

ד"ר פיליפ סלובוצקי

פיזיקה 10

ערכת לימוד לבתי ספר תיכוניים
מדריך למורה

עריכה מדעית: ד"ר יעקב שרגאי

יסוד – הוצאה לאור

ד"ר פיליפ סלובוצקי

פיזיקה 10

ערכת לימוד לבתי ספר תיכוניים
מדריך למורה

עורך מדעי: ד"ר יעקב שרגאיי

תוכן העניינים

מבוא	6
מכניקה	8
פרק I קינמטיקה	10
פרק II חוקי ניוטון	24
פרק III חוקי הפעולה ההדדית	47
פרק IV שימוש בחוקי ההמכניקה	64
פרק V חוק שימור התנע	75
פרק VI חוק שימור האנרגיה	80
פרק VII סטטיקה	90
פיזיקה מולקולרית	95
פרק VIII יסודות התורה המולקולרית-קינטית	95
פרק IX התורה הקינטית של גז אידיאלי	99
פרק XIII יסודות התרמודינמיקה	102
יסודות האלקטרודינמיקה	111
פרק XIV השדה החשמלי	111
פרק XV חוקי הזרם הישר	143

מבוא

מורים נכבדים,

ייעודו של ספר מדריך זה לסייע למורה בהכנה יומיומית לשיעוריו.

ספר מדריך זה משלים את הערכה המקיפה החדשה ללימודי הפיזיקה בבתי-הספר התיכוניים, שכוללת:

א. שני ספרי הלימוד, "פיזיקה 10" ו-"פיזיקה 11";

ב. שלושה תקליטורים המכילים:

הדמיות חקר אינטרקטיביות של עשרות ניסויים ומעבדות ברוב הנושאים הנלמדים; תוכנת עזר "הנוסחה-P"; ופעילות מקוונת "הפורום הפיזיקלי";

ג. שני ספרי בעיות ותרגילים;

ד. שני מדריכים למורה.

ספרי הלימוד מתבססים על שיטת הלימוד הנהוגה בבתי-הספר התיכוניים ברוסיה, והתכנים שלהם הותאמו לתוכנית הלימודים החדשה בפיזיקה, כפי שנקבעה במשרד החינוך.

התקליטורים המלווים פותחו בידי חברת "הלומדה" הישראלית, שפיתחה עשרות הדמיות בפיזיקה במשך כ-20 שנה. ההדמיות הממוחשבות מאפשרות המחשה גרפית אינטראקטיבית של התופעות העיקריות המתוארות בספרי הלימוד; עריכת "המעבדה הווירטואלית"; וחוויה של גילוי בעבודת חקר עצמאית של הלומד.

שני ספרי הבעיות והתרגילים, המהווים את הצלע השלישית בערכת הלימוד, מכילים כ-2,000 בעיות, תרגילי חישוב ושאלות הבנה בכל נושאי הלימוד, ואלה ממוינים לפי רמת קושי ומידת מורכבותם.

ספרי המדריך למורים כוללים מערכי שיעורים מומלצים, תיאור מעבדות ותרגילים נוספים. מבנה התכנים וסדר הסעיפים במדריך תואמים את אלה שבספרי הלימוד; אולם מכיוון שספרי הלימוד מכילים, בנוסף לפרקי החובה, כמה פרקי בחירה, שאינם מופיעים בספרי המדריך, נוצרו דילוגי סעיפים ואיורים ברצף שבספרי המדריך.

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

ספר המדריך הראשון מקיף שלושה תחומים: מכניקה, תורת הגזים ותורת החשמל, המהווים חלק מפרקי החובה בתוכנית הלימודים החדשה.

כדי להתאים שני ספרי הלימוד לתוכנית הלימודים החדשה של משרד החינוך, הוכנסו בהם כמה פרקים נוספים: תנועה בתאוצה משתנה, חוקי קפלר, חוקי קירכהוף ועוד (הם סומנו בתוספת אות ליד מספר הסעיף), וכן פרק של חישוב שגיאות שלא בשיטה סטטיסטית, אלא באמצעות נגזרות חלקיות.

אני מודה מקרב לב לצוות המערכת של ההוצאה לאור "יסוד", לעורך הדידקטי ד"ר יעקב שרגאי ולעורך הלשוני א"ב צפורה, שעמד על-קוצו-של-יוד באשר לניסוח העברי ובאשר לעריכה המבנית של הספרים כולם. תודה מיוחדת לאנשי "הלומדה" על התאמת ההדמיות הממוחשבות לגרסת התקליטור המלווה.

נשמח לקבל הערות ותגובות לספרים שלפניכם. אנא שלחו אותם לדואר האלקטרוני של "הלומדה": halomda@netvision.net.il.

בהצלחה בלימוד ובהוראת הפיזיקה – המדע העתיק והמרתק מכולם!

ד"ר פיליפ סלובוצקי.

פרק I. מכניקה

בשיעורי המדע בכיתה ט' רכשו התלמידים ידע ראשוני על התופעות המכניות ועל חוקיהן. בכיתה י' יש שמשלימים ומעמיקים את הידע הזה, ובעיקר מארגנים אותו במערכת אחת. את מערך לימודי המכניקה יש לתכנן לפחות ל-40 שעות (3 שעות לימוד שבועיות) ול-50 שעות לפחות עבור הקצבה שבועית של 4 שעות. ברור שאין זה מספיק, ולכן הבעיה המרכזית היא כיצד לתכנן שיעור בצורה יעילה ביותר? מה להציג ומה להציע ללימוד עצמי? וכמה זמן להקצות לחזרות ולמבחנים?

שעור 1. מדע המכניקה כמתאר תנועה.

מטרות השיעור

- * הצגת המושג הגוף המקרוסקופי.
 - * הגדרת התנועה המכנית.
 - * הצגת שיטות עיוניות וניסוייות לפתרון תרגילים.
 - * הגדרת מערכת ייחוס.
 - * גיבוש דעה על המכניקה כמערך מידע, שיש גבולות ליישומו.
- א. בהתבסס על החומר הנלמד בעבר יוביל המורה את התלמידים לעולם התופעות המכניות, מחד, ולמערך המידע המתאר את העולם, מאידך. ההפרדה בין שני אלה היא עקרונית.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

1. נמשיך את לימודי הפיזיקה, שהיא הבסיס המדעי של התופעות הפשוטות והבסיסיות ביותר של עולמנו. מדע זה כולל תיאוריות פיזיקליות; הן רבות, אולם הכלליות והעיקריות שביניהן הן ארבע:
מכניקה, פיזיקה מולקולרית, אלקטרודינמיקה ופיזיקת הקוונטים.
2. בעולם שסביבנו מסמן האדם את הגופים ואת התופעות, ולאחר מכן בונה שיטות שונות לתיאורם: משייך אליהם מושגים, בונה מודלים, מגדיר ערכים פיזיקליים, מנסח עקרונות, חוקים ותיאוריה.

פיזיקה 10 מערכי שיעור — מריך למורה

האפיונים של גופים, המתוארים על-ידי ערכים פיזיקליים, נמדדים באמצעות ניסוי ומקבלים ביטוי כמותי; אולם הם עשויים גם להיות מחושבים באופן תיאורטי על בסיס החוקים ונוסחות הקשר. נכון יהיה להציג דוגמאות.

3. מבחינה היסטורית התיאוריה הפיזיקלית הראשונה – ואולי התיאוריה הראשונה מתחום מדעי טבע בכלל – היתה **המכניקה**. תיאוריה אינה לקט מידע פשוט, אלא מערכת ידע מושלמת, המתארת את העיקרון של התופעות בתחום.

המכניקה עוסקת בתנועת גופים מקרוסקופיים, בעצמים מכל הגדלים: מאטומים עד לכוכבים.

4. המורה יגדיר את המושג **מערכת ייחוס** כאמצעי לתיאור תנועה. ניסיון רב-שנתי מצטבר מאפשר להגדיר את התכונות הבסיסיות של המרחב: רציפות, אי-תלות בכיוון, תלת-ממדיות. הזמן חולף ברציפות במגמה אחת בלבד ובאורח זהה בנקודות מרחב שונות.

המורה יבצע את הדמיה 2.1 מהלומדה **ניוטון** (הנושא: **מערכות אינרציאליות**, סעיף 2). בהדמיה מוצגת תנועה של שלושה גופים: אדם, מכונת ומטוס. ניתן לקשור את מערכת הייחוס לכל אחד מהם ולקרקע, ולצפות בתנועה מנקודת מבטו של צופה, הנמצא במערכת הייחוס שנבחרה.

בהמשך נקיים דיון בנושא: איזו מערכת כדאי לבחור כדי לתאר את תנועת גוף בקו ישר? ובמישור? כיצד נמדוד את הקואורדינטות של עצם מסוים בכיתה? נביא דוגמאות של תופעות, שאינן ניתנות לתיאור על-ידי המכניקה.

ג. שאלות לסיכום

מהי תנועה מכנית?

באילו תופעות עוסקת המכניקה?

מטלה: סעיפים 1–2 בספר הלימוד **פיזיקה 10**.

קינמטיקה

באופן מסורתי מוקדשת במהלך לימודי הקינמטיקה תשומת לב רבה לשפת התיאור של התנועה: לפעולות בווקטורים ולחישוב קואורדינטות; אולם חשוב לשמר את המשמעות הפיזיקלית של הנושאים הנלמדים, והיא ניתנת לסיכום קצר מאוד: יש תנועות מכניות שונות, ויש שיטות שונות לתיאורן. בלימודי הפיזיקה בחט"ב נלמדו כבר מושגי קינמטיקה שונים, ולכן בכיתה י' מוקצבות ללימודי הקינמטיקה 11 – 12 שיעורים.

שיעור 2. סוגי התנועה המכנית והשיטות לתיאורה

מטרות השיעור

- * הגדרת המושג **מודל של גוף מקרוסקופי**.
- * ניסוח הבעיה העיקרית של הקינמטיקה.
- * מיון סוגי התנועה המכנית על-פי מסלול ומהירות.
- * תיאור התנועה במערכת ייחוס נבחרת.

א. חזרה ודיון

מה נלמד במסגרת המכניקה? ומה לא ניתן ללמוד במסגרת המכניקה? לשם מה מגדירים הפיזיקאים ערכים פיזיקליים? כיצד מתקבלים הערכים המספריים של הגדלים הפיזיקליים? (במדידות ישירות, בחישוב על בסיס מדידות בלתי ישירות של גדלים אחרים). מדוע שייכת נפילת גוף לתחום התופעות המכניות?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

כיצד נתאר את התנועה המכנית של גוף במרחב במהלך הזמן? התשובה הכללית היא פשוטה: יש לדעת את מקום הגוף בכל רגע. זו הבעיה המרכזית של המכניקה. כיצד נפתור אותה באופן מעשי?

1. נציין שגופים עשויים להיות שונים בצורה ובגודל. במהלך לימוד התנועה המכנית של גופים נשתמש ב**מודלים** שונים; המודל מחליף את הגוף, ובאמצעותו נלמד את תכונותיו של הגוף ואת תנועתו. המודל הפשוט ביותר של גוף הוא **גוף נקודתי**, שהוא נקודה בעלת מסה. במהלך הלימוד נמיר את הגוף למודל, ונלמד על תנועתו.

2. כדי לסמן ולתאר את תנועתו של גוף נקודתי יש לבחור את מערכת הייחוס.

פיזיקה 10 מערכי שיעור – מריך למורה

נחזור על ההגדרה: מערכת הייחוס היא אמצעי לתיאור התנועה, והיא כוללת את גוף הייחוס, את מערכת הצירים ואת השעון. באמצעות מערכת הצירים, המצוירת על הלוח, נדון בסוגיות: מהן הקואורדינטות של הנקודות המסומנות? מה יתרחש בקואורדינטות של גוף נקודתי במהלך תנועתו מנקודה A לנקודה B? כיצד נגדיר אחרת את מקומו של גוף נקודתי? (באמצעות רדיוס-וקטור; ראה ציור 4 בספר הלימוד).

המורה ימחיש את נושא מדידת הקואורדינטות והזמן במערכת הצירים באמצעות הלומדה **גלילאו** (הדמיה 1.1 – נפילה חופשית; 2.1 – זריקה אופקית; 3.1 – זריקה בזווית).

3. קיימים אפיונים שונים לתנועה, אולם הסיווג הפשוט ביותר כולל שתי תכונות: מסלול ומהירות. המסלול הוא קו שעליו נע גוף נקודתי. בסוגי תנועה שונים קיימים: א. תנועה לאורך קו ישר ולאורך קו עקום; ב. תנועה קצובה ותנועה שאינה קצובה. במהלך הדיון נדון בסוגיות: איזו מהתנועות היא הפשוטה ביותר? איזו תנועה אינה קצובה? כיצד נע כדור במישור משופע? כיצד נע גיר על הלוח? התלמידים יציגו דוגמאות לתנועה שאינה קצובה.

המורה ימחיש את ההסבר בהדמיה 1.1 מהלומדה **ניוטון** (גלישת כדור במישור משופע).

ג. פתרון תרגיל בסיסי לסיכום השיעור

הוכיחו באמצעות שרטוט, שתיאור מקומו של גוף נקודתי תלוי בבחירת מערכת הייחוס.

מטלה: סעיפים 3 – 4 בספר הלימוד **פיזיקה 10**.

שיעור 3. פעולות בערכים וקטוריים

מטרות השיעור

- * הצגת המושגים **ערך סקלרי** ו**ערך וקטורי** ולמידת הפעולות בערכים אלה.
- * תרגול מציאת ההיטל של וקטור על ציר.
- * פעולות חיבור וחסור בין ערכים וקטוריים.

א. בדיקת עמידה במטלות באמצעות בוחן בגרסאות שונות

בוחן

גרסה א

1. באיזו תשובה מפורטות אך ורק תופעות מכניות?

א. ספר, מעוף הציפור, מערכת ייחוס; ב. סרגל, קואורדינטה, תנועת המכונת;
ג. תנועת המכונת, נפילת התפוח, ספר המונח על השולחן; ד. שולחן, תנועת
המכונת, זמן; ה. קואורדינטה, ערך פיזיקלי, נפילת תפוח.

2. מהו גוף נקודתי?

א. גוף קטן; ב. גוף מקרוסקופי; ג. נקודה גיאומטרית; ד. מודל של גוף;
ד. אף תשובה אינה נכונה.

3. איזו מהתנועות הבאות היא תנועה קצובה בקו ישר?

א. תנועת הכדור הנזרק אנכית כלפי מעלה; ב. תנועת קצה מחוג השעון; ג. תנועת
כדור הארץ סביב השמש; ד. גלישת העגלה במורד המדרון; ה. אף תשובה אינה
נכונה.

4. מהי מערכת ייחוס?

א. מערכת קואורדינטות; ב. מערכת קואורדינטות ישרה; ג. גודל פיזיקלי;
ד. שעון; ה. אף תשובה אינה נכונה.

5. מהי הקינמטיקה?

א. פרק ממדעי הטבע; ב. סדרת ערכים פיזיקליים; ג. מבנה הגופים ותכונותיהם;
ד. חוקיות השינוי של מקום הגוף במהלך הזמן; ה. אף תשובה אינה נכונה.

גרסה ב

1. באיזה מהסעיפים הבאים מפורטים ערכים פיזיקליים בלבד?

א. תנועה מכנית, זמן, מהירות; ב. מערכת ייחוס, גוף, מהירות; ג. קינמטיקה, זמן,
גוף נקודתי; ד. זמן, תנועה, גוף; ה. אף תשובה אינה נכונה.

2. האם משתנה מקומו של הספר המונח על השולחן?

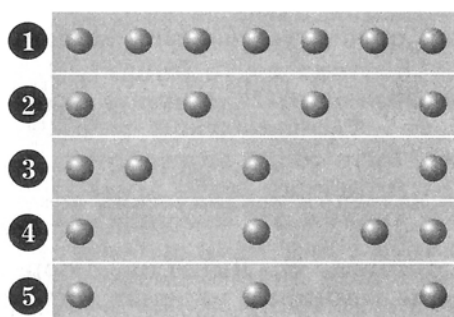
א. אינו משתנה; ב. הקואורדינטות של הספר קבועות; ג. משתנה במערכת הייחוס
הנבחרת; ד. אף תשובה אינה נכונה.

3. באיזה מקרה לא ניתן לתאר את תנועת הגוף כתנועה של גוף נקודתי?

א. תנועת כדור הארץ סביב השמש; ב. תנועת הלוויין סביב כדור הארץ; ג. תנועת הרכבת במסלול חיפה – באר-שבע; ד. אף תשובה אינה נכונה.

4. מהו גוף ייחוס?

א. שולחן; ב. ראשית הצירים; ג. גודל פיזיקלי; ד. גוף שהוא חלק ממערכת הייחוס; ה. אף תשובה אינה נכונה.



5. בציור 1 מסומנים במרווחי זמן שווים מקומותיהם של חמישה גופים, הנעים משמאל לימין. לאיזה מהגופים, שתנועתם קצובה, המהירות הגדולה ביותר?

ציור 1

ב. המורה יזכיר את ההגדרות לערכים

סקלריים ולערכים וקטוריים, יחזור על המושג **מסלול**, ויציג את המושג **העתק**. בהמשך השיעור יעסקו התלמידים בפתרון תרגילים של חיבור ושל חיסור וקטורים ובחישובי היטלי הווקטור. סדר ההוראה: כלל ודוגמה תואמת (ראו ציור 5 בספר הלימוד). המורה יציג את ההדמיות 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 3.3 בנושא "חיבור וקטורי" מהלומדה וקטורי.

מטלה: סעיפים 5 – 8 בספר הלימוד **פיזיקה 10**.

שיעור 4. תנועה קצובה בקו ישר

מטרת השיעור

* השגת שליטה בתכונות ובאפיונים של תנועה קצובה של גוף נקודתי.

א. חזרה ודיון

פתרון תרגילים בפעולות עם וקטורים, הדומות לאלה שהוטלו כמטלה.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

1. הדגמה והגדרה של התופעה באמצעות הציוד המעבדתי הקיים ובאמצעות

פיזיקה 10 מערכי שיעור – מדריך למורה

הדמיות ממוחשבות (גלילאו, הדמיה 2.1). הגדרת המושג **מהירות** (ציורים 19 ו-20 בספר הלימוד).

2. פיתוח משוואת התנועה של גוף נקודתי בצורה וקטורית $(\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t)$ ובצורה סקלרית $(x = x_0 + vt)$. עבור תנועה בקו יש לבחור את מערכת הצירים הבנויה מציר אחד, ולכן בשני המקרים מקבלים את אותה משוואת תנועה.
 3. תיאור גרפי של תנועה קצובה בקו ישר.
 4. פתרון תרגילים: א. דוגמה של פתרון תרגיל 1 בסעיף 12 בספר הלימוד; ב. תרגילים ממקור אחר.
- מטלות:** סעיפים 9 – 10 בספר הלימוד.
מקבץ תרגילים 1 (1 ו-4).

שיעור 5. פתרון תרגילים

מטרת השיעור

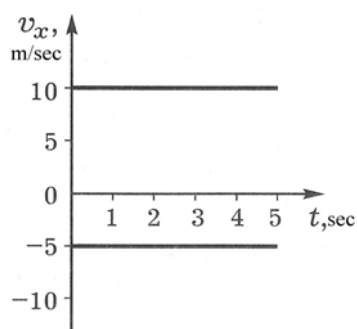
* פתרון תרגילים ובוחן.

במחצית הראשונה של השיעור נדון בבעיית תנועה קצובה בקו ישר.

בוחן

גרסה א

1. גוף נקודתי זז מראשית מערכת הצירים לנקודה M בעלת הקואורדינטות $x = 3, y = 4$. מצאו את גודל וקטור ההעתק ואת ההיטלים לצירים. יש ללוות את הפתרון בשרטוט.



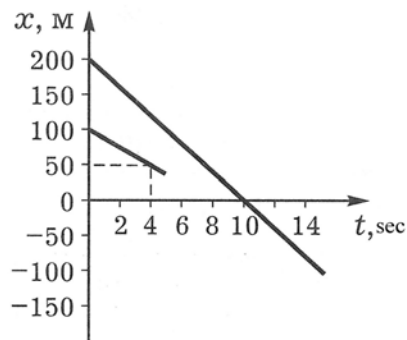
ציור 2

2. בציור 2 מתוארים גרפים של המהירות של שני גופים בתלות הזמן. שרטטו את גרף המקום של כל אחד מהגופים בתלות הזמן, אם ידוע שברגע ההתחלתי היו הגופים בראשית הצירים.

גרסה ב

1. תנועת מכונית מתוארת על-ידי המשוואה $x = 20 + 10t$. שרטטו את גרף המהירות של המכונית בתלות הזמן, ומצאו את הקואורדינטות של המכונית ואת מהירותה כעבור 5 שניות מהתחלת התנועה. מהו העתק המכונית בתום זמן זה?

2. בציור 3 מתוארים גרפים של תנועת שני אופנועים. שרטטו את גרף המהירות בתלות הזמן של כל אחד מהם, וחשבו את גודלה של המהירות ואת כיוונה. האם ייפגשו האופנועים?



ציור 3

מטלה : מקבץ תרגילים 1 (2, 3).

שיעור 6. תנועה יחסית

מטרות השיעור

- * תיאור התנועה של גוף נקודתי במערכות ייחוס שונות.
- * המחשת היחסיות של מסלול.
- * העתק ומהירות, הוכחת כלל חיבור המהירויות.
- * תרגול תיאור התנועה של גוף נקודתי במערכות ייחוס שונות.

א. סוגיות לדיון

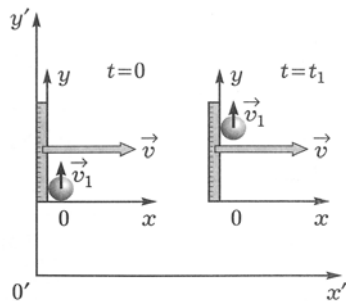
האם ישננה סוג התנועה, אם נתאר אותו במערכת ייחוס אחרת? במהלך פתרון תרגיל יקרה שנעבור מתיאור תנועה במערכת ייחוס אחת לתיאור אותה תנועה במערכת ייחוס אחרת. כיצד נעשה זאת? זו הסוגיה העיקרית של שיעור זה.

ב. את לימוד החומר החדש כדאי להורות באמצעות פתרון תרגיל.

1. המורה יתאר תנועה של גוף בשתי מערכות ייחוס: אחת הקשורה ללוח, והשנייה – לסרגל, הנע במהירות קבועה בקו ישר (ראו ציור 4). המורה ותלמיד ידגימו את תנועת הגוף אנכית כלפי מעלה, לאורך ציר OY.

פיזיקה 10 מערכי שיעור – מריך למורה

2. במהלך הדיון נדון בסוגיות: כיצד משתנות הקואורדינטות של הגוף במערכות ייחוס שונות? האם מסלול התנועה זהה במערכות ייחוס שונות? כיצד יש להגדיר את ההעתק במערכות ייחוס שונות?



ציור 4

נסמן על הלוח את נקודות ההתחלה ואת נקודות הסוף של התנועה, ונשרטט את וקטור ההעתק של הגוף ושל מערכת הייחוס הניידת:

$$\Delta r_2 = \Delta r_1 + \Delta r$$

האם שווים וקטורי ההעתק במערכות הייחוס השונות בתום פרק זמן שווה?

3. נפתח את נוסחת חיבור המהירויות.

ב. שאלות לסיכום

מדוע טוענים שתנועה היא יחסית? האם ייתכן שבמערכת ייחוס אחת יהיה הגוף נייח – ובמערכת אחרת יהיה נייח? איזה גודל, המאפיין את תנועת הגוף, אינו תלוי בבחירת מערכת הייחוס?

מטלה: סעיף 12 בספר הלימוד.

שיעור 7. תנועה שוות תאוצה

מטרות השיעור

* הגדרת המושגים: מהירות רגעית ותאוצה.

* תיאור תנועה שוות-תאוצה.

א. חזרה ודיון

תלמיד יפתור תרגיל מהמטלות ליד הלוח. במהלך הפתרון נדון בחומר הלימוד באמצעות הסוגיות: באיזה מקרה משתמשים בכלל של חיבור המהירויות? האם תלוי תיאור התנועה של גוף נקודתי במערכת הייחוס? איזו מערכת ייחוס כדאי לבחור לשם פתרון הסוגיה המוצגת? כיצד מגדירים את מערכת הייחוס?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

השיעור כולל חומר עיוני רב, לכן נעביר תחילה את החומר בקצרה, ובהמשך נתמקד בנקודות דיון חשובות במהלך פתרון תרגילים.

להלן מתווה להצגת החומר:

1. הגדרה וחזרה על תנועה שאינה קצובה. הדגמת ניסוי: תנועת כדור במדרון משופע, נפילת הכדור (V-סקופ, גלילאו, הדמיה 1.1; **ניוטון**, הדמיות 1.3, 3.1). נדגיש: שינוי בשיעור המהירות הוא התכונה העיקרית של תנועה בקו ישר שאינה קצובה.

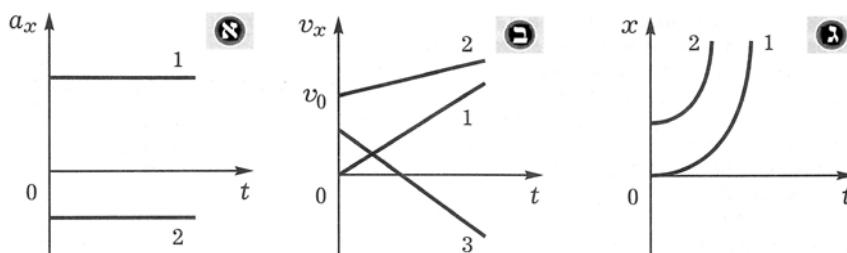
נגדיר את **המהירות הרגעית** כמהירות ברגע נתון. כיצד נדע את גודלה, את כיוונה ומגמתה של המהירות הרגעית? על חלקה הראשון של השאלה נשיב באמצעות דיון בחומר העיוני כפי שהוא מופיע בספר הלימוד, והתשובה על חלקה האחר של השאלה תסתמך על הניסוי המוזכר מעלה.

2. הגדרת תאוצה בתנועת שוות-תאוצה של גוף נקודתי.

3. המהירות ומשוואות המקום של גוף נקודתי בתנועה שוות-תאוצה. מהגדרת התאוצה: $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ מתקבל ביטוי למהירות, וממנו מתקבל ביטוי למקום הגוף בתלות הזמן. עם תלמידים ברמה של 3 י"ל נשתמש בביטוי הפשוט:

$x = x_0 + \Delta x$; ומהצבת ערכו של Δx נקבל את משוואת המקום הקינמטית.

4. נשרטט על הלוח את הגרפים של התאוצה, המהירות והמקום בתלות הזמן עבור תנועה שוות-תאוצה בקו ישר של גוף נקודתי (את דוגמאות הגרפים עבור סוגי תנועה שונים אפשר לראות בציור 5). המורה יפרש בקצרה את הגרפים.



ציור 5

ג. סוגיות לסיכום

האם ניתן למצוא בטבע תנועת שוות-תאוצה בקו ישר? אם כן, הביאו דוגמאות של תנועה מסוג זה. כיצד נחשב את מהירותה ואת מקומה של נקודה, הנעה בתאוצה קבועה? האם אפשר באמצעות משוואת התנועה לחשב את התאוצה, אם ידועים מקומו ההתחלתי ומקומו הסופי של הגוף, מהירותו ההתחלתית וזמן תנועתו?

מטלות: סעיפים 11, 13-16 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 3 (1).

שיעור 8. דיון ניסויים בתנועה שוות-תאוצה

מטרת השיעור

* תרגול בגילוי תנועה בתאוצה, ואפיונה באמצעות הגדלים הפיזיקליים: תאוצה, מהירות ומשוואת התנועה.

א. דיון חוזר בחומר העיוני: תנועה שוות-תאוצה.

ב. נעביר ניסויים קבוצתיים בנושא "מדידת התאוצה של כדור הנע במדרון משופע בתנועה שוות-תאוצה" לפי המתווה הבא:

1. דיון בסוגיות: האם מותר להציג את הכדור המתגלגל כגוף נקודתי? איזה סוג של תנועה רואים אנו? כיצד ניתן למדוד את התאוצה? (לא ניתן למדוד במישרין; גם אי-אפשר לחשב על-פי נוסחת ההגדרה של התאוצה; יש להשתמש בנוסחה $s = \frac{at^2}{2}$; יש למדוד את גודל ההעתק של הכדור ואת הזמן).

2. נבצע כמה ניסויים בזוויות שיפוע לא גדולות; נחשב את גודל ההעתק של הכדור ואת זמן תנועתו; ולאחר מכן נחשב את התאוצה.

3. משימות בדיקה: אילו מאפייני תנועת הכדור ניתן למצוא, אם ידועה התאוצה? מהי המהירות הרגעית של הכדור לפני התנגשותו בקצה המדרון? האם הערך שקיבלתם הוא הערך המדויק? מהן הסיבות לשגיאות במהלך הניסוי?

מטלה: מקבץ תרגילים 3 (2, 3).

שיעור 9. נפילה חופשית ותיאורה

מטרות השיעור

- * הכרת מאפייני הנפילה החופשית של גוף כמקרה פרטי של תנועה בתאוצה.
- * צבירת ניסיון בהכרת סוגי תנועה בסיסיים.

א. על פניו של כדור הארץ חווים אנו באחד מסוגי התנועה הנפוצים ביותר: נפילה חופשית של גופים. מהי התנועה הזאת וכיצד היא מתוארת?

1. גופים נופלים אל הקרקע. נחקור ונאפיין תנועה זו.
נעביר ניסוי: נפילת הכדורים מפלסטלינה ומצמר-גפן. שאלות לפתיחת הדיון: מהו המצב ההתחלתי של הגופים? (גובה שווה, מהירות התחלתית שווה לאפס). האם תנועת הכדורים קצובה? (לא; התנועה מואצת, אולם גודל התאוצה שונה).

נשאל את השאלה: במה תלויה התאוצה? נתאר ניסוי של נפילת הגופים בריק (ראו ציור 40 בספר הלימוד). התברר שגופים שונים נופלים בתאוצה שווה. מדוע? (השפופרת ללא תווך מעכב). כאשר נגדיר את התופעה, נתעלם מהאוויר כתווך מעכב. נציג את המודל המתאים: נחליף גוף בגוף נקודתי. מכיוון שלנקודה אין גודל, האוויר כתווך מעכב אינו משפיע על תנועתה.

תנועת גוף נקודתי בהשפעת כדור הארץ מכונה **נפילה חופשית** (נציין שזו הגדרה דינמית של התופעה). נפילת גופים בסמוך לפני קליפת כדור הארץ מתוארת די טוב על-ידי חוקי הנפילה החופשית.

2. מהם חוקי הנפילה החופשית? זוהי המשימה השנייה של השיעור, אותה ניישם באמצעות פתרון תרגילים.

מכיוון שנפילה חופשית היא תנועת גוף נקודתי בתאוצה קבועה g , מתאימות לתיאור התנועה הנוסחאות הקינמטיות שנלמדו בדבר תנועה שווה-תאוצה. נשתמש בהן עבור שלושה מקרים של נפילה חופשית: א. תנועה במהירות התחלתית המכוונת אנכית מעלה או מטה; ב. תנועה במהירות התחלתית המכוונת אופקית; ג. תנועה במהירות התחלתית המכוונת בזווית לאופק.

נפתור תרגיל ניסויי: מדידת זמן נפילת כדור מהשולחן. המורה ידגים הדמיות מהלומדה **גלילאו** (1.2, 1.3, ועד סוף הנושא "נפילה חופשית"), ונעבור על כמה תרגילים ממקבץ תרגילים 4 בספר הלימוד.

בחזרה על החומר הנלמד ובתרגול מקרי נפילה חופשית שונים נעסוק במשך כמה שיעורים, בהתאם להקצבת השעות. מומלץ לעבור על כל ההדמיות של הלומדה **גלילאו** וברציפות – זריקה אופקית וזריקה בזווית לאופק – ובכל ניסוי להדגיש את פירוק התנועה לנפילה חופשית אנכית ולתנועה קצובה בקו ישר (בכיוון האופקי).

תרגיל 1. גוף נזרק כלפי מעלה מגובה 20 מ' מעל פני הקרקע במהירות 10 מ'ש'. באיזו מהירות ייפול אל הקרקע?

תרגיל 2. תלמיד זרק אופקית כדור מחלון הבית, הנמצא בגובה 20 מ'. מה היתה מהירותו התחילית של הכדור, אם הוא פגע בקרקע במרחק 6 מ' מבסיס הבניין?

מטלות: סעיפים 17–18 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 4 (השלמות).

משימת חקר באמצעות הלומדה **גלילאו**: מהי זווית הזריקה שעבורה יהיה מרחק המעוף מרבי? (בין השאר יש גם לחקור גם את מרחק המעוף המרבי בתלות בגובה ההתחלתי).

שיעור 10. תנועה מעגלית קצובה של גוף נקודתי; פתרון תרגילים

מטרות השיעור

- * הכרת המאפיינים העיקריים של תנועה בקו עקום באמצעות תנועה מעגלית: מסלול, העתק, מהירות, תאוצה צנטריפטלית וזמן מחזור.
- * תרגול בפתרון תרגילים.

א. שיפור מיומנויות

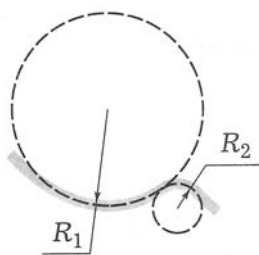
לצורך חזרה ושיפור מיומנויות יפתור תלמיד ליד הלוח תרגיל מהמטלות. במקביל ייערכו דיון וחקירת פרמטרים.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

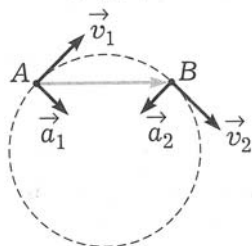
1. בטבע נפוצה יותר תנועה בקו עקום מאשר תנועה בקו ישר. במה מורכבת יותר תנועה בקו עקום מתנועה בקו ישר? בתחילת הדיון נקבע את המודל של הגוף: גוף נקודתי. אפיוני התנועה: א. במהלך תנועה בקו עקום משתנה יותר מקואורדינטה אחת; ב. כיוון המהירות משתנה, ולכן ניתן להסיק שבזמן התנועה קיימת תאוצה.

ניתן להציג כל קטע של תנועה במסלול עקום כקרוב לקשת של מעגל (ציור 6). לצורך המחשת המושגים ישתמש המורה בהדמיות של שני הפרקים הראשונים של הלומדה **רוטרי** (1.1 – 1.4, 2.1 – 2.5 בתת-הנושא "תנועה מעגלית").

2. נחקור מקרה פרטי וחשוב של תנועה בעקום: תנועה מעגלית קצובה.



ציור 6



ציור 7

גודל המהירות נשאר קבוע, אך כיוונה משתנה ברצף (ציור 7). ההעתק מכיוון לאורך המיתר AB, וכיוונו אינו זהה לכיוון המהירות. נמצא את גודל התאוצה וכיוונה על-פי התיאור שבספר הלימוד בסעיף 19.

סוגיות לדיון: במה תלוי גודל תאוצת הנקודה בתנועה מעגלית קצובה? האם משתנה התאוצה במהלך תנועת הנקודה במעגל? האם יכול גוף נקודתי לנוע במסלול עקום ללא תאוצה? האם משתנה התאוצה בתנועת גוף נקודתי לאורך המסלול המתואר בציור 7?

3. אחד ממאפייני התנועה המעגלית החשובים של גוף נקודתי הוא משך זמן מחזור הסיבוב T . מכאן שהמהירות שווה ל- $v = \frac{2\pi R}{T}$. נפתור כמה תרגילים בהשתתפות כל הכיתה.

תרגיל 1. זמן מחזור הסיבוב של לוויין כדור הארץ הוא 90 דקות, וגובהו מקליפת כדור הארץ 320 ק"מ. מהי מהירות הלוויין?

תרגיל 2. מהן המהירות והתאוצה הצנטריפטלית של קצה מחוג השניות של השעון, אם אורכו 10 ס"מ?

תרגיל 3. מהי התאוצה הצנטריפטלית של הכבסים במהלך הייבוש במכונת הכביסה, אם רדיוס התוף 20 ס"מ, ותדירות הסיבוב שלו 600 סיבובים לדקה?

מטלות : סעיף 19 בספר הלימוד.

משימת חקר : האם נכון תהליך בניית וקטור התאוצה הצנטריפטלית עבור פרק זמן ארוך במעבר בין המקום התחלתי של הנקודה הסובבת לבין מקומה הסופי (על-פי הדמיה 2.3 של הלומדה **רוטרי**)?

שיעור 11. תנועת העתקה ותנועה סיבובית של גוף קשיח

מטרות השיעור

- * הכרת המושג **גוף קשיח** כמודל הגוף.
- * הגדרת המשתנים בתנועות מכניות פשוטות של גוף קשיח : מסלול, מהירות זוויתית ומהירות קווית.
- * שימוש במודל גוף קשיח לתיאור תנועות גופים.
- * הכרת גבולות השימוש במודל גוף נקודתי.

א. דיון ובדיקת מטלות

בתחילת השיעור נבצע בדיקה קצרה של המטלות. נדון שוב בסוגיות : מהם יעדי הלמידה במכניקה? מהו מודל הגוף שהגדרנו? מדוע משתמשים במודלים לצורך חקירת תנועה של גוף? מהו מודל של גוף? (כל מחליף של גוף, המאפשר לחקור את תכונותיו ותנועותיו).

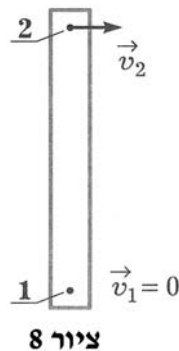
ב. מתווה להצגת החומר החדש

האם לכל סוג של תנועת גוף קשיח מתאפשר השימוש במודל גוף נקודתי? לדוגמה : ספר מסתובב. לא נוכל לתאר תנועה זו באמצעות מודל גוף נקודתי. אילו מודלים נוספים של גוף קיימים? מתי וכיצד יש להשתמש בהם?

1. הכרת המושג **גוף קשיח** כמודל של גוף. סוגיות לדיון : האם קיים גוף קשיח בטבע? באילו מקרים יש להציג את תנועת הגוף כתנועה של גוף קשיח? איזה מהמודלים של גוף – גוף נקודתי או גוף קשיח – מורכב יותר? איזה מהם מתאר את הגוף טוב יותר?

2. תנועת העתקה : הגדרה, הדגמה באמצעות ניסוי. בתנועת העתקה נעות כל נקודות הגוף באופן זהה (צורת המסלול, דרך, העתק, מהירות, תאוצה). לכן מספיק לתאר את תנועתה של נקודה אחת. בחירת הנקודה תהיה שרירותית.

3. תנועה סיבובית: הגדרה, הדגמה באמצעות ניסוי. סוגיות לדיון: אילו גדלים פיזיקליים מגדירים את התנועה הסיבובית? האם שווה המהירות הזוויתית לכל נקודות הגוף? כיצד מגדירים את המהירות הקווית של נקודות הגוף? האם שווה תאוצת כל נקודות הגוף המסתובב?



ג. מומלץ לדון בתרגילים הבאים:

1. הוכיחו שדושת האופניים מבצעת תנועת ההעתקה (על-פי ציור 50 בספר הלימוד).
2. איזו תנועה מבצע גוף, ששתיים מנקודותיו נעות במהירות שונה (ציור 8)? היכן נמצא ציר הסיבוב?
3. דוגמת פתרון תרגיל מסעיף 21 בספר הלימוד.

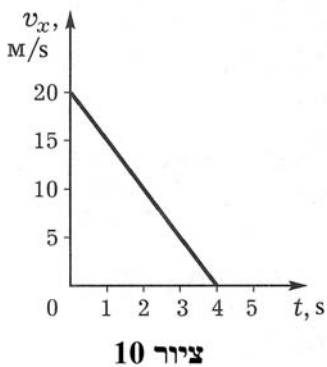
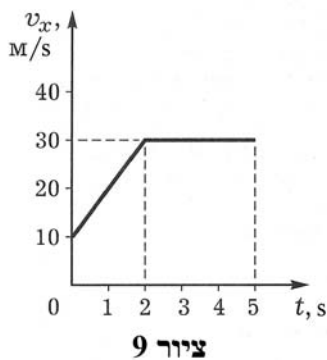
מטלות: סעיפים 20 ו-21 בספר הלימוד. מקבץ תרגילים 5.

שיעור 12. חזרה כללית; מבחן

מטרת השיעור

- * בחינת הידע וההבנה של תנועה ומאפייניה השונים. להלן דוגמה של מבחן אופייני בקינמטיקה:

גרסה א



1. מכונית, שנסעה במהירות של 20 מ'ש', התחילה להאט, ועד לעצירתה עברה 20 מ'. מה היתה תאוצת המכונית? מה היה משך זמן הבלימה?
2. הגרף שבציור 9 מתאר את תנועתו של גוף נקודתי. מה היתה תאוצת הגוף בכל שלב משלבי התנועה? איזו דרך עבר הגוף במשך 5 שניות?
3. לאיזה גובה יעלה החץ, שנורה אנכית מעלה מקשת, במהירות של 10 מ'ש'? מהו ההעתק של החץ ברגע נפילתו על הקרקע? יש להזניח את התנגדות האוויר.

גרסה ב

1. משוואת התנועה של גוף נקודתי בקו ישר היא $x = 4 - 4t + 4t^2$. מהי תאוצת הגוף? באיזה רגע היתה מהירותו שווה ל-0?
2. מהו סוג התנועה של גוף נקודתי, המתוארת על-ידי הגרף בציור 10? מהי תאוצת הנקודה? איזו דרך עברה הנקודה ב-2 שניות?
3. זמן מחזור סיבוב של גלגל השחזה, שרדיוסו 10 ס"מ, 0.01 שנייה. מהי המהירות ומהי התאוצה הצנטריפטלית של נקודות הגלגל המרוחקות ביותר מציר הסיבוב? לוו את הפתרון בשרטוט.

גרסה ג

1. כמה זמן נפל גוף, אם ידוע שב-2 השניות האחרונות של נפילתו עבר 60 מ'? את התנגדות האוויר ניתן להזניח.
2. מהירות הסירה יחסית למים 6 מ'ש', ומהירות זרימת המים בנהר 2 מ'ש'. הסירה אמורה לחצות את הנהר במסלול הקצר ביותר. להיכן יש לכוון את מהירות הסירה יחסית לקו החוף?
3. באיזו מהירות תנוע מכונת על גשר קמור, שרדיוסו 40 מ', כך שהתאוצה הצנטריפטלית תהיה שווה לתאוצת הנפילה החופשית?

פרק II. חוקי ניוטון

בכיתה י' מאורגן הנושא "דינמיקה" בשלושה חלקים: חוקי ניוטון; חוקי הפעולות ההדדיות (כוחות); ותרגול בפתרון תרגילים.

הדינמיקה מנמקת את הסיבה לתנועתם המואצת של גופים: השפעת גופים זה על זה (השפעה הדדית). החוק הכללי ביותר, המתאר את תוצאת הפעולה של גוף אחד על האחר, הוא החוק השני שניסח **ניוטון**, הקובע את הקשר בין הגדלים הבאים: הכוח המופעל על הגוף; מסת הגוף; ותאוצתו. כך ניתן למצוא את תאוצת הגוף על-פי מסתו והכוח המופעל עליו, ובהמשך – למצוא את מאפייניו הקינמטיים. חוקי ניוטון מאפשרים לתאר תנועה של גוף נקודתי במערכת אינרציאלית ללא תלות בסוג הכוח הפועל על הגוף.

בלימודי הדינמיקה מומלץ להתמקד ברכישת המיומנויות הבאות:

- לבדוד את חלקי המערכת (גופים ותנועותיהם) ולהגדיר את הגדלים המאפיינים אותם (מסה, כוח וכד').
- לתכנן וליישם ניסויי חקר בסיסיים (כגון: תלות של כוח חיכוך ב...; תלות של הכוח האלסטי ב...; תלות של מרחק המעוף ב...), להציג את הממצאים בצורת גרפים, טבלאות וחישובים, ולפרש את התוצאות.
- להשתמש בשיטות מחקר מדעיות (צפייה, מדידה, השערה, הצגה באמצעות מודל, ניתוח תוצאות ומסקנות), ולתאר באמצעותן את התופעות המכניות.
- להבין את אופי הידע המתקבל (עובדה, השערה, חוק, עיקרון, מודל, גוף טכני ועוד).
- להשתמש בידע המתקבל לצורך הסבר תופעות נוספות בטבע, ולהעריך את גבולות השימוש של הידע החדש (חוקי ניוטון, חוק הוק, מודל גוף נקודתי).

שיעור 1. גופים והפעולות ביניהם; תנועה בהתמד

מטרות השיעור

- * הצגת העיקרון סיבה-תוצאה.
- * העמקת המושג **גוף נקודתי**.
- * הכרת הפעולות בין הגופים והגוף החופשי.
- * הצגת משמעותה של התנועה בהתמד כתנועה בתנאים אידיאליים.
- * תרגולת מיומנויות לזיהוי הפעולות ההדדיות בין הגופים וההשפעות ההדדיות הנובעות מהן; ואפיון באופן איכותי.

א. חזרה ודיון

נדון בתוצאות המבחן בקינמטיקה בשילוב חזרה על עקרונות החומר הנלמד. סוגיות לדיון: מהו מושג התנועה במכניקה? על אילו סוגי תנועה (לפי מסלול, מהירות, תאוצה) למדנו? אילו מהם נפוצים ביותר בטבע ובהנדסה? מהו גוף נקודתי? לצורך מה מגדירים את המושג הזה? מהי מערכת ייחוס? מה הצורך בה? באמצעות אילו שתי שיטות ניתן להגדיר את אפיוני התנועה: קואורדינטה, זמן, מהירות, תאוצה?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

בדינמיקה מנמקים את הסיבות לתנועה מכנית של גופים, כלומר מגלים את טבעה של תופעת התנועה, וכך מגדירים את אפיוני התנועה.

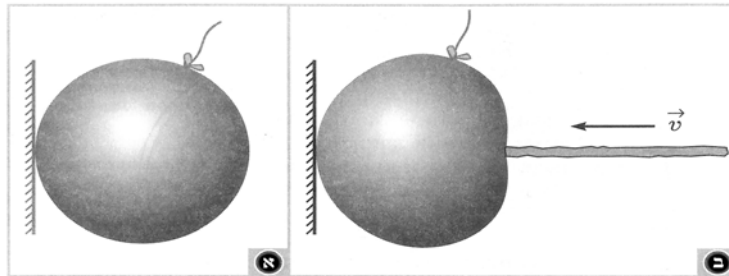
מראשית היותו יצור נבון תהה האדם: מה הגורם לתנועה קצובה ולתנועה מואצת? האם אותו גורם הוא? המורה יסקור את מהלכי החיפוש ההיסטוריים לתשובות לשאלות אלה, ורצוי לצטט מקורות. המסקנה הכללית: מידע המצטבר באטיות ובעמל רב של מדענים רבים. אבי הדינמיקה, שהיא עיקרה של המכניקה, הוא הפיזיקאי הגאון **אייזיק ניוטון**, שחי באנגליה במאה ה-17. באותה תקופה הלכה אנגליה והפכה מארץ חקלאית לממלכה תעשייתית. גידול מהיר של התעשייה דרש פיתוחים טכניים חדשים, ופיתוח מכשירים חדשים אינה אפשרית ללא תמיכה מדעית. כך עודדה התעשייה את פיתוחה של הפיזיקה. **ניוטון** היה ראש וראשון בין מדעני התקופה ההיא.

באילו תנאים מתרחשת תנועה מואצת של גופים? ניסויים ותצפיות רבים הביאו למסקנה: גוף נע בתאוצה כאשר פועל עליו גוף אחר (או כמה גופים אחרים). במסקנה זו ניתן להיווכח באמצעות ניסויים פשוטים: א. כדור נופל חופשית בהשפעת כוח הכבידה של כדור הארץ; ב. עיפרון מתחיל לנוע, כלומר משנה את מהירותו, בהשפעת כוח היד; ג. מגנט משנה את כיוון תנועתו של כדור פלדה שנע בקו ישר.

הניסויים מוכיחים: כאשר פועל גוף אחד על אחר, יפעל השני על הראשון. פעולות חד-כיווניות אינן קיימות. נצפה בהתנגשות בין שני כדורי ביליארד, בדחיית שתי עגלות זו מזו באמצעות קפיץ המכווץ ביניהן.

סוגיות לדיון: על סמך מה אפשר לטעון שגופים פועלים אחד על האחר? מהי התוצאה של פעולת גוף על הגוף האחר? מתי מתחילה ומתי מסתיימת פעולת הגוף האחר? את המסקנות ינסח המורה: א. תופעת הפעולה ההדדית היא חוק טבע; בטבע אין פעולות חד-כיווניות; ב. בפעולה הדדית משתתפים תמיד שניים (או יותר) גופים, וזו מתגלה בשינוי מהירויות הגופים או בעיוות שנגרם להם. המסקנה האחרונה נתמכת על-ידי הניסוי: בלון אוויר התלוי על חוט נמצא ליד קיר (ציור 11). לוחצים עליו במקל.

סוגיות לדיון : מה קורה לבלון? האם משתנה מהירותו (מצב מנוחתו)?



ציור 11

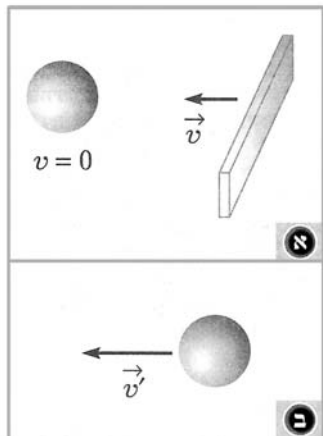
ומה כן משתנה? מהי ההשערה שניתן לשער בעקבות הניסוי? מסקנת המורה תהיה: הפעולה עשויה לגרום לשינוי צורתו של הגוף (עיוות); במקרה זה אי-אפשר להציג את הגוף כגוף נקודתי.

האם יכול גוף להימצא במנוחה, כאשר פועל עליו גוף אחר? לצורך דיון מציגים כדור התלוי על חוט. דיון: האם פועלים על הכדור גופים אחרים? אם כן, אילו גופים פועלים עליו? מדוע אין הכדור משנה את מהירותו (את מצב מנוחתו)? האם תשתנה מהירותו של הכדור אם נבטל את אחת מפעולות הגופים? כיצד לעשות זאת באופן מעשי? המסקנה: שתיים (או יותר) פעולות על הגוף עשויות לקזז זו את זו ולהשאיר את הגוף במצב שיווי-משקל. עם זאת, הפעולות עצמן אינן נעלמות.

כיצד ינוע גוף כאשר לא יפעלו עליו גופים אחרים? מתנסים בניסוי: הלומדה **ניוטון**, הדמיה 1.1. סוגיות לדיון: באיזה מקרה הולכת המהירות וקטנה לאט יותר? מדוע? כיצד היה נע הכדור, אילו כלל לא היתה התנגדות לתנועה? כמסקנה יצטט המורה את **גלילאו**: "כאשר גוף נע במישור אופקי ולא נתקל בהתנגדות לתנועתו, תהיה תנועתו קצובה ותימשך ותתמיד לעולם". יש לשנן את הגדרת התנועה בהתמדה, ולבסוף לדון בסוגיה: אילו מהתנועות שמסביבנו הן תנועה בהתמדה? מגדירים את המושג **גוף חופשי** (גוף נקודתי) כגוף אידיאלי.

ג. משימות חקר

המסקנות שאליהן הביא הדיון נתמכות בניסויים, ואלה יתורגלו על-ידי התלמידים באורח חופשי. הציוד הדרוש: שני כדורים, סרגל ודף נייר.



ציור 12

משימה 1. צפייה בכדורים מתנגשים: שרטטו את

מצבי הכדורים: א. תנועת הכדורים לפני ההתנגשות: כיוון וגודל של המהירות; ב. הפעולה ההדדית: כיווני הכוחות והתאוצות; ג. תנועת הכדורים לאחר ההתנגשות: כיוון וגודל של המהירות. נסיק: מהי התוצאה של הפעולה ההדדית?

משימה 2. עקבו אחר פעולת הסרגל על כדור ניח

(ראו ציור 12) ושרטטו: א. מצב הכדור לפני מכת הסרגל; ב. תוצאת המכה של הסרגל על הכדור: כיווני המהירות, התאוצה והכוח; ג. מצב הכדור לאחר פעולת הסרגל. השיבו לשאלה: אילו אפיונים של תנועת הכדור משתנים עקב פעולת הסרגל עליו?

מטלה: סעיפים 22 – 23 בספר הלימוד.

שיעור 2. מערכות ייחוס אינרציאליות

החוק הראשון של ניוטון; עקרון היחסות של גלילאו

מטרות השיעור

- * המשך חקירת תנועת גופים במערכות ייחוס שונות.
- * המושג **מערכת ייחוס אינרציאלית** ויתרונותיה בתיאור התנועה המכנית.
- * החוק הראשון של הדינמיקה ועקרון היחסות.

א. דיון וחזרה

השיעור יתחיל בחזרה פרונטלית קצרה בסוגיות: איזו תופעה מכונה **תנועה בהתמד?** מה התכונה הבסיסית של הגופים הסובבים אותנו? (ניתנים להשפעה הדדית). מדוע מחליפים את הגוף בחקר תנועתו בגוף נקודתי? מהי מערכת ייחוס? (אמצעי לתיאור תנועה, המורכב ממערכת צירים, מגוף ייחוס ומשעון). לאיזה צורך משתמשים במערכות ייחוס? (לתיאור תנועת הגופים: מציאת הקואורדינטות, מציאת המסלול וכד').

על-פי הוראת המורה יבוצעו כמה משימות ניסוי:

משימה 1. הציבו מחק על דף נייר. סוגיות לדיון: האם משתנה מצב המחק

פיזיקה 10 מערכי שיעור – מריך למורה

יחסית למערכת ייחוס הקשורה לשולחן: האם משתנה מצב המחק במערכת הייחוס הקשורה בדף נייר, כאשר הדף נמצא בתנועה? מהו השוני בין שני המצבים?

משימה 2. כיצד ישתנה מצב תנועה של המחק בשתי מערכות הייחוס הנבחרות, אם נניע את הדף בקו ישר ובתנועה קצובה? כיצד נוכיח שמסלול תנועת הגוף תלוי בבחירת מערכת הייחוס, שיחסית אליה מתוארת התנועה? באיזה מקרה מסלול תנועת המחק הוא קו פשוט ביותר? (באותה מערכת הייחוס שבה נמצא הגוף במנוחה). באיזו מערכת ייחוס נוח ביותר לתאר את תנועת הגוף?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

1. את לימוד החומר החדש נתחיל מהסוגיה שכבר נדונה: האם בכל מערכת ייחוס יימצא גוף חופשי במצב מנוחה או בתנועה קצובה ובקו ישר?

ועוד סוגיה: האם תלוי מצב המנוחה של גוף במערכת הייחוס, שבה מתארים את תנועתו? המורה ינהל ויכוון דיון בנושאים הבאים: כיצד ניתן לפתור סוגיה זו באופן תיאורטי ובאופן מעשי? האם שווה תנועת משקולת יחסית למערכת ייחוס, הקשורה לשולחן, מזו הקשורה לאדם רץ? האם קיימת מערכת ייחוס, שיחסית אליה נע גוף בתנועה קצובה בקו ישר? נציג דוגמאות למערכות ייחוס כאלה, ונבדוק: במה שונות תנועות הגוף המתוארות במערכות ייחוס אלה? אם יתבקש, חוזרים על הסוגיות: מהו גוף חופשי? באיזה מקרה נמצא גוף במנוחה?

המורה יכליל: קיימות מערכות ייחוס, שיחסית אליהן גוף נח או נע בתנועה קצובה ובקו ישר, רק אם לא פועלים עליו גופים אחרים, או שפעולותיהם מתקזזות. מערכות ייחוס כאלה מכונות **אינרציאליות**.

2. מהן התכונות העיקריות של מערכת ייחוס אינרציאלית? ראשית, תנועתו של גוף חופשי (או גוף שכל ההשפעות עליו מקוזזות) במערכת ייחוס כזו היא הפשוטה ביותר: מנוחה או תנועה קצובה בקו ישר. בתנועה שכזו במערכות אינרציאליות אחרות משתנים גודל מהירות הגוף וכיוונה; שנית, במערכת ייחוס אינרציאלית מתרחשים שינויי מהירותו של גוף כתוצאה מהשפעת גופים אחרים. במערכות ייחוס אחרות, שאינן אינרציאליות, תלויה תאוצת הגוף גם בתכונות מערכת הייחוס עצמה; שלישית, במערכות ייחוס אינרציאליות גופים, שתנאי ההתחלה שלהם שווים, נעים בצורה זהה יחסית למערכת הייחוס. ניתן להדגים זאת באמצעות

ניסוי: כדור שננטש מהיד נופל באורח זהה בחדר הכיתה ובקרון הרכבת, הנוסעת בקו ישר במהירות קבועה. הפיזיקאי הגאון האיטלקי **גלילאו** כתב: "אבן תיפול תמיד באותה נקודה על סיפון האונייה, אם היא נחה או שטה במהירות קבועה כלשהי ובקו ישר..." הטענה, שתופעות מכניות מתרחשות בצורה דומה בתנאי התחלה דומים, קיבלה את כינויה: **עקרון היחסות של גלילאו**.

3. מהי המשמעות של עקרון היחסות? כיצד נבדוק אותו באופן ניסויי?

אפשר לבחור מערכות אינרציאליות שונות, ובכל אחת מהן לחקור ולתאר את התופעות המכניות. מכאן עולה סוגיה חשובה: האם תיאור התופעות יהיה זהה במערכות ייחוס אינרציאליות שונות, כלומר: האם חוקי התנועה יהיו זהים? עקרון היחסות עונה על שאלה זו באופן חיובי: ניתן להשתמש ללא חשש בחוקי המכניקה בכל מערכת אינרציאלית שהיא, אולם נוח יותר להשתמש במערכת אינרציאלית כזו, שצירי הקואורדינטות בה מתואמים עם תנאי ההתחלה של תנועת הגוף.

נערוך משימות ניסוייות באמצעות הציוד הבא: שני גופים ושני דפי נייר, שמצוירות בהם מערכות צירים.

משימות: א. מקמו את הגופים A ו-B במערכות הצירים כך, שהקואורדינטות שלהם תהיינה זהות; ב. הניעו את המערכת 1 בקו ישר ובמהירות קבועה יחסית למערכת השנייה; ג. מדדו את הקואורדינטות וחשבו את מהירויות הגופים במערכות הייחוס שלהם; ד. השוו את הקואורדינטות ואת מהירותו של הגוף בשתי מערכות הייחוס, והסיקו מסקנות.

סוגיות לדיון: האם מערכות הייחוס 1 ו-2 הן אינרציאליות? כיצד ניתן להוכיח זאת? האם זהות הקואורדינטות והמהירויות ההתחלתיות של הגופים A ו-B בשתי מערכות הייחוס? כיצד נעים שני הגופים במערכות הייחוס שלהם? האם זהים הקואורדינטות, המהירויות, ההעתקים והמסלולים של גוף A במערכות הייחוס 1 ו-2?

את המסקנה ינסח המורה: בתנאי התחלה זהים זהה אופייה של התופעה המתוארת במערכות ייחוס אינרציאליות שונות, אולם הערכים הקינמטיים, המתארים את התנועה, תלויים במערכת הייחוס.

ג. סוגיות לסיכום השיעור

מהי מערכת ייחוס אינרציאלית? מה קובע החוק הראשון של ניוטון? מהו עקרון היחסות?

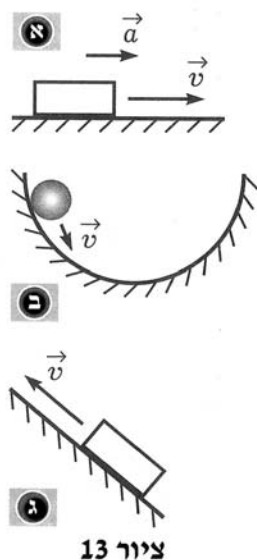
מטלות: סעיפים 24 ו-30 בספר הלימוד.

שיעור 3. המסה: הגודל המאפיין את מידת ההתמד של גוף

מטרות השיעור

- * פיתוח המושג **התמד** כאחד ממאפייני הגוף.
- * הפנמת המושג **מסה** כגודל פיזיקלי.
- * תיאור תוצאות הפעולה ההדדית שבין גופים בתלות תכונת ההתמד.

א. מתווה לחזרה ולדיון



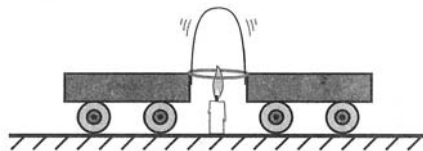
ציור 13

1. התלמידים יקבלו בוחן בכתב כדלקמן:
משימה 1. לאיזה מהגופים המתוארים בציור 13 ניתן לקשור מערכת ייחוס אינרציאלית? נמקו את התשובה. במה מתבטאת הפעולה ההדדית שבין הגופים? ציירו שרטוט המלווה את התשובה.

משימה 2. ציינו את הפעולות ההדדיות בתופעות הבאות: כדור נופל על אדמה; ספר מונח על שולחן; שתי מכוניות מתנגשות בצומת. נמקו את התשובות. במה שונה מערכת ייחוס אינרציאלית ממערכת שאינה אינרציאלית? הביאו דוגמאות ואיורים של מערכות משני הסוגים.

2. נדון בסוגיות הבאות: האם אפשר לטעון שמשקולת, התלויה על פן, נמצאת במצב מנוחה? כיצד נוכיח זאת? מהו התנאי למנוחת הגוף או לתנועתו הקצובה בקו ישר? האם ניתן להבחין בין מצב מנוחה לבין תנועה קצובה בקו ישר? (אפשרי במערכת הייחוס של הצופה. מנקודת מבט של צופים שונים, הקשורים במערכות ייחוס אינרציאליות שונות, אי-אפשר. דוגמאות: ...). האם ניתן להבחין בין מצב

המנוחה, בהיעדר פעולות הדדיות בין גופים, לבין מצב מנוחה עקב קיזוזן של פעולות אלה? (מנקודת המבט של הקינמטיקה אי-אפשר; מנקודת מבט של הדינמיקה – ניתן). האם כל מערכות הייחוס נוחות לשימוש באותה מידה? האם כל מערכות הייחוס האינרציאליות נוחות לשימוש באותה מידה? הוכיחו שמערכת צירים, הקשורה לדיסק מסתובב, אינה אינרציאלית.



ציור 14

ב. משימת הלימוד העיקרית של השיעור

האם תלויה תאוצת הגופים כתוצאה מפעולות הדדיות ביניהם בתכונותיהם של הגופים?

1. המורה ידגים ניסוי בשתי עגלות, הקשורות ביניהן בחוט כותנה (בעת בעירתו יתנתק), וקפיץ קשתי לחוץ ביניהן (ציור 14).

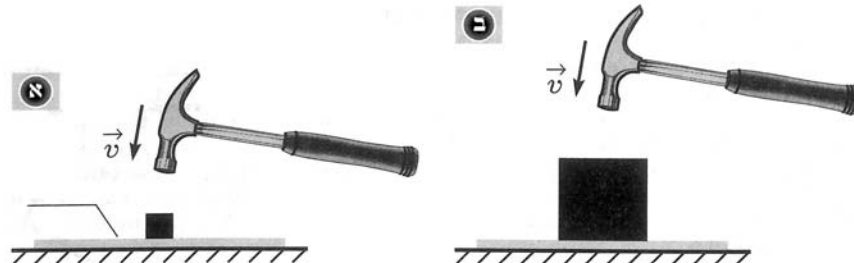
סוגיות לדיון: האם ישתנה מצב התנועה של העגלות כאשר הן פועלות זו על זו ברגע התנתקות החוט? לאן מכוונת התאוצה? כיצד נוכיח זאת? (נשרטט במחברת). האם מהירותן של עגלות שונות תשתנה בניסוי חוזר במידה שונה? (התלמידים ישערו השערות, ולאחר מכן נעביר את הניסוי).

המסקנה: כתוצאה מפעולה הדדית משנים גופים שונים את מהירותם במידה שונה; תכונת הגופים לשנות את המהירות במידה שונה מכונה **התמד**.

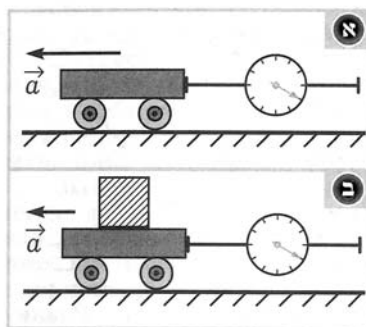
מושג ההתמד יקבל חיזוק נוסף בדיון בסוגיות: מדוע נסדק משטח הזכוכית לאחר מכת הפטיש במשקולת הקטנה המונחת עליו – ונשארת שלמה לאחר מכת הפטיש במשקולת הגדולה (ציור 15א, ב)? מדוע שונה התוצאה לאותה פעולה על גופים שונים (ציור 16א, ב)? מדוע נקרע החוט התחתון – בעוד החוט העליון נותר שלם, כאשר נמשוך בחוט התחתון בבת-אחת (ציור 17)? האם אפשר לשנות מהירות של גוף באופן מיידי? איזה גוף קל יותר להוציא ממצב מנוחה: בעל התמד גדול או בעל התמד קטן?

2. מטרת המדע היא לאפיין את התופעות הפיזיקליות באופן כמותי, באופן המדויק ביותר, ולכן מאפיינים את תכונות הגופים באמצעות גדלים פיזיקליים. את תכונת ההתמד מאפיינים באמצעות **מסה**, כלומר: **מסה היא מידת ההתמד של גוף**. ככל שמסתו גדולה יותר – כן מידת ההתמד של הגוף גדולה יותר, וקצב שינוי מהירותו עקב פעולת גופים אחרים עליו קטן יותר. נעביר את הניסויים המאבחנים

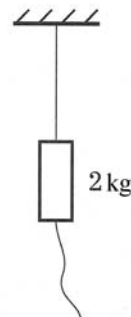
הבדלי מסות של גופים שונים: התנגשות בין שני כדורים, הדיפת שני תלמידים העומדים על עגלות, משיכת מגנטים קבועים שוני מסה וכד'.



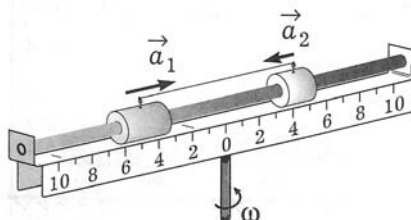
ציור 15



ציור 16



ציור 17



ציור 18

נדון בסוגיות: כיצד למצוא את מסת הגוף? (נמדוד אותה, כלומר נשווה את מסת הגוף הנתון עם מסה תקנית. את תקן המסה, שהוא הגוף שמסתו שווה לאחת, מייצרים במיוחד לשם כך).

כיצד להשוות את מסת הגוף עם המסה התקנית? השיטה הראשונה: פעולה ישירה בין הגוף לבין הגוף התקני. המורה יעביר ניסוי (ציור 18), יסביר וידון עם תלמידיו במשמעות הנוסחה הידועה: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$. מדוע בחירת גוף בעל מסה תקנית היא עניין כה חשוב? אילו תקנים של מסה ידועים לכם מההיסטוריה של הפיזיקה? האם הגופים הנמצאים על המוט המסתובב (ראו ציור 18) פועלים זה על זה? כיצד אפשר למצוא את התאוצה של הגופים הסובבים? האם נוח למדוד מסת גוף בשיטה הזאת?

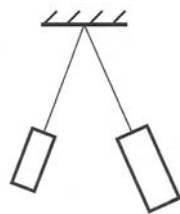
השיטה השנייה: שקילה. מימי קדם שקלו באמצעות משקל-מנוף. לפני כ-3000 שנה השתמשו במצרים העתיקה בשיטה זו

כדי להשוות בין מסות. לצורך זה היו קיימות מסות תקניות מברונזה.

נעביר ניסויים וירטואליים מההדמיה **ניוטון** (ניסויים 3.1, 3.2, 3.3).

סוגיות לדיון: האם הגופים פועלים זה על זה במהלך השוואת מסותיהם באמצעות שקילתם? כיצד אפשר להוכיח באופן ניסויי שמסת הרובה גדולה ממסת קליע? האם ניתן להוכיח זאת באופן תיאורטי? האם מעשי למדוד את מסת האלקטרון באמצעות משקל מנוף? מדוע? איזו שיטה למדידת מסה שגורה יותר? כיצד להוכיח באופן ניסויי שמסת שני גופים שווה לסכום המסות של כל אחד ואחד מהם? קיימות שיטות נוספות למדידת מסה של גוף – לדוגמה, באמצעות מאזני קפיץ (המורה ידגים מאזני מטבח פשוטים). עקרון הפעולה של מאזניים כאלה יתואר בהמשך.

ג. עבודה עצמית



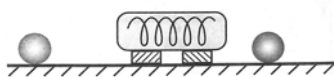
ציור 19

בצעו תחילה משימה ניסויית: השוואת מסותיהם של שני גופים. סוגיות לדיון: כיצד מתבטאת הפעולה ההדדית בין שני הגלילים בעת התנגשותם (ציור 19)? כיצד משתנה מהירות הגלילים? (נצייר את שני המצבים: לפני ההתנגשות ולאחריה). איזה גליל רכש מהירות גבוהה יותר? כיצד נוכיח זאת? איזה גליל בעל מסה גדולה יותר? האם אפשר על-פי ניסוי זה למדוד את מסת הגליל? אם כן, כיצד?

בוחר

גרסה 1

לאחר התנגשות בין שני גופים הואצו שני הכדורים ב- 0.1 m/sec^2 וב- 1 m/sec^2 . האם מסותיהם שוות? האם ניתן למצוא את היחס שבין המסות של שני הכדורים? אם כן, כיצד?



ציור 20

גרסה 2

תרגיל: מירי אקדח קפיצי הועפו הכדורים למרחקים 1 מ' ו- 2 מ' (ציור 20). האם שוות מסות הכדורים? מהי המסה של הכדור האחד, אם ידועה מסתו של הכדור השני: 20 גרם?

שיעור 4. הכוח כמאפיין של פעולה

מטרות השיעור

- * הכרת המושג **כוח** כגודל פיזיקלי, המאפיין את הפעולה של גוף אחד על האחר.
- * מציאת הפעולות המאופיינות על-ידי כוחות.
- * שרטוט כוח כווקטור, חיבור כמה כוחות, מדידת גודלו של כוח.

א. חזרה ודיון

1. שני תלמידים יכינו מצגות בנושאים: א. השוואה בין המסה של כדור הארץ לבין המסה של הירח; ב. התמד ומסה.
2. **תרגיל:** שני גופים בעלי מסות 400 ג' ו-600 ג' נעו זה לקראת זה, ולאחר ההתנגשות נעצרו. מה היתה מהירות הגוף השני, אם הראשון נע במהירות 3 מ/ש? לוו את הפתרון בשרטוטים.
3. נדון שוב בסוגיות: במה מתבטאות הפעולות ההדדיות שבין כדור הארץ והירח? מה נחוץ לדעת כדי לחשב באופן תיאורטי את מסת הגוף? איזו תכונה של גוף מאופיינת על-ידי המסה?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

משימת השיעור תתגבש באמצעות דיון בסוגיות: מהם הקובעים את תאוצת הגופים הפועלים האחד על משנהו? האם תלויה תאוצת הגוף בגודל ההשפעה עליו? האם יודעים אנו להשוות בין הפעולות של הגופים האחד על משנהו? אם כן, כיצד? כיצד נאפיין את הפעולה?

1. המורה יעביר ניסויים באמצעות ציוד מעבדתי (V-סקופ וכד') ובאמצעות הלומדה **ניוטון** (הדמיות 2.2, 2.3) (ציור 21). סוגיות לשיחה ולדיון: האם משתנה תאוצת העגלה כאשר משתנה פעולת החוט (המשקולת) עליה? במה נבדלות פעולות הגופים האחד על משנהו? (במגמה ובנקודת ההפעלה).



ציור 21

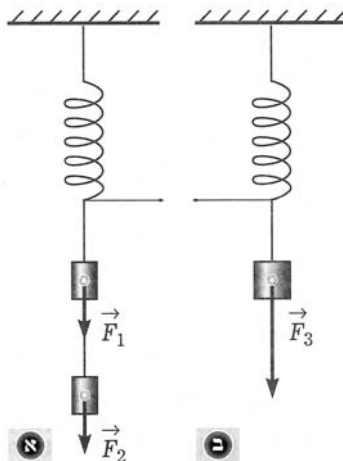
כדי לאפיין את פעולתו של גוף אחד על האחר מגדירים גודל פיזיקלי: **כוח**. כוח הוא גודל וקטורי. וקטור הכוח מתאפיין בנקודת הפעלה, בכיוון, במגמה לאורך קו הכיוון ובעוצמה (גודל). נבדיל בין המושגים **כוח לפעולה**: פעולה היא תופעה פיזיקלית ריאלית, וכוח הוא האמצעי לתיאורה.

2. בדומה לטיפול בכל גודל פיזיקלי, יש לדעת כיצד למדוד את הכוח, כלומר להשוותו עם כוח תקני. ככוח תקני נבחר כוח כזה, שבפרק זמן של 1 שנייה משנה את מהירותו של גוף בעל מסה של 1 ק"ג ב-1 מ"ש. יחידת כוח זו מכונה **ניוטון** (1N). במעבדה מודדים כוח באמצעות דינמומטר (המורה ידגים את פעולת המכשיר). הקפיץ המתוח מפעיל כוח על הגוף. בכוח זה ניתן להשתמש ככוח תקני, ואת גודלו נקבע לפי התארכות הקפיץ.

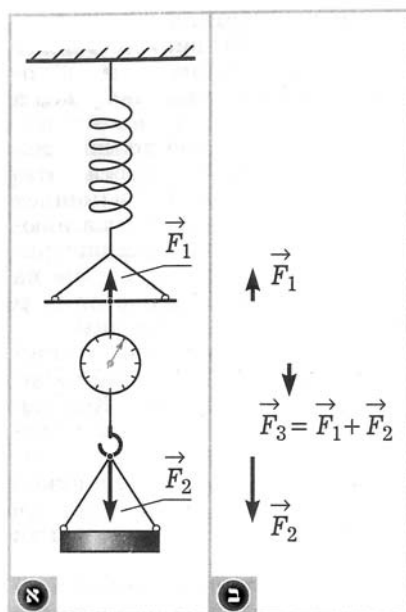
סוגיות לדיון: כיצד בנוי דינמומטר בסיסי? באילו יחידות הוא מכויל? כיצד מכוילים דינמומטר? כיצד מודדים כוח בלתי ידוע? למשל: כיצד נמדוד את כוח הכבידה הפועל על משקולת נתונה?

3. גוף עשוי להיות נתון להשפעה של כמה פעולות, וכל פעולה מתאפיינת על-ידי כוח. האם אפשר לתאר את הפעולות האלה באמצעות כוח אחד? אם כן, כיצד? כיצד נגדיר כוח זה? כלומר: כיצד נחבר כוחות כדי לקבלו?

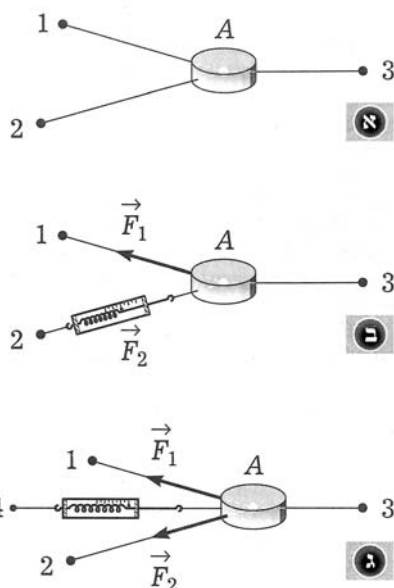
גדלים וקטוריים מתחברים לפי כללים אחרים מאלה של גדלים סקלריים. רק לפעולת חיבור כוחות, המופעלים על גוף אחד בלבד, קיימת משמעות פיזיקלית. המורה יזכיר את המקרים הפשוטים ביותר של חיבור כוחות: כאשר אלה פועלים בכיוון אחד, באותה מגמה או במגמות נגדיות. המורה יתלה תחילה משקולת אחת, ולאחר מכן משקולת נוספת (ציור 22). נדון בסוגיות: מהי ההתארכות הנוספת של קצה הקפיץ? האם אפשר להחליף את פעולת שתי המשקולות בפעולה של משקולת אחת? כמה כוחות פועלים על הוו של הדינמומטר שבציור 23? להיכן הם מכוונים? לסיכום תינתן ההגדרה: הכוח, שהשפעתו על הגוף שווה להשפעת מספר הכוחות הפועלים על הגוף בו-זמנית, מכונה **הכוח השקול** לכוחות אלה. נדגיש שחיבור ופירוק של הכוחות הם פעולות מתמטיות, והכוח השקול המתקבל אינו מתאר שום פעולה אמיתית.



ציור 22



ציור 23



ציור 24

כיצד מוצאים את הגודל ואת המגמה של הכוח השקול, כאשר הכוחות מכוונים במגמות נגדיות לאורך אותו קו? באיזה תנאי ישווה הכוח השקול לאפס? כיצד ישתנה הכוח השקול כאשר הכוח F_2 יגדל? כיצד נחבר שני כוחות, הפועלים בזווית

זה לזה? לצורך הדגמה ישתמש המורה בצידוד המעבדה לסטטיקה (ציור 24). סוגיות לדיון: כמה גופים (וכוחות) פועלים על הדסקית (ציור 24א)? כיצד אפשר למדוד את הכוחות האלה בנפרד באמצעות דינמומטר (ציור 24ב)? (במקומה של הגומייה מכניסים את הדינמומטר כך, שהדסקית A תתמקם במקומה ההתחלתי). כיצד נמדוד את הכוח השקול של הכוחות $\vec{F}_1$ ו- $\vec{F}_2$ (ציור 24ג)? כיצד נחשב את הכוח השקול של הכוחות $\vec{F}_1$ ו- $\vec{F}_2$? ננסח את המסקנה: הכוח השקול לשני כוחות, הפועלים בזווית זה לזה, הוא אלכסון של המקבילית.

ג. דיון מסכם

בתום השיעור נחזור על הסוגיות: מהו כוח? לצורך מה משתמשים במושג זה? כיצד למצוא את הכוח הפועל על גוף? האם תאוצת הגוף תלויה בכוח כאשר גופים פועלים זה על זה?

מטלה: סעיף 25 בספר הלימוד.

שיעור 5. החוק השני שניסח ניוטון

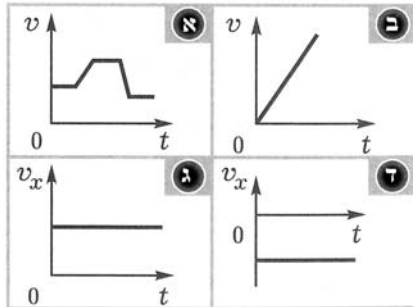
מטרות השיעור

- * קביעת הקשר בין הכוח הפועל על גוף לבין מסת הגוף ותאוצתו: החוק העיקרי של הדינמיקה.
- * שיפור היכולת לתאר את התופעות הנצפות באמצעות מושגים וחוקים פיזיקליים.
- * גילוי המשמעות של החוק השני של ניוטון וקביעת גבולות יישומיו.

א. חזרה ודיון

שני תלמידים יכינו מצגת בנושאים: א. מסת הגוף; ב. חיבור שני כוחות (כולל הדגמת ניסוי). שני תלמידים יכינו משימה ניסויית: חקירת התלות בין מתיחות החוטים לבין הזווית ביניהם (ציור 24). ייערך דיון כיתתי: מתי ינוע גוף בתאוצה? במה תלויה תוצאת הפעולה של כוח על גוף? האם על הגופים, שהגרפים של מהירותם מתוארים בציור 25, פועלים כוחות? מדוע קל יותר לשלוף בשליפה מהירה דף נייר, שמונח עליו ספר, מאשר בשליפה אטית? נדגים זאת.

ב. מתווה להצגת החומר החדש



ציור 25

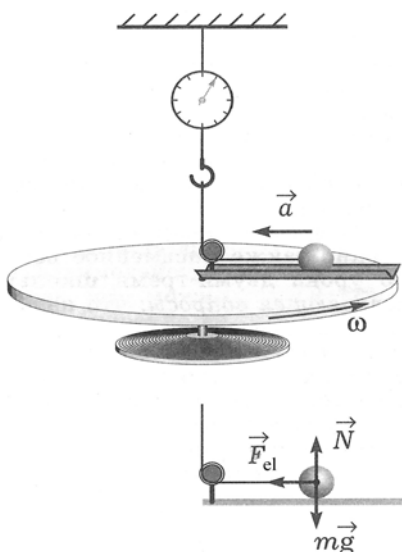
נעביר ניסוי בעגלה (באמצעות הציוד המעבדתי הקיים, V -סקופ או אחר, וההדמיות 2.2 ו-2.3 מהתוכנה **ניוטון**). נדון בסוגיות: כיצד משתנה תנועת הגוף כאשר גדל הכוח הפועל עליו? על סמך מה ניתן להסיק לגבי הגדלת התאוצה של הגוף?

כיצד נוכיח את תלות התאוצה במסה בפעולת כוח קבוע? המורה יסכם את תוצאות הניסוי וינסח את החוק.

מהי המשמעות של החוק השני של ניוטון? חוק זה לא התגלה בבת-אחת. תרומה גדולה לגילוי תרם **גלילאו**; אולם בעבודתו הגאונית **היסודות המתמטיים של פילוסופיית הטבע** (1687) ניסח אותו **ניוטון**, פירש אותו והראה כיצד מיישמים אותו בפתרון סוגיות במכניקה. מדובר בפתרון הבעיה המרכזית של המכניקה: **תיאור תנועת הגוף (גוף נקודתי) בהשפעת כוחות נתונים**.

על-פי הכוח הידוע (הכוח השקול) ניתן למצוא את התאוצה של גוף, שמסתו נתונה; ולפי תנאי התחלה קינמטיים ידועים (קואורדינטות ומהירות) ניתן למצוא את מקום הגוף בכל רגע. נדון בסוגיות: האם מתקיים החוק השני בכל מערכת ייחוס? כיצד נוכיח שהוא מתקיים במערכת ייחוס אינרציאלית בלבד? האם אפשר להשתמש בחוק זה לגבי גוף מתגלגל (לא, מכיוון שנקודות שונות של הגוף נעות בתאוצה שונה; החוק מתקיים עבור הגופים שניתן לתארם כגוף נקודתי בלבד).

ג. נמשיך לדון בחוק השני באמצעות פתרון תרגילים ניסויים וחשובים. מדוע קריאת הדינמומטר אינה משתנה במהלך סיבוב הדסקה (ציור 26)? כיצד תשתנה קריאת הדינמומטר, אם במקום כדור בעל מסה של 0.25 ק"ג נשתמש בכדור שמסתו 0.5 ק"ג? האם התוצאה תואמת לחוק השני של ניוטון? מדוע תשתנה קריאת הדינמומטר, אם נשנה את מהירות הסיבוב של הדסקה? האם תשתנה השפעת החוט על הכדור? האם תנועת הכדור במהלך סיבוב הדסקה היא שוות תאוצה? איזו פעולה גורמת לתנועה זו?



ציור 26

אילו גדלים פיזיקליים ניתן למצוא באמצעות החוק השני של ניוטון? סוגיה זו תתברר במהלך פתרון תרגילים:

תחילה נעבור על הדוגמה לפתרון תרגיל 2 שבסעיף 30 בספר הלימוד. אחד התלמידים ישרטט את הסקיצה על הלוח, ונדון בסוגיה: להיכן מכוונת תאוצת הקובייה? מדוע יש לקבוע מערכת ייחוס? איזו מערכת ייחוס? לאיזה גוף יש לקשור אותה? האם אפשר לתאר את הקובייה כגוף נקודתי? אם כן, כיצד?

מטלות: סעיפים 26-27.

משימת חקר: הדמיות 2.2 ו-2.3 מהלומדה ניוטון.

שיעור 6. החוק השלישי של ניוטון, חוק הפעולה ההדדית

מטרות השיעור

- * העמקת הדיון במושגים: פעולה, פעולה הדדית, כוח.
- * דיון מעמיק בתוכנו ובמשמעותו של החוק השלישי של הדינמיקה.
- * תרגול במיומנות הגילוי של פעולות הדדיות של גופים, ושימוש בחוק השלישי.

א. חזרה ובקרה

מטרת החזרה היא בקרת הידע והמוכנות של התלמידים לקליטת החומר החדש. ליד הלוח יציגו תלמידים: א. פתרון אחד התרגילים מהמטלות; ב. פתרון תרגיל חדש; ג. תשובה לשאלות: כיצד נוכיח באופן ניסויי את החוק השני של ניוטון? האם תלויה מסת הגוף בתאוצתו ובכוח הפועל עליו? אילו כוחות פועלים על המשקולת בניסוי בדיסק הסובב? (נשרטט את מערך הניסוי על הלוח).

שאלות חזרה פרונטליות: מהי פעולה הדדית בין שני גופים? כיצד מתגלית הפעולה ההדדית שבין גופים? (בתנועה מואצת של הגופים, כאשר ניתן לתאר אותם

כגופים נקודתיים). כמה גופים עשויים לפעול הדדית זה על זה? הביאו דוגמאות לפעולה ההדדית בין גופים ממרחק ובמגע.

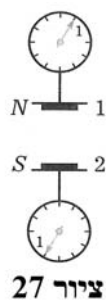
בדרך כלל אין התשובות שניתנות לשאלות אלה מדויקות, ומטרת המורה "להוביל" את התלמידים עד למתן תשובות מלאות ומדויקות. לדוגמה: לעתים קרובות מביאים התלמידים דוגמאות לפעולה הדדית כמו "מטוס טס", "כדור התחיל לנוע"; אולם תופעות אלה אינן מהוות פעולה הדדית. לכן נשאל שאלה נוספת: על-פי אילו סימנים ניתן להחליט על קיומה של פעולה הדדית?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

לימוד החומר החדש יתחיל מסוגיה: כיצד נתאר באופן כמותי את הפעולה ההדדית בין גופים?

כדי לתאר את הפעולה חייבים לדעת: א. מהו הקשר בין הכוחות הפועלים על הגופים; ב. מהו הקשר בין תאוצות הגופים. על שאלות אלה ועל כמה שאלות אחרות נותן מענה החוק השלישי של ניוטון.

על הפעולות ההדדיות בין גופים ידוע הרבה; אולם המדע שואף למידע מדויק ולאפיונים כמותיים. לכן יש צורך בחקירה מפורטת יותר של הכוחות הפועלים על הגופים בעת פעולתם ההדדית.



ציור 27



ציור 28

על מנת להסביר את החוק נשתמש בניסוי המתואר בציור 27. אל מגשי הדינמומטרים מודבקים מגנטים שטוחים. בעת התקרבותם פועלים המגנטים זה על זה, והדינמומטרים מעידים על פעולתם ההדדית. נתבונן בציור 28 וננהל דיון בנושא: האם פועלים המגנטים זה על זה? אם כן, באילו עוצמות? האם שוות העוצמות או שונות זו מזו? מדוע אין המגנטים נעים בתאוצה? כיצד נוכיח שפעולת גוף אחד על האחר גורמת להופעת הפעולה הנגדית? (מרחיקים את אחד המגנטים, ורואים שקריאות של שני הדינמומטרים הולכות וקטנות). מהו השוני בקריאות הדינמומטרים? (מגמת הסטייה של המחוגים). על אילו גופים מופעלים הכוחות?

ברור שתנועות הגופים, הפועלים הדדית זה על זה, קשורות ביניהן. מהו היחס בין התאוצות של גופים הפועלים הדדית? כדי לפתור את הסוגיה נרשום את משוואת החוק השני של ניוטון עבור כל אחד מהם, דהיינו:

$$m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_{2,1}, \quad m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_{1,2}$$

נשתמש בחוק השלישי, ונקבל:

$$m_1 \vec{a}_1 = - m_2 \vec{a}_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{|\vec{a}_2|}{|\vec{a}_1|}$$

או:

את הנוסחה האחרונה כבר הכרנו ובדקנו באופן ניסויי.

ג. משימות חקר

לצורך ביצוע המשימות נחזור על תוכן החוק השלישי של ניוטון. אל הלוח יוזמנו

שני תלמידים, והם יקבלו את המשימות הבאות:

משימה 1: שנו את מסתו של אחד המגנטים. חקרו את

תוצאות שינוי המרחק; השוו את הכוחות; שרטטו את המערך על גבי הלוח; הסיקו: האם מתקיים פה החוק השלישי של הדינמיקה?



ציוד: מערך מעבדתי, סדרת מגנטים דקים (ציור 29).

משימה 2: הדגימו את תופעת הפעולה ההדדית שבין שני גופים

במגע ישיר ביניהם; בצעו 2-3 מדידות, השוו כוחות והסיקו: האם מתקיים פה החוק השלישי של ניוטון?



ציור 29

ציוד: שני דינמומטרים בעלי מדפים עגולים, שני כנים (ציור 30).

ביצוע המשימות ייבדק ויידון. במקרה הראשון נסיק על קיום החוק השלישי של הדינמיקה ללא תלות במסתם של הגופים הפועלים הדדית; ובמקרה השני – על קיום החוק השלישי בסוגים שונים של פעולה הדדית במגע.



ציור 30

התלמידים יקבלו משימות, והמורה יסביר את מהלך ביצוען.

משימות

גרסה א

בצעו ניסויי חקר על פעולות בין שני דינמומטרים זהים : א. האם משתנה קריאת אחד מהם, אם נמשוך באחר הקשור אליו? מה המסקנה מהתוצאה? ב. האם שוות קריאותיהם של הדינמומטרים כאשר ההתארכות שלהם שונה? מה המסקנה מזה? ג. מה מראה (מודד) הדינמומטר : את הכוח האלסטי של הקפיץ שבתוכו – או את כוח הפעולה מצדו של הדינמומטר האחר? ד. חזרו על הניסוי כאשר בין הדינמומטרים נמצא תווך (חוט או גוף). סכמו לגבי קיום החוק השלישי של הדינמיקה.

גרסה ב

בצעו ניסויים על הפעולה ההדדית בין מגנטים שטוחים : א. כיצד נוכיח שמגנטים שטוחים פועלים בינם לבין עצמם? שרטטו את מערך הניסוי וסמנו את התאוצות ; ב. כיצד נוכיח שהפעולה נושאת אופי הדדי? (רמז : יש להחזיק את אחד מהמגנטים ולקרב אליו את האחר). שרטטו וסמנו את הכוחות ; ג. כיצד נוכיח את החוק השלישי של ניוטון באמצעות דינמומטר אחד בלבד? האם החוק מתקיים הן במשיכה והן בדחייה? אם כן, נמקו.

ד. סיכום השיעור

דיון וחזרה קצרה על העיקר : האם אפשר לתאר את הפעולה בין גופים באמצעות כוח אחד בלבד? אם כן, כיצד? האם יכולים כוחות הפעולה ההדדית לקזז זה את זה? אם כן, כיצד? הביאו דוגמאות של גופים שפועלים ביניהם כוחות הדדיים.

מטלות : סעיף 28.

מקבץ תרגילים 6 (4, 10).

מעבדת החקר ניוטון, הדמיה 3.1.

שיעור 7. פתרון תרגילים

מטרת השיעור

* תרגול מיומנות התיאור של פעולות הדדיות בין גופים באמצעות חוקי ניוטון.

א. חזרה ופתרון תרגיל

בתחילת השיעור נבדוק את הכנת המטלות. את תרגיל 10 ממקבץ תרגילים 6 נפתור על הלוח תוך-כדי חזרה על התיאוריה.

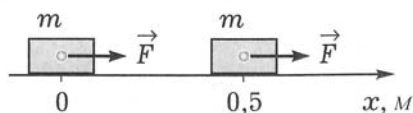
פיזיקה 10: מערכי שיעור – מודרך למורה

על הלוח יירשם פתרון תרגיל אופייני:

תרגיל. מושכים את הקובייה בחוט בכוח שגודלו וכיוונו קבועים (ציור 31). מה ערכו של הכוח, אם מסת הקובייה 0.25 ק"ג, ובמשך השנייה הראשונה לתנועתה עברה דרך של 0.5 מ'?

המורה ידון עם תלמידיו במהלך הפתרון במתווה זה:

ניתוח הטקסט והתופעה הפיזיקלית. המורה יקרא את הטקסט של התרגיל, ירשום את הנתונים ואת אשר יש למצוא. נדון בתרגיל: איזו תופעה מתוארת בטקסט? (תנועה מואצת בקו ישר כתוצאה מפעולה קבועה של גוף אחר: החוט). מדוע ניתן להחליף את הקובייה בגוף נקודתי? איזה אופי נושאת הסוגיה: קינמטי, דינמי, או שניהם כאחד? נפרש את השרטוט: מדוע מתואר כוח אחד? אילו מצבי תנועה יש להדגיש? האם תאוצת הקובייה קבועה? כיצד נבחר את מערכת הייחוס? האם צריכה היא להיות אינרציאלית?



ציור 31

הרעיון לפתרון. נשתמש בחוק השני

של ניוטון ובנוסחה למציאת התאוצה באמצעות הזמן וההעתק.

פתרון (המודל המתמטי). כדי לתאר את התופעה נבחר במערכת הייחוס הפשוטה ביותר: מערכת הצירים הרי היא ציר אחד, וגוף הייחוס תהיה האדמה. החוק השני של ניוטון עבור גוף נקודתי הוא: $\vec{F} = m\vec{a}$.

עבור היטלי הכוח והתאוצה על הציר OX נקבל בצורה סקלרית: $ma = F$.

משוואה נוספת מתקבלת מהנוסחה: $x = \frac{a_x t^2}{2}$, וכתוצאה נקבל:

$$F = ma = m \frac{2x}{t^2}$$

נציב את הנתונים ונקבל: $F = 0.25 \text{ N}$.

ניתוח פתרון התרגיל. האם אפשר להניח שבמקרה זה תנוע הקובייה במעגל?

אם כן, נמקו. האם אפשר לקשור את מערכת הייחוס לגוף עצמו? אם כן, נמקו.

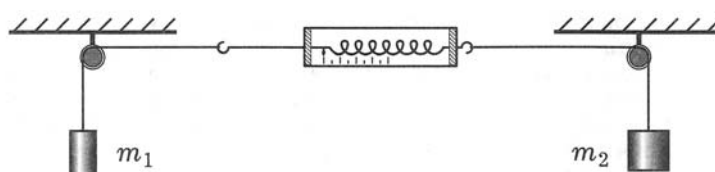
כעבודה עצמית לתלמידים מוצעים תרגילים נוספים ממקבץ תרגילים 6 בספר הלימוד. במהלך השיעור יוזמנו תלמידים אל הלוח כדי לפתור תרגילים נוספים ולנהל דיון על דרך פתרונם.

המורה יטיל משימות ניסוייות. להלן דוגמאות של משימות:

משימה 1: סוס מושך עגלה. ציינו את כל הפעולות ההדדיות, והסבירו מדוע נוסעת העגלה. שרטטו וסמנו את הכוחות הפועלים על הסוס ועל העגלה.

משימה 2: מהן הסיבות לתנועה המואצת של מכונית בנסיעה בכביש ישר אופקי ובנסיעה במורד מדרון משופע?

משימה 3: מהי הקריאה של הדינמומטר המקובע לשולחן (ציור 32)? כיצד תשתנה הקריאה, אם נתלה משקולת נוספת מימינו של הדינמומטר?



ציור 32

משימה 4: קריאתו של דינמומטר אחד היא 5 N (ציור 33). מה הקריאה של הדינמומטר האחר?

משימה 5: שני ילדים מושכים את הדינמומטר, כל אחד בכוח של 100 ניוטון. מה יראה הדינמומטר?



ציור 33

מטלה: מקבץ תרגילים 6 (7 ו-8).

שיעור 8. חזרה מסכמת; עבודה עצמית

מטרות השיעור

* איחוד החוקים שנלמדו למערכת מידע אחת על הסיבות הגורמות לתנועה המכנית.

* שיפור המיומנות לתיאור התופעות בשפת המכניקה.

א. סיכום הידע וההבנה של חוקי ניוטון ייערך במתווה הבא:

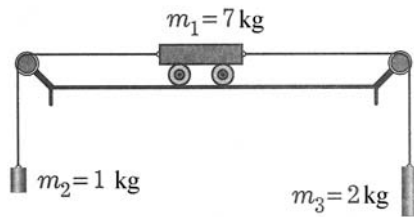
1. נפתור ליד הלוח תרגילים אופייניים.

תרגיל 1: משקולת שמסתה 0.5 ק"ג נמשכת אנכית כלפי מעלה באמצעות

חוט בתאוצה של 1 m/sec^2 . מצאו את גודל הכוח המושך.

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מודיק למורה

תרגיל 2: מהי התאוצה של מערכת הגופים המתוארת בציור 34? את כוח החיכוך ניתן להזניח.



ציור 34

2. סוגיות לדיון: התנועה של אילו גופים מתוארת על-ידי חוקי ניוטון? מדוע מתקיימים חוקי ניוטון עבור גוף נקודתי בלבד? (המודל של גוף נקודתי מאפשר לתאר בצורה מדויקת את תנועת הגוף). באילו מערכות ייחוס מתקיימים חוקי ניוטון? באילו שני סוגי תנועה מבחינה דינמיקה? (תנועה בהתמד ותנועה עקב השפעת גופים אחרים). מהו חוק התנועה בהתמד? אילו חוקים מתארים את הפעולה ההדדית של גופים? האם אפשר לתאר את הפעולות ההדדיות של גופים באמצעות החוק השני של ניוטון בלבד? אם כן, כיצד? הביאו דוגמאות לפעולות הדדיות בין גופים ולפעולת גוף אחד על גוף אחר.

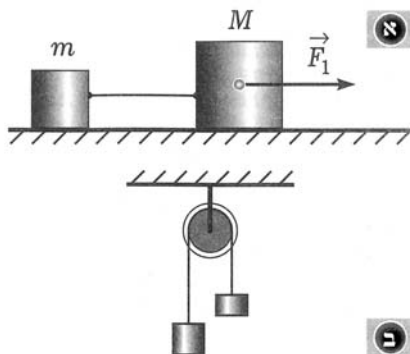
ב. עבודה עצמית

המורה יהיה מעורב במהלך ביצוע העבודה.

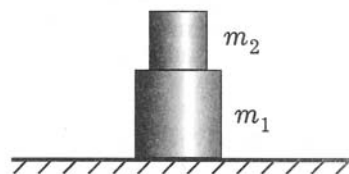
עבודה עצמית

גרסה 1

1. באיזו תאוצה נע גוף, שמסתו 3 ק"ג, אם פועל עליו כוח של 1 ניוטון? אם תנועתו החלה ממנוחה, מהי מהירות הגוף בסוף השנייה השלישית לתנועתו?
2. ציירו את הכוחות הפועלים על הגופים (ציור 35). סמנו את הכוחות של הפעולות ההדדיות.



ציור 35



ציור 36

גרסה 2

1. מה מסת גוף, אם כוח של 1 ניוטון מקנה לו תאוצה של 0.5 m/sec^2 ? מהי מהירות הגוף בסוף השנייה השלישית לתנועתו?

2. מצאו אילו גופים פועלים זה על זה, וציירו את זוגות הכוחות המתאימים (ציור 36).

מטלות: סעיף 30.

מקבץ תרגילים 6 (9).

פרק III. חוקי הפעולה ההדדית במכניקה

נזכיר שהמכניקה עוסקת בתנועת גופים מקרוסקופיים. סיבת כל תנועות גופים – למעט התנועה ה"אידיאלית", שהיא התנועה בהתמד – היא פעולות על הגוף או פעולות הדדיות בין גופים. הפעולות ההדדיות גורמות לתאוצות בתנועתם ו/או לעיוותים. במקרה הראשון ניתן להמיר את הגוף לגוף נקודתי, ובשני – לגוף קשיח.

במכניקה עוסקים בפעולות הגופים ממרחק ובמגע. לסוג הראשון שייכים כוח הכבידה (גרביטציה) שבין גופים וכוחות חשמליים בין מטענים. לסוג השני שייכים כוחות אלסטיים בין גוף לתומך (מתלה) וכוח התנגדות, המופיע בתנועה יחסית בין גופים או בין גוף קשיח לגז או לנוזל שדרכם הוא נע. כל סוג של פעולה הדדית (או פעולה) מתואר על-ידי כוחות, שעוצמתם תלויה במרחק שבין הגופים, במהירויות וכד'. מהם חוקי הכוחות בפעולתם ההדדית? זו הסוגיה העיקרית של הנושא הנדון.

מדוע כה חשוב לדעת כיצד משתנים הכוחות המאפיינים את הפעולות? בשלושת חוקי הדינמיקה איחד **ניוטון** את המשותף לכל סוגי הכוחות, ולכן מהווים חוקים אלה את כללי המכניקה כתיאוריה מדעית בלבד. כל תופעה מכנית מקבלת את המשמעות הפיזיקלית שלה רק לאחר שמתבררים חוקי הכוחות הפועלים במערכת. בכותרת לסעיף 31 שבספר הלימוד ובמקומות אחרים פוגשים אנו במושג **כוחות בטבע**. המורה יבהיר שביטוי זה אומנם נפוץ, אולם אינו מדויק. בספר הלימוד אין הבחנה מובהקת בין המושג **כוח** לבין המושג **פעולה הדדית**; אך מבחינה מתודית יש להבחין ביניהם.

כלקח מלימוד נושא זה יגלו התלמידים את טבען של הפעולות ההדדיות בין גופים, יאפיינו אותן באמצעות גדלים וחוקים פיזיקליים, ויצילו דוגמאות נוספות לתופעות המבוססות על פעולות אלה.

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מודיק למורה

שיעור 1. סוגי הפעולות ההדדיות וסוגי הכוחות; כוחות אלסטיים וחוק הוק

מטרות השיעור

- * הכרת סוגי הפעולות בין גופים בטבע וסוגי הכוחות במכניקה.
- * לימוד תופעת העיוות של גופים מוצקים ותיאור העיוותים האלסטיים באמצעות כוח אלסטי וחוק הוק.
- * הבנת מנגנון הופעתו של הכוח האלסטי.
- * הכרת שיטות מדידה וחישוב של הכוח האלסטי.

הערה מתודית: על הכוח האלסטי ניתן ללמוד גם לאחר לימוד נושא הגרביטציה, אולם לסדר המוצע שני יתרונות על פני הסדר האחר: א. הבנת **חוק הוק** מאפשרת להבין את מבנה המכשיר למדידת כוחות אחרים; ב. הניסוי הפרונטלי קל, וראוי הוא לשמש כפתיח לפרק הכוחות.

א. במה תלויים כוחות הפעולה ההדדית בין גופים? לצורך פתרון סוגיה לימודית זו יש לברר תחילה אילו סוגי פעולה הדדית קיימים.

המורה יציג את הטבלה ויפרט את סוגי הפעולה השונים. המסקנה: קיימים סוגים שונים של פעולות הדדיות, והכוחות האחראים לפעולות אלה תלויים בפרמטרים שונים; והמטלה היא אפוא למצוא את התלות הזאת במקרים השונים. נעיר שבנוסף לפעולות הבסיסיות, המצוינות בטבלה, קיימים בפיזיקה של עולם המיקרו שני סוגים נוספים של פעולות הדדיות: פעולות חזקות (גרעיניות) ופעולות חלשות.

סוגי הפעולות ההדדיות המכניות

מרחק הפעולה	כבידה	אלקטרומגנטי
במרחק	משיכה גרביטציונית בין הגופים.	משיכה ודחייה בין מטענים וזרמים.
במגע	פעולת כוחות הדדית בין גופים.	התנגדות של גופים למעוות. התנגדות הגוף לתנועה בתווה יחסית לתווך.

פיזיקה 10 מערכי שיעור — מודיך למורה

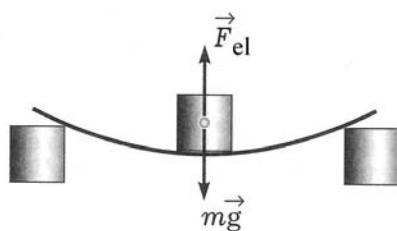
ב. דיון בכוחות הגורמים והנגרמים בעיוותים אלסטיים

גופים עשויים לשנות את צורתם או את מידותיהם. גוף מעוות (עיוות אלסטי קטן) פועל על הגוף הנוגע בו. בתופעה זו ניתן לצפות בניסויים הבאים: א. כיפוף סרגל מתכת והשפעתו על היד; ב. התארכות והתקצרות של קפיץ והשפעתו על משקולת או על גוף. סוגיות לדיון: כיצד נוכיח שגוף מעוות פועל על גופים אחרים? כיצד נמצא את שיעורו של הכוח האלסטי? האם תלוי שיעורו של הכוח האלסטי במידת העיוות? נמקו.

מהו המקור לכוח האלסטי? א. גופים מורכבים מחלקיקים – לדוגמה: מאטומים. האטומים בנויים מחלקיקים טעונים: אלקטרונים וגרעיני האטומים; ב. במצב רגיל מקזזים כוחות המשיכה בין חלקיקים טעונים את כוחות הדחייה; ג. בהתקצרות הגוף המעוות קטנים המרחקים שבין החלקיקים, וכוחות הדחייה גדלים ומתנגדים לעיוות; בהתארכות הגוף המעוות קטנים כוחות הדחייה, וכוחות המשיכה מתנגדים לעיוות. זו הסיבה שגוף מעוות פועל על גופים אחרים. מקור הפעולה הוא כוחות אלקטרומגנטיים, הפועלים בין חלקיקים טעונים שמהם בנויים הגופים.

במה תלויה עוצמת הכוח האלסטי? פתרון הסוגיה הלימודית הזו יימצא באמצעות ניסוי: נתלה משקולות שמסותיהן 100 ג' ו-200 ג' בקצה קפיץ, נמדוד את ההתארכות, וכך נמצא את עוצמת הכוח האלסטי. תלמיד שליד הלוח יבנה גרף, וירשום את משוואת החוק עבור הכוח: $F = kx$.

סוגיות לדיון: להיכן מכוון הכוח האלסטי של הקפיץ בעת התארכותו? מהי נקודת ההפעלה של הכוח? האם משתנה הכוח האלסטי בעת שינוי התארכות הקפיץ? כיצד תלוי F בערך ההתארכות x ?



ציור 37

במה תלוי מקדם הקפיץ k ? (בסוג החומר ובצורת הגוף). המחשה: שני קפיצים, משקולות שוות, התארכות שונה; לכן נסיק שמקדמי הקפיץ שונים.

רוב הגופים סביבנו נוגעים זה בזה: ספר מונח על שולחן, תלמיד יושב על כיסא...

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מודיך למורה

בכל המקרים האלה מופיע עיוות ופועל כוח אלסטי (ציור 37). המורה יגדיר את כוח התגובה של תומך (מתלה). באמצעות הציור נברר להיכן מכוון הכוח הזה ומה גודלו.

משימה ניסויית: האם מתקיים חוק עבודת גומייה?

ציוד: גומייה שאורכה כ- 15 ס"מ, דינמומטר וסרגל.

דו"ח: בניית גרף ומסקנות.

שאלות לבדיקת לקחי השיעור: האם עוסקת המכניקה בכל סוגי הכוחות הקיימים בטבע? (במכניקה נלמדים כוחות משני סוגים בלבד: כוחות שמקורם אלקטרומגנטי וגרביטציה. הם מתגלים באופן שונה, ממרחק ובמגע בין גופים). מהו סוג הפעולה ההדדית בין שני כדורים בעת התנגשותם? מהו סוג הפעולה ההדדית בין ספר לבין השולחן?

מטלה: סעיפים 36-37 בספר הלימוד.

שיעור 2. מעבדה: מדידת מקדם הקפיץ

מטרות השיעור

- * רכישת מיומנות בניסויי מעבדה בנושא עיוות של קפיץ.
- * הכרת חוק הוק.

א. מתווה לעבודת המעבדה

המורה יבהיר את סדר הביצוע: לימוד ההוראות (כל תלמיד מקבל עותק של הוראות ביצוע), ביצוע הניסויים, עיבוד תוצאות וכתיבת דו"ח. אופן עריכת הדו"ח: נושא המעבדה, הציוד, תקציר תיאורטי: שרטוט, שם התופעה, משוואת החוק, נוסחאות החישוב, טבלת תוצאות, חישוב שגיאות, ביצוע משימות בקרה.

1. דיון וחזרה: עיוות של איזה גוף נלמד במעבדה? איך מכונה עיוות זה? כיצד ניתן למדוד את הכוח האלסטי של קפיץ? מהו קבוע של קפיץ? כיצד לחשב אותו? מהן הסיבות לשגיאות בניסוי?

ב. להלן דוגמאות לחישובים על-סמך תוצאות הניסויים בטבלה לעיל:

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מודיך למורה

מס' הניסוי	m, kg	F, N	x, mm
1	0.1	1	24
2	0.2	2	48
3	0.3	3	72
4	0.4	4	97

השגיאה היחסית של חישוב קבוע הקפיץ שווה:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta x}{x} = \frac{0.002 \text{ kg}}{0.1 \text{ kg}} + \frac{0.02 \text{ m/sec}^2}{10 \text{ m/sec}^2} + \frac{1 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \approx 0.06$$

לפי הגרף (ציור 38), שווה הערך הממוצע של קבוע הקפיץ ל- 42 N/m. מכאן

נמצא את השגיאה המוחלטת:

$$\Delta k = \bar{k} \cdot \varepsilon = 3 \text{ N/m}$$

לסיכום נקבל את התוצאה:

$$k = \bar{k} \pm \Delta k = (42 \pm 3) \text{ N/m}$$

משימות בקרה

גרסה 1

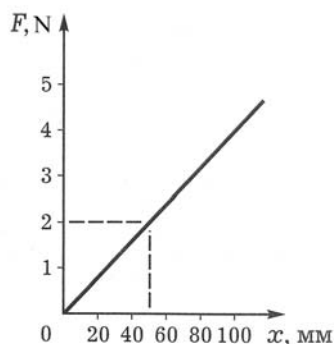
1. במה תלוי קבוע של קפיץ? האם ישתנו תוצאות הניסוי, אם נשתמש בשני קפיצים

זהים המחוברים במקביל?

2. באמצעות הגרף (ציור 38) חשבו את התארכות

הקפיץ בהשפעת כוח כבידה של 1.5 ניוטון. האם

הניסוי מאשש את החישוב? (בצעו ניסוי ובדקו).



ציור 38

גרסה 2

1. מהן הסיבות לשגיאות בעריכת הניסוי? כיצד ניתן להקטין אותן? מנו את

השגיאות וצינו את דרכי הקטנתן.

2. בציוד הנלווה נמצא קפיץ נוסף. כיצד אפשר להעריך אם קבוע הקפיץ הזה גדול או קטן מזה של הקפיץ הראשון?

שיעור 3. חוק הכבידה העולמי

מטרות השיעור

* למידה של פעולת הכבידה ההדדית הפועלת בין גופים והצגת חוק הכבידה העולמית.

* הכרת דרכי החשיבה המדעית שהובילו לגילוי החוק.

א. דיון וחזרה

סוגיות לדיון: איזו פעולה מתוארת על-ידי כוח אלסטי? (פעולת הגוף המעוות). אילו תנאים הגורמים להופעת פעולה זו? האם אפשר באמצעות הכוח האלסטי לתאר פעולה הדדית? (כן; ניישם את החוק השלישי של ניוטון). מהו חוק הוק?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

הפעולה ההדדית המוצגת: פעולת הגרביטציה.

1. היסטוריה: בדעת האדם שגורות תופעות הנפילה החופשית של גופים אל הקרקע וסיבוב הירח סביב כדור הארץ; אולם ההבנה שתופעות אלה הן התגלויות של חוק עולמי בשלהי כעבור זמן רב. תרומה גדולה במיוחד להבנה זו תרמו **קפלר והוק**. בשנת 1674 כתב **הוק**: "כל הגופים... מגלים כוח משיכה או כבידה, המכוון למרכז". מאוחר יותר הניח שכוח זה נמצא ביחס הפוך לריבוע המרחק שבין הגופים.

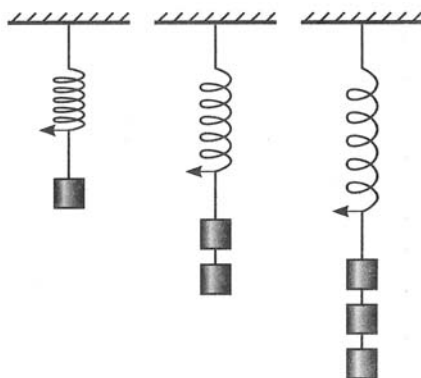
2. הגילוי: **ניוטון** היה ראשון שאיחד את כל ההשערות לתיאוריה שלמה אחת וניסח את החוק, המתאר את הכבידה באופן כמותי; והשתמש בו כדי לתאר את תנועת הירח והפלנטות. הוא כתב: "הכבידה אופיינית לכל הגופים, והיא פרופורציונית למסת כל אחד מהם... כל הפלנטות נמשכות אחת לאחרת... כוח המשיכה שמפעילה כל אחת מהן נמצא ביחס הפוך לריבוע המרחק שבין מרכזי הפלנטות...".

המורה ירשום את הנוסחה:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

ג. שאלות חזרה על חומר המבוא

כיצד מתגלה פעולת הכבידה ההדדית בין הגופים? במה תלוי הכוח המאפיין את הכבידה ההדדית? כיצד אפשר להוכיח את קיומה של כבידה הדדית בין כדור הארץ לבין הספר שבידנו? (גוף חופשי נופל בתאוצה כלפי מטה, כמוכח בניסוי. מכאן נסיק שכדור הארץ פועל על הספר; אולם על-פי החוק השלישי של ניוטון פועל הגוף כתגובה על כדור הארץ באותו שיעור של כוח).



ציור 42

כיצד הוכיח **ניוטון** את תלות כוח הכבידה במסות ובמרחק שבין הגופים? כיצד הסביר **ניוטון** את עובדת שוויון התאוצה הנפילה חופשית של כל הגופים? כיצד נסביר שכוח המשיכה, הפועל על הספר, תלוי גם במסת כדור הארץ? כיצד הסביר **ניוטון** את התלות של כוח כבידה בריבוע המרחק בין הגופים? האם שווים הערכים של תאוצת הנפילה החופשית בגובה פני הים ובפסגת הר אוורסט?

מה למד **ניוטון** ממחקרו בדבר משיכת הירח אל כדור הארץ? כיצד נוכיח באופן ניסויי שכוח הכבידה העולמי תלוי במסת הגוף? (ראו ציור 42).

ד. המשמעות והערך של G

בנוסחת חוק הכבידה העולמית מופיע קבוע הכבידה G . מהי משמעותו? כיצד למצוא את ערכו? (נדגיש שאפשר למצוא את ערכו של G מניסוי בלבד). מנוסחת החוק יחלץ המורה את הביטוי לחישובו של G ויפרש את משמעותו. נדון ברעיון של **הנרי קוונדיש** (1731 – 1810): המורה ירשום את ערכו של G ויצג דוגמה מספרית: חישוב כוח המשיכה בין שני גופים, כל אחד בעל מסה 1 ק"ג, הנמצאים במרחק 1 מ' זה מזה. ערכו של כוח המשיכה המתקבל קטן מאוד עקב הערך הקטן של הקבוע G . כוח המשיכה משמעותי רק כאשר לפחות מסת אחד מהגופים גדולה מאוד.

ה. דיון לסיכום השיעור

לסיכום השיעור נדון בסוגיות: חוק הכבידה מתקיים עבור גופים נקודתיים בלבד; מה עושים במקרים אחרים? (ניתן לחשב את הכוח בכל מקרה, אולם החישוב מסובך יותר). האם מתגלה כוח המשיכה כאשר הגופים נוגעים זה בזה?

מהו המקור לכוח הגרביטציה? (ניוטון לא ידע את התשובה לשאלה זו וכתב: "...הסיבות לתופעת המשיכה הגרביטציונית אינן ידועות לי, ולא הצלחתי להסביר אותן בהתבסס על תופעות בסיסיות אחרות..."). היום מקובל לומר שפעולת הגרביטציה מתבצעת באמצעות השדה הגרביטציוני, אולם קיומו של שדה זה לא הוכח עד כה. התלמידים יציגו דוגמאות לתופעות המתבססות על המשיכה הגרביטציונית בין גופים.

מטלות: סעיפים 32-33.

מקבץ תרגילים 7 (1).

התוכנה **גרבי** (הדמיות 1.2, 1.3, 2.1).

שיעור 5. כוח כבידה ומשקל הגוף; העדר משקל

מטרות השיעור

- * העמקת התובנה בפעולת הגרביטציה.
- * הגדרת המושגים **כוח כבידה**, **משקל הגוף**.
- * הסבר תופעת היעדר המשקל.
- * תרגול במציאת פעולות הגרביטציה ופתרון תרגילים.

א. מבוא ודיון

המורה יעלה נושאים לדיון: הציגו דוגמאות לפעולות גרביטציה בין גופים. לאילו מפעולות הגרביטציה ההדדיות משמעות עיקרית בתנאים על פני כדור הארץ? האם פועל הגוף שבידינו על כדור הארץ? נמקו. האם פעולה זו משמעותית עבור כדור הארץ? נמקו.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

הסוגיות הבסיסיות בנושא החומר החדש הן: כיצד מוגדר הכוח המאפיין את פעולת כדור הארץ על גוף? כיצד לחשב אותו בצורה הפשוטה ביותר? במה הוא תלוי?

לימוד החומר החדש יימשך כדיון בסוגיות: כיצד ניתן למצוא באמצעות חוק הכבידה העולמית את הכוח שכדור הארץ מפעיל על גוף, כלומר את כוח הכבידה? (המורה ירשום את הנוסחה על הלוח). במה תלוי הכוח הזה? האם ניתן לחשב את

תאוצת הכבידה באמצעות החוק השני של ניוטון? על הלוח ירשום המורה נוסחאות, ובאמצעות השוואתן יתקבל ביטוי לתאוצת הנפילה החופשית:

$$g = G \frac{M}{R^2} \iff mg = G \frac{mM}{R^2} \iff F = G \frac{mM}{R^2} \iff F = mg$$

איזו מסקנה ניתן להסיק מהביטוי שהתקבל? (תאוצת הנפילה החופשית אינה קבועה, ותלויה בגובה הגוף מעל פני הקרקע. עד לגובה לא רב מעל קליפת כדור הארץ נחשבת תאוצת הנפילה החופשית קבועה).

על התלות $F = mg$ או $m = \frac{F}{g}$ מבוססת שיטת המדידה של מסת הגוף.

משימה ניסויית: כיול דינמומטר כמאזני קפיץ.

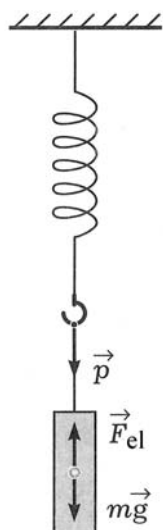
ציוד: דינמומטר (שהסקלה שלו מוסתרת), אוסף משקולות, סרגל, גוף בעל מסה לא ידועה.

סדר הפעולות: א. נתלה בדינמומטר אחת, שתיים וארבע משקולות שמסתן 100 גרם, ונסמן את הקריאות על הסקלה המוסתרת; ב. את המרחק בין הסימנים הסמוכים נחלק ל-5 חלקים שווים (שאלה: מדוע דווקא ל-5 חלקים?); ג. בעזרת המכשיר שהתקבל נמדוד את מסת הגוף הנתון.

שאלות לבקרת ההפנמה של המעבדה: מהם גבולות יכולת המדידה מכשיר זה? (את הקפיץ ניתן לכייל בגבולות העיוות האלסטי בלבד). האם אפשר להפוך את הסקלה של הדינמומטר לסקלה של מד-מסה ללא עריכת ניסויים? אם כן, כיצד? האם עקרון הפעולה של מאזני מנוף זהה לעקרון פעולה של מאזני קפיץ? נמקו. איזו מסה נמדדת באופן כזה: אינרציאלית או גרביטציונית? נמקו.

המעבדה תעמיק את ההבנה על משקל הגוף. נקיים דיון המלווה בניסוי ובהדמיות מחשב (**גרבי**, הדמיה 1.1). סוגיות לדיון: איזו פעולה היא שקילה של גוף? כיצד היא מוגדרת? מה סוג הפעולה ההדדית בין גוף לתומך (למתלה)?

המורה ידגים ניסוי: גוף תלוי על קפיץ (משחזרים על הלוח ובמחברות את ציור 43). סוגיות לדיון: אילו כוחות פועלים על המשקולת? אם פעולה חד-צדדית איננה קיימת בטבע, אזי על אילו גופים פועלת המשקולת? מדוע משפיעה המשקולת על



ציור 43

הקפיץ? מהי התוצאה של השפעה זו? (עיוות של הקפיץ). כיצד נוכיח זאת? מהו הכוח שמפעיל הקפיץ על המשקולת? מה אפשר להסיק בעזרת החוק השלישי של ניוטון לגבי הכוח, שבו פועלת המשקולת על הקפיץ? (כוח זה שווה לכוח האלסטי הנוצר בקפיץ המעוות ומכוון במגמה נגדית).

מה מקור השפעת הגוף על המתלה? יודגם ניסוי, הממחיש את היווצרות עיוות הגוף התלוי על קפיץ; ניעזר בהדמיה 1.1 של הלומדה **גרבי**, המדגימה את העיוות של הגוף המונח על תומך. נבחר גוף שהעיוות בו גדול. מסקנות: הגוף פועל על תומך או על מתלה; מקור הפעולה הוא עיוות של הגוף עצמו; הפעולה מאופיינת על-ידי כוח אלסטי; הכוח שווה בגודלו לכוח האלסטי הנוצר במתלה או בתומך המעוות. כוח זה מכונה **משקל הגוף**.

העדר משקל: המורה ידון בשתי ההגדרות של משקל: כוח הפועל על תומך או על מתלה – ההגדרה המועדפת; וכוח משיכת כדור הארץ – ההגדרה הנפוצה יותר ואולם אינה מתאימה למצב בחללית או בלוויין של כדור הארץ, שבו מרחפים הגופים חופשית, אף שקיים כוח כבידה מכדור הארץ. לצורך המחשה נעביר את הדמיה 1.1.3 של הלומדה **גרבי**.

ג. דיון לסיכום וחזרה

לסיכום נדון בסוגיות: מהו כוח כבידה? כיצד אפשר לחשב אותו באופן תיאורטי? כיצד אפשר למדוד אותו? האם על האדם, הנמצא על הירח, יפעל כוח כבידה? נמקו. האם כוח כבידה פועל על כל הגופים? נמקו. מהו השוני בין כוח כבידה למשקל? **מטלות:** סעיף 35 מספר לימוד. הדמיות 1.1.2, 1.1.3 של **גרבי**.

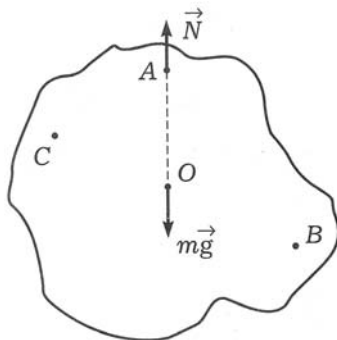
שיעור 6. כוח כבידה ומשקל; חזרה ותרגול

מטרות השיעור

- * חזרה ופתרון תרגילים.
- * הכרת המושג **מרכז הכובד**.

א. חזרה ודיון

אילו גופים משתתפים בפעולות הגרביטציה? באילו גופים פעולת הגרביטציה בלתי נראית? מהו כוח הכבידה העולמי? איזו פעולה מתוארת על-ידי כוח הכבידה? כיצד משתנה כוח הכבידה בהתרחקות הגוף מכדור הארץ? האם אפשר לטעון שהירח נופל חופשית? נמקו.



ציור 44

ב. מתווה להצגת החומר החדש

המורה ידגים פתרון תרגילים אופייניים: חישוב לגבי מהירות המילוט הראשונה, תרגילים בנושא חוק הכבידה העולמית, משקל והעדר משקל.

משימה ניסויית: מציאת מרכז כובד של גוף שטוח.

ציוד: צורה שטוחה, מתלה (סיכה או מסמר), משקולת וחוט, סרגל.

תחילה יגדיר המורה את המושג **מרכז הכובד**, ויראה כיצד לאתר אותו. גם לכוח הכבידה – כמו לכוחות אחרים – יש נקודת הפעלה, וזו מכונה **מרכז כובד**. קו אנכי מנקודת התלייה עובר דרך מרכז הכובד (ציור 44). אם נתלה פעמיים – בנקודות תלייה שונות A ו-B – ונמצא את הכיוון האנכי (באמצעות המשקולת התלויה בחוט מנקודת המתלה), אזי הנקודה שבה ייפגשו האנכים היא מרכז הכובד. תלמיד ינמק קביעה זו, והמורה יסייע.

סוגיות נוספות: האם משתנה מרכז הכובד כאשר משנים את נקודת התלייה? האם אפשר למצוא בשיטה זו את מרכז הכובד של גוף מרחבי? האם יכול להיות מרכז הכובד של גוף מישורי מחוץ לגוף זה?

ג. סוגיות לדיון

המורה ידגיש את העיקר במהלך דיון באמצעות הסוגיות: איזו פעולה מאופיינת

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדרג למורה

על-ידי משקל הגוף? היכן נקודת ההפעלה של כוח המשקל של תלמיד, הניצב ליד הלוח? מה מקורו של "כוח המשקל"? כיצד נמצא את משקל הגוף? איזו מהירות מכונה מהירות המילוט הראשונה?

ד. משימת חקר

נציע שיטה כיצד למדוד את משקל הגוף בעזרת הדינמומטר, כאשר ידוע מראש שהגוף כבד יותר מתחום המדידה של הדינמומטר.

מטלה: סעיף 34 – 35 בספר הלימוד.

שיעור 7. כוח החיכוך

מטרות השיעור

- * הכרת תופעת החיכוך.
- * שימוש באמצעים הממחישים את תופעת החיכוך.
- * מקדם החיכוך.
- * תרגול פתרון תרגילים הקשורים בתופעת החיכוך.

א. מתווה להצגת החומר החדש

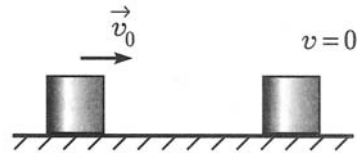
בין התופעות הסובבות אותנו יש לתופעת החיכוך מקום נכבד: הצעידה מותנית בקיום החיכוך, מכונית בולמת באמצעות חיכוך, קשת הכינור משמיעה קול עקב החיכוך.

מהי תופעת החיכוך? מהי הסיבה (המקור) לחיכוך? באמצעות הניסוי (ציור 45) מציגים את הסוגיה המרכזית: הגדרת התופעה. סוגיות לדיון: מהי הסיבה לשינוי מהירות תנועתה של הקובייה? כיצד מתרחשת פעולת בלימה זו?

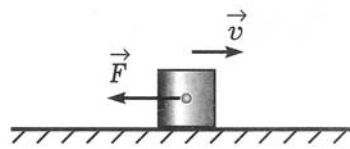
המורה יסכם: התנגדות לתנועה של גוף אחד, המחליק על פני משטחו של האחר, מכונה **חיכוך**.

כדי לאפיין את פעולת המשטח על קובייה נעה נגדיר סוג כוח חדש: **כוח חיכוך**. באמצעות ציור 46 נחזור על הסוגיות: מהו המקור לכוח החיכוך הפועל על הקובייה? להיכן הוא מכוון? האם פועל כוח חיכוך, שמקורו בקובייה, על המשטח? (כן, בהתאם לחוק השלישי של ניוטון).

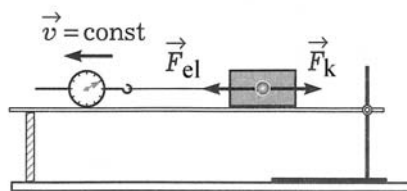
כיצד נמדוד את כוח החיכוך? באמצעות הניסוי (ציור 47); המורה ידגים את



ציור 45



ציור 46



ציור 47

שיטת המדידה. חשוב להדגיש: במקרים רבים קשה לחשב את כוח החיכוך, וקל יותר למצוא אותו באמצעות ניסוי. סוגיות לדיון: הרי הכוח שמודד הדינמומטר הוא הכוח האלסטי; מדוע אפוא ניתן לטעון שהדינמומטר מודד את כוח החיכוך?

במה תלוי כוח חיכוך? התלמידים ישיבו לשאלה זו באמצעות סדרת ניסויים. ציוד: דינמומטר, תיבת עץ מלבנית, אוסף משקולות, לוחית עץ לא מעובדת, נייר זכוכית. המורה ירשום על הלוח את רשימת המשימות: א. חקירת תלות כוח חיכוך בגודל שטח המגע בין הגופים (מדדו והשוו את כוחות החיכוך בשני מצבים שוני שטח מגע של התיבה). ב. חקירת תלות כוח החיכוך בגודל הלחץ הנורמלי; ג. חקירת תלות כוח החיכוך בטיב עיבוד המשטחים.

המורה ינסח את המסקנה הכללית: כוח חיכוך תלוי בעקה הנורמלית (בכוח הנורמלי N) ובטיב המשטחים (המתואר במקדם החיכוך μ). סיכום הדיון מוביל לנוסחה הבאה לכוח חיכוך: $F = \mu N$.

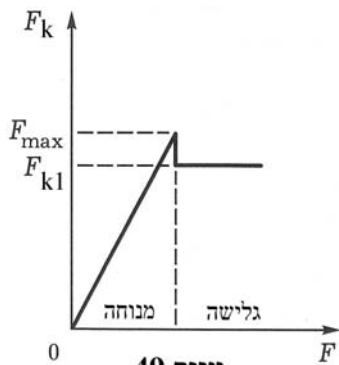
ב. הרחבת מושג החיכוך

קיימים כמה סוגי חיכוך: חיכוך מנוחה, חיכוך גלגול, חיכוך נוזלי (המתגלה בעת תנועה יחסית בין גוף מוצק לבין נוזל או גז). נדון בתופעות אלה.

חיכוך מנוחה. המורה ידגים את הניסוי שבציור 48. סוגיות לדיון: מדוע אין הגוף זז בהשפעת הכוח האלסטי? (המשטח מתנגד לתנועה; אם קיימת התנגדות לתנועה, אזי קיימת השפעת המשטח, כלומר חיכוך, ובמקרה זה חיכוך במנוחה). כיצד נמצא את כיוונו ומגמתו של כוח החיכוך במנוחה? כיצד נמדוד אותו? (כוח החיכוך שווה בערכו לכוח האלסטי המשתנה, הפועל מצדו של הדינמומטר, ומגמתו הפוכה. המסקנה: כוח חיכוך במנוחה אינו קבוע, אלא גדל ככל שגדל הכוח החיצוני,



ציור 48



ציור 49

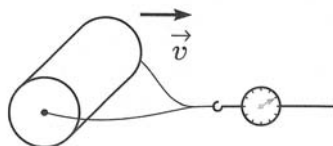
שהוא הכוח המושך). האם קיים גבול לכוח החיכוך כאשר גדל הכוח המושך? (המורה ידגים את הניסוי, המוכיח את קיומו של כוח חיכוך מנוחה מרבי $F_{\max}$). במה תלוי כוח חיכוך המנוחה המרבי? (המורה ידגים ניסוי: הגדלת כוח חיכוך המנוחה המרבי כאשר מגדילים את העקה הנורמלית באמצעות משקולות). המורה יסביר את הגרף שבציור 49.

חיכוך גלגול. המורה ידגים את הניסוי (ציור 50). סוגיות לדיון: במה שונה חיכוך הגלישה (ההחלקה) מחיכוך הגלגול? (בתחילה נמנע את גלגול הגליל ויופיע חיכוך גלישה; לאחר מכן משחררים את הגליל, ויופיע חיכוך גלגול).

כוח חיכוך הגלגול קטן באופן משמעותי מכוח חיכוך הגלישה. מה קובע את כוח חיכוך הגלגול? במהלך הדיון יכוון המורה את התלמידים, ובתום הדיון יגיע לנוסחת החוק לכוח חיכוך הגלגול:

$$F_R = \mu_R \cdot \frac{N}{R}$$

חוק זה נוסח בשנת 1781 על-ידי הפיזיקאי הצרפתי **קולון** על סמך ניסויים שערך.



ציור 50

חיכוך נוזלי. המורה יפנה את תשומת לב התלמידים לכך שתופעת החיכוך קיימת גם בגזים ובנוזלים. המורה ידגים ניסויים פשוטים: נפילת כדור ודף נייר, תנועת כדור בצנצנת מלאה מים. סוגיה לדיון: אילו תופעות מוכיחות את תלות כוח ההתנגדות במהירות הגוף (ראו ציור 94 בספר הלימוד).

ג. יישומי כוח החיכוך

ייערך דיון במשמעות החיכוך בטבע ובהנדסה. להלן מתווה דיון קצר: א. סיכה: שמן, מרווחי אוויר; ב. חומרים בעלי משטחים חלקים: טפלון ועוד; ג. המרת חיכוך גלישה לחיכוך גלגול; ד. החיכוך ה"טוב": הליכה, צמיגים, כלי נגינה. סוגיות לדיון:

מדוע מתקדמת מכונית צעצוע באורח שונה על-גבי משטחים שונים? (תלוי בטיב עיבוד המשטח שעליו היא נוסעת). מדוע מעמיסים על קטר הרכבת משקל רב? המסקנה הכללית: לתופעת החיכוך תפקיד חשוב בחיי היומיום. כדי לשלוט בכוח החיכוך יש לדעת את מקדמי החיכוך של המשטחים הבאים במגע ואת חוק החיכוך המתאים. זאת אחת המשימות החשובות של המכניקה.

1. אם הזמן מאפשר, מן הראוי לפתור בעיה שאופייה הנדסי.

מטלות: סעיפים 38 – 40.

מקבץ תרגילים 7 (3).

מעבדות חקר על-פי הלומדה **ניוטון** (הדמיות 1.1, 2.3).

שיעור 8. מעבדה: מדידת מקדם החיכוך

המעבדה בנושא זה חיונית; פירוט מהלך העבודה תלוי בצידוד הנמצא ברשות בית-הספר.

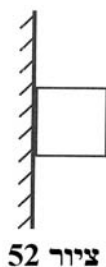
דיון בסוגיות כהכנה למעבדה: מהי תופעת חיכוך הגלישה? מהו המאפיין העיקרי של חיכוך הגלישה שבין שני גופים? באילו גורמים תלוי כוח חיכוך הגלישה? כיצד ניתן למצוא את כוח החיכוך: על-ידי חישוב ועל-ידי מדידה? האם אפשר למדוד במישרין את מקדם החיכוך?

ניתוח התוצאות: ערכו של מקדם החיכוך שהתקבל בניסוי יהא קרוב לערך הנתון בספר (בגבולות השגיאות המותרות), ויאשש את המודל התיאורטי.

ננתח את גורמי הסטיות בחישוב של מקדם החיכוך בניסויים רצופים: אי-הדיוק של הדינמומטר, תנועת משטחים שאינה קבועה בשיעור מהירותם היחסית, שגיאה בקריאת התוצאות.

שאלות בקרה

מנו את השיטות לשינוי גודלו של כוח חיכוך ההחלקה (הגלישה). אילו מהן ניתן ליישם באמצעות הצידוד הנתון? ציירו את הכוחות הפועלים על הקובייה, אם היא נמצאת במנוחה (ציור 52). ציירו כוחות הפועלים על גוף הגולש במהירות קבועה במדרון משופע. מצאו את מקדם החיכוך



ציור 52

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרין למורה

בין הגוף לבין משטח הגלישה הנתון.

מטלות: מעבדת חקר על-פי הדמיה 3.1 של הלומדה **ניוטון** (גלישה במדרון משופע).

משימה: מצאו את מקדם החיכוך המזערי הנחוץ, בתלות השיפוע, כדי שהגוף לא יגלוש במדרון.

שיעור 9. סיכום ובקרה

מטרות השיעור

- * סיכום ידע התלמידים בנושא הכוחות במכניקה.
- * תרגול פתרון תרגילים אופייניים.
- * פיתוח מיומנות סיכום המידע בכתב ובעל-פה.

א. סיכום המידע

סיכום המידע נעשה באמצעות דיון ושימוש בטבלה. הסוגיות: על אילו פעולות הדדיות לומדים במכניקה? מה מאפיין כוח? על בסיס איזה חוק מוגדר כוח? באילו גורמים תלוי כוח הכבידה הפועל על גוף? האם הוא תלוי במסת כדור הארץ? נמקו. כיצד נמדוד באופן ניסויי את משקל הגוף? כיצד נקטין את כוח החיכוך? האם יכול כוח חיכוך לגרום לתאוצת הגוף? מה מקור הכוח הפועל מצדו של שולחן על הספר המונח עליו?

ב. עבודה עצמית

גרסה 1

1. ציירו את כל הכוחות הפועלים על הגוף ועל הקפיץ בעת מדידת משקל באמצעות דינמומטר. אילו כוחות מקזזים זה את זה? אילו כוחות שווים על-פי החוק השלישי של ניוטון?
2. מצאו את התאוצה של נפילה חופשית של גוף בעל מסה של 2 ק"ג, אם ידוע שפועל עליו כוח כבידה של 9.8 ניוטון. האם נפילתו של הגוף היא נפילה חופשית? נמקו.

גרסה 2

1. מה מקדם הקפיץ המתואר בציור 53?
2. מושכים מטען על פני הקרקע במהירות קבועה באמצעות כוח של 140 ניוטון,

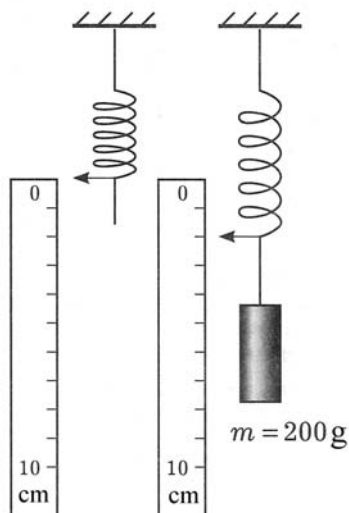
פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרין למורה

המופעל עליו בכיוון אופקי. מה משקל המטען, אם מקדם החיכוך שבין משטח המטען לבין הקרקע שווה ל- 0.7? ציירו את הכוחות הפועלים על המטען.

גרסה 3

- גוף שמשקלו $120 \pm 1 \text{ N}$ זז במישור אופקי במהירות קבועה, כאשר פועל עליו כוח אופקי של $54 \pm 1 \text{ N}$. מהו מקדם החיכוך?
- הוכיחו שקבוע הקפיץ של שני קפיצים זהים, המחוברים במקביל, גדול יותר מהקבוע של כל אחד מהקפיצים בנפרד.

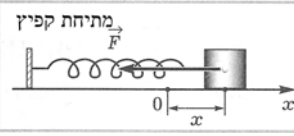
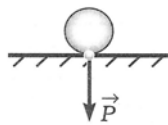
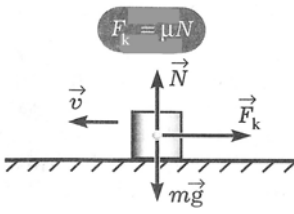
מטלות: מקבץ תרגילים 7 (4)



ציור 53

כוחות במכניקה

סוג הכוח	הפעולה שמתאר הכוח	המקור	נוסחת הכוח
גרביטציה עולמית	פעולת משיכה הדדית בין גופים	גרביטציה	$F_M = G \frac{m_E \cdot m_M}{r^2}$ כדור הארץ
כבידה	משיכת גוף על-ידי כדור הארץ	גרביטציה	 גוף כדור הארץ

 	אלקטרומגנטי	פעולת הגוף המעוות על גופים אחרים	אלסטי
א) מנוחה $P = mg$  ב) תנועת התומך בתאוצה $\vec{a}$: $P = m(g \pm a)$	אלקטרומגנטי	פעולת הגוף על תומך או על מתלה	משקל הגוף
	אלקטרומגנטי	פעולת גוף אחד על האחר במגע או בתנועה יחסית	חיכוך

פרק IV. שימוש בחוקי המכניקה

ידיעת חוקי ניוטון וחוקי הכוחות במכניקה, המתארים את הפעולות ההדדיות שבין הגופים, מאפשרת לחשב את המאפיינים הקינמטיים של תנועת הגופים: לאתר את הקואורדינטות ולחשב את מהירות הגוף בכל רגע. חוקי הדינמיקה מאפשרים לפתור גם תרגילים אחרים בתחום המכניקה: למצוא את מסת הגוף, לחשב את הכוחות ועוד.

על בסיס חוקי הדינמיקה ובעזרת נתונים שמקורם בניסויים ניתן לפתור תרגילים מגוונים, להסביר תופעות טבע שונות ולפתור בעיות הנדסיות.

שיעור 1. מתמטיקה; שפת הפיזיקה

מטרות השיעור

* ארגון וסיכום של ידע התלמידים בפעולות מתמטיות הנחוצות לפתרון תרגילים בפיזיקה.

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרין למורה

* תרגול מיומנויות של מציאת כיוון המהירות ומגמתה, התאוצה, הכוח; וחשוב ההיטלים של גדלים אלה על צירי מערכת הייחוס.

א. מתווה להצגת תרגול המיומנויות

לצורך הדיון ניעזר בטבלת מאפייני התנועה.

הלימוד יתבצע בשיחה ובדיון במהלך פתרון תרגילים. נראה שאי-אפשר לתאר תנועה מכנית ללא שימוש במתמטיקה. משימת השיעור היא להבין אילו פעולות מתמטיות בגדלים פיזיקליים נחוצות כדי לתאר תנועה מכנית.

נמצא את הקואורדינטות של גוף במערכת ייחוס, הכוללת מערכת צירים שקובעת את קנה המידה. התלמידים יתרגלו את מציאת הקואורדינטות של נקודות שונות במערכת צירים.

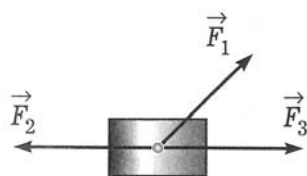
במהלך פתרון תרגילים בפיזיקה משתמשים בפעולות חשבון רגילות בין גדלים פיזיקליים, הכוללים ערך מספרי ויחידות פיזיקליות. הפעולות האלגבראיות בין היחידות הפיזיקליות נעשות על-פי כללי האלגברה הרגילים. כדוגמה נפתור את התרגילים הבאים:

תרגיל 1. באיזו תאוצה נע גוף שמסתו 3 ק"ג, כאשר פועל עליו כוח של 1 ניוטון?

מהי מהירות הגוף בתום השנייה העשירית לתנועתו?

בפיזיקה משתמשים בערכים סקלריים ווקטוריים. כללי הפעולה בהם שונים.

להלן דוגמה של חיבור וקטורי במהלך מציאת כוח שקול:



ציור 54

תרגיל 2. האם ינוע גוף, המתואר בציור 54,

אם מופעלים עליו שלושת הכוחות המתוארים בציור?

במכניקה נפוץ מאוד השימוש בגרפים

לתיאורה של תנועה. כמה דוגמאות לגרפים של

מהירות והעתק בתנועה שוות-תאוצה יוצגו על הלוח.

סוגיות לדיון: האם משתמשים במתמטיקה במהלך מדידות פיזיקליות? האם

תוצאת המדידה היא מספר מדויק או מקורב? כיצד מחברים (מכפילים וכדומה)

מספרים בערכיהם המקורבים? מדוע נחוץ חישוב שגיאות המדידה של הערכים

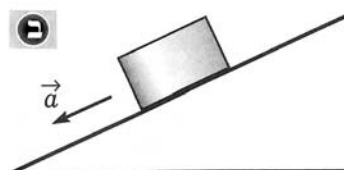
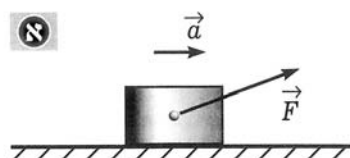
הפיזיקליים? נלווה בדוגמה של חישוב שגיאות בשני אופנים (ראו במבוא לפרק

המעבדות – עמוד 425 בספר הלימוד – ובנספח א: חישוב שגיאות באמצעות נגזרות חלקיות).

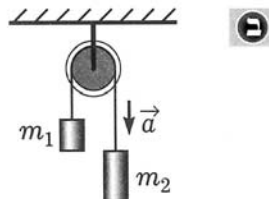
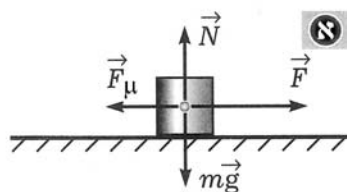
השימוש במכלול האמצעים המתמטיים מודגם בפתרון התרגילים הבאים:

תרגיל 3. רשמו את משוואת החוק השני של ניוטון למקרים המתוארים בציור

55. מצאו את הכוחות הפועלים על הגוף.

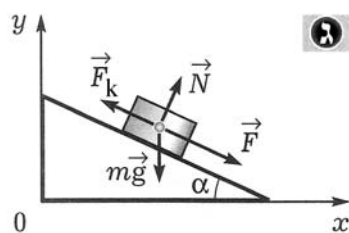


ציור 55

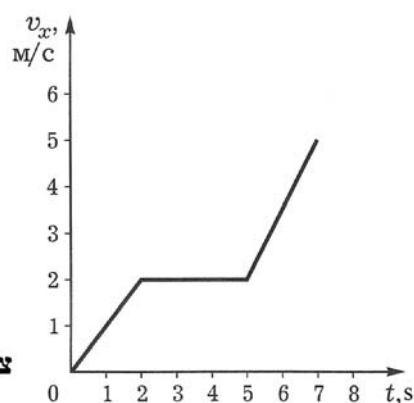


ציור 56

תרגיל 4. רשמו את המשוואה הבסיסית של הדינמיקה בהיטלים על צירי הקואורדינטות עבור המקרים המתוארים בציור 56.



ציור 56



ציור 57

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדריך למורה

תרגיל 5. על-פי הגרף (ציור 57) של היטל מהירות הגוף בתלות הזמן מצאו: א. מהו סוג התנועה של הגוף? ב. מהי תלות הכוח השקול בזמן? ג. מהם הערכים המספריים לתאוצה, ומהו ערכו של הכוח, בתלות ערך המסה, בכל שלב של התנועה?

מציאת מאפייני התנועה של גופים

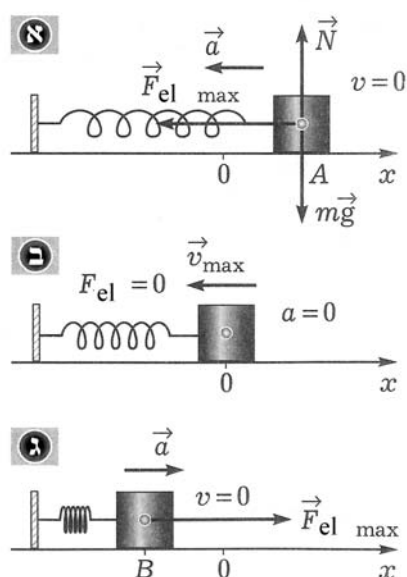
שיטה/ מאפיין	תיאורטית	ניסויית
קואורדינטה	שימוש במשוואות התנועה: $x = x_0 + v_{0x}t$ $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	מדידה במערכת ייחוס
העתק	$ x = x - x_0$ $ y = y - y_0$ $s = \sqrt{ x ^2 + y ^2}$	1. גודל ההעתק נמדד בסרגל 2. כיוון התנועה ומגמתה: מהתחלת התנועה עד לסופה
מהירות של תנועה קצובה	$\vec{v} = \frac{\vec{x}}{t}$	1. גודל ההעתק נמדד בסרגל 2. זמן נמדד בשעון
תאוצה	$\vec{a} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t}$	מד-תאוצה
מסה	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$	1. שיטת הפעולה ההדדית 2. שקילה
הכוח האלסטי	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = -kx$	דינמומטר

1. דינמומטר 2. שקילה 3. על סמך מדידת המסה והתאוצה	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	כוח הכבידה
דינמומטר	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = \mu N$	כוח החיכוך

שיעור 2. תנועת גוף בהשפעת כוח אלסטי

מטרת השיעור

* ארגון וסיכום של הידע וההבנה בדבר השפעת הכוח האלסטי על תנועת הגוף. המורה יעלה סוגיות לדיון: מהו עיוות? אילו עיוותים ידועים לכם? איזו פעולה מתאר כוח העיוות? מה המקור לכוח העיוות? האם מתעוות כיסא כאשר מתיישב עליו תלמיד? כיצד נוכיח זאת באופן ניסויי? להיכן מכיוון כוח העיוות כאשר מצמידים מחק גומי לנייר? איזה סוג עיוות זה? כיצד ינוע גוף נקודתי בהשפעת כוח אלסטי?



ציור 58

נעביר ניסוי (ציור 58) ונדון בסוגיות: כיצד ינוע הגוף (מסלול, מהירות, תאוצה) כאשר נשחרר את הקפיץ המתוח? אילו כוחות פועלים על הגוף? מה יהיה טבעה של תנועת הגוף מנקודה O לנקודה B, ובסביבת הנקודה B (ציור 58)? להיכן מכיוון הכוח ביחס לכיוון המהירות בשלבים השונים של התנועה? כיצד אפשר לאפיין את תנועת הגוף באופן כללי בהשפעת הכוח האלסטי?

כיצד נרשום את החוק השני של ניוטון עבור הגוף הנתון? ($ma_x = -kx$). האם נוכל לחשב את תאוצת הגוף? (לא. ניתן לחשב את התאוצה עבור רגע מסוים בלבד, מכיוון שבמהלך התנועה משתנה ההתארכות x , ואזי משתנה גם התאוצה).

כיצד ינוע גוף, אם הכוח האלסטי יהיה מאונך למהירות התחלתית?

המורה ידגים ניסוי, שבו הגוף הקשור לחוט מסתובב במישור אופקי (על השולחן).

ייערך דיון בסוגיות: כיצד נוכיח שעל הגוף פועל כוח אלסטי מצדו של החוט?

איזה תנאי

מבטיח שהחוט יפעל על הגוף? האם הגוף פועל על החוט? נמקו. האם משתנה תאוצת הגוף בעת הסיבוב? נמקו.

מטלות: מעבדת חקר על פי הלומדה רוטרי (הדמיות 1.2 ו-3.1).

שיעור 3. תרגול: תנועת גוף בהשפעת כוח כבידה

א. דיון

הכיתה תדון בסוגיות הבאות: 1. מצאו את היטלי כוח הכבידה על צירי מערכת

היחוס; 2. מצאו את הכוחות הפועלים על כדור בתנועתו המואצת כלפי מעלה; 3

. רשמו את נוסחת חוק הכבידה העולמי; 4. במה תלויה תאוצת הנפילה החופשית?

ייערך סיכום בנושא השפעת כוח הכבידה על נפילה חופשית באמצעות הטבלה.

ב. פתרון תרגילים

תרגיל. מהו משך הנפילה של משקולת

ממגדל טלויזיה שגובהו 540 מ'?

מהירותה בעת הנגיעה בקרקע?

ניתוח התופעה. נדון בסוגיות: איזו תופעה

פיזיקלית נדונה? (נפילה חופשית של

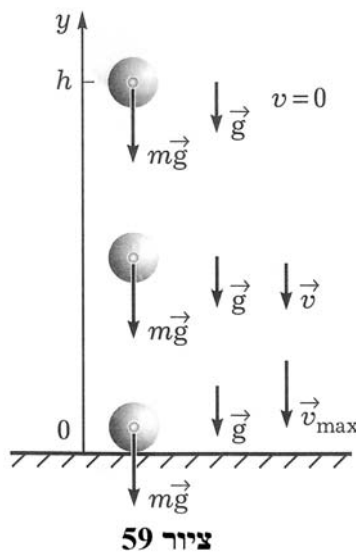
המשקולת). איזה מקרה של נפילה חופשית

מתואר? מהו מסלול המשקולת? האם משתנה

מהירות המשקולת במהלך נפילתה? נמקו.

האם משתנה התאוצה? נמקו. מהי הסיבה

לתאוצה? (השפעתו של כדור הארץ).



ציור 59

ציור 59 יועתק ללוח; מתוארים בו המצב ההתחלתי, מצב הביניים והמצב

הסופי של המשקולת. באיזו מערכת ייחוס כדאי לבחור כדי לתאר את התנועה?

מכיוון שסוג התנועה ידוע (שוות-תאוצה ובקו ישר), ויש למצוא את המאפיינים הקינמטיים של התנועה, נשתמש בנוסחאות הקינמטיקה המתאימות.

פתרון: נרשום את המשוואות לקואורדינטה ולמהירות המשקולת – תחילה בצורה הכללית:

$$v_y = v_{0y} + g_y t$$

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$$

נציב את ערכי ההיטלים: $-v = 0 - gt,$

$$y = h - \frac{gt^2}{2}$$

במערכת הייחוס שבחרנו תנאי הסוף הם: $y = 0, t = t_1$, ולכן נקבל:

$$v = gt_1, \\ 0 = h - \frac{gt_1^2}{2}.$$

מהמשוואה השנייה נמצא את משך הזמן, ומהראשונה – את המהירות. התשובה

הסופית: $t_1 = 10 \text{ sec}, v = 100 \text{ m/sec}$.

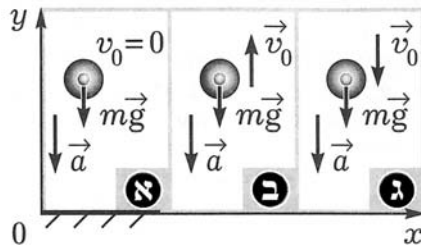
נשרטט את הגרפים של התאוצה, של המהירות ושל הקואורדינטה כפונקציות של הזמן.

סוגיות לדיון: האם משך הזמן, שחושב באופן תיאורטי, ישווה לזמן, שיימדד באופן ניסויי? נמקו.

מטלה: מעבדת חקר: תוכנת גלילאו, הדמיות 1.1.1 – 1.1.5

תנועת גוף בהשפעת כדור הארץ הנפילה החופשית

I. המהירות $\vec{v}_0$ מקבילה לכוח $\vec{F}$ ($\vec{v}_0 \parallel \vec{F}$), המסלול הוא קו ישר.



$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

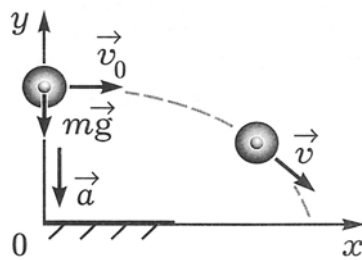
$$v_y = v_{0y} + g_y t$$

$$v_x = 0$$

$$x = x_0 = \text{const}$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$$

II. המהירות $\vec{v}_0$ מאונכת לכוח $\vec{F}$ ($\vec{v}_0 \perp \vec{F}$), המסלול הוא פרבולה.



$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

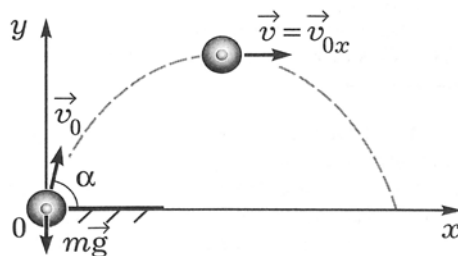
$$v_x = v_0$$

$$v_y = g_y t$$

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

$$y = y_0 + \frac{g_y t^2}{2}$$

III. המהירות $\vec{v}_0$ נוטה בזווית לכוח $\vec{F}$ (ולאופק), המסלול הוא פרבולה.



$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha + g_y t$$

$$x = x_0 + v_0 t \cos \alpha$$

$$y = y_0 + v_0 t \sin \alpha + \frac{g_y t^2}{2}$$

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרך למורה

שיעור 4. תנועת גוף בהשפעת כמה כוחות

מטרת השיעור

* תרגול המיומנות של תיאור תנועת גוף בהתבסס על החוק השני של ניוטון.

החזרה מיועדת לשיפור היישום של הידע. נעלה שוב את הסוגיות: מהו כוח שקול? כיצד לדעת כמה כוחות פועלים על הגוף? מהם סוגי הכוחות שעליהם למדנו עד כה? מהם חוקי הכוחות? כיצד להשתמש בחוק השני של ניוטון, כאשר פועלים על גוף שני כוחות?

א. מתווה להצגת החומר החדש

יוצג מבוא על-ידי המורה: מהי המשימה הלימודית העיקרית של השיעור? בחיי היומיום נמצאים רוב הגופים בתנועה, ובדרך כלל נגרמת תנועתם על-ידי פעולתם של כמה כוחות. לדוגמה: מלבד משיכת כדור הארץ פועל על הגוף שעל פני כדור הארץ גם כוח תומך. משימתנו היא ללמוד לחשב את מאפייני תנועת הגוף (תאוצה, מהירות, העתק) כאשר פועלים עליו שניים-שלושה כוחות.

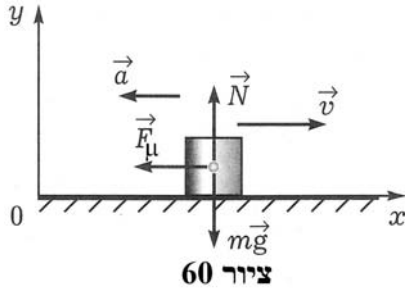
המקרה הפשוט ביותר של תנועה מואצת הוא תנועה בקו ישר. נפתור תרגיל מסוג זה:

תרגיל. רכבת, שמסתה 500 טון, עוצרת לאחר דקה אחת בעקבות הפסקת פעולת המנוע ובהשפעת כוח חיכוך ששיעורו 10^5 N. מה היתה מהירות הרכבת לפני תחילת הבלימה?

ניתוח התופעה הפיזיקלית: על פי נתוני התרגיל נמיר את הרכבת בגוף נקודתי: מידותיה אינן חשובות, ותנועת חלקיה (קרונוט, גלגלים וכו') אינה מעניינת אותנו. תנועתה שוות-תאוצה בקו ישר. הסוגיות שתועלינה: כיצד נדע שהתנועה שוות-תאוצה? אילו כוחות פועלים על הרכבת? (פועלת משיכת כדור הארץ, המתוארת על-ידי כוח הכבידה. פעולת משטח הקרקע כפולה: הקרקע מגלה התנגדות לתנועה, כוח חיכוך, ומגיבה בכוח תגובה נורמלי).

נשוחח על גרירת הרכבת על-ידי הקטר: זו תגובה נוספת של הקרקע לפעולת גלגלי הקטר; אולם בתרגיל מתואר מצב תנועה, כאשר כוח הגרירה שווה לאפס, כלומר הקטר אינו מושך עוד את הקרונוט. בציור 60 מתוארים הכוחות הפועלים על

הרכבת, והם הקובעים את אופי תנועתה.



הסוגיה היא בתחום הדינמיקה – אף אם נחוץ למצוא את הגודל הקינמטי: את המהירות ההתחלתית. לצורך זה נחשב את התאוצה באמצעות החוק השני של ניוטון.

פתרון: נרשום את המשוואה הבסיסית של הדינמיקה עבור הגוף הנקודתי הנתון (הרכבת):

$$m\vec{a} = \vec{F}_\mu + m\vec{g} + \vec{N}$$

כדי לעבור למשוואות סקלריות, נרשום את ההיטלים של הווקטורים על ציר מערכת הייחוס שנבחרה (ציור 60):

$$-ma = -F_\mu,$$

$$0 = -mg + N$$

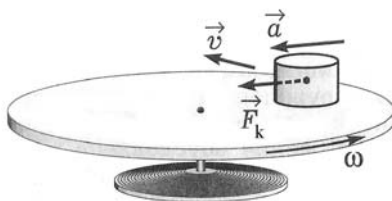
מהמשוואה השנייה נובע, שהכוחות המכוונים אנכית מקזזים זה את זה, שהרי הרכבת אינה זזה אנכית. מהמשוואה הראשונה נקבל ביטוי לתאוצה:

$$a = \frac{F_\mu}{m}$$

המשך הפתרון הוא קינמטי. עבור היטל המהירות נקבל: $v_x = v_{0x} + a_xt$.

בהתחשב בתנאי ההתחלה ובתנאי הסוף נקבל: $0 = v_0 - at$ או $v_0 = at$.

כעת נציב בביטוי אחרון זה את התאוצה, ונבצע חישוב לקבלת המהירות המבוקשת; זו תהיה בקירוב 43 ק"מ/שעה.



ב. עבודה עצמית בפתרון תרגילים

תחילה מומלץ לפתור תרגיל על-סמך ניסוי. לדוגמה: מדוע וכיצד סובב המחק המונח על דיסק מסתובב (ציור 61)? סוגיות לדיון: תנועה של איזה גוף אנו חוקרים? כיצד נע המחק? (אם המחק נמצא במנוחה יחסית לדיסק,

אזי יחסית לצופה, העומד על הקרקע, זוהי תנועה מעגלית, שוות-תאוצה בגודלה, אך לא בכיוונה). להיכן מכוונת התאוצה? כיצד נוכיח זאת? מהן הסיבות לתנועה המואצת של המחק? להיכן מכיוון כוח חיכוך המנוחה? במהירות סיבוב מסוימת מתחיל המחק לזוז יחסית לדיסק; מדוע? מהו התנאי להתחלת התזוזה? (כוח החיכוך אינו מספק את התאוצה הצנטריפטלית הנחוצה). האם ניתן להשוות בין כוחות החיכוך הפועלים על שני הגופים, הדיסק והמחק? נמקו.

מטלות: השלמת תרגילים ממקבץ תרגילים 7.

מעבדת חקר בהדמיות 3.1 מהלומדה ניוטון.

שיעור 5. מעבדה: חקירה של תנועה מעגלית של גוף בהשפעת כוח

אלסטי וכוח הכבידה

המעבדה תועבר על-פי ההוראות ובהתאם לצידוד המעבדה הנמצא ברשות בית-הספר.

הציוד הנדרש: סרגל באורך 50 – 60 ס"מ, תיבת עץ, דינמומטר ומד-זווית.

משימות לביצוע

משימה 1. מדוע וכיצד משתנות קריאות הדינמומטר במהלך תנועתה של תיבה במישור אופקי ובמישור משופע במהירות קבועה? ציירו את הכוחות הפועלים על התיבה בשני המקרים.

משימה 2. מצאו את הפרש קריאות הדינמומטר בתנועה קצובה של התיבה בירידה ובעלייה במדרון. שרטטו את מהלך הניסוי, את הכוחות הפועלים על התיבה, והסבירו את התוצאה.

משימה 3. מצאו את זווית השיפוע הגבולית, שעבורה מתחילה התיבה לגלוש במהירות קבועה. מדדו את הזווית והשיבו: מהו הקשר שבין זווית השיפוע הגבולית לבין מקדם החיכוך?

מטלה: מעבדת חקר על פי הלומדה ניוטון (הדמיות 3.1 – 3.3). יש למצוא את התלות בין מקדם החיכוך, שעבורו עדיין נחה התיבה (אינה גולשת עדיין), לבין זווית השיפוע המשתנה של המדרון.

פרק V. חוק שימור התנע

חוקי השימור הם אמצעים יעילים לתיאור תנועת המערכת המכנית. גודל פיזיקלי שנשמר הוא תמיד מאפיין נוח מאוד, ומדענים מנסים למוצאו. חוקי שימור התנע ושימור האנרגיה הם השלכות ישירות מחוקי ניוטון, אולם בהמשך התפתחותה של הפיזיקה קיבלו מעמד של חוקי יסוד.

אם יגלה התלמיד תופעות ותהליכים, שעבורם מתקיימים חוקי השימור, תשתפר שליטתו בחומר הנלמד ובפתרון תרגילים. במקרים כאלה מומלץ לפתור את התרגילים בשתי הדרכים: בדרך ישירה (באמצעות חוקי ניוטון) ובאמצעות חוקי שימור האנרגיה ושימור התנע.

שיעור 1. תנועת גוף נקודתי; התנע

מטרת השיעור

* הכרת המושג **תנע של גוף נקודתי**.

א. מתווה להצגת החומר החדש

הגודל הפיזיקלי $\vec{p} = m\vec{v}$ מכונה **תנע** ומאפיין תנועת גוף בעל מסה. תנע של מערכת גופים נקודתיים שווה לסכום ערכי התנע של כל גוף וגוף בנפרד, וחיבורם מתבצע על-פי כללי החיבור של וקטורים.

תרגיל. רכבת, שמסתה 500 טון, עוצרת לאחר דקה אחת בעקבות הפסקת פעולת המנוע. מצאו את מהירות הרכבת לפני התחלת הבלימה, אם ידוע שכוח חיכוך הבלימה שווה ל- 10^5 N .

ניתוח התופעה. הגוף (הרכבת) נעה בקו ישר בתאוצה קבועה (תאוצה) בהשפעת כוח חיכוך. כדי לתאר את התנועה נבחר את המודל המתאים: גוף נקודתי. נשרטט את המודל, נסמן את הכוחות הפועלים עליו ונבחר מערכת ייחוס. את הכוחות נמצא על פי הכלל: אם יש פעולה, יש לה מאפיין (כוח).

הרעיון לפתרון. בנתוני התרגיל כלולים מאפיינים דינמיים של הגוף ושל התנועה. לכן אופי הסוגיה הוא דינמי, ובפתרונה נתבסס על החוק השני של ניוטון.

פתרון. כוח הכבידה וכוח תגובת התומך מקזזים זה את זה. לכן נרשום את

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

החוק השני בצורה:

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}t$$

מערכת הייחוס שבחרנו כוללת ציר אחד: Ox; בהיטלים על הציר הזה תקבל

המשוואה שרשמנו את הצורה: $-mv_1 = -Ft$.

נחלץ את המהירות: $v_1 = \frac{Ft}{m}$. נציב את הנתונים ונקבל: 12 מ'ש'.

ניתוח התוצאות. הרכבת נסעה במהירות 43 ק"מ/שעה, והיא בלמה במשך דקה

אחת. ובכן, התוצאה סבירה. מבחינת היחידות לתוצאה האלגברית מקבלים:

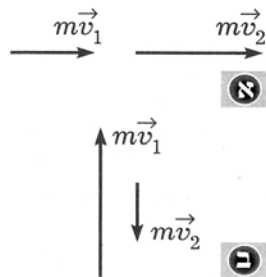
$\frac{m}{\text{sec}} = \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{kg}} = \frac{m}{\text{sec}}$. בכמה השתנה התנע של הרכבת בבלימה? האם תבלום הרכבת מהר או לאט יותר, אילו מסתה היתה גדולה יותר? נמקו.

בסוף השיעור מומלץ לפתור תרגיל אחד או שניים, הכוללים פעולות עם

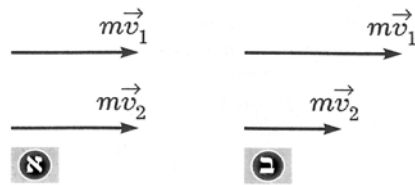
וקטורים: א. מצאו את המתקף של הכוח, אם ידועים הערכים של התנע התחלתי

ושל התנע הסופי של גוף נקודתי (ציור 62); ב. מצאו: האם על הגוף הנקודתי פעל

כוח, אם מצבי תנועתו התאפיינו בערכי התנע המתוארים בציור 63? נמקו.



ציור 62



ציור 63

מטלה: סעיף 41 בספר הלימוד.

שיעור 2. חוק שימור התנע

מטרות השיעור

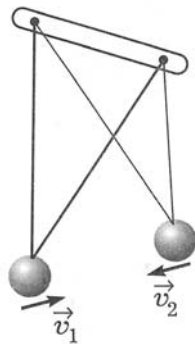
* הכרת המושגים מערכת פיזיקלית סגורה, כוח חיצוני וכוח פנימי.

* ניסוח חוק שימור התנע.

* שימוש בחוק שימור התנע בפתרון תרגילים.

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

א. תוכן ההצגה וסדרה תואמים לאלה שבספר הלימוד.

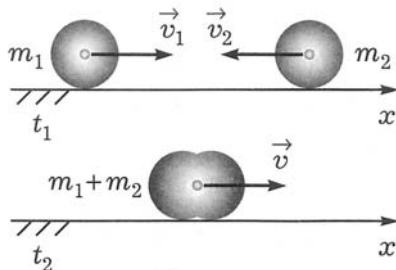


ציור 64

1. מערכת פיזיקלית היא אוסף הגופים שנבחרו למטרה כלשהי. המערכת הפשוטה ביותר היא מערכת בת שני גופים. מודל המערכת מסוג זה הוא שני גופים נקודתיים (נשחזר את ציור 99 בספר הלימוד, ונגדיר את המושגים **כוח חיצוני וכוח פנימי**). נדגים ניסוי של התנגשות בין שני כדורים, התלויים בחוטים בעלי אורך משתנה (ציור 64). דיון בסוגיות במהלך הניסוי: איזו מערכת פיזיקלית בחרנו לחקור? להיכן מכוון התנע של הכדור הראשון בעת התנגשותו בכדור האחר? מהו התנע של הכדור האחר לאחר ההתנגשות?

2. סוגיה: האם אפשר להשתמש בחוק השני של ניוטון, בצורת מתקף-תנע, עבור מערכת של שני גופים נקודתיים? (ביישום המשוואה: $\Delta \vec{p}_S = \vec{F} \cdot \Delta t$).

3. ננסח את תנאי שימור התנע למערכת של גופים נקודתיים (ומערכת מתאימה של גופים ריאליים). נפנה את תשומת הלב למקרה של שימור היטלי התנע על ציר.



ציור 65

4. נשחזר את פתרון תרגיל דוגמה 1 שבסעיף 44 בספר הלימוד. ניעזר בשרטוט נוסף (ציור 65). סוגיות לדיון ולחזרה: האם אפשר להציג את המערכת המתוארת של שני הכדורים כמערכת סגורה? האם מתקיים חוק שימור התנע? נמקו. האם נשמר היטל התנע על ציר Ox למערכת הגופים? נמקו.

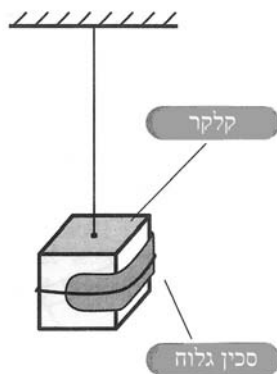
מטלות: סעיף 42 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 8 (2, 3).

שיעור 3. פתרון תרגילים

נחזור בקצרה על החומר העיוני ועל בדיקת פתרון תרגילים מהמטלות.
להלן דוגמאות לתרגילים לעבודה משותפת ולדיון.

תרגיל 1. כיצד ומדוע תנוע המערכת המכנית המתוארת בציור 66, כאשר נשרוף את החוט המחזיק את פס המתכת הקפיצי שחובק את הקל-קר? כיצד נמדוד באופן ניסויי את התנע שהעביר פס המתכת לחתיכת הקל-קר? תלמיד יעביר את הניסוי, וכל הכיתה תשתתף בדיון.



ציור 66

תרגיל 2. קרון, שמסתו 60 טון, נע במהירות 2 מ'ש' ומתחבר לקרון ניח, שמסתו 40 טון. מה מהירות המערכת לאחר ההתחברות?

סוגיות לדיון: האם ניתן להציג את המערכת כמערכת סגורה? נמקו. מדוע וכיצד משתנים ערכי התנע של הקרונות? האם מהירות המערכת במציאות תהיה גדולה או קטנה מהמהירות המחושבת? נמקו.

מטלות: סעיף 42 בספר הלימוד.

השלמות ממקבץ תרגילים 8, למעט תרגילים 4 ו-6.

שיעור 4. תנועה סילונית

מטרת השיעור

* הכרת תנועה סילונית.

א. מתווה להצגת החומר החדש

בתחילת השיעור יוצג חומר חדש, ולאחר מכן תיבדקנה המטלות וייפתרו תרגילים.

תנועה סילונית היא תנועת גוף בהשפעת חלקים של הגוף, שנפרדו ממנו במהירות מסוימת. נעביר ניסויים, המדגימים את התופעה: א. הטיית צינורית גומי

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

בעלת קצה מכופף בעת יציאת זרם המים ממנה; ב. תנועת בלון אוויר בעל נחיר יציאה העשוי צינורית דקה. נוכיח את נוסחת מהירות הטיל על בסיס חוק שימור התנע:

$$v_r = \frac{m}{M} v_g$$

כאשר: v_r, v_g – מהירות הטיל ומהירות הגז בהתאמה; M ו- m – מסותיהם.

מדוע נוסחה זו מקורבת? איך אנו מתייחסים למסה של הטיל? שני תלמידים יכינו עבודת סמינריון בנושא מנועי סילון וטיסות לחלל.

ב. הצגת תרגילים

תרגיל 1. צייד, שמסתו 70 ק"ג, נמצא בסירת גומי קלה ויורה בכיוון אופקי. מה תהיה מהירותו לאחר ירי של קליע אחד, אם מהירות הקליע 320 מ"ש, ומסתו 35 גרם?

תרגיל 2. טיל חלל, שמסתו 5 טון, מפעיל את מנועיו על מנת להאט את תנועתו. בעת שריפת הדלק, שמסתו 500 ק"ג, נוצרים גזים שנפלטים מהטיל במהירות 1,000 מ"ש. בכמה פחתה מהירות הטיל?

מטלות: סעיף 43 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 8 (4, 6).

שיעור 5. פתרון תרגילים; בוחן

מטרת השיעור

* רכישת מיומנות לאיתור תופעות פיזיקליות, שמתקיים בהן חוק שימור התנע; ופתרון תרגילים באמצעות חוק זה.

במהלך פתרון תרגילים תיעשה חזרה באמצעות השאלות: מהו תנע? כיצד לחשבו עבור גוף נתון? כיצד לחשבו עבור מערכת הגופים? באיזה מקרה נשמר תנע המערכת? מהם המאפיינים של התנע? המורה יפתור תרגיל אופייני ויסביר את כל שלבי הפתרון.

תרגיל: איזו מהירות רוכשת סירה נייחת, שמסתה 200 ק"ג, לאחר שיורים ממנה קליע שמסתו 20 ג' במהירות 800 מ"ש בכיוון אופקי? לעבודה עצמית מוצעים התרגילים הבאים:

עבודה עצמית

גרסה 1

1. פגז, שמסתו 100 ק"ג, נע אופקית במהירות של 500 מ"ש' ופוגע בקרון נייח מלא חול, שמסתו 10 טון. באיזו מהירות ינוע הקרון לאחר הפגיעה?
2. גוף, שמסתו 500 ג', נופל מגובה 10 מ' על הקרקע. מהו שיעור שינוי תנע הגוף?

גרסה 2

1. במהלך מעוף אופקי במהירות 15 מ"ש' התפוצץ פגז לשני חלקים, שמסתם 14 ו-16 ק"ג, בהתאמה. מהירות החלק הראשון 24 מ"ש' בכיוון התנועה ובמגמתה. מהי מהירותו של החלק האחר (גודל, כיוון ומגמה)?
 2. גוף, שמסתו 200 גרם, נזרק כלפי מעלה במהירות 12 מ"ש'. כיצד השתנה התנע של הגוף כאשר הגיע לגובה 5 מ'?
- מטלות:** סעיף 42 בספר הלימוד.
- השלמות ממקבץ תרגילים 8.

פרק VI. חוק שימור האנרגיה

קיימות שיטות רבות לתיאור התנועה המכנית, והן נקבעות על-פי המטרות להשגה ובמגבלת האפשרויות. בנוסף לכלים, שמציעות הקינמטיקה והדינמיקה, נתאר שיטה נוספת: תיאור התנועה באמצעות האנרגיה. התכונה הכללית ביותר של הגופים היא תנועתם, ובפרט תנועתם המכנית. המאפיין הבסיסי של התנועה הוא הגודל הפיזיקלי המכונה **אנרגיה**. כיצד להגדיר אותה, וכיצד להשתמש בה לצורך חקירת התנועה של מערכת מכנית? אלה הן המשימות של השיעורים הבאים.

שיעור 1. עבודה מכנית והספק

מטרת השיעור

- * הכרת המושגים **עבודה מכנית** ו**הספק**, והשימוש בהם בהתרת תרגילים.

א. חזרה ודיון

סוגיות לדיון: מהו ההעתק? מהם מאפייני הכוח? כיצד למצוא היטל וקטור על

ציר?

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

ב. מתווה להצגת החומר החדש

במה שונים הגורמים ליצירת העתק של גוף בהשפעת גופים אחרים? (הם שונים בגודל הכוח ובגודל ההעתק). יודגמו הניסויים: א. תנועת התיבה לאותו מרחק בהשפעת כוחות שונים; ב. תנועת התיבה למרחקים שונים בהשפעת אותו כוח. הציוד הנחוץ: משטח עץ, תיבת עץ, כמה משקולות, דינמומטר.

כדי לאפיין את התנועות השונות בהשפעת גופים אחרים נגדיר גודל פיזיקלי חדש: **עבודת כוח**. נשרטט את ציור 105 שבספר הלימוד, נרשום את הנוסחה, נדגיש את האופי הסקלרי של הגודל החדש, ונגדיר את יחידת העבודה. נשים לב לסימון: את ההעתק $\vec{x}$ רושמים בדרך כלל כ- $\Delta \vec{r}$.

נסקור מקרים פרטיים בחישוב עבודת הכוח: עבודה חיובית, עבודה שלילית ועבודה אפסית; עבודה של כמה כוחות. נסביר את הייצוג הגרפי של מושג העבודה (ראו ציור 107 בספר הלימוד), ונגדיר את המושג **הספק** ואת יחידותיו.

המורה יפתור את התרגילים האופייניים הבאים:

תרגיל 1. באיזה כוח מושך ילד עגלה בחבל בזווית של 30° לאופק, אם למרחק של 100 מטר מתבצעת עבודה השווה ל- 8 קילוג'אול?

תרגיל 2. מה ההספק של מנוע המכונית, אם הוא מפעיל כוח בן 4,500 ניוטון בנסיעה במהירות של 20 מ'ש'?

מטלות: סעיפים 45 – 46 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 9 (3).

שיעור 2. אנרגיה כמאפיין מצב המערכת; האנרגיה הקינטית

מטרות השיעור

* חזרה והעמקת הידע וההבנה של האנרגיה.

* חישובי האנרגיה הקינטית.

א. חזרה ודיון

את החזרה נעביר באמצעות בדיקת מטלות ופתרון תרגיל חדש ליד הלוח.

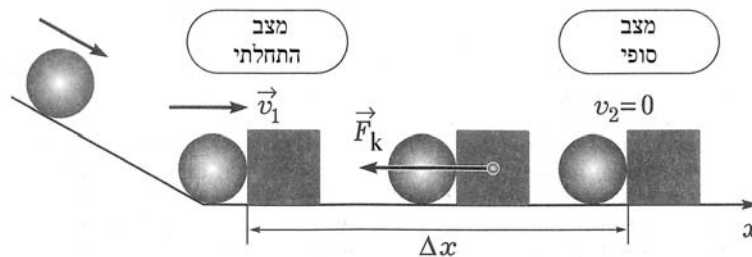
ב. מתווה להצגת החומר החדש

ניסוח הסוגיה המרכזית של השיעור: מהי האנרגיה? היכן נפגוש בה במערכות

מכניות? מהן הדוגמאות שניתן להציג כדי להמחישה? המורה יציג דוגמאות – שני כדורים, גוף המונח על שולחן, כדור נע – ויכליל: כל גוף או כמה גופים יכולים להיחשב כמערכת מכנית. אילו תופעות יכולות להתרחש במערכת מכנית? (הגופים במערכת מכנית עשויים לנוע ולהשפיע זה על זה).

לאפיון כללי של תנועה ופעולה הדדית של הגופים במערכת הוגדר גודל פיזיקלי בסיסי: **אנרגיה**. אנרגיה מאפיינת את מצב התנועה והפעולה ההדדית בין גופי המערכת.

גוף או מערכת גופים בעלי אנרגיה מסוגלים לבצע עבודה. יש לערוך ניסויים: א. כדור המתגלגל במדרון משופע יזיז משקולת (ציור 67); ב. קפיץ מכווץ מזיז משקולת.



ציור 67

כיצד תלויה אנרגיית הגוף במהירות תנועתו? האנרגיה המאפיינת את התנועה מכונה **אנרגיה קינטית**.

נעביר ניסוי (ראו שוב ציור 67): כדור נע גורם לתזוזת משקולת, וזו מלווה בביצוע עבודה. איזה כוח מבצע את העבודה? נמצא את העבודה (נשחזר את הפיתוח על-פי הנוסח של ספר הלימוד בסעיף 48).

הגודל $E = \frac{mv^2}{2}$ מאפיין את מצב התנועה של הגוף, והוא המכונה **אנרגיה קינטית**.

ג. פתרון תרגילים

תרגיל 1. איזו עבודה ביצע הכדור על המשקולת בניסוי שערכנו, אם מסת הכדור היא 50 ג', ומהירותו התחילית 1 מ/ש'?

תרגיל 2. האם אדם מבצע עבודה כאשר הוא: א. עולה במדרגות? ב. מחזיק דלי

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדריך למורה

מים בידיו? האם מבצעים עבודה כוחות שהשקול שלהם שווה לאפס?

תרגיל 3. כדי להכניס עמוד שמסתו 100 ק"ג לתוך קרקע, משתמשים במשקולת שמסתה 400 ק"ג, המופלת על העמוד מגובה 2 מ'. מה כוח ההתנגדות הממוצע של האדמה, אם כתוצאה ממכה אחת חודר העמוד לתוכה לעומק 5 ס"מ? ההתנגשות פלסטית.

מטלות: סעיפים 47–48 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 9 (6).

שיעור 3. עבודת כוח הכבידה ; פתרון תרגילים

מטרות השיעור

- * פיתוח נוסחה לעבודת כוח הכבידה.
- * הכרת המושג **כוחות משמרים**.
- * חישוב עבודת כוח הכבידה במקרים שונים.

א. חזרה ודיון

נפתור ליד הלוח את התרגיל מהמטלה. ייערך דיון פרונטלי על-פי הסוגיות:
כיצד לחשב את עבודת הכוח? במה תלויה עבודת הכוח? האם אפשר למצוא את עבודת הכוח, אם ידוע השינוי באנרגיה הקינטית של גוף נקודתי? אם כן, מהו?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

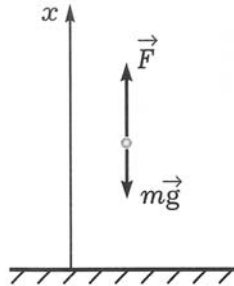
לימוד ותרגול בחומר החדש יתבצעו באמצעות פתרון תרגילים ודיון בסוגיות.
להלן סדר הופעתם המומלץ:

1. מצאו את עבודת הכוח, הפועל על גוף נקודתי בעת תנועתו האנכית כלפי מטה ובזווית לאופק (ראו ציורים 109 ו-111 בספר הלימוד). סוגיות לדיון: כיצד נע הגוף הנקודתי הנשמט מגובה כלשהו? מדוע? איזה כוח פועל על הגוף הנקודתי? להיכן הוא מכון? כיצד נחשב את עבודת כוח זה?

2. המורה יסביר את מושג **הכוח המשמר**, ויעלה את סוגיית עבודת הכוח המשמר במסלול סגור (ציור 113 בספר הלימוד).

3. גוף שמסתו 100 ק"ג מועלה בתאוצה 2 m/sec^2 כלפי מעלה לגובה 25 מ'. איזו עבודה מתבצעת בעלייה זו? סוגיות לדיון: איזו תופעה נחקרת בתרגיל? (תנועה

מואצת כלפי מעלה בהשפעת כדור הארץ וחבל או תומך נעים). איזה מודל ניתן לבחור לתופעה זו? (גוף נקודתי שמופעלים עליו שני כוחות, כך שהכוח השקול מכוון כלפי מעלה; ראו ציור 68).



ציור 68

4. האם ניתן להשתמש בנוסחה: $A = mgh_1 - mgh_2$ כדי

למצוא את הכוח המושך כלפי מעלה? (לא. אי-אפשר).

איך מוצאים את הכוח המושך? (באמצעות החוק השני

$$\text{של ניוטון: } \vec{ma} = \vec{F} + m\vec{g}.$$

מטלות: סעיף 49 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 9 (2, 8).

שיעור 4. עבודת הכוח האלסטי; פתרון תרגילים

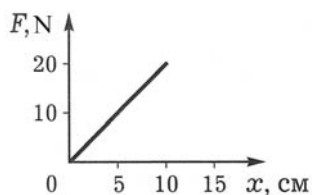
מלבד התרגילים השגורים, נמליץ על כמה תרגילים נדירים יותר:

תרגיל 1. מתעמל, שמסתו 80 ק"ג, קופץ מגובה 10 מ' לרשת המתוחה אופקית.

מה הכוח הממוצע שבו לוחץ המתעמל על הרשת, אם היא נמתחת עד כדי 0.1 מ' כלפי מטה?

תרגיל 2. מצאו את עבודת המתיחה של קפיץ הדינמומטר (ציור 69) לכל אורך

סרגל השנתות. איזו אנרגיה רוכש הקפיץ כתוצאה מעבודה זו? (התלמיד יבצע את הפעולה, ימדוד את הכוח הממוצע באופן מעשי, ויחשב את העבודה שהושקעה).



ציור 69

תרגיל 3. מצאו את העבודה של הכוח

החיצוני בתלות הכוח האלסטי ובמידת

ההתארכות של הקפיץ (ציור 69).

מטלות: סעיף 50 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 9 (4, 5).

שיעור 5. האנרגיה הפוטנציאלית; פתרון תרגילים

מטרות השיעור

- * הכרת המושג אנרגיה פוטנציאלית כמידת הפעולה ההדדית שבין גופים.
- * פיתוח נוסחאות החישוב לאנרגיה פוטנציאלית בעקבות השפעת כדור

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

הארץ על הגוף ועיוותו.

* תרגול חישוב האנרגיה הפוטנציאלית במקרים שונים.

א. מתווה להצגת החומר החדש

תנועה היא תוצאה של פעולה הדדית בין גופים. אי-לכך מתאפיינת גם הפעולה ההדדית על-ידי אנרגיה, והיא מכונה **אנרגיה פוטנציאלית**. כיצד היא מוגדרת? זו הסוגיה העיקרית של השיעור.

נזכיר את הגדרות העבודה של כוחות משמרים:

$$A = mgh_1 - mgh_2, \quad A = \frac{k\Delta l_1^2}{2} - \frac{k\Delta l_2^2}{2}$$

במקרים אלה נראה שעבודה תלויה במצב ההתחלתי ובמצב הסופי בלבד. הגודל המאפיין את מצב המערכת מכונה **אנרגיה פוטנציאלית**. עבור סוגי פעולה הדדית שונים היא מוגדרת בצורה שונה. המורה יסביר כי בחירת רמת האפס של האנרגיה הפוטנציאלית נקבעת מטעמי נוחות על-פי נתוני התרגיל.

נפתור תרגילים ליד הלוח בהשתתפות כל הכיתה.

תרגיל 1. איזו עבודה יש לבצע כדי להרים דלי מים, שמסתו 10 ק"ג, לקומה

שנייה שגובהה 5 מ'?

תרגיל 2. איזו עבודה יש לבצע כדי למתוח קפיץ, שקבועו 40 kN/m, לאורך

10 ס"מ? האם יכול אדם לבצע עבודה זו במשך שנייה אחת?

מטלות: סעיף 51 בספר הלימוד.

השלמת מקבץ תרגילים 9.

שיעור 6. חוק שימור האנרגיה במכניקה

מטרות השיעור

* פיתוח חוק שימור האנרגיה עבור מערכת גופים נקודתיים, שביניהם פועלים כוחות משמרים.

* חזרה על המושג **מערכת סגורה**.

* שימוש בחוק לפתרון תרגילים.

א.חזרה ודיון

מהו השוני בין אנרגיה פוטנציאלית לבין אנרגיה קינטית? את מה מאפיינת

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

האנרגיה הפוטנציאלית? האם השתנתה האנרגיה הפוטנציאלית של ספר שנפל מהשולחן לרצפה? אילו כוחות מכונים **כוחות משמרים**? מה ערכה של עבודת הכוח האלסטי על גוף, הקשור לקצה קפיץ מתוח, אם הגוף חזר למצבו ההתחלתי הרפוי (נדגים בניסוי)?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

על סמך ניסויים רבים הסיקו המדענים שבמערכת פיזיקלית סגורה, שפועלים בה כוחות משמרים בלבד, נשמרת האנרגיה המכנית: $E = E_k + E_p = \text{const}$. זהו אחד מחוקי הפיזיקה החשובים והכלליים ביותר.

נממש את תוכנו של עיקרון זה ואת השלכותיו בדוגמה הבאה:

תרגיל. הפילו כדור מחלון של הקומה השנייה מגובה 10 מ'. באיזו מהירות הוא יפגע באדמה? סוגיות לדיון: איזו מערכת פיזיקלית יש לבדוד כדי להציג אותה כמערכת סגורה? האם אפשר לכלול בה את הכדור בלבד? (לא. התופעה המתרחשת היא תוצאה של פעולה הדדית בין הכדור לבין כדור הארץ. נצייר ציור שכלולים בו שני הגופים שבמערכת ושני מצבי המערכת, ההתחלתי והסופי). מהו שיעור האנרגיה הקינטית האצורה במערכת במצב ההתחלתי? מהם מרכיביה? מהו שיעור האנרגיה הכללית האצורה במערכת במצב ההתחלתי? (זוהי אנרגיה של פעולה הדדית של הכדור וכדור הארץ, כלומר אנרגיה פוטנציאלית האצורה בגוף הנמצא מעל הקרקע). מה יהיה שיעור האנרגיה הכללית האצורה בגוף בכל מצב אחר תוך כדי הנפילה? כיצד נרשום את חוק שימור האנרגיה עבור המערכת שבחרנו? אם קיים חיכוך במערכת (כוחות התנגדות לתנועה במקרה הכללי), כלומר קיימים כוחות שאינם משמרים, גורמת עבודתם להפחתת האנרגיה המכנית הכללית האצורה במערכת: $\Delta E = A$. המורה ידגים את המקרה בפתרון תרגיל מתאים.

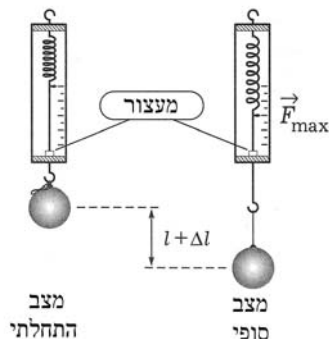
מטלות: סעיפים 52 – 53 בספר הלימוד.

שיעור 7. מעבדה: חוק שימור האנרגיה המכנית

משך המעבדה: שיעור אחד (כולל שאלות הקוונה ושאלות בקרה). לצורך חזרה עיונית יעלה המורה סוגיות: איזו מערכת פיזיקלית נחקרת? (ראו ציור 70: המערכת כוללת קפיץ, משקולת וכדור הארץ); האם מערכת זו סגורה? בין אילו מצבי מערכת

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

משוויים בניסויים?



ציור 70

סוגיות לדיון: באיזה רגע תהיה האנרגיה הקינטית מרבית? האם עבור המערכת הנחקרת מתקיים במדויק חוק שימור האנרגיה המכנית? במה תלויה אנרגיית המערכת במצב הסופי?

שיעור 8. פתרון תרגילים

בשיעור זה נתרגל פתרון תרגילים בנושא חוק שימור האנרגיה.

תרגיל. רכבת נוסעת במהירות 20 מ/ש' ומתחילה לבלום. מקדם החיכוך שווה ל-0.1. מהו מרחק העצירה של הרכבת?

ניתוח התופעה. כאן נחקרת תופעה מכנית נפוצה מאוד: תנועה שוות תאוצה (תאוצה) בקו ישר. מהי הסיבה לתנועה זו? (חיכוך). סוגיה דינמית זו מאופיינת על-ידי כוחות. כוח הכבידה וכוח הלחץ הנורמלי (תגובת התומך) מקזזים זה את זה, שהרי אין תנועת הרכבת מתרחשת בכיוון אנכי. לכן נקיש שקיים כוח נוסף בכיוון התנועה, אך במגמה הפוכה למגמת התנועה: כוח החיכוך. מכיוון שאין משמעות לתזוזה היחסית שבין הקרונות, אפשר לייצג את הרכבת באמצעות מודל הגוף הנקודתי. המודל הוא אפוא תנועת גוף נקודתי במהירות התחלתית בקו ישר בהשפעת כוח אחד עד לעצירה.

רעיון לפתרון. התרגיל הוא קינמטי, מכיוון שצריך למצוא העתק; אולם על-פי נתוני התרגיל הוא דינמי, מכיוון שמדובר בגורם הפעולה: כוח החיכוך. ככל הנראה אפשר לפתור את התרגיל בשתי דרכים: א. להשתמש במשוואה הבסיסית של הדינמיקה, ולאחר מכן בנוסחאות של הקינמטיקה; ב. להשתמש בתיאור התנועה באמצעות אנרגיה. נבחר בשיטה השנייה.

פתרון. שינוי האנרגיה הקינטית של גוף נקודתי שווה לעבודת כוח החיכוך,

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

כלומר :

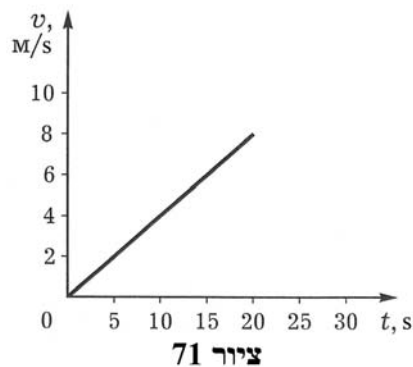
$$\frac{mv^2}{2} = Fx = \mu \cdot mg \cdot x$$

מכאן נקבל: $x = \frac{v^2}{2\mu g}$. נציב ונקבל את התשובה: 200 מ'.

ניתוח הפתרון. האם גודל זה של מרחק בלימה הגיוני? קל לוודא שיחידות הגודל באגף שמאל שוות ליחידות באגף ימין. מה צריך להיות מקדם החיכוך כדי שמרחק הבלימה יהיה 20 מ'? האם זה אפשרי?

להלן דוגמאות של תרגילים נוספים לעבודה עצמית של התלמידים.

תרגיל 1. באיזו מהירות התחלתית יש לזרוק כדור גמיש כלפי מטה, כדי שינתר מעלה לגובה הגדול פי 2 מגובהו ההתחלתי? התנגשות הכדור בקרקע אלסטית.



תרגיל 2. ממדרון משופע, שגובהו 2 מ' ואורכו 4 מ', גולשת עגלה אל מישור אופקי, ועוצרת לאחר שהיא עוברת מרחק אופקי של 20 מ'. מה מקדם החיכוך במישור האופקי?

תרגיל 3. בציור 71 מתואר גרף של שינוי מהירות מכונית, שמסתה 2 טון, בזמן של 20 שניות. מהי עבודת כוח המשיכה של מנוע המכונית, אם מקדם החיכוך שווה ל-0.05?

שיעור 9. מבחן

מבחר תרגילים למבחן נמצאים בספר התרגילים. להלן מוצגות 3 גרסאות של מבחן, הכוללות תרגילים אופייניים.

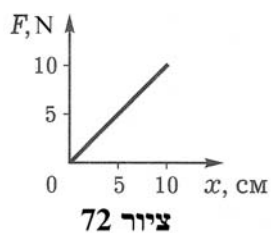
מבחן

גרסה 1

1. גרף ההתארכות של קפיץ מתואר בציור 72. איזו עבודה נעשתה במהלך המתיחה?

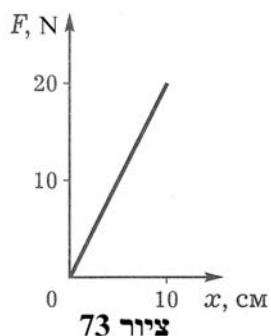
2. תלמיד, שמסתו 60 ק"ג, רץ במהירות של 6 מ'ש' ומשיג עגלה, הנוסעת במהירות 2 מ'ש' ומסתה 40 ק"ג. מה תהיה מהירות העגלה לאחר שהתלמיד יקפוץ עליה?

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה



3. גוף נזרק אנכית כלפי מעלה במהירות 9.8 מ/ש'. באיזה גובה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף שווה לאנרגיה הקינטית האצורה בו?

גרסה 2



1. גרף של התארכות קפיץ מתואר בציור 73. מהי האנרגיה הפוטנציאלית האצורה בקפיץ במצב המתוח ביותר?
2. פגז עף במהירות 200 מ/ש' ומתפוצץ לשני רסיסים בעלי מסה של 40 ו-60 ק"ג. הרסיס השני עף במהירות של 400 מ/ש' בכיוון מעוף הפגז. באיזה כיוון ובאיזו מהירות עף הרסיס הראשון?
3. לאחר גלישה מהמדרון, שגובהו 5 מ', נעה עגלה שמסתה 3 ק"ג במהירות 2 מ/ש'. מה העבודה של כוח החיכוך בזמן הגלישה?

גרסה 3

1. פגז עף במהירות של 200 מ/ש' והתפוצץ לרסיסים. רסיס ראשון, שמסתו 40 ק"ג, עף בכיוון המעוף במהירות של 400 מ/ש'. הרסיס השני, שמסתו 60 ק"ג, עף בכיוון הנגדי במהירות 100 מ/ש'. האם היו עוד רסיסים?
2. מרימים משקולת לגובה h , ואחר כך מזיזים אותה על גבי מישור אופקי לאותו מרחק. באיזה קטע בוצעה עבודה גדולה יותר? מקדם החיכוך בין המשקולת לבין המשטח שווה ל- μ . התנגדות האוויר זניחה.
3. קליע, שמסתו 20 ג', פוגע בתיבת עץ, שמסתה 5 ק"ג והתלויה בחבל שאורכו 4 מ', ונתקע בו. מה היתה מהירות הקליע, אם החבל סטה מהאנך בזווית של 30° ?

פרק VII. סטטיקה

הסוג החשוב ביותר של תנועת גופים הוא מנוחתם במערכת הייחוס הנתונה. הנדסת בניינים, גשרים ומבנים אחרים מבוססת על חוקיה של תנועה זו. מנקודת המבט הן המעשית והן הפילוסופית מוצדק אפוא הלימוד על תנאי שווי-משקל של גופים. לימוד הנושא לאחר לימוד הדינמיקה (ולא לפנייה, כפי שהיה נהוג בעבר) הוא הגיוני, מכיוון שבסטטיקה מתבססים על מושג הכוח, המוגדר בצורה מדויקת בדינמיקה.

שיעור 1. שיווי-משקל של גוף; סוגים של שיווי-משקל ותנאיו

מטרות השיעור

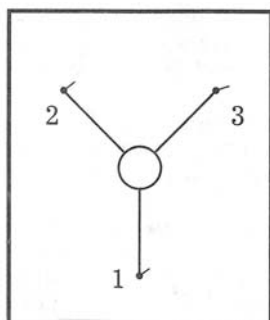
- * הגדרת גוף קשיח כמודל של גוף.
- * לימוד תופעת שיווי-המשקל.
- * הגדרת האמצעים לתיאור התופעה: גדלים וחוקים פיזיקליים.

רבים הגופים והמבנים סביבנו, הנמצאים במצב מנוחה יחסית לכדור הארץ. מצב מנוחה במערכת הייחוס הנתונה מכונה **שיווי-משקל**. מהן הסיבות למצב תנועה זה של הגוף? מה האפיונים העיקריים של מצב שיווי-משקל? אלה הן שתי הסוגיות העיקריות של השיעור.

א. מתווה להצגת החומר החדש

במהלך לימוד הנושא משתמשים במודל חדש של גוף: **הגוף הקשיח**. מהו המודל הזה? כשעוסקים בשיווי-משקל אי-אפשר להזניח את מידות הגוף. לדוגמה: סולם הנשען על קיר בניין. לא די השימוש במודל הגוף הנקודתי כדי לתאר תופעה זו. התשובה הכללית לסוגיה הראשונה היא ברורה: הסיבה לשיווי-משקל של גוף היא השפעתם של גופים אחרים עליו. מכאן נובעת הסוגיה הבאה: מהן ההשפעות האלה? מהם החוקים שלהן?

בטבע ובהנדסה אנו נתקלים בפעולות המגבילות את תנועתם של גופים. לדוגמה: הקרקע של כדור הארץ מגבילה את תנועתנו, מסילות מגבילות את תנועתה של רכבת, וכו'. מגבילי תנועה כאלה מכונים **קשרים**. פעולת הקשר מתוארת באמצעות כוח המכונה **כוח תגובה של הקשר**. מקרה פרטי של כוח זה הוא כוח תגובת התומך (הכוח הנורמלי) $\vec{N}$.



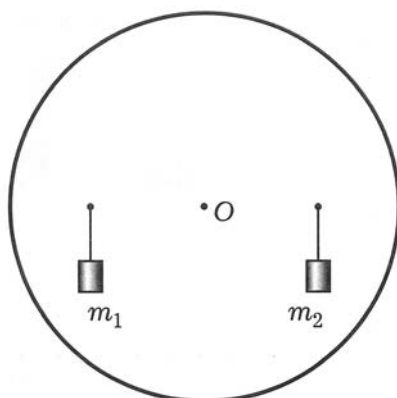
ציור 74

נדון בסוגיות: באילו תנאים יישמר מצב המנוחה של גוף, כאשר פועלים עליו גופים אחרים? (ניזכר בחוק הראשון של ניוטון). האם מתקיימים תנאים אלה עבור משקולת התלויה בקפיץ? כיצד נוכיח זאת?

נדגים משקולת התלויה בדינמומטר.

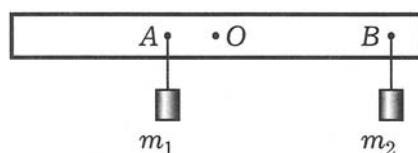
סוגיות לדיון: אילו גופים פועלים במערכת? אילו

כוחות מופעלים? מה גודלם?



ציור 75

ובכן, **התנאי הראשון לקיום שיווי-משקל** של גוף הוא איפוס שקול כל הכוחות הפועלים על הגוף. נתמוך במסקנה זו בעזרת ניסוי: נבדוק מצב שיווי-משקל של טבעת מתכתית, הנתונה להשפעת הגומייה 1 ושני החוטים 2 ו-3 (ציור 74). כיווני הכוחות מוגדרים על-ידי כיווני החוטים. נחבר דינמומטר לקצות החוטים לפי סדרם, נמדוד את גודל הכוחות, ונבדוק אם הכוח השקול שווה לאפס.



ציור 76

סוגיות לדיון: על מה מופעל הכוח

האלסטי של הגומייה? כיצד נמדוד אותו? כיצד נוכיח שבכל מצב של שיווי-משקל יהיה שקול הכוחות שווה לאפס?

המורה יעביר ניסוי: דסקה, שציר

סיבובה קבוע, נמצאת במנוחה (ציור 75).

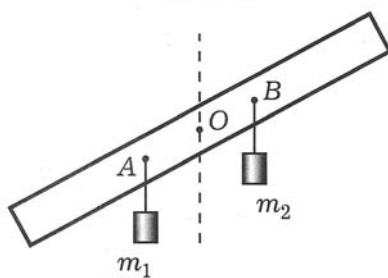
אילו גופים פועלים עליה? (כדור הארץ,

הציר, המשקולות התלויות עליה). האם

הכוחות הפועלים מתקזזים? כיצד נוכיח

זאת? (הכוחות פועלים בכיוון אנכי; אילו לא

היו מקוזזים, היתה הדסקה מתחילה



ציור 77

בתנועה מואצת סביב צירה; אולם זה לא קורה). המורה יעלה את הסוגיה: אילו היו

הכוחות פועלים לאורך קו אחד, האם היה מצב שיווי-המשקל משתנה? (כן, הדסקה היתה מתחילה להסתובב). איזו מסקנה מתבקשת? (התנאי הראשון לשיווי-המשקל אינו מספיק כדי לתאר את מצב שיווי-המשקל באופן מלא). נדון בכך: את הגוף המסתובב אי-אפשר לייצג על-ידי גוף נקודתי, משום ששונה תנועתם של חלקיו השונים. כדי לתאר את התנועה יש להשתמש במודל של גוף קשיח, כלומר גוף שאינו מתעוות. אין במציאות גופים כאלה, ולכן זהו תיאור אידיאלי.

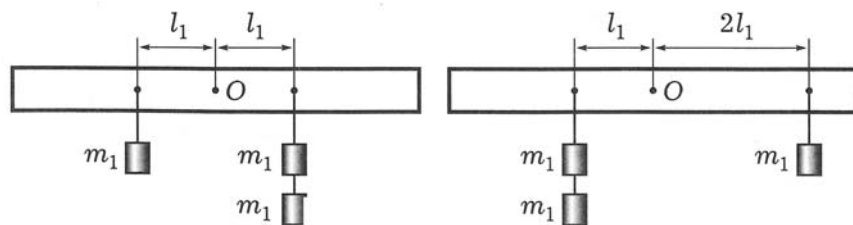
במה תלויות תוצאות השפעת הכוחות על הגוף בנקודת ההפעלה של הכוחות? זוהי המשימה הלימודית הבאה. על מנת לפתור אותה נערוך ניסוי במנוף. להלן המשימות לפתרון קבוצתי:

משימה 1. במרחק שווה מציר הסיבוב נתלה משקולות זהות בנות 100 ג', הפועלות על המנוף בכוח שווה (ציור 76). מהו הכוח הזה? האם זהות התוצאות של פעולת הכוחות? לאחר מכן נתלה את המשקולות במרחקים שונים מציר הסיבוב. האם יימשך מצב שיווי-המשקל? איזו מסקנה תסתמן מהניסוי? מסתבר שתוצאת הפעולה של כוח על גוף קשיח תלויה גם בנקודת ההפעלה של הכוח.

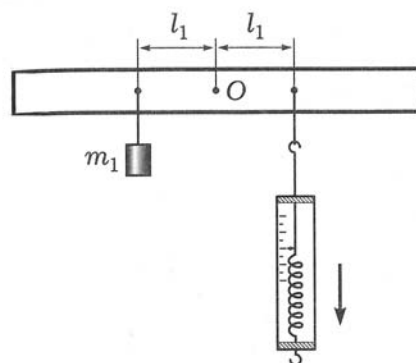
משימה 2. במרחקים שונים מציר הסיבוב נתלה משקולות זהות, ונחבוט קלות במנוף (ציור 77). המנוף יתחיל להסתובב, אולם מיד ייעצר, וישתרר מצב של שיווי-משקל. מדוע יימצא המנוף בשיווי-משקל? התלמידים יתבקשו לשער את השערותיהם, והמורה יכוון למסקנה: שווים הכוחות ושווים המרחקים מציר הסיבוב לקו פעולת הכוח.

המורה יסכם: א. כדי לתאר את פעולת הכוח על גוף בעל ציר סיבוב מגדירים מושג חדש: **מומנט של כוח**; ב. המורה יגדיר את המגמה המוסכמת לעניין המומנט: נסכים שמומנט הכוח חיובי, אם הוא מסובב את הגוף במגמת מחוגי השעון; ולהפך; ג. כדי שגוף יהיה בשיווי-משקל חייב הסכום האלגברי של כל המומנטים להיות שווה לאפס.

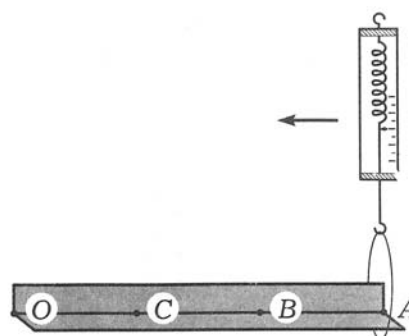
המסקנה מקבלת תמיכה נוספת באמצעות פתרון תרגילים ניסויים שונים:



ציור 78



ציור 79



ציור 80

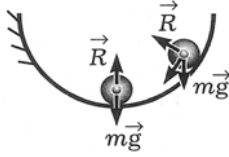
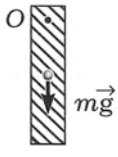
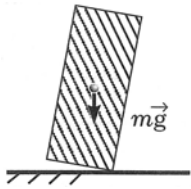
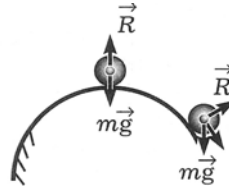
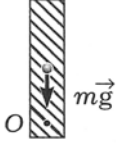
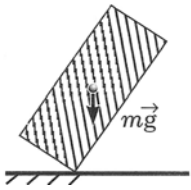
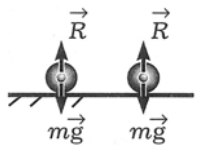
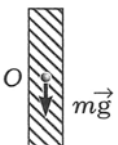
א. האם המנוף יישאר במצב שיווי-משקל (ציור 78)? 2. מהי קריאת הדינמומטר (ציור 79)?

ב. בהמשך יפרט המורה את סוגי שיווי-המשקל השונים בסיוע הטבלה, ישוחח על שיווי-משקל בטבע ובהנדסה; וירבה להציג את רבגוניות תופעת שיווי-המשקל. חזרה על החומר הנלמד תתבצע באמצעות הדגמת ניסוי, שבמהלכו נמדוד מומנטים של כוח המופעל בנקודות שונות (ציור 80).

מטלות: סעיפים 54 – 56 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 10 (6).

סוגים של שיווי-משקל

סוגי שיווי-משקל	נקודת אחיזה	גוף בעל ציר סיבוב קבוע	גוף בעל משטח אחיזה
יציב			
בלתי יציב			
נייטרלי (אדיש)			

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

פיזיקה מולקולרית

פיזיקה מולקולרית היא פרק של הפיזיקה, שבו נחקרות תכונות החומר על בסיס מבנהו המיקרוסקופי (ובפרט על-בסיס מבנהו המולקולרי) של החומר.

חוקי הפיזיקה המולקולרית מבוססים על עקרונות הפיזיקה הסטטיסטית, אשר התפתחה לענף פיזיקה מיוחד, המתואר בשני ספרי הלימוד **פיזיקה 10 ופיזיקה 11**.

הוראת הפרק הזה נחשבת לאחת מהמשימות הקשות והמורכבות בהוראת הפיזיקה.

פרק VIII. יסודות התורה המולקולרית-קינטית

בפרק זה נפתח את הרעיונות של הפיזיקה הסטטיסטית. תשומת הלב העיקרית תינתן לרכישת ידע ומיומנות בתחומים הבאים:

- הבנת העקרונות הבסיסיים של התורה המולקולרית-קינטית (ברמה של ידיעת תוכן והוכחות באמצעות דוגמאות).
- יכולת להסביר את תכונותיהם הבסיסיות של מצבי הצבירה באמצעות מבנה החומר, תנועתם והשפעתם ההדדית של החלקיקים המרכיבים אותו.
- יכולת לשער באופן איכותי ולהעריך באופן כמותי את הפרמטרים של המולקולות, כגון: מידות, מסה, מהירות התנועה במצבי צבירה שונים.
- הכרה כללית של שיטות המדידה של גודל המולקולות ושל מהירות תנועתן.

שיעור 1. העקרונות הבסיסיים של התורה המולקולרית של הגזים

מטרות השיעור

- * הקניית מבוא למבנה ולתוכן של התורה הפיזיקלית החדשה: סקירת העקרונות הבסיסיים של התורה המולקולרית;
- * הכרת השיטות השונות של חקר החומר: מתן הסבר לגישה הסטטיסטית ולגישה התרמודינמית בחקר מבנה החומר, בירור ההבדלים בין שתי צורות התנועה של החומר – המכנית והחומנית, והסברת חשיבותה של הפיזיקה המולקולרית במדע ובהנדסה.
- * פיתוח חשיבה והגברת המוטיבציה על-ידי הצגת שאלות חשיבה,

סקירת שימושים נפוצים ופיתוחים הנדסיים אחרונים של מערכות תרמיות.

א. חזרה ודיון

סוגיות לדיון: על אילו גופים פיזיקליים (מערכות) לומדים בתחום הפיזיקה המולקולרית? האם לומדים על גופים אלה בתחום המכניקה? כיצד נבדיל בין תופעות מכניות לבין תופעות חומניות? מה הסיבה לשימוש בשיטה הסטטיסטית לתיאור התנהגותו של גז? (אי-אפשר לתאר את התנהגותו של כל חלקיק באמצעות חוקי המכניקה). איזו משתי שיטות המחקר – המכנית או מתחום תורת החום – מאפשרת לדעת יותר על תכונות החומר? הביאו דוגמאות לתופעות חומניות המתרחשות בכיתה, בבית ובחוץ. מהי חשיבות המידע, המתקבל באמצעות הפיזיקה המולקולרית, למדע ולהנדסה?

ממה בנוי החומר שמסביבנו? זו אחת השאלות הבסיסיות והנצחיות בפיזיקה. הפיזיקאי האמריקני, חתן פרס נובל, **ריצ'רד פיינמן** (1918 – 1988), כתב: "אילו כל המידע שנרכש על-ידי האנושות היה נשמד כתוצאה מאסון עולמי, מה יימסר לדורות הבאים לשחזור מידע מרבי? לדעתי – ההשערה האטומית". זוהי חשיבותו של מודל מבנה החומר בעיניו של אחד הפיזיקאים הגדולים של המאה ה-20.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

במהלך המאה ה-19 הוגדרו שלושה עקרונות תיאורטיים ובסיסיים לגבי מבנה החומר:

1. **החומר בנוי מחלקיקים.**

2. **חלקיקי החומר נעים בצורה כאוטית.**

3. **חלקיקי החומר פועלים ביניהם באופן הדדי.**

1. **החומר בנוי מחלקיקים**

עוד במאה ה-4 לפני הספירה ביטא הפילוסוף היווני **דֶמוֹקְרִיטוס** את ההשערה הגאומטרית: "... הכול בנוי מאטומים... הגופים נבדלים זה מזה בסוג האטומים, בסדר הופעתם ובמקומם..."

מהן העובדות התומכות בהשערה זו?

א. היכולת לחלק גוף לחלקים קטנים יותר. האם ראיתם גוף שאי-אפשר לחלקו לשניים?

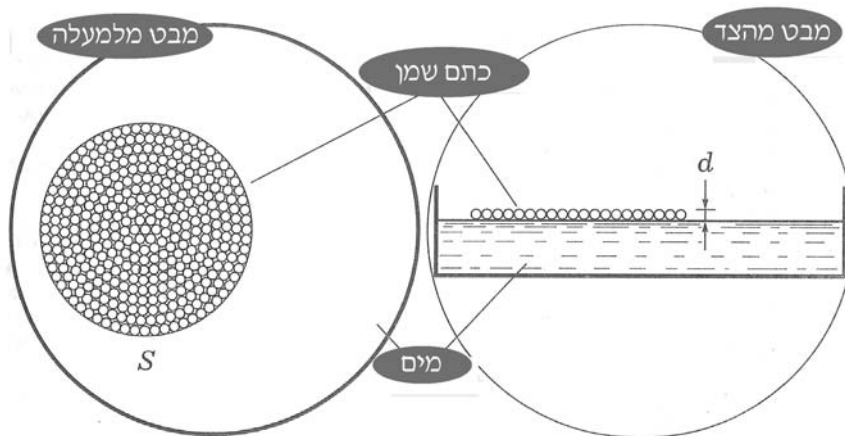
ב. קיומם של חלקיקי החומר (מולקולות) מוכח בתופעת **תנועת בראון**.
 ברם, הוכחות אלה בלתי אמצעיות הן; האם אפשר לצפות בחלקיקי החומר
 במישרין?

ניסוי 1. צביעת נוזלים. מדוע גביש זעיר של פרמנגנט האשלגן (KMnO_4) צובע
 כוס מלאה במים? על מה מצביעה חדירת חומר אחד לאחר? (על קיום רווחים
 בחומר, כלומר על מבנהו הבלתי רציף). על מה מצביעה אחידות הגוון של תמיסה?
 על מה מצביעה היחלשות הגוון במהלך הוספת המים?

ניסוי 2. מדידת גודל המולקולות. מדוע גודלו של כתם השמן על פני המים אינו
 מתפשט אינסופית? כיצד נתאר את תוצאות הניסוי בצורה סכמטית (ציור 86)? כיצד
 נעריך את גודלן של מולקולות השמן באמצעות ניסוי זה? האם נוכל לחשב את כמות
 המולקולות בטיפת השמן?

2. חלקיקי החומר נעים בצורה כאוטית

סוגיות לדיון: אילו חלקיקים משתתפים בתנועת בראון? מה המהות של תנועת
 בראון? מהן תכונותיה העיקריות של תופעה זאת? (תנועה כאוטית של החלקיק,
 רציפות, הגברת התנועה במהלך החימום, אטיות התנועה של חלקיקים בעלי מסה
 גדולה יותר). מדוע נע חלקיק בראון באופן כאוטי? מדוע אינו עוצר?



ציור 86

ניסוי 3. דיפוסיה בגז ובנוזל. פשוט ביותר יהיה להדגים התפשטות ריח של בושם או של כוהל בחלל החדר. אפשר גם יהיה להדגים דיפוזיה של חלקיקי גביש פרמנגנט האשלגן במהלך ההתמוססות במים.

סוגיות לדיון: כיצד נוכיח שאכן מתרחשת בניסוי חדירת חלקיקי חומר אחד לאחר? מדוע משמשת התפשטות הריח הוכחה להשערת התנועה החומנית של המולקולות? האם ריחות שונים מתפשטים במהירות שווה? כיצד נוכיח זאת? מה קובע את מהירות התפשטות הריח? כיצד משפיע האופן הכאוטי של תנועת החלקיקים על מהירות התפשטות הריח? מנו דוגמאות לדיפוזיה בטבע, ולשימושה במשק ובהנדסה.

3. חלקיקי החומר פועלים ביניהם באופן הדדי

סוגיות לדיון: מה היה קורה, אילו לא היו החלקיקים מפעילים כוח משיכה זה על זה? האם שווים כוחות המשיכה שמפעילים החלקיקים זה על זה במצבי צבירה שונים? אילו תופעות מצביעות על השוני בהשפעה ההדדית של החלקיקים במצבי צבירה שונים? כיצד ניתן להסביר, מנקודת מבטה של התורה המולקולרית-קינטית, את הכוח הדרוש כדי למתוח גומייה, לכופף סרגל, לקרוע דף נייר? מדוע קל לקרוע דף נייר דק, אבל קשה לקרוע דף נייר עבה? כיצד נוכיח באופן ניסויי שחלקיקי חומר נמשכים זה לזה ונדחים זה מזה?

ניסוי 4. כוחות הפועלים בין גלילי עופרת

נתאר את הניסוי הבא: שני גלילים, העשויים עופרת והמלוטשים בפאותיהם, מוצמדים זה לזה בפאותיהם אלה. בניסיון להפרידם חשים בכוח המתנגד להפרדתם. מהו כוח זה? כיצד ניתן להעריך את גודלו? מדוע לא הופכים הגלילים, עקב כוחות המשיכה במישור החיבור, ליחידה אחת שלמה? אילו מסקנות אפשר להסיק מניסוי זה על הכוחות הפועלים בין החלקיקים?

מטלות: סעיפים 57-58 בספר הלימוד.

פרק IX. התורה הקינטית של גז אידיאלי

עיקרו של נושא זה נמצא בספר הלימוד בשלושה סעיפים קטנים, וכל המידע בו מתייחס למודל אחד ופשוט של החומר: **מודל הגז האידיאלי**. סדר המתווה להצגת החומר הוא: עובדות, מודל ומסקנות.

יש לצפות שהתלמיד ירכוש ידע כדי:

- לסווג מידע על-פי החלוקה לעובדות, למודל ולמסקנות; להבחין בין מודלים לבין עובדות, בין השערות לבין מסקנות; לקבוע את גבולות השימוש במודל "גז אידיאלי" ובחוקי הגזים; לשער השערות לקביעת מהותם של תהליכי ה"איזו".
- להבחין בעובדות ניסוייות ובתצפיות, התומכות בעקרונות התורה הקינטית של הגז האידיאלי ובמשוואתה הבסיסית; להסביר את חוקי הגזים באמצעות התורה המולקולרית.
- לתאר מצבים משתנים בתהליכי ה"איזו" של גז אידיאלי, ולקבוע בהם את ערכי הפרמטרים השונים; לשרטט גרפים של תהליכי ה"איזו".
- למדוד ולחשב טמפרטורה, נפח ולחץ במערכי ניסוי, ולחשב שגיאות מדידה; לתכנן ולהעביר ניסויים בתהליכים איזותרמי ואיזוברי.

שיעור 1. המשוואה הבסיסית של הגז האידיאלי

מטרות השיעור

- * העמקת חקר במושגי המודל של הגז האידיאלי.
- * פיתוח המשוואה הבסיסית של התורה הקינטית של הגז האידיאלי על בסיס העקרונות של הפיזיקה המולקולרית.
- * הצגת האופי הסטטיסטי של המשוואה שהתקבלה.

א. מתווה להצגת החומר החדש

כדי לחקור את התנהגות הגזים יש לבנות תחילה מודל מתאים. המודל הפשוט ביותר הוא **המודל של גז אידיאלי**.

סוגיות לדיון: מהי המטרה, שְׁלֶשֶׁמָה בונים מודל לגז? כיצד מסבירים את תופעת לחצו של הגז באמצעות המודל של הגז האידיאלי והתורה המולקולרית?

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

ב. פיתוח משוואת הלחץ של גז בהתבסס על התורה המולקולרית

עקב האופי הכאוטי של תנועת החלקיקים אין כיוון מועדף, כלומר שווה מספרם הממוצע של החלקיקים הנעים בכל כיוון.

מצב הגז (פרמטרי המקרו) זהה בכל מקום; הלחץ $p = \frac{\bar{F}}{S}$ נקבע על-ידי התנגשויות חלקיקי הגז בדופנות הכלי.

תיאור התנועה של חלקיקי הגז מבוסס על מספרם הרב של החלקיקים הנעים באופן כאוטי. מכיוון שלא ניתן לרשום משוואת תנועה לגבי כל חלקיק, מגדירים את מושג **המהירות הריבועית הממוצעת**, המאפיינת את כל החלקיקים; בדומה לה מגדירים את **האנרגיה הקינטית הממוצעת** של כל חלקיקי הגז.

ג. פיתוח המשוואה הבסיסית של התורה המולקולרית-קינטית $p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$

סוגיות לדיון: מדוע מכנים משוואה זו "משוואה סטטיסטית"? (מכיוון שהיא מקשרת בין פרמטר ה"מקרו" של כל המערכת לבין פרמטרי ה"מיקרו" של החלקיקים; המשוואה יוצרת "סדר מתוך הכאוס"). האם נכונה המשוואה עבור חלקיק בודד? אילו מסקנות ניתן להסיק באמצעות המשוואה לגבי התנהגות הגז?

מטלות: סעיפים 63 – 65 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 11.

שיעור 2. הטמפרטורה כמאפיין מקרוסקופי של מצב הגז

מטרות השיעור

* העמקת ההבנה של המושגים **פרמטרים מקרוסקופיים** ו**פרמטרים מיקרוסקופיים** של גז אידיאלי.

* הגדרת המושגים **שיווי-משקל תרמי** ו**טמפרטורה**.

* הבנת הקשר שבין טמפרטורת הגז לבין האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולות הגז.

א. חזרה ודיון

אילו מערכות אנו חוקרים כעת? אילו פרמטרים מאפיינים אותן? אילו פרמטרי

מקרו מאפיינים מצב נתון של גז?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

סוגיות לדיון בנושא **שיווי-משקל תרמי**: האם משתנה מסת המערכת במצב שיווי-משקל תרמי? האם מתרחש מעבר חום בין המערכות, הנמצאות במצב שיווי-משקל תרמי? האם משתנים פרמטרי המיקרו במצב של שיווי-משקל תרמי? האם מים בכוס נמצאים במצב שיווי-משקל תרמי עם הכוס? מהו המנגנון של שיווי-משקל תרמי מנקודת המבט של התורה המולקולרית-קינטית?

ייחודיות הטמפרטורה כפרמטר מקרוסקופי של הגז: א. בדרך כלל היא משתנה כאשר משתנה מצב הגז; ב. היא מאפיינת מצב של שיווי-משקל תרמי; ג. היא מצביעה על המגמה, בה עובר החום בין מערכות; ד. היא ניתנת למדידה.

המורה יציג את נושא המדידה של הטמפרטורה: הסולם האידיאלי, המבוסס על גז; מד-טמפרטורה נוזלי; סולם צלזיוס; כללי מדידה; שגיאת מדידה. המורה יעלה סוגית חשיבה: האם אפשר למדוד את הטמפרטורה של המים בכוס באמצעות מד-טמפרטורה נתון במשך זמן של שנייה אחת? האם משך זמן המדידה משפיע על שגיאת המדידה?

מטלות: סעיפים 66 – 68 בספר הלימוד.

שיעור 3. משוואת המצב של גז אידיאלי

מטרות השיעור

* פיתוח משוואת מנדלייב-קלפירון

* רכישת ידע ומיומנות בחישוב פרמטרי הגז באמצעות המשוואה שתקבל.

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad \text{א. פיתוח המשוואה}$$

במהלך הפיתוח נדון בסוגיות: כיצד נקבע ריכוז הגז? באילו יחידות הוא נמדד? האם אפשר לומר שקבוע הגז האוניברסלי הוא קבוע פיזיקלי בסיסי? מה מתארת המשוואה של מנדלייב-קלפירון: את מצב הגז האידיאלי או את מצב הגז הממשי? המורה ידגים פתרון תרגיל.

תרגיל. מצאו את המסה של מימן, הנמצא בכלי שנפחו 20 ליטר בלחץ של 830 kPa ובטמפרטורה של 17°C .

ניתוח התופעה הפיזיקלית. המערכת היא גז הנמצא במצב יציב, כלומר בשיווי-

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרך למורה

משקל (אחרת לא היה אפשר לקבוע את הלחץ ואת הטמפרטורה).

הרעיון/תוכנית הפתרון. האם אפשר להשתמש במודל של גז אידיאלי כדי לתאר את המערכת הנתונה? לשאלה זו אין תשובה ודאית, אולם אין לנו ברירה, ונשער שמודל הגז האידיאלי יתאים. אם אין ההשערה נכונה, תתגלנה סתירות במהלך הפתרון.

פתרון. ממשוואת המצב נחלץ את המסה, נציב ונחשב. התשובה: $m = 14 \text{ g}$.

ניתוח הפתרון. גודל המסה סביר, כלומר אפשר לשער שהמודל של "גז אידיאלי" מתאים למקרה הנדון. השיקול הסופי לבחירת המודל הוא ניסוי ומדידה. המורה יציג סוגיה מעניינת: האם בפועל קטנה המסה מהערך המחושב או גדולה ממנו? מדוע?

מטלות: סעיף 70 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 13 (7, 8).

פרק XIII. יסודות התרמודינמיקה

במהלך הוראת פרק זה נתמקד בנושאים הבאים:

- הגדרת המערכת הפיזיקלית, בניית מודל למערכת (הכולל קביעת פרמטרים מתאימים), קביעת מהותם של התהליכים המתרחשים.
- תיאור תופעות הטבע ופעולת המערכות הטכניות באמצעות חוקי התרמודינמיקה בכלל, ותיאור תהליכי ה"איזון" – בפרט; מעברי חום, פעולת מנועי חום וחשוב נצילותם.
- עריכת ניסויים למדידת אנרגיה פנימית של מערכת על-ידי ביצוע עבודה והעברת כמות חום; עריכת תצפיות ותיאורן של תופעות חום, המתרחשות בטבע ובמערכות הנדסיות.
- חישוב עבודת גז על-פי גרף הלחץ בתלות הנפח; מעברי אנרגיה במערכת בהתאם לחוק ראשון של התרמודינמיקה; נצילות של מכונות חום.
- הערכת חשיבותם של חוקי התרמודינמיקה בהבנת התמונה המדעית הכוללת וביישומם במכונות חום בחיי היומיום.

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדרך למורה

שיעור 4. המערכת התרמודינמית ותכונותיה

מטרות השיעור

- * הכרת הגופים והמצבים שחוקרת התרמודינמיקה.
- * הפנמת המודל הבסיסי של המערכת התרמודינמית, מצבי שיווי-משקל ומצבי מעבר.
- * העמקה וגיבוש של המושגים **מצב מערכת, פרמטרי המצב, אנרגיה פנימית, עבודה וכמות חום**.

א. מתווה להצגת החומר החדש

העובדות ההיסטוריות:

- א. תורת התרמודינמיקה פותחה באמצע המאה ה-19 כתורה (מדע) של תהליכי חום, המתוארים כמעברי אנרגיה.
 - ב. התרמודינמיקה אינה חוקרת תופעות מנקודת מבט של תנועת המולקולות.
 - ג. התרמודינמיקה חוקרת את התכונות הבסיסיות ביותר של המערכות, הנמצאות במצב שיווי-משקל, ואת תהליכי המעבר ממצב אחד לאחר.
 - ד. בשיטות התרמודינמיקה משתמשים באופן נרחב בענפי פיזיקה אחרים, וכן בכימיה ובביולוגיה.
 - ה. כמו לכל ענף פיזיקלי אחר יש לתרמודינמיקה גבולות שימוש. נבחר זאת: ראשית, התרמודינמיקה חוקרת תכונות של מערכות מקרוסקופיות, ולכן אינה מתאימה למערכת הכוללת מספר קטן של מולקולות; שנית, התרמודינמיקה אינה מתאימה ליקום כולו, מכיוון שזו מערכת מורכבת ולא ודאית למדי.
- גילוי חוקי התרמודינמיקה ויישומיהם בתיאור תהליכי חום ובפיתוח מערכות טכניות רבות היוו עידן חדש בהתפתחות הפיזיקה. לכן יסקור המורה בקצרה את הגילויים הבסיסיים ואת המדענים שתרמו לפיתוח תורה זו.
- בהמשך השיחה נתמקד בסוגיות: מהי מערכת תרמודינמית? באילו מצבים יכולה היא להתקיים? מהם אפיוני (פרמטרי) המערכת? מדוע וכיצד הם משתנים?
- מערכת תרמודינמית** היא אוסף גופים מקרוסקופיים, הפועלים ביניהם ועם גופים שמחוץ למערכת בצורה הדדית באמצעות מעברי חומר ואנרגיה. מבדילים בין

פרמטרים פנימיים – טמפרטורה, לחץ, מסה, ריכוז, חום סגולי; ו**פרמטרים חיצוניים** – נפח וצורה.

בדומה למכניקה, **מערכת מבודדת** אינה מקושרת עם מערכות אחרות. הכרזת המערכת כמבודדת היא תולדה של מודל מסוים שלה. במצב כזה נשארים פרמטרי המערכת קבועים, והמצב מכונה **מצב שיווי-משקל** או **מצב סטטי**. במערכת צירים כלשהם מתואר מצב שיווי-המשקל כנקודה.

מערכת תרמודינמית, הנמצאת במצב שיווי-משקל, מהווה מודל בסיסי בתרמודינמיקה.

כאשר המערכת מקושרת למערכות אחרות, חשוב סוג הקשר: הוא עשוי להתרחש ללא ביצוע עבודה, ובמקרה זה משתנה אנרגיית המערכת עקב מעבר חום בצורות שונות ממערכת אחת למערכת מקושרת אחרת. קשר כזה בין מערכות מכונה **קשר חומני**.

קשר בין מערכות מכונה **תרמודינמי**, כאשר מצב המערכת משתנה הן בעקבות מעבר חום הן כתוצאה מביצוע עבודה.

המסקנה: הגדרת המערכת כ**מערכת תרמודינמית** היא תוצאה של מהות הקשר בין המערכת לבין מערכות אחרות.

הפרמטר העיקרי, המגדיר את מצב המערכת, הוא **האנרגיה הפנימית** U . סוגיות לדיון: כיצד ניתן להעריך את מידת האנרגיה הפנימית, האצורה במערכת, באמצעות התורה המולקולרית-קינטית? חישוב האנרגיה הפנימית אינו מביא בחשבון את אנרגיית התנועה ואת ההשפעה ההדדית של האלקטרונים בתוך האטומים. מדוע? (בתהליכים תרמודינמיים, המתרחשים בטמפרטורות נמוכות יחסית, האנרגיה הפנימית אינה משתנה, ולכן אין טעם להתחשב בה). כיצד אפשר לבסס את הטענה, שהאנרגיה הפנימית היא פונקציה של מצב המערכת בלבד? (מצב המערכת מוגדר על-ידי תנועת החלקיקים והשפעתם ההדדית; והם מגדירים את האנרגיה הפנימית האצורה במערכת ללא קשר לדרך, שדרכה הגיעה המערכת למצב זה. הגדרת ערכה של האנרגיה הפנימית, האצורה במערכת, אינה כוללת את עבודת הכוחות החיצוניים ואת פרמטרי המצב הקודם).

ב. סוגיות לדיון

1. כיצד ומדוע משתנה אנרגיית הגוף, האצורה במוצק, במהלך היתוכו? מה עוד משתנה במהלך ההיתוך?

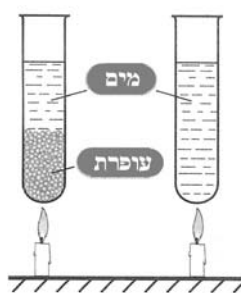
2. לאיזה גז – אידיאלי או אמיתי – אנרגיה פנימית גדולה יותר באותם פרמטרים חיצוניים? (לגז אמיתי, מכיוון שמלבד האנרגיה הקינטית יש למולקולות הגז גם אנרגיית פעולות הדדיות).

3. כיצד נחשב את האנרגיה הפנימית, האצורה בגז אידיאלי חד-אטומי – לדוגמה: בהליום, בניאון או בארגון? האם אפשר לטעון שהיא שווה לאנרגיה הקינטית הממוצעת של כל החלקיקים? האם אפשר לרשום את השוויון הבא:

$$U' = E_k + E_p = E_k = \bar{E}_k = N \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} NkT$$

מדוע כה חשוב לבטא את האנרגיה הפנימית, האצורה במערכת, באמצעות הפרמטרים המקרוסקופיים של המערכת? (מכיוון שרק את הפרמטרים המקרוסקופיים ניתן למדוד, ובאמצעותם לחשב את האנרגיה הפנימית). במה תלויה האנרגיה הפנימית, האצורה בגז אידיאלי? (במסה, במסה המולרית ובטמפרטורה). הוכיחו שהאנרגיה הפנימית, האצורה בגז אמיתי, תלויה גם בנפחו. (בגז אמיתי יש להביא בחשבון את האנרגיה של הפעולות ההדדיות שבין המולקולות, התלויה במרחק שביניהן, כלומר בנפח הגז עבור מסה נתונה).

4. מהי מידת האנרגיה הפנימית האצורה בגז הליום, הממלא כדור פורח שנפחו 60 m^3 בלחץ של 100 kPa ?



ציור 103

תשובה: את הטמפרטורה של ההליום מוצאים ממשוואת המצב של גז אידיאלי; לאחר מכן מציבים את הביטוי שהתקבל בנוסחת האנרגיה הפנימית.

5. סוגיה ניסויית: באיזו מבחנה ירתחו המים מוקדם יותר (ציור 103)?

תיאור הניסוי: מבחנה אחת מלאה עד לשליש בכדוריות עופרת, ולאחר מכן ממלאים את שתי המבחנות במים עד לאותו מפלס. לצורך חימום משתמשים במבערי כוהל זהים.

סוגיות לדיון: אילו מערכות תרמודינמיות משתתפות בניסוי? אילו פרמטרים שונים בשתי המערכות? (מסה, חום סגולי, צפיפות. המורה ירשום את הנתונים: החום הסגולי של המים גדול פי 30 בערך מזה של העופרת, וצפיפות המים קטנה פי 11 מזו של העופרת). האם שווה מידת האנרגיה הפנימית האצורה בשתי המערכות, אם הן נמצאות בטמפרטורה שווה?

הערה: אין הכרח להביא את המים עד לרתיחה; די יהיה במדידת הטמפרטורה של המים בשתי המערכות.

מטלות: סעיף 77 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 15 (1).

שיעור 5. החוק הראשון של התרמודינמיקה

מטרות השיעור

- * הכרת החוק הראשון כחוק שימור האנרגיה של מערכת תרמודינמית.
- * הבנת המהות הפיזיקלית של החוק בדוגמאות של תהליכים מסוימים.

א. מתווה להצגת החומר החדש

נדון בעבודתו של גז במהלך שינוי נפחו ובתיאור הגרפי של העבודה בתהליך איזוברי ובתהליך איזותרמי.

סוגיות לדיון: מתי מבצע הגז עבודה? מדוע אין העבודה פונקציה של מצב המערכת? כיצד נוכיח שעבודת הגז שונה במהלך שני תהליכים, איזוברי ואיזותרמי, במעבר בין שני מצבים זהים? (נשתמש בפירוש הגרפי של העבודה בשים-לב מאיזה מצב ולאיזה מצב עובר הגז). באילו תנאי עבודה אין שיעור האנרגיה הפנימית של המערכת משתנה? (כאשר מתרחש מעבר חום). כיצד נחשב את האנרגיה המכנית הכללית של מערכת כלשהי? מהו חוק שימור האנרגיה המכנית הכללית? מתי מתרחש שינוי באנרגיה הקינטית או באנרגיה הפוטנציאלית של הגוף? הביאו דוגמאות להתמרת אנרגיה מסוג אחד לאחר. באילו מקרים אין חוק שימור האנרגיה המכנית מתקיים? (נפיל כדור מפלסטלינה על השולחן).

החוק הראשון של התרמודינמיקה כחוק שימור והתמרות האנרגיה בתהליכי החום שבו התגלו כתוצאה מראיות ניסוייות. איסוף המידע הניסויי וההשערות התיאורטיות, המנסות לתת הסבר לחוק, נמשך במשך עשרות שנים והיה תהליך

מפרך. ללא איסוף המידע וללא גילוי הקשרים הכמותיים לא יכול היה החוק להיות מנומק ומנוסח.

החוק הראשון של התרמודינמיקה קובע את התכונה הכללית של פעולות הגומלין בין מערכות תרמודינמיות: שימור האנרגיה הכוללת שאצורה במערכת. השימור אינו תלוי בסוג התהליך ובאפיוני המערכת (מידות, מצב, מסה). האופי האוניברסלי של חוק זה מסביר את יישומו הרב של החוק בתחומי המדע וההנדסה הרבים, ומכאן היותו אחד מחוקי היסוד של הפיזיקה.

נפתח את הנוסח המתמטי של החוק הראשון של התרמודינמיקה. קו המחשבה הוא כדלקמן: האנרגיה הכללית, האצורה במערכת תרמודינמית, היא האנרגיה הפנימית; שינוי באנרגיה הפנימית אפשרי רק על חשבון מעבר חום ו/או ביצוע עבודה. נרשום זאת בצורה מתמטית: $\Delta U = Q + W$; המורה יסביר מנין נובעת שלילתו של קיום "מנוע נצחי".

נטיל על תלמיד להכין מצגת בנושא "מנוע נצחי".

ב. יישומי החוק הראשון של התרמודינמיקה

דוגמת המערכת התרמודינמית לניתוח: גוף האדם. סוגיות לדיון: האם ניתן לקבוע שגוף האדם הוא מערכת תרמודינמית? אם כן, האם סגורה היא או פתוחה? מה מאפיין את המערכת: מצב או תהליך? אילו תהליכים מתרחשים בדרך כלל במערכת? (מעבר חום בין הגוף למערכות חיצוניות; עבודה שהגוף מבצע על מערכות אחרות). על חשבון מה נשמרת הטמפרטורה? (אנרגיה פנימית, האצורה בגוף האדם, ומערכות חיצוניות, המספקות אנרגיה בצורת מזון, וכן חמצן לעיבודו המטבולי). המורה יציג נתונים של חום שריפה סגולי של סוגי מזון שונים. לדוגמה: עיכול של 1 ק"ג לחם חיטה מניב 9,000 kJ אנרגיה. כיצד נרשום את החוק הראשון של התרמודינמיקה עבור המערכת "גוף האדם"?

$(\Delta U = Q_{\text{מזון}} - Q_{\text{מעבר חום}} - W)$. האם יכול האדם לשמור על מידת האנרגיה הפנימית על-ידי ביצוע עבודה? לשם מה נחוצים בגדים חמים בחורף?

מטלות: סעיף 81 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 15 (3, 7).

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

שיעור 6. תהליכים בלתי הפיכים; החוק השני של התרמודינמיקה

מטרות השיעור

- * הכרת המושגים **תהליך הפיך** ו**תהליך בלתי הפיך**.
- * ניסוח החוק, העוסק במגמת התהליכים החומניים, והפירוש הסטטיסטי של חוק זה.

א. מתווה להצגת החומר החדש

ייערך דיון: האם מאפשר החוק הראשון של התרמודינמיקה מעבר חום מגוף קר לגוף חם? (החוק הראשון אינו אוסר זאת, אלא דורש שימור האנרגיה בלבד). האם מתרחשים תהליכים מסוג זה בטבע?

את הפן החשוב הזה של המגמתיות של תהליכי החום מתאר החוק השני של התרמודינמיקה. נברר את תוכנו.

כל התהליכים התרמודינמיים נחלקים לשניים: תהליכים, שנשמר בהם שיווי-משקל תרמי; ותהליכים, שלא נשמר בהם שיווי-משקל תרמי. בתהליך, הנמצא בשיווי-משקל תרמי, נמצאת המערכת במצב שיווי-משקל תרמי, שמשמעה: התכונות (הפרמטרים) של כל חלקי המערכת קבועות. המסקנות הנובעות מהגדרה זו: א. בתהליך, השומר את שיווי-המשקל התרמי, נעשים שינויי הפרמטרים של המערכת בקצב אטי ביותר; ב. מודל זה מתאר תהליכים אמיתיים; ג. התהליכים האמיתיים בטבע אינם שומרים על שיווי-משקל תרמי, אולם במידת דיוק זו או אחרת ניתן לתאר אותם כשומרים עליו.

כל התהליכים התרמודינמיים נחלקים ל**תהליכים עצמאיים** (המתרחשים ללא ייזום חיצוני) ול**תהליכים יזומים** (המתרחשים בהשפעת גופים חיצוניים).

דוגמאות

- א. המערכת התרמודינמית: גוף חם; התהליך שמתרחש: מעבר חום, שבעקבותיו מתקרר הגוף; אופי התהליך: עצמאי.
 - ב. המערכת התרמודינמית: טיפת צבע (או קוביית סוכר) במים; התהליך שמתרחש: התמוססות (דיפוזיה) של החומר במים; אופי התהליך: עצמאי.
- סוגיות לדיון: האם משתנים הפרמטרים של המערכת בתהליך עצמאי? אם כן, אילו פרמטרים משתנים? (בתהליכים שונים משתנים פרמטרים שונים). האם

מתרחשים תהליכים עצמאיים בטבע? (כן. לדוגמה: התקררות גופים חמים, התפשטות הריחות ועוד).

ג. המערכת התרמודינמית: גז בתוך צילינדר, ובוכנה שנעה בו; התהליך: דחיסת הגז; אופי התהליך: יזום.

סוגיות לדיון: האם יכול הגז להידחס ללא השפעת גופים חיצוניים? אם כן, אילו פרמטרים של הגז משתנים במהלך דחיסתו? מנו עוד כמה תהליכים יזומים (התקררות גופים בתוך מקרר באמצעות מעבר חום מגוף חם למוקד קר; שאיבת אבק באמצעות שואב-אבק; שינוי צורה של גוף מוצק).

כל התהליכים התרמודינמיים נחלקים לתהליכים **הפיכים** ול**תהליכים בלתי הפיכים**.

התהליך הפיך, אם יוכל להתרחש גם במגמה הפוכה, כלומר מהמצב הסופי למצב ההתחלתי, דרך כל מצבי הביניים, ללא שינויים במערכות החיצוניות.

דוגמה נפוצה לתהליך הפיך היא מטוטלת מתמטית ללא חיכוך.

התהליך בלתי הפיך, אם התרחשות במגמה הפוכה, דרך כל מצבי הביניים, אינה אפשרית ללא התערבות חיצונית. כל תהליכי הטבע האמיתיים בלתי הפיכים. כך דועכות תמיד תנודות המטוטלת (האנרגיה המכנית הופכת לאנרגיה פנימית). מעבר חום הוא תמיד תהליך בלתי הפיך: תנור חשמלי כבוי לא יתחמם על חשבון התקררות החדר.

סוגיות לדיון: האם תמיד אפשר להעביר מערכת שמתרחש בה מעבר ממצב A למצב B, דרך כל מצבי הביניים, ממצב B למצב A? (תמיד; אולם אם התהליך הוא בלתי הפיך, נדרשת השפעה חיצונית). הוכיחו שהתהליכים הבאים הם בלתי הפיכים: שריפת דלק, התאדות, התמוססות.

החוק השני של התרמודינמיקה קובע, שכל התהליכים בטבע בלתי הפיכים, ומצביע על מגמת התמרות האנרגיה. הוא מהווה הכללה גאונית של עובדות ניסוייות רבות. דורות של מדענים ניסו לפרש תוצאות של ניסויים שונים והגיעו לניסוחים שונים של החוק, אולם המשמעות של כולם היתה זהה. הנה לדוגמה כמה מן ההגדרות ההיסטוריות החשובות ביותר:

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרג למורה

לראשונה נוסח החוק השני של תרמודינמיקה בשנת 1850 על-ידי הפיזיקאי הגרמני ר' קלאוזיס (1822-1888) בניסוח שתי הגדרות פשוטות: "חום אינו יכול לעבור מגוף קר אל גוף חם יותר, אם במקביל אין מתרחשים שינויים אחרים הקשורים בכך"; ו"מעבר חום מגוף קר יותר לגוף חם יותר אינו יכול להתקיים ללא פיצוי".

כמעט בו-זמנית, בשנת 1851, הציע הפיזיקאי האנגלי ו' תומסון (1824-1907) הגדרה אחרת: "תהליכים, אשר התוצאה היחידה שלהם היא ביצוע עבודה מכנית על חשבון ההתקררות של גוף המשמש כמחליף חום, אינם אפשריים בטבע".

כל התהליכים המקרוסקופיים בטבע מתרחשים אפוא באופן חופשי במגמה אחת בלבד. (הניסוי המודרני המדויק יותר קשור בהגדרה של האנטרופיה: פונקציית מצב של מערכת, המאפיינת את מידת הסדר במערכת: כאשר המערכת עוברת ממצב מסודר יותר למצב מסודר פחות, האנטרופיה גדלה, ולכן במערכות סגורות אין האנטרופיה קטנה).

החוק השני של התרמודינמיקה אינו מוגדר באופן כמותי, אלא כטענה בלבד. עקב כך התייחסו אליו במאה ה-19 כעיקרון, כאקסיומה, כ"פרינציפ".

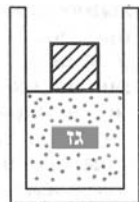
מדוע קיימת מגמתיות בתהליכים בטבע? התשובות ניתנו על-ידי הפיזיקאי האוסטרי ל' בולצמן (1844-1906): "במערכת סגורה מתרחש תהליך חופשי במגמת המעבר ממצב סביר פחות למצב סביר יותר".

מצב בעל סבירות גבוהה ביותר, שנבדק סטטיסטית, הוא מצב של שיווי-משקל. החוק השני של התרמודינמיקה הוא אפוא חוק סטטיסטי, והוא מתקיים במערכות בעלות מספר רב של חלקיקים.

סוגיות לדיון: בכוס מים קרים טובלים גוף חם. האם סגורה המערכת מים וגוף חם? נמקו. האם מתרחש במערכת תהליך כלשהו? אם כן, איזה? כיצד נוכיח זאת? מה תוצאת התהליך? מנקודת המבט של החוק השני של התרמודינמיקה, האם עשויות טמפרטורות המים והגוף להישאר כפי שהיו בתחילת התהליך? (לא. אומנם הפירוש הסטטיסטי מאפשר זאת, אבל סבירות התוצאה קלושה).

המורה יציג פתרון לתרגילים הבאים:

תרגיל 1. שני גופים זהים, הנמצאים בטמפרטורות שונות, מתקרבים זה לזה עד למגע (נדגים ניסוי מתאים). איזה תהליך יתרחש? מה תהיה המגמה של מעבר החום?



ציור 125



ציור 126

תרגיל 2. גז בצילינדר נדחס בהשפעת המשקולת (ציור 125). מה יקרה לגז, אם נסיר את המשקולת כשהטמפרטורה נשמרת קבועה? אפיינו את התהליך.

תרגיל 3. בכוס התחתונה נמצא עשן (ציור 126). מה יקרה לעשן, אם נוציא את המחיצה (דף נייר)?

איזה תהליך יתרחש? הוכיחו שהוא מציית לחוקי התרמודינמיקה. האם היה אופי התהליך שונה, אילו היו בכוס התחתונה שני חלקיקי עשן בלבד? נמקו.

תרגיל 4. בכלי אחד נמצא גז דליל, ובכלי האחר – גז דחוס. איזה תהליך יתרחש לאחר ששני הכלים יחוברו?

תרגיל 5. האם מאפשרים חוקי התרמודינמיקה לגוף להתרומם לגובה מסוים באופן עצמי על חשבון הפחתת האנרגיה הפנימית שאצורה בו? נמקו.

תרגיל 6. הוכיחו שתהליך תרמודינמי, שבמהלכו מותמרת האנרגיה הפנימית של האוקיינוס לעבודה, בלתי אפשרי.

מטלות: סעיפים 82 – 83 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 15 (13).

יסודות האלקטרודינמיקה

בכיתות י' ו-י"א לומדים את האלקטרודינמיקה של תופעות חשמל סטטיות, שאינן משתנות בזמן. את כל התופעות הנלמדות ניתן להדגים, והמודלים שלהן מוחשיים וניתנים להסבר.

פרק XIV. השדה החשמלי

בפרק הראשון של הנושא "אלקטרודינמיקה" ייכנסו התלמידים לעולם של תופעות חדשות: במסגרת האלקטרוסטטיקה ילמדו התלמידים את התכונות החשובות של המטען (גודל, סימן, המטען האלמנטרי) ואת תכונות השדה החשמלי

(עוצמת השדה, פוטנציאל, אנרגיה, קווי שדה).

עיקרו של לימוד הנושא יתמקד בגופים הטעונים ובתופעות האופייניות של האלקטרוסטטיקה, באמצעים לתיאורם וביישומים של התופעות שיילמדו.

התכנים הכלליים של הנושא הם:

- הגוף הטעון - מערכת מטענים, שדה.
- התופעה - פעולות הדדיות בין מטענים, השפעת השדה על מטען, שדות חשמליים של מקורות שונים.
- אמצעי תיאור - גודל פיזיקלי (מטען, עוצמת שדה, פוטנציאל, אנרגיה, קיבול), וק קולון, חוק שימור המטען, מנגנון ההשפעה ההדדית.
- יישומים - קבל, הגנה אלקטרוסטטית, מדידת מתח, שימוש בחומרים דיאלקטריים.

שיעור 1. מהי האלקטרודינמיקה? פעולות בין מטענים חשמליים

מטרות השיעור

- * הכרת ענף הפיזיקה המכונה **אלקטרודינמיקה**.
- * לימוד **חוק שימור המטען החשמלי** והבנת תופעת הטעינה של גופים מנקודת המבט של תורת האלקטרונים.
- * הכרת אבני הדרך העיקריות בהיסטוריה של התפתחות מדע האלקטרודינמיקה.
- * הבנת תופעות חשמליות בטבע.

א. מתווה להצגת החומר החדש

באנציקלופדיה מוגדר מדע האלקטרודינמיקה כתורת השדה האלקטרומגנטי, שבאמצעותה מתבצעות פעולות בין מטענים חשמליים.

האלקטרודינמיקה עוסקת בתופעות פיזיקליות, הקשורות בתנועה של מטענים חשמליים ובפעולה הדדית ביניהם, ובתופעות המתרחשות בשדה האלקטרומגנטי. פעולות אלקטרומגנטיות הן הנפוצות ביותר בעולם שמסביבנו.

התופעות האלקטרומגנטיות אחראיות לתגובות כימיות ולתהליכים ביולוגיים, ואלה מהווים את הבסיס למכלול תופעות בחיי היומיום במדע, בטכנולוגיה, בהנדסה, בתקשורת ועוד. לכן נחשבת האלקטרודינמיקה לאחד הענפים החשובים בפיזיקה.

סוגיות לדיון: אילו תופעות הנלמדות במכניקה, מקורן בפעולות אלקטרומגנטיות? האם אפשר לדמיין את חיי החברה כיום ללא שימוש בתופעות אלקטרומגנטיות כזרם חשמל וכגלים אלקטרומגנטיים?

המורה יציג לתלמידים את מבנה הפרק "אלקטרודינמיקה" ויספר את ההיסטוריה של התפתחותה.

הכרת המטענים והפעולות ביניהם תתבצע באמצעות דיון בפתרון סוגיות ניסוייות.

סוגיה 1. כיצד נוכיח שגוף טעון?

נבדוק אם קיימת השפעה הדדית בין הגוף הנתון לבין גוף טעון. אם הגוף הנתון נמשך או נדחה על-ידי הגוף הטעון, משמע שהוא עצמו טעון. נבצע ניסוי.

שאלה: כיצד נוכיח שבמקרה זה מתגלה השפעה אלקטרומגנטית – ולא השפעה גרביטציונית? (נעשה חישוב של כוח הגרביטציה שבין שני הגופים הנתונים ונסיק שהוא כה קטן, שלא ניתן לגלותו בניסוי).

סוגיה 2. מדוע גופים טעונים שונים פועלים זה על זה באופן שונה? מהן הסיבות לשוני זה?

הניסוי: משיכה ודחייה של שני כדורים קטנים העשויים מנייר אלומיניום. נמחיש את שינוי עוצמת הכוח עם שינוי המרחק שבין הכדורים ועם שינוי מטענם.

דיון: כיצד נוכיח שהכדורים טעונים במטענים שסימנם זהה? מה מאפשר להסיק, שהגדלת המרחק בין הכדורים מלווה בהקטנת עוצמת הכוח החשמלי ביניהם? כיצד נוכיח שאחד משני המטענים גדול מהאחר? (באמצעות מטען שלישי).

סוגיה 3. כיצד מתרחשת טעינת גופים? מה קורה לגופים בעת הטעינה?

הדרכה: פתרון הסוגיה מבוסס על התורה האלקטרונית.

נשחזר חלק מהניסויים בשיעורים הבאים, אולם מעתה יעבירו התלמידים את הניסויים בעצמם. להלן כמה ניסויים נוספים:

ניסוי 1. משפשפים זו בזו שתי לוחיות, העשויות מאבונט ומפרספקס, ומכניסים אותן זו אחר זו לתוך כלי האלקטרוסקופ, בלא לגעת במחוגו. סוגיות: מדוע קריאות האלקטרוסקופ זהות? מה תהיה קריאת האלקטרוסקופ, אם נכניס את שתי

הלוחיות יחד?

ניסוי 2. משפשפים לוחית מפרספקס בנייר ונוגעים בכדור האלקטרוסקופ. סוגיות: מדוע נשאר קריאת האלקטרוסקופ אפסית לאחר מגע קצר ביניהם? כיצד תשתנה הקריאה, אם נעביר את הלוחית על הכדור כמה פעמים? מדוע?

דיון: בניסוי הראשון נוכחנו לדעת שעל הלוחיות מתגלים מטענים, השווים בגודלם ומנוגדים בסימנם; על כל לוחית מטען מסוג אחד בלבד, ועל הלוחית האחרת מטען שווה, אך בסימן מנוגד.

על בסיס זה ניתן לנסח את **חוק שימור המטען**. המורה יספר שמחשבות לגבי שימור המטען התגבשו כבר במאה ה-13, אולם ההוכחה הכללית הובאה בשנת 1838 על-ידי **פאראדי**: "אי-אפשר ליצור או להשמיד את אחד מהכוחות החשמליים ללא שינוי שווה ומתאים של הכוח השני".

דיון: איזו מערכת ניסוי ניתן להציג כמערכת סגורה? האם ימשיך חוק שימור המטען להתקיים אם אחד מהלוחות יהיה מפלדה?

סוגיה: אילו חלקיקים טעונים עוברים מגוף אחד לאחר? פותרים את הסוגיה באופן תיאורטי באמצעות השאלה: האם יכולים מטענים חיוביים – כלומר יונים, המרכיבים את הסריג הגבישי – לעבור מגוף אחד לאחר?

עבודה עצמית

גרסה 1

1. הציגו דוגמאות לתופעות פיזיקליות, שבהן עוסקת האלקטרודינמיקה.
2. כיצד תוכיחו, באופן תיאורטי ובאופן ניסויי, את שוויון המטענים במהלך הטעינה? היעזרו בשרטוטים מתאימים.

גרסה 2

1. סכמו בקצרה כיצד מתרחשת טעינת הגופים. לוו את ההסבר בשרטוטים.
2. רשמו בצורה מתמטית את חוק שימור המטען החשמלי. מהם התנאים שבהם הוא מתקיים?

מטלות: סעיפים 85–86 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 16 (1).

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדרך למורה

שיעור 2. חוק קולון

מטרות השיעור

- * הכרת המושגים **מטען נקודתי**, **חוק קולון**, **קבוע דיאלקטרי**, **יחידת מטען**.
- * גבולות השימוש בחוק קולון והכרת ההיסטוריה של גילוי החוק.
- * תרגול באמצעות חוק קולון.

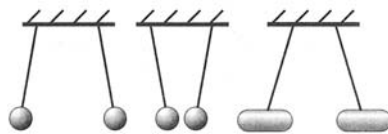
א. חזרה ודיון

סוגיות: אילו פעולות הדדיות מכונות "אלקטרומגנטיות"? במה מתבטאת פעולה הדדית בין מטענים? (במשיכה ובדחייה). מהו תהליך טעינת הגופים מנקודת המבט של התורה האלקטרונית? כיצד נוכיח את שוויון המטענים הנרכשים על-ידי הגופים בעת הטעינה? כיצד ומדוע מתרחש שינוי מטענו של מוליך, הטעון חיובית, בעת חיבורו לאדמה (הארקה)?

עבודה עצמית

תרגיל 1. שני גופים, בעלי מטענים $5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ו- $-8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, חוברו, ולאחר מכן הופרדו. האם יפעלו הגופים זה על זה לאחר ההפרדה? אם כן, כיצד?

תרגיל 2. מצאו את הסימנים האפשריים של מטעני הגופים, המתוארים בצויר 134.



ציור 134

תרגיל 3 (ניסויי). ידוע שפרספקס נטען חיובית לאחר שפשוף בנייר. מצאו באופן ניסויי את סימן מטענו של מסרק מפלסטיק לאחר שפשוף בצמר. ניתן להשתמש באלקטרוסקופ כציוד עזר. הציעו כמה דרכים לפתרון.

ב. מתווה להצגת החומר החדש

במהלך לימוד החומר החדש מוגדרים תחילה שני מושגים: **אלקטרוסטטיקה** ו**מטען נקודתי**. בין כל הפעולות בין מטענים הפשוטות ביותר הן אלה שבין מטענים נייחים.

כדי לתאר את הפעולות האלה באופן כמותי משתמשים במודל של מטען

נקודתי. המרת גופים טעונים במטען נקודתי מאפשרת להתעלם מפרטים משניים, כצורה וכגודל הגוף, ולהתרכז בעיקר: לנסח את חוק קולון. סוגיה: באילו תנאים ניתן להמיר גוף טעון במטען נקודתי?

המורה יעלה את הסוגיות: מדוע השתמשו במתקן של קולון בכדורי מתכת קטנים? כיצד מדד **קולון** את הכוח הפועל בין הכדורים? באילו קשיים עלול היה להתקל במהלך הניסויים? מדוע אין בביצוע הניסויים די כדי לנסח את החוק? (יש להשתמש במושג **מטען נקודתי**, כלומר לפתח מודל של התופעה).

תרגיל. שני כדורים זהים, כל אחד בעל מסה m , תלויים בקצות חוטים שאורכם l וקשורים בנקודה אחת. כאשר נטען כל אחד מהכדורים במטען q , הם התרחקו זה מזה למרחק r . מצאו את כוח המתיחות בחוטים.

המורה ינתח את התופעה: התרגיל מתאר מצב שיווי-משקל של שני גופים טעונים. הסיבה לשיווי-המשקל של כל אחד מהם היא פעולה משותפת של כדור הארץ, החוט וכוח הדחייה מהמטען האחר. כל אחת מפעולות אלה מתאפיינת על-ידי כוח, ולכן התנאי לשיווי-המשקל הוא איפוסו של הכוח השקול של כל הכוחות הפועלים על כל מטען.

החלק המתמטי של הפתרון נמצא בדוגמה לפתרון תרגילים בסעיף 90 שבספר הלימוד.

לסיכום נדון פעם נוספת בסוגיה: מדוע משתמשים בפתרון התרגיל במטענים נקודתיים? כיצד נבדוק את הפתרון? האם תשתנה המתיחות בחוטים, אם סימן מטענו של כל אחד מהמטענים יהיה הפוך?

מהלך הפתרון ילווה בהדמיה 2.2 מהתוכנה **פוטנציאל**.

מטלות: סעיפים 89–90 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 16 (2).

מעבדת חקר בנושא: חוק קולון (הדמיה 3.2 בלומדה **פוטנציאל**).

שיעור 3. פתרון תרגילים

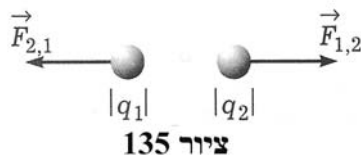
מטרת השיעור

* תרגול בנושאי חוק קולון ושיווי-משקל של גופים טעונים.

פיוק 10: מערכי שיעור — מדרין למורה

א. חזרה ודיון

ייערך דיון ביסודות האלקטרוסטטיקה באמצעות הסוגיות: מהי אלקטרוסטטיקה? עבור אילו גופים מנוסח חוק קולון? האם חוק קולון הוא חוק תיאורטי או חוק ניסויי? מהו הניסוח המתמטי של חוק קולון? האם מתקיים החוק השלישי של הדינמיקה עבור פעולות בין מטענים? נמקו.



תרגיל 1. הכוחות הפועלים בין שני מטענים זהים מתוארים בציור 135. המרחק בין המטענים r . ציירו בקנה-מידה את הכוחות: א. כשהמרחק בין המטענים יקטן פי

2; ב. כשסימנו של אחד מהמטענים ישתנה לסימן נגדי; ג. כשאחד מהמטענים יקטן פי 2; ד. כשאחד המטענים יגדל פי 2; ה. כששני המטענים יקטנו פי 2, והמרחק יגדל פי 2.

תרגיל 2. באיזה מרחק בריק יש להציב שני מטענים נקודתיים $5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ו- $6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, כדי שכוח הדחייה ביניהם יהיה $1.2 \cdot 10^{-4} \text{ N}$?

תלמיד יכין ניסוי בנושא טעינה. נבדוק: האם וכיצד תשתנה קריאת האלקטרומטר, אם נשפוך חול לתוך הכוס? ההדגש יהיה בדרך עריכת הניסוי ובפירושו; כך מעודדים את התלמידים ומפתחים אצלם את מיומנות ההסבר של תופעות פיזיקליות.

מטלה: מקבץ תרגילים 16 (4, 5).

שיעור 4. כיצד פועלים מטענים חשמליים בינם לבין עצמם?

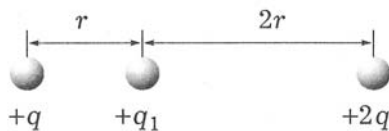
מטרת השיעור

* העמקת ההבנה של המושגים שדה חשמלי, עוצמת השדה, עקרון הסופרפוזיציה (החפיפה).

א. חזרה ודיון

בדיקת המטלות תתבצע באמצעות דיון בסוגיות: במה עוסקת האלקטרודינמיקה? איזו תופעה פיזיקלית חדשה נלמדה בשיעור שעבר? מהו החוק הפיזיקלי המתאר תופעה זו? מהו מטען נקודתי? מתי משתמשים במושג זה?

המורה יציג משימה: ציירו את הכוחות הפועלים על המטען q_1 (ציור 136). מהו הכוח השקול? כיצד ומדוע אפשר להטעין שני קצוות של מוט אבוניט במטענים מנוגדי סימן? מה הדומה ומהו השונה בין חוק קולון לחוק הכבידה העולמית? (ראו מקבץ תרגילים 16 (3)).



ציור 136

ב. מתווה להצגת החומר החדש

את לימוד החומר החדש נתחיל מהגדרת השאלה המרכזית: כיצד נוצרים כוחות בין מטענים?

אין די בקביעת עובדת הפעולה שבין מטענים, אלא חייבים להבין את הסיבה, את מקור התופעה ואת מנגנון פעולתה. כדי להדגים את התופעה נשתמש בכדורים טעונים העשויים מנייר אלומיניום. המורה ישאל: כיצד מתבצעת הפעולה בין מטענים המרוחקים זה מזה? המורה יסקור כיצד נוצרו שתי גישות להסבר התופעה.

לאחר מכן ייעזר המורה בטבלה וייתן הסבר המבוסס של תורת הפעולה מקרוב: מסביב לכל מטען קיים **שדה חשמלי** – המושג הפיזיקלי החדש – שלראשונה הוגדר על-ידי **פאראדי**. המורה יפרט ויוסיף לנכתב בספר הלימוד, ויבקש מהתלמידים להסביר את הפעולה בין הכדורים מנקודת המבט של השדה החשמלי.

כדי להסתגל למושג **השדה החשמלי** נדון בסוגיות הבאות: האם שווה עוצמת השדה במרחקים שונים מהכדור הטעון? אילו עובדות ניסוייות מוכיחות את טענת הרציפות של השדה החשמלי? כיצד היה מתנהג המטען, אילו לא היה השדה רצוף? האם משתנה שדה המטען הנייח במהלך הזמן? אילו עובדות ניסוייות תומכות במסקנה זאת?

פעולה מקרוב	פעולה מרחוק
1. פעולה בין הגופים באמצעות תווך מיוחד: השדה.	1. פעולה ישירה בין הגופים, ללא מתווכים, ללא תווך.
2. במהירות סופית: המהירות המרבית להעברת פעולה שווה ל-300,000 ק"מ/ש.	2. מיידית.

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדריך למורה

כדי להמחיש את הנאמר ידגים המורה את ניסוי ההדמיה 3.2 מהלומדה **פוטנציאל**, שכן ניתן לראות בה את וקטור השדה עבור מטענים שונים בנקודות שונות של המרחב.

בהמשך יגלה המורה כיצד מגלים את השדה: על-פי השפעתו על מטען בוחן. המורה ירשום את הנוסחה לעוצמת השדה:

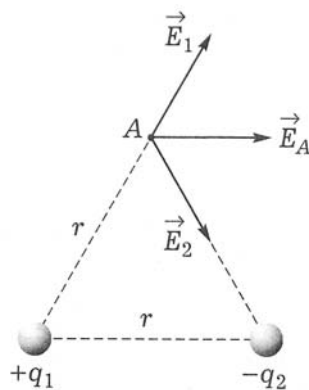
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{N}{C} \right)$$

ויפתח את הנוסחה עבור מקרה של מטען נקודתי. סוגיה: להיכן מכון וקטור השדה בכל נקודה במרחב? במהלך הדיון נסיק את המסקנה הניסויית – סיכום עוצמות השדה של מטענים שונים – ונקבע את עקרון הסופרפוזיציה:

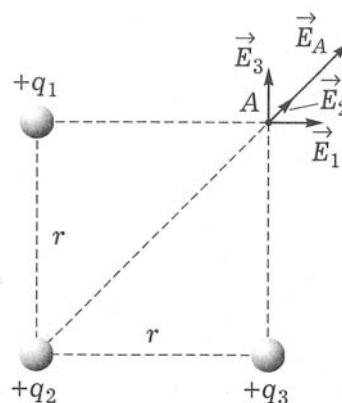
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

כתרגיל נוסף נמצא את עוצמת השדה השקולה, הנוצרת על-ידי כמה מטענים (ציור 137, 138).

תרגיל 1. באיזה כוח פועל כדור הארץ על גוף נושא מטען חשמלי של 10^{-6} C ? השדה החשמלי של כדור הארץ שווה ל- 100 N/C . האם יש צורך לייצג את הגוף כמטען נקודתי?



ציור 137



ציור 138

תרגיל 2. באיזה מרחק מהמטען 10^{-8} C שווה עוצמת השדה ל- 225 N/C ?

תרגיל 3. מצאו את השדה החשמלי של גרעין האטום של מימן במרחק $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. מטען הגרעין $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

ג. דיון וסיכום

המורה יסכם את הנלמד באמצעות הסוגיות: איזה מושג פיזיקלי חדש נלמד היום? מהו האפיון העיקרי של השדה החשמלי? מהו תפקידו של השדה החשמלי בתהליך הפעולה ההדדית שבין מטענים חשמליים? (הפעולה מועברת באמצעות השדה; השדה של מטען אחד פועל על המטען האחר, ולהפך). מהו עקרון הסופרפוזיציה? מה משמעותו? (מאפשר למצוא את עוצמת השדה, הנוצר על-ידי כמה מטענים). כיצד מחשבים את עוצמת השדה, הנוצר על-ידי מטען נקודתי? כיצד מתקבלת הנוסחה הזאת? אילו גדלים פיזיקליים ניתן למצוא, אם ידועה עוצמת השדה?

מטלות: סעיפים 91 – 93 בספר הלימוד.

מעבדת חקר: הלומדה **פוטנציאל**, הדמיות 3.1 ו- 3.2.

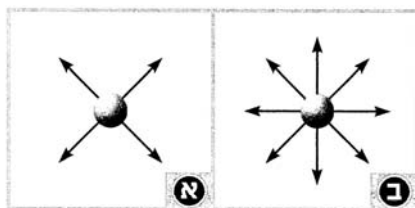
שיעור 5. פתרון תרגילים: קווי שדה

מטרות השיעור

- * הכרת המושג **קווי שדה** כאמצעי לתיאור השדה החשמלי.
- * רכישת מיומנויות לתיאור השדה באמצעות וקטור עוצמת השדה וקווי השדה.

א. חזרה ודיון

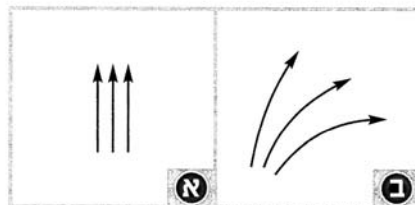
המורה יפתח דיון על הפעולה מקרוב ועל הפעולה מרחוק. סוגיות להכוונה: מהן הדוגמאות לפעולות בין גופים באמצעות תווך? (ילד מושך ילד אחר בחבל; בוכנה אחת דוחפת את הבוכנה האחרת בכלים שלובים באמצעות הנוזל). איזו מהשתיים – פעולה מקרוב או פעולה מרחוק – מתארת את הפעולות בין גופים באורח מדויק יותר? איזו מהן מבטאת בצורה מקיפה יותר את הקשר הממשי שבין הגופים לבין התופעות? (פעולה מקרוב). אילו עובדות תומכות ברעיון השדה החשמלי (ניעזר בספר הלימוד, ונשווה בין הציורים 181–184 כדי להסיק לגבי תכונות השדה החשמלי).



ציור 139

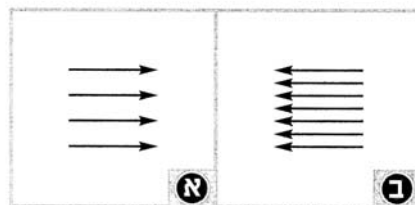
ב. מתווה להצגת החומר החדש

נושא השיעור: קווי שדה. המורה יסתייע בהדמיות 3.1 בתוכנה **פוטנציאל**, יגדיר מהו קו שדה, ויביא דוגמאות לקווי שדה של מטען בודד ושל שני מטענים (בעלי סימנים זהים ונגדיים).



ציור 140

סוגיות לדיון: מה מראים קווי שדה? לאיזה צורך משתמשים בהם? כיצד אפשר לתאר את השדה באופן מדויק יותר: באמצעות חישוב עוצמת השדה או באמצעות קווי השדה? מהם המטענים שחוללו את השדות המתוארים בציורים 139 – 141?



ציור 141

כיצד אפשר להגדיר את השדה של מטען נקודתי? (אינו אחיד, הולך וקטן עם המרחק). האם ישתנה השדה החשמלי, אם נכניס לתוכו כדור טעון? נמקו. (ישתנה, מכיוון שהשדות מסתכמים). באיזה אזור של שדה של שני מטענים נגדיים תהיה עוצמתו הגדולה ביותר? (בין המטענים).

ג. פתרון תרגילים כבוחן

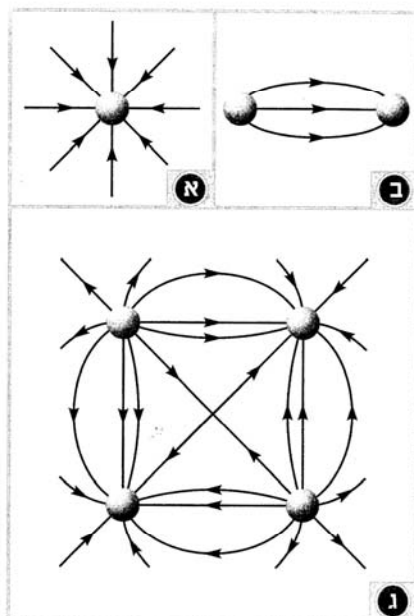
נציע לתלמידים לפתור 3 מתוך 4 התרגילים הבאים:

תרגיל 1. מצאו את סימני המטענים (ציור 142)

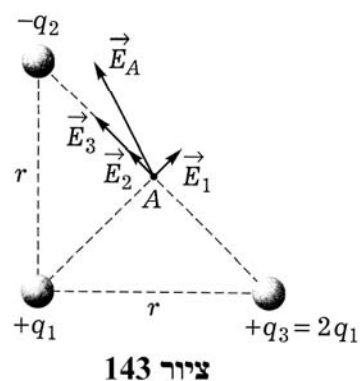
תרגיל 2. מצאו את כיוון וקטור השדה בנקודה A (ציור 143).

תרגיל 3. עוצמת השדה בנקודה מסוימת שווה ל- $4 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. מצאו את גודל

המטען הבוחן, אם הכוח שפועל עליו באותה נקודה שווה ל- $1.8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.



ציור 142



ציור 143

תרגיל 4. שני מטענים נקודתיים, שגודלם $2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ ו- $1.6 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, נמצאים

במרחק 5 cm זה מזה. מצאו את עוצמת השדה בנקודה, המרוחקת 3 cm מהמטען

הראשון ו- 4 cm מהשני.

מטלה: סעיף 94 בספר הלימוד.

שיעור 6. המטען האלמנטרי; פתרון תרגילים

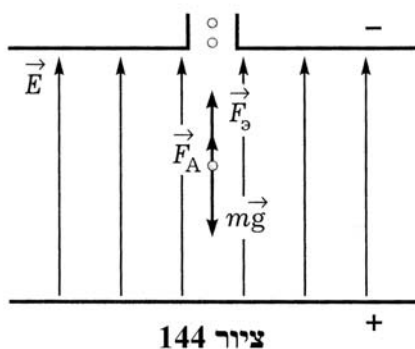
מטרת השיעור

* הכרת המושג המטען האלמנטרי ושיטת המדידה שלו.

א. מתווה להצגת החומר החדש

הסוגיה המרכזית: האם ניתן לחלק מטען? כלומר האם קיים מטען קטן עוד יותר?

את החלק הראשון של הסוגיה נפתור באמצעות ניסוי: ניעזר בשני אלקטרומטרים (המורה יזכיר בקצרה את מבנהו של האלקטרומטר), לוחית פרספקס, פיסת עיתון ומוט מתכת בעל ידית מבודדת. את הניסוי יבצע תלמיד: יטען את אחד מהאלקטרומטרים ויחבר אותו לאחר. סוגיות לדיון לגבי הניסוי: כיצד השתנה מטענו של האלקטרומטר הראשון? האם אפשר לחלק את המטען הנותר שעל האלקטרומטר הראשון לשני חלקים? האם אפשר לחלק את המטען עד אינסוף? על סוגיה זו מקבלים תשובה מהניסוי הידוע:



לשדה חשמלי אחיד, שעוצמתו ידועה, מכניסים טיפות שמן טעונות (ראו ציור 144). על כל טיפה פועלים כוח הכבידה; כוח העילוי באוויר, הדוחף את הטיפה כלפי מעלה; וכוח קולון. בהתאם ליחס הכוחות עשויה הטיפה להימצא במנוחה או לנוע בתאוצה. חקירת תנועת הטיפה מאפשרת לגלות כוח אלקטרוסטטי, ועל-פי עוצמת

השדה הידועה – למצוא לאחר מכן את מטענה. נערכו ניסויים רבים מאוד בטיפות במסות שונות ובמטענים שונים עליהן, ובכל המקרים הסתבר שמטען הטיפה הוא מכפלה של מטען קטן ביותר, שהוא מספר שלם.

מטען קטן ביותר זה נמדד ונמצא שווה למטען האלקטרון: $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

התלמידים יעתיקו את תרשים הניסוי למחברותיהם.

על מנת להדגיש את ההתמדה והנחישות הרבה, הנחוצות בעבודת המחקר, יספר המורה על החוקר והמדען **רוברט מיליקן**, שערך ניסוי זה. הוא צפה בתנועת הטיפות מבעד למיקרוסקופ 5 – 6 שעות ביממה משך כמה שנים, בין 1906 ל-1914.

פיויקה 10: מערכי שיעור – מדרך למורה

המורה ייעזר בחומר על הניסוי, המצוי במקורות האינטרנט ובאנציקלופדיות.

נבצע את ניסוי ההדמיה (הלומדה **פוטנציאל**, ניסוי 3.3): תחילה יקרין המורה על המסך את הניסוי ויסביר כיצד להעבירו. בהמשך יבצעו התלמידים את הניסוי בעמדותיהם על-פי ההוראות המופיעות על מסך המחשב.

ב. עבודה עצמית כבוחן

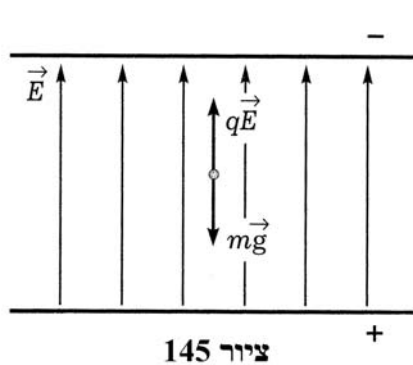
את הבוחן תקדים הדגמת פתרון תרגיל על-ידי המורה.

תרגיל. בשדה חשמלי אחיד, שעוצמתו $5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$, מרחף חלקיק אבק שמסתו 10^{-11} kg . מצאו את גודל המטען שעל החלקיק.

פתרון. נבדוק את מצב החלקיק בשדה חשמלי אחיד: פועלים עליו משיכת כדור הארץ וכוח עוצמת השדה. את כוח העילוי, שמקורו בחוק ארכימדס, ניתן להזניח עקב נפחו הזעיר של החלקיק.

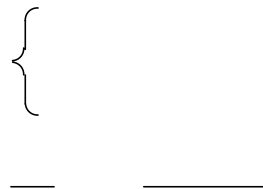
מכיוון שהחלקיק נייח, הכוחות מתקזזים (ראו ציור 145).

תנאי שיווי-המשקל במצב החלקיק מתואר באופן הבא:



פתרון המשוואה מאפשר למצוא את גודל

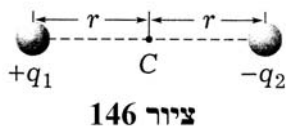
מטען החלקיק:



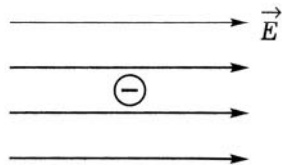
בניסויי מיליקן השתנה מטען החלקיק, וכדי לשמור את שיווי-משקלו שינו את עוצמת השדה. החישובים הראו, שבכל המקרים היה מטען החלקיק מכפלה שלמה של מטען יסודי איזושהו במספר שלם.

בוחר

גרסה 1



ציור 146



ציור 147

1. לשדה של מטען נקודתי חיובי q_1 מכניסים מטען שלילי q_2 . כיצד תשתנה בעקבות זה עוצמת השדה בנקודה C (ראו ציור 146)? נמקו את התשובה.
2. מצאו מרחק, שבו מטען שגודלו $4 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ יוצר שדה שעוצמתו $1 \cdot 10^6 \text{ N/C}$.

גרסה 2

1. בציור 147 מתואר שדה חשמלי וחלקיק טעון שלילית. באיזה כיוון יפעל כוח השדה על החלקיק? כיצד ינוע החלקיק בשדה זה?
2. מה תהיה תאוצת האלקטרון בשדה שעוצמתו $1 \cdot 10^3 \text{ N/C}$? מסת האלקטרון $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, ומטענו $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

מטלות: חזרה על סעיף 90 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 16 (6).

מעבדת חקר: פוטנציאל (הדמיה 3.3).

שיעור 7. מוליכים בשדה חשמלי

מטרות השיעור

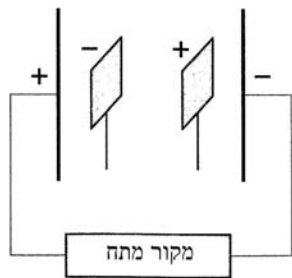
- * הכרת המושגים מטען חופשי, שדה אלקטרוסטטי בתוך מוליך.
- * הכרת השימוש בהגנה אלקטרוסטטית.

א. חזרה ודיון

סוגיות לדיון: במה שונה גוף טעון מגוף נייטרלי מנקודת המבט של מבנהו הפנימי? האם אפשר לפרוק מטען ממקל אבויט על-ידי נגיעה באצבע? האם אפשר לפרוק מטען ממקל מתכת על-ידי נגיעה באצבע? האם אפשר להסיק על-פי ניסויים אלה על יכולת המטענים לנוע בתוך הגוף? במה מאפיינים קווי שדה את השדה החשמלי?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

את לימוד החומר החדש נתחיל בחזרה קצרה על מבנה המתכת מנקודת מבטה של התורה האלקטרונית. נקבע את קיומם של היונים והאלקטרונים, ונדגיש שהאלקטרונים הם מטענים חופשיים, העשויים לנוע בתוך המוליך.



ציור 148

בהמשך נעבור לפתרון הסוגיה המרכזית: מה קורה למוליך שהושם בתוך שדה חשמלי? מומלץ להעביר את הניסוי הבא (ראו ציור 148): לתוך שדה חשמלי אחיד (בין לוחות קבל) נכניס שני לוחות מתכת, שלהם ידיות מבודדות ושאינם טעונים (נבדוק זאת באמצעות האלקטרומטר), ונחבר ביניהם באמצעות חוט מוליך. בעוד הלוחות בתוך השדה, ננתק את הקשר ביניהם, נוציא אותם ממרחב השדה, ונמדוד את המטענים שעל פניהם.

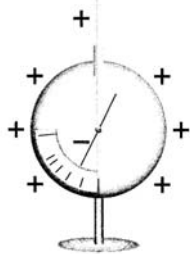
סוגיות לניתוח תוצאות הניסוי: מהיכן ומדוע הופיעו מטענים על פני הלוחות? האם סימניהם זהים? האם היו הלוחות נשארים טעונים, אילו היו מפרידים ביניהם לאחר הוצאתם מהשדה? מדוע? מה המסקנה מהניסוי? (בשדה אלקטרוסטטי שבתוך מוליך מתרחשת חלוקה מחדש של מטענים חשמליים).

התלמידים יעתיקו את ציור 148 למחברותיהם. המורה יזכיר: תופעת ההפרדה של מטעני המוליך בשדה אלקטרוסטטי מכונה **השואה אלקטרוסטטית**, ועליה מבוססת טעינת הגופים באמצעות ההשראה.

כדי להמחיש את התופעה יקרין המורה על המסך את ההדמיות המתאימות מהלומדה **פוטנציאל** (ניסויים 1.1, 1.2, 1.3), ויבקש מהתלמידים להסביר את התופעות הנצפות.

בהמשך ישוחח המורה על תופעת ההשראה האלקטרוסטטית בהיווצרות הברק: הענן, הטעון מטען חשמלי רב, גורם להיווצרות מטען מושרה על עצמים שעל הקרקע, ומתרחשת פריצת שדה חשמלי בצורת ברק. ניתן להדגים תופעה זו באמצעות אלקטרומטר ומקל טעון: אם נקרב את המקל אל המוט המתכתי של האלקטרומטר, ניתן יהיה לשמוע את רעש הפריצה החשמלית: המוט יפרוק את

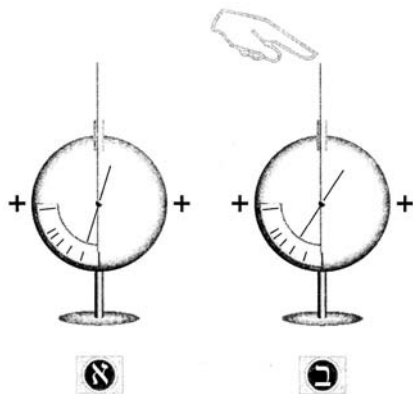
מטענו. דנים בסוגיה: מדוע נפרק מטענו של המוט? הרי לא נגעו בו! לאחר מכן נעבור לפתרון תרגילים ניסויים.



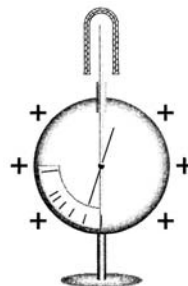
ציור 149

תרגיל 1. טוענים את מעטפת האלקטרומטר (ראו ציור 149). מדוע סוטה מחוג האלקטרומטר? (חלקו של המוט נמצא בשדה של המעטפת הטעונה, ומתרחשת חלוקת מטענים מחדש).

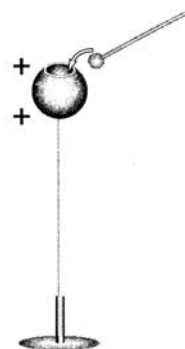
תרגיל 2. מעטפת האלקטרומטר נטענת מעט (ראו ציור 150א). מדוע אין מחוג האלקטרומטר מגיב? (עקב הרגישות הנמוכה של האלקטרומטר; חלוקת המטענים במוט מתקיימת). מדוע יסטה המחוג, אם ניגע במוט (ראו ציור 150ב)?



ציור 150



ציור 151



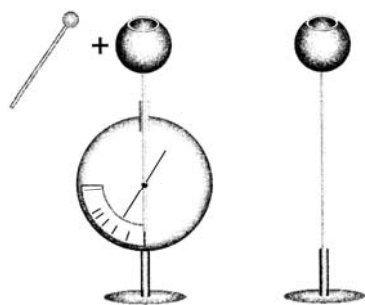
ציור 152

תרגיל 3. מעטפת האלקטרומטר נטענת. קצה המוט מכוסה בכוס מתכת (ראו ציור 151). מדוע אין המחוג סוטה?

לצורך חזרה על החומר נערוך ניסוי ברשת מתכת: נטען את הרשת ונגלגל אותה. מדוע בתוך הגליל שנוצר צמודים עלי האלקטרוסקופ לרשת, אבל מחוץ לגליל הם פרוסים מהרשת והלאה? הניסוי מאפשר להסיק לגבי ריכוז המטענים על המשטח החיצוני של המוליך.

תרגיל 4. כדור מתכת חלול טעון במטען חשמלי (ראו ציור 152). האם אפשר להטעין כדור בוחן מתכתי קטן על-ידי נגיעה במשטח פנימי של הכדור החלול? נבדוק את הפתרון באופן ניסוי.

פיוק 10: מערכי שיעור — מדרך למורה



ציור 153

תרגיל 5. כיצד אפשר לטעון כדור מתכתי חלול, המותקן על רגלית מבודדת, באמצעות כדור מתכת קטן בעל ידית מבודדת ואלקטרומטר טעון (ראו ציור 153)?

ג. פתרון תרגילים בעבודה עצמית

תרגיל 1. מצאו את עוצמת השדה של כדור מתכתי טעון במרחקים 2 ס"מ ו- 4 ס"מ ממרכז הכדור. רדיוס הכדור 3 ס"מ, ומטען הכדור: 10^{-8} C .

תרגיל 2. מצאו את מטענו החשמלי של כדור הארץ, אם ידועים עוצמת השדה החשמלי על הקרקע: 100 N/C , ורדיוס כדור הארץ: 6400 ק"מ.

תרגיל 3. מצאו את עוצמת השדה החשמלי של לוח טעון במרחק 1 cm ובמרחק 2 cm ממנו. גודלו של הלוח $5 \times 4 \text{ m}$, ומטענו שווה ל- $5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

מטלות: סעיף 95 בספר הלימוד.

מעבדה וירטואלית: הלומדה **פוטנציאל**, הדמיות 1.2, 1.3.

שיעור 8. מבודדים בשדה חשמלי

מטרות השיעור

* לימוד מבנם של החומרים המבודדים מנקודת מבטה של התורה האלקטרונית.

* הכרת המושג **קיטוב מבודדים** והשימוש במבודדים בתעשייה.

א. מתווה להצגת החומר החדש

המורה ידון בשני סוגים של חומרים – מוליכים ומבודדים – ויביא דוגמאות לחומרים מבודדים: גזים – אוויר, ניאון, הליום; נוזלים – מים מזוקקים, ממיסים אורגניים (בנזין, נפט), שמנים; מוצקים – פורצלן, זפת, קרמיקה, עץ יבש.

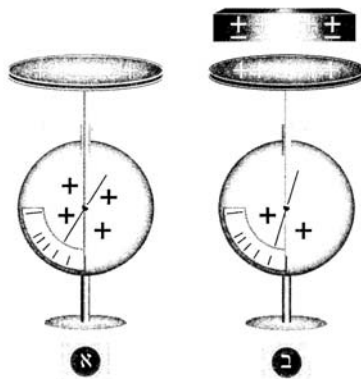
למוליכים ולמבודדים תכונות חשמליות שונות. המורה יעלה סוגיה: מדוע אפשר לטעון אלקטרומטר באמצעות מוט טעון מהסוג האחד – ואי-אפשר באמצעות המוט מהחומר האחר? כדי להמחיש את הסוגיה יעביר המורה ניסוי. הציוד הדרוש: מוט מתכת בעל ידית מבודדת, מוט העשוי אבוניט, שני אלקטרומטרים. באמצעות

המוטות הטעונים ניגע בכדור המתכת של האלקטרומטר.

המסקנה: מוט אבויט אינו מכיל מטענים חופשיים.

כדי להבין את התכונות החשמליות של חומרים דיאלקטריים יש להכיר את מבנם הפנימי. המורה יציג את החומר המתואר בספר הלימוד וילווה את הסבריו בהדמיה 1.3 של הלומדה **פוטנציאל**. המורה ידגיש שדיפול חשמלי הוא **מודל** של מערכת מטענים נייטרלית.

כיצד משתנה חומר דיאלקטרי בשדה חשמלי? זו המשימה הלימודית הבאה של השיעור.



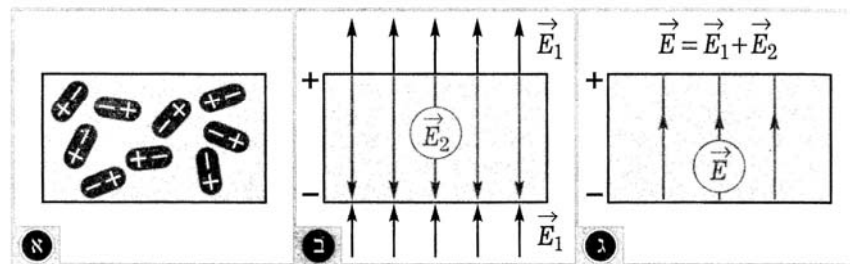
ציור 154

כיצד תשתנה קריאת האלקטרומטר הטעון, שמחוברת אליו דסקת מתכת (ראו ציור 154א), אם נקרב אליו לוח עבה מפרספקס, ולאחר מכן נניח אותו על הדסקה? (הקריאה תהיה קטנה יותר; בשדה החשמלי של הדסקה מקבל הלוח קוטביות, ושדהו מקטין את השדה של הדסקה. אם נניח את הלוח על הדסקה, יחזרו אליה חלק מהמטענים, הנמצאים על מוט האלקטרומטר).

מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי? לצורך הדיון ייעזר המורה בציור 155. סוגיות לדיון: האם קיים שדה חשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי בהיעדר שדה חיצוני (ראו ציור 155א)? וכאשר קיים שדה חיצוני (ציור 155ב)? מדוע מופיע שדה חשמלי בתוך גוף דיאלקטרי, הנמצא בשדה חשמלי חיצוני – אף שבתוך הגוף אין תנועת מטענים? (השדה העצמי של גוף דיאלקטרי מופיע בעקבות הופעת המטען, הקשור למשטח הגוף הדיאלקטרי). להיכן מכוון השדה החשמלי השקול? האם עוצמתו גדולה או קטנה מעוצמת השדה החיצוני?

כדי לאפיין את השדה בתוך הגוף הדיאלקטרי מגדירים גודל פיזיקלי חדש, המכונה **קבוע דיאלקטרי של התווך**:

פיזיקה 10: מערכי שיעור – מדרין למורה

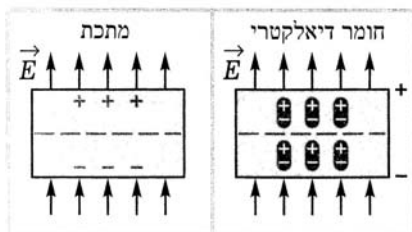


ציור 155

ערכו תלוי בתכונות החומר הדיאלקטרי, ולכן הוא מאפיין אותו. המורה יעביר ניסוי וישאל: כיצד ומדוע תשתנה קריאת האלקטרומטר, המחובר לקבל טעון, אם נכניס בין הלוחות לוחית מפרספקס? (השדה בין הלוחות יקטן. לכן עבור מטען קבוע יקטן גם המתח, מכיוון שעוצמת השדה שווה ל- $\frac{Q}{\epsilon A}$).

תוצאת הניסוי תאמת את מסקנה זו. נדון בסוגיות נוספות: האם תשתנה הקריאה, אם נכניס בין הלוחות לוחית מפרספקס נוספת? מדוע תקטן קריאת האלקטרומטר, כאשר נחליף את הלוחית לאחרת, העשויה מזכוכית רגילה?

ב. סיכום השיעור



ציור 156

סיכום השיעור יתלווה בדיון בסוגיות: מהו השוני בין חומר דיאלקטרי קוטבי לחומר דיאלקטרי שאינו קוטבי? האם מטעני שטח קשורים יוצרים שדה חשמלי בתוך הגוף הדיאלקטרי עצמו? להיכן מכון השדה שבגוף הדיאלקטרי יחסית לשדה חיצוני? האם קיים שדה חשמלי בתוך מוליך, הנמצא בשדה חשמלי חיצוני? במה שונים התהליכים המתרחשים במוליך ובגוף דיאלקטרי, שהוכנסו לשדה חשמלי (ראו ציור 156)? במה שונות תוצאות הניסויים הללו: מוליך ומבודד הוכנסו לשדה חשמלי ונחצו; מוליך ומבודד הוכנסו לשדה חשמלי והוצאו ממנו?

מטלות: סעיפים 96–97 בספר הלימוד.

מקבץ תרגיל 17 (1, 2).

מעבדת חקר: הלומדה **פוטנציאל**, הדמיות 1.1, 1.2, 1.3.

שיעור 9. מאפיינים אנרגטיים של השדה החשמלי

מטרות השיעור

* הכרת המושגים **פוטנציאל**, **הפרש פוטנציאלים**, **שדה חשמלי משמר**.

* פיתוח נוסחת העבודה של השדה החשמלי.

א. מתווה להצגת החומר החדש

בשיעור זה ובאלה הבאים אחריו נלמד את התכונות האנרגטיות של השדה החשמלי. הסוגיה העיקרית: האם השדה החשמלי אוצר אנרגיה? אם כן, מהם הביטויים לכך? כיצד נחשב את האנרגיית האצורה בשדה? נפתור כמה תרגילים.

תרגיל 1. הוכיחו ששדה חשמלי מבצע עבודה.

על מנת להשיב נעביר ניסוי ונדון בתוצאותיו: הטיה של כדור מנייר אלומיניום בהתקרבותו אל מוט טעון. (קיים כוח וקיימת העתקת הגוף בכיוונו של הכוח, ולכן מבצע השדה עבודה).

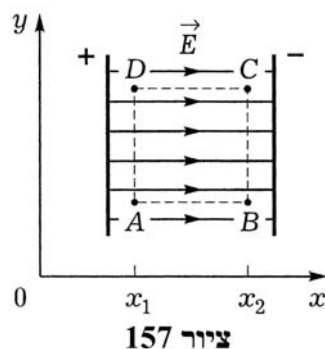
תרגיל 2. מצאו את עבודת השדה החשמלי במהלך העתקת המטען מנקודה A

לנקודה B במסלול נתון (ראו ציור 157).

פתרון. משיעורי המכניקה ידועה נוסחת העבודה, המתבצעת על-ידי כוח קבוע:

$W = F_s \cos \alpha$. בניסוי המתואר השדה אחיד, הכוח קבוע, ההעתק ידוע, ולכן

תשווה העבודה ל: $W = F_e(x_2 - x_1)$.



תרגיל 3. מצאו את עבודת השדה החשמלי

במהלך העתקת המטען מנקודה A לנקודה C;

מנקודה A לנקודה D; ומנקודה A לנקודה A (ראו

ציור 157).

פתרון: כדי לפתור את התרגיל נסמן על הציור

את כיוון הכוח ואת מגמתו ואת כיוון ההעתקה

ומגמתה. ערך העבודה יהיה: $W = Eq(x_2 - x_1)$, והוא אינו תלוי בצורת המסלול. נסביר זאת כך: ההעתקה בין כל שתי נקודות מורכבת משתי העתקות: בכיוון השדה ובניצב לו. במקרה השני עבודת השדה שווה לאפס. בעקבות זאת נזכיר ששדות חשמליים – שעבודתם אינה תלויה בצורת המסלול, ובמסלול סגור תשווה עבודתם לאפס – מכונים **שדות משמרים** (פוטנציאליים).

המורה יגדיר את המושגים **אנרגיה פוטנציאלית** ו**פוטנציאל**, וירשום על הלוח ראשי פרקים ואבני דרך עיקריים של הנושא:

1. העבודה של העתקת מטען בשדה משמר שווה: $W = -\Delta E_p$. לכן הנוסחה לאנרגיה פוטנציאלית בשדה חשמלי אחיד תירשם כך: $E_p = qEx$. (המורה יזכיר את ההקבלה בנוסחה לאנרגיה הפוטנציאלית בשדה הכובד: $E_p = mgh$).

2. מטען בשדה נושא אנרגיה. (ניזכר בניסוי: כדור, התלוי בחוט בשדה חשמלי, מוטא ממצב שיווי-המשקל, כלומר רוכש יכולת לבצע עבודה). היחס —

מאפיין את נקודת השדה הנתונה, מכיוון שהוא תלוי בעוצמת השדה ובקואורדינטת הנקודה בלבד. עובדה זאת מאפשרת להגדיר את פוטנציאל הנקודה בשדה.

3. כיצד נבטא את העבודה באמצעות הפרש פוטנציאלים?

4. נגדיר את המתח: $V = -\Delta\phi$. אזי — .

המורה ימחיש את הנאמר באמצעות ההדמיות 4.1 ו-4.2 מהלומדה **פוטנציאל**.

בהמשך יחזור המורה ויציג את האלקטרומטר ויפרט את מבנהו. לאחר מכן יבצע כמה מדידות של הפרשי הפוטנציאלים בין כדור טעון לבין כדור הארץ, בין שני כדורי מתכת טעונים, בין תלמיד לכדור וכדומה.

במקביל יחזור לסוגיות: מהו פוטנציאל? כיצד מודדים הפרש פוטנציאלים? מהי יחידת הפרש הפוטנציאלים 1 וולט?

מטלות: סעיפים 98 – 99 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 17 (3, 4).

מעבדת חקר: הלומדה **פוטנציאל**, הדמיות 4.1, 4.2.

שיעור 10. הקשר בין עוצמת השדה לבין הפרש הפוטנציאלים;

משטח שווה-פוטנציאל

מטרות השיעור

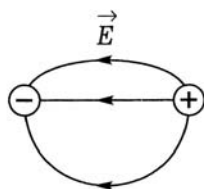
- * הכרת המושג **משטח שווה-פוטנציאל**.
- * הבנת הקשר בין עבודת השדה החשמלי לבין מאפיינים אנרגטיים של השדה.

א. חזרה ודיון

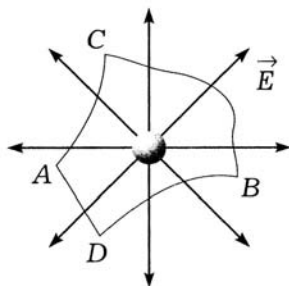
המורה יערוך דיון בחומר שנלמד. תלמידים יפתרו תרגילים ליד הלוח.

תרגיל 1. בשדה חשמלי אחיד, שעוצמתו $6 \cdot 10^5 \text{ N/C}$, נע מטען לאורך קו שדה למרחק 8 ס"מ. גודל המטען $7 \cdot 10^{-8} \text{ C}$. מצאו את עבודת השדה.

תרגיל 2. איזו עבודה יש לבצע כדי להעביר מטען $5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ בין שתי נקודות השדה, כאשר הפרש הפוטנציאלים ביניהן שווה ל-100 וולט?



ציור 158



ציור 159

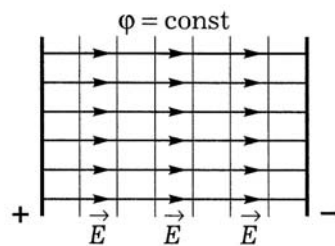
יתבצע דיון על-פי הסוגיות והמשימות הבאות:
אילו סימנים מאפשרים להסיק ששדה חשמלי הוא ממשי? מהם המאפיינים העיקריים של השדה? למה שווה העבודה בהעתקת המטען מנקודה B לנקודה A, אם ידוע שעבודת השדה בהעתקת המטען מנקודה A לנקודה B שווה ל- $5 \cdot 10^{-2} \text{ J}$?

השוו את עבודת השדה החשמלי בהעתקת המטען לאורך כל אחד מקווי השדה (ראו ציור 158).
השוו את עבודות השדה במסלולים ACB ו-ADB (ראו ציור 159).

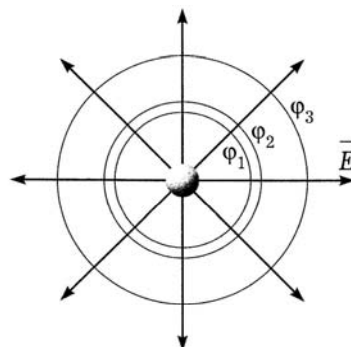
ב. מתווה להצגת החומר החדש

לימוד החומר החדש יתחיל בחזרה פרונטלית. תלמיד ישרטט על הלוח שדה אחיד בין שני לוחות. יש לדון בסוגיות: אילו שני מאפייני שדה למדנו עד כה? כיצד מגדירים אותם? מדוע מאפיינים את השדה באמצעות קווי שדה? (קווי שדה מאפשרים תיאור מוחשי של השדה).

בהמשך נעבור להגדרת המושג **משטח שווה-פוטנציאל**. מסתבר שניתן לתאר גם תכונות אנרגטיות של שדה באמצעות קווים – **קווים שווי-פוטנציאל**. המורה יעלה את הסוגיה: כיצד נתווה קווים שווי-פוטנציאל? יש להתחיל מהשדה הפשוט ביותר – שדה אחיד, ולדון בסוגיה: האם יבצע השדה עבודה, אם המטען יועתק על גבי משטח שווה-פוטנציאל? (רמז: $W = -q(\varphi_2 - \varphi_1)$). עבור איזה מסלול של העתקת המטען תשווה עבודת השדה לאפס (ראו ציור 160)? האם המשטחים המתוארים בציור 161 הם משטחים שווי-פוטנציאל? כיצד נתאר משטח שווה-פוטנציאל, אם ידועים קווי השדה החשמלי? פוטנציאל של איזה מהמשטחים (ראו ציור 161) יהיה נמוך יותר? כיצד נוכיח זאת? (אם נקבע שערך הפוטנציאל באינסוף שווה לאפס, תהיה עבודת ההעתקה של מטען חיובי מאינסוף למשטח בעל פוטנציאל φ_2 קטנה יותר מאשר בהעתקה למשטח בעל פוטנציאל φ_3 . לכן, בהתאם לנוסחה $W = -q(\varphi - 0)$ יהיה הפוטנציאל φ_2 גבוה יותר מפוטנציאל φ_3).



ציור 160



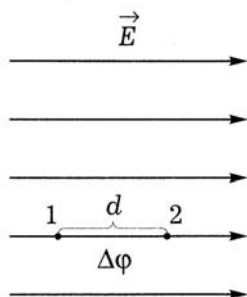
ציור 161

בהמשך נברר את הסוגיה: מדוע נמצאים משטחים שווי פוטנציאל, הנבדלים בערך של $\varphi = 1V$, במרחקים שונים זה מזה בשדה שאינו אחיד (ראו ציור 161)? כדי

להשיב לשאלה זו נקבע קשר בין עוצמת השדה E לבין הפוטנציאל $\Delta\phi$ (ראו ציור 162). נתאר שדה באזור קטן של המרחב כשדה אחיד; נחשב את העבודה באמצעות עוצמת השדה E והפרש הפוטנציאלים $\Delta\phi$; נשווה את הנוסחאות ונקבל:

— —

בציור 161 משורטטים משטחים כדוריים שווי-פוטנציאל עבור ערכים של פוטנציאל, הנבדלים בערך קבוע זה מזה. כאשר מתרחקים מהמטען, הולכת עוצמת השדה וקטנה, ועבור אותו הפרש מתח V הולך המרחק d וגדל. דבר זה לא קורה בשדה אחיד.

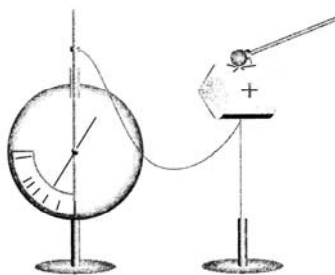


ציור 162

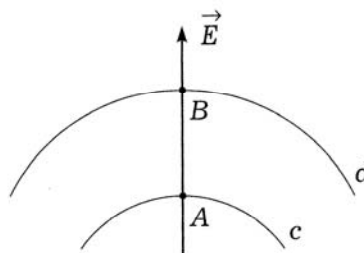
סוגיה (ניסויית). מדוע נשארת קריאת האלקטרומטר קבועה במהלך תנועת הכדור על גבי המשטח (ראו ציור 163)? מה צורת קווי השדה קרוב למשטח המוליך?

תשובה. משטח המוליך הוא שווה-פוטנציאל, ולכן קווי השדה ניצבים לו.

סוגיה. באיזו נקודה – A או B בציור 164 – עוצמת השדה גדולה יותר? ובאיזו מאלה הפוטנציאל גבוה יותר? c ו-d הם משטחים שווי-פוטנציאל.



ציור 163



ציור 164

ג. עבודה עצמית: פתרון תרגילים

תרגיל 1. המתח שבין שתי נקודות, הנמצאות על קו שדה אחד, הוא 2 קילוולט;

פיוק 10: מערכי שיעור — מדרך למורה

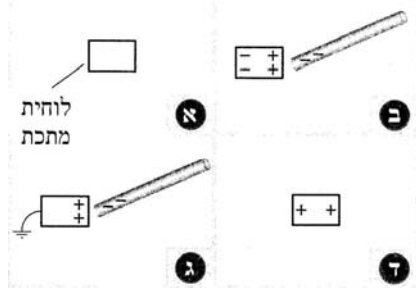
המרחק ביניהן 10 ס"מ. מהי עוצמת השדה?

תרגיל 2. מצאו את עבודת השדה בהעברת

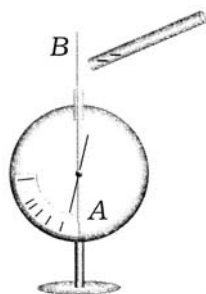
מטען, שגודלו $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, מנקודה בעלת פוטנציאל 100 וולט לנקודה שהפוטנציאל שלה 300 וולט.

תרגיל 3. בעזרת סדר הפעולות, שמתואר

בציור 165, הסבירו את שינוי המטען של לוחית מתכת בתום ארבעת שלבי הניסוי: א. לוחית שאינה טעונה; ב. מוט טעון נמצא ליד הלוחית ללא מגע; ג. אל הלוחית חוברה הארקה; ד. ההארקה נותקה, והמוט הטעון הורחק.



ציור 165



ציור 166

תרגיל 4. האם אפשר להטעין את האלקטרומטר

באמצעות מוט מתכת? נמקו.

תרגיל 5. האם ישתוו הפוטנציאלים של הנקודות A ו-B

של האלקטרומטר בציור 166, כאשר אל המוט המרכזי יתקרב מקל טעון?

מטלות: סעיף 100 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 17 (6, 7).

שיעור 11. עבודה עצמית: פתרון תרגילים

מטרת השיעור

* תרגול השימוש במושגים ובידע שנרכשו עד כה בנושאי האלקטרוסטטיקה.

א. פתרון תרגילים

תרגיל 1. איזו אנרגיה קינטית ירכוש אלקטרון, לאחר שיעבור הפרש

פוטנציאלים השווה ל- $1 \cdot 10^6 \text{ V}$? מטען האלקטרון $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

תרגיל 2. חלקיק טעון, שמסתו $1 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$, מרחף בשדה חשמלי שבין שני

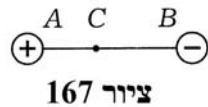
פזיקה 10: מערכי שיעור — מדרך למורה

לוחות. עוצמת השדה שווה ל- $1 \cdot 10^5 \text{ N/C}$. מצאו את מטען החלקיק.

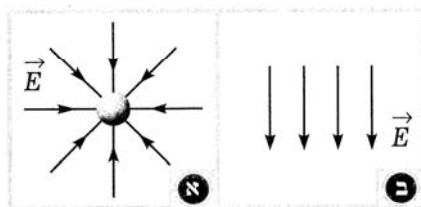
ב. עבודה עצמית כבוחן

גרסה א

1. הסבירו את הניסוי המתואר על-ידי **פאראדי**: "בתוך קובייה (העשויה רשת מתכתית) הנחתי אלקטרוסקופ רגיש בעל עלי זהב, וטענתי את המערכת מבחוץ במטען רב; אולם גם במהלך הטעינה וגם בזמן הפריקה לא הגיב האלקטרוסקופ ולא הראה שום סימן לנוכחות החשמל".



ציור 167



ציור 168

2. מצאו את עוצמת השדה בנקודה C (ראו ציור 167). המטענים, הנמצאים בנקודות A ו-B, שווים ל- $2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, המרחק AB שווה ל-30 ס"מ, והמרחק AC שווה ל-10 ס"מ.

3. מהו הפרש הפוטנציאלים בין הלוחות, אם המרחק ביניהם הוא 10 ס"מ, ועוצמת השדה ביניהם שווה ל-200 וולט/מטר?

גרסה ב

1. תארו את תכונותיהם של השדות, המתוארים בציור 168 א ו-ב.
2. איזה הפרש פוטנציאלים יעבור אלקטרון כדי שמהירותו תגדל מאפס ל- $8 \cdot 10^6 \text{ m/sec}$? מטען האלקטרון: $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, ומסתו: $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.
3. מצאו את עוצמת השדה החשמלי בין ענן לבין הקרקע בזמן סערה, אם הפרש הפוטנציאלים שווה ל- 10^9 V , והמרחק בין הענן לקרקע 300 מטר.

שיעור 12. קבל וקיבול

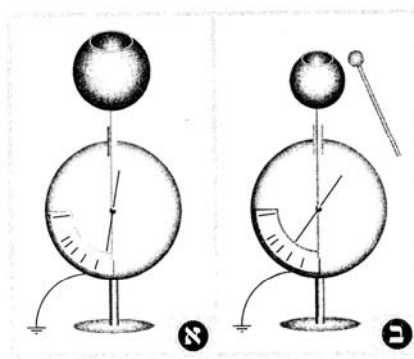
מטרות השיעור

- * הכרת המושג **קיבול של מערכת מוליכים**.
- * הכרת היחידות הפיזיקליות של הקיבול.
- * הכרת קבל לוחות, נוסחת הקיבול של הקבל ושימושו.

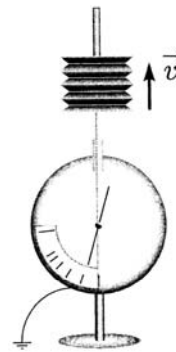
א. חזרה ודיון

לצורך חזרה יפתח המורה בסוגיות: אילו גדלים פיזיקליים ניתן למדוד באמצעות האלקטרומטר? באילו יחידות פיזיקליות הם נמדדים? כיצד אפשר לטעון שני גופים במטענים שווים? (בעזרת כדור בוחן הנטען באמצעות מכונת טעינה אלקטרוסטטית). מהן תכונות השדה שבין שני לוחות, הטעונים מטענים בעלי סימנים נגדיים?

ב. מתווה להצגת החומר החדש



ציור 169



ציור 170

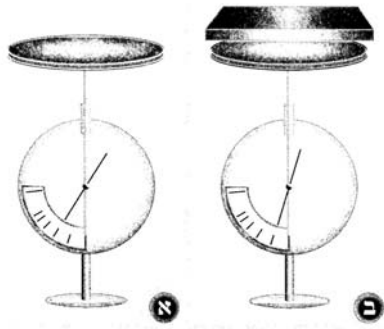
בספר הלימוד מוגדר הקיבול כגודל פיזיקלי, המאפיין את היכולת של שני מוליכים לאגור מטען.

ניעזר בציווד הקיים, ונעביר את סדרת הניסויים בסדר הבא:

שני אלקטרומטרים, שמחוברים אליהם כדורי מתכת חלולים בעלי קוטר שונה, (ראו ציור 169) נטענים ממכונה לטעינה אלקטרוסטטית באמצעות כדור בוחן. לאחר מספר שווה של נגיעות הכדור בשני האלקטרומטרים נדון בסוגיות: האם האלקטרומטרים קלטו מטענים שווים? מה הם מודדים? (האלקטרומטרים מוארכים; הם מודדים את פוטנציאל המוט המרכזי יחסית לאדמה). מדוע קריאות האלקטרומטרים שונות? לאיזה מהאלקטרומטרים יש להקנות מטען גדול יותר כדי שלשניהם יהיה פוטנציאל שווה? (לבעל הכדור בעל הקוטר גדול). כיצד ישתנו קריאות האלקטרומטר לאחר הכפלת מטען הכדור הקולט? לאחר דיון בסוגיות הללו יש להסיק: הכדור הקולט, בעל הקוטר הגדול יותר, אוגר מטען רב יותר באותו פוטנציאל.

תכונת הגופים לאגור מטענים מכונה **קיבול**, מסומנת באות C, ומחושבת על-פי הנוסחה:

מאחר שפוטנציאל האדמה שווה לאפס.



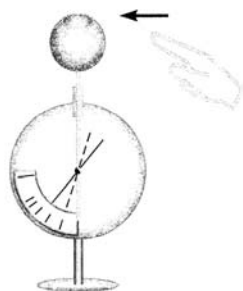
ציור 171

נציג סוגיה: במה תלוי קיבולו של מוליך? המורה יעביר ניסויים וישאל: מדוע משתנה קריאת האלקטרומטר כאשר מותחים את הצינור הגמיש (ראו ציור 170)? כיצד משתנה קיבול המערכת? (הוא גדל). במה הוא תלוי? (בצורת הגוף ובגודלו). האם תלוי הקיבול בתווך? על-מנת להשיב נעביר ניסוי: על מוט האלקטרומטר תותקן דסקה מתכתית (ראו ציור 171א). נקרב אליה לוח מפרספקס (ראו ציור 171ב), וניווכח שהקיבול החשמלי של המערכת השתנה.

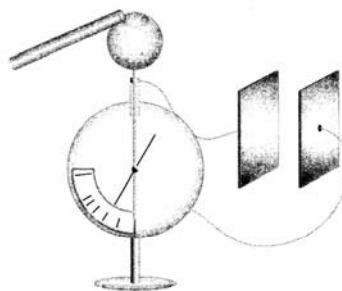
בהמשך תוצגנה היחידות הפיזיקליות של הקיבול, ותירשם הנוסחה על הלוח.

השלב הבא יהיה לימוד הקבל. תחילה נערוך ניסוי (ראו ציור 172): אל הכדור הקולט של האלקטרומטר נקרב יד. יש לדון בסוגיות: האם קיבול הכדור הקולט תלוי במקומם של הגופים הסובבים אותו במרחב? אם כן, כיצד? האם תלוי קיבול שני הגופים בצורתם ובגודלם? המורה יגדיר את הקבל כמערכת של שני מוליכים, המיועדת לאגירת המטען, ויפרט את מבנה הקבל הפשוט ביותר: קבל הלוחות. בין הלוחות נמצא אוויר (חומר שאינו מוליך מטעני חשמל).

המורה יגדיר משימה: תכננו ניסוי חקר של תלות הקיבול של קבל לוחות במרחק שבין הלוחות ובשטחם. הציוד: קבל, אלקטרומטר, מקל מאבזיט. המערכת תיטען באמצעות מקל אבזיט (ראו ציור 173). נשנה את המרחק שבין הלוחות ואת שטח החפיפה (על-ידי הזזת הלוחות אחד יחסית לאחר). המורה יסייע לתלמיד בעריכת הניסוי ובסיכומו.



ציור 172



ציור 173

ג. פתרון תרגילים

תרגיל 1. הביטוי לקיבול: — ; הנוסחה לפוטנציאל של כדור: — .

כיצד תלוי קיבול הכדור ברדיוס? מה קיבולו של כדור הארץ (רדיוס כדור הארץ 6,400 ק"מ)? יש לשים לב לעובדה המפתיעה: הקיבול החשמלי של כדור הארץ קטן למדי.

תרגיל 2. מהו קיבול הקבל, אם לאחר טעינתו במתח של 1.4 קילוולט הוא נטען ב- 28 נוקולון?

תרגיל 3. כיצד ישתנה קיבולו של קבל לוחות, אם נקטין את שטחו פי 2? אם נגדיל את המרחק בין הלוחות פי 2? האם אפשר לחשב את ערך הקבוע הדיאלקטרי של התווך שבין הלוחות הקבל באמצעות נוסחת הקיבול של קבל לוחות? מה יש למדוד לצורך כך? האם מספיק למדוד את הקיבול בלבד? נמקו.

מטלות: סעיפים 101–102 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 18 (1).

שיעור 13. אנרגיית קבל טעון; השימוש בקבלים

מטרות השיעור

* פיתוח נוסחה לחישוב האנרגיה האצורה בקבל לוחות.

* הכרת שימושי הקבל.

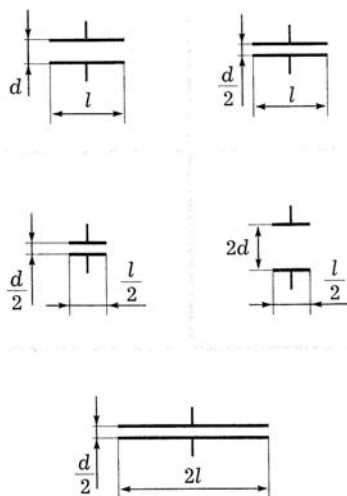
א. חזרה ודיון

תרגיל 1. השוו את ערכי הקיבול של הקבלים המתוארים בציור 174.

תרגיל 2. האם ניתן להסיק מהנוסחה לקיבול, — , שקיבול הקבל תלוי

במטען ובמתח? נמקו.

פיוק 10: מערכי שיעור — מדרך למורה



ציור 174

תרגיל 3. הסבירו כיצד משתנה קיבול

הקבל בעת שינוי מידת החפיפה בין הלוחות. הציוד הנדרש: אלקטרומטר, חוטי תיל, קבל הדגמה בעל קיבול משתנה, מכונת טעינה אלקטרוסטטית (או מקור מתח מעבדתי לטעינת הקבל).

תרגיל 4. כיצד נמדוד את הקיבול של קבל

לוחות באמצעות סרגל וקליבר?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

לימוד החומר החדש יתחיל מהניסוי, המוכיח שבקבל טעון (או בסוללת קבלים) אצורה אנרגיה. הציוד הנדרש: סוללת

קבלים, נורת חשמל (המיועדת לעבודה במתח נמוך), חוטי תיל. לצורך דיון תועלינה הסוגיות: כיצד נקשרת הדלקת הנורה לאנרגיית הקבל? איזה סוג של אנרגיה אצורה בקבל הטעון? היכן אגורה אנרגיית השדה שבין לוחות הקבל?

המורה יסקור בקצרה את סוגי הקבלים. הקבלים נבדלים זה מזה על-פי סוג החומר המבודד שבין הלוחות: מיקה, נייר, אלקטרוליט, אוויר; על-פי סוג הלוחות: מתכת, נייר אלומיניום ועוד; על-פי הגודל: קבלים קטנים או גדולים; על-פי המבנה: פתוחים וסגורים, בעלי קיבול קבוע או משתנה. המורה יציג את הקבלים השונים ויספר על יישומיהם: תאורת הבזק במצלמות, "צנצנת לייזר" כקבל של מכונת הטעינה האלקטרוסטטית ועוד.

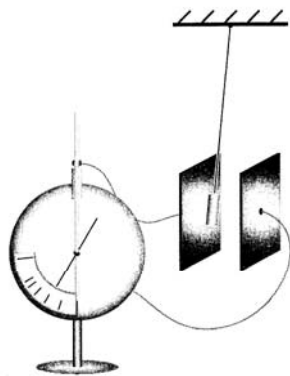
המורה יחלק לתלמידים קבלים שונים. על-פי הסימנים הטבועים בהם הם יקבעו את ערך הקיבול ויחשבו את המטען המרבי, שיכול לאצור הקבל במתח עבודה נתון.

לשיפור הבנת התופעות המתרחשות ייעזר המורה בלומדה פוטנציאל, הדמיות 2.1, 2.2, 4.1, ובניסויי מעבדה.

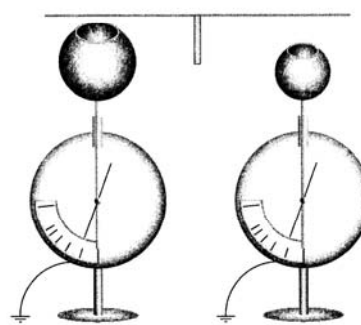
סוגיות לדיון: כיצד ומדוע משתנת קריאת האלקטרומטר (ראו ציור 175) במהלך הכנסת כדור, העשוי מנייר אלומיניום (או כדור מצופה עופרת), בשדה של קבל

טעון? מה מסמנת הקטנת הקריאה של האלקטרומטר? האם משתנה עוצמת השדה שבין לוחות הקבל? נמקו. האם מתבצעת עבודה לצורך הנעת הכדור? אם כן, מהו הגורם המבצע את העבודה? האם ביצוע העבודה מלווה בהפחתת האנרגיה האצורה בשדה החשמלי? כיצד נוכיח זאת?

הערה: כדי להצליח בהעברת הניסוי יש לטעון את הקבל באמצעות המכונה האלקטרוסטטית, ולאחר מכן לקרב את הלוחות עד להופעת תנודות הכדור.



ציור 175



ציור 176

ג. פתרון תרגילים

- תרגיל 1.** בדקו את קיבולם של הקבלים (נחלק לתלמידים קבלים שונים).
- תרגיל 2.** מהי כמות האנרגיה, שתפלוט נורה בעת החיבור לקבל בעל האפיונים הבאים: $C = 100 \mu\text{F}$, $V = 220 \text{ V}$?
- תרגיל 3.** על הקבל רשום: 100 pF , 300 V . האם אפשר להשתמש בקבל זה לצורך אגירת מטען בשיעור 60 nC ?
- תרגיל 4.** האם ישתנו קריאות האלקטרומטרים, אם נחבר אותם במוט מתכת (ראו ציור 176)? נמקו. הערה: לפני העברת הניסוי חייבות הקריאות להיות שוות. סוגיות לדין: לאיזה כדור מהשניים קיבול גדול יותר? לאיזה כדור פוטנציאל גבוה יותר? האם הפוטנציאלים ישתוו לאחר החיבור? נמקו. להיכן יעברו המטענים?

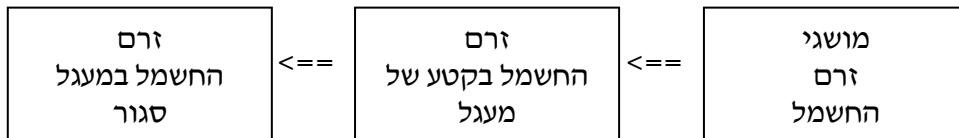
מטלות: סעיף 103 בספר הלימוד.

קובץ תרגילים 18 (3).

מעבדת חקר: הלומדה פוטנציאל, הדמיות 2.1, 4.1.

פרק XIII. חוקי הזרם הישר

המתווה ללימוד הנושא מתואר להלן :



שני התת-נושאים הראשונים מוקדשים לחזרה על החומר הנלמד במסגרת לימודי פיזיקה/מדעים בחטיבת הביניים. תשומת לב מיוחדת תינתן לשיטות המדידה ולחקירה של תופעות זרם החשמל.

שיעור 1. התופעה הפיזיקלית: זרם חשמל ישר;

חוק אום לקטע של מעגל

מטרות השיעור

* הכרת זרם חשמל ישר ומנגנוני העברתו.

* הגדרת חוק אום בקטע של מעגל.

א. מבוא

המבוא מבוסס על כמה סוגיות הכוונה: מהו מטען חשמלי? במה שונים המטענים במוליך ובמבודד? מהם האמצעים המעבירים מטענים מגוף אחר לאחר? מהו המקור לשדה החשמלי? וכיצד פועל השדה החשמלי על מטענים?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

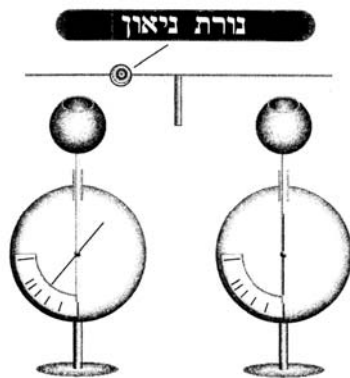
תנועה מכוונת של מטענים חשמליים מהווה תופעה פיזיקלית חדשה: זרם חשמל.

הנושא המרכזי של השיעור: למצוא את תנאי הקיום לזרם חשמל ישר; לקבוע את המאפיינים העיקריים של הזרם; להגדיר את חוק אום לקטע של מעגל. זרם חשמל עובר בתווך שמצויים בו מטענים חופשיים. בתנאים רגילים משתתפים המטענים בתנועה תרמית (ראו ציור 209א בספר הלימוד). בעקבות השפעה כלשהי עשויים המטענים לנוע באופן מסודר. לדוגמה: במוליך מתרחשת סחיפה מכוונת של אלקטרונים (ראו ציור 209ב בספר הלימוד).

מהי הסיבה לתנועה מכוונת של חלקיקים טעונים במוליך? הסיבה הנפוצה ביותר היא שדה חשמלי, הנוצר הוא עצמו על-ידי מטענים.

נעביר ניסוי (ראו ציור 177). סוגיות: מה מסמנת הדלקת נורת ניאון? מהי הסיבה לתנועת המטענים? מדוע נפסק הזרם, ומיד? להיכן נעלמו האלקטרונים המוליכים? להיכן נעלם השדה החשמלי? כיצד נוכיח זאת? הציעו הצעות: כיצד נתמוך בקיום השדה החשמלי?

מכשיר, המפריד בין מטעני חשמל וכך יוצר שדה חשמלי בין הדקים, מכונה **מקור זרם**. כמקור זרם ניתן להציג את הפעולה של מכונת הטעינה האלקטרוסטטית.



ציור 177

מהו זרם חשמל ישר? זוהי המשימה הלימודית הבאה. כדי להבין את התופעה הזו יש לדעת אילו הם המטענים וכיצד הם נעים; מהן תופעות הזרם הנגלות לעינינו; ומהם מאפייניו וחוקיו של הזרם הישר.

תחילה יש להגדיר את עוצמת הזרם, את מגמתו ואת מהירות התנועה המסודרת של המטענים במקרה הנפוץ: במוליך מתכת. נזכיר

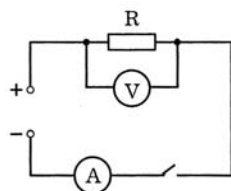
מהו מתח, ונדון בשאלות הקשורות למנגנוני הזרם: מה מקורם של אלקטרונים חופשיים בתוך המתכת? כיצד הם נעים בהיעדר שדה חשמלי? אף שמהירות האלקטרונים נמוכה, נדלקת הנורה כמעט מיד לאחר סגירת המעגל; מדוע? כיצד נוצר שדה חשמלי בתוך מוליך?

מהן הראיות לקיום זרם חשמל ישר? אי-אפשר לראות במישרין את התנועה המסודרת של האלקטרונים במוליך, אולם ניתן להסיק על קיומו של זרם בו על-פי התופעות המתלוות. פעולות הזרם תודגמנה, והמורה ישלים את הטבלה.

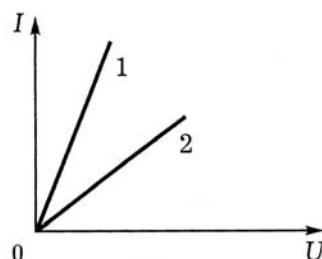
פעולת הזרם	התופעה	שימוש מעשי
תרמית		
מגנטית		
כימית		

הפעולה הכימית והפעולה המגנטית של הזרם תלויות במגמתו (נחושת מצטברת על האלקטרודה השלילית בלבד, וכיוון הסיבוב של הלולאה בשדה מגנטי תלוי במגמת הזרם בה). הפעולה הכימית לא תמיד ניכרת – לדוגמה, העברת הזרם במוליך אינה מלווה בשינויים כימיים; אך הפעולה המגנטית מופיעה תמיד, והפעולה התרמית ניתנת תמיד לחישה.

עוצמת הזרם בקטע של מעגל בהפרש מתחים קבוע תלויה בתכונות המוליך. ההתנגדות למעבר זרם במוליך, R , היא המאפיין של המוליך שבו עובר זרם. ללא זרם אין תכונה זאת קיימת. ההתגברות על ההתנגדות לזרימה נעשית על-ידי פעולת השדה החשמלי באילוף תנועתם המכוונת של האלקטרונים. בהמשך הדיון נחזור על הסוגיות: במה תלויה התנגדות המוליך? כיצד נחשב אותה באופן תיאורטי ונמדוד אותה באופן מעשי? כיצד מוגדרת יחידת ההתנגדות?



ציור 178



ציור 179

המורה יעלה סוגיה מרכזית: הגדרנו שלושה גדלים פיזיקליים: עוצמת זרם, מתח והתנגדות. כיצד תלויה עוצמת הזרם במתח ובהתנגדות?

את הסוגיה פתר לראשונה באופן ניסויי בשנת 1827 המדען הגרמני **גיאורג אוס**. נשחזר את הניסוי: על שולחן מעבדה יורכב מעגל (ראו ציור 178); בסיוע התלמידים תימדדנה מדידות ויותווה גרף, הקושר את ערך עוצמת הזרם במתח. המורה יבקש למצוא את התנגדות המוליך מהגרף המשורטט.

גרף תלות הזרם במתח מכונה **דיאגרמת וולט-אמפר של המוליך**. עבור מוליך נתון זה האפיון העיקרי של זרם ישר העובר בו. בציור 179 מתוארות דיאגרמות וולט-אמפר של שני מוליכים בניסוי. במה הם שונים?

לסיכום נחזור על הסוגיות המרכזיות בשיחה פרונטלית: מהי המהות של תופעת זרם חשמל ישר? אילו גדלים פיזיקליים מאפיינים אותה? מהו הניסוח של חוק אום? איזו תופעה הוא מתאר? מהם גבולות השימוש בחוק אום? (זרם ישר בקטע של מעגל).

מטלות: סעיפים 104 – 106 בספר הלימוד.

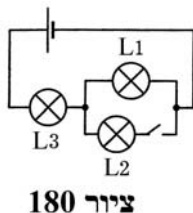
שיעור 2. מעגלים חשמליים ותכונותיהם

מטרות השיעור

- * העמקת הידע באשר למעגל חשמלי.
- * הכרת המושגים: **חיבור נגדים בטור, חיבור נגדים במקביל.**

א. מתווה להצגת החומר החדש

מהו מעגל חשמלי סגור? מהו קטע של מעגל? אלה הסוגיות הראשונות שתעלינה בלימוד החומר החדש. מקור זרם חשמלי, צרכן הזרם וחוטי חיבור מהווים **מעגל חשמלי סגור** – מערכת פיזיקלית סגורה. הקטע, שבו נמצא מקור הזרם, מכונה **קטע פנימי** של המעגל החשמלי. מעגלים חשמליים נפוצים בחיי היומיום.



על שולחן המעבדה יונח מעגל חשמלי פשוט ביותר, והוא יציור על הלוח (ראו ציור 180). סוגיות לדיון: מדוע נורה L2 אינה דולקת – אף שקיים מקור זרם, חוטים וצרכן? מהם תנאי הקיום של זרם חשמל ישר? עד מתי יזרום זרם במעגל נתון? מדוע צרכן הוא רכיב הכרחי במעגל?

חלק ממעגל חשמלי מכונה **קטע של מעגל**, והוא יכול לכלול רכיב אחד או כמה רכיבים. המורה ידגים סכמות, המתאימות לחיבור בטור ולחיבור במקביל. סוגיות לדיון: כיצד מחוברות נורות L1 ו-L3? כיצד נחשב את התנגדות קטע המעגל, הכולל את נורות L1, L2, L3?

כיצד נחשב את עוצמת הזרם, את המתח בין קצות הקטע ואת התנגדותו של

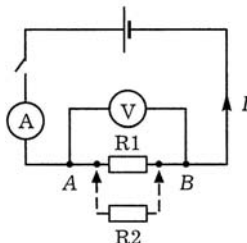
קטע המעגל, הכולל חיבור בטור וחיבור במקביל? המורה יפתח את הנוסחאות המתאימות כפי שזה נעשה בספר הלימוד.

ב. תרגול

תרגיל 1. כיצד תשתנינה קריאות המכשירים לאחר חיבור הנגד R_2 (ראו ציור 181)? (תחילה ישיבו התלמידים, ולאחר מכן יבצעו את הניסוי).

תרגיל 2. האם אפשר לחבר לרשת חשמל, הנמצאת במתח של 220 וולט, מכשיר

שכתוב עליו: 5 A , $30\ \Omega$? נמקו.



ציור 181

תרגיל 3. לאחר המדידה הסתבר, שדרך הנגד R_1 (ראו

ציור 181) עובר זרם $I = 0.9\text{ A} \pm 0.1\text{ A}$, ושהמתח עליו

הוא $V = 5.6\text{ V} \pm 0.2\text{ V}$. מצאו את התנגדות נגד זה.

האם אפשר למצוא זאת במדויק? נמקו.

סוגיות ללא חישוב: מדוע אין זרם חשמל נוצר במוליך ללא מקור זרם – למשל, בסליל של תיל נחושת? מדוע מקור זרם הוא הרכיב הבסיסי של כל מעגל חשמלי? אילו מקורות זרם אתם מכירים? על חשבון מה מתרחשת הפרדת מטענים?

ג. סיכום

סוגיות להדגשת העיקר: מהו זרם חשמלי? באילו מערכות הוא קיים? ממה בנוי מעגל חשמלי פשוט ביותר? מהו קטע מעגל פנימי ומהו קטע מעגל חיצוני? מהם חוקי הזרם לקטע מעגל?

מטלה: סעיף 107 בספר הלימוד.

שיעור 3. מעבדה: חיבור נגדים בטור ובמקביל

הוראות המעבדה בספר (מעבדה 5) קצרות, ולכן מוצע סדר העבודה הבא: המורה יודיע על סדר העבודה בשיעור ויבקש לעבור על ההנחיות שבספר. המורה ידון בשיטות המדידה באמצעות שאלות הכוונה: כיצד מחברים את האמפרמטר לצורך מדידת זרם? כיצד מחברים וולטמטר לצורך מדידת הפרש מתח בין קצות קטע של מעגל? כיצד מחברים רכיבי המעגל בטור? כיצד מחברים שני נגדים במקביל?

התלמידים יקבלו דף הנחיות לביצוע העבודה שכולל:

1. נושא המעבדה.
 2. ציוד: נגדי תיל בעלי התנגדות של $2\ \Omega$ ו- $4\ \Omega$, נגד משתנה בתחום $0 - 6\ \Omega$, מקור זרם של $4 - 6\ V$, אמפרמטר, וולטמטר, מפסק וחוטי תיל.
 3. התיאוריה של המעבדה: התופעה – זרם ישר בקטע של מעגל. שני סוגי חיבור (כולל השרטוטים), נוסחות ההתנגדות השקולה בשני המקרים.
 4. חיבור הנגדים בטור: א. הוכיחו באופן ניסויי ש- $V = V_1 + V_2$; ב. ערכו מדידות וחישובי התנגדות כללית של קטע בהתחשב בשגיאות המדידה הצפויות.
 5. חיבור נגדים במקביל: בדקו באופן ניסויי ובאמצעות חישובים כיצד ומדוע משתנות קריאות המכשירים לאחר חיבור נגד אחד במקביל לנגד אחר.
 6. משימות בקרה: האם תשתנה עוצמת הזרם בקטע המעגל לאחר חיבור נגד נוסף? הוכיחו באופן ניסויי שהתנגדות קטע המעגל, הכולל שני נגדים המחוברים במקביל, קטנה מההתנגדות הקטנה שבין השניים.
- מטלה:** מקבץ תרגילים 19 (3).

שיעור 4. עבודה והספק של זרם ישר

מטרת השיעור

* לימוד עבודת הזרם הישר בקטע המעגל.

א. מבוא

בתחילת השיעור נחזור על פתרון המטלה של השיעור שעבר ונדון בסוגיות: איזו התנגדות שקולה נקבל מחיבור שלושה נגדים, כל אחד בעל התנגדות של $2\ \Omega$, באופנים שונים? (נשרטט את המעגלים על הלוח). מדוע מתחמם נגד במהלך העברת זרם דרכו?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

לימוד החומר החדש נעשה על-פי הסדר בספר הלימוד: עבודת השדה החשמלי על קטע המעגל, חימום הנגד, פליטת האנרגיה וחישובה באמצעות חוק ג'אול, הספק הזרם כאפיון חשוב ביותר, מכשירים חשמליים ונצילות.

ג. פתרון תרגילים בעבודה עצמית

גרסה א

1. מצאו את עבודת הזרם, העובר דרך נורת פנס כיס במשך 10 דקות. הציוד: נורה, מקור זרם, מכשירי מדידה.
2. מנוע חשמלי מחובר לרשת בעלת מתח של 120 וולט. המנוע צורך זרם של 15 אמפר. מצאו את הספק המנוע ואת נצילותו, אם התנגדות הסליל שווה ל-1 אום. רמז: איזה חלק מהאנרגיה נפלט כחום?

גרסה ב

1. מצאו את התנגדות הנורה. הציוד: נורת חשמל בעלת הספק של 100 וואט, המתאימה למתח הרשת הביתית.
2. מנוע חשמלי של מנוף פועל במתח של 380 וולט וצורך זרם של 20 אמפר. מהי נצילות המנוע, אם ידוע שהוא מרים מטען שמסתו 1,000 ק"ג לגובה 19 מטר במשך 50 שניות?

מטלה: מקבץ תרגילים 19 (4).

שיעור 5. פתרון תרגילים

בנוסף לתרגילים שבספר מומלצים התרגילים הבאים:

תרגיל 1. בתנור חשמלי נשרף גוף חימום. כדי להחליפו מצאו תיל העשוי מאותו חומר, אולם בעל שטח חתך קטן פי 2. מה צריך לעשות כדי שהתנגדות גוף החימום החדש תהיה שווה לזו שהיתה?

תרגיל 2. מהי התנגדותו החשמלית של גוף האדם, אם בעבור דרכו זרם של 0.1

אמפר יהא בסכנת מוות, כאשר מתח רשת החשמל הביתית הוא 220 וולט? **תרגיל 3.** לארבעה תילים המתוארים בציור 182 שטח חתך שווה. מה צריך להיות סדר הניסויים עם התילים, כדי להוכיח באופן ניסויי את תלות ההתנגדות באורך המוליך? (אי-אפשר להוכיח את החוק בעזרת אוסף המוליכים הנתון).

מטלה: מקבץ תרגילים 19 (2).

נחוש

כסף

אלומיניום

ברזל

ציור 182

פיוק 10: מערכי שיעור — מדריך למורה

שיעור 6. כוח אלקטרומניע; חוק אום למעגל סגור

מטרות השיעור

- * העמקת הידע על מעגל סגור (מושגים וחוקים).
- * תרגול באמצעות חוק אום.

א. חזרה ודיון

ננהל דיון על-פי שאלות מכוונות: מאילו רכיבים מורכב מעגל חשמלי? האם עוצמת הזרם, העובר דרך נגד, תלויה במקור הזרם? למה משמש מקור זרם? איזה גודל פיזיקלי מאפיין את השדה החשמלי? מהי משמעות הביטוי: "המתח על הנגד שווה ל-10 וולט"? אילו מקורות זרם אתם מכירים?

ב. מתווה להצגת החומר החדש

עד כה למדנו על חוקי הזרם הישר בקטע של מעגל: חוק אום וחוקי חיבור נגדים. כעת לפנינו משימה חדשה: חוקי הזרם הישר במעגל סגור.

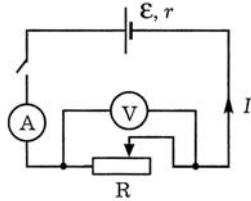
תפקידו של מקור הזרם הוא הפרדת המטענים ויצירת שדה חשמלי במעגל. על-פי הציורים 214 ו-215 שבספר הלימוד דנים בסוגיות: איזה חלק מהמעגל חיצוני? ואיזה פנימי? מהו תנאי קיום השדה החשמלי בקטע החיצוני של המעגל? (קיום המטענים $+q$ ו- $-q$ בקצות המעגל). הציעו רעיונות: מה מתרחש בתוך מקור הזרם? בספר ניתנת הגדרה של עבודת כוחות זרים. עבודת כוחות אלה – היא היוצרת את השדה החשמלי במעגל, וזה בתורו מבצע עבודה בקטעי מעגל השונים. מהם המקורות לכוחות הזרים? (אלה הם תהליכים שונים, הגורמים להפרדת המטענים). הציגו דוגמאות לתהליכים אלה.

בספר ניתנת הגדרת המאפיין האנרגטי של הכוחות הזרים: **כוח אלקטרומניע**:

סוגיות לדיון: באילו יחידות נמדוד את הכא"מ? מה מאפיין את הכא"מ? במה שונה מקור זרם בעל כא"מ של 12 וולט ממקור זרם בעל כא"מ של 1.5 וולט? בהתבסס על חוק שימור האנרגיה יפתח המורה את הנוסחה לחוק אום במעגל סגור.

ג. פתרון תרגיל אופייני

תרגיל. כיצד ומדוע משתנה קריאת הוולטמטר בעת הגדלת ההתנגדות של נגד משתנה (ראו ציור 183)?



ציור 183

פתרון. על בסיס חוק אום ננסה להבין מה תהיה קריאת הוולטמטר. בעת העברת הניסוי מתרחשים בקטע המעגל בו-זמנית הגדלת ההתנגדות והקטנת עוצמת הזרם. כדי לענות על השאלה אי-אפשר להשתמש בחוק אום לקטע המעגל $U = IR$ במישרין.

מחוק אום למעגל סגור, ———, נראה שעבור מקור זרם נתון, כלומר עבור r קבועים, הגדלת R גורמת להקטנת I – אולם בצורת רישום אחרת:

$$\varepsilon = IR + Ir = U_{\text{פנימי}} + U_{\text{חיצוני}}$$

מחוק אום נובע שהקטנת $U_{\text{פנימי}}$ תגרום להגדלת $U_{\text{חיצוני}}$. ובכן, קריאת הוולטמטר אמורה לגדול.

נבדוק את המסקנה התיאורטית באמצעות ניסוי.

כיצד נחשב את הכא"מ של כמה מקורות זרם המחוברים יחדיו? כדי להשיב לשאלה זו נסתמך על הסברי ספר הלימוד (ראו ציור 217). כדי לתרגל את השיטה, נחשב את הכא"מ במעגל הכולל ארבעה מקורות זרם. מהי ההתנגדות של קטע המעגל הכולל כמה מקורות זרם?

ג. סוגיות לסיכום השיעור

האם אפשר לטעון, ששינוי ההתנגדות של אחד הנגדים גורם לחלוקה חדשה של המתחים בכל קטעי המעגל? מהו הגורם הנשמר תמיד בחלוקה זאת? האם שווה עוצמת השדה החשמלי בקטעי המעגל השונים? האם משתנה עוצמת השדה החשמלי בקטע של מעגל, כאשר משתנה התנגדותו? מהו המאפיין של הכא"מ? במה תלוי הכא"מ של מקור זרם?

מטלות: סעיפים 109 – 110 בספר הלימוד.

מקבץ תרגילים 19 (5, 6).

שיעור 7. פתרון תרגילים

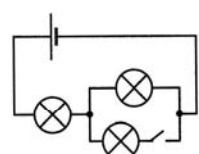
בתחילת השיעור תיבדקנה המטלות: תלמיד ישחזר על הלוח את הפיתוח של חוק אום למעגל סגור, והמורה יעביר משאל בעל-פה בפתרון התרגילים מהמטלות. התלמידים יחזרו על החומר התיאורטי. המורה יציע שורת תרגילים לפתרון קבוצתי ואישי, ביניהם תרגילים חישוביים וניסויים. להלן דוגמאות לתרגילים:

תרגיל 1. מצאו את התנגדות הנורה, אם על אריזתה רשום: 26 וולט, 0.12 אמפר.

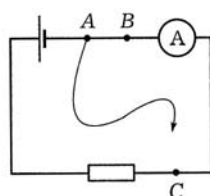
תרגיל 2. הגדילו את מתח הנגד פי 2 – ואילו הזרם שעובר דרכו גדל פי 1.5. כיצד קרה הדבר?

תשובה: אם קרה כזאת, השתנתה התנגדות הנגד. כיצד? התנגדות הנגד גדלה עם עליית הטמפרטורה. תופעה זו מתרחשת בנורות חשמל, כאשר חוט הלהט מתחמם, והתנגדותו גדלה.

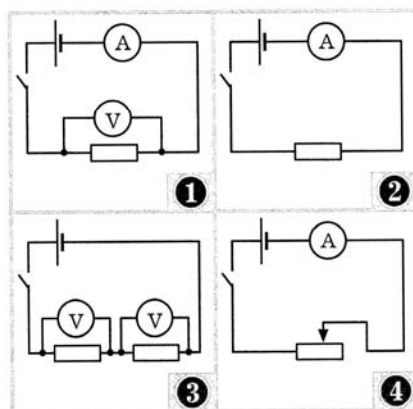
תרגיל 3. כיצד ומדוע שונה בהירותן של נורות זהות לאחר סגירת המעגל (ראו ציור 184). בדקו את התשובה באמצעות ניסוי.



ציור 184



ציור 185



ציור 186

תרגיל 4. כיצד ומדוע תשתנה קריאת האמפרמטר (ראו ציור 185), אם נחבר את הנקודה A באמצעות תיל נחושת עם נקודת B, ולאחר מכן עם הנקודה C? בדקו את תשובתכם באמצעות ניסוי.

תרגיל 5. באיזה מערך יש להשתמש (ראו ציור 186) כדי לבדוק את ההשערה:
עוצמת הזרם בנגד פרופורציונית למתח שבין קצותיו.

תרגיל 6. מקבץ תרגילים 19 (9).

מטלה: מקבץ תרגילים 19 (7,8)

שיעור 8. פתרון תרגילים; בוחן

המורה יעביר בוחן בכתב בשאלות שאינן דורשות חישובים. להלן דוגמת בוחן מסוג זה:

שאלה 1. באיזה מההיגדים הבאים מפורטים מאפייני זרם החשמל בלבד:

- א. עוצמת הזרם, מתח, אלקטרון; ב. עוצמת הזרם, חוק אום, זרם חשמלי;
ג. מתח, התנגדות, מעגל חשמלי; ד. עוצמת זרם. ה. אף תשובה אינה נכונה.

שאלה 2. איזו מההשערות הבאות בדק **אום** בניסוייו?

- א. עוצמת הזרם היא ערך קבוע; ב. עוצמת הזרם בקטע של מעגל תלויה במתח;
ג. עוצמת הזרם בקטע של מעגל פרופורציונית למתח על הקטע הזה ופרופורציונית הפוך להתנגדות הקטע; ד. התנגדות של קטע מהמעגל תלויה בעוצמת הזרם ובמתח; ה. אף תשובה אינה נכונה.

שאלה 3. כיצד נמדוד באופן ניסויי את התנגדותו של קטע מהמעגל?

- א. נמדוד באמצעות אמפרמטר; ב. על-פי חוק אום: נחלק מתח בזרם; ג. נמדוד את עוצמת הזרם ואת המתח באמצעות האמפרמטר והוולטמטר בהתאמה, ונבצע חישוב בעזרת חוק אום; ד. נמדוד באמצעות הוולטמטר; ה. אי-אפשר למדוד באופן ניסויי.

שאלה 4. באיזה מקרה אי-אפשר להשתמש בחוק אום לקטע המעגל כדי לחשב את עוצמת הזרם?

- א. אפשר להשתמש תמיד; ב. אי-אפשר להשתמש בחוק אום כאשר התנגדות הקטע משתנה; ג. אי-אפשר להשתמש בחוק אום כאשר התנגדות הקטע אינה ידועה;
ד. אי-אפשר להשתמש בחוק אום כאשר אין מקור זרם; ה. אף תשובה אינה נכונה.

לאחרונה תופסת תנופה שיטה חדשה של מבחן, המשלבת שאלות תיאורטיות עם משימות ניסוייות. להלן דוגמת מבחן מסוג זה:

החלק התיאורטי

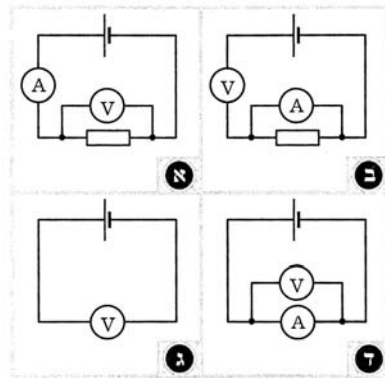
שאלה 1. מהו הייעוד העיקרי של תצפית פיזיקלית?

א. לגלות תיאוריות; ב. לקבוע עובדות; ג. לבנות מודלים; ד. למדוד ערכים פיזיקליים; ה. לגלות תופעות חדשות.

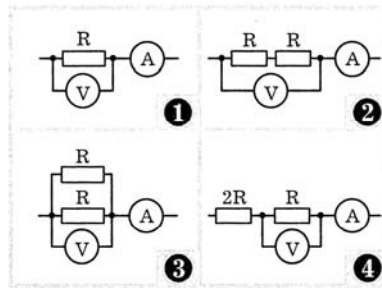
שאלה 2. באיזה מהמערכים הבאים (ראו ציור 187) יש להשתמש כדי לבדוק את ההשערה: עוצמת הזרם בקטע המעגל אינה תלויה בגודל ההתנגדות?
א. מערך א; ב. מערך ב; ג. מערך ג; ד. מערך ד; ה. אין מערך מתאים.

שאלה 3. באיזה סדר יש להעביר ניסויים כדי להוכיח את תלות התנגדות המוליך בשטח החתך (ראו ציור 188)?

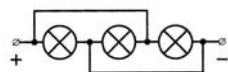
א. 1 ו-2; ב. 2 ו-4; ג. 1 ו-4; ד. 2 ו-3; ה. 3 ו-1.



ציור 187



ציור 188



ציור 189

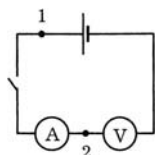
שאלה 4. מה סוג החיבור של הנורות (ראו ציור 189)?

נמקו.

החלק המעשי

שאלה 5. חקרו באופן ניסוי את הסוגיה: כיצד ומדוע

ישתנו קריאות המכשירים לאחר סגירת המעגל? ולאחר חיבור הנקודות 1 ו-2 ביניהן (ראו ציור 190)?



ציור 190

פיזיקה 10: מערכי שיעור — מדרין למורה

משימות נוספות

שאלה 6. מצאו את תחומי המדידה, גודל החלוקה והשגיאה המוחלטת של המכשירים שבהם השתמשתם.

שאלה 7. להדקי מקור הזרם מחובר וולטמטר. כיצד תשתנה קריאתו, אם נחבר בטור וולטמטר מעבדתי נוסף? נמקו.