

אוגדן פעילויות לתלמידים עתודה מדעית-טכנולוגית פיזיקה כיתה ח'

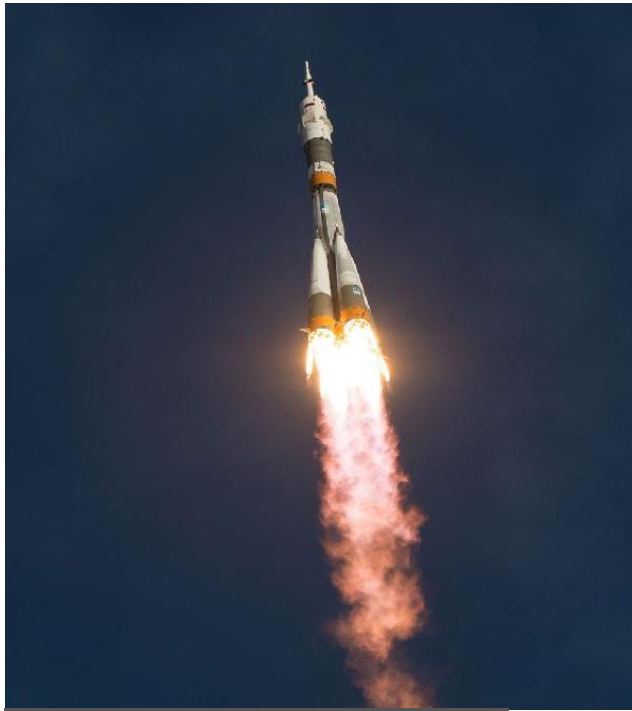


Photo credit: NASA/Bill Ingalls

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

טבת, תשע"ה
ינואר, 2015

ללא עריכת לשון

משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

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" וע"י מורי מורים ומדריכים לפיזיקה עבורכם, תלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית, בכיתה ח' 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.

בברכה,

שושי כהן
מנהלת תחום מדעים
ומפמ"ר מדע וטכנולוגיה

משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

תוכן העניינים

עמוד	שם היחידה	תתי נושאים	הנושא
כניסה דרך הקישור	הצעה להוראת הנושא מבנה היקום	א. מבנה והיווצרות היקום	1. כוחות ותנועה על הארץ ובחלל
4	פרטי הערכה מתוך: ערכת ה.ל.ה כדור הארץ במערכת השמש והחלל		
7	מרחקים וזמנים בחלל	ב. גדלים פיזיקליים בחלל: מרחק וזמן	
15	1. אינטראקציה	ג. כוחות ותנועה, כוחות ושינוי	
21	2. כבידה		
24	3. כוח ומדידתו		
33	4. כוח בפעולה		
42	5. החוק השני של ניוטון		
53	6. מאינטראקציה לרקטה		
57	כוח, אנרגיה ומכונה	ד. כוח ואנרגיה	
63	אלקטרוסטטיקה	ה. אלקטרוסטטיקה (הרחבה)	
113	תופעות מגנטיות	ו. תופעות מגנטיות (הרחבה)	

פיתוח היחידות:

1. תנועה ואינטראקציה בחלל: המכון למצוינות בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך – זאב קרקובר
2. אנרגיה חשמלית: משרד החינוך, צוות מדריכים ומורי מורים – ד"ר סימון גפן, ד"ר שלמה פישר, מרינה זיו, גניה חייקין, אתי טל

קראו והעירו:

משרד החינוך: גניה חייקין, אתי טל
המרכז הישראלי למצוינות בחינוך - ד"ר אבי פולג

עריכת האוגדן (לפי סדר הא-ב): אתי טל, גניה חייקין, יעקוב קיבה, רימונדה בבאר מדריכים ארציים

לכולם התודה והברכה

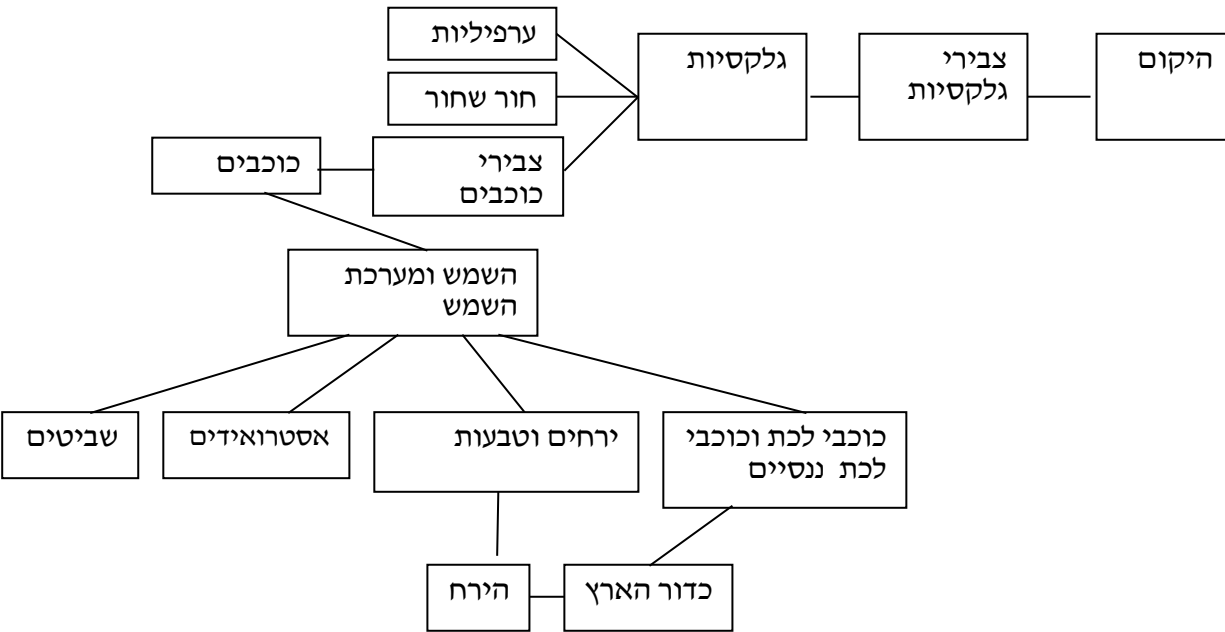
1. כוחות ותנועה על הארץ ובחלל

א. מבנה והיווצרות היקום¹

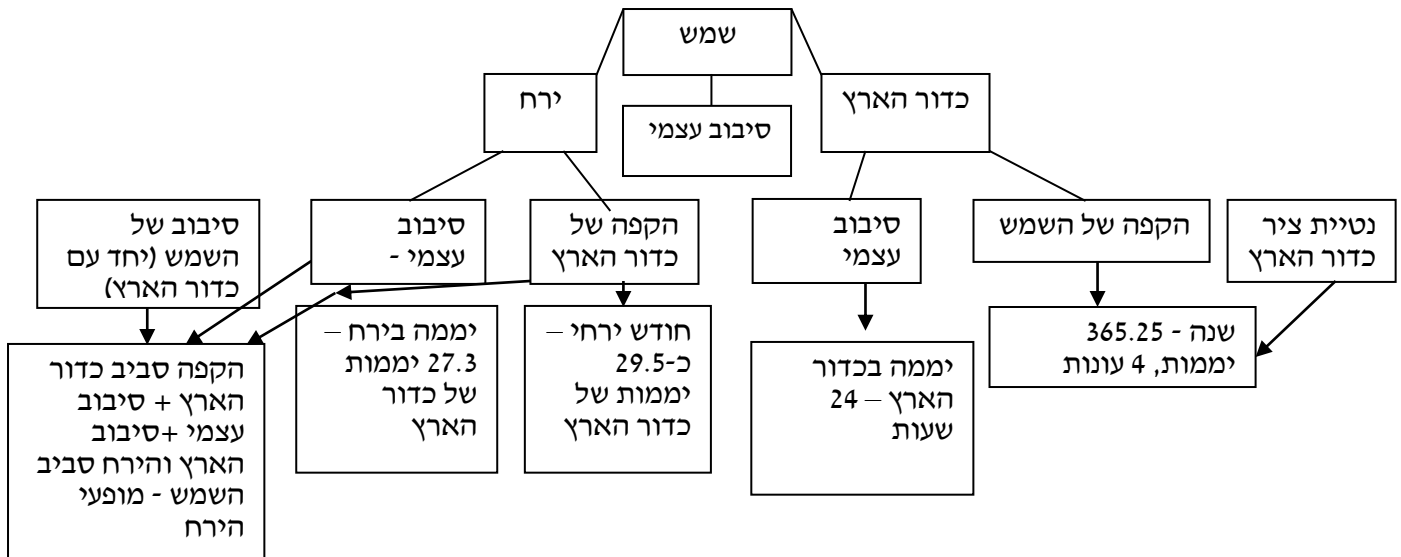
תרשימים מסכמים

של מושגים בנושא "כדור הארץ במערכת השמש והיקום"

תרשים מספר 1 – הארגון המבני



תרשים מספר 2 - מערכת התנועות – שמש, כדור הארץ והירח



¹ לקחו מתוך [ערכה לתכנון הוראה – למידה – הערכה \(ה.ל.ה.\)](#) בנושא: כדור הארץ במערכת השמש והחלל לכיתות ז-ח.

משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

פריטי הערכה²

1. א. צפו בסרטון על [המפץ הגדול](#). שאלו 3 שאלות שיש עליהן תשובה בסרטון וענו עליהן.
 ב. שאלו 3 שאלות שמסקרנות אתכם בנושא זה ואין עליהן תשובה בסרטון.
2. קראו את המאמר על [הגלקסיות](#) הנמצא בספריה הווירטואלית של מטח.
 על פי המאמר בצעו את המשימות הבאות:

3. כתבו מה הקשר:

- א. בין המפץ הגדול לבין התרחקות הגלקסיות
- ב. בין "החבורה המקומית" לבין "שביל החלב"
- ג. בין גלקסיה לבין כוכב שבת
- ד. בין ערפילית לבין כוכב שבת
- ה. בין מערכת השמש לבין גלקסיית שביל החלב

4. סמנו מהו הסדר הנכון על פי היחס בין המושגים (כלומר, מה מכיל את מה).

- א. היקום, גלקסיית שביל החלב, מערכת השמש, כדור הארץ
- ב. גלקסיית שביל החלב, היקום, כדור הארץ, מערכת השמש
- ג. כדור הארץ, גלקסיית שביל החלב, היקום, מערכת השמש
- ד. היקום, גלקסיית שביל החלב, כדור הארץ, מערכת השמש

5. א. ערכו השוואה בין כוכבי הלכת הגזיים לכוכבי הלכת הסלעיים בטבלה כדוגמת הטבלה שלפניכם.

הענקים הגזיים	כוכבי הלכת הארציים	
		מידת הקרבה לשמש (קרובים יותר/רחוקים יותר)
		מצב צבירה של פני השטח (מוצק/נוזל/גז)
		גודל ביחס לגודלם של כוכבי הלכת מקבוצת כוכבי הלכת השנייה (גדולים יחסית/קטנים יחסית)
		גודל המסה שלהם יחסית למסות כוכבי הלכת מקבוצת כוכבי הלכת השנייה (גדולה יחסית/קטנה יחסית)
		גודל עוצמת הכבידה על פניהם (גדולה יחסית/קטנה יחסית)

² פריטי הערכה בנושא "סדרי גודל והיווצרות היקום" נלקחו מתוך [ערכה לתכנון הוראה – למידה – הערכה \(ה.ל.ה\)](#) בנושא: כדור הארץ במערכת השמש והחלל לכיתות ז-ח.

**משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה**

ב. בחרו כוכב לכת אחד וסכמו את המידע עליו מתוך הטקסט ומתוך טבלת הנתונים של כוכבי הלכת.

6. מהו הכוח הגורם לכוכבי הלכת להישאר במסלולם סביב השמש? _____
7. מה ההבדל בין אסטרואידיים לשביטים? _____
8. אור השמש מגיע אל פני כדור ארץ במשך 8 דקות (לערך), אך רק 1.28 שניות נדרשות לאור, הנע באותה המהירות, להגיע אל פני כדור ארץ מן הירח. מדוע? _____
9. קראו את קטע המידע.

גילוי של 32 כוכבי לכת חדשים מחוץ למערכת השמש שלנו מגדיל את מספר כוכבי הלכת שנמצאו עד עתה מחוץ למערכת השמש ליותר מ-400. "אני די בטוח כי יש כוכבים דמויי כדור הארץ בכל מקום ביקום", אמר האסטרונום סטפן אודרי מאוניברסיטת ז'נבה. האסטרונומים התרגשו במיוחד מן הגילוי כי ל-40% מהכוכבים דמויי השמש יש כוכבי לכת הקרובים בגודלם לכדור הארץ. הגילוי מעיד על כך שקיומם של כוכבי לכת הדומים לכדור הארץ אפשרי ואפילו רווח הרבה יותר ממה שהם ציפו. (נדלה מתוך [News1](#), התפרסם בתאריך 19.10.2009 מאת מאיה שני)

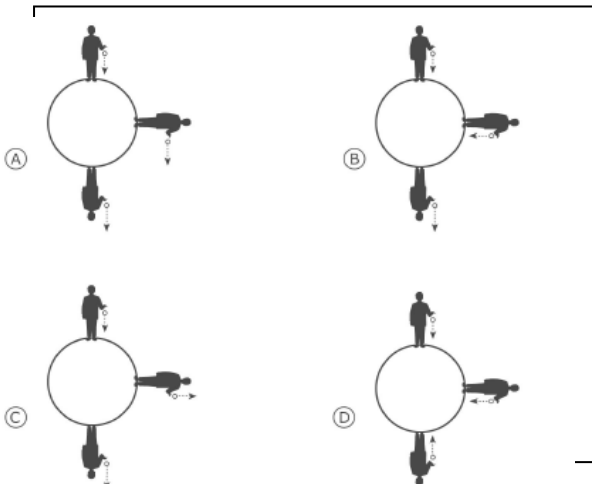
- א. מה אפשר ללמוד מהגילוי של מאות כוכבי הלכת?
- ב. כיצד, לדעתכם, נוצרו כוכבי הלכת?
- ג. שערו אילו תנאים סביבתיים צריכים להתקיים בכוכב לכת על מנת שיהיו בו חיים כמו אלה המתקיימים על פני כדור הארץ?
10. אם היינו עומדים על פני הירח מה היה קורה למסה של גופנו ולמשקל של גופנו ביחס לאלה על פני כדור הארץ?

- א. המשקל והמסה לא היו משתנים
- ב. המשקל והמסה היו קטנים
- ג. המסה לא הייתה משתנה והמשקל קטן
- ד. המסה הייתה קטנה והמשקל לא משתנה

11. א. מדוע הירח מאיר?

- א. כי הוא מייצר קרינה משלו
- ב. כי הוא מחזיר את אור השמש
- ג. כי הוא מחזיר את האור מכדור הארץ
- ד. כי הוא מואר מכוכבים אחרים בשמים
12. שלושה אנשים העומדים על פני כדור הארץ בשלושה מקומות שונים ואוחזים בכדור. אם הם ישמטו את הכדור הוא ייפול בהשפעת הכבידה.

- א. איזה מן האיורים הבאים מתאר את כיוון הנפילה של הכדורים בצורה הכי מדויקת?
- ב. הסבירו מדוע.



ב. גדלים פיזיקליים בחלל: מרחק וזמן

מרחקים וזמנים בחלל

מטרות היחידה

- יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". היחידה עוסקת בהיכרות עם דרכי מדידה של מרחק ועם יחידות מרחק אופייניות לחלל.
- מרחק (יחידה אסטרונומית, שנת אור), זמן ומהירות האור
 - הקשר בין מרחק ומהירות האור להסתכלות אל העבר
 - מרחקים במערכת השמש שלנו ובין כוכבים רחוקים

מיומנויות

הבנת מערכי תצפית קלאסיים, התמצאות ביחידות אורך, ביצוע ניסוי והערכת שגיאה

הקדמה



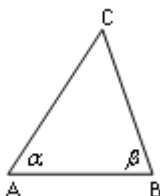
Credit: NASA

התמונה שלפנינו צולמה מן החללית גלילאו בדרכה אל כוכב הלכת צדק. אנו רואים הן את הארץ והן את הירח. הצבעים עושים רושם גדול – הארץ בכחול-לבן והירח בצהוב דהוי. זה מעורר מחשבה, אך אנו נתרכז ביחידה זו במדידות מרחק. תמונה זו מאפשרת לנו לחשב את היחס בין רדיוס הירח לבין רדיוס הארץ מתוך מדידות בסרגל (נציג זאת כשאלה בסוף היחידה). התמונה אינה מאפשרת לדעת מה הם הגדלים המוחלטים של הארץ והירח. לשם כך אנו זקוקים לקנה מידה מוכר. בשאלות האלה התמודדו גם הקדמונים. ביחידה זו נעסוק בעניין זה ונלמד על קני המידה המקובלים גם מעבר למערכת ארץ-ירח.

http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/multimedia/mooning_05.html

פרלקסה

כיצד מודדים מרחקים גדולים, בארץ ובחלל? סרגל אינו הכלי המתאים לכך. נחזור לשיטה שהזכרנו בקיצור בכיתה ז'. אם נמדוד מה אורך בסיס המשולש AB ואת הזוויות α ו- β , נוכל לדעת את אורך הצלעות האחרות ללא מדידה נוספת. די בחישוב או בסרטוט. בשלב זה, סרטוט הוא השיטה המתאימה.



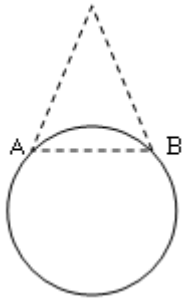
זה עשוי לסייע במדידה עקיפה של מרחקים גדולים, ובכלל זה מרחקים אסטרונומיים. מתבוננים לעברו של העצם השמימי משתי הנקודות A ו-B, שהמרחק ביניהן ידוע, מודדים את הזוויות, ומכאן מסיקים את המרחקים אל העצם השמימי.

חשוב מאוד לדייק במדידת המרחק הבסיסי ושתי הזוויות. כאשר מדובר במרחקים מאוד גדולים, שתי הזוויות הן דומות מאוד. אי דיוק קל בכל אחת מהן עלול לגרום לאי דיוק גדול בהערכת המרחק.

ככל שהבסיס של המשולש גדול יותר – הדיוק יהיה רב יותר. אפשר להתחיל את סיפור הפרלקסה בהתבוננות בחפץ (למשל, עיפרון המוחזק בזרוע הנטויה) שנראה באופן שונה אם מסתכלים עליו בכל עין בנפרד (ולא בשתייהן בו-זמנית). נסו לעשות כך. מערכת הראייה שלנו משתמשת בשתי העיניים שלנו כדי לזהות מרחק, כפי שהאסטרונום מזהה מרחק באמצעות פרלקסה.

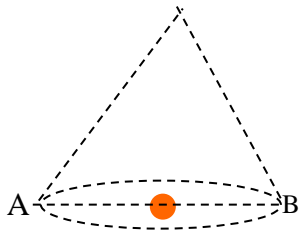
פרלקסה – שיקולים במדידות אסטרונומיות

כאמור, בסיס המשולש אמור להיות גדול ככל האפשר. לשם כך כדאי לעשות את שתי המדידות משתי נקודות מרוחקות על פני הארץ. כיצד עשו זאת הקדמונים? הם לא היו מצויידים בטלפונים כדי לתאם את הזמן של המדידה הבו-זמנית (סימולטנית). כיצד אפשר לתאם סימולטניות בין שני צופים מרוחקים?



דוגמה לסימולטניות – כאשר המדען היווני ארטוסתנס מדד את זווית השמש באלכסנדריה, אך ידע כי באותו זמן קרני השמש בסיינה הן אנכיות. זה מפני שצהרי היום הארוך בשנה מתרחשים בו-זמנית בשני המקומות. הרעיון הוא לייצר סימולטניות על ידי תופעה שמתוזמנת על ידי גורם אסטרונומי. כך, למשל, השתדלו

היוונים לאסוף מידע על ליקויים ממקומות שונים על פני הארץ. ליקוי כזה מתרחש בו זמנית לכל הצופים, אך הוא נראה באופן שונה לצופים במקומות שונים. כך הצליח היפרכוס למדוד את המרחק בין הארץ לירח, כאשר השווה תוצאות של תצפית בליקוי מגיזה (ליד קהיר) ומאנטליה. כמובן, בעיית הסימולטניות מטרידה אותנו כיום הרבה פחות.



כאשר העצם השמימי רחוק מאוד, ייתכן שכל הצופים על הארץ יראו אותו באותו כיוון, מפני שהפרש הזווית קטן מכדי שנוכל להבחין בו. במקרה כזה אנו יכולים לערוך מדידות של אותו עצם בשני זמנים שונים (זה מפני שהעצם הרחוק אינו מספיק לשנות את מקומו ביחס אלינו). אם נעשה זאת בהפרש של חצי שנה, כך שהארץ עוברת מצד אחד של השמש אל צדה השני (מ-A ל-B, או להפך), בסיס המשולש יהיה שווה לקוטר של מסלול הארץ סביב השמש.

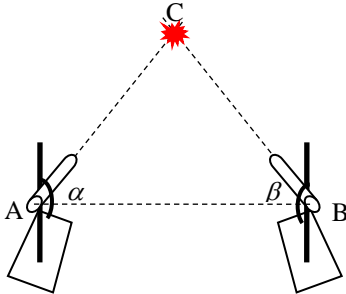
דף חקר – פרלקסה

פרלקסה – פעילות כיתה (או מחוץ לכיתה).

הפרלקסה היא שיטה מקובלת למדידות מרחקים אסטרונומיים. נבחן את יעילותה בכיתה.

התבוננו במערך המדידה. מטרתנו היא למדוד את המרחקים AC ו-BC מבלי להתקרב אל הנקודה C. לשם כך נמדוד את המרחק AB ואת הזוויות α ו- β . נצייר על נייר מילימטרי, בקנה מידה נוח, את המשולש ABC על סמך מה שמדדנו. מכאן נוכל לדעת מה הם AB ו-AC.

כדי לדייק בכיוונים נתבונן בנקודה C מבעד לצינורות דקים שיוצבו על כנים. אלה הם שלבי המדידה.



א. הציבו גוף מטרה (לדוגמה: כדור קטן). מקומו של הגוף יסומן ב-C.

ב. הציבו שני כנים במרחק של כשלושה מטרים מן הנקודה C. עשו זאת לפי

הערכה. אין למדוד את המרחקים אל הנקודה C בשלב זה. המרחק בין שני הכנים יהיה כשני מטרים.

ג. הצמידו לכנים את שני הצינורות וכוונו אותם כך שתראו את הגוף C דרך כל אחד מן הצינורות. מן הרגע הזה אל תזיזו את הכנים והצינורות. כל הזזה תשבש את תוצאות המדידה.

ד. מדדו את המרחק AB ואת הזוויות α ו- β בדיוק, בעזרת סרט מידה נגלל ומד זוויט. השתדלו לדייק ככל האפשר מבלי להזיז דבר. רשמו את תוצאות המדידה.

$$AB = \underline{\hspace{2cm}}. \quad \alpha = \underline{\hspace{2cm}}. \quad \beta = \underline{\hspace{2cm}}.$$

ה. ציירו על נייר מילימטרי (או נייר משובץ אחר) את המשולש בקנה מידה נוח, תוך כדי ניצול מרבי של הנייר. חשבו את המרחקים AC ו-BC על סמך המשולש. רשמו את התוצאות.

$$AC = \underline{\hspace{2cm}}. \quad BC = \underline{\hspace{2cm}}.$$

ו. עתה מותר לכם למדוד ישירות את המרחקים AC ו-BC. מדדו אותם, תוך כדי שאתם נוהרים לא להזיז דבר. רשמו את התוצאות:

$$AC = \underline{\hspace{2cm}}. \quad BC = \underline{\hspace{2cm}}.$$

ז. ערכו השוואה בין המדידות שלכם בשתי הדרכים (באמצעות פרלקסה ובמדידה ישירה). רשמו בכמה אחוזים סטו שתי המדידות זו מזו:

- ההפרש במדידות של AC הוא _____ ס"מ, שהם _____ אחוזים.
- ההפרש במדידות של BC הוא _____ ס"מ, שהם _____ אחוזים.

ח. חזרו על כל שלבי המדידה כאשר הפעם המרחק AB קטן בהרבה (פחות מחצי מטר), בעוד המרחקים לנקודה C אינם משתנים בהרבה. האם הסטייה באחוזים בין שתי דרכי המדידה קטנה או גדלה? רשמו את תשובתכם:

ט. האם לדעתכם אפשר יהיה להגיע לדיוק דומה באחוזים, אם המרחק AB יהיה סנטימטרים בודדים? הסבירו:

י. מה הן ההשלכות של המסקנה האחרונה על תצפיות אסטרונומיות?

יא. בדקו אם צוותים אחרים הגיעו למסקנות דומות לאלה שלכם. רשמו מה העלייתם:

יחידה אסטרונומית – יחידת האורך של מערכת השמש

כפי שראינו, כבר היוונים הקדמונים ידעו להעריך את המרחק בין הארץ לשמש. מאז המדידות השתפרו מאוד. המרחק הממוצע של הארץ מן השמש (רדיוס המסלול הממוצע של הארץ) הוא כ-150 מיליון ק"מ (149,597,870,691 מטר). מי שעוסק במערכת השמש ימצא כי השימוש ביחידת האורך התקנית – המטר – אינו נוח. הוא יעדיף יחידת אורך רלוונטית למערכת השמש. היחידה הזו נקראת "יחידה אסטרונומית". סימונה הוא AU (Astronomic Unit). הטבלה שלפנינו מציגה את רדיוסי המסלול הממוצעים של כוכבי הלכת באמצעות היחידה הזאת (מקור: ויקיפדיה), וזה למעשה, מרחקם מהשמש בהשוואה למרחק כדור הארץ מהשמש.

כוכב לכת	רדיוס מסלול (AU)
כוכב חמה	0.39
נוגה	0.72
ארץ	1.00
מאדים	1.52
צדק	5.2
שבתאי	9.54
אורנוס	19.22
נפטון	30.06

אנו רואים כי הצגת הנתונים באמצעות יחידה אסטרונומית מסייעת מאוד להבין את מערך המרחקים במערכת השמש.

מרחקים במערכת השמש – פעילות תלמידים

כדי להפוך את הטבלה "היבשה" לתחושה קונקרטית, אפשר לעשות את הפעילות הבאה. התלמידים יוצאים למסדרון מרוצף. כל משבצת תייצג יחידה אסטרונומית אחת. הם יצמידו לרצפה מדבקות שמייצגות את השמש ואת כוכבי הלכת. המרחק בין השמש לנפטון יהיה 30 מרצפות. כבר במרצפת הראשונה נמצא את השמש, כוכב חמה, נוגה וארץ כאחד. זה ייתן תמונה על היחסים של רדיוסי המסלולים של כוכבי הלכת.

אפשר כמובן, לצאת לחצר ולעשות זאת על מרחקים גדולים ולהפוך את העניין לחגיגה. ספק אם כדאי להשקיע את הזמן בזה, שהרי אז נשלם במשהו מעניין אחר.

בבתי ספר רבים יש דגם של מערכת כוכבי הלכת. בכל הנוגע ליחסי מרחקים, הדגם הזה מטעה, שהרי קשה לכלול בקנה מידה אחד את נפטון ואת כוכב חמה שיחס הרדיוסים שלהם הוא יותר מ-75. הדגמים האלה חביבים, אך בכל הנוגע להערכת יחסי הרדיוסים, הפעילות במסדרון עדיפה. בהמשך היחידה נחזור לעסוק במרחקים במערכת השמש, תוך כדי שימוש במקורות באינטרנט.

מהירות האור

האם האור מתקדם כהרף עין?

ברגע שאנו מדליקים גפרור, הוא מאיר למרחקים. קשה לנו להבחין אם היה נדרש לאור זמן לצאת מלהבת הגפרור ולהגיע למרחקים. זה מעלה את השאלה אם האור מתפשט מידיית או שהוא נע במהירות גדולה מאוד, כך שאנו מתקשים להבחין בדבר. אכן, האור גומא מרחקים אדירים בעת מצמוץ העין. שאלה דומה נשאלה גם באשר להתקדמות הקול, אך כאן התשובה הייתה פשוטה יותר. תופעת ההד מעידה על כך שנדרש זמן לקול לצאת מפינו, לפגוע בהרים המחזירים אותו ולחזור לאוזנינו. ניסויים ממרחקים דומים באור (לגלילאו מיוחס ניסוי כזה) לא הצליחו לגלות פער זמן. מכאן שאם גם לאור יש מהירות סופית, הרי שהיא גדולה בהרבה. רק במחצית השנייה של המאה ה-17 נמצאה תשובה. גם הפעם נדרשנו למעבדה האסטרונומית, מפני שמהירויות עצומות מחייבות מדידות על פני מרחקים עצומים. שוב מצאנו עצמנו נהנים מן השימוש במעבדה האסטרונומית, שמחה לנו מבלי שטרחנו על העמדתה, ומזמינה אותנו להשתמש בה.

גודלה של מהירות האור

הערך העדכני של מהירות האור בריק הוא 299,792,458 מטרים לשנייה (כמעט 300,000 ק"מ לשנייה). זוהי אכן מהירות עצומה. איינשטיין הסביר מדוע אין מהירות גדולה ממנה. זוהי גם המהירות שבה עובר מדע בין הטלפונים הסלולריים שלנו. במהירות הזאת האור עובר מרחק ששווה לקוטר הארץ בארבע מאיות השנייה. האור היוצא בכיוונו ממכונת שבאה לקראתנו במרחק מאה מטר, יגיע אלינו כעבור שליש של מיליונית השנייה. יש לעשות בכיתה כמה הערכות זמן כאלה.

יחידות אורך נוספות – דקת אור ושנת אור

כמה זמן נמשכת תנועת האור מן השמש אל הארץ? לשם כך עלינו לחלק את המרחק מן השמש במהירות האור (הסבירו לתלמידים בדיוק מדוע): $150,000,000/300,000$ (המרחק בק"מ והמהירות בק"מ לשנייה). הזמן הוא 500 שניות – מעט יותר משמונה דקות.

נוכל להגדיר, אפוא, יחידת אורך שמתאימה למערכת השמש – דקת אור – המרחק שהאור עובר בדקה אחת – 18 מיליון ק"מ. ככל שמערכת השמש מעניינת, היקום גדול בהרבה. יש עצמים שמימיים שנדרש לאור שיוצא מהם יותר משנה כדי להגיע אלינו. למטרות כאלה מתאימה היחידה **שנת אור** – המרחק שהאור עובר בשנה. סימונה של היחידה הוא ly.

שנת אור אחת היא 9,460,730,472,580.8 ק"מ. זהו מרחק בלתי נתפס, במיוחד למי שמתוודע רק עכשיו לממדי היקום. עם זאת, זוהי יחידה קטנה למדי כאשר מדובר בגלקסיות. קוטר הגלקסיה שלנו – שביל החלב – הוא כ-100,000 שנות אור! העובי הממוצע שלה הוא 1000 שנות אור.

כדאי להדגיש בפני התלמידים שעליהם להתרחק מן השגיאה הנפוצה כאילו שנת אור היא יחידת זמן. חשוב להטביע בהם את היות שנת אור יחידת מרחק. אפשר גם לערוך חישוב קצר כדי להשתכנע שהמרחק אל הירח אינו עולה בהרבה על "שניית אור".

לצפות אחורה בזמן

כאשר אנו צופים במרחקים גדולים, מגיע לעינינו אור שיצא מן העצם הנצפה בעבר. "להסתכל רחוק יותר" משמעותו לצפות בעבר רחוק יותר. זה שונה במקצת מסגנון הדיבור הרגיל שלנו. מקובל עלינו שמי שרואה רחוק יותר הוא זה שצופה טוב יותר את העתיד. במדידות אסטרונומיות הדבר הפוך – מי שצופה רחוק יותר, רואה עבר קדום יותר. אם אנו רוצים לדעת משהו על עברו הרחוק של היקום, עלינו לצפות בעצמים רחוקים מאוד.

להימצא בקשר

טלפונים מאפשרים לנו להימצא בקשר גם עם אנשים רחוקים. הם מגשרים על המרחק. האם הם יוכלו לגשר גם על מרחקים אסטרונומיים? אנו מקבלים מידע מחלליות ומשגרים אליהן מידע. מתברר שיש כאן מגבלה. הדברים אינם מידיים.

בזמן כתיבת שורות אלה המרחק מן הארץ למאדים הוא 1.753 AU^3 . הזמן הנדרש לאות מן הגשושית Curiosity להגיע אל הארץ, הוא 15 דקות. אם היה על המאדים אדם שהיה שואל אותנו "האם שומעים אותי?", היה עליו להמתין לפחות 30 דקות עד לקבלת התשובה.

יחידת אורך נוספת – פרסק (Parsec)

כזכור, פרלקסה היא שיטה מקובלת למדידת מרחקים אסטרונומיים. אנו צופים משתי נקודות שונות אל עבר העצם הנצפה, ומתפרש הזוויות קובעים את המרחק. פרסק (שסימונו pc) הוא המרחק אל עצם שנראה משני מקומות בכיוונים שונים שההפרש ביניהם הוא שנייה אחת של מעלה ($1/3600$ של מעלה – הפרש זעיר), והמרחק בין שתי נקודות התצפית הוא יחידה אסטרונומית אחת (1AU). פרסק אחד שווה ל-3.26 שנות אור.

³ תוכלו להתעדכן מה המרחק למאדים בכל עת בכתובת שלפנינו:

<http://www.wolframalpha.com/input/?i=mars+earth+distance>

אורט ישראל

שאלות לסיכום ותרגול

1. בין ארץ למאדים

הרדיוס הממוצע של המסלול של כוכב הלכת מאדים הוא 1.52 AU. לצורך החישוב נניח שהמסלולים של הארץ ושל מאדים הם מעגליים ממש ומצויים בדיוק באותו מישור. המרחק בין הארץ למאדים משתנה במהלך הזמן, מפני שהם מקיפים את השמש בזמנים שונים.

א. חשבו את המרחק הגדול ביותר בין ארץ למאדים.

ב. חשבו את המרחק הקטן ביותר בין ארץ למאדים.

משגרים קרן אור מן הארץ לעבר מאדים. חשבו לאחר כמה זמן יגיע האור למאדים במצב שבו המרחק ביניהם הוא הקטן ביותר. רשמו את התשובה בדקות.

2. אל הירח וחזרה

כדי למדוד בדיוק את המרחק אל הירח משגרים אות לייזר, שפוגע במראה ומוחזר ארצה. המרחק אל הירח הוא 384,000 ק"מ. חשבו כמה זמן נמשכת תנועת האות הלוח וחזור.

3. יחידה אסטרונומית ושנת אור

כמה יחידות אסטרונומיות יש בשנת אור אחת?

4. מדידה באמצעות פרלקסה

שני תלמידים בודקים מרחק לעצם שנראה להם קרוב לארץ. המרחק ביניהם הוא 10 ק"מ. האחד רואה את העצם בזווית 30° מערבה מן האנך. השני רואה את העצם בזווית 30° מזרחה מן האנך. ציירו את המערכת ואת המשולש שיוצר את הפרלקסה בקנה מידה. השתמשו בציור כדי לקבוע מה מרחק העצם מכל אחד מן האסטרונומים.

5. מה רואים משם

תושבי כוכב שמרוחק מאתנו 2000 שנות אור צופים לעברנו.

מה הם רואים?

מתי הם יראו אותנו כפי שאנחנו עכשיו?

6. היחידה המתאימה

מהי יחידת האורך המתאימה ביותר למרחקים במערכת השמש – מטר? ק"מ? יחידה אסטרונומית? שנת אור? פרסק?

7. הארץ והירח

אורט ישראל



Credit: NASA



Photo Credit: MSSS, JPL, NASA.

הצילום שלפנינו נעשה מן החללית גלילאו, בעת שהייתה בדרכה למאדים. בזמן הצילום מרחק החללית מן הארץ היה גדול פי אלף מרדיוס הארץ.

http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/multimedia/moonimg_05.html

חפשו במקורות פי כמה גדול המרחק של הירח מן הארץ מרדיוס הארץ. בחנו את התמונה לאור נתון זה. האם כך זה נראה בתמונה?

האם אפשר להסביר מדוע הירח נראה כל כך קרוב לארץ? תלמיד לקח סרגל ומדד את הקטרים, של הארץ ושל הירח. הוא חילק את שני המספרים שקיבל וטען שזהו היחס שבין רדיוס הארץ לרדיוס הירח. האם זה מוצדק? בתמונה נוספת רואים את הארץ והירח כפי שצולמו מלוויין שסבב את מאדים.

http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_56.html

האם המסקנות מתמונה זו דומה למסקנות שנמצאו קודם?

ג. כוחות ותנועה, כוחות ושינוי

1. אינטראקציה

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת במושג האינטראקציה כהפעלה הדדית של כוחות בין שני גופים, ובאופייה הכוללני על כל הכוחות בטבע.

מיומנויות

תכנון וביצוע של ניסוי איכותי
הסקת מסקנות
בניית הכללות מתוך ניסויים

אינטראקציה - עקרונות יסוד



בתמונה שלפנינו, שנעשתה על ידי "דוק" אגרטון, מתרחש מפגש בין מחבט מהיר לכדור טניס מהיר ממנו. בעקבות ההתנגשות תשתנה המהירות של שני הגופים המתנגשים. הכדור יחזור על עקבותיו במהירות גדולה, המחבט יואט. אפשר לראות בתמונה כי צורת הכדור משתנה מאוד (זמנית). אפשר לראות גם שינוי בצורת הרשת של המחבט. לפנינו הפעלה הדדית של כוח. זוהי אינטראקציה. שינוי של מהירות מחייב הפעלה של כוח על ידי גוף אחר, במגע או ממרחק. בו בזמן מפעיל הגוף השני כוח על הגוף הראשון. ביחידה זו נראה כי מדובר בכלל גדול, שנכון לכל הכוחות בטבע. ביחידה מאוחרת יותר, נחזור לדון באינטראקציה בהקשר של החוק השלישי של ניוטון.

© 2010 MIT. Courtesy of MIT Museum

שרשרת הטיעונים

<p>א. הדדיות בהפעלת כוחות מגע – אינטראקציה כאשר גוף מפעיל כוח מגע על גוף שני, גם הגוף השני מפעיל כוח על הגוף הראשון. זוהי פעולת גומלין – אינטראקציה. האם זה מתרחש גם כאשר כוחות פועלים ממרחק?</p>
<p>ב. הדדיות בהפעלת כוחות ממרחק בין מגנטים אם מגנט אחד מושך מגנט אחר, יש גם משיכה בכיוון ההפוך. כך גם כאשר יש דחייה. מדובר בפעולת גומלין – אינטראקציה. האם זה מתרחש גם כאשר מגנט מושך ברזל שאינו ממוגנט?</p>
<p>ג. הדדיות בהפעלת כוחות ממרחק בין מגנט לבין ברזל לא ממוגנט כאשר מגנט מושך גוף שאינו ממוגנט, המשיכה פועלת על שני הגופים. האם ההדדיות מתקיימת גם כאשר מדובר בכוח אחר (שאינו מגנטי) שפועל ממרחק?</p>
<p>ד. הדדיות בהפעלת כוחות ממרחק בין בלונים משופשפים ("חשמל סטטי") שני בלונים משופשפים דוחים זה את זה באופן הדדי. האם ההדדיות מתקיימת גם כאשר אחד הגופים אינו משופשף?</p>
<p>ה. הדדיות בהפעלת כוחות בין בלון משופשף לבין גופים ניטרליים ("חשמל סטטי") בלון משופשף מסוגל למשוך גופים ניטרליים רבים, ובאותו זמן הוא נמשך על ידם. מה באשר לנטיית גופים ליפול מטה – האם גם כאן מדובר בהפעלת כוח על ידי גוף אחר?</p>
<p>ו. כבידה סמוך לפני הארץ כל הגופים שסמוכים לפני הארץ נמשכים לכיוון מרכז הארץ. מכאן מתבקש לקבוע כי הארץ מושכת גופים שסמוכים אליה. האם גם כאן יש אינטראקציה? האם הגוף הנופל מושך את הארץ?</p>
<p>ז. הארץ מושכת ונמשכת באמצעות כבידה הירח אינו מתמיד, אלא נע סביב הארץ, כפי שהארץ אינה נעה בקו ישר, אלא נמשכת על ידי השמש. מכאן שהארץ מושכת ונמשכת כאחד. כבידה היא, אפוא, תופעה הדדית. האם לטענת ההדדיות הזו הסכימו בימי ניוטון גם אלה שחשבו אז כי הארץ אינה נעה?</p>
<p>ח. כוכב הלכת צדק מושך ונמשך באמצעות כבידה גלילאו גילה באמצעות הטלסקופ כי לצדק יש ירחים. מכאן שצדק נמשך על ידי השמש ומושך את ירחיו. מכאן שכבידה היא תופעה הדדית. גם כוכבים נמשכים ואינם מושכים בלבד. כל הכוחות שאנו מכירים הם חלק מתופעה הדדית – אינטראקציה.</p>

דף חקר – אינטראקציה מגנטית

מגנטים מפעילים כוחות זה על זה וגם על גופים שעשויים מחומרים מיוחדים (ברזל, ניקל, קובלט וסגסוגות שלהם). בחקירה שלפנינו נבחן אם מדובר בתופעה הדדית. אתם מוזמנים לתעד את כל אחד משלבי החקירה באמצעות צילום (כולל בווידיאו). לשם כך כדאי להפיק את הניסוי המשכנע ביותר.



א. הניחו על שולחן חלק שני מגנטי-מוט זהים זה מול זה כמתואר באיור.

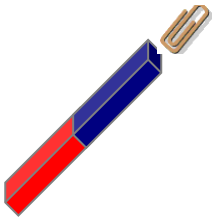
ב. קרבו אותם עד למקום שיאפשר לראות אותם מתחילים לנוע ברגע שמשחררים אותם (את שניהם בעת ובעונה אחת). האם יש משיכה או דחייה? האם יש הדדיות?

ג. הפכו את אחד המגנטים, כמתואר באיור שלפנינו.

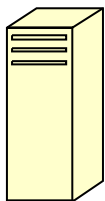


מה השתנה? מה לא השתנה?

ד. הניחו את המגנט על השולחן. הניחו סמוך אליו אָטָב משרדי (או סיכת ברזל). האם המגנט מצליח להניע את החומר הקל הלא ממוגנט? האם אתם רואים תופעה הדדית?



ה. קרבו את המגנט לתיבת מחשב גדולה (שעשויה מברזל, או לעבר גוש ברזל כבד כלשהו). איזה גוף נע לעבר הגוף האחר – המגנט לעבר המחשב או להפך?



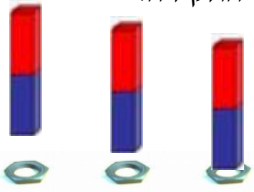
ו. בשני הסעיפים הקודמים ראיתם כי לעתים המגנט נע, והגוף הלא ממוגנט אינו נע ולעתים להפך. כיצד אפשר ליישב את הדברים? רשמו השערה:

ז. הציעו ניסוי שיבחן את השערתכם:

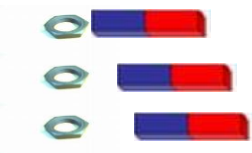


ח. נסו למשוך פיסת ברזל קלה כלפי מעלה באמצעות מגנט. אם המגנט רחוק מדי, פיסת הברזל אינה מתחילה לנוע. מצאו את המרחק המרבי שנדרש כדי שפיסת הברזל תתחיל להתרומם.

כדאי להשתמש בפחית קלה שמשמשת להשחלת פתילות לנר חנוכה. זה יסייע להמשך החקירה.



ט. חזרו על הניסוי, כאשר הפעם אתם מנסים למשוך אופקית על גבי השולחן. האם בשני הניסויים התקבל מרחק זהה? מדוע? רשמו הסבר משוער.



י. כדי להכריע בשאלה שעלתה בסעיף הקודם נחזור על ניסוי שבו פיסת הברזל חופשית כמעט מגורמים מעכבים. לרשותכם כוס לשימוש חד פעמי ומדבקה. בנו מערך ניסוי שבו החיכוך יהיה מזערי. חזרו על ניסוי המשיכה באמצעות מגנט (בכיוון אופקי) ומצאו את המרחק המרבי שבו הפחית נעקרת ממקומה. האם ההשערה שרשמתם בסעיף הקודם אוששה?

יא. נסחו הכללה הקשורה לאינטראקציה בין שני מגנטים שעליה למדתם מפעילות זו:

דף חקר – אינטראקציה חשמלית

בלון מנופח ששופשף בצמר (או בשיער) מחולל תופעה שידועה בכינוי "חשמל סטטי". נבחן האם מדובר בכוחות הדדיים – במילים אחרות: האם מדובר באינטראקציה?

א. שפשפו בלון בצמר. די מהר יתברר כי הבלון נוטה לחזור כמעט אחרי כל דבר. הוא נצמד לגופנו, לבגדינו, לקירות ועוד. אפשר ממש להוביל אותו באצבענו (ללא מגע של ממש). זה עשוי לייצר מצבים מעניינים ומשעשעים. נסו לייצר מצבים כאלה. תעדו בצילום ודיאו.

ב. נסו להניע קרש באורך מטר באמצעות הכוח שמפעיל עליו בלון משופשף. לרשותכם בלון משופשף, קרש בניין (או סרגל, אולי מקל של מטאטא) באורך מטר וזכוכית שעון בקוטר 100 מ"מ. תכננו ניסוי וציירו כאן את מערך הניסוי.

ג. בצעו את הניסוי וצלמו סרט ודיאו.

ד. תכננו ניסוי שבו הבלון מושך גופים אחרים (שאינם משופשפים). רשמו כאן את תכנית הניסוי שלכם.

ה. האם יש אינטראקציה בין שני בלונים משופשפים? תכננו ניסוי שיבהיר את הדברים בצורה מיטבית. רשמו את תכנית הניסוי וציירו את מערך הניסוי

ו. ערכו את הניסוי. תעדו בצילום. רשמו את התוצאה:

ז. נסחו מסקנה מכלילה מניסויי האינטראקציה החשמלית.

ח. זה הזמן להעלות רעיונות משלכם למחקר נוסף. רשמו רעיונות כאלה על דף נפרד. הציעו דרכי פעולה ובצעו ניסויים בזמנכם החופשי.

שאלות לסיכום וחזרה

1. איש דוחף את רעהו

אדם דוחף אדם אחר, בעל מסה זהה. בעקבות הדחיפה הנדחף מתחיל לנוע, אך הדוחף נותר במקומו (אין רואים שינוי במהירותו).

א. האם הדבר סותר את עקרון ההדדיות?

ב. מה יקרה על משטח קרח?

2. שינוי צורה

אנו יודעים כי כוח חיצוני מסוגל לשנות צורה של גוף. האם גם ההפך נכון – האם שינוי צורה מעיד על כך שפעל כוח חיצוני?

3. שינוי במהירות או בכיוון התנועה

אנו יודעים כי כוח חיצוני מסוגל לשנות את מהירותו של הגוף או את כיוון תנועתו. האם גם ההפך נכון – האם שינוי במהירות או בכיוון התנועה מעיד על פעולתו של כוח חיצוני?

4. מחט המצפן והארץ

תלמידה שמתבוננת במחט המצפן שמסתובבת לכיוון צפון, טוענת כי המחט מפעילה כוח על כדור הארץ. האין היא מגזימה?

5. אינטראקציה חשמלית ואינטראקציה מגנטית

נערוך השוואה בין שתי האינטראקציות.

א. במה הן דומות?

ב. במה הן שונות?

ג. האם ייתכן שמגנטיות היא סוג של "חשמל סטטי" (או להפך – החשמל הסטטי הוא סוג של מגנטיות)? נמקו את תשובתכם.

6. כוח חשמלי על קילוח מים

א. נסו למשוך קילוח מים דק שיוצא מן הברז באמצעות בלון (או מסרק) משופשף (ללא מגע, אך בקרבה גדולה).

ב. תכננו ניסוי שיבדוק אם גם הבלון נמשך אל המים.

ג. תעדו את התופעה בצילום.

7. כוכב לכת וירח

בדרך כלל, כאשר ירח סובב כוכב לכת, נראה כי כוכב הלכת אינו מושפע מכך בתנועתו. האם אין אינטראקציה? האם אין הדדיות?

2. כבידה

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת במושג האינטראקציה כהפעלה הדדית של כוחות בין שני גופים, ובאופייה הכוללני על כל הכוחות בטבע.

מיומנויות

ניסויים איכותיים (ללא מדידות כמותיות)

הסקת מסקנות חצי כמותיות

ניתוח התנהגות בחלל מתוך צפייה בסרטי וידיאו

כבידה - עקרונות יסוד



© 2010 MIT. Courtesy of MIT Museum

בתמונת ההבזק שלפנינו, שצולמה על ידי "דוק" אגרטון, אנו רואים את תוצאת האינטראקציה של הכבידה שבין הארץ לבין התפוח. מנקודת הראות של המצלמה, שצמודה לארץ, התפוח הולך ומתקרב אל הארץ. אין כאן התמדה (עיינו ביחידת ההתמדה לכיתה ז). המהירות הולכת וגדלה. מכאן מתחייב שפועל כוח כלפי מטה (הניחו לתלמידים להבין זאת). זוהי הכבידה. אנו מכירים את התופעה היטב. היא מצמיתה אותנו ארצה. היא מחייבת אותנו להפעיל כוח כדי להחזיק גופים מעל לפני הקרקע. ניוטון, בצעדיו הרחבים, לקח אותנו למרחבים עצומים. גם הירח נמשך אל הארץ. הכבידה היא עניין ליקום כולו. הכבידה היא עניין הדדי. כל עצם מושך כל עצם אחר. כל גרם של חומר מושך כל גרם אחר של חומר. יש לכך תוצאות מרחיקות לכת, כפי שנראה.

דף חקר – נפילה חופשית

א. את הניסוי הבא תעשו בכיור. לשם כך עליכם להצטייד בכוס לשימוש חד פעמי (גדולה יחסית) או בעציץ בלתי שביר. מה יקרה אם תנקבו בתחתית הכלי חור ותמלאו את הכלי במים, כאשר אתם מחזיקים את הכלי בידים מעל לכיור? רשמו את השערתכם:

ב. עד כאן הדברים פשוטים. עתה אתם מתבקשים להעלות השערה באשר לניסוי הבא. נניח שאתם ממלאים את הכלי במים, כאשר אתם סוגרים על החור שבתחתית (מלמטה) באמצעות האצבע שלכם. בשלב מסוים אתם מניחים לכלי ליפול ובאותו רגע מסירים את האצבע מן החור. הכלי יתחיל ליפול. מה יקרה לקילוח המים שיוצא מן החור בשלב שבו העציץ נופל? רשמו את השערתכם **המנומקת**:

ג. עתה ערכו את הניסוי. רשמו מה התרחש. האם התוצאה זהה או שונה משחשבתם? בכל מקרה, כיצד אתם מסבירים את המתרחש?

ד. את הניסוי הבא תערכו בחצר בית הספר. קחו בקבוק ריק של משקה קל. נקבו אותו בצדו. מלאו את הבקבוק במים, תוך כדי שאתם מכסים את החור באצבעכם. עתה השליכו את הבקבוק באלכסון כלפי מעלה. מה יקרה לקילוח המים שיוצא מן החור במהלך תנועת הבקבוק באוויר? רשמו תחילה את השערתכם **המנומקת**, ואחר כך ערכו את הניסוי. מהי השערתכם? האם היא התממשה? בכל מקרה, הסבירו את מה שהתרחש.

שאלות לסיכום וחזרה

1. מעקב אחרי טיפות נופלות

פתחו בבית ברז כך שהמים מטפטפים ממנו בטיפות בודדות. צלמו את הטיפות בנפילתן (צילום "וידיאו" - סדרת תמונות) והעתיקו את מיקומיהן לדף נייר. מה התקבל? (תרשים עקבות) לפי התרשים שקיבלתם, הסיקו מסקנות:

א. האם מהירות הטיפות קבועה, הולכת וגדלה או הולכת וקטנה? נמקו.

ב. מהי לדעתכם הסיבה להגדלת המהירות?

ג. מהי האינטראקציה שאחראית להתנהגות הזאת של הטיפה? אילו גופים שותפים לאינטראקציה? האם זוהי אינטראקציה במגע או ממרחק?

2. תחנת החלל הבין-לאומית

חפשו מידע באינטרנט על תחנות חלל ובפרט על "תחנת החלל הבין-לאומית". באיזה גובה מעל פני הארץ התחנה נעה? כמה זמן נמשכת הקפה אחת של הארץ? מי שותף לתחנה? לשם מה נבנתה התחנה? אילו פעילויות מתרחשות בה? פי כמה קטנה עוצמת הכבידה שפועלת על התחנה ועל נוסעיה מזו שפועלת על פני הארץ (על אותם גופים)? רשמו את תשובתכם בחיבור קצר.

3. תחנת החלל הבין-לאומית

מספרים על החוקר הגדול גלילאו גלילאי (יש שכותבים גליליי) כי שחרר שני גופים, כבד וקל, מראש מגדל פיזה ומצא שהם מגיעים לפני הקרקע כמעט באותו זמן. האם זה היה מתרחש אם היה משחרר באותו זמן גם עלה זית? הסבירו את הדברים.

קחו דף נייר ומחק והפילו אותם בו-זמנית מגובה זהה. האם הדף והמחק יגיעו בו-זמנית לקרקע? הסבירו את המתרחש. מה ניתן לעשות לדף נייר כדי שאכן ייפול יחד עם המחק?

מה קורה אם נעשה ניסוי כזה על הירח?

התבוננו בסרטון שנמצא באחת מן הכתובות הבאות והסבירו מה קורה שם:

http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfk

4. אירועים חביבים מתחנת החלל

התבוננו בסרטון שנמצא בכתובת הבאה:

<http://www.youtube.com/watch?v=2gAedmwz6Qk>

רשמו תופעות של מיקרו-כבידה (רבות ככל האפשר) שהסרטון מציג בפנינו.

מהי התופעה שנראית לכם המפתיעה ביותר? מהי התופעה החביבה ביותר לטעמכם?

5. האם יש או אין כבידה בתחנת החלל?

הסבירו כיצד משפיעה הכבידה על התחנה ועל נוסעיה.

מה היה משתנה בהיעדר כבידה?

הסבירו מדוע השפעת הכבידה אינה ניכרת למי שנמצא בתוך החללית.

האם הדבר יישאר בתוקף גם כאשר משתמשים במנוע רקטי כדי לשנות את המהירות של התחנה? נמקו.

6. ניסוי בתחנת החלל

הציעו ניסוי משלכם, שיש בו עניין, אשר אי אפשר לעורכו במעבדה על פני הארץ, אך אפשר לעורכו בתחנת חלל.

3. כוח ומדידתו

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת במושג הכוח, בדרכי מדידתו, בחוקי כוח שקשורים לעניינים אלה ובחישובים שעולים מהם.

מיומנויות

מחקר ניסויי פתוח.

הסקת מסקנות כמותיות מן המחקר הפתוח בתנאי קירוב.

ניתוח מערכות באמצעות שימוש מתמטי, כמותי ואיכותי, בחוקי כוח בסיסיים.

כוח ומדידתו

לכוח יש תפקיד מפתח בדינמיקה של ניוטון, כמו גם בחיי היום-יום. זהו מושג יסודי, שאולי ניתן להבנה אינטואיטיבית, אך קשה להגדרה, ועם זאת זהו גודל כמותי שמופיע במשוואה היסודית (החוק השני של ניוטון), ולכן הוא חייב להיות מוגדר היטב כמושג כמותי ומדיד, ודרכי המדידה שלו אמורות להיות ברורות. מתבקש לייצר קשר בין המושגים המופשטים וההתנסות הלא-כמותית לבין המושג הפיזיקלי הכמותי והמדיד, שנכנס לטבלאות, לגרפים ולנוסחאות. יחידת לימוד זו אמורה לגשר על פני מה שנראה כההסוּת פעורה.



כוח ואינטראקציה

כבר עסקנו בקשר בין כוח לאינטראקציה ביחידה "אינטראקציה". היחידה "כבידה" הוסיפה היבטים נוספים. הגיע הזמן לחדד את הדברים מעט. עברתם דרך מסלול שבו זיהיתם כי כוח שפועל על גוף אינו מגיע יש מאין, אלא מופעל על ידי גוף אחר, וכי פעולה זו היא פעולת גומלין. מדובר כאן בפעולה הדדית. האם הדבר אומר ששני הגופים מושפעים מן האינטראקציה במידה זהה? לא בהכרח. ראינו כי באינטראקציה בין גוף קל לבין גוף כבד, הגוף הכבד מושפע פחות, ולעתים קשה לזהות את השינוי בתנועתו. אין לייחס זאת לחוסר סימטריה באינטראקציה, אלא לקושי לחולל שינוי ניכר במהירותו של גוף כבד. דוגמה אחרת נוכל לראות בהתנגשות בין גוף קשיח לגוף רך. צורת הגוף הקשיח מושפעת מן ההתנגשות פחות מאשר צורת הגוף הרך (ואולי אפילו יהיה קשה להבחין בשינוי הזה). גם הפעם איננו מייחסים את הדבר לחוסר סימטריה באינטראקציה, אלא להבדל במידת הקשיחות.

האם יש בהדדיות סימטריה מלאה

האם האינטראקציה היא אכן סימטרית לגמרי? רמז לדבר נוכל למצוא מן הדיון בכבידה שערכנו ביחידה הקודמת. ראינו כי כל גרם מושך כל גרם במידה שווה. במובן הזה, האינטראקציה של הכבידה היא סימטרית בעוצמתה. בעתיד עוד נראה שגם האינטראקציה החשמלית, שהיא הבסיס לרוב הכוחות שנלמדים במסגרת "מכניקה", גם היא סימטרית בבסיסה.

העובדה שההדדיות היא מלאה, ויש בה סימטריה, אין בה כדי לקבוע מה יהיו תוצאות האינטראקציה. לשם כך עלינו לדעת מהי עוצמתה של האינטראקציה. הכוח הוא עוצמת האינטראקציה. הסימטריה המלאה מתבטאת בכך שהכוחות ששני הגופים מפעילים זה על זה הם כוחות שווים (כמותית).



דף מחקר – אתגר המסה

האירוע המכריע התרחש באולם ההרצאות של האוניברסיטה המובילה במדינה. מאה מבוגרי בתי הספר, הטובים שבהם, התכנסו לשמוע מי מהם יזכה במלגה החשובה ביותר שתאפשר לו ללמוד, ללא תשלום, עד סוף הלימודים האקדמיים, במסלול המאתגר ביותר. תחושה של התרגשות ודריכות שררה בקבוצת הבוגרים המבריקים. בשעה 10:00 בדיוק נכנס מזכיר הפקולטה לאולם. שקט השתרר. המזכיר כחכח בגרונו ופתח בדבריו.

"הבחירה הייתה קשה ביותר. עשרה מכם הצטיינו במיוחד, ואיננו רוצים לוותר על אף אחד מהם. החלטנו, אפוא, לתת עשר מלגות", אמר המזכיר ומיד קרא ברשימת התלמידים שנבחרו והזמינם לחזית האולם. הוא פנה אל הזוכים בדברים שעוררו בהם התרגשות רבה.

"עם זאת, אנו מעוניינים לתת לאחד מכם זכות מיוחדת. המועמד שייבחר יזכה לליווי אישי מתמיד של חתן פרס נובל לפיזיקה, פרופסור הרוש⁴, במשך כל לימודיו האקדמיים", אמר המזכיר לזוכים הנרגשים. "כדי לבחור במועמד המתאים ביותר אנו מצביים לפני כל אחד מכם אתגר מדעי, שיבחן יכולת מחשבה מדעית, תושייה מדעית, תכנון של שיטת פעולה ניסויית, ביצוע מדויק שלה, הסקת מסקנות נכונה ודיוק בהפקת התוצאה. בקיצור, האתגר הזה כולל את כל מה שנדרש מפיזיקאי יוצא מן הכלל."

המועמדים נדרכו והחלו לצייר בעיני רוחם משימה מתקדמת, שמצריכה ידע מתקדם בפיזיקה מודרנית והכרה עמוקה של ציוד חדשני. המזכיר עצר את המהלך המהיר של דמיונם המבריק בהכרזה שריגשה את כולם.

"כדי להציג בפניכם את המחקר שתתבקשו לעשות, אני מזמין את פרופסור הרוש אל האולם." עוד המזכיר אומר את דבריו, ופרופסור הרוש נכנס אל האולם ובצעדים מאוששים ניגש אל שולחן מכוסה רחב ידיים שעמד בקדמת האולם.

"אתם ודאי מעוניינים לראות את הציוד שתשתמשו בו היום. אם כך, אציג לכם אותו מיד", אמר ומשך את יריעת הבד שכיסתה את השולחן בתנועה מהירה. הפתעה גדולה פשטה ברחבי האולם. השולחן היה העתק מדויק של שולחן מבית הספר היסודי, ועליו היו פריטים שהגיעו מן המכולת ומחנות לממכר משחקי יצירה.

"אתם ודאי תוהים מדוע איננו מעמידים ציוד מתוחכם ומודרני שיתאים לאנשים מתוחכמים ומודרניים שכמותכם", אמר פרופסור הרוש, "זה מפני שאנו מבקשים להכיר אתכם ולא את הציוד שלכם. בהיעדר ציוד מעבדה רגיל, יהיה עליכם להפגין תושייה מדעית, יהיה עליכם לחזור אל העקרונות הראשוניים ולהציע שיטת עבודה משלכם. אנו מאמינים שכך נכיר אתכם במיטבכם."

"האתגר שמוצב לפניכם הוא פשוט לכאורה. עליכם לעצב כדור מפלסטלינה שהמסה שלו תהיה _____ גרם בדיוק. זוהי "מסת המטרה" שעליכם לחתור אליה. הקושי נעוץ בכך שעליכם להשתמש בציוד שמונח על השולחן בלבד, ואין שם מאזניים, אפילו הפשוטים ביותר. עליכם להשתמש רק בציוד הפשוט שעל השולחן, שכולל בין היתר כמה חרוזים (גולות) שהמסות שלהם זהות. המסה של כל חרוז נתונה והיא _____ גרם."

⁴ כל הסיפור שלפנינו הוא פרי הדמיון, אך בהחלט עשוי להתרחש במציאות. ההשראה לדמותו של "פרופסור הרוש" קשורה מאוד למציאות העכשווית. פרופסור סרז' הרוש (או הראש – Haroche), שהוא פרופסור לפיזיקה קוונטית ב-Collège de France וחוקר ב-CNRS (המרכז הלאומי למחקר מדעי בצרפת), הוא גם חתן פרס נובל לפיזיקה ב-2012. הרוש נולד במרוקו. אביו הוא בן למשפחה שהגיעה לקזבלנקה ממרקש כדי לשמש בהוראה בבית הספר הנחשב מאוד של רשת אליאנס. אמו של הרוש, מורה במקצועה, נולדה באודסה (באוקראינה של היום), והיא בת למשפחה שמקורותיה בקישינב (בירת מולדובה של היום) ובמינסק (בירת בלרוס של היום). פיזיקה טובה עשויה לצמוח מחיבורים מעניינים.

"כל אחד מכם מוזמן לתכנן מדידה ולהוציא אותה לפועל. בסיום המדידה תציגו בפנינו את הכדור, כך שנוכל למדוד את המסה שלו באמצעות ציוד משוכלל. מי שימצא כי מסת הכדור שלו היא הקרובה ביותר למסת המטרה, יוכתר כזוכה."

"שימו לב! המדידה המכריעה תיעשה רק בסיום העבודה. כל אחד מכם יוכל לגשת למדידה הזאת פעם אחת בלבד. לא תהיה אפשרות שיפור. אם כך, עשו מאמץ לעצב את כדור הפלסטלינה הטוב ביותר, באמצעות הציוד הצנוע שעומד לרשותכם."

התמודדות עם האתגר הזה עומדת עתה בפניכם, תלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית בחטיבת הביניים. פעלו לפי סדר הדברים שלפניכם:

א. התחלקו לצוותים. כל צוות יערוך דיון מקדים שבו יתכנן את דרכי הפעולה שלו. יש להביא בחשבון שמותר להשתמש רק בציוד העומד לרשותכם. אין הכרח להשתמש בכל הציוד. חלק ממנו אפילו מיותר בעליל.

ב. כל צוות יכין "תכנית עבודה" שתתועד במסמך כתוב.

ג. המסמך יכלול את האסטרטגיה הכללית של דרך העבודה במעבדה, את העקרונות שעליהם היא מבוססת, את שלבי העבודה המתוכננים, שלד של טבלאות או גרפים (אם תחשבו שאתם נזקקים להם) וסרטוט של המערכת הניסויית.

ד. תכנית העבודה תוגש לאישור המורה. אין להתחיל בעבודה ללא אישור של המסמך על ידי המורה.

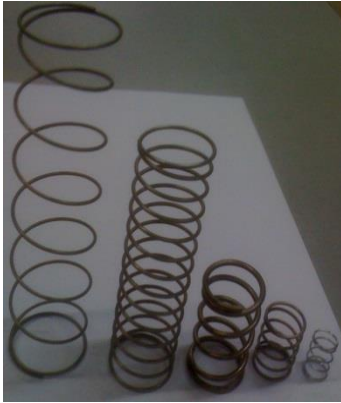
ה. תכנית העבודה תוצא לפועל. אם יתברר לכם במהלך העבודה שאתם מעוניינים להכניס בתכנית שינויים, יהיה עליכם להכניס תיקונים בתכנית העבודה ולהגישה למורה לאישור מחודש.

ו. עליכם לסיים את העבודה במשך זמן קצוב, שיוכרו על ידי המורה בתחילת העבודה בצוותים.

ז. עם סיום העבודה יש להגיש את הכדור למורה למדידה של המסה באמצעות מאזניים משוכללים. זכרו: יש הזדמנות אחת בלבד למדידה הזאת. אין מקצה שיפורים. עשו כמיטב יכולתכם בסיבוב הראשון והיחיד.

שאלות לסיכום וחזרה

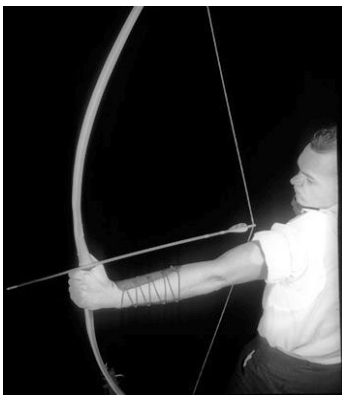
1. קפיצים במכונית



כאשר מכניסים משא כבד לתא המטען של מכונית, אפשר לראות כי השלדה של המכונית יורדת בכמה סנטימטרים. גם כאשר נוסע נכנס למכונית ויושב על המושב הוא גורם לירידת המושב. זה מתרחש מפני שהשלדה והמושב נתמכים בקפיצים. בתמונה שלפנינו יש קפיצים שאפשר ללחוץ אותם. אם נניח עליהם משקולת, הם יתקצרו. זה נכון גם לקפיצים במכונית (שהם חזקים הרבה יותר, כלומר: קבוע הקפיץ שלהם גדול הרבה יותר).

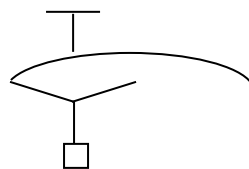
אם קבוע הקפיץ במכונית הוא 30,000 ניוטון למטר ($30,000 \text{ N/m}$), בכמה תשקע המכונית אם נעמיס עליה 200 ק"ג (200 kg)?

2. חץ וקשת



© 2010 MIT. Courtesy of MIT Museum.

בתמונה שלפנינו אנו רואים אדם מחזיק בחץ וקשת. הקשת מתוחה, ממש לפני שחרור החץ. במצב זה הקשת מפעיל כוח על החץ (באמצעות המיתר). גודלו של הכוח הזה תלוי במידת המתיחה של המיתר. תלמיד בנה קשת קטנה וחקר את



המערכת בדרך הבאה. הוא חיבר את הקשת לתקרה באמצעות מוט ותלה משקולת על הקשת, כפי שמתואר בתרשים. ככל שהמשקולת גדולה יותר, הקשת מתארכת כלפי מטה יותר. התלמיד ערך מדידות ומצא כי אם אין מותחים את המיתר יותר מדי, הקשת מתנהגת כמו קפיץ ומקיימת את חוק הוק, כלומר: ההתארכות נמצאת ביחס ישר לכוח שהמיתר מפעיל.

התלמיד מצא כי כאשר הכוח הוא 10 ניוטון (10N), ההתארכות היא 5 ס"מ (5 cm).

- מהי ההתארכות כאשר הכוח הוא 15 ניוטון?
- מהו קבוע הקפיץ?
- מהו הכוח כאשר ההתארכות היא 6 ניוטון?

3. קפיץ מתיחה



קפיץ מתיחה משמש לאימוני כושר. תלמיד מדד את הכוח ואת ההתארכות (בשיטה דומה לזו שבה ערך מדידות בקשת בשאלה הקודמת). הנה התוצאות שהתלמיד רשם:

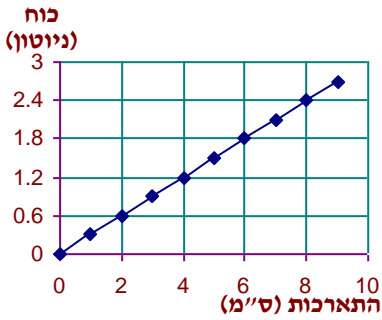
התארכות (ס"מ)	0	10	20	30
כוח (ניוטון)	0	40	80	120

- האם המדידות תואמות את חוק הוק?
- מהו קבוע הקפיץ?
- מהי ההתארכות כאשר הכוח הוא 60 ניוטון (60N)?
- מהו הכוח כאשר ההתארכות היא 35 ס"מ (35 cm)?

שאלות חישוב קצרות על קפיצים

- א. כאשר תולים על קפיץ משקולת מסוימת, הוא מתארך ב-3 ס"מ (3 cm). בכמה יתארך הקפיץ אם יתלו עליו משקולת בעלת מסה כפולה (פי 2)?
- ב. תולים על קפיץ משקולת שהמסה שלה היא 100 גרם (100 gr). כאשר מחליפים את המשקולת במשקולת אחרת, ההתארכות גדלה פי 3. מהי המסה של המשקולת האחרת?
- כאשר תולים על קפיץ משקולת של 3 ניוטון (3N), הוא מתארך ב-5 ס"מ (5 cm). מהו קבוע הקפיץ? רשמו את התוצאה כאשר היחידות הן:
1. ניוטון לס"מ (N/cm) .2
 2. ניוטון למטר (N/m)
- ג. כאשר תולים על קפיץ משקולת של 300 גרם (300 gr), הוא מתארך ב-5 ס"מ (5 cm). מהו קבוע הקפיץ? רשמו את התוצאה כאשר היחידות הן:
1. ניוטון לס"מ (N/cm)
 2. ניוטון למטר (N/m)
- (הניחו כי g הוא 9.8 ניוטון לק"ג [$g=9.8 \text{ N/kg}$].)
- ד. תולים משקולת על קפיץ שהקבוע שלו הוא 30 ניוטון למטר (30 N/m). הקפיץ מתארך ב-5 ס"מ (5 cm).
- ה. מהי המסה של המשקולת? (הניחו כי g הוא 9.8 ניוטון לק"ג [$g=9.8 \text{ N/kg}$].)
- ו. תולים משקולת על קפיץ ומוודדים את ההתארכות. מעבירים את הקפיץ והמשקולת לירח. האם התארכות הקפיץ שם תהיה גדולה או קטנה יותר? פי כמה? (אפשר להניח כי g על פני הארץ הוא 9.8 ניוטון לק"ג [9.8 N/kg], ועל הירח הוא 1.62 ניוטון לק"ג [1.62 N/kg].)

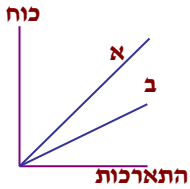
שאלות קצרות על קפיצים וגרפים



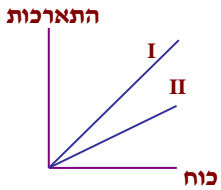
- א. התיאור הגרפי שלפנינו מציג את הכוח כנגד ההתארכות של קפיץ מסוים. קבעו מתוך הגרף, ללא חישוב, מהי ההתארכות כאשר הכוח הוא 1.5 ניוטון (1.5N).
- ב. השתמשו בגרף מן השאלה הקודמת כדי לחשב את קבוע הקפיץ. רשמו אותו הן ביחידות ניוטון לס"מ (N/cm) והן ביחידות ניוטון למטר (N/m).

ג. עבור הקפיץ משתי השאלות הקודמות, מהו הכוח כאשר ההתארכות היא 11 ס"מ (11 cm)?

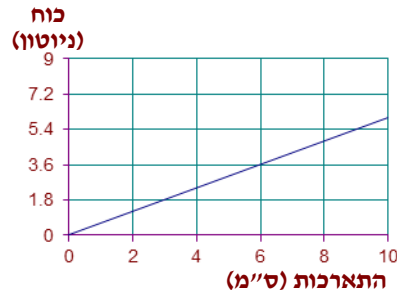
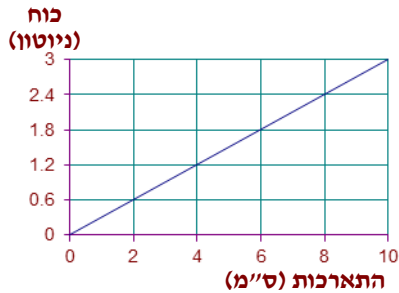
ד. התבוננו בתיאור הגרפי שבו מיוצגים גרפים לשני קפיצים שונים (א ו-ב). לאיזה גרף יש "קבוע קפיץ" גדול יותר? הסבירו כיצד הגעתם למסקנה.



ה. התבוננו בתיאור הגרפי שבו מיוצגים גרפים לשני קפיצים שונים (I ו-II). לאיזה גרף יש "קבוע קפיץ" גדול יותר? הסבירו כיצד הגעתם למסקנה.



ו. התבוננו בשני התיאורים הגרפיים שלמטה. מי מהם מתאר קפיץ בעל קבוע גדול יותר?

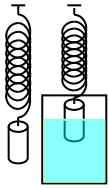


על חשיבות הכיול

נעמה היא מנהלת מחלקת הכיול במפעל מעולה לייצור מדי כוח. בזמן האחרון עוסקת המחלקה שלה בכיול מכשירי מדידה רבים שנכללים בעסקה חשובה מאוד, שאמורה להבטיח את עתיד המפעל כמקום עבודה יציב, ואת שמו הטוב כמפעל הטוב בעולם לייצור מדי כוח. מנהלת המפעל לוחצת על נעמה להאיץ את תהליכי הכיול כדי להבטיח את קבלת התשלום במועד. נעמה מתעקשת וטוענת שאין מקום לקיצור תהליכים בשלב הכיול. על מה מבססת נעמה את טענתה?

מדידת כוחות במים – דיון איכותי⁵

משקולת תלויה על קפיץ שמשמש כמד כוח. מכניסים את המשקולת שתלויה על הקפיץ למים. מתברר כי כתוצאה מכך התארכות הקפיץ קטנה.



- כמה כוחות פועלים על המשקולת לפני שהוכנסה למים?
- איזה גוף מפעיל את כל אחד מן הכוחות?
- מה כיוונו של כל אחד מן הכוחות?
- כמה כוחות פועלים על המשקולת אחרי שהוכנסה אל המים?
- איזה גוף מפעיל את כל אחד מן הכוחות? כיצד אנו יודעים זאת?
- מה כיוונו של כל אחד מן הכוחות (במצב שיווי המשקל)?
- האם גודלו של כל אחד מן הכוחות השתנה כתוצאה מהכנסת המשקולת למים? אם כן – האם הוא גדל או קטן?

מדידת כוחות במים – דיון כמותי

- נמשיך לדון במערכת מן השאלה הקודמת. לפני הכנסת המשקולת הורה מד הכוח 9 ניוטון. לאחר מכן ההוריה הייתה 7 ניוטון (7N).
- מה גודלו של כל אחד מן הכוחות?
 - התברר כי הכנסת המשקולת למים גרמה להתקצרות הקפיץ ב-6 ס"מ (6 cm). חשבו את קבוע הקפיץ. רשמו את תשובתכם בניוטון למטר (N/m).

בין ארץ לירח ולמאדים

- נמשיך לדון במערכת משתי השאלות הקודמות. נגלה לכם עתה כי הניסוי נערך על הירח, שם g הוא 1.62 ניוטון לק"ג (1.62 N/kg).
- חשבו את מסת המשקולת.
 - חשבו מה יורה מד הכוח במדידה מקבילה על הארץ (9.8 N/kg).
 - מה יורה מד הכוח על פני מאדים, שם g הוא 3.68 ניוטון לק"ג (3.68 N/kg)?

מדידת מסה בדרכים שונות

- יש שתי דרכים מקובלות למדידת מסה – מד מסה קפיצי ומאזני כפות. נערוך מדידות על הארץ בשני המכשירים ואחר כך ניקח אותם אל הירח.
- האם יהיה צורך לכייל מחדש את מד המסה הקפיצי? מדוע?
 - האם יהיה צורך לכייל את מאזני הכפות? מדוע?

⁵ שאלת הרחבה – למעוניינים (וכך גם שאלת ההמשך).

כוח הכובד על כוכבי לכת

השלימו את הטבלה:

כוכב לכת	עוצמת שדה הכבידה (בניוטון לק"ג – N/kg)	כוח הכובד (ניוטון) שיפעל על אדם שמסתו היא 50 ק"ג (50 kg)
כוכב חמה	3.70	
נוגה	8.87	
ארץ	9.80	
מאדים	3.73	
צדק	25.93	
שבתאי	11.19	
אורנוס	9.01	
נפטון	11.28	

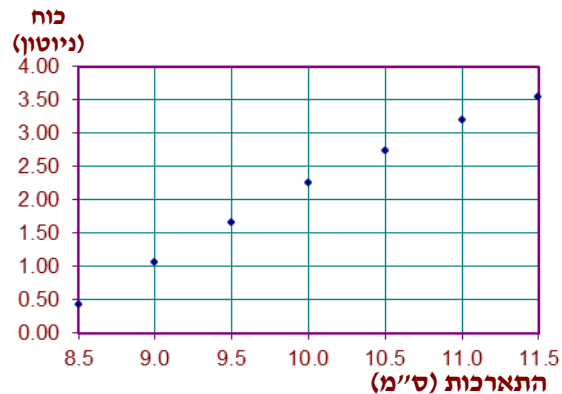
מדידת מסה במקומות שונים על פני כדור הארץ

עוצמתו של שדה הכבידה על פני הארץ היא כ-9.8 ניוטון לק"ג (9.8 N/kg), אך היא שונה במקצת ממקום למקום (לפי קו הרוחב והגובה). האם יש לכך השלכה על מידת הדיוק של מדידת מסה באמצעות מאזני קפיץ? באמצעות מאזני כפות?

כיוול גומייה כמד כוח

תלמידים בדרקו את האפשרות להשתמש בגומייה כמד כוח. הם תלו על הגומייה משקולות ומדדו את ההתארכות בנקודות שיווי המשקל. הם סיכמו את התוצאות בטבלה ובגרף.

התארכות (ס"מ - cm)	כוח (ניוטון - N)
8.5	0.43
9.0	1.05
9.5	1.65
10.0	2.25
10.5	2.73
11.0	3.20
11.5	3.55



- א. יעל חישה את "קבוע הקפיץ" של הגומייה לפי מידת ההתארכות בעקבות הגדלת הכוח
- ב. מ-0.43 ניוטון (0.43N) ל-1.05 ניוטון (1.05N). מה התוצאה שקיבלה?
- ג. יואב חישה את "קבוע הקפיץ" של הגומייה לפי ההתארכות בעקבות הגדלת הכוח
- ד. מ-3.2 ניוטון (3.2N) ל-3.55 ניוטון (3.55N). מה התוצאה שקיבל?
- ה. האם שני החישובים מניבים תוצאה זהה?
- ו. במה נבדלת התנהגות הגומייה מהתנהגותו של קפיץ?
- ז. כיצד משתקף הדבר בתיאור הגרפי?

4. כוח בפעולה

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת בהיכרות עם כוחות מגע בחיי יום-יום (כוח נורמלי, חיכוך) וההשתקפות שלהם בתופעות וביישומים טכנולוגיים.

מיומנויות

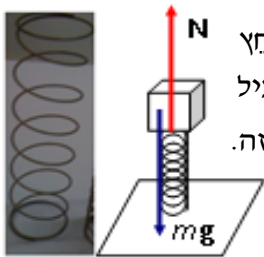
1. זיהוי כוחות
2. סרטוט תרשימי כוחות
3. ניתוח מערכות עם תרשימי כוחות

כוח בפעולה

ביחידת הלימוד הקודמת עסקנו בדרכים לאפיון הכוח ולמדידתו. אגב זה ערכנו היכרות עם הכוח האלסטי ועם כוח הכובד ורשמנו להם נוסחאות מתמטיות. ביחידה זו נעשיר את הידע של התלמיד בהיכרות עם כוחות נוספים, שיש להם תפקיד בלימודי הדינמיקה – כוח נורמלי, מתיחות, חיכוך (סטטי וקינטי), צמיגות. אלה הם "כוחות המגע" המקובלים בקורסי פיזיקה.

הכוח שהרצפה מפעילה עלינו כדי שלא ניפול

1. קפיץ כתמיכה



נתבונן בקפיץ שבתמונה. זהו קפיץ קשיח למדי. אם נציב עליו גוף כבד, הקפיץ יילחץ מעט. כקפיץ מכווץ הוא יפעיל כוח כלפי מעלה. במצב שיווי משקל הכוח שהקפיץ מפעיל על הגוף הכבד (מסומן ב-N) שווה לכוח הכובד (mg) שהארץ מפעילה על הגוף הזה. כתוצאה מן הקיזוז בין שני הכוחות, הגוף הכבד נשאר במנוחה. בתרשים מוצגים שני הכוחות שפועלים על הגוף (שמשתייכים לשתי אינטראקציות שונות).

הדברים נכונים גם כאשר הגוף קל, אלא שבמקרה כזה נתקשה לזהות את הכיוון של הקפיץ החזק. גם כיוון זעיר יניב כוח כלפי מעלה שיקזז את כוח הכובד.

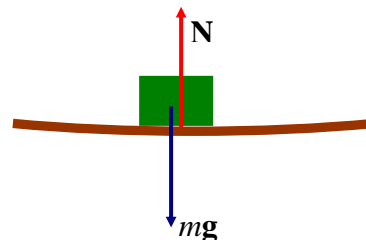


2. מדף כתמיכה

נתבונן במדפים העמוסים שמוצגים בתמונות שלמטה. אנו רואים כי המדפים כורעים תחת העומס. הם אינם ישרים.

עיוות. אמצע המדף נמוך מן הצדדים שלו.

נוצר בהם





משהו דומה מתרחש כאשר אנו מציבים חפץ על הרצפה. הרצפה נוהגת כקפיץ חזק מאוד (מאוד) שמפעיל כוח כלפי מעלה. העיוות של הרצפה אינו ניכר, אך הוא קיים. זהו מקור הכוח שפועל כלפי מעלה, כנגד כוח הכובד, ומונע את הנפילה. הדמיון בין הרצפה והמדפים לבין קפיצים מסייע לנו להסביר כיצד נוצר הכוח התומך. הדמיון אינו מוחלט. הקפיץ הוא אלסטי מאוד. אם מסירים ממנו את העומס, הוא חוזר לאורכו המקורי.

הרצפה והמדף אינם אלסטיים ברמה כזאת. ובכל זאת, יש בידינו מנגנון שמסביר את מה שפיזיקאים מכנים בשם "הכוח הנורמלי" (שמקובל לסמנו ב-N).

הכוח שהקיר מפעיל עלינו

1. **הקיר כקפיץ:** כאשר אנו נשענים על קיר, או דוחפים אותו, אנו לוחצים על "קפיץ". גם הפעם פועל "כוח נורמלי". אנו נמצאים באינטראקציה עם הקיר שמפעיל עלינו כוח בכיוון נגדי, מן הקיר והלאה. כאשר אנו דוחפים את הקיר, הוא דוחף אותנו.

2. **הקיר כמפעיל כוח מניע:** אם אדם נמצא במנוחה, הוא יישאר במנוחה כל עוד לא יפעל עליו כוח שיופגע על ידי גוף אחר. כדי שיצא ממצב המנוחה, עליו לגרום לכך שיפעל עליו כוח חיצוני. כאשר אדם דוחף קיר, הקיר דוחף אותו (כחלק מן האינטראקציה ביניהם, כל עוד נמשך המגע ולא לאחר הניתוק), והאדם מתחיל לנוע מן הקיר והלאה (אם כוחות חיכוך אינם מסכלים את התנועה) וממשיך כך גם אחרי שהכוח חדל לפעול. נוכל להיווכח בכך בנקל כאשר הרצפה חלקה ממש (קרח). נוכל להבחין בכך אם נצמיד לרגלינו גלגליות או שנשב על כיסא משרדי עם גלגלים. אפשר להדגים זאת (בזהירות).

כוחות מתיחה וכיווץ במוטות – מוט כקפיץ



נמשיך להשתמש בקפיץ כדגם להתנהגות גופים. נתבונן במוט שלפנינו. אם נפעיל כוח גדול, נצליח לשנות את אורכו במידה זעירה (במתיחה או בכיווץ). מוט מתנהג כקפיץ חזק מאוד. אם נמתח את המוט, חלקו הימני ימשוך את חלקו השמאלי, וחלקו השמאלי ימשוך את חלקו הימני. שני הכוחות באינטראקציה הזאת הם שווי גודל. גודל הכוח הזה מכונה "מתיחות". בכל מקום לאורך המוט יש מתיחות.

יש לשים לב כי באיור יש שני חצים שמתארים שני כוחות. זהו זוג כוחות באינטראקציה (פעולה ופעולה שכנגד). כל אחד מן הכוחות פועל על חלק אחר של המוט. זה אינו תרשים כוחות עבור אחד מחלקי המוט.

מתיחות בחוטים ובחבלים

1. חוטים מתוחים

חוט או חבל מתנהגים כמו מוט, ככל שהדברים נוגעים למצב של מתיחה. גם בחוט יש מתיחות. מצד שני, אי אפשר לחולל בחוט כוחות כיווץ. חוט או חבל עשוי להיות גורם מתווך.

2. חבל כמתווך



אנו יכולים להפעיל על החוט כוח בצדו האחד (למשוך את החוט), והחוט יפעיל כוח על גוף אחר, שקשור לצדו השני. זה מאפשר לנו גמישות בהקמת מערכים מכניים.

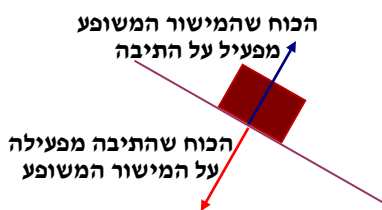


כאשר החוט קל מאוד (המסה שלו קטנה מאוד ביחס למסת הגוף הנמשך), הוספתו אינה מעלה ואינה מורידה מבחינת תוצאות הפעולה של הכוח, אך הוא עשוי לסייע לנו לאחוז בגוף (בעקיפין) או להגיע למקומות שנתקשה להגיע אליהם ישירות באמצעות ידינו (או כלים אחרים).

3. חבל משנה את כיוון פעולת הכוח

נתבונן בדוגמה הבאה. אנו מנסים להרים גוף שמונח על הרצפה. ייתכן שיהיה לנו קל לעשות זאת באמצעות הגלגל שצמוד לתקרה. אנו נמשוך את הצד הימני של החבל כלפי מטה, והצד השמאלי של החבל יעלה את הגוף כלפי מעלה. חוטים וחבלים מאפשרים לנו לשנות את כיוון הפעולה של הכוח. יש לדבר חשיבות רבה. עוד נחזור (ביחידת לימוד אחרת) להתקנים שמנצלים את הדבר בתחום רב.

כוח נורמלי בין שני גופים: האופי הכולל של הכוח הנורמלי



עד כה ראינו את הכוח הנורמלי במספר מצבים. בחלק מן המצבים האינטראקציה הייתה עם גוף שקשה מאוד להזיזו (רצפה, קיר, חוט קל שמושך גוף מסיבי). בחלק אחר האינטראקציה הייתה בין שני חלקים של גוף (מוט, חוט). הכוח הנורמלי פועל במקרים ששני גופים נמצאים במגע ולוחצים זה את זה. כאשר הגוף מוצק וקשיח, אין מתאפשרת חדירה של הגופים זה

לתוך זה. זה מתבטא בכוח ניצב לפני משטח המגע, שמונע את החדירה. זהו הכוח הנורמלי. כאמור, הכוח ניצב למשטח המגע, אך אינו בהכרח אופקי או אנכי. דוגמה כזאת נמצא בגוף שמונח על מישור משופע. שני הכוחות הנורמליים שבאינטראקציה, שכל אחד מהם פועל על גוף אחר (ולכן אין מדובר בתרשים כוחות על אחד הגופים), פועלים בכיוון משופע.

התנגשות

כאשר שני גופים נמצאים במגע, עשוי לפעול ביניהם כוח נורמלי. לעתים מדובר באינטראקציה שמתרחשת בזמן קצר מאוד, כאשר מתרחשת התנגשות בין שני גופים (כדורי ביליארד, לדוגמה).⁶ במקרים כאלה העין תתקשה להבחין בתהליך ובעיוות שנוצר (זמנית). כאן ניזקק לטכנולוגיה.

צילומי הבזק של התנגשויות

נתבונן בתמונות שהתקבלו בחשיפה קצרה במיוחד על ידי אגרטון (שאותו הכרנו ביחידת ההתמדה בכיתה ז).



© 2010 MIT. Courtesy of MIT Museum



בתמונה הימנית אנו רואים כדורגל אמריקני שמתעוות ברגע הבעיטה. בתמונה האמצעית אנו רואים עיוות ניכר בכדור טניס. אפשר גם להבחין בעיוות של רשת המחבט. בתמונה השמאלית אנו רואים כדור גולף שמעוות ברגע ההתנגשות. כדי לקבל תמונה חדה יש צורך בחשיפה לזמן קצר במיוחד. הנה תמונה שהתקבלה בחשיפה של חצי מיליונית השנייה.

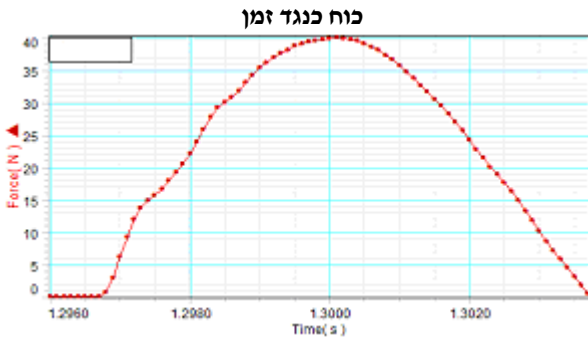
סרטי וידיאו של התנגשויות כאלה אפשר למצוא בכתובת:

<http://edgerton-digital-collections.org/videos/hee-fv-018>. בזמן 08:38 מתחיל סרטון של בעיטה

בכדורגל אמריקני. בזמן 09:02 מתחיל סרטון של כדור גומי מקפץ.

⁶ אנו מדברים כאן על התנגשויות שיש בהן מגע. פיזיקאים משתמשים במונח התנגשות גם לאינטראקציות קצרות ללא מגע (דחייה מגנטית לדוגמה). במקרים כאלה לא נדבר על כוח נורמלי מפני שאין משטח מגע. אורט ישראל

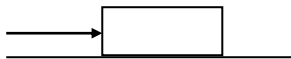
מדידת כוח בהתנגשויות



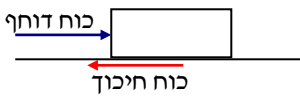
כאשר מדובר בגופים קשיחים מאוד, גם כוח גדול לא יביא לעיוות נראה לעין. כאן לא יעזרו גם צילומי הבזק. במקרה כזה נרצה למדוד את הכוח ברזולוציה גבוהה מאוד. הגרף שלפנינו מתאר את הכוח שמפעילה עגלה קשיחה שמתנגשת במד כוח ממוחשב (שקשיח ממנה בהרבה). המדידה נעשתה בקצב של 10,000 מדידות בשנייה. ההתנגשות נמשכה כ-7 אלפיות השנייה. הכוח הגדול ביותר שנמדד, בשיא האינטראקציה, הוא 40 ניוטון.

חלק ב: כוחות חיכוך

הכוח שמקשה עלינו לעקור גופים ממקומם

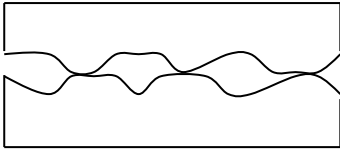


לעתים קשה לעקור דברים ממקומם. תיבה מונחת על הרצפה. אנו מבקשים לדחוף אותה. שום דבר אינו עומד בדרכה. ובכל זאת, הכוח האופקי שאנו מפעילים עליה אינו עוקר אותה ממקומה, כאילו הייתה דבוקה לרצפה. התיבה נותרת במנוחה.



זה מעיד על כך שפועל עליה כוח נוסף, שמקזז את השפעת הכוח שאנו מפעילים. הכוח הזה פועל בכיוון אופקי, הפוך לכיוון הכוח שאנו מפעילים.

איזה גוף מפעיל את הכוח הזה? מי השותף לאינטראקציה הזאת? אין זו אינטראקציה ממרחק. הכוח שהארץ מפעילה ממרחק אינו פועל בכיוון אופקי. אין לנו עדות לקיום של כוחות חשמליים או מגנטיים ממרחק. מדובר, אם כן, באינטראקציה במגע. הגוף שלנו נמצא באינטראקציה רק עם הרצפה ואתנו. אנו מפעילים כוח אופקי בכיוון אחד. הרצפה מפעילה, אפוא, כוח בכיוון הנגדי. כוח זה מכונה **"חיכוך"**. הפעם הסרטוט אינו מציג זוג של כוחות באינטראקציה, אלא תרשים של הכוחות שפועלים על התיבה, כאשר כל כוח משתייך לאינטראקציה אחרת. כל זמן שהגוף נותר במנוחה, כוח החיכוך "מתאים את עצמו" כך שהוא שווה בגודלו לכוח הדוחף. מעבר לסף מסוים, החיכוך אינו מסוגל לספק כוח נגדי, והגוף נעקר ממקומו. גודלו של הסף הזה תלוי בחומרים שמהם עשויים שני הגופים המתחככים ובכוח הנורמלי. **לא נרחיב על כך בכיתה ח'.**



כדי להבין את סיבת קיומו של הכוח, עלינו להתבונן על פני החומר ברמה המיקרוסקופית. ברמה זו, גם משטחים שנראים לעין כחלקים, כלל אינם חלקים. למעשה המגע בין הגופים מתרחש על פני שטחי מגע קטנים (ביחס לשטח המגע כפי שהוא נצפה בעין). על אזורים אלה מופעל לחץ עצום (במובן

היומיומי של המושג הזה, שטרם הגדרנו אותו). תחת לחץ זה האטומים שנמצאים באזור המגע, נמצאים באינטראקציה גבוהה, מן הסוג שמייצר קשרים כימיים. כאשר מבקשים להניע את אחד הגופים, יש צורך לנתק את הקשרים הללו.

כיצד מקטינים חיכוך

דרך יעילה לצמצום החיכוך היא הכנסת נוזל בין שני הגופים. נוזל צמיג מייצר שכבות נוזל בין שני הגופים. זו הסיבה שמשמנים משטחים כדי לצמצם חיכוך. כאשר אנו מחליקים על קרח, אנו ממיסים שכבת מים דקה ומעלימים את החיכוך כמעט לחלוטין.

חיכוך בתנועה – כוח מרסן וכוח מניע

החיכוך כמרסן תנועה

חיכוך אינו פועל רק למנוע עקירה של גופים ממקומם. חיכוך גם מתנגד לתנועה של גופים על פני הקרקע. זו הסיבה שכל כך קשה להבחין בתכונת ההתמדה. קשה להתמיד בעולם שבו יש חיכוך שפועל ככוח מעכב. כדי לשמור על מהירות קבועה יש צורך לספק כוח בכיוון התנועה, שיקזז את השפעת החיכוך.

חיכוך סטטי וחיכוך קינטי

בסעיפים הקודמים ראינו שתי דרכי פעולה של החיכוך. ראינו מצבים שבהם החיכוך מונע תנועה של גוף אחד ביחס לגוף שני, מפני שנוצר איחוי בין אתרים מתאימים בשני הגופים. זהו **חיכוך סטטי**. במצב של חיכוך סטטי שני הגופים נחים כאחד או נעים כאחד. החיכוך הסטטי פועל למנוע תנועה יחסית בין הגופים.

ראינו גם כי לעתים החיכוך מתנגד לתנועתו של גוף נע (ביחס לגוף שהוא במגע עמו). במקרים כאלה יש תנועה יחסית בין הגופים המתחככים. החיכוך מצמצם אותה. חיכוך זה מכונה **חיכוך קינטי**. גודל הכוח תלוי בשני החומרים שמהם עשויים הגופים המתחככים ובכוח הנורמלי. **לא נרחיב על כך בכיתה ח'.**

החיכוך ככוח מניע

קנייה במרכול מסתיימת באירוע מצער משהו. הקונה ניצב מול הקופאי. הקונה מניח את המוצרים על מסוע. המסוע הוא רצועה שאפשר להניע אותה. מדי פעם הקופאי מפעיל את המסוע. הרצועה והמצרכים שמונחים עליה, נעים יחד עד לרגע שהקופאי עוצר את המסוע. מדוע המצרכים מתחילים לנוע ברגע שבו הרצועה מתחילה לנוע? מדוע הם נעצרים יחד עם הרצועה? אם לא הייתה אינטראקציה של חיכוך, המצרכים היו אמורים להמשיך בתנועתם. התנועה המשותפת של הרצועה ושל המצרכים מעידה על קיומו של חיכוך. זהו חיכוך סטטי מפני שאין תנועה יחסית בין המצרכים לבין המסוע. זהו, אפוא, מקרה שבו חיכוך סטטי מביא גוף נח לתנועה (אך אינו עוקר אותו ממקומו ביחס לגוף השני).

משיכת מפה



דוגמה דומה נמצא במקרה שבו אנו מנסים למשוך מפה ולחלץ אותה מתחת לכלים שנמצאים עליה. מתברר שהמשימה אינה קלה. הכלים שמונחים על המפה, נעים יחד אתה הודות לחיכוך (הסטטי).

כדי להימנע משבירת כלים, יש למשוך את המפה במהירות גדולה. השינוי החד במהירות מביא לכך שכלים נעקרים ממקומם על המפה ואינם מתקדמים באותו קצב שבו המפה מתקדמת (אך פועל עליהם חיכוך קינטי שמושך אותם קדימה).

אם המשיכה חדה מספיק, זמן המשיכה אינו מספיק כדי לאפשר לכלים להתקדם אל שולי השולחן (הם נעצרים על השולחן בגלל החיכוך הקינטי).

הליכה

אם אנו ניצבים על משטח חלק (קרח לדוגמה), נתקשה מאוד להניע את עצמנו. אי אפשר לעבור ממנוחה לתנועה ללא כוח חיצוני. עלינו לרתום כוח חיצוני כזה. כיצד אנו עושים זאת על רצפה לא חלקה? אנו רותמים את כוח החיכוך. נבחן, אפוא, כיצד אנו מביאים את הרצפה להפעיל עלינו כוח חיכוך קדימה.



כדי ללכת אנו דוחפים את הרצפה אחורה (באמצעות הרגל שהיא חלק מאתנו). הרצפה מפעילה עלינו כוח חיכוך קדימה כחלק מאינטראקציה של חיכוך בין הרגל לבין הרצפה. בשלב הבא, הרגל השנייה נוגעת ברצפה, דוחפת אותה קדימה, והרצפה דוחפת את הרגל אחורה. זהו שלב של הקטנת המהירות (האטה), שבעקבותיו יבואו שלבים נוספים של האצה והאטה.

שימו לב כי הפעם זוג החצים אינו תרשים כוחות על גוף מסוים. שני הכוחות האלה פועלים על גופים שונים. זה איננו "תרשים כוחות" לגוף מסוים.

התנגדות תווך למעבר דרכו

התנגדות האוויר

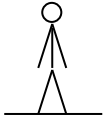
כדי להציב תחנת חלל יש צורך לשגר אותה מפני הארץ. השיגור הזה קשה במיוחד. עלינו להניע גוף כבד מאוד כנגד כוח הכובד. יתר על כן, מתברר כי גם האוויר מפעיל כוח התנגדות בלתי מבוטל. גם הנעת מטוסים מחייבת התגברות על התנגדות האוויר. אפילו מכוניות עומדות לעתים בפני כוח התנגדות גדול של האוויר. בדרך כלל אנו מספרים לתלמידים כי כוח ההתנגדות של האוויר אינו משמעותי, ולכן כל הגופים נופלים באותו אופן, אך מתברר שהעניין מורכב מעט יותר. התנגדות האוויר אכן נמוכה כאשר המהירויות נמוכות. ככל שמהירות העצם הנע גדולה יותר, התנגדות האוויר גדולה יותר. במהירויות גבוהות התנגדות האוויר גדלה לפי ריבוע המהירות (לדוגמה: הכפלת המהירות פי 10 מגדילה את כוח ההתנגדות פי 100). התנגדות האוויר עשויה להיות גורם מועיל. היא מאפשרת לנו לצנוח מגובה רב מבלי שהמהירות תגדל יותר מדי. יריעה גדולה שנפרסת נמצאת באינטראקציה עם האוויר המעכב, וקצב הנפילה מואט מאוד.

צמיגות

גם נוזל מתנגד לתנועה. במקרים רבים יש "כוח חיכוך" בין שכבות נוזל שמחליקות זו על גבי זו. תופעה זו מכונה צמיגות. אנו מכירים אותה היטב מהתנהגות השמן. גם הכוח הזה תלוי במהירות. נוזל שבו כוח הצמיגות נמצא ביחס ישר למהירות של העצם הנע (ביחס לנוזל שדרכו הוא חולף), מכונה "נוזל ניוטוני".

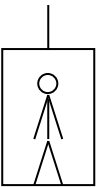
שאלות לסיכום וחזרה

1. תלמיד עומד על רצפת המעבדה



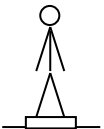
- יובל עומד על הרצפה. מסתו של יובל היא 50 ק"ג.
- חשבו מה גודלו וציינו מה כיוונו של כוח הכובד שהארץ מפעילה על יובל.
 - מהו גודלו ומה כיוונו של כוח הגומלין שבאינטראקציה בין יובל לבין הארץ?
 - מדוע יובל אינו נופל מטה בהשפעת כוח הכובד? איזה גוף מפעיל עליו כוח נגדי?
 - מה גודלו של כוח זה? מדוע?
 - איזה גוף מפעיל את כוח הגומלין ("התגובה") לכוח מן; הסעיף הקודם?
 - מה גודלו של הכוח הזה?

2. תלמיד עומד על רצפת מעלית



- נמשיך לדון בכוחות שפועלים על יובל. הפעם יובל נכנס למעלית. הוא מפעיל את המעלית. בחלק מן התנועה המעלית עולה במהירות שמשתנה כל הזמן.
- האם תשובותיכם לסעיפים א ו-ב מן השאלה הקודמת ישתנו? הסבירו.
 - מהו גודלו ומה כיוונו של כוח הגומלין באינטראקציה בין יובל לבין הארץ?
 - האם תשובתכם לסעיף ד בשאלה הקודמת תשתנה? הסבירו.
- בשלב מסוים של התנועה המעלית נעה במהירות קבועה.
- הסבירו מדוע כל התשובות מן השאלה הקודמת (על רצפת המעבדה) נותרות בתוקף.

3. א. מאזני רצפה



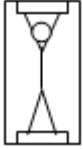
- עמדו על מאזני רצפה. הן מכוילות להורות את תוצאות מדידת המסה שלכם בק"ג.
- רשמו את המסה שלכם, כפי שהיא נמדדה על ידי המכשיר.
 - נניח כי המכשיר כולל בתוכו קפיץ, והוא מודד כוח. מה גודלו של הכוח שהקפיץ מודד?

יובל טוען כי הכוח הנמדד הוא כוח הכובד שהארץ מפעילה עליכם. אסנת טוענת כי הכוח הנמדד הוא הכוח שהרצפה (או המאזניים) מפעילה עליכם. יובל משיב לה כי שני הכוחות הם שווים גודל. אסנת משיבה לו כי לא בכל המקרים הכוחות הם שווים גודל.

- מדוע יובל חושב ששני הכוחות שווים בגודלם?
- מדוע אסנת טוענת שיש מקרים שבהם הכוחות אינם שווים בגודלם?
- מהו אכן הכוח הנמדד – כוח הכובד או "הכוח הנורמלי"?

שאלת הניתור בעמוד הבא מתייחסת לתופעה דומה.

ב. שני מאזני רצפה



אם יש ברשותכם שני מאזני רצפה, תוכלו לעשות את הניסוי הבא. עמדו על אחד מהם והחזיקו את השני, כשהוא הפוך, כאשר כפות ידיכם דוחפות אותו כלפי מעלה אל המשקוף של אחד הפתחים בבית או בכיתה (ייתכן שתצטרכו הדום יציב). ככל שתלחצו חזק יותר, שני המכשירים יראו תוצאות גבוהות יותר, אך ההפרש יישאר קבוע.

- א. תארו בתרשים כוחות את שלושת הכוחות שפועלים עליכם וציינו מי מפעיל אותם.
- ב. מה מודד ההפרש הקבוע בין שני הכוחות הנורמליים?

4. ניתור

ספורטאית מנתרת כלפי מעלה (ממצב מנוחה).

- א. מה הם שני הכוחות שפועלים עליה ברגע הניתור (ממש לפני שהיא מנתקת מגע מן הקרקע)?
- ב. איזה מן הכוחות גדול יותר?
- ג. האם מערך הכוחות משתנה בעקבות הניתוק?

5. גודלו של הכוח חיכוך

שריין מתאמן בגרירת משאות כבדים על פני הקרקע. הוא מפעיל על תיבה כבדה כוח של 100 ניוטון, והתיבה אינה נעקרת ממקומה. בניסוי השני שני הוא מפעיל כוח של 500 ניוטון ואינו מצליח להזיז את התיבה. בניסוי שלישי הוא מפעיל כוח של 1000 ניוטון, והתיבה נותרת עדיין במקומה. בניסוי רביעי הוא מפעיל כוח של 1200 ניוטון, והתיבה נעקרת ממקומה. האם אפשר לקבוע מה גודלו של כוח החיכוך בכל אחד מארבעת המקרים? נמקו.

6. א. מסוע

מסוע הוא רצועה נעה שאפשר להסיע עליה משאות במרכול, בשדה התעופה, בפס הייצור ועוד.

- א. איזה סוג חיכוך פועל על העצמים המוסעים – סטטי או קינטי?
- ב. כאשר הגוף נע במהירות קבועה על גבי המסוע, האם פועל עליו כוח קדימה או אחורה?
- ג. חפשו באינטרנט מידע על מסועים מיוחדים. מהו המסוע הארוך ביותר שמצאתם?

ב. הליכה על הקרח

מדוע אי אפשר ללכת על הקרח? מה יקרה אם ננסה ללכת כפי שאנו רגילים? בהקשר זה התבוננו בסרטון שחוקר את ההחלקה על קליפת בננה:

<http://www.games365.co.il/index.php?action=playgame&gameid=5055>

7. א. החיכוך בכביש

מה הם היתרונות ומה הם החסרונות של החיכוך בכביש?

ב. בייסבול

בכתובת שלפנינו תמצאו סרטון שבו מודדים בקצב מהיר את ההתנגשות של כדור בייסבול במחבט:

<https://www.youtube.com/watch?v=ModpYJD1gUI>

התבוננו בסרט והשיבו על השאלות הבאות:

- א. מהי מהירות השיגור של הכדור בקילומטר לשעה? שימו לב, יתכן שיהיה עליכם להמיר יחידות.
- ב. איזה גוף קשיח יותר – הכדור או המחבט? איך רואים זאת מן הסרטון?
- ג. האם הגוף הקשיח מבין השניים קשיח לחלוטין? כיצד רואים זאת מן הסרטון?
- ד. האם הכוח שמחבט מפעיל על הכדור גדול מהכוח שהכדור מפעיל על המחבט, קטן ממנו או שווה לו? נמקו.

8. כדור גולף

בכתובת שלפנינו תמצאו סרטון שבו מודדים בקצב מהיר את ההתנגשות של כדור גולף במחבט:

<https://www.youtube.com/watch?NR=1&v=AkB81u5IM3I&feature=endscreen>

- א. באיזה קצב נעשה הצילום המהיר?
- ב. מהי מהירות הפגיעה של הכדור?
- ג. האם הכדור מתנהג כקפיץ בעת ההתנגשות?

5. החוק השני של ניוטון

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית-טכנולוגית. היחידה עוסקת בחוק השני של ניוטון ובמושגי המסה והתאוצה.

מימוניות

סרטוט תרשימי כוחות

פתרון בעיות

כוח, מסה ותאוצה

לרבים, החוק השני של ניוטון נתפס כלטינית, שאינם יודעים לקרוא אותה. ניוטון אכן ניסח את החוק בלטינית. החוק השני של ניוטון הוא המפתח לחיזוי העתיד. אם נדע את מקומם ומהירותם של הגופים שאנו עוסקים בהם, ונכיר את הכוחות שפועלים ביניהם, נוכל לדעת כיצד תשתנה התנועה ברגע הבא, וכך בזה שבעקבותיו וכך הלאה.

החוק הזה קושר בין מושגים שהכרנו לבין מושג התאוצה שאליו נתוודע במהלך יחידת הלימוד. הקשר בין הגורם החיצוני (הכוח), הגורם הפנימי (המסה) והשינוי בתנועה (התאוצה), הוא מהות החוק. בכך נעסוק ביחידת לימוד זו.

הכוח כמשנה מהירות

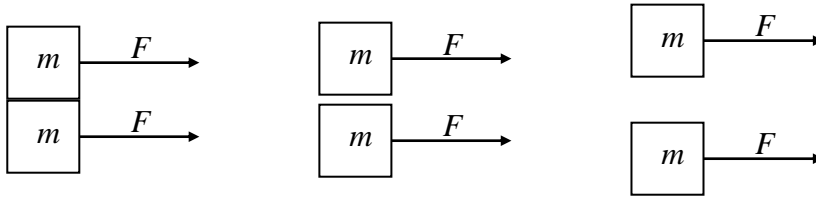
כזכור, החוק הראשון של ניוטון קובע כי בהעדר כוח, גוף נע במהירות קבועה בקו ישר. מכאן עולה שכוח משפיע על תנועה בדרך של שינוי גודל המהירות או שינוי כיוון התנועה. כל זמן שהכוח פועל בכיוון התנועה או כנגדה, הוא אינו משפיע על כיוון התנועה, אך הוא משפיע על גודל המהירות. די ברור כי כוח שפועל עם כיוון התנועה מגדיל את המהירות, וכי כוח שפועל נגד כיוון התנועה מקטין את המהירות.

השפעת המסה על השינוי במהירות

הכוח אינו הגורם היחיד שמשפיע על השינוי במהירות. ישנו גורם נוסף שמשפיע על השינוי במהירות. קשה יותר להניע גוף בעל מסה גדולה מאשר גוף בעל מסה קטנה. זה מוכר מן החיים. שינוי במהירות של גוף מסיבי מחייב כוח ניכר.

עד כה אתם יודעים משיעורי הכימיה, כי המסה היא כמות החומר. עתה מתברר שיש לה תפקיד חשוב נוסף. המסה משפיעה על ההיענות של גוף להפעלת כוח. גם בעניין זה אנו מעוניינים להגיע לקשר כמותי, ברמה של נוסחה.

"הכוח ליחידת מסה" כמשנה מהירות



נתבונן בשלושה איורים:

באיור הימני מוצגים שני גופים זהים (מסה m לכל אחד) שכל אחד מהם נמשך על ידי כוח שגודלו F . אם שני הגופים משוחררים ממצב מנוחה בעת ובעונה אחת, וכוחות שווי גודל פועלים עליהם, שני הגופים נעים כאחד, אף שאינם מחוברים, ואפילו אינם נוגעים זה בזה.

באיור האמצעי מוצג מצב דומה, אלא שהגופים קרובים יותר זה לזה, אך אין ביניהם השפעה הדדית. גם הפעם תנועת הגופים תהיה זהה (ובעצם זהה לזו שמתוארת באיור הימני). זה יישאר נכון גם כאשר המרחק בין הגופים זעיר ואפילו אפסי.

באיור השמאלי מתואר מצב דומה, אלא שהפעם הגופים נוגעים זה בזה. כמו במקרים הקודמים, שני הגופים נעים כאחד, גם בלי קשר למגע ביניהם. במצב כזה גם אין חיכוך ביניהם, שהרי הם נעים כאחד (אין ביניהם תנועה יחסית או ניסיון ליצור כזאת). נוכל אפילו להדביק את הגופים זה לזה, והתנועה תהיה זהה לזו שמתקבלת במצבים שתוארו קודם.

לגוף המודבק (ואפילו אינו מודבק) המורכב משני הגופים, יש מסה $2m$ ופועל עליו כוח $2F$. התוצאה היא תנועה זהה לזו של כל אחד מן הגופים (כוח F שפועל על גוף בעל מסה m). אנו רואים כי הכפלה סימולטנית של כוח ושל מסה מניבה תנועה זהה. מתברר כי מה שקובע את השינוי בתנועה אינו הכוח לעצמו, או המסה לעצמה, אלא הכוח ליחידת מסה – F/m . אם מכפילים באותו שיעור את המונה ואת המכנה מתקבלת תוצאה זהה ($2F/2m = F/m$).

מה שקובע את הגודל של השינוי במהירות הוא הכוח ליחידת מסה (F/m). כדי לקשור בין השינוי בתנועה לבין הכוח ליחידת מסה, עלינו להגדיר בצורה ברורה למה אנו מתכוונים במילים שינוי במהירות.

תאוצה

כאמור, כוח גדול יותר גורם לשינוי גדול יותר במהירות (מדויק מזה – "כוח ליחידת מסה" גדול יותר גורם לשינוי גדול יותר במהירות). כאשר מפעילים כוח גדול יותר על אותו גוף, השינוי במהירות בכל יחידת זמן הוא גדול יותר. נגדיר, אפוא, גודל כזה שייקרא **תאוצה**. התאוצה היא תוספת המהירות ליחידת זמן. כדי לחשב אותה נחלק את תוספת המהירות (Δv) במשך הזמן (Δt) שבו נעשתה המדידה. זו תהיה הגדרת התאוצה:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

לדוגמה: אם המהירות בכל שנייה גדלה ב-5 מטרים לשנייה, נוכל לומר כי התאוצה היא 5 מטרים לשנייה לשנייה. הסימון של יחידת התאוצה יהיה בהתאם – $m/s/s$ או m/s^2 (מטר לשנייה בריבוע).

נתבונן בצילום ההבזק שלפנינו. צילומי התפוח התקבלו בהפרשי זמן קבועים. אנו רואים כי במהלך הנפילה המהירות גדלה. קל למדוד ולראות כי במקרה זה התאוצה בכל קטע זהה⁷, כלומר יש לפנינו תאוצה קבועה.



© 2010 MIT.
Courtesy of
MIT Museum

כוח, מסה ותאוצה – החוק השני של ניוטון

כבר ראינו כי כוח הכובד שפועל סמוך לפני הארץ, כמעט אינו משתנה עם הגובה. מסיפור התפוח מתברר כי כוח קבוע מחולל תאוצה קבועה. מסתמן כי אכן יש קשר בין כוח לתאוצה. נוכל לסכם את מהלך העניינים. יש קשר בין **הכוח ליחידת מסה** (F/m) לבין התאוצה (a). ככל ש- F/m גדול יותר, התאוצה גדולה יותר. ניוטון טוען כי יש יחס ישר בין F/m לבין a . אפשר לרשום זאת כך:

$$a \propto \frac{F}{m}$$

מתברר שאם משתמשים ביחידות התקניות (kg למסה, m/s^2 לתאוצה ו- N לכוח), מדובר בשוויון ממש:

$$a = \frac{F}{m}$$

⁷ ראו להלן הצעת פעילות חקר על התצלום הזה.
אורט ישראל

זה אינו מקרה. בחירת היחידה של הכוח (ניוטון), שנראתה שרירותית ומוזרה, נעשתה בדיוק כדי שכאן נקבל נוסחה פשוטה. זהו אחד הניסוחים המקובלים⁸ של **החוק השני של ניוטון**. הניסוח הזה מציג כיצד התאוצה נקבעת על ידי הכוח והמסה. ניסוח מקובל יותר בספרי לימוד הוא:

$$F = ma$$

ייתכן שהנוסחה הפשוטה הזאת היא הפורה ביותר בתולדות הפיזיקה. זוהי נקודת המוצא של הפיזיקה החדשה של ניוטון, שמאפשרת לשימוש בכלים מתמטיים להסביר, לחזות, לתכנן ולעשות.

כאשר פועלים מספר כוחות – הכוח השקול

לכאורה, המשוואה שלפנינו שימושית כאשר יש כוח בודד, אך מה קורה כאשר יש כמה כוחות? כבר ראינו מקרים כאלה, לדוגמה: כאשר אדם עומד על רצפה נחה או בתוך המעלית. כאשר שני הכוחות פועלים באותו כיוון, הדברים פשוטים. אם שני כוחות, האחד בגודל 7N והשני בגודל 4N, פועלים באותו כיוון, הרי זה כאילו פועל כוח אחד של 11N. כוחות מנוגדים הם עניין של קיזוז פשוט. אם בכיוון אחד פועל כוח שגודלו 8N, ובכיוון הנגדי פועל כוח שגודלו 5N, אפשר להמיר את זוג הכוחות בכוח אחד שגודלו 3N (וכיוונו ככיוון הכוח הגדול מבין השניים). בדרכים כאלה אנו ממירים מערך של כוחות בכוח אחד ששקול לכל מערך הכוחות. זהו **הכוח השקול** (שמכונה לעתים "שקול הכוחות"). זהו הכוח שמופיע בחוק השני של ניוטון. כל זמן שכל

$$\Sigma F = ma$$

הכוחות הם שווי כיוון או הפוכי כיוון, צירוף הכוחות פשוט. **לא נעסוק בכיתה ח** במקרים מורכבים יותר. בכיתה ח אנו מציגים את החוק עם כמה הדגמות פשוטות. לעתים קרובות מציגים את סכום הכוחות באמצעות האות Σ :

⁸ בספרי לימוד; ניוטון רשם את הדברים מעט אחרת. אורט ישראל

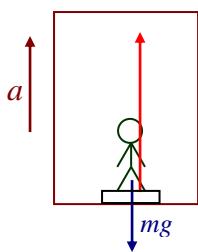
דף מחקר – מדידות במעלית

במחקר זה תגלו כיצד משפיעה נסיעה במעלית על מדידת המסה וכיצד לומדים מכך מהי התאוצה של המעלית. קחו עמכם "מאזני אמבטיה", כאלה שעומדים עליהם וקוראים את המסה, ולכו אל המעלית. שם תחוו מגופכם את החוק השני של ניוטון.

מדידת מסה

- א. היכנסו למעלית. עלו על המאזניים ורשמו את המסה הנמדדת: kg .
- ב. הפעילו את המעלית במגמת עלייה והתבוננו בהוריית המאזניים בשלב ההאצה. זהו פרק זמן שבו המדידה אינה משתנה הרבה. רשמו את קריאת המאזניים: kg .
- ג. חזרו על המדידה כמה פעמים וראו אם התוצאות חוזרות על עצמן. אם יש צורך לתקן את התוצאה הקודמת, תקנו אותה.
- ד. חזרו על התהליך כאשר על כתפיכם יש ילקוט עמוס. רשמו את המסה הנמדדת ללא ילקוט kg , ועם ילקוט kg .
- ה. עתה התרכזו בשלב ההאטה לקראת עצירה. רשמו את קריאת המאזניים בשלב ההאטה, ללא ילקוט kg , ועם ילקוט kg .
- ו. הסבירו מילולית מדוע המאזניים אינם מתארים נאמנה את המסה כאשר המעלית בתאוצה:

הערכת התאוצה



שלב זה מחייב אתכם להבין את ההסבר שלפנינו כמיטב יכולתכם. המאזנים מודדים את N/g , כאשר N הוא הכוח שהמאזניים מפעילים על רגלינו. במילים אחרות: אם המאזניים מורים 40kg , אזי הכוח הנורמלי הוא $40 \times 9.8 = 392\text{N}$. נסמן את קריאת המאזניים ב- \tilde{m} (ולכן $N = \tilde{m}g$).

$$N - mg = ma \quad \text{לפי החוק השני של ניוטון:}$$

$$\tilde{m}g - mg = ma \quad \text{או:}$$

הנוסחה הזאת מאפשרת לנו להעריך את התאוצה במעלית, על סמך קריאות של m ו- \tilde{m} .

- ז. על סמך מדידות המסה שרשמתם למעלה, העריכו את התאוצה בשלב ההאצה (ב- m/s^2). רשמו חישוב ותוצאה:

_____ בלי ילקוט

_____ עם ילקוט

- ח. האם בשלב ההאטה לקראת עצירה התקבלה תאוצה זהה? בסימן? בגודל התאוצה?

דף מחקר – מדידה דינמית של מסה

במחקר זה תבדקו אם הגדלת המסה שתלויה על קפיץ, משפיעה על זמן המחזור וכיצד לנצל זאת למדידת מסה.

- א. כאשר תולים משקולת על קפיץ, היא מתנוודדת. תכננו ניסוי שבו תבדקו אם
- ב. הגדלת המסה של המשקולת מביאה להגדלה או להקטנה של "זמן המחזור" (משך הזמן של מחזור אחד). בצעו את הניסוי.
- ג. רשמו את תוצאות הניסוי:

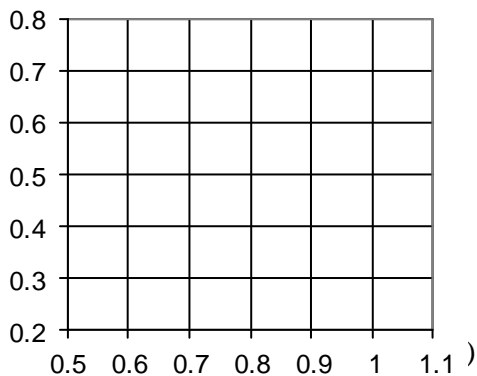
- ד. כאשר תולים משקולת על קפיץ, היא מתנוודדת. בדקו בניסוי אם הגדלת המסה של המשקולת מביאה להגדלה או להקטנה של "זמן המחזור" (משך הזמן של מחזור אחד). זכרו כי כדאי למדוד עשרה מחזורים ולחלק בעשר (האם אתם זוכרים מדוע?). רשמו את מסקנתכם מן הניסוי:

- ה. הסבירו את תוצאות הניסוי באמצעות החוק השני של ניוטון:

- ו. קחו קפיץ שהקבוע שלו הוא 30N/m (תוספת של 100 גרם למשקולת מאריכה את הקפיץ בקצת יותר מ- 3 ס"מ). תלו עליו משקולות כפי שכתוב בטבלה ורשמו את זמני המחזור (נסמן אותו ב- T). זכרו כי כדאי למדוד עשרה מחזורים ולחלק בעשר (האם אתם זוכרים מדוע?).

מסת המשקולת (ק"ג)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
זמן המחזור (שניות)							

m (kg)



- ז. סמנו נקודות מתאימות בתיאור הגרפי והעבירו ביניהן קו:

- ח. עתה תלו גוש פלסטלינה על הקפיץ והשתמשו בגרף כדי לקבוע מהי המסה שלו. לאחר מכן תוכלו לערוך מדידה של המסה בדרך רגילה, לצורך השוואה.

דף מחקר – מכונית עם מאוורר

במחקר זה תגלו כיצד אפשר להניע מכונית באמצעות מאוורר שצמוד אליה.

א. נתבונן במקרה מעניין של הנעת מכונית צעצוע. לשם כך צפו בסרטון שנמצא בכתובת הבאה:

<https://www.youtube.com/watch?v=TXY-gRwYYA0>

ב. כדי להניע את המכונית יש להפעיל את המאוורר, שהוא חלק ממנה. הסבירו מדוע בכל זאת המאוורר אינו מפעיל את הכוח החיצוני על המכונית.

ג. אם כך, רשמו איזה גוף מפעיל את הכוח החיצוני שפועל על המכונית (כולל המאוורר).

ד. בנו בעצמכם מכונית כזאת. אינכם חייבים להשתמש בדיוק באותם חומרים. חלקם אפשר להחליף בפוליאגל, בשיפודי עץ, בקשיות שתייה ובקרטון ביצוע. אפשר גם להשתמש במכונית צעצוע מן החנות (עם ויתור על חוויית הבנייה). החשוב ביותר הוא למצוא בחנות צעצועים מאוורר זעיר שמופעל על ידי סוללות.

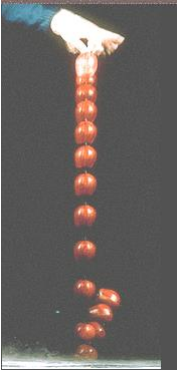
ה. כאשר יש בידכם דגם שעובד היטב, נסו אותו בתנאים שונים. יש באפשרותכם לשנות את מסת המכונית מבלי לשנות שום דבר אחר (העלו הצעות). העלו השערה במה תיבדל התנועה של מכונית בעלת מסה גדולה מזו שיש לה מסה קטנה:

ו. כיצד תבדקו בניסוי את ההשערה שלכם?

ז. בדקו את ההשערה באמצעות השיטה שהצעתם. מה המסקנה?

ח. עתה אתם מוזמנים לעשות חקירה מתוחכמת יותר, שתשדרג את החקירה שלכם. הסריטו בווידיאו את התנועה ובדקו כיצד המהירות משתנה (בקצב קבוע? אחרת?). חשבו היטב כיצד לעשות זאת. הפעילות הזאת פתוחה לחלוטין. עשו את הטוב ביותר.

דף מחקר – נפילת תפוח



© 2010 MIT.
Courtesy of
MIT Museum

במחקר זה נברר אם תפוח נופל בתאוצה קבועה או בתאוצה משתנה.

הצילום שלפנינו הוא צילום הבזק של תפוח נופל (במרווחי זמן קבועים). כידוע, הפולקלור המדעי מספר לנו כי ניוטון התעורר לגילויים מדעיים גדולים בעקבות נפילת תפוח. ננסה גם אנו ללכת בעקבותיו ולגלות את חוקיות הנפילה. התמונה מתארת את מקומו של התפוח מן הרגע שנעזב ועד לפגיעתו ברצפה, וקצת אחרי כן. בעמוד הבא יש גרסה מוגדלת של התמונה, שתקל עלינו למדוד. זוהי תמונת תשליל, שעברה היפוך צבעים כדי לחסוך בצבע שחור בהדפסה וכדי לחדד פרטים.

א. **האם המהירות קבועה:** התבוננו בתמונה וקבעו אם המהירות קבועה. רשמו תשובה מנומקת.

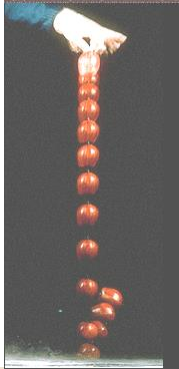
ב. **האם יש האצה:** התבוננו בתמונה וקבעו אם יש האצה כל הזמן או שיש גם קטעים של האטה. רשמו תשובה מנומקת.

ג. **כיצד מודדים העתק:** ההעתק הוא המרחק שהגוף התקדם בין צילום לצילום. התפוח אינו נקודתי, ויש לו גודל. בין אילו שתי נקודות כדאי לנו למדוד את המרחק כדי לקבל תוצאה מיטבית? הציגו אפשרויות שונות ורשמו יתרונות וחסרונות. הערה חשובה: אנו מודדים את ההעתקים שבתמונה, ולא את אלה שבמציאות.

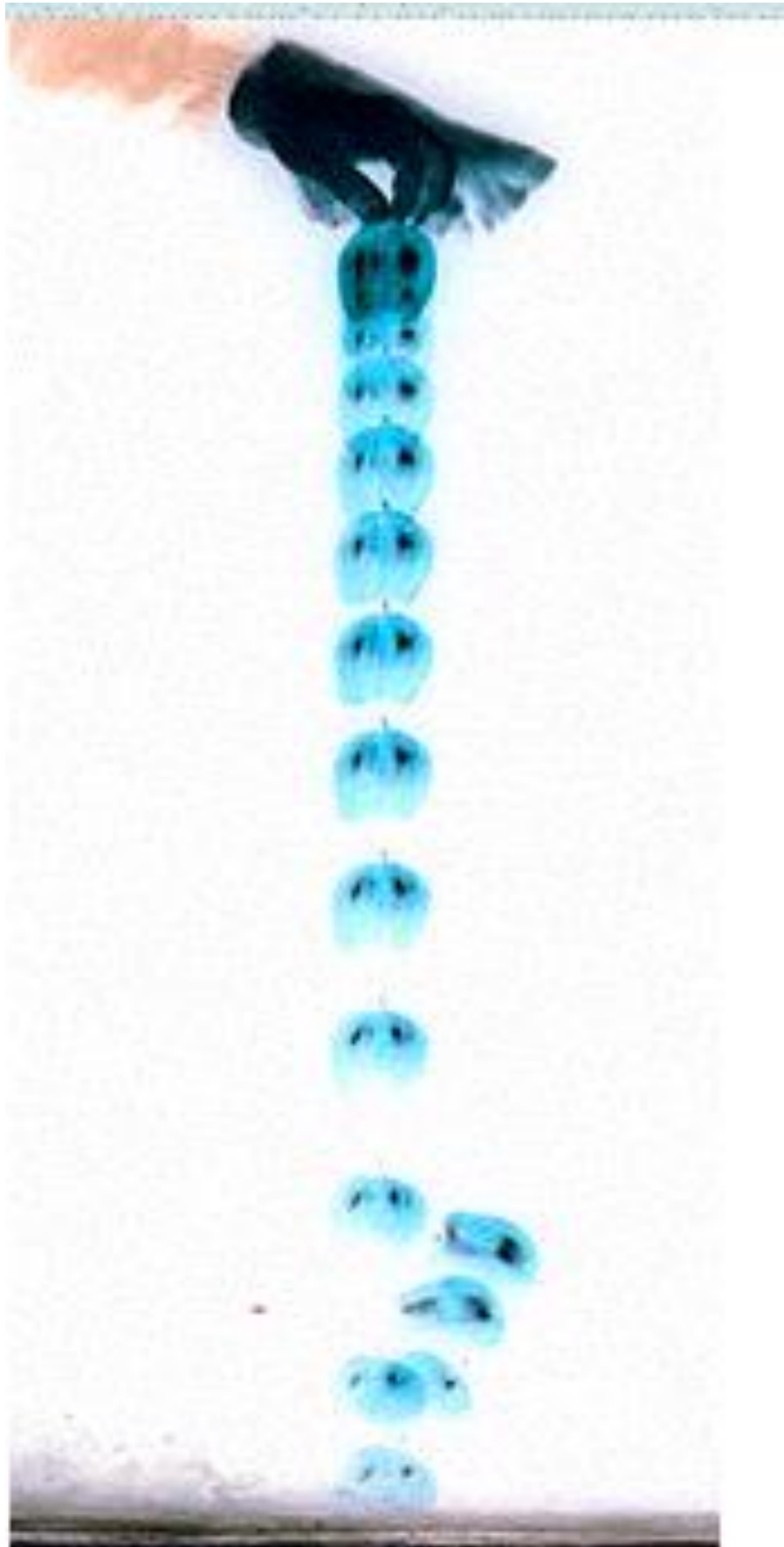
ד. **מדידת סדרת ההעתקים:** רשמו בטבלה את סדרת ההעתקים (בין שני צילומים עוקבים) שהצלחתם למדוד באמצעות הסרגל (אל תכללו תוצאות שאינן ודאיות).

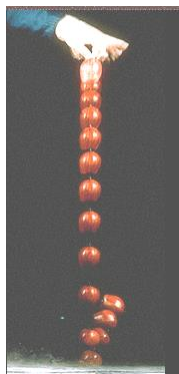
--	--	--	--	--	--	--	--

ה. **בדיקת מגמה בתוצאות:** האם סדרת ההעתקים היא סדרה עולה כל הזמן? האם יש חריגים מן הכלל הזה? האם קצב הגידול הוא קבוע? האם הוא בערך קבוע?



© 2010 MIT.
Courtesy of
MIT Museum





© 2010 MIT.
Courtesy of
MIT Museum

ו. תצוגה גרפית של ההעתקים: הציגו את התוצאות מן הטבלה באופן גרפי (העתק כנגד מספר הקטע). כל מדידה תוצג על ידי נקודה. בציר האופקי ימצא מספר המדידה (1 - להעתק הראשון, 2 - להעתק השני וכן הלאה). בציר האנכי ימצא ההעתק. רצוי להיעזר בגיליון ממוחשב.

ז. בניית גרף: האם אפשר להעביר קו ישר דרך כל הנקודות? האם אפשר להעביר קו ישר שכל הנקודות סמוכות אליו? אם כן העבירו את הקו.

ח. האם התאוצה קבועה: האם המהירות משתנה בקצב קבוע – בדיוק או בקירוב? נמקו את תשובתכם.

ט. סיכום בנייים: סכמו מה למדנו מן הצילום.

שאלות חזרה וסיכום

1. האצה של מכונית ספורט

- מכונית ספורט מהירה מאיצה ממנוחה ועד למהירות 100 ק"מ לשעה (27.78m/s) במשך 2.7 שניות. מסת המכונית היא 1600kg .
- חשבו את תאוצת המכונית (הניחו שהיא קבועה במשך ההאצה).
 - השוו את התאוצה של המכונית לתאוצת הנפילה החופשית.
 - חשבו את מהירות הגוף כעבור שנייה אחת מרגע היציאה לדרך.
 - חשבו את גודלו של הכוח שמופעל על המכונית.
 - איזה גוף מפעיל את הכוח על המכונית?

2. נסיעה במעלית

- פיזיקאית נכנסת למעלית. היא עומדת על "מאזני אמבטיה" שמורות 70kg . היא מפעילה את המעלית ומבחינה שבמשך 5 השניות הראשונות של התנועה המאזניים מורים 80kg .
- האם המעלית עולה או יורדת?
 - מהי המסה של הפיזיקאית?
 - חשבו את הכוח הנורמלי.
 - חשבו את התאוצה ב-5 השניות הראשונות.
 - חשבו את המהירות בתום 5 השניות הראשונות.
- ו. האם ייתכן שבהמשך הנסיעה, לפני עצירת המעלית בקומה גבוהה, המאזניים הורו פחות מ- 70kg ?

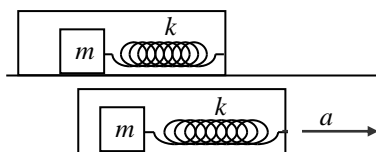
3. תנודות על קפיץ

- משקולת שתלויה על קפיץ מתנודדות עם זמן מחזור קבוע. מחליפים את המשקולת באחרת, שהמסה שלה גדולה יותר. מותחים את הקפיץ שוב באותו שיעור ומשחררים. האם זמן המחזור יגדל או יקטן? הסבר מדוע.

4. גרירה

- אדם גורר חבילה. המסה של החבילה היא 100kg . האדם מפעיל כוח אופקי בגודל 50N . התאוצה היא 0.4m/s^2 .
- מן הנתונים האלה אנו לומדים שפועל גם כוח חיכוך. כיצד?
 - מה גודלו של כוח החיכוך?
 - חשבו את מהירות החבילה אחרי 3 שניות.

5. קרון נגרר



- קפיץ בעל קבוע 25N/m ותיבה בעלת מסה 0.8kg , נמצאים בתוך קרון שנמצא במנוחה. רצפת הקרון חלקה. מאיצים את הקרון בתאוצה 2m/s^2 . כעבור זמן נראה כי לקפיץ יש אורך קבוע, גדול מזה שהיה לו במצב מנוחה. חשבו את התארכות הקפיץ (ביחס לאורכו כאשר הקרון היה במנוחה).

6. מאינטראקציה לרקטה

מטרות

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית. היחידה עוסקת בפרקים הבאים:

א. שיגור רקטה

- תהליך שיגור רקטה
- הנעה רקטית
- מהירות הימלטות
- טילים מונחים (שיקולים במבנה הטיל, מערכת ההנחיה)

ב. כוח כמשנה כיוון

- תנועת גופים בחלל - החוק הראשון של ניוטון
 - לוויינים מלאכותיים, תנועתם ותפקידם
 - החיים בחללית (לא מטופל ביחידה זו, נכלל ביחידת הלימוד כבידה)
 - עקרונות טיסה בחלל
- היחידה מרחיבה את העיסוק בשלושת חוקי התנועה של ניוטון.

מימוניות

- בניית ניסויי הדגמה
- הסברים מילוליים

מאינטראקציה לרקטה - עקרונות, יישומים, מסעות בחלל

בתמונה שלפנינו נראה השיגור של רקטת סויוז ב-23 באוקטובר 2012, מנמל החלל בייקונור שבקזחסטן. הרקטה הזו נשאה עמה צוות בין-לאומי לעבר תחנת החלל הבין-לאומית.

רקטות הן תנאי הכרחי כדי להוציא אותנו מן הסביבה הקרובה של הארץ אל מה שמכונה "חלל". רקטות מאפשרות לנו להתגבר על כוח הכובד ועל הכוח המעכב שהאוויר מפעיל עלינו בתנועתנו המהירה. רקטות מסוגלות לסייע לנו לתמרון בחלל, כאשר אין בסביבה מי שיפעיל עלינו כוח חיצוני (פרט לכבידה שפועלת ממרחק). ללא רקטות אנו מרותקים לכדור הארץ. רקטות נותנות לנו תחושה של חופש למקרה של קטסטרופה. כיצד אפשר להניע רקטה בריק? בכך עוסקת יחידת לימוד זו, שתרחיב גם לעניין כיבוש החלל באמצעים רקטיים.

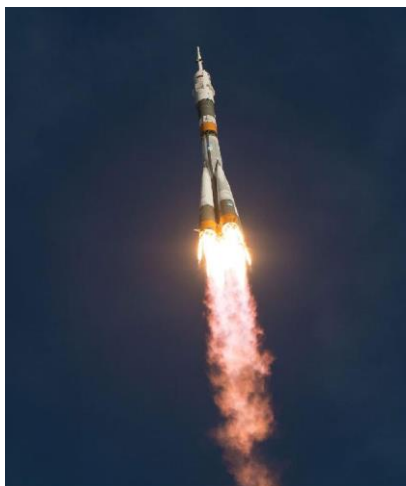
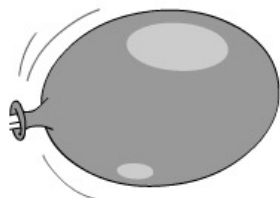


Photo credit: NASA/Bill Ingalls

הדגמת תלמידים – הבלון המעופף

כאשר משחררים את הפייה של בלון מנופח, האוויר יוצא החוצה.

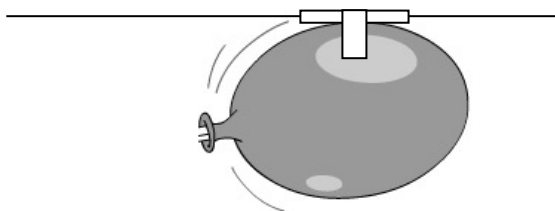
א. באיזה כיוון נע האוויר, ובאיזה כיוון נע הבלון? מדוע? רשמו את תשובתכם:



ב. בדקו את השערתכם במציאות.

ג. הבלון נע כאחוז תזזית. כדי להסדיר את תנועתו, אפשר להצמיד לו (בעזרת

מדבקה) קשית, להשחיל דרכה חוט ולקבוע את שני קצותיו. הבלון ינוע לאורך החוט כפי שמתואר באיור שלפנינו:



הכינו את ההדגמה בצורה המשכנעת ביותר.

תוכלו להיעזר בסרטונים שבכתובות הבאות:

<https://www.youtube.com/watch?v=5i5nuWRcUv8>

<https://www.youtube.com/watch?v=zz5ENQqtJfI>

הדגמת תלמידים – המכונית הרקטית

באיור שלפנינו אנו רואים רכב שמונע באופן רקטי באמצעות בלון מנופח.

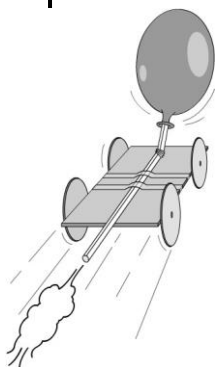
א. הסבירו את עקרון הפעולה של המכונית הרקטית:

ב. בנו מכונית כזאת. תוכלו להיעזר בסרטונים הבאים כדי לתכנן את המכונית שלכם:

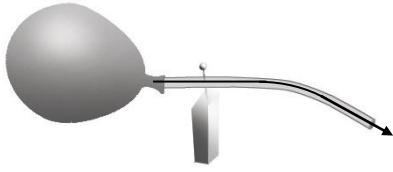
<https://www.youtube.com/watch?v=q76KBy8rMu8>

<https://www.youtube.com/watch?v=zcHLdCI3Ygw&list=PL6F47839C2D1A1738>

https://www.youtube.com/watch?v=3Dw6N0Tn_sU&list=PL6F47839C2D1A1738



הדגמת תלמידים – הבלון המסתובב



באיור שלפנינו מתואר בלון מנופח שמחוברת אליו קשית שתייה. בתוך הקשית נעוצה סיכה.
א. כיצד ינוע הבלון? מדוע? רשמו את תשובתכם:

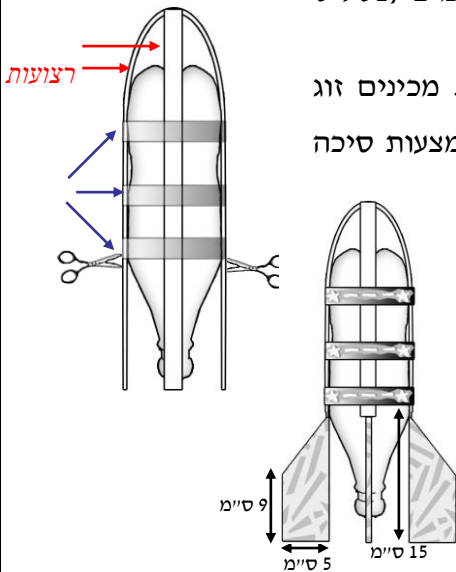
ב. בנו התקן כזה. תוכלו להיעזר בסרטון שבכתובת הבאה:

<https://www.youtube.com/watch?v=JkSIWpR4Ymk>

דף מחקר – בניית רקטה

כאשר דוחסים אוויר לבקבוק פקוק, הלחץ בבקבוק גדל עד שהפקק משתחרר. האוויר יוצא בעוצמה רבה דרך הפייה תוך כדי שהוא דוחף את הבקבוק בכיוון ההפוך. אם יש בבקבוק מים (כשליש הבקבוק), נקבל תופעה מרשימה. הנה הוראות בנייה לרקטה כזאת.

הנחיות בנייה: הרקטה עשויה מבקבוק פלסטי לשתייה קלה (1.5 ליטר). מכינים זוג רצועות פוליגל (1.2 מטר \times 2-3 ס"מ). מצמידים אותן זו לזו במרכזן באמצעות סיכה מתפצלת (ראו סרטוט למעלה), מקיפים את הרקטה ברצועות פוליגל, שאותן מצמידים לבקבוק בסרט בידוד (יש לגזור את עודפי הפוליגל במקומות המסומנים).



מצרפים ארבע כנפיים מייצבות (ראו מידות מומלצות בשתי כנפיים לדוגמה בסרטוט). הכנפיים ייחתכו מפוליגל באופן שהחללים בפוליגל ניצבים לצלע שאורכה 5 ס"מ. משחילים שיפוד דק דרך החלל שסמוך לצלע שאורכה 15 ס"מ. חלקו העליון של השיפוד יוחדר בין הבקבוק לבין סרט הפוליגל (ראו דוגמה בסרטוט). בדרך זו יחוברו המייצבים לבקבוק. צורת החיבור הזאת מאפשרת להגביה או להנמיך את כל אחד מן המייצבים, כך שהרקטה תעמוד אנכית לפני השיגור.

מכניסים לבקבוק מים כדי רבע עד שליש מן הבקבוק. סוגרים את הבקבוק עם פקק גומי (בעל גודל מתאים!) שהוחדרה לתוכו סיכת ניפוח (שלב זה מחייב הפעלת כוח רב והוא מסוכן, ולכן ייעשה מראש על ידי המורה). מחברים את הסיכה למשאבה (יש לוודא מראש התאמה בין סיכת הניפוח למשאבה). מפעילים את המשאבה עד לרגע שבו לחץ האוויר מפריד בין הבקבוק לבין הפקק. הרקטה יוצאת לדרך!

שאלות סיכום וחזרה

1. כדורי ביליארד

כדור ביליארד נע ופוגע בכדור שני, זהה לו, שנמצא במנוחה. בעקבות הפגיעה הכדור הפוגע נעצר. מדוע ינוע הכדור השני, בעקבות ההתנגשות, באותו כיוון שבו נע הכדור הראשון ובאותה מהירות?

2. בקבוק משקה מוגז כרקטה

- נכניס משקה מוגז לבקבוק, נפקק אותו בפקק וננער אותו, כך שהפקק ישתחרר מן הבקבוק ויעוף למרחק.
- מה דוחף את הפקק?
 - הבקבוק שהיה על השולחן נותר במקומו ולא זז. מדוע הבקבוק לא נרתע?
 - הציעו ניסוי שבו אפשר יהיה להבחין ברטע של הבקבוק.
 - האם הבקבוק יירתע באותה המהירות שבה הפקק עף?

3. מיכל גז

תיבה אטומה ומלאה גז דחוס מונחת על משטח אופקי חלק. ברגע מסוים פותחים חריר בדופן הימנית של התיבה.

- האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע? אם לא, מדוע?
- עתה חוזרים על הניסוי כאשר פותחים בעת ובעונה אחת שני חרירים, האחד בדופן הימנית והשני בדופן השמאלית. החריר השמאלי רחב יותר. האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע?
- בניסוי נוסף מניחים את התיבה במנוחה. תחילה פותחים את הפתח הימני. לאחר זמן קצר משתחררת החסימה מן הפתח השמאלי. תארו את תנועת התיבה מרגע יציאתה לדרך.

4. תחנת החלל הבין-לאומית

תחנת החלל נעה במסלול כמעט מעגלי סביב הארץ. לצורך השאלה נניח כי המסלול הוא מעגלי וכי אין שום כוח מעכב על התחנה.

- איזה כוח פועל על התחנה? מה כיוון פעולתו של הכוח?
- האם הכוח פועל עם כיוון התנועה? האם הוא פועל כנגד כיוון התנועה? נוסעי התחנה מפעילים מנוע רקטי כך שהגז יוצא בכיוון התנועה.
- האם מהירות התחנה תגדל, תקטן או לא תשתנה?
- האם התחנה תישאר במסלול מעגלי? מדוע?

5. לווין תקשורת

- האם לווין ריגול שמקיף את הארץ בתשעים דקות, יכול להיות לווין תקשורת? מדוע?
- האם עלינו לספק ללווין אנרגיה כדי שתנועתו סביב הארץ תימשך לאורך זמן?

6. לווין צילום

- א. לווייני צילום נעים במסלולים נמוכים מעל פני הארץ? מדוע?
ב. האם כדאי לשגר לוויין צילום שינוע בגובה של ק"מ אחד (בהנחה שלא ייתקל בהרים)?

ד. כוח ואנרגיה

כוח, אנרגיה ומכונה

מטרות

יחידת לימוד זו מתייחסת לנושאים הבאים:

- כוח בהיבט כמותי** (סעיף אחד; יתר הסעיפים בפרק זה כבר נידונו ביחידות לימוד קודמות).
- מנופים וחוק המנוף

כוח ואנרגיה

- הקשר בין כוח, דרך ואנרגיה
- "שפת הכוחות" ו"שפת האנרגיה"

מימוניות

- גילוי של חוק טבע מתוך מדידות
- תיעוד מסודר של נתונים ובניית הכללות
- פתרון שאלות כמותיות

כוח, אנרגיה ומכונה - מושגים בסיסיים, חקירה, גילוי, חישוב, יישום

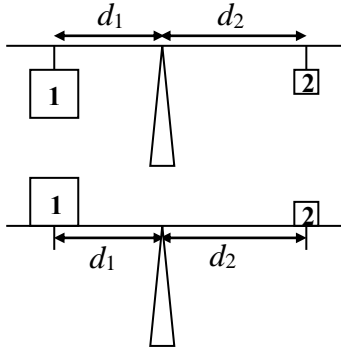


האטב שלפנינו מלא בפיזיקה. אצורה בו אנרגיה אלסטית. מדובר כאן במנוף. כאשר האטב אוזז בכביסה, זהו מנוף "מן הסוג השלישי" (דיון בסוגי המנופים מופיע בהמשך). כאשר אנו מבקשים לשחרר את הכביסה, אנו מפעילים כוח בקצה האטב, עושים עבודה, וזהו מנוף "מן הסוג הראשון". מושגי העבודה, האנרגיה, הכוח והמומנט קשורים באטב הזה שמשמש לאחיזה במצב סטטי, אך יש

גם משהו מן המכונה. מכונות פשוטות הן הזדמנות טובה להבין את המבנה ואת אופן הפעולה שלהתקנים, להכיר מושגים פיזיקליים, לדון בקשר בין כוח ואנרגיה ולערוך חישובים.

דף מחקר – גילוי חוק המנוף

התבוננו באיורים שלפנינו, שמציגים שני גופים (1 ו-2) שתלויים (או מונחים) על פס ישר (מוט, מקל, סרגל...). הפס נשען על "נקודת משען".



המלומד היווני הגדול ארכימדס חקר את התנאים שבהם מערכת כזאת תהיה בשיווי משקל וגילה "חוק טבע". במחקר זה תנסו את כוחכם בפענוח המערכת ובגילוי חוק הכוח. תוכלו לבנות מערכת משלכם, שאתם תכנתם אותה. תוכלו להיעזר בדוגמאות שמוצגות לפניכם בכיתה כדי לבנות מערכות דומות או טובות מהן, באמצעות שימוש בציוד שהועמד לרשותכם. נכנה את כל אחד מן הגופים במונח "משא". במערכת שלפנינו יש שני משאות.

חלק א: כאשר המשאות הם שווי מסה

א. כאשר לשני המשאות יש מסה זהה ($m_1=m_2$), הם נמשכים מטה במידה שווה. תולים על המוט (או מניחים עליו) גוף אחד במרחק d_1 משמאל לנקודת המשען. באיזה מרחק d_2 יש לתלות (או להניח) את הגוף השני מימין לנקודת המשען, כדי שהמערכת תהיה מאוזנת, ללא תנועה?

רשמו את השערתכם: _____
נמקו את השערתכם: _____

ב. בדקו את השערתכם בחמישה מרחקים (d_1) שונים, בשני ערכי m_1 שונים:

$m_1=m_2=$ _____	
d_2	d_1

$m_1=m_2=$ _____	
d_2	d_1

חלק ב: כאשר מסה אחת כפולה מן השנייה ($m_1=2m_2$)

א. כאשר לשני המשאות יש מסות שונות ($m_1 \neq m_2$), הם נמשכים מטה במידה שונה. תולים על המוט (או מניחים עליו) גוף אחד במרחק d_1 משמאל לנקודת המשען. האם המרחק d_2 , שבו נמצא גוף שמסתו היא $m_2=m_1/2$, אמור להיות גדול מ- d_1 , קטן ממנו או שווה לו, כדי שהמערכת תהיה מאוזנת? רשמו את השערתכם: _____

ב. ערכו מדידות בשלושה מרחקים (d_1) שונים, ובכל מרחק בשני ערכי m_1 שונים:

$m_2 d_2$	$m_1 d_1$	m_1/m_2	d_2/d_1	d_2	d_1	$m_2=m_1/2$	m_1

ג. האם מתוך עיון בטבלה אתם מזהים חוקיות ברורה (בדיוק או בקירוב טוב)? אם כן, רשמו את מסקנותיכם:

חלק ג: מקרה כללי – מסות כלשהן

א. נעבור למקרה כללי כאשר לשני המשאות יש מסות כלשהן. אם m_1, m_2 ו- d_1 ידועים, רשמו נוסחה שבאמצעותה תוכלו לחשב את d_2 .

ב. על מה מבוססת התשובה שרשמתם?

ג. בדקו את תשובתכם בסדרת ניסויים נוספים עבור מסות שונות. תעדו בטבלה שבהמשך. בטבלה זה רשמו גם את כוח הכובד $F=mg$. אל תשכחו את היחידות של הגדלים הנמדדים (מרחקים במטרים, מסות בגרמים, כוחות בניוטונים).

$F_2 d_2$	$F_1 d_1$	F_1/F_2	d_2/d_1	d_2	d_1	F_2	m_2	F_1	m_1

ד. נסחו חוקיות כללית על סמך התוצאות שהתקבלו עד כה :

חלק ד: כאשר יש יותר משתי מסות

עד כה בדקנו מה קורה כאשר תולים שני גופים משני צדי נקודת המשען. אפשר לתלות שלושה גופים או יותר. נבחן עתה מה יקרה במערכת שבה יש שלושה גופים תלויים. המחקר שעשיתם עד כה הביא אתכם למסקנה כי שיווי משקל מתקבל כאשר המכפלה mgd של המשקל (mg) במרחק מנקודת שיווי המשקל (d), בשני הצדדים של נקודת המשען זהה. מתברר כי המכפלה mgd קובעת את היכולת לסובב את המוט. מכפלה זו מכונה "המומנט של הכוח". אם שני המומנטים מסובבים את המוט בכיוונים מנוגדים במידה שווה, מתקבל שיווי משקל. האם ייתכן מצב של שיווי משקל כאשר נתלה שלושה גופים על המוט?
א. העלו השערה באשר לתנאי שיווי המשקל. רשמו אותה :

ב. תכננו ניסוי לבחינת ההשערה שלכם. ערכו אותו. רשמו את מסקנתכם.

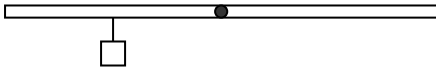
שאלות סיכום וחזרה

1. ידית ודלת

- א. באיזה צד של הדלת מרכיבים את הידית – בצד הקרוב לציר או בצד הרחוק מן הציר? מדוע?
- ב. בהעדר ידית, היכן כדאי לדחוף את הדלת כדי לפתוח אותה? מדוע?

2. כיצד מאזנים?

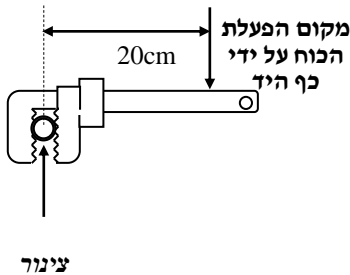
מוט אחיד חופשי להסתובב על ציר אופקי שעובר דרך אמצע המוט. אורך המוט הוא 2m. במרחק 0.5m מן הציר (משמאל לציר) תלויה משקולת של 2kg.



- א. היכן יש לתלות משקולת של 4kg כדי לאזן את המערכת?
- ב. מהי המסה של המשקולת הקטנה ביותר שתאזן את המערכת?
- ג. בהנחה שאנו מוסיפים למערכת שתי משקולות של 0.5kg, ואחת מהן תלויה בקצה הימני של המוט, היכן יש לתלות את המשקולת השנייה כדי לאזן את המערכת?
- ד. בתנאי חלק ג, על איזה צד של המוט פועל כוח גדול יותר (כלפי מטה)?
- ה. אם הכוח שפועל כלפי מטה על אחד הצדדים גדול יותר, מדוע האיזון אינו מופר?

3. מפתח צינורות

כדי לסובב הברגה עקשנית של צינור, חובקים את הצינור באמצעות מפתח צינורות ומסובבים את המפתח.

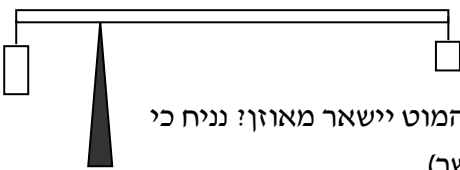


צינור

- א. מדוע מסייע לנו המפתח לסובב את הצינור?
- ב. אם רדיוס הצינור הוא 1.25cm, והמרחק ממרכז הצינור למקום שבו אנו אווזים במפתח הוא 20cm (ראו איור), פי כמה מוגבר הכוח שמופעל על האום כאשר אנו משתמשים במפתח הצינורות? בהקשר לשאלה זו, אתם מוזמנים להתבונן בסרטון שבכתובת הבאה:

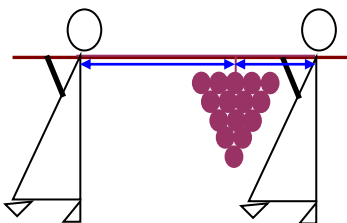
<http://www.youtube.com/watch?v=-UJofmp2IK4>

4. היכן יש לתמוך?



- בשני קצות המוט שבאיור תלו משקולות. משקלה של האחת הוא 3 ניוטון. משקלה של האחרת הוא 12 ניוטון. היכן אמורה להימצא נקודת המשען כדי שהמוט יישאר מאוזן? נניח כי המשקל של המוט קטן מאוד (זניח) ביחס למשקלי המשקולות (אך הוא נותר ישר).

5. לאחוז במוט בשתיים (על פי במדבר, יג, כג)



- שתי המטיילות שלפנינו אווזות במוט שעליו תלוי אשכול ענבים שהמסה שלו היא 6 ק"ג. נניח כי כל התמיכה במוט נעשית על ידי הכתפיים (ולא כפות הידיים). נתון כי המרחק בין הכתף של אחת המטיילות לבין נקודת התלייה של האשכול הוא 1m, וכי המרחק בין הכתף של המטיילת השנייה לבין נקודת התלייה של האשכול הוא 0.5m. באיזה כוח תומכת כל אחת מן המטיילות במשא?

6. עבודה בנפילה חופשית

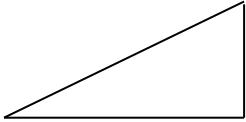
- כאשר גוף נע בהשפעת כוח הכובד בלבד, אנו אומרים כי הוא נע ב"נפילה חופשית".
- א. האם כוח הכובד עושה עבודה על גוף שנע כלפי מטה בנפילה חופשית? אם כן, מה סימנה?
- ב. ילד זורק כדור כלפי מעלה. הכדור ממשיך לנוע כלפי מעלה בהשפעת כוח הכובד בלבד. האם כוח הכובד עושה עליו עבודה? אם כן, מה סימנה?

7. עבודה על מסוק

- מסוק נע באוויר אופקית.
- א. האם כוח הכובד פועל עליו?
- ב. האם פועל על המסוק כוח נוסף?
- ג. האם כוח הכובד עושה עליו עבודה?

8. על המישור המשופע

- כדי להעלות משא לגובה 3m, הניחו מישור משופע שאורכו 5m. משקל המשא הוא 600N.
- כמה עבודה נעשית כאשר מעלים את הגוף לגובה הרצוי?
- מה גודלו של הכוח שנדרש כדי להעלות את הגוף לאורך המישור המשופע



ה. אלקטרוסטטיקה (הרחבה).

מטרות היחידה

- התלמידים יבינו את המושגים מטען חשמלי וטעינה חשמלית.
- התלמידים יכירו את יחידת המטען החשמלי התקנית "קולון".
- התלמידים יכירו תופעות הקשורות לטעינה חשמלית.
- התלמידים יבינו כי בין גופים טעונים פועל כוח חשמלי: משיכה או דחייה.
- התלמידים יבינו כי גוף טעון הוא גוף עם עודף או חוסר אלקטרונים.
- התלמידים ידעו מה הם הגורמים המשפיעים על גודלו של הכוח החשמלי בין שני מטענים חשמליים.

מימוניות

1. בניית מכשיר מדידה איכותי
2. ביצוע של ניסויים איכותיים והסקת מסקנות
3. ניסוח הכללות מתוך ניסויים

רקע היסטורי

כבר בעת העתיקה ידעו כי חומרים מסוימים מושכים גופים קלים לאחר שמשפשפים אותם. חקר רציני של תופעת המשיכה בין גופים ששופשו וגופים קלים, התחיל רק בסוף המאה ה-16 עם עבודותיו של ויליאם גילברט (William Gilbert), מדען אנגלי ורופא הפרטי של המלכה אליזבת הראשונה. אחד החומרים שבו השתמש גילברט לחקר תופעות המשיכה הללו, היה ענבר, ביוונית - אלקטרון. גילברט הציע לקרוא לתופעות הללו בשם הלטיני "ELECTRIQUS", מכאן מקור השם "electricity". המילה "electricity" תורגמה בעברית של ימינו ל"חשמל" על פי תרגום השבעים של התנ"ך, ובו הביטוי "כעין החשמל" המופיע בספר יחזקאל, תורגם למילה electron. גילברט גם המציא את מכשיר המדידה הראשון לחקר התופעה "VERSORIUM", אב טיפוס האלקטרוסקופ של ימינו. הוא מצא שהתכונה המסתורית הזאת מסוגלת לעבור דרך חומרים מסוימים. הוא הצביע גם על התכונות החשמליות של חודים.

עד סוף המאה ה-18 נחקרו בעיקר תופעות המשיכה והדחייה בין גופים ששופשו, תחום הנקרא כיום "אלקטרוסטטיקה", חשמל סטטי. מחקרים אלו נתפסו על ידי הציבור כחקר תופעות משעשעות ללא שימוש פרקטי.

אחד היישומים הפרקטיים הראשונים למחקרים אלו הוא המצאת כליא הברק על ידי בנג'מין פרנקלין. ברק הוא תופעת הטבע החשמלית העוצמתית ביותר, והוא נגרם מפריקת חשמל סטטי הנמצא בעננים. לאחר שבנג'מין פרנקלין הראה את אופייה החשמלי של תופעת הברק ב-1752 על ידי פריקתו דרך עפיפון, ניסוי שעלה לו כמעט בחייו, הוא הגה את רעיון כליא הברק, חוד מתכתי המחובר לאדמה והבולט מעל המבנה שעליו הוא אמור להגן.

כוחות מסתוריים אלו שנצפו נובעים מתכונת יסוד של החומר: המטען החשמלי. המטען החשמלי הוא גודל בסיסי, ולא נוכל להגדירו אלא בצורה אופרטיבית.

כבר במאה ה-18 ניסויים הראו שקיימים שני סוגי מטענים. בין גופים הטעונים באותו סוג מטען קיימים כוחות דחייה, ואילו בין גופים הטעונים במטענים מסוגים שונים קיימים כוחות משיכה. כיום מוסברת תכונה זו באמצעות מודל האטום. החומר בנוי מחלקיקים קטנים הנקראים אטומים. האטום מורכב בעצמו מחלקיקי יסוד: האלקטרון בעל מטען שלילי, הפרוטון בעל מטען חיובי, והנויטרון חסר מטען. בזמן שפשוף גוף בגוף עוברים אלקטרונים מגוף אחד לאחר. הגוף בעל עודף האלקטרונים נטען במטען שלילי. הגוף החסר אלקטרונים הפך להיות טעון במטען חיובי.

המונחים "שלילי" ו"חיובי" לאפיון סוג המטען של חומר נקבעו באופן שרירותי על ידי בנג'מין פרנקלין, אשר סבר כי החשמל הוא סוג של נוזל אשר נמצא בכל החומרים הקיימים. הוא הניח ששפשוף משטחים זה בזה גרם לנוזל זה לשנות מקום, ושזרם הנוזל הוא אשר יוצר את הזרם החשמלי. הוא הניח גם שכאשר חומר מכיל מעט מדי מה"נוזל" הזה הוא היה טעון "שלילית", וכאשר היה לו עודף, הוא היה טעון "חיובית". הוא קבע שרירותית (או מסיבה שלא ידועה) שהמטען המתקבל על ידי שפשוף מקל זכוכית עם משי, הוא מטען "חיובי", ואילו מטען המתקבל משפשוף מקל ענבר עם פרווה, הוא מטען "שלילי".

יחידת המטען החשמלי התקנית היא קולון (שסמלה C) על שם המדען הצרפתי שרל קולון (1736-1806).

שרל קולון היה המדען הראשון שחקר כמותית את הכוח הפועל בין גופים טעונים במטען חשמלי.

יחידה של קולון אחד שווה למטען של 625 מיליארד מיליארדים של פרוטונים (או 10^{-19} שווה למטען של 625 מיליארד מיליארדים של אלקטרונים). זאת אומרת שעל מנת לטעון גוף ב-1 קולון, עלינו לתלוש ממנו 625 מיליארד מיליארדים של אלקטרונים.

מכאן ניתן להבין שהקולון הוא יחידה מאוד גדולה, ועל ידי שפשוף אנחנו בדרך כלל מקבלים גופים שמטענם חלק קטן מאוד של קולון שלם, למשל מיליארדית הקולון.

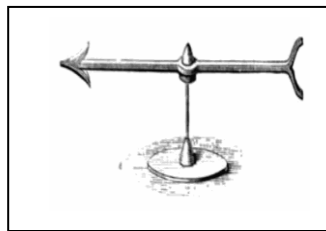
את המטען של גוף טעון ניתן למדוד באמצעות מכשיר מדידה הנקרא "קולונמטר" (ראה תמונה).



רוב הכוחות המוכרים לנו ברמה המקרוסקופית הם כוחות חשמליים: הכוח הנורמלי, כוח החיכוך, הכוח האלסטי וסוגים שונים של קשרים כימיים, כולם נגרמים מכוחות חשמליים מיקרוסקופיים. אלקטרוסטטיות נגרמת בשל הכוחות שמפעילים מטענים חשמליים זה על זה. כוחות אלו מתוארים על ידי חוק קולון.



מתקן זה דומה ל-"versorium" שנבנה על ידי גילברט לניסוייו לחקר מטענים. מוצע לבנות אותו ולהדגים את פעולתו בכיתה. עלה אלומיניום (מהסוג העבה בשימוש במטבח) מחליף את המחט של גילברט.



מטרת הפעילויות הבאות היא להכיר את תכונת המטען החשמלי ולחקור היבטים שונים של הכוחות הפועלים בין מטענים חשמליים.

פעילות 1: דף חקר - היכרות ראשונה עם מטענים חשמליים וגופים טעונים

מבוסס על [הפעילות סדרת הדגמות פשוטות בחשמל](#), אתר מורי הפיזיקה, מכון ויצמן

ציוד



- מסקינטייפ
- גלאי חשמל (טסטר) עם סוללה (ראה תמונה)
- בד צמר
- בלון
- מוט PVC, סרגל פלסטיק או מסרק

לטסטר החשמלי יש יכולת לזהות נוכחות של מטענים חשמליים בסביבה (אך לא סוג המטענים); אם אוחזים בטסטר בצד המברג ומנענעים אותו ליד חומר טעון, הנורה נדלקת.

הנחיות לתלמידים

חלק א

1. נענעו את הטסטר (החזיקו במברג) בקרבת גופים שונים בחדר: שולחן, ספר, קלמר... האם הנורה נדלקת?

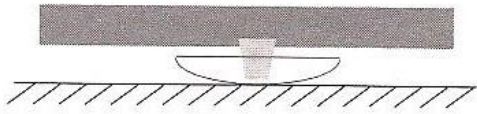
2. הכרתם כבר את תכונתו של בלון משופשף להידבק לכל דבר ולהיות "טעון בחשמל סטטי". נענעו את הטסטר (החזיקו במברג) בקרבת בלון משופשף. האם הנורה נדלקת? _____
3. הציעו דרך שבה תוכלו להשתמש בטסטר לחקור תכונות חשמליות של גופים שונים מסביבנו? _____
4. נענעו את הטסטר בקרבת מוט PVC. האם הנורה נדלקת? _____
5. מה ניתן ללמוד מכך על המוט? _____
6. נענעו את המברג בקרבת בד צמר. האם הנורה נדלקת? _____
7. מה ניתן להסיק מכך לגבי הבד? _____
8. שפשפו מוט PVC או סרגל פלסטיק בבד צמר. חזרו על סעיפים 4 ו-6. האם הנורה נדלקת? _____
9. מה ניתן ללמוד מכך על המוט? על הבד? _____
10. נסו ליישב את תוצאות הבדיקה האחרונה עם תוצאות הבדיקות בסעיפים 4 ו-6. _____

חלק ב

11. קחו גליל מסקינטייפ ונענעו את המברג בקרבנותו. האם הנורה נדלקת? מה ניתן ללמוד מכך לגבי המסקינטייפ? _____?
12. משכו במהירות את סרט המסקינטייפ ונענעו את הטסטר מול המסקינטייפ הפתוח בשני מקומות כמתואר בתרשים. האם הנורה נדלקת? _____
13. האם חלקי המסקינטייפ טעונים? מה לדעתכם מקור המטענים הצטברו על המסקינטייפ? _____
14. הציעו ניסוי לבדוק את השערתכם: _____
15. בצעו את הניסוי. מה הן התוצאות? _____
16. מה ניתן להסיק מניסוי זה? _____
17. הסבירו מדוע החליטו לקרוא למטענים (+) ו-(-) ולא בשמות סתמיים? _____



פעילות 2: טעינה על ידי שפשוף



תרשים 1

(תמונה מתוך: פרקי חשמל ומגנטיות - פעילויות, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן)

ציוד

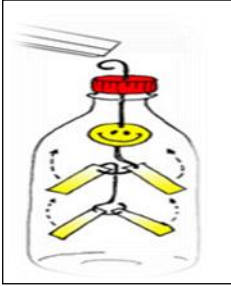
שתי לוחיות PVC, זכוכית שעון, בד צמר מהודק לסרגל פלסטיק, פלסטלינה מעמידים לוחית אחת של PVC על זכוכית השעון בעזרת פלסטלינה (ראו תרשים 1).

הנחיות לתלמידים

1. קרבו ללוחית ה-PVC את הלוחית השנייה. האם יש אינטראקציה בין הלוחיות?
2. חזרו על פעולה לאחר שפשוף שתי הלוחיות בבד הצמר. מה קורה עכשיו?
3. האם הלוחיות נטענו באותו סוג מטען? נמקו.
4. מה יקרה לדעתכם אם נקרב את הסרגל עם בד הצמר שהשתמשנו בו לשפשוף, ללוחית המשופשפת המוצמדת לזכוכית השעון? בדקו את השערתכם תוך כדי ביצוע ניסוי.
5. האם המטען שהצטבר על הבד והמטען שהצטבר על הלוחית, הם מאותו סוג? נמקו.
6. סכמו:
 - בין מטענים מאותו סוג קיימים כוחות דחייה / משיכה.
 - בין מטענים מסוגים שונים קיימים כוחות דחייה / משיכה.

פעילות 3: בניית מכשיר לחקר כוחות חשמליים - "האלקטרוסקופ"

ברוב בתי הספר ישנם אלקטרוסקופים. יחד עם זאת, לשימוש באלקטרוסקופ שבנה התלמיד בעצמו ערך ייחודי משלו. זה גם יזמן פעילויות חקר קטנות עצמאיות של התלמידים. מוצע לבקש מהתלמידים לבנות את האלקטרוסקופ בבית ולבקשם להביאו לכיתה בשיעור הבא. במהלך ההתנסות יש להקפיד שהצנצנת/הבקבוק יהיו יבשים והמכסה מבודד.



אלקטרוסקופ מבקבוק קולה

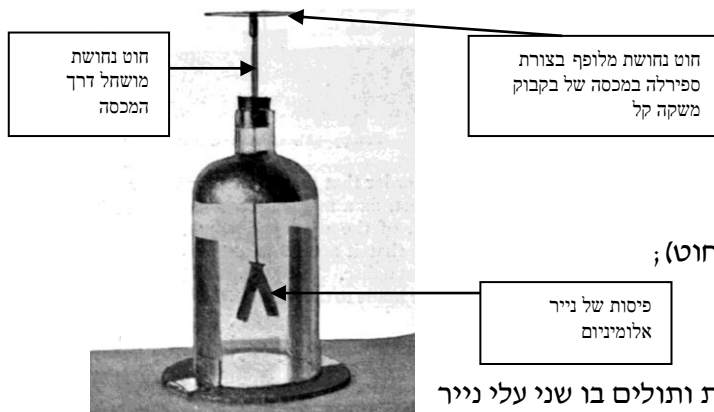
(התמונה נלקחה מתוך אתר מוזיאון המדע על שם בלומפילד)

ציוד

- בקבוק משקה קל עשוי פלסטיק שקוף, רחוף ומיובש היטב ופקק פלסטי תואם או לחלופין צנצנת זכוכית נקייה ושקופה ומכסה קרטון או פלסטיק מותאם (שיודבק לצנצנת בגמר הבנייה). אין להשתמש במכסה מתכת.
- חוט ברזל דק (בעובי חצי מ"מ עד מ"מ, ניתן להשתמש בסיכת משרד) או חוט נחושת של חשמלאי שהורדה ממנו מעטפת הפלסטיק.
- נייר אלומיניום דק מהסוג שבשימוש במטבח.

הכנה

- השחילו את החוט דרך המכסה.
- בחלקו העליון (מחוץ לצנצנת) לפפו את החוט בספירלה מקבילה למישור המכסה.
- בחלקו התחתון (בתוך הצנצנת) כופפו את החוט בקצהו בצורה של לולאה והשחילו בו שתי פיסות נייר אלומיניום.
- הציבו את המכסה במקום והדביקו אם יש צורך.



תמונה להמחשה

חלק חיצוני של האלקטרוסקופ:

הספירלה מקבילה למכסה;

חוט הנחושת מושחל במכסה

(עדיף להשאיר את עטיפת הפלסטיק בחלק זה של החוט);

רואים את החוט מושחל דרך המכסה.

מכופפים את הקצה התחתון החשוף של חוט הנחושת ותולים בו שני עלי נייר

והנה: האלקטרוסקופ מוכן (המכסה השקוף מודבק לצנצנת).

פעילות 4: חקירת הגורמים המשפיעים על גודל הכוח בין מטענים

חלק א: פעילות באלקטרוסקופ

ציוד

- אלקטרוסקופ שבנה התלמיד
- קשים או לוחיות ה-PVC של הפעילות הקודמת
- פיסת צמר
- סרגל מתכת
- דיבל (מיתד) מעץ
- סרגל פלסטיק

הנחיות לתלמידים

1. שפשפו לוחית PVC ביד צמר וגעו בו בראש האלקטרוסקופ. הרחיקו את הלוחית. תארו מה ראיתם. הסבירו את שהתרחש. _____
2. האם המטען על העלים זהה או שונה מהמטען על הלוחית? נמקו את תשובתכם. _____
3. מה יקרה לדעתכם אם נחזור על הפעולה פעם נוספת בלי לפרוק את האלקטרוסקופ? בדקו את השערתכם. חזרו על הפעולה כמה פעמים ברצף. תארו מה אתם רואים. _____
4. שערו, מה קרה לגודל המטען על העלים לאחר כל נגיעה?
5. מה ניתן ללמוד מהתנסות זו על עוצמת הכוח הקיים בין העלים? שערו על פי מה שראיתם מהו הגורם המשפיע על גודל הכוח החשמלי בין מטענים.
6. נסחו את השערתכם: ככל ש _____ גדלים, הכוח החשמלי גדל/ קטן.
7. מה יקרה לדעתכם אם ניגע בגולת האלקטרוסקופ ביד ששימש לשפשוף הלוחית? בדקו את השערתכם. האם תוצאות הניסוי מחזקות את השערתכם בסעיף 6? הסבירו.
8. מה יקרה לדעתכם אם ניגע באצבע בראש האלקטרוסקופ? _____ בצעו את הניסוי.
9. בתום ניסוי זה דונו בשאלה לאן נעלמו המטענים שהצטברו על העלים. לפעולה זאת קוראים הארקה. הסבירו מה זו הארקה.
10. הארקה (מקור המילה "הארקה" מארמית – אַרְקָא, שפירושה ארץ) היא חיבור גוף לכדור הארץ על ידי מוליך. מה ניתן להגיד אם כך על גופנו?
10. צרפו שתי קבוצות תלמידים. קבוצה ראשונה תטען את האלקטרוסקופ שלה (A) כך שהעלים יתרחקו במידה ניכרת זה מזה. הקבוצה השנייה (B) לא תטען אותו. כעת הניחו סרגל מתכת בין שתי גולות האלקטרוסקופים (החזיקו אותו בעזרת ביד או אטב פלסטיק). תארו מה קרה לעלים של האלקטרוסקופ (A) _____ לעלים של האלקטרוסקופ B _____. הסבירו את התופעה: _____

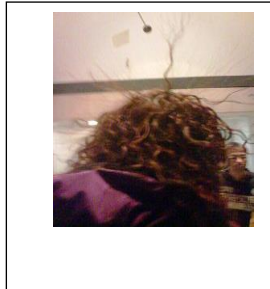
11. האם תוצאות הניסוי לגבי האלקטרוסקופ (A) מאששות את השערתכם בסעיף 4? הסבירו.
12. חזרו על הניסוי אך הפעם הניחו דיבל מעץ בין המכשירים. הסבירו מדוע תוצאות הניסוי שונות.

חלק ב: פעילות באלקטרוסקופ

1. אם האלקטרוסקופ טעון, פרקו אותו ממטען חשמלי (על ידי הארקה כפי שלמדנו בפעילות הקודמת - נגיעה באצבע). תארו מה קורה לעלים כתוצאה מהפריקה החשמלית.
2. שפשו שוב את לוחית PVC, אך הפעם קרבו אותה **ללא מגע**. תארו מה קורה.
3. האם המטען על העלים הוא כמו בפעילות 1? בדקו את השערתכם.
4. תארו מה קרה כשהרחקתם את הלוחית. _____ האם האלקטרוסקופ היה טעון? _____ לתופעה הזאת קורים **השראה אלקטרוסטטית**. עליה למדנו לפני פעילות 3.
5. חזרו על הפעולה שבסעיף 2 והפעם שחקו עם המרחק בין הלוחית לגולת האלקטרוסקופ. מה ניתן לראות?
6. מה ניתן להסיק מכך על השפעת המרחק על חוזק הכוח החשמלי? _____
7. נסחו את השערתכם: ככל ש _____ בין המטענים גדל, הכוח החשמלי ביניהם גדל / קטן.

תופעות הקשורות בחשמל סטטי בחיי היום-יום

מבקשים מהתלמידים לתת דוגמאות משלהם לתופעות הקשורות בחשמל סטטי בחיי היום-יום:



- גרגירי קוסקוס הנדבקים לשקית.
- שכבות בגדים הנדבקות זו לזו.
- מכת חשמל מדלת המכונית.
- השיער של הילדה סומר. הסבירו מדוע.

יישומים טכנולוגיים

1. כליא ברק

כבר הוזכר ברקע ההיסטורי.

2. צביעה אלקטרוסטטית

צביעה אלקטרוסטטית מבוססת על העיקרון של "משיכה נגדית" כדי ליצור גימור אחיד ועמיד על גבי אביזרים/משטחים העשויים ממתכת. בשיטה זו נעשה שימוש בצבע אבקתי המכיל שרפים וחומרי צבע (פיגמנטים). הצבע מוזן ממכל האספקה לתוך אקדח הריסוס. האביזר/משטח הנצבע נטען במטען חיובי. הצבע אבקתי וחלקיקי הצבע נטענים במטען שלילי ומופרדים לחלקיקים על ידי ריסוס אל מחוץ לאקדח בעזרת אוויר דחוס.

חלקיקי הצבע הטעונים במטען שלילי נמשכים באופן חזק לאביזר/משטח הטעון במטען חיובי. חלקיקי האבקה מוחזקים שם עד להתכתם והתאחדותם ליצירת שכבת ציפוי דקה לאחר טיפול בתנורי ייבוש.

3. משקעים אלקטרוסטטיים

מדי שנה מייצרות תחנות הכוח מאות אלפי טונות של אפר פחם. אפר זה מהווה מפגע אקולוגי ובזבוז משאבים. משקעים אלקטרוסטטיים מאפשרים מצד אחד למנוע את פליטת האפר לאוויר מארובות תחנות הכוח והמפעלים ומצד שני לאסוף אותו ולמחזר אותו. כיום משמש אפר זה כמרכיב חשוב בתעשיות המלט והבטון ובתשתיות הכבישים.

4. מכונות צילום מודרניות

מכונות אלו משתמשות כולן בעקרון המשיכה האלקטרוסטטית בין מטענים מנוגדי סימן.

ניתן לסכם את אופן פעולתן באופן סכמטי בצורה הבאה:

א. מניחים את הדף המיועד לצילום על לוח הזכוכית כשפניו כלפי מטה.

ב. פני התוף נטענים בצורה אחידה במטען חיובי.

ג. הנורה עוברת לאורך הדף שאותו אמורה המכונה לצלם, ובאופן מקביל מסתובב התוף. במקומות

שבהם חדר האור מבעד לדף, הוא מגיע לפני התוף וגורם לשינוי במטען החשמלי.

בשאר המקומות, כלומר - המקומות שבהם היה כתוב או מצויר משהו על הדף, המטען נשאר חיובי.

משרד החינוך
המינהל למדע וטכנולוגיה
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

- ד. אבקת טונר מתפזרת על התוף ונצמדת לאזורים שבהם המטען נשאר חיובי, כלומר - האזורים שבדף המיועד לצילום היו כתובים.
- ה. דף שנטען גם כן במטען חיובי, עובר בין התוף המכוסה בטונר לגלגלת נוספת. כשעובר הדף מתחת לתוף, הוא מושך ממנו את הטונר (הטונר - שלילי, הדף - חיובי, מה שיוצר משיכה חזקה ביניהם), וכך נוצרת עליו התמונה הסופית.
- ו. הטונר מוצמד לדף באמצעות חום ולחץ תוך כדי המעבר בתנור, והדף המצולם נפלט החוצה.
- ז. התוף מנוקה מטונר על ידי מברשות מיוחדות, והמטען החשמלי שעל פניו נפרק.

דוגמאות לשאלות סיכום

1. אם משפשפים בלון מנופח בשיער ומצמידים אותו לדלת, הוא נשאר דבוק. הסבירו את המנגנון הגורם לו להישאר דבוק.
2. חשבו את מטענו של גוף שעל ידי שפשוף הועברו אליו מיליון אלקטרונים עודפים.
3. גוף טעון במטען השווה ל- $2 \cdot 10^{-6}$ קולון. האם יש בו עודף או חוסר אלקטרונים? חשבו כמה אלקטרונים עודפים/חסרים יש בו.
4. צמיגיהם של מטוסים מכילים מרכיב מסוים של חומר מוליך. הסבירו מדוע.
5. מאחורי משאיות המובילות חומרים דליקים, משתלשלת שרשרת מתכתית המגיעה לרצפה. הסבירו מה תפקידה.
6. רוני קירבה מוט PVC משופשף לבועת סבון וצפתה במתרחש. בשלב ראשון היא ראתה כי הבועה "התקרבה ונגעה" במוט ואז נסוגה ו"בורחת ממנו". הסבירו את התופעה.
7. יוסי טוען אלקטרוסקופ A ואז מחבר אותו לאלקטרוסקופ B לא טעון בעזרת סרגל מתכת. תארו מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ A; מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ B. נמקו.
8. תלמידה טענה אלקטרוסקופ A ואז חיברה אותו לאלקטרוסקופ B לא טעון בעזרת סרגל פלסטיק. תארו מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ A; מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ B. נמקו.
9. ביום יבש, אם מנסים לפתוח דלת מכונית לאחר נסיעה, כשמקרבים יד לדלת, מקבלים "מכת חשמל". הסבירו מדוע. מדוע תופעה זו לא מורגשת ביום לח?
10. אורן וזיווה צפו בהדגמות המורה בנושא אלקטרוסטטיקה. אורן שם לב שהמורה השתמשה לצורך ההדגמה במוט עשוי חומר פלסטי, ולא בסרגל מתכת. אורן טוען שלא ניתן לעשות את ההדגמות בעזרת סרגל מתכת כי לא ניתן לטעון אותו. זיווה טוענת שזה לא הגיוני כי בחומר מוליך יש אלקטרונים ניידיים, ודווקא קל לתלוש אותם. מי צודק? נמקו את תשובתכם. הסבירו מדוע המורה לא השתמשה בסרגל מתכת.
11. נעמה הקוסמת רצתה להרשים את הילדים במסיבת יום הולדת. היא הניחה פחית קולה ריקה על הדופן הצדית שלה על פני השולחן, והצליחה לגלגל אותה לאורך השולחן על ידי קירוב (ללא מגע) של בלון משופשף. האם אפשר היה להניע את הפחית על ידי קירוב של גוף אחר? כיצד ניתן לגרום לדחייה של הפחית? האם ניתן לבצע את "הקסם" גם בעזרת בקבוק קטן ריק של מיץ תפוזים? הסבירו.
12. שני כדורים קטנים העשויים מחומר מוליך, תלויים על חוטים מקבילים כך שהם נוגעים זה בזה. נוגעים באחד הכדורים בעזרת סרגל פלסטיק משופשף. הכדורים מתרחקים זה מזה. הסבירו מדוע.

ו. חשמל ומגנטיות (הרחבה)

מגנטיות טבעית

מטרות היחידה

- התלמידים יכירו תופעות הקשורות למגנט וידעו להסבירן באמצעות מודל "התחומים המגנטיים".
 1. רוב רובו של עוצמת המגנט נמצאת בקטבים של המגנט.
 2. אפשר להפוך קוטביות של מגנט.
 3. בכל מגנט טבעי נמצאים שני קטבים. לא ניתן להפריד בין הקטבים של מגנט.
 4. ניתן לנטרל את ההשפעה המגנטית ולהפוך מגנט לגוש מתכת רגיל.
 5. ניתן לבנות מגנט מברזל.
- התלמידים יכירו את עקרון הפעולה של המצפן ושימוש של המצפן כמד כוח לעוצמת הקוטב המגנטי.

מיומנויות

ביצוע ניסויים והסקת מסקנות.

ציוד נדרש לכל הפעילויות

- אטבי משרד גדולים (5 ס"מ) וקטנים (3 ס"מ) העשויים מברזל
- מגנט קבוע ארוך
- מצפן, אפשר גם של טלפון חכם
- גפרורים
- נר
- אטב מחזיק מעץ
- קטר (חותך תילים)
- חוט כותנה
- מעמד
- דבק פלסטי לבן (לא רעיל)
- סליל "סלינקי" עשוי מברזל
- קערה עם מים
- נייר טישו
- קערה מלאה באטבים

הערה: לא כל המצפנים רגישים מספיק (בגלל בעיות מכניות), לכן יש עדיפות להשתמש ביישום מצפן לטלפון חכם (באפליקציה של מצפן של סמרטפון), שבו אין חלקים נעים.

גילויים הקשורים לתופעת המגנטיות - רקע היסטורי

תופעת המגנטיות קרויה על שם עיר קדומה מאגנוזיה הנמצאת על יד אידין, טורקיה, שם מצוי מחצב בשם "אבן שואבת" (מגנטיט) שהוא מגנט טבעי. רוב המגנטים בשימוש בחי היום יום אינם טבעיים, אלא מוגנטו בתהליך מסוים שיתברר בהמשך. אצל היוונים הקדומים קיימת אגדה על רועה צאן בשם מגנוס שגילה שמגפיו נדבקים לאדמה בגלל המסמרים מברזל שנמשכו לאבן השואבת. מלבד יכולתה של "האבן השואבת" למשוך גופים אחרים העשויים מברזל, גילו עליה תכונות נוספות:

- א. היא מתיישרת בערך בכיוון צפון-דרום (הסטייה מכיוון צפון-דרום האמיתי תלויה מקום).
- ב. כאשר האבנים הממוגנטות מכוונות בצורה מיוחדת זו כלפי זו, קיימת משיכה ביניהן, ואם מסובבים אחת מהן, הן דוחות זו את זו.
- ג. הפעילות המגנטית של האבנים אינה מושפעת מחפצים שאינם מגנטיים כגון עץ או מים, וחודרת דרכם כאילו הם לא שם.

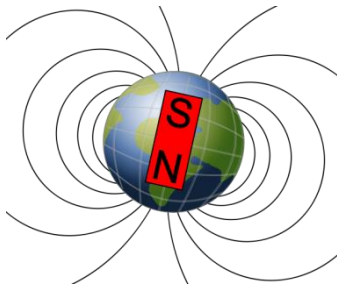
גם רמב"ם התייחס לתופעה זו "ויהיה הפועל הקרוב לחימום הגוף ההוא גוף האוויר החם, עד שהאבן השואבת אמנם תמשוך הברזל מרחוק בכוח שתתפזר ממנו באוויר הפוגש הברזל" (מורה הנבוכים, חלק שני, פרק י"ב). ניצול התופעה המגנטית לצורך בניית המצפן החל לראשונה בסין עוד בימי קדם. האזכור המתועד הראשון המצוי לשימוש במצפן, הוא מטקסט סיני מהמאה הרביעית. המסורת הסינית מייחסת את המצאתו לקיסר הצהוב. בתרבות המערב המצפן נעשה מוכר בשלהי ימי הביניים, כנראה לאחר שהגיע מסין בדרך המשי, אם כי ייתכן גם שהוא התגלה במערב באופן נפרד ובלתי-תלוי.

בעולם המערבי המצפן המגנטי שימש בעיקר ליורדי ים, והוא נזכר לראשונה בשנת 1187 בכתביו של הנזיר האוגוסטיני האנגלי אלכסנדר נְקָאם. ספרו של נקאם על הטבע מכיל את התיאור הבא: "הספנים ברדתם הימה תחת שמים מעוננים, אינם יכולים עוד ליהנות מאור השמש, וכל שכן בעת שהעולם עטוף בצלליה של חשכת הלילה, ואינם יודעים לאיזו רוח מרוחות השמים נוטה ספינתם. לכן הם מצמידים מחט למגנט. אז תחוג המחט ותסתובב במעגל, עד אשר תחדל מתנועתה, וחודה יורה היישר אל הצפון".

עד המאה ה-17 לא ניתן היה להסביר את תופעת המגנטיות. כך התפתחו אמונות המתייחסות לתכונות המצפן, כמו למשל: שלמצפן יש יכולת חסינות מפני כישוף, מרפא שיגעון, מקל נדודי שינה, מבטל רעלים, ומריחת שום על המצפן גורמת לנטרולו.

שימוש במצפן באניות אפשר לשייט מחוץ לקרבת החופים וגרם למהפכה אמיתית בגילוי עולמות חדשים. כדי להפיק תועלת מרבית ממצפן נדרש לא רק דיוק מכני, אלא גם ידע על הסטייה המגנטית במקום שבו נעשתה המדידה.

משרד החינוך
המינהל למדע וטכנולוגיה
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה



המודל שמציע ויליאם גילברט
כדור הארץ פועל כמו מגנט ענק



ויליאם גילברט
William Gilbert

במאה ה-17 המדען האנגלי אדמונד היילי (1656-1742) הציע להשתמש בסטייה של המצפן מהצפון כדי לזהות את קווי האורך במקום מסוים. אולם, מהר מאוד הבינו שסטייה זו משתנה עם הזמן, ונדרש מיפוי תדיר שאינו ניתן לביצוע באמצעים שהיו קיימים אז.

המדען האנגלי והרופא האישי של מלכת אנגליה ויליאם גילברט (1544-1603) הציע בתחילת המאה ה-17 תיאוריה כי כדור הארץ מתנהג כאילו נמצא בתוכו מגנט ענק שפונה בקירוב לציר הגיאוגרפי. גילברט האמין כי "הנשמה של כדור הארץ היא המגנטיות שלה".

המתמטיקאי והאסטרונום הגרמני יוהנס קפלר (1571-1630), טען (עוד לפני ניוטון) שהשמש מפעילה כוח מגנטי על כדור הארץ, ובכך מתאפשרת התנועה האליפטית של כדור הארץ סביבה. ידוע כי כל כמה מאות אלפי שנים הקוטביות המגנטית של כדור הארץ מתהפכת. התהליך משאיר את אותותיו על ליבת ברזל המותכת של כדור הארץ, שבתהליך הקירור שומרת על הקוטביות שלו באותה התקופה. בישראל קיימת התופעה של היפוך מגנטי באזור הגולן, למשל בהר יוסיפון. הדמיון בין אלקטרוסטטיקה ומגנטיות פתח דרך למחקר מעמיק בשני הנושאים הללו, שגולת הכותרת היא, ללא ספק, תגליתו של המדען הדני הַנְס כריסטיאן אורסטד (1777-1851). אורסטד גילה בתחילת המאה ה-19 כי קיים קשר בין זרם חשמלי לבין מגנטיות. ההתנהגות של אלקטרומגנט דומה מאוד לזו של מגנט רגיל, ולכן כדי להבין את תכונותיו של אלקטרומגנט, דרושה הבנה של תכונות המגנט הרגיל. ההתחלה של המאה ה-20 הביאה אתה את עבודתו של פֵּייר קירי (1859-1906) ועמיתו שהובילה לגילוי "טמפרטורת קירי" (טמפרטורה שבה מגנט מאבד את תכונותיו המגנטיים) ואת מודל התחומים המגנטיים (magnetic domains) הנותנים הסבר תיאורטי לכל התכונות המיוחדות של המגנט.

כיבוש החלל שהתחיל באמצע המאה ה-20, הביא לגילויים נוספים הקשורים לקשר בין תופעת המגנטיות וגופים בחלל. מסתבר כי גם כוכבים בכלל וכוכב השמש בפרט הם גופים מגנטיים, והתנהגותם ניתנת להסבר על פי תכונות המגנט הפשוט שהוא הנושא של יחידה זו.

במשך המאה הזו נעשו שימושים טכנולוגיים רבים המנצלים את תכונות המגנט. דוגמה אחת נפוצה ובולטת היא שימוש בזיכרון מגנטי לאחסון מידע במחשב ובכרטיסי האשראי. כיום, אי אפשר לדמיין את חיינו ללא האמצעים הטכנולוגיים אשר פעולתם מבוססת על קיום המגנט: רמקולים ומיקרופונים, מנועים חשמליים וגנרטורים, מקלטי טלוויזיה ומסכי מחשבים, ועוד.

פעילות 1 לתלמיד (הרחבה) כיצד ניתן לייצר מגנט בהשפעת המגנטיות של כדור הארץ?

בפעילות זו נייצר מגנט באמצעות אטב משרדי ונחקור את תכונותיו בעזרת מצפן.

ציוד וחומרים

- אטב משרדי גדול

- מצפן

חלק א: מייצרים מגנט

הערה: הרחיקו מסביבת המצפן מכשירים חשמליים או חפצים עשויים ברזל, זאת במטרה שהמצפן לא יושפע מהם ויראה בצורה נכונה את הכיוון צפון-דרום המגנטי של כדור הארץ.

1. קחו אטב משרדי גדול ובדקו בעזרת המצפן שהוא לא ממוגנט.
2. האטב הוא תיל מכופף. ישרו את האטב כך שתקבלו תיל באורך כ-16 ס"מ. (על התיל ייווצרו בליטות קטנות שנוצרו במהלך הכיפוף של האטב, התעלמו מהם).
3. החזיקו בקצה אחד של התיל (נסתר על ידי האוחזת) והקישו בו על שולחן כך שכיוונו בכיוון של צפון-דרום מגנטי שהמצפן מורה.
4. קרבו את הקצה הגלוי של התיל למחט הצפונית של המצפן. (בדרך כלל צבועה בצבע אדום)
 - א. בדקו - האם יש תזוזה של מחט המצפן לאחר שקירבתם אליו את התיל שהקשתם בו?
 - ב. קרבו את הקצה השני לקצה המחט הצפונית של המצפן. תארו כיצד המצפן מגיב.
 - ג. לאור התוצאות, כיצד הייתם מסמנים את הקטבים של חוט התיל?
 - ד. בדקו מה קורה לגודל הסטייה של מחט המצפן אם ממשיכים להקיש בתיל בכיוון צפון-דרום.
 - ה. מה ניתן להסיק מפעילות זו?
5. רועי טוען שהקשה **בכל כיוון** תמגנט את התיל. שירה טוענת שחייבים להקיש בכיוון צפון-דרום מגנטי. מה דעתכם? כיצד תבדקו זאת?
 - קחו אטב גדול לא ממוגנט, ישרו אותו לצורת תיל והקישו בו כמה שיותר בכיוון ניצב לכיוון המצפן (כיוון מזרח-מערב בערך). קרבו את קצה התיל לקצה המחט הצפונית של המצפן. תארו מה קרה.
 - מי צודק: רועי או שירה? נמקו את תשובתכם תוך כדי התייחסות לממצאי הניסוי שערכתם.

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

חלק ב: האם אפשר להפוך את קוטביות המגנט?

1. אחזו את התיל הממוגנט בקצה שהיה חופשי בפעילות הקודמת (הוא הופך להיות קצה מוסתר) ובדקו כיצד משפיע הקצה השני של התיל על גודל הסטייה של מחט המצפן.
2. כעת הקישו בו על השולחן בכיוון צפון-דרום מגנטי.
3. קרבו את הקצה החופשי למחט של המצפן באותו מרחק כמו קודם.
 - א. תארו כיצד השפיעו ההקשות על סטיית מחט המצפן.
 - ב. המשיכו עם ההקשות (אפשר בכוח ובזמן ממושך), הגיעו לשלב שבו הקצה דוחה את מחט המצפן במקום למשוך אותו. הסבירו את התהליך.

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

פעילות 2 לתלמיד(הרחבה) בונים מצפן ומכירים את תכונותיו

חלק א: מצפן רטוב

1. קחו אטב קטן, אחזו בקצה אחד ו"לטפו" אותו בעזרת מגנט קבוע במגע באחד הקטבים שלו, לאורך ולכיוון הקצה החופשי בלבד. חשוב להדגיש "הליטוף" נעשה בכיוון אחד בלבד: כלומר יש לעשותו בצורה מעגלית כאשר המגע בין המגנט לתיל נעשה בכיוון אחד בלבד. (מתברר שנקישה קלה עם הקוטב של המגנט הקבוע על הקצה החופשי, מספיקה למגנט את האטב, אבל "הליטוף" "דרמטי" יותר).
 2. קרבו את הקוטב "המלוטף" אל המחט של המצפן וזהו את קוטבו של המגנט הקבוע.
 3. קרבו את הקצה החופשי של האטב לקצה הצפוני של מחט המצפן וזהו את סוג הקוטב המגנטי שלו.
 4. מה הקשר בין הקוטב של הקצה החופשי לבין קוטב המגנט הקבוע המלטף?
 5. סמנו בעזרת טוש את הקוטב של האטב שזיהיתם.
 6. הניחו בעדינות נייר טישו על פני המים שבמקל והניחו עליו את האטב בלי לכוון אותו לכיוון מסוים. במשך הזמן ישקע נייר הטישו לתחתית המכל ושאייר את האטב צף על פני המים (אפשר לזרז את שקיעת הטישו על ידי דחיפה עם עיפרון). אם חסר לכם נייר טישו, אפשר גם להניח את האטב בצורה אופקית, אבל בזהירות רבה, אחרת האטב ישקע.
 - א. לאיזה כוון מסתדר האטב? השוו עם כיווני המצפן.
 - ב. האם התוצאה מסתדרת עם הזיהוי הקודם?
 - ג. תנו את דעתכם לשמות שניתנו לקטבים של המגנט.הערה: העובדה שהאטב צף על פני המים (אף על פי שצפיפותו גדולה בערך פי שמונה מצפיפותם של המים), מראה שעל האטב פועלים כוחות המאזנים את השפעתו של כוח הכבידה. הכוחות האלו הם תוצאה של מתח הפנים בין המים לבין האטב.
- ד. לאור הכיוונים של המצפן – היכן לדעתכם, נמצא הקוטב המגנטי הצפוני של כדור הארץ: בקוטב הצפוני הגיאוגרפי או בקוטב הדרומי הגיאוגרפי שלו? נמקו את בחירתכם.



איור 1: (צילום: ד"ר שלמה פישר)
אטב ממוגנט תלוי ולידו מצפן רגיל
(שימו לב לדמיון עם הוורסריום
המקורי שביחידת
האלקטרוסטטיקה, מתקן זה
בהחלט יכול לשמש בתפקיד זה)

חלק ב: מצפן יבש

1. קחו אטב גדול וסמנו את אמצעו בטוש.
2. חתכו חוט כותנה, ספגו קצה אחד עם דבק פלסטי לבן (לא רעיל) ולפפו את החוט באמצע אחת הדפנות של האטב (ראו איור 1). תנו לדבק להתייבש. האטב עכשיו יכול להסתובב חופשי סביב ציר אנכי, כך ששני הקצוות העגולים מהווים ציר אופקי.
3. מגנטו קצה עגול אחד על ידי נקישה עם מגנט קבוע ותלו את הקצה השני של החוט על מעמד. (ראו איור 1)
4. זהו את הקטבים על ידי קירוב של מחט המצפן לקצה העגול של האטב התלוי.

משרד החינוך
המינהל למדע וטכנולוגיה
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

ענו על השאלות:

- א. מהו הכיוון שלפיו מסתדר האטב בסופו של דבר? השוו עם כיוונים שעליהם מצביע המצפן.
- ב. האם התוצאה מתיישבת עם הזיהוי הקודם?
- ג. נקשו על הקוטב הצפוני של האטב בעזרת הקוטב הצפוני של מגנט קבוע:
- כיצד האטב המגנטי הגיב? (תנו זמן למצפן להירגע)
 - הסבירו את התופעה.
 -

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

פעילות 3 לתלמיד(ה)רחבה) מה מיוחד בקטבים של מגנט?

חלק א: ניסוי עם מצפן

1. ישרו אטב לצורה של תיל ארוך. מגנטו אותו על ידי "ליטוף" חד כיווני במגנט קבוע (ראו פעילות קודמת).
2. העבירו את החוט במקביל למחט המצפן בתנועה איטית. שימו לב מה קורה לסטייה של המצפן.
 - א. ציינו מתי קיבלתם סטייה מרבית של המצפן ומתי מזערית.
 - ב. מה ניתן להסיק מהפעילות על הקטבים של המגנט? ועל אמצע המגנט?

איור 2 (איורים 2-4 צילם: ד"ר שלמה פישר)

משיכת אטבים (לאחר הפרדה)
על ידי הקטבים המגנטיים



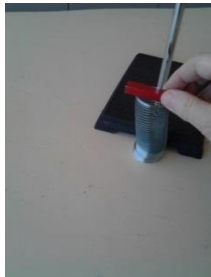
חלק ב: לאיזה חלק של המגנט נמשכים אטבי נייר?

מלאו קערה באטבי נייר, הניחו את המגנט בתוכה ומשכו את המגנט החוצה.
ציינו לאיזה חלק של המגנט נמשכו רוב האטבים.
הערה: יש לאפשר הפרדה בין האטבים שנמשכים זה לזה (ראו איור 2).

חלק ג: ניסוי עם קפיץ סלינקי

משכו כלפי מעלה, במהירות קבועה ככל הניתן, קפיץ "סלינקי" מברזל. (אם המשיכה תיעשה בהאצה, המגנט יתנתק מהקפיץ מוקדם מדי). פעם אחת עשו זאת על ידי אחד מהקטבים של המגנט הקבוע (איור 3) ופעם אחרת - על ידי האמצע של המגנט (איור 4).

תארו מה קרה?



איור 4

סלינקי מורם על ידי
אמצע המגנט רגע לפני
שהסלינקי מתנתק



איור 3

סלינקי מורם על ידי
קוטב (הקוטב השני
ימשוך באותו עוצמה)

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

פעילות 4 לתלמיד (הרחבה)
האם אפשר להחליש את עוצמתו של מגנט?

1. קחו את המגנט הקבוע, קרבו את אחד מהקטבים של המגנט למחט הצפונית של מצפן עד שתקבלו סטייה ניכרת.

2. הוסיפו על קוטב המגנט אטבים לא ממוגנטים (ראו איור 5).
א. תארו מה קורה לסטיית המצפן.

ב. השפעת סיכוך האטבים – הסטייה של המצפן ירדה בחצי

איור 5 (א. ו-ב.)
א. קוטב צפוני גורם לסטייה מהצפון של כ-90 מעלות.



ב. לאור הקשר בין קוטב המגנט לבין קוטב האטבים, כיצד תסבירו את התופעה?

3. הוסיפו חומר כלשהוא שלא מתמגנט במקום להוסיף חומר מברזל. תארו את השפעת הוספת החומר על הסטייה של מחט המצפן.

4. נסו לשים חומרים שונים (ספר לימוד גם בא בחשבון) על המגנט ובין המגנט והמצפן. תארו מה מתרחש. מה ניתן להסיק?
איורים 5 (א. ו-ב.) צילם: ד"ר שלמה פישר

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

**פעילות 5 לתלמיד (הרחבה)
האם אפשר להפריד קטבים מגנטיים?**

הקדמה: לפי תיאוריה פיזיקלית שנקראת "תורת הקוונטים" חייב להתקיים חלקיק עם קוטב בודד הנקרא "מונופול".

הפעילות הבאה תאפשר לכם לצוד אחרי המונופול - עושר ופרסום רב מחכה לאלו שיצליחו.

1. ישרו אטב גדול ומגנטו אותו כמו בפעילויות הקודמות (על ידי ליטוף או נגיעה).

2. זהו את הקוטב המגנטי הצפוני והדרומי בעזרת המצפן.

3. חתכו את החוט המגנטי באמצע לשניים בעזרת קטר.

4. בדקו שוב את הקטבים, הפעם של כל אחד מהחלקים.

הערה: יש להיזהר בזמן החיתוך לא להעיף את התיל למקום שמסכן את התלמידים.

א. תארו מה קרה למגנטיות של הקצה שמקודם היה באמצע של כל אחד משני התילים.

ב. חתכו שוב את החוט ובדקו את הקטבים של הקצוות החתוכים.

ג. מה גיליתם על התכונה המיוחדת של המגנט?

ד. האם אפשר לבודד קטבים?

אם אתם מתעקשים, אתם מוזמנים להמשיך את פעילות החילוק של המגנט. אולי בכל זאת תגלו את המונופול?

אילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

פעילות 6 לתלמיד(הרחבה) איך הופכים מגנט לברזל?

חלק א: נטרול על ידי הלם מכני

1. קחו אטב גדול ומגנטו אותו על ידי נקישה עם הקוטב של מגנט קבוע. תוכלו למדוד את עוצמתו על ידי קירוב אחד מקטביו למחט המצפן ומדידת סטייתתה מהצפון.
2. זרקו את האטב הממוגנט בחוזקה, לכיוון אקראי, על השולחן.
3. מדדו שוב את עוצמתו המגנטית של האטב לפי סטיית מחט המצפן.
מה קרה לעוצמתו? הסבירו.
4. המשיכו להפיל את האטב הממוגנט עד שהמצפן בקושי מגיב. האם הצלחתם?

חלק ב: נטרול על ידי חימום

1. מגנטו אטב קטן על ידי נקישה עם הקוטב של מגנט קבוע ובדקו את עוצמתו בשיטה שתוארה למעלה.
2. החזיקו את האטב עם חומר מבודד חום (למשל, אטב עץ גדול), תנו למורה להדליק נר וחממו את האטב הממוגנט מעל להבת הנר.
3. בדקו את עוצמתה של ההשפעה המגנטית של האטב שוב (לאחר שהתקרר).
 - א. מה קרה לעוצמתו המגנטית של האטב?
 - ב. המשיכו לחמם את האטב עד המצפן יפסיק להגיב עליו.
האם הצלחתם להסיר את המגנטיות מהאטב?

איילו תכונות של המגנט למדתם בפעילות זו?

יישום טכנולוגי

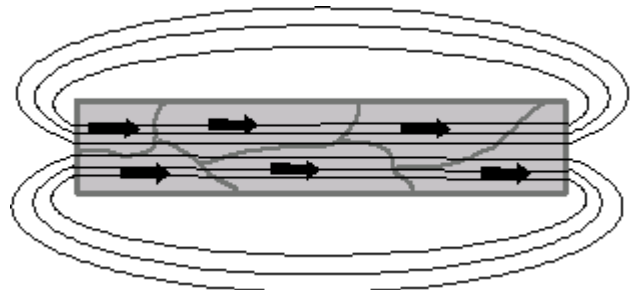
אחסון מידע בדיסק קשיח של מחשב ושיטות אחסון מידע נוספות מבוססות על יכולת השליטה במגנט ברזל בשני הכוונים, כלומר - קיימת אפשרות ליצור תנאים שבהם ייקבע כיוון מסוים של קטבים מגנטיים וגם אפשרות למחוק מידע. המחיקה והמגנט מתבצעים בטכנולוגיה מתקדמת יותר מזו שהוצגה כאן. היכולת לאחסן כמויות אדירות של מידע נובעת ממזעור האזור שאפשר למגנט ולמחוק. לפי הדיווחים האחרונים, גודל האזור המגנטי מגיע לגודל של מולקולה בודדת. לאזורים המגנטיים קוראים **תחומים מגנטיים**, ועל כך נלמד בהמשך.

פעילות 7 לתלמיד (הרחבה) תחומים מגנטיים

1. היכנסו לקישור הבא בנושא תחומים מגנטיים. (שימו לב להפעלת ההדמיה נדרשת תוכנת java)
2. לפניכם מודל של המבנה הפנימי של ברזל שעשוי ממגנטים זעירים שלא ניתן לראות בעין, אלא רק בעזרת מיקרוסקופ. כל חץ מראה את הקוטב הצפוני של התחום.
3. בצעו הדמיה קצרה בנושא.



א. ברזל לא ממוגנט



ב. ברזל לאחר המגנט (גודל התחומים לא בקנה מידה לצורך הדגמה)

איור 6 (א ו-ב) מקור התמונה: MAGNET LAB

4. לאחר ביצוע הפעילות ענו על השאלות הבאות:
 - א. מה מאפיין ברזל לא ממוגנט?
 - ב. מדוע למרות הקיום של תחומים מגנטיים, הברזל לא מתנהג בדרך כלל כמגנט?
 - ג. כשמעבירים את המגנט על הברזל, מה קורה לתחומים המגנטיים של הברזל? הסבירו כיצד זה קורה.
 - ד. התייחסו אל הפעילויות שהכרנו בפרק המרוכזות בטבלה הבאה, והסבירו את התופעה לפי מודל התחומים המגנטיים.
 - ה. הסבירו את התופעות שביצעתם בפעילות קודמת באמצעות מודל התחומים המגנטיים.

משרד החינוך
 המינהל למדע וטכנולוגיה
 הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

**פעילות מסכמת לתלמיד
 תכונות המגנט והסברן על פי מודל התחומים המגנטיים**

מספר הפעילות	שם הפעילות	התופעה	הסבר התופעה לפי מודל התחומים המגנטיים
1. כיצד ניתן לייצר מגנט בהשפעת המגנטיות של כדור הארץ?	חלק א: מייצרים מגנט		
	חלק ב: האם אפשר להפוך את קוטביות המגנט?		
2. בונים מצפן ומכירים את תכונותיו	חלק א: מצפן רטוב		
	חלק ב: מצפן יבש		
3. מה מיוחד בקטבים של מגנט?	חלק א: ניסוי עם מצפן		
	חלק ב: לאיזה חלק של המגנט נמשכים אטבי נייר?		
	חלק ג: ניסוי עם סליל קפיץ סלינקי		
4. האם אפשר להחליש עוצמתו של מגנט?			
5. האם אפשר להפריד קטבים מגנטיים?			
6. איך הופכים מגנט לברזל?	חלק א: נטרול על ידי הלם מכני		
	חלק ב: נטרול על ידי חימום		
7. תחומים מגנטיים			

שאלות לתלמיד

- 1) ציינו לפחות שתי תכונות **זהות** של פעולה הדדית בין קטבים מגנטיים ושל פעולה הדדית בין מטענים חשמליים.
- 2) ציינו לפחות שתי תכונות **שונות** של פעולה הדדית בין קטבים מגנטיים ושל פעולה הדדית בין מטענים חשמליים.
- 3) התופעה שבה גוף טעון חשמלית מושך אליו גוף ניטרלי, נקראת בשם "השראה אלקטרוסטטית". האם לדעתכם "השראה מגנטית" הוא שם מתאים לתופעה של משיכת ברזל על ידי מגנט?
- 4) ציינו שתי סיבות לכך שליבת הברזל הנוזלי של כדור הארץ אינה יכולה להיות מגנט קבוע.
- 5) האם אפשר להפוך את הקטבים של מצפן, ובכך לגרום לטעות בניווט דרך? הסבירו מדוע.
- 6) השוו בין כוח המשיכה הכבידתית לבין כוח המשיכה של מגנט. ציינו לפחות דמיון אחד והבדל אחד.
- 7) האם הרעיון שהשמש וכדור הארץ מושכים זה את זה על ידי כוח מגנטי, הוא רעיון מופרך מיסודו? הסבירו את תשובתכם.
- 8) בימי הביניים שימש המצפן כמכשיר לניווט בעיקר בקרב יורדי ים. כיום משתמשים לניווט ב-GPS. השוו בין שני המכשירים. התייחסו בהשוואה לעקרון הפעולה.
- 9) **שאלת אתגר**: היום אפשר להתבונן בתחומים מגנטיים באמצעות מיקרוסקופים מיוחדים. אולם, בזמן שהציעו את המודל הסתמכו על התכונות של המגנט בלבד. האם ידוע לכם על מקרים נוספים שבהם מודל נבנה על תכונות הגוף בלבד ללא ידיעה על המבנה המיקרוסקופי?