפסה. בהינתן מרחקים וזמנים אפשר לחשב מהירויות. לכן גם הן היו ידועות. כאשר המהירות והזמן ידועים, אפשר לחשב וקטורית את התאוצה הרגעית. כאשר ניוטון ניגש לפענוח חוק הכוח עמדו בפניו כל אלה. נרשם לפנינו את התאוצה ואת רדיוס המסלול של כוכבי הלכת שהיו מוכרים אז.

## דפי מחקר – תנועה על הפטפון

בעבר היה הפטפון (הגרמפון) הכלי העיקרי להשמעת מוזיקה בבית. הפטפון כלל דסקית מסתובבת שעליה הונח התקליט. נשתמש בפטפון כזה. נערוך את הניסויים על גבי הדסקית המסתובבת.

### תנועה מעגלית באמצעות חוט

בתמונה שלפנינו מתוארת מערכת שבה הוצב תורן על הדסקית המסתובבת. הצבת התורן נעשתה על ידי פלסטלינה. אל התורן חובר מוט קטן נוסף, שכיוונו אופקי. למוט האופקי נקשרו שני חוטים. על החוטים נתלו כדורים. כאשר מסובבים את הדסקית הכדורים נעים במסלול מעגלי. החוטים נעים גם במסלול מעגלי והם נטויים.

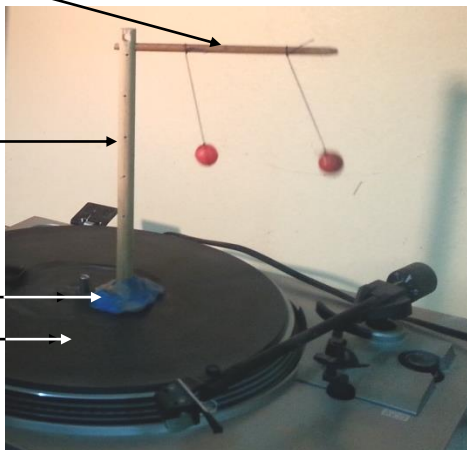
א. הכינו מערכת של תורן, מוט, חוטים וחרוזים והצמידו אותה לדסקית המסתובבת באמצעות פלסטלינה.

ב. הפעילו את הפטפון וצפו בתנועה. ציירו את מה שאתם רואים ותארו במילים את המתרחש (תוכלו גם לצלם, אפילו בווידיאו).

מוט  
אופקי

תורן

פלסטלינה  
דסקית




---

---

---

---

---

---

ג. הסבירו מדוע החוטים נטויים וקבעו איזו גוף מפעיל את הכוח הצנטריפטלי.

---

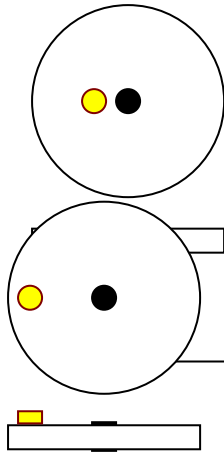
---

---



## דפי מחקר – תנועה על הפטפון - המשך

### מטבעות נעים על גבי הפטפון



א. הניחו מטבע סמוך לציר הסיבוב של הדסקית (ראו סרטוטים מלמעלה ומן הצד). הפעילו את הפטפון. צפו בתנועת המטבע והסבירו איזה כוח משמש כאן בתפקיד הכוח הצנטריפטלי.

---



---

ב. העבירו את המטבע לשולי הדסקית. הפעילו את הפטפון. האם גם הפעם המטבע

---



---

מסתובב כשהוא צמוד לדסקית? אם לא, מדוע זה מתרחש? מדוע השוליים מועדים יותר לניתוק מאשר האזור שקרוב לציר? (רמז: השוו בין מהירות המטבע במצב המתואר בסעיף א' לעומת מהירותו בסעיף ב')

ג. שנו את המרחק של המטבע מן המרכז עד שתמצאו את המרחק המרבי שבו המטבע נותר צמוד לדסקית. רשמו את המרחק הזה.

---

ד. אם היה באפשרותכם לסובב בקצב גדול יותר, האם לדעתכם המרחק המרבי שרשמתם קודם יהיה קטן יותר או גדול יותר? נמקו את השערתכם.

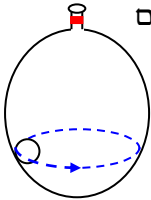
---

ה. אם יש בפטפון מתג הפעלה לקצב סיבוב גדול יותר, הפעילו אותו וראו אם השערתכם התממשה בניסוי. רשמו את מסקנתכם.

---

## דף מחקר – תנועה מעגלית בתוך בלון

### שקל נע במסלולים מעגליים בתוך בלון



א. הכניסו מטבע של שקל לתוך בלון. נפחו את הבלון וקשרו את הפייה שלו. סובבו בידכם את הבלון עד שתראו את המטבע סובב על הדופן הפנימית של הבלון. עתה הפסיקו את הסיבוב ואחזו בבלון באופן יציב. המטבע ימשיך לנוע בתוך הבלון במסלולים מעגליים אופקיים (וגם אלכסוניים).

ב. באיזה כיוון פועל הכוח הצנטריפטלי?

ג. איזה גוף מפעיל את הכוח הצנטריפטלי על המטבע?

### אום של בורג נע במסלולים מעגליים בתוך בלון

א. חזרו על הניסוי כאשר במקום שקל יש אום של בורג בתוך הבלון.

ב. במה הניסוי הזה דומה לקודמו ובמה הוא שונה?

ג. הציעו הסברים להבדלים בין הניסויים.

## דפי מחקר – רוטור בלונה פארק

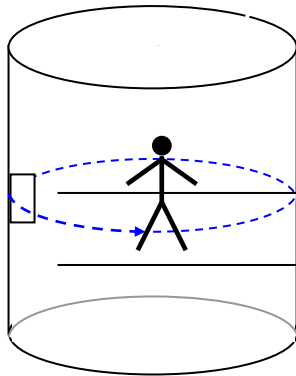
התבוננו בסרטון הבא :

<http://www.youtube.com/watch?v=7Kf2vvUmFeo>

בסרטון זה אנו רואים את המתקן המכונה "רוטור" בלונה פארק של העיר סידני שבאוסטרליה. האנשים נכנסים לחדר עגול. החדר העגול סובב על צירו במהירות הולכת וגדלה. בזמן הסיבוב האנשים חשים שהם נצמדים לקיר. כאשר המהירות מספיק גדולה משמיטים את הרצפה מתחת לרגליהם, אך הם ממשיכים להיות צמודים לקיר ואינם נופלים למטה. לקראת הסיום מאטים את קצב הסיבוב בהדרגה, והאנשים "מחליקים" לאטם מטה אל הרצפה המונמכת. חלק מן הצילומים נעשים מן החוץ ואנו רואים את האנשים סובבים במהירות גדולה. בסרטון משולבים גם קטעים שצולמו מתוך החדר המסתובב, ואנו יכולים להתבונן בנוסעים מסוימים שצמודים לדופן בצורות משונות. ננסה להבין מה קרה כאן.

כדי להבין את הדברים נסרטט בפנינו את המצב. לפנינו ציור של חדר גלילי כזה. אנו רואים נוסע שצמוד לקיר מבלי שהוא נשען על הרצפה. בצד שמאל אנו רואים תיבה שצמודה לקיר.

א. מי מפעיל את הכוח הצנטריפטלי? לאיזה כיוון הוא פועל?



ב. מדוע כוח הכובד אינו מצליח לגרום לנוסע ולתיבה לרדת מטה? איזה

כוח נגדי פועל כאן בכיוון אנכי? מי מפעיל את הכוח הזה על הנוסע והתיבה?

ג. סרטטו את תרשימים הכוחות הפועלים על התיבה.

ד. צופה מן החוץ טוען שיש לנוסע תאוצה למרות שהוא צמוד כל הזמן לאותה נקודה בקיר החדר. האם אתם מסכימים איתו? נמקו.

---



---

## דפי מחקר – רוטור בלונה פארק - המשך

ה. בשנייה מסוימת של הסרטון (בין 00:12 ל-00:13) נראה כאילו הנוסעים נסחפים כלפי מעלה. האמנם? הסבירו.

---

---

ו. התבוננו בסרטון:

<http://www.youtube.com/watch?v=hp3MSOufwts&list=PLvAds8ki-B7X9sbLV1HykB4KJ543WpDeS>

בפרט בפרק הזמן שבין 02:15 ל-03:10. בשלב זה חלק מן הנוסעים נמצאים בתנוחות משונות. כיצד הם עושים זאת?

---

---

ז. מה קורה לנוסעים לקראת הסיום, כאשר קצב הסיבוב יורד בהדרגה לאפס? התבוננו בסרטים והציעו הסבר.

---

---

ח. בכתובת שלפניכם תמצאו מבחר גדול של סרטי רוטור (כ-60 סרטים).

<http://www.youtube.com/playlist?list=PLvAds8ki-B7X9sbLV1HykB4KJ543WpDeS>

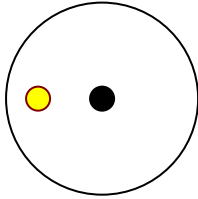
התבוננו בכמה מהם. האם התחדדו לכם הדברים? האם יש לכם משהו להוסיף?

---

---

## שאלות וחקירות

### תנועה מעגלית על גבי דסקית מסתובבת



הסרטוט שלפנינו מתאר מבט מלמעלה על מערכת שכוללת מטבע צהוב שמונח על דסקית שסובבת על צירה. המטבע נע עם הדסקית, כאשר הוא נוגע כל הזמן באותו מקום על הדסקית. אם כך, תנועת המטבע היא מעגלית.

איזה כוח ממלא את תפקיד הכוח הצנטריפטלי (כוח הכובד? הכוח הנורמלי? כוח החיכוך? אחר?). נמקו את תשובתכם.

א.

האם החיכוך פועל נגד כיוון התנועה של המטבע? עם כיוון התנועה? בכיוון אחר? נמקו.

בסרטוט נוסף המערכת נראית במבט מן הצד.



הוסיפו לסרטוט את תרשימים הכוחות שפועלים על המטבע.

ג.

### תנועה מעגלית במכונית

אדם חסר אחריות נוסע במכונית כאשר הוא יושב על מושב חלק ללא חגורת בטיחות. המכונית נוסעת במעגל תנועה בתנועה מעגלית קצובה. הנוסע שבתוכה נוסע אף הוא בתנועה מעגלית קבועה סביב מרכז מעגל התנועה.

א. איזה גוף מפעיל את הכוח הצנטריפטלי שפועל על המכונית?

א.

ב. איזה חלק של המכונית מפעיל על הנוסע את הכוח הצנטריפטלי שפועל עליו?

ב.

### עד היכן מגיע כוח המשיכה?

תלמיד טוען כי כוח המשיכה של הארץ משתרע בתחום האטמוספירה, אך מעבר לכך אין כוח משיכה. הוא מנמק את הדברים בכך שהמרחק גדול מדי ובתחושת חוסר המשקל שחשים הנוסעים בחלל. מה תשיבו לו?

### תאוצת גופים בהשפעת הארץ

בין הארץ לבין גוף אחר פועל כוח כבידה שגודלו נקבע על ידי החוק  $F = GMm/r^2$ , כאשר  $M$  היא מסת הארץ,  $m$  היא מסת הגוף האחר ו- $r$  הוא המרחק בין מרכז הארץ לבין הגוף האחר. נניח כי מסת הארץ גדולה מאוד ביחס למסת הגוף האחר.

א. הסבירו מדוע התאוצה של הארץ קטנה בהרבה מן התאוצה של הגוף ה"קטן".

א.

ב. הסבירו מדוע התאוצה של הגוף האחר היא  $a = GM/r^2$ .

ב.

חללית נמצאת במרחק כפול ממרכז הארץ מאשר חללית אחרת, כלומר:  $r_2/r_1 = 2$ .

ג. לאיזו חללית יש תאוצה גדולה יותר? פי כמה?

ג.

ידוע כי סמוך לפני הארץ ( $r = 6371 \text{ km}$ ) התאוצה הודות לכבידה היא  $9.8 \text{ m/s}^2$ . נתבונן בתחנת החלל הבינלאומית כאשר היא נמצאת בגובה  $423 \text{ km}$  (התחנה אינה נעה במסלול מעגלי מושלם, לעתים היא נמצאת קרוב יותר ולעתים היא נמצאת קרוב יותר).

ד. חשבו את התאוצה של תחנת החלל הבינלאומית.

ד.

ה. מה גודל התאוצה של הנוסע בתחנת החלל הבינלאומית? האם היא זניחה ביחס ל- $g$  על פני הארץ?

ה.

### גנימד מלמד על צדק

גנימד הוא הגדול בירחים של כוכב הלכת צדק (שהוא הגדול בכוכבי הלכת במערכת השמש). ממדידות אסטרונומיות ידוע כי תאוצתו של גנימד במסלול סביב צדק היא  $0.111\text{m/s}^2$  וכי הרדיוס הממוצע של המסלול שלו הוא  $1.07 \times 10^9\text{m}$ .

א. חשבו את המסה של כוכב הלכת צדק.

ידוע כי הרדיוס של צדק הוא  $71492\text{ km}$ .

ב. חשבו את תאוצת הנפילה החופשית על פני צדק.

---

<sup>i</sup> השימוש בצירוף של מרחק וזווית לתיאור מקום עשוי להיות מוכר לתלמידים שמכירים את מושג האזימוט. עם זאת, זווית האזימוט נמדדת מ"ציר x", בעוד שאנו נעדיף את הזווית ביחס ל"ציר y" כפי שמקובל על פיזיקאים.