

מגמה הנדסה יישומית

מודולה 1 כיתה י'

חוברת למורה בנושא: חוקי ניוטון ואופטיקה

15 שעות

מחברים:

אור שב-ארצה

ד"ר רועי פרץ

עורכת:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי

ייעוץ מדעי ופדגוגי:

ד"ר משה גרינהולץ

מפמ"ר המגמה:

שלומי אחנין

סמל מגמה: 1150

עדכון: אוגוסט 2025

כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק

הפרויקט מבוצע על ידי מוסד הטכניון עפ"י מכרז 22/11.2020

הפרויקט מבוצע עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

החוברת יצאה לאור במימון האגף למדעים במזכירות הפדגוגית ומינהלת מל"מ המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

תוכן עניינים

- מבוא 1
- מכניקה 1
1. שלושת חוקי ניוטון (Newton's Three Laws) 1
2. תנועה קווית – מהירות, תאוצה וגרפים 3
3. כוחות חיכוך (Static & Kinetic Friction) 5
4. חוק שימור האנרגיה E (Conservation of Energy) 7
5. כוח כבידה – משקל מול מסה 8
- אופטיקה 11
1. תכונות יסוד של האור 11
2. עדשות ובבואות 12

מבוא

מסמך זה מיועד למורה תלמידי כיתה י' במגמת הנדסה יישומית, מטרתו לנסות לסכם בצורה פשוטה וממוקדת את הנושאים הבסיסיים בפיזיקה הנדרשים במגמה הנדסת יישומית. תמצאו כאן הסברים פשוטים וברורים ככל האפשר, דוגמאות מאוירות, קישורים לסרטונים להמחשה וסוגים שונים של שאלות תרגול בכל נושא. מטרת דוגמאות אלו לעזור לכם להעמיק את ההבנה של הנושאים הפיזיקליים ולקשר אותם למציאות היומיומית של תלמידכם. יודגש שהחוברת מכילה רק רעיונות מרכזיים לסוג רמת ההבנה הנדרשת, ולעודד אותכם המורים ליצור שאלות דומות ואף טובות יותר בהתאמה לתלמידכם. חוברת זו מכילה תשובות לשאלות בחוברת המקבילה לתלמידים, ומשלימה לידע הנמסר בהשתלמות.

מכניקה

הרמה הנדרשת ככל מתלמידי המגמה היא להכיר את שלושת חוקי ניוטון במובנם התאורטי בלבד, ואין צורך בהכרח ללמד או להתנסות בחישובים מורכבים (אם כי הנ"ל מומלץ בחום עבור התלמידים החזקים כהעשרה נוספת). ישנם מספר דרכים ללמד את חוקי ניוטון המהווים את הבסיס למכניקה, ובחרת זאת נספק רק את המידע הטכני הרלוונטי למגמה היישומית. לפי ספרי פיזיקה רבים, נהוג ללמד את התלמידים תחילה למשל מהם ההבדלים בין "מסה" לבין "משקל" ולאחריו ללמד את חוק שלישי של ניוטון, חוק שני, ורק אז את החוק הראשון של ניוטון (המהווה לאלו ממכם שמנסים, מקרה פרטי לחוק השני), אולם חוברת זו תפקידה לספק עבורכם את הידע הנדרש, ומעניקה לכם המורים יד חופשית, ללימוד הנושא אין בחוברת זו המלצה כיצד ללמד (אם כי ניתן לאמץ את ההמלצה שנתנו לעיל), אלא עידודכם להיעזר בכמה שיותר דוגמאות מוחשיים והצגת הנושאים הנדרשים.

1. שלושת חוקי ניוטון (Newton's Three Laws)

חוק ראשון – חוק ההתמדה: גוף שנמצא במנוחה יישאר במנוחה, וגוף שנע ימשיך לנוע במהירות קבועה ובקו ישר, כל עוד לא פועל עליו כוח חיצוני שיגרום לו לשנות את מצב תנועתו. במילים אחרות, ללא כוח חיצוני השקול שונה מאפס, אין שינוי בתנועה (אין תאוצה). זהו עקרון ההתמדה – נטיית הגופים להתמיד במצבם. דוגמה יומיומית: כאשר אוטובוס בולם פתאום, הנוסעים "נזרקים" קדימה – כי גופם מתמיד לנוע קדימה (לכן חגורת בטיחות חשובה!).

דוגמה יומיומית: כאשר אוטובוס בולם פתאום, הנוסעים "נזרקים" קדימה - כי גופם מתמיד לנוע קדימה (לכן חגורת בטיחות חשובה!). דוגמה נוספת: כאשר אתם יושבים במכונית הפונה פתאום ימינה, גופכם "נזרק" שמאלה - זה לא כוח אמיתי אלא נטיית גופכם להמשיך לנוע בקו ישר. מומלץ לחפש ב-YOUTUBE: Understanding Car Crashes- Newton's First Law

חוק שני – חוק התאוצה: החוק השני קובע קשר כמותי בין כוח, מסה ותאוצה. הנוסחה לפי ניוטון היא: $F = m \cdot a$ (כוח = מסה כפול תאוצה). הכוח השקול (F) הפועל על גוף קובע את

תאוצת הגוף (a) בכיוונו, וככל שהמסה (m) גדולה יותר – תאוצת הגוף עבור אותו כוח תהיה קטנה יותר (מכיוון ש: $a = \frac{F}{m}$, מה שאומר ששכל שערך m גדל, כך ערך a קטן).

 **למורה: לפני לימוד חוק זה, יש ללמד את התלמידים מהי מסה ומהי תאוצה.**

יחידות המדידה: מסה בקילוגרם (ק"ג), תאוצה במטר לשנייה בריבוע (m/s^2), וכוח בניוטון (N). **לדוגמה:** אם מפעילים כוח של 10 ניוטון על עגלה מסה 2 ק"ג, תאוצת העגלה תהיה $5m/s^2$ ($10/2 = 5$). נסו לדמיין: קל יותר להזיז עגלת קניות ריקה מאשר מלאה. אותו כוח שתפעילו ייתן תאוצה גדולה יותר לעגלה הריקה (מסה קטנה) ותאוצה קטנה יותר לעגלה המלאה (מסה גדולה).

חוק שלישי – חוק הפעולה והתגובה: בכל אינטראקציה בין שני גופים, כאשר גוף א' מפעיל כוח על גוף ב' – גוף ב' מפעיל על גוף א' כוח שווה בגודלו והפוך בכיוונו: "לכל פעולה יש תגובה שווה והפוכה". חשוב לציין שהכוחות הללו פועלים על גופים שונים ולכן אינם מבטלים זה את זה. למשל, כאשר אתם דוחפים קיר – אתם מפעילים עליו כוח, אך גם הקיר "דוחף" אתכם בחזרה בכוח שווה והפוך (לכן אתם עשויים להידחף לאחור). דוגמה נוספת: רתע של רובה – כאשר הקליע נורה קדימה, הרובה נדחף לאחור בכוח שווה.

שאלות לתרגול – חוקי ניוטון:

1. תלמיד עומד באוטובוס ללא חגורה. כשהאוטובוס בולם פתאום, התלמיד עף קדימה. איזה מחוקי ניוטון מתאר את התופעה?

א. החוק הראשון (התמדה)

ב. החוק השני (כוח ותאוצה)

ג. החוק השלישי (פעולה ותגובה)

ד. אף אחד – זוהי תופעה שאינה קשורה לחוקי ניוטון.

 **למורה: יש להדגיש את נטיית הגוף להמשיך במצב תנועה ללא הפעלת כוח – עקרון ההתמדה.**

2. השלימו את המשפט: לפי החוק השני של ניוטון, כאשר סכום הכוחות על גוף שונה מאפס, הגוף יקבל תאוצה.

 **למורה: יש להמחיש באמצעות גרפים או ניסויים פשוטים (עגלה ודינמומטר)**

3. תרגיל חישוב: על גוף שמסתו 5 ק"ג פועל כוח נטו קדימה של 20N. חשבו את תאוצת הגוף. ציינו יחידות. **פתרון:** $a = F/m = 20/5 = 4 m/s^2$

 **למורה: הדגישו את נוסחת $F = m \cdot a$ והסבירו יחידות.**

4. בהסתמך על החוק השלישי של ניוטון, הסבירו מדוע סירת משוט זזה אחורה כאשר חותר דוחף את המשוטים במים קדימה. מהו "כוח הפעולה" ומהו "כוח התגובה" בדוגמה זו? **תשובה: כאשר החותר דוחף את המים לאחור (כוח פעולה), המים דוחפים את הסירה קדימה (כוח תגובה).**

🏠👤 **למורה: מומלץ להדגים עם תלמידים בכיתה או בעזרת סרטון אנימציה.**

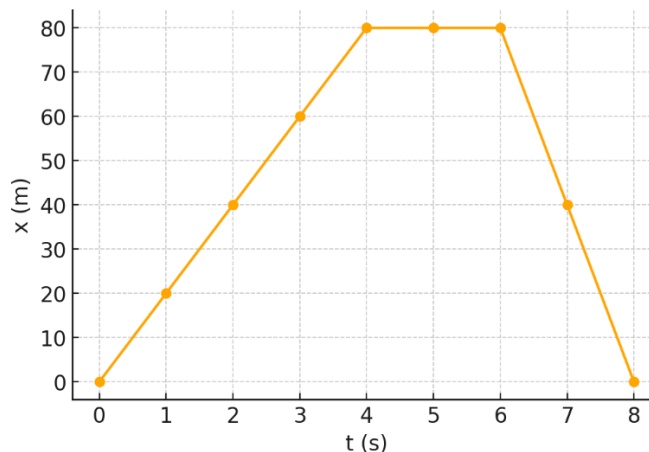
2. תנועה קווית – מהירות, תאוצה וגרפים

מהירות קווית (v): מהירות היא קצב שינוי המקום (מרחק) ביחס לזמן. מהירות ממוצעת מחושבת כנוסחה $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ כלומר שינוי מרחק חלקי שינוי בזמן. יחידת מהירות במערכת SI היא מטר לשנייה (m/s). דוגמה: מכונית שעברה 100 מטר ב-5 שניות – מהירותה הממוצעת 20 מטר לשנייה (שקול ל-72 קמ"ש). מהירות רגעית מציינת את המהירות בנקודת זמן מסוימת.

תאוצה (a): תאוצה היא קצב שינוי מהירות הגוף הנע ביחס לזמן כלומר, $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. תאוצה חיובית פירושה שהמהירות גדלה (הגוף מואץ), תאוצה שלילית (לעיתים "האטה" או האצה בכיוון הנגדי) פירושה מהירות יורדת. יחידת תאוצה היא m/s^2 . למשל, אם רוכב אופניים מגביר את מהירותו מ-0 ל-10 m/s תוך 5 שניות, התאוצה שלו היא $2m/s^2$.

גרפים של תנועה קווית: לרוב מתארים תנועה באמצעות גרף מקום-זמן וגרף מהירות-זמן. בגרף מרחק-זמן, הזמן (t) מסומן בציר האופקי והמרחק (x) בציר האנכי. שיפוע הקו בגרף זה מייצג מהירות: שיפוע תלול יותר = מהירות גבוהה יותר. קו אופקי (שיפוע אפס) מציין שהגוף במנוחה (אין שינוי במרחק). קו ישר משופע מציין מהירות קבועה. קו שמתעקם (שינוי בשיפוע) מציין תאוצה – מהירות שמשתנה עם הזמן. בגרף מהירות-זמן, שיפוע הקו מייצג תאוצה, והשטח מתחת לקו מייצג את המרחק שעבר הגוף.

דוגמה לגרף מקום-זמן: הגוף מתחיל מנקודת המוצא (0,0), נוסע בקו ישר במהירות קבועה – הגרף עולה בקו ישר. באמצע הדרך הוא עוצר (הגרף נעשה אופקי – מרחק קבוע בזמן), ואז חוזר חזרה לנקודת ההתחלה – הגרף יורד חזרה לכיוון הציר האופקי. שיפוע הגרף מייצג את מהירות התנועה בכל מקטע (איור 1).



איור 1. גרף מקום-זמן.

שאלות לתרגול – תנועה קווית:

1. לפניכם תיאור תנועת רוכב אופניים: בתחילה הוא מאיץ מ-0 ל-5 m/s, נוסע במהירות קבועה לזמן מה, ואז בולם בהדרגה עד עצירה. שרטטו באופן איכותי את הגרף המתאים.

🏠👤 הנחו את התלמידים לזהות חלקים ישרים (מהירות קבועה) ומעוקלים (תאוצה או האטה) בגרף.

2. מהי הנוסחה לחישוב תאוצה קווית במילים?
 תאוצה = שינוי במהירות חלקי המרחק.

🏠👤 יש לעבור עם התלמידים על מהות המושג "תאוצה" והקשר בין תאוצה למהירות.

3. מכונית נוסעת במשך 10 שניות בתאוצה קבועה של 2 m/s^2 , כשהמהירות ההתחלתית שלה הייתה 4 m/s .

א. מהי מהירותה הסופית לאחר 10 השניות?

$$v = v_0 + a \cdot t = 4 + 2 \cdot 10 = 24 \text{ m/s}$$

ב. בכמה גדלה מהירותה? $24 - 4 = 20\text{ m/s}$

🏠👤 הראו פתרון מפורט על הלוח, תוך הדגשת היחידות.

4. בהתייחס לגרף מקום-זמן של תנועת גוף (איור 1), הסבירו מה ניתן ללמוד מהשיפוע של הגרף בנקודה מסוימת, ומה ניתן ללמוד מהצורה (קו ישר, מתעקל וכו') של הגרף. שיפוע הגרף מצביע על מהירות. קו ישר מראה כי המהירות היא 0.

🏠👤 הסבירו כי גרף תלול = מהירות גבוהה, גרף אופקי = עצירה.

3. כוחות חיכוך (Static & Kinetic Friction)

חיכוך הוא כוח המתנגד לתנועה היחסית בין שני משטחים הנמצאים במגע. כוח החיכוך פועל תמיד בכיוון הפוך לכיוון התנועה הממשית או הפוטנציאלית של הגוף, ובמקביל לפני המגע בין הגופים.

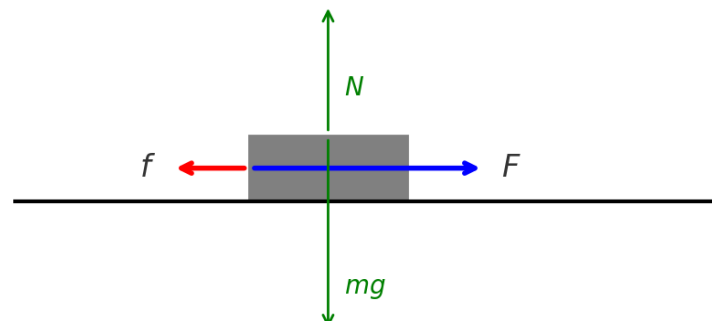
ישנם שני סוגי חיכוך עיקריים: חיכוך סטטי וחיכוך קינטי.

חיכוך סטטי: זהו כוח החיכוך כשעוד אין תנועה – המשטחים "נדבקים" זה לזה במנוחה. החיכוך הסטטי מונע התחלת תנועה; ערכו יכול להשתנות בהתאם לכוח המופעל, עד גבול מסוים. למעשה, החיכוך הסטטי מתגבר באופן מתואם עם הכוח החיצוני שמנסה להזיז את הגוף, עד לסף מקסימלי. כאשר מפעילים על גוף כוח הולך וגדל והוא עדיין לא זז – סימן שהחיכוך הסטטי "מחזיק" אותו במקום, בכוח השווה לכוח שהפעלנו (והפוך בכיוון). ברגע שהכוח המושך יעלה על החיכוך הסטטי המרבי שהמשטח יכול לספק – הגוף יתחיל להחליק.

חיכוך קינטי (החלקה): זהו כוח החיכוך הפועל בין גופים שכן מחליקים זה על זה. ברגע שהתנועה החלה והגופים מחליקים, החיכוך הוא קינטי. לרוב, גודל כוח החיכוך הקינטי קטן מעט מהחיכוך הסטטי המקסימלי – לכן קל יותר להמשיך תנועה של גוף כבד לאחר שהחל להחליק, מאשר להתחיל להזיזו ממנוחה.

כוח החיכוך הקינטי קבוע פחות או יותר עבור תנאי משטח נתונים, והוא תלוי בסוג המשטחים ובכוח הלחץ ביניהם (הכוח הנורמלי). כיוון כוח החיכוך הקינטי, כמו תמיד, מנוגד לכיוון ההחלקה. החיכוך (בשני סוגיו) נובע מאינטראקציות בין חספוס המשטחים: בליטות ושקעים זעירים נתקעים זה בזה. בחיכוך סטטי יש מספיק זמן למשטחים "להינעל", מה שמאפשר כוח חיכוך גדול עד נקודה מסוימת.

בחיכוך קינטי, בשל התנועה, המשטחים מחליקים והחיכוך מעט קטן יותר וגם גורם לשחיקה וחום. במשוואות נהוג לתאר את החיכוך באמצעות מקדם חיכוך μ (מז). מקדם החיכוך הסטטי מסומן μ_s וקינטי μ_k . כוח החיכוך הסטטי המקסימלי הוא $F_{\max} = \mu_s \cdot N$, וכוח החיכוך הקינטי (הערך הקבוע בעת תנועה) הוא $F_k = \mu_k \cdot N$. כאן N הוא הכוח הנורמלי (הלחץ שהמשטח מפעיל על הגוף). למשל, אם $\mu_k = 0.3$ ו- $N = 100$, אז $F_k = 30\text{N}$. איור 2



5

איור 2. תרשים כוחות על גוף הנמשך לימין על משטח: כוח המשיכה F (כחול) מופעל לימין, וכוח החיכוך f (אדום) פועל שמאלה מתנגד לתנועה (ניתן לצייר כוח החיכוך קרוב יותר למשטח, על מנת לסייע לתלמידים להבין כי זה נובע מהמשטח או כמו באיור המתואר חץ בניגוד לתנועה ממרכז הגוף), הכוח הנורמלי N (ירוק, כלפי מעלה) שווה למשקל mg (ירוק, כלפי מטה) אם המשטח אופקי. בחיכוך סטטי, f יכול להשתנות עד $f_{max} = \mu_s \cdot N$. בחיכוך קינטי, $f_k = \mu_k N$ קבוע וקטן יותר.

שאלות לתרגול – חיכוך:

- מה מבין המשפטים הבאים נכון תמיד?
א. חיכוך סטטי חל רק כאשר הגוף נע.
ב. חיכוך קינטי גדול מחיכוך סטטי מקסימלי.
ג. כוח החיכוך פועל בכיוון הנגדי לתנועת הגוף או לתנועתו הפוטנציאלית.
ד. מקדם החיכוך הקינטי תמיד שווה למקדם החיכוך הסטטי.
-  חשוב להבהיר שחיכוך סטטי פועל גם כאשר הגוף לא נע, וזו טעות נפוצה אצל תלמידים. הדגישו באמצעות דוגמה כמו ניסיון לדחוף שולחן – מרגישים התנגדות למרות שהוא עדיין לא זז.
2. השלמת משפט: כוח החיכוך הסטטי יגדל בהדרגה בהתאם לכוח החיצוני המופעל, עד שהגוף יתחיל לנוע. ברגע שהגוף מתחיל לנוע, החיכוך הסטטי מתחלף בחיכוך קינטי (איזה סוג חיכוך?).
-  טיפ ללימוד: הדגישו באמצעות מדידת כוח עם דינמומטר (מד כח) – איך החיכוך הסטטי "עולה" עד לערך מקסימלי, ואז מתחלף בקינטי.
3. ארגז עץ מונח על רצפה. מקדם החיכוך הסטטי בין הארגז לרצפה הוא 0.5, והמקדם הקינטי 0.3. משקלו של הארגז 200N.
א. מהו כוח החיכוך הסטטי המקסימלי הפועל על הארגז?
(פתרון: $F_{max} = \mu_s \cdot N = 0.5 \cdot 200 = 100N$).
ב. אדם דוחף את הארגז בכוח של 80N. האם הארגז יזוז?
(לא, כי $80 < 100$; החיכוך הסטטי יספק 80N נגדיים והוא יישאר במנוחה).
ג. אם האדם דוחף ב-120N, מהו כוח החיכוך בעת התנועה?
(פתרון: ברגע שהזז, $F_k = \mu_k \cdot N = 0.3 \cdot 200 = 60N$, הפועל כנגד התנועה).
 דגש חשוב: עזרו לתלמידים לבדוק קודם אם הגוף זז, ורק אם כן – לחשב את החיכוך הקינטי. הצעה להמחשה: בנו טבלה עם עמודות: "כוח דחיפה", " F " מקס סטטי, " F_k אם רלוונטי".
- הסבירו מדוע נעלי ספורט בעלות סוליה מחוספסת מונעות החלקה טוב יותר מנעליים בעלות סוליה חלקה. בתשובתכם, התייחסו למונחים: חיכוך סטטי, חיכוך קינטי,

ומקדם חיכוך.

סוליה מחוספסת מעלה את מקדם החיכוך הסטטי.

🏠👤 טיפ פדגוגי: בקשו מהתלמידים להביא נעליים שונות, ולהשוות החלקה על משטח שיפוע קל.

4. חוק שימור האנרגיה (Conservation of Energy) E

חוק שימור האנרגיה קובע שסך כל האנרגיה במערכת סגורה נשאר קבוע ואינו משתנה עם הזמן. אנרגיה לא "נוצרת" יש מאין ולא "נעלמת" – היא רק משנה צורה או עוברת מגוף אחד לאחר. אם נראה שאנרגיה "נעלמה" ממערכת, פירוש הדבר שהיא הוסבה לצורה אחרת (חום, קול וכדומה) או שעזבה את המערכת לגוף אחר. חוק זה הוא בסיסי ביותר בפיזיקה ומתקיים בכל התהליכים הידועים.

סוגי אנרגיה והתמרות: יש צורות רבות של אנרגיה: אנרגיה קינטית E_k (של תנועה), אנרגיה פוטנציאלית E_p (אגורה, למשל בשל מיקום או גובה), חום, אנרגיה חשמלית, כימית, גרעינית ועוד. בתהליכים פיזיקליים, אנרגיה יכולה לעבור בין סוגים. במערכת סגורה ללא איבודי חום (למשל בלי חיכוך), סכום האנרגיה המכאנית (קינטית + פוטנציאלית) נשמר. לדוגמה, כדור הנזרק מעלה: בתחילה יש לו אנרגיה קינטית גבוהה; ככל שהוא מטפס, הוא מאט – הקינטית יורדת ובמקביל עולה האנרגיה הפוטנציאלית (בגלל גובה). בשיא הגובה, כל האנרגיה הפכה לפוטנציאלית. כשהכדור נופל חזרה – הפוטנציאלית מומרת חזרה לקינטית והכדור מגביר מהירות. בהתעלם מהתנגדות אוויר, הכדור יפגע בקרקע במהירות זהה לזו ששוגרה (ואנרגיה קינטית זהה לזו בהתחלה) – סימן שהאנרגיה השתמרה.

שאלות לתרגול – שימור אנרגיה:

1. כדור מתכת מושלך כלפי מעלה ולאחר מכן נופל חזרה מטה (בהתעלם מחיכוך אוויר). מה ניתן לומר על האנרגיה המכאנית של הכדור במהלך התנועה?

א. האנרגיה המכאנית משתנה כל הזמן כי מהירותו וגובהו משתנים.

ב. האנרגיה המכאנית נשמרת – פוטנציאלית מומרת לקינטית ולהיפך, והסכום קבוע.

ג. בזמן העלייה האנרגיה גדלה, בזמן הירידה קטנה.

ד. אי אפשר לדעת ללא מידע מספרי.

🏠👤 הדגישו כי האנרגיה המכאנית היא סכום האנרגיה הקינטית (הקשורה למהירות) והאנרגיה הפוטנציאלית (הקשורה לגובה). כאשר הכדור עולה, האנרגיה הקינטית שלו הופכת לאנרגיה פוטנציאלית, וכאשר הוא נופל, האנרגיה הפוטנציאלית הופכת שוב לאנרגיה קינטית.

2. השלמת משפט: לפי חוק שימור האנרגיה, אנרגיה אינה נעלמת ואינה נוצרת, אלא רק משנה את צורתה.

7

הדגישו כי אנרגיה משנה צורה באופן תדיר, אך לעולם אינה נעלמת, או "הולכת לאיבוד".

3. נניח שעל גבעה בגובה 20 מ' עומד כדור שמסתו 2 ק"ג.

א. מהי האנרגיה הפוטנציאלית הכבידתית שלו ביחס לקרקע?

$$E = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9.8 \cdot 20 = 392 \text{ J}$$

ב. הכדור התגלגל מטה במורד הגבעה. מהי מהירותו בסוף הירידה? (בהנחה שכל האנרגיה הפוטנציאלית הפכה לקינטית)?

$$E_k = E_p \rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = 392 \rightarrow v \approx 19.8 \text{ m/s}$$

4. תנו דוגמה מתהליך יומיומי שבו אנרגיה הופכת מצורה אחת לאחרת תוך כדי שימור. תארו את סוגי האנרגיה בתחילת התהליך ובסופו.

לדוגמה: מנוע - אנרגיה כימית בדלק מומרת לאנרגיה קינטית של תנועה על ידי חלקים שונים במכונה (גל ארכובה, סרנים, וכו') ולאנרגיית חום הנפלט מן המנוע.

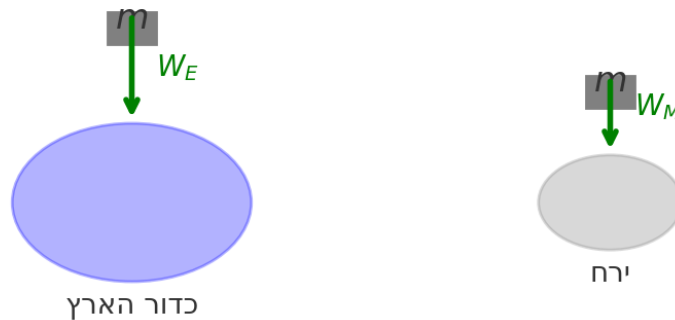
יש להדגיש את מגוון סוגי האנרגיה הנוצר בסוף התהליך ולא רק את סוג האנרגיה הנדרש לנו במערכות מהונדסות.

5. כוח כבידה – משקל מול מסה

מסה (Mass): מסה (m) היא כמות החומר בגוף. זוהי תכונה פנימית של הגוף שאינה תלויה במקום שבו הגוף נמצא. המסה נמדדת בקילוגרמים (ק"ג) והיא קשורה להתמד – ככל שהמסה גדולה יותר, קשה יותר להאיץ או להאט את הגוף (ראה חוק שני של ניוטון). לדוגמה, מסה של אבן תהיה זהה בין אם היא על כדור הארץ, על הירח או צפה בחלל. סימון מקובל למסה: m.

משקל (Weight): משקל (W) הוא הכוח שבו גוף נמשך על ידי כוח הכבידה. במילים פשוטות, המשקל הוא כוח הכבידה הפועל על מסה. בניגוד למסה, המשקל תלוי במקום: הוא יחסי לעוצמת שדה הכבידה במקום בו נמצא הגוף. על כדור הארץ, המשקל (כלומר כוח הכבידה על הגוף) גדול פי 6 בערך מאשר על הירח, מכיוון שכוח הכבידה של כדה"א גדול יותר. יחידת המשקל היא ניוטון (משקל מייצג כוח), אך לעיתים מתייחסים גם ל"קילוגרם-כוח" באופן בלתי-רשמי. המשקל שווה ל $m \cdot g$, כאשר g היא תאוצת הכובד המקומית (על פני כדה"א $g = 9.8 \text{ m/s}^2$). אם המסה היא 1kg, משקלה על כדה"א ~ 9.8 ניוטון. בחלל נטול כבידה, משקל הגוף יהיה אפס – אך המסה נותרת בעינה.

דוגמה להבדל: מסתו של אסטרונאוט היא 80 ק"ג. מסת האסטרונאוט היא 80 ק"ג בכל מקום (ארץ, ירח או חללית בחלל). משקלו על כדור הארץ: $W = 80 \cdot 9.8 = 784 \text{ N}$ (ניוטון). בירח, תאוצת הכובד היא כ- 1.62 m/s^2 , ולכן: $W = 80 \cdot 1.62 \approx 130 \text{ N}$, בערך שישית ממשקלו על הארץ. בחלל, הרחק מכל כוכב (חוסר כבידה משמעותי) – משקלו כמעט אפס, והוא יחוה חוסר משקל (weightlessness), אך כמובן שמסתו עדיין 80 ק"ג.



איור 3. הבדל בין מסה למשקל: בתרשים – אותו גוף (מסה m) נמצא בצד שמאל על כדור הארץ ובצד ימין על הירח. המסה m של הגוף זהה בשני המקומות, אבל משקלו שונה בהתאם לשדה הכבידה.

שאלות לתרגול – משקל ומסה:

1. על אסטרונאוט במסה 90 ק"ג פועל כוח כבידה קטן יותר על הירח מאשר על כדור הארץ. מה ניתן לומר על מסתו ועל משקלו?

א. מסתו קטנה על הירח בהתאם לכבידה הקטנה.

ב. מסתו נשארת 90 ק"ג, אבל משקלו יהיה בערך שישית ממשקלו על כדה"א.

ג. משקלו על הירח 90 ק"ג.

ד. גם המסה וגם המשקל משתנים בהתאם לכוח הכבידה.

🏠👤 הדגישו את ההבחנה בין מסה – קבועה תמיד, לבין משקל – תלוי בכוח הכבידה. ניתן להדגים עם שקילה בירח מול כדה"א כהמחשה.

2. השלימו את הנוסחה: המשקל מחושב על ידי מכפלת המסה בתאוצת הנפילה

החופשית: $W = m \times g$

למורה: כתבו את הנוסחה על הלוח והראו כיצד היא נובעת מהחוק השני של ניוטון. הציגו יחידות: ק"ג $= m/s^2 \times m$ ניוטון.

3. תלמיד שמסתו 50 ק"ג עומד על משקל קפיצי (דינמומטר) על פני כדור הארץ.

א. מה אמור המשקל להראות במידות ניוטון? $W = 50 \times 9.8 = 490 \text{ N}$

ב. כמה היה שוקל אותו תלמיד על כוכב שבו $g = 5 \text{ m/s}^2$? $W = 50 \times 5 = 250 \text{ N}$

ג. מדוע נאמר לעיתים שתלמיד "שוקל 50 ק"ג" למרות שהקילוגרם הוא יחידת מסה ולא כוח? משום שבשפת היום-יום יש בלבול בין משקל למסה, ובעצם מתכוונים למסה שהמשקל שלה נמדד בהתאם לכבידה המקומית.

🏠👤 זוהי הזדמנות להסביר מדוע יחידת המשקל הפורמלית היא ניוטון, אך בפועל נעשה שימוש רווח במסה (ק"ג) במאזניים.

4. אדם נמצא במעלית שעולה בתאוצה כלפי מעלה. תארו מה יראה המשקל (כוח נורמלי) שעליו הוא עומד בעת התאוצה כלפי מעלה, ביחס למשקלו הרגיל. מה יקרה לקריאת המשקל כאשר המעלית נעצרת בפתאומיות? **כאשר המעלית עולה בתאוצה, המשקל הנמדד יגדל – הגוף מרגיש "כבד" יותר כי נוסף כוח תאוצה כלפי מעלה. כאשר המעלית נעצרת לפתע, המשקל ירד זמנית – האדם ירגיש "קל יותר".**

 **מומלץ לדמות מצב זה בעזרת משקל עם תלמיד במעלית מדומה, או לצפות בהדגמה ויזואלית. הסבירו שהכוח הנמדד הוא סך כל הכוחות הפועלים על הגוף.**

אופטיקה

1. תכונות יסוד של האור

האור הוא סוג של אנרגיה אלקטרומגנטית המסוגלת להתפשט בריק ובחומרים שקופים כמו זכוכית או מים. הוא נע במהירות של כ-300,000 ק"מ בשנייה בריק, מעט פחות מכך בחומרים צפופים יותר. האור מתפשט בצורה גלית, כאשר האור הנראה לעין האדם כולל אורכי גל בתחום 400 עד 700 ננומטר, ואור לבן הוא למעשה שילוב של כל צבעי הספקטרום הנראים לעין.

כאשר אור מגיע למשטח הוא יכול:

- 1- להיספג בחומר
- 2- להחזיר אור באופן מסודר (ממשטח חלק) או מפוזר (ממשטח מחוספס)
- 3- לעבור דרך חומרים שקופים ולשנות כיוון בעקבות מעבר זה = שבירת אור.

אנרגיה אלקטרומגנטית מוקרנת בגלים הנעים בקו ישר. מהירות התפשטותה של הקרינה תלויה בצפיפות החומר שדרכו היא עוברת. כאמור, כאשר האור פוגע במשטחים שונים, הוא יכול לחזור, להישבר, להתפזר או להיספג.

שאלות תרגול – תכונות יסוד של האור:

1. תארו כיצד האור מתפשט בחומרים בעלי צפיפות שונה.
 כאשר האור עובר מחומר פחות צפוף (למשל אוויר) לחומר צפוף יותר (למשל זכוכית או מים), מהירותו פוחתת והוא נשבר – כלומר משנה את כיוונו. השבירה מתרחשת כיוון שצלעות חזית הגל מאטות בזמנים שונים. בכיוון ההפוך (מצפוף לדליל), האור נשבר הרחק מהניצב ומהירותו עולה.

🏠👤 הדגישו את עקרון השבירה בעזרת הדגמה של כפית בכוס מים, או איור של שבירת קרן אור בניצב ובאלכסון.

2. השלימו את החסר: האור מתפשט בצורה קונית, וכאשר הוא עובר מחומר צפוף לחומר פחות צפוף הוא נשבר.

🏠👤 השתמשו באיור קרני אור במעבר זכוכית-אוויר

3. מהירות האור בזכוכית:

- א. גבוהה יותר ממהירותו באוויר
- ב. זהה למהירותו באוויר
- ג. נמוכה יותר ממהירותו באוויר

הסבר: ככל שהחומר צפוף יותר, מהירות האור בו קטנה. בזכוכית, האור נע לאט יותר מאשר באוויר.

🏠👤 הסבירו כי ההאטה אינה ניכרת לנו אך יש לה השפעות אופטיות חשובות כמו שבירה.

4. כאשר אור פוגע במשטח חלק, הוא חוזר:

א. בצורה מפוזרת

ב. בצורה מסודרת

ג. לא חוזר כלל

הסבר: החזרת אור מסודרת (כמו במראה) מתרחשת ממשטח חלק. ממחוספס – החזרה מפוזרת.

הביאו מראה ודף נייר והאירו בעזרת פנס – להדגמה.

5. מה קורה לאור כאשר הוא פוגע במשטח מחוספס? תארו את התהליך.

האור מוחזר מכל בליטה במשטח בזווית שונה – ולכן נוצר פיזור של הקרניים. אין החזרה אחידה כמו ממראה.

השתמשו באנלוגיה של כדור קופץ על רצפה חלקה לעומת שבורה

6. נכון/לא נכון: כאשר מקור האור מתרחק, עוצמת האור המגיעה למשטח פוחתת ביחס ישר למרחק.

הסבר: עוצמת האור פוחתת ביחס הפוך לריבוע המרחק (חוק ההפחתה המרובעת: $1/r^2$)

לא נכון.

נסו להדגים בעזרת מד אור (לוקסמטר) או שני גופים מוארים מקרוב ומרחוק.

7. הסבירו כיצד נוצרים צבעי הקשת כתוצאה מפגיעת אור לבן במשטח שקוף.

תשובה: כאשר אור לבן עובר דרך חומר שקוף (כגון טיפת מים), הוא נשבר ומתפזר לאורכי גל שונים. כל צבע נשבר בזווית שונה – מה שגורם להפרדתם ויוצר את צבעי הקשת.

הדגמו בעזרת מנסרה או סרטון פיזור אור דרך טיפה.

2. עדשות ובבואות

עדשות הן רכיבים אופטיים המשמשים למיקוד או פיזור של אור. עדשה חיובית (מכנסת) מרכזת קרני אור לנקודה אחת, בעוד עדשה שלילית (מפזרת) מפזרת אותן. רוחק המוקד של עדשה מושפע ממקדם השבירה של החומר ומקמירות פני העדשה.

שאלות תרגול – עדשות ובבואות:

1. מהו ההבדל בין עדשה חיובית לעדשה שלילית?

עדשה חיובית (מכנסת) מרכזת קרני אור לנקודה ויכולה ליצור דמות ממשית. עדשה שלילית (מפזרת) מפזרת את הקרניים היוצאות מהעצם ויוצרת רק דמות מדומה.

המחישו באמצעות שרטוט של קרני אור או ניסוי עם עדשות אמיתיות.

2. השלם את החסר: דמות הנוצרת בקמרה אובסקורה היא **הפוכה** ו **עמומה**.

הציגו תמונה של קמרה אובסקורה והסבירו את עקרון הפעולה דרך חור זעיר.

3. עדשה בעלת רוחק מוקד קצר תיצור

א. דמות גדולה ורחוקה

ב. דמות קטנה וקרובה

ג. דמות בגודל זהה לעצם

הציגו את מיקום הדמות עבור מוקדים שונים בעזרת חץ ועצם.

4. נכון/לא נכון: עדשה שלילית תמיד יוצרת דמות מדומה.
 נכון.

הסבר: עדשות שליליות אינן מרכזות קרניים ולכן אינן מסוגלות ליצור דמות ממשית, אלא רק דמות מדומה, שמופיעה כאילו היא נוצרת מאחורי העדשה.

הציגו דוגמה לשימוש בעדשות כאלה במשקפיים לקוצר ראייה.

5. הסבירו מה משפיע על איכות הדמות הנוצרת באמצעות עדשה פשוטה, וכיצד ניתן לשפר איכות זו.

תשובה: איכות הדמות מושפעת מקמירות העדשה, סוג הזכוכית (מקדם השבירה), והדיוק הגאומטרי שלה. כדי לשפר את איכות הדמות, משתמשים בעדשות מורכבות המורכבות ממספר עדשות שמתקנות סטיות אופטיות זו של זו.

הציגו תמונה עם סטייה כרומטית/עיוות ואחריה תמונה חדה מעצמית במצלמה.

6. התאימו בין המרכיבים לבין תיאורם (סמנו בסוגריים):

1. עדשה חיובית (2) דמות הפוכה ועמומה
2. עדשה שלילית (3) מרכזת קרני אור לנקודה אחת
3. קמרה אובסקורה (1) מפזרת קרני אור

הציגו עברו יחד עם התלמידים על טבלה של שלושת המושגים והסבירו את ההבדלים באמצעות ציור.

3. רוחק מוקד, זווית ראייה ועומק שדה

כאשר אנו מצלמים בעזרת מצלמה, נרצה שהתמונה תייצג את המציאות בצורה חדה וברורה. אך עדשה פשוטה עלולה לגרום לעיוותים כמו טשטוש בקצוות, קווים עקומים, או שוליים צבעוניים – תופעות הנקראות סטיות אופטיות. כדי להתגבר על כך, משתמשים במצלמות בעדשות מורכבות המכילות מספר אלמנטים אופטיים המתקנים זה את זה.

לכל עדשה יש "רוחק מוקד" – המרחק בין המרכז האופטי שלה לבין המישור שבו מתמקדות קרני האור. רוחק המוקד משפיע על:

- **זווית הראייה:** קצר = זווית רחבה, ארוך = זווית צרה.
 - **גודל הדמות:** ככל שרוחק המוקד ארוך יותר – הדמות גדולה יותר.
 - **עומק השדה:** הטווח שבו התמונה נראית חדה. עומק השדה גדל כשמשתמשים בעדשות קצרות מוקד, בצמצם סגור, או כשהמרחק מהאובייקט גדול.
- שאלות תרגול – רוחק מוקד, זווית ראייה ועומק שדה:

1. ככל שרוחק המוקד קצר כך זווית הראייה **רחבה** ועומק השדה **גדול**.
 🏠👤 **השתמשו בצילומים מזווית רחבה לעומת צילומי טלפוטו כדי להמחיש הבדלים בזווית ובטשטוש הרקע.**
2. איזו מהאפשרויות תגדיל את עומק השדה בצילום?

א. שימוש בעדשה ארוכת מוקד וצמצם פתוח

ב. צילום ממרחק קרוב מאוד לאובייקט

ג. שימוש בעדשה קצרת מוקד וצמצם סגור

🏠👤 יש להסביר כי עומק שדה מושפע משלשה גורמים: אורך מוקד, מפתח צמצם, ומרחק מהאובייקט. ככל שהצמצם סגור יותר והעדשה קצרת מוקד – כך עומק השדה גדל.

3. נכון/ לא נכון: עדשה באורך מוקד של 1000 מ"מ תיצור זווית ראייה רחבה במיוחד.
לא נכון. עדשה באורך מוקד כזה תיצור זווית ראייה צרה מאוד (טלפוטו).

🏠👤 **הראו השוואת תצלום בעדשת טלפוטו מול עדשה רחבת זווית – אפשר גם דרך מצלמת סמארטפון עם זום אופטי.**

4. התאימו בין מושג לבין השפעתו:

- 1. רוחק מוקד ארוך (1) טווח מיקוד צר, מתאים לצילום אובייקטים רחוקים
- 2. עדשה קצרת מוקד (3) טווח מיקוד צר, הפרדה מהרקע
- 3. צמצם פתוח (2) הדגשת פרספקטיבה

🏠👤 **השתמשו באפליקציית מצלמה להמחשה חיה. ניתן להדגים את ההשפעה של צמצם פתוח בעזרת מצלמת טלפון במצב פורטרט.**

פרמטר	שימושים נפוצים	זווית ראייה	עומק שדה	כניסת אור
אורך מוקד קצר (Wide)	צילום נוף, אדריכלות, צילום רחב	רחבה – תופסת שטח נרחב	עמוק – רוב התמונה בפקוס	תלוי בצמצם, בהיר
אורך מוקד ארוך (Telephoto)	צילום ספורט טבע, פורטרטים ממרחק	צרה – ממקדת באובייקטים מרחוק	רדוד – רק נושא בודד בפקוס	קטנה כניסת אור יותר (אלא אם הצמצם גדול) (במיוחד)
צמצם פתוח (f number קטן)	צילום פורטרט, צילום בתנאי תאורה חלשה	לא רלוונטי לצמצם	רדוד – הפרדה חזקה בין נושא לרקע	כניסת אור מירבי שימושי בתאורה חלשה
צמצם סגור (f number גדול)	צילום נוף באור חזק, עומק שדה מירבי	לא רלוונטי לצמצם	עמוק – חדות רחבה בכל הטווח	כניסת אור מועטה נדרש זמן חשיפה ארוך יותר

להרחבות נוספות:

- אתר מורי הפיזיקה הארצי (כולל דפי דוגמא לניסויים) - <https://ptc.weizmann.ac.il>
- יצירת סימולציות אינטראקטיביות במדעים בPhet - <https://phet.colorado.edu>
- אתר עם מגוון מצגות לנושאי אופטיקה וצילום - <https://www.ilandanon.com/optic-11.htm>
- סרטון דוגמא מומלץ ל"מבוא לחוקי ניוטון" (6 דקות – קישור) <https://www.youtube.com/watch?v=G-YlfXtW7Yc>
- קישור ישיר לספרים מומלצים שנכתבו למשרד החינוך למגוון רחב של נושאים בפיזיקה (מתוך אתר מורי הפיזיקה הארצי) - <https://ptc.weizmann.ac.il/?CategoryID=2867>
- ChatGPT ומנועי AI נוספים, יכולים ליצור מערכי שיעור ואף אנימציות ייחודיות לשימושכם.
- לימוד חוקי ניוטון עם מערכי שיעור ודפי עבודה מוכנים של תכנית הי"לה (קישור)