מודלים של האור
פעילויות



עדי רוזן

משרד החינוך
האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים

מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
על-שם עמוס דה-שליט

המחלקה להוראת המדעים

מודלים של האור

פעילויות

עדי רוזן

המחלקה להוראת המדעים

יוצא לאור במסגרת

מטה מל"מ – המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי, על-שם עמוס דה-שליט

משרד החינוך – האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים

פיתוח, כתיבה ועריכה:
עדי רוזן

הגהה ועריכת הלשון:
קורינה פולינגר

עריכה במחשב:
אבי טל

גרפיקה ועיצוב:
אסף מסעוד

עריכת תמונות וסרטוני וידאו:
אסף מסעוד

צילומים:
שלום נידם

צילומי וידאו:
איציק ראובן



אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שביחידת לימוד זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול ביחידת לימוד זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמו"ל.

©
כל הזכויות שמורות
משרד החינוך התרבות והספורט
תשס"ה, 2005
דפוס מאירי בע"מ

פתח דבר

למורים,

ספר זה מיועד בראש וראשונה לתלמידי כיתות י', והוא נועד ללוות את ההוראה והלימוד של הספר "מודלים של האור - מניוטון עד איינשטיין". ספר הפעילויות כולל ארבעה-עשר פעילויות שונות, רובן מורכבות מכמה פעילויות משנה. חלקן מוכרות ומעובדות מחדש, וחלקן מקוריות. יחד עם זאת, הספר יכול לשרת גם תלמידי כיתות י"ב; חלק מן הפעילויות מתאימות לבחינת הבגרות במעבדה במתכונת ה"רגילה".

הפעילויות מאורגנות בהתאם לפרקים השונים של הספר "מודלים של האור". בתחילת כל פעילות מצויינים מאפייני הפעילות: א. המקום ברצף ההוראה שבו מומלץ לשלב את הפעילות ב. אופן ביצוע הפעילות: על-ידי התלמידים או על-ידי המורה (כהדגמה) ג. מטרת הפעילות.


בתחילת כל פעילות מוצגת שאלה (שבה עוסקת הפעילות) המלווה בצלמית:

הפעילויות ופעילויות המשנה מצויינות באמצעות צלמיות אלה:


פעילות "נייר ועיפרון"


ניסוי



הדמיה מרשת האינטרנט


סרטון וידאו

נדגיש כי חלק מן הפעילויות אינן מיועדות לשמש תוספת להוראה, אלא **הן הוראות הנושא עצמו**.

את ספר הפעילויות מלווה תקליטור הכולל:

א. תיקיה בשם **"VideoexpL"** הכוללת תוכנה לניתוח סרטוני וידאו ותוכנת התקנה.

ב. תיקיה בשם **"סרטוני וידאו 800x600"** הכוללת סרטוני ווידאו ברזולוציה של 800x600 המיועדים לצפייה ולניתוח באמצעות התוכנה VideoexpL. סרטוני וידאו ברזולוציה של 1024x768 (אשר מיועדים גם הם לניתוח באמצעות התוכנה VideoexpL), נמצאים בתיקיה **"סרטוני וידאו 1024x768"**.

בנוסף לכך נמצאת תיקיה בשם **"סרטונים לתצוגה"**, הכוללת את אותם סרטונים המופיעים בשתי התיקיות המוזכרות לעיל, אך סרטונים אלה אינם מיועדים לניתוח על-ידי התוכנה VideoexpL, אלא לתצוגה רגילה. הפעלת הסרטון נעשית על ידי הקשה כפולה על שם הסרטון. כל סרטון מוצג פעמיים: תחילה בהילוך רגיל ולאחר מכן בהילוך איטי.

ג. תיקיה בשם **"תרשימים להדפסה"** הכוללת קבצי Word עם כל התרשימים בספר שהתלמידים מתבקשים לסרטט עליהם. אפשר להדפיס את הסרטוטים ולסרטט על גביהם בעיפרון, ובכך להמנע מסרטוט בספר עצמו.

ד. תיקיה בשם **"תרשימים בפורמט jpeg"** הכוללת את כל התרשימים המוזכרים ב-ג לעיל, אך בפורמט jpeg. את התרשימים אפשר לפתוח באמצעות תוכנת הציור paint, ולהוסיף להם, באמצעות תוכנה זו, את הסרטוטים הנדרשים.

אפשרות זו היא חלופית לאפשרות המתוארת ב-ג לעיל, והיא מאפשרת לתלמידים לשבץ תרשימים בפורמט jpeg בקובץ Word שבו הם רושמים את דו"ח המעבדה.

ה. קובץ Word בשם **"connections"**, הכולל כתובות של כל אתרי האינטרנט שיש אליהם הפנייה בספר. רשימת הכתובות מיועדת להקל עליכם ועל התלמידים להעלות אתרים.

תודות

אני רוצה להודות לכמה אנשים יקרים שתרמו לספר:

לפרופ' בת-שבע אלון, ראש קבוצת הפיסיקה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע.

למר שלמה רוזנפלד, מקבוצת הפיסיקה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, עבור התוכנה VideoexpL שאותה הוא פיתח.

לגב' קורינה פולינגר, מחמד"ע, אשר קראה את כל הפעילויות והעירה הערות מועילות.

לגב' יוכבד ברסטל, מקבוצת הפיסיקה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, שסרקה אתרי אינטרנט, ותיעדה אתרים מתאימים.

לגב' אירינה ויסמן, מצוות מרכז המורים הארצי במכון דוידסון, אשר הרחיבה את רשימת האתרים ותיעדה אותם.

למר אבי טל, מצוות הכתבנות של מכון דוידסון, שעימד ועיצב את כל הספר.

למר אסף מסעוד, מצוות הגרפיקה של מכון דוידסון, עבור הכנת התרשימים, עיבוד התצלומים, העריכה של סרטוני הווידאו, והעיצוב הגרפי של הספר.

למר שלום נידם, מצוות הצילום של מכון ויצמן למדע, עבור התצלומים המופיעים בספר.

למר איציק ראובן, מצוות הצילום של מכון ויצמן למדע, עבור צילומי הווידאו.



עדי רוזן
המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע,
רחובות
אב תשס"ה - אוגוסט 2005

תוכן עניינים

פרק א - אור וראייה

פעילות מספר 1 - צלליות הנוצרות על-ידי מקורות אור שונים 7

פעילות מספר 2 - בליעת אור על ידי נייר לבן ועל ידי נייר שחור 13

פרק ב - החזרת אור

פעילות מספר 1 - חוקי ההחזרה של האור 15

פעילות מספר 2 - עצם ודמותו הנוצרת על ידי מראה מישורית 20

פרק ג - שבירת אור

פעילות מספר 1 - התפשטות אור באוויר לעבר פרספקס ולהיפך 38

פעילות מספר 2 - עצם ודמותו הנוצרת על ידי עדשה מרכזת 46

פעילות מספר 3 - האוריינטציה של הדמות הממשית הנוצרת על ידי עדשה מרכזת. 56

פרק ה - המודל החלקיקי של האור

פעילות מספר 1 - שבירת אור על סמך המודל החלקיקי 58

פרק ו - תכונות של פולסים חד-ממדיים והשוואתן לתכונות האור

פעילות מספר 1 - תכונות בסיסיות של פולסים חד-ממדיים 61

פרק ח - תכונות של גלים דו-ממדיים והשוואתן לתכונות האור

פעילות מספר 1 - תופעות בסיסיות של גלי מים 71

פרק ט - עקיפה והתאבכות

פעילות מספר 1 - תבנית התאבכות של גלי מים משני מקורות 75

פעילות מספר 2 - מדידת אורך גל מים על-פי תבנית התאבכות 80

פעילות מספר 3 - עקיפה והתאבכות של אור 83

פרק יא - המודל הדואלי של האור

פעילות מספר 1 - האפקט הפוטואלקטרי - היבטים איכותיים 88

נספחים

נספח א - הרכבת מערכת אופטיקה גאומטרית - תכנית רחובות 94

נספח ב - הרכבת אמבט גלים - תכנית רחובות 96

נספח ג - התוכנה "VideoexpL" לניתוח סרטוני וידאו 98

פרק א: פעילות מספר 1
צלליות הנוצרות על-ידי מקורות אור שונים

איפיון הפעילות
שילוב הפעילות: במהלך לימוד הנושא "עוד על צל וצללית" בפרק א
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב
מטרת הפעילות: קביעת צורת הצללית של לוחית אטומה לאור המתקבלת על מסך על ידי מקור אור.



לוחית אטומה לאור נמצאת בין מסך לבין מקור אור. הלוחית והמסך מקבילים זה לזה. מה צורת הצללית המתקבלת על המסך כאשר:
א. מקור האור הוא נקודתי?
ב. האור נפלט משני מקורות נקודתיים?
ג. מקור האור הוא קווי?

הדפסה מהתקליטור המצורף לספר
היכנס בתקליטור לתיק "תרשימים להדפסה", והדפס את קובץ ה- word "פרק א פעילות 1". הקובץ כולל את תרשימים המופיעים בפעילות זו: תרשים 1, תרשים 2 (שלוש פעמים), תרשים 4, תרשים 5 (פעמיים). לחלופין פתח באמצעות התוכנה paint את התרשימים מהתיק "תרשימים בפורמט jpeg"

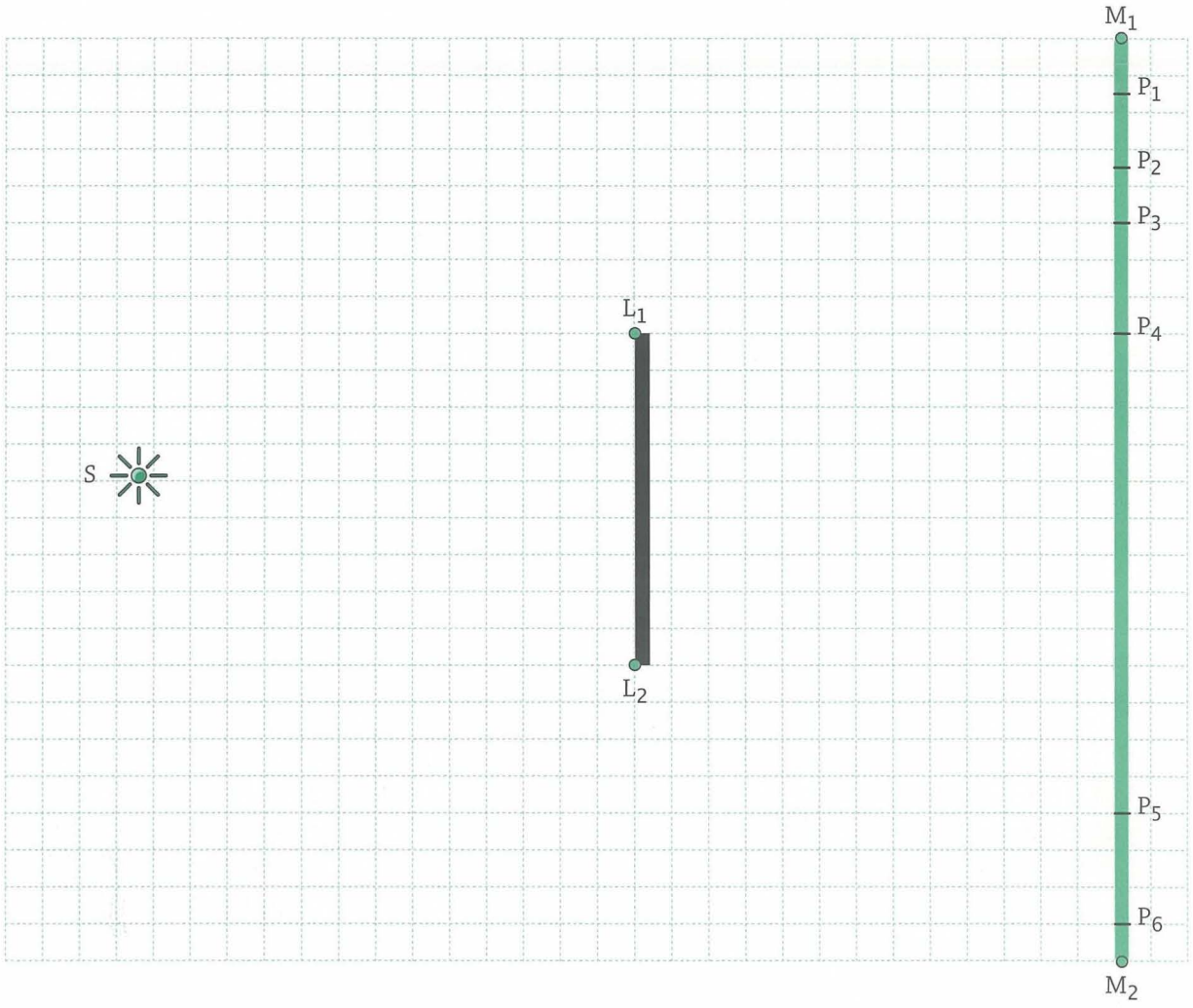


פעילות 1א
ניתוח באמצעות סרטוט

מילות הקדמה
בפעילות נעשה שימוש במושג "עוצמת הארה יחסית של משטח". לא נגדיר מושג זה באופן מדויק, אלא נציג הסבר ראשוני: אם משטח מואר כך שאזור א שלו מואר במידה רבה יותר מאשר אזור ב שלו, אזי אומרים שעוצמת ההארה של אזור א גדולה יחסית לעוצמת ההארה של אזור ב.

חלק ראשון: מקור אור נקודתי
בתרשים 1 מוצגת מערכת אופטית הכוללת מקור אור נקודתי S, חתך L_1L_2 של לוחית האטומה לאור, חתך M_1M_2 של מסך ושישה פרעושים P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 ו-P_6 הנמצאים על המסך, ורשת קווים אופקיים ואנכיים.

1. מצא באמצעות סרטוט של מהלכי קרניים מתאימות (על התרשים שהדפסת מהתקליטור) את התחומים על המסך שבהם מתקבל אור, ואת התחום שבו מתקבל צל. סמן (באותיות A, ...) את נקודות הקצה של התחומים השונים.
2. על איזו תכונה של האור הסתמכת בתשובתך לשאלה 1?
3. אֵילו מבין ששת הפרעושים יכולים לראות את מקור האור? הסבר.

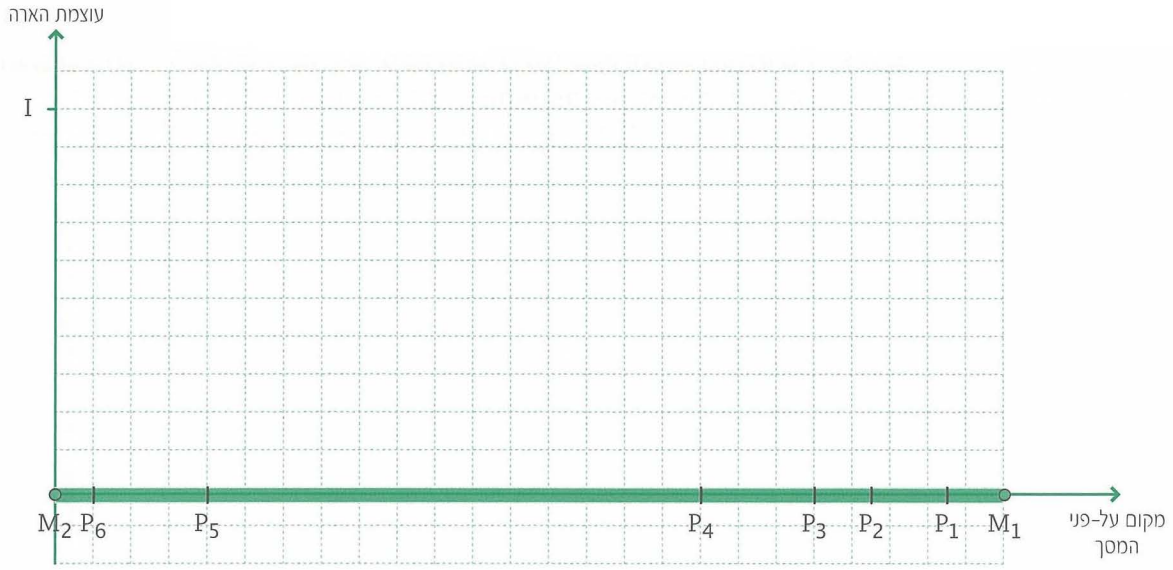


תרשים 1: תיאור של מערכת הניסוי – חלק א

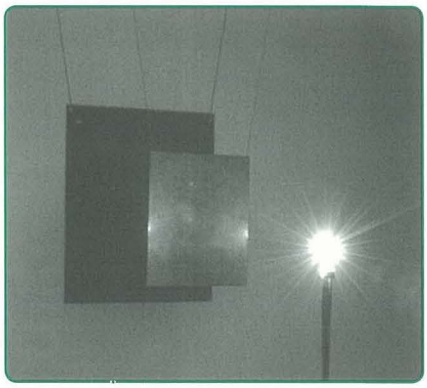
4. תרשים 2 הוא מערכת צירים שבה הציר האופקי מייצג מקום על פני המסך, החל מהקצה התחתון M_2 עד לקצה העליון M_1. הציר האנכי הוא ציר של עוצמת ההארה (יחסית).
   א. הוסף במקומות המתאימים לאורך הציר האופקי, בין הנקודות M_2 ו-M_1, את נקודות הקצה של התחומים השונים שמצאת בשאלה 1 (העזר במשבצות שבתרשים 1 ובתרשים 2).
   ב. עוצמת ההארה בקצה M_2 של המסך סומנה בתרשים 2 באות I. הוסף בתרשים 2 עקומה מקורבת המתארת את עוצמת ההארה על פני המסך לכל אורכו (מ- M_2 עד M_1) ביחס לעוצמת ההארה בנקודה M_2.

הערה: כאשר מסך מואר על ידי מקור אור (ללא מחסום) יש הבדלים בעוצמת ההארה שבה המסך מואר בגלל שנקודות שונות על המסך נמצאות במרחקים שונים ממקור האור, ובגלל שהאור פוגע באזורים שונים של המסך בזוויות שונות. נתעלם בפעילות זו מהבדלים אלה.

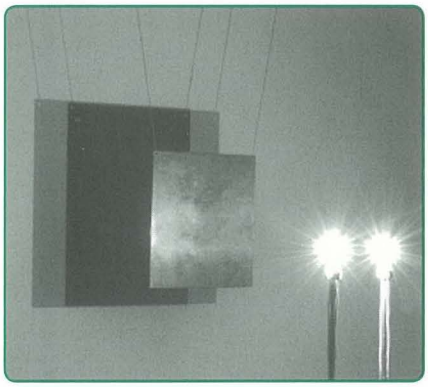
5. תרשים 3א הוא תצלום של מערכת ניסוי הדומה לזו המוצגת בתרשים 1. האם התחלקות האור כפי שנראית על המסך שבתצלום תואמת את תשובתך לשאלה 1 ולשאלה 4ב לעיל? הסבר.



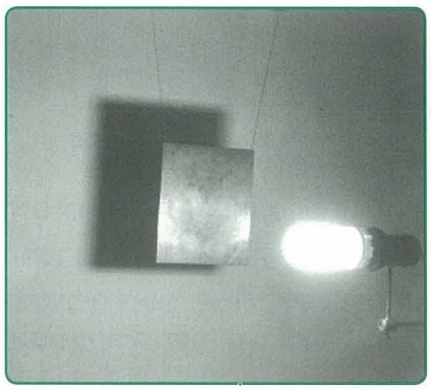
תרשים 2: גרף המתאר את עוצמת ההארה היחסית על פני המסך כפונקציה של המקום על פני המסך



א. מקור אור נקודתי



ב. זוג מקורות אור נקודתיים



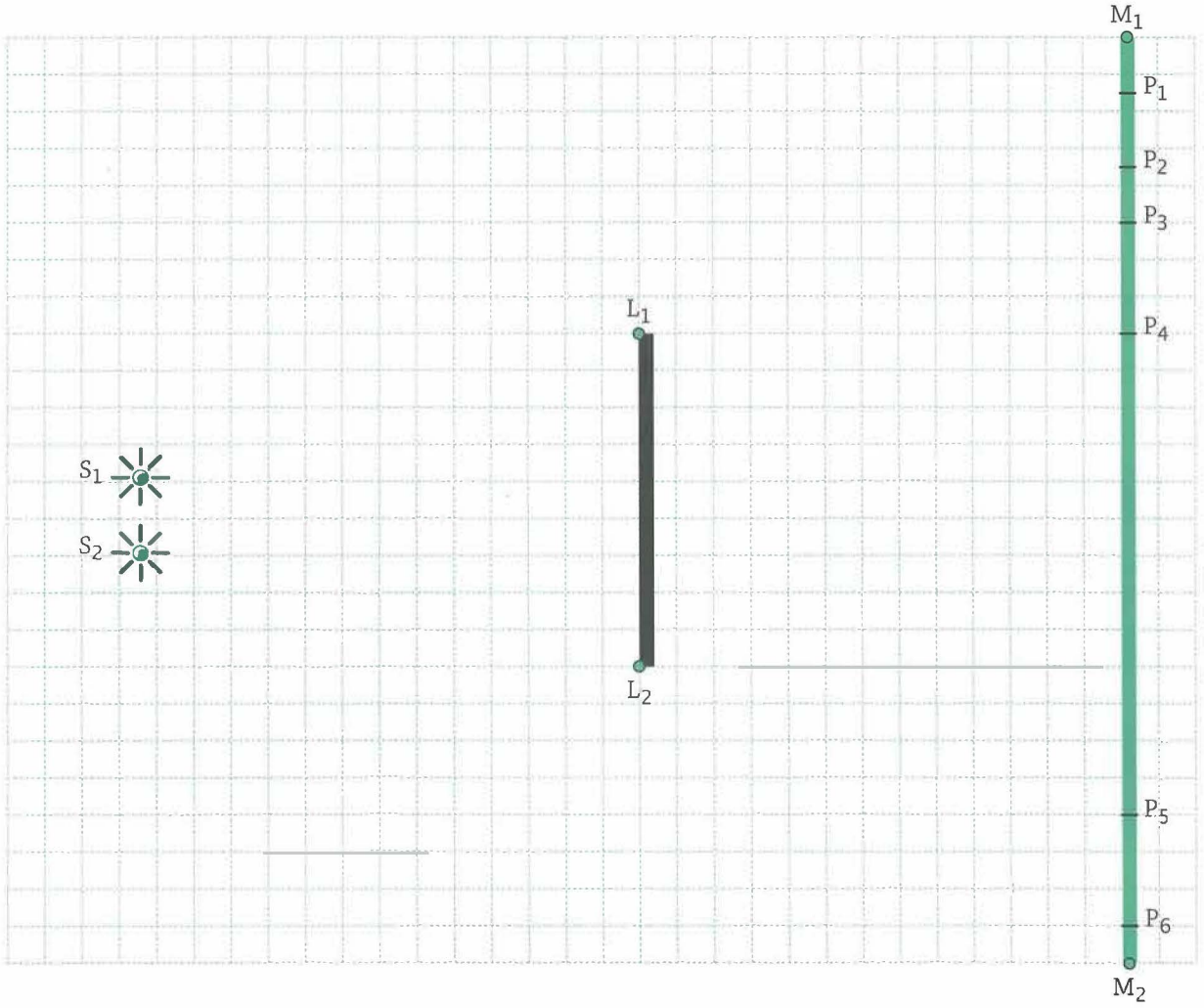
ג. מקור אור קווי

תרשים 3: תצלומים של מערכות דומות לאלו הנדונות בפעילות זו

חלק שני: שני מקורות אור נקודתיים

תרשים 4 דומה לתרשים 1, אלא שהפעם מוצבים שני מקורות אור נקודתיים - S_1 ו-S_2.

6. מצא, באמצעות סרטוט של מהלכי קרניים מתאימות, את התחומים על המסך שבהם מתקבל אור, צל חלקי, וצל מלא. סמן (באותיות A, ...) את הקצוות של תחומים אלה.



תרשים 4: תיאור של מערכת הניסוי – חלק שני

7. אילו משני מקורות האור הנקודתיים יכול לראות כל אחד מהפרעושים?

8. האם הצל החלקי המתקבל על המסך הוא אחיד או שבהירותו משתנה מנקודה לנקודה? נמק.

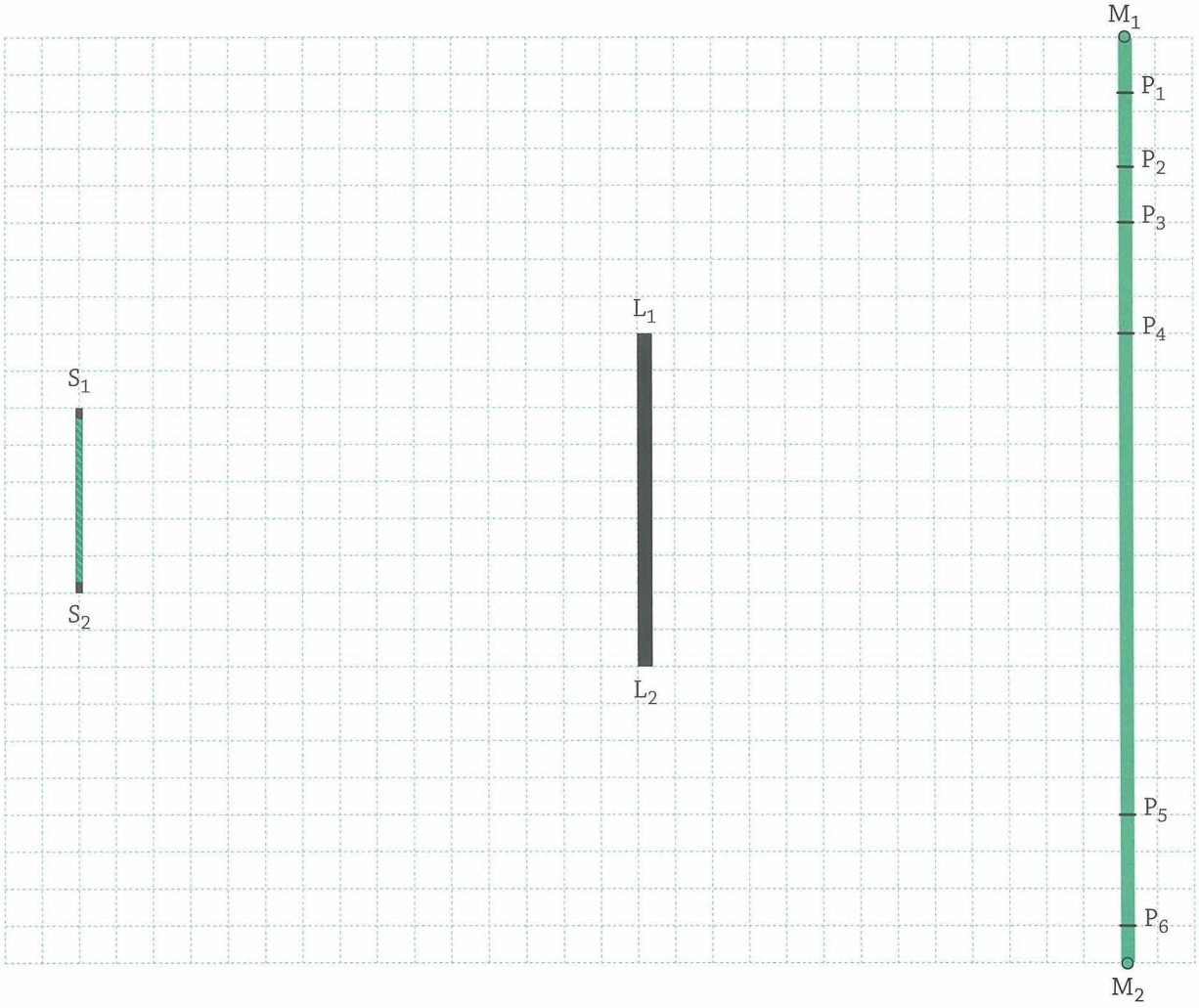
9. הוסף בתרשים 2, במקומות המתאימים לאורך הציר האופקי, בין הנקודות M_2 ו-M_1, את נקודות הקצה של התחומים שמצאת בשאלה 6, וסרטט עקומה מקורבת המתארת את עוצמת ההארה לכל אורך המסך - מהנקודה M_2 עד לנקודה M_1 ביחס לעוצמת ההארה I ב- M_2.

10. תרשים 3ב הוא תצלום של מערכת ניסוי הדומה לזו המוצגת בתרשים 4. האם התחלקות האור כפי שנראית על המסך שבתצלום תואמת את תשובתך לשאלות 6 ו-9 לעיל? הסבר.

חלק שלישי: מקור אור שאינו נקודתי

תרשים 5 דומה לתרשים 1, אלא שהפעם מוצב מקור אור שאינו נקודתי - **קצוותיו** הם S_1 ו-S_2.

11. מצא, באמצעות סרטוט של מהלכי קרניים מתאימות, את התחומים על המסך שבהם מתקבל אור, צל חלקי וצל מלא. סמן (באותיות A, ...) את הקצוות של תחומים אלה.



תרשים 5: תיאור של מערכת הניסוי – חלק שלישי

12. אֵילו מבין ששת הפרעושים המסומנים בתרשים 5 יכולים לראות את מקור האור בשלמותו? איזה פרעוש אינו יכול לראות כלל את מקור האור? איזה פרעוש יכול לראות חלק ממקור האור? לכל פרעוש שיכול לראות חלק ממקור האור סמן בתרשים 5 איזה חלק ממקור האור הוא יכול לראות.

13. האם הצל החלקי הוא אחיד או שבהירותו משתנה מנקודה לנקודה? נמק.

14. הוסף במקומות המתאימים של תרשים 2 לאורך הציר האופקי, בין הנקודות M_2 ו-M_1, את נקודות הקצה של התחומים השונים שמצאת בשאלה 11, וסרטט עקומה מקורבת של עוצמת ההארה לכל אורך המסך (כלומר מהנקודה M_2 עד לנקודה M_1) ביחס לעוצמת ההארה I ב- M_2.

15. תרשים 3ג הוא תצלום של מערכת ניסוי הדומה לזו המוצגת בתרשים 5. האם התחלקות האור כפי שנראית על המסך שבתצלום תואמת את תשובתך לשאלות 11 ו-14 לעיל? הסבר.

שאלות

16. בתרשים 3א נראים 4 חוטים הנושאים את הלוחית (חלקם ממשיים וחלקם צלליות). בתרשים 3ב נראים 6 חוטים ובתרשים 3ג נראים 2 חוטים. הסבר את ההבדלים בין מספרי החוטים הנראים בשלושת התצלומים.



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Shadow/Image and Color

מקור ההדמיה: Dept. of physics, National Taiwan Normal University

מטרת ההדמיה: לבחון היווצרות צללית במקרים שונים.

המערכת המוצגת: מקור אור, מחסום אטום לאור ומסך. התמונה בהדמיה היא חתך של המערכת האופטית.

המערכת מאפשרת: לבחון את צורת הצללית הנוצרת על ידי מקור נקודתי או קווי, לבחור מקורות בשלושה צבעים (אדום, ירוק, כחול), לשנות את מיקום מקור האור, לשנות את אורכו של המקור הקווי, להציג את הקרניים או להעלים אותן, לבחור בין מחסום קווי או מחסום קווי שבו חלון, לשנות את מיקום המחסום.

הפעלת ההדמיה: אפשר לבחור את סוג מקור האור (נקודתי או קווי) בעזרת תיבת סימון מתאימה. אפשר לבחור את הצבע הרצוי על ידי סימון התיבה המתאימה. את אורך המקור הקווי או המסך משנים על ידי גרירת העכבר הלחוץ (לחצן ימני) על האובייקט. את מיקום מקור האור או את מיקום המחסום משנים על ידי גרירת האובייקט בעזרת העכבר הלחוץ (לחצן שמאלי). בחירה בין מחסום קווי לבין מחסום קווי שבו חלון נעשית על ידי הקלקה כפולה על המחסום/חלון. הצגת קרניים והעלמתן נעשית על ידי סימון בתיבה המתאימה.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Sorgente puntiforme

מקור ההדמיה: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Bari

מטרת ההדמיה: לבחון היווצרות צללית במקרים שונים.

המערכת המוצגת: מקור אור, קרניים, מחסום ובו חלון, מסך. תמונת המערכת האופטית מוצגת במרחב.

המערכת מאפשרת: בחירה בין מקור אור נקודתי אחד, שני מקורות נקודתיים הממוקמים במסך בגובה שווה, שני מקורות נקודתיים הממוקמים בגבהים שונים. שינוי המרחק בין המקורות על ידי גרירת הכפתור המתאים, בחירת חלון בצורת משולש או ריבוע, שינוי מרחק המסך מן המחסום על ידי גרירת הכפתור הימני העליון.

הפעלת ההדמיה: לאחר בחירת האובייקטים הרצויים, לחיצה על "Avvio"

המלצה: ★★★☆☆

פרק א: פעילות מספר 2
בליעת אור על ידי נייר לבן ועל ידי נייר שחור

איפיון הפעילות
שילוב הפעילות: במהלך לימוד הנושא "העברה ובליעה של אור על ידי גופים" בפרק א.
ביצוע הפעילות: פעילות 2א על ידי המורה כהדגמה לתלמידי כיתות י', פעילות 2ב על ידי תלמידי כיתות י'.
מטרת הפעילות: לצפות בהבדל בין השפעת אור שעוצמתו רבה על דף נייר לבן, לבין השפעתו על דף נייר שחור.



אור שעוצמתו רבה פוגע בדף נייר לבן ולאחר מכן בדף נייר שחור.
איזה משני דפי הנייר בולע טוב יותר את האור?



פעילות 2א
ניסוי באמצעות מטול שקפים

רשימת הציוד
(1) מטול שקפים שבו מקור האור נמצא מתחת למשטח שעליו מניחים את השקפים, וכזה שאפשר להסיט את הזרוע העילית שמעל המשטח הזה (כך שהיא לא תימצא מעל המשטח).
(2) דף נייר לבן
(3) דף נייר שחור, מאותו סוג של דף הנייר הלבן

הרכבת מערכת הניסוי
הסט את הזרוע העילית של המטול כך שהיא לא תימצא מעל המשטח שעליו מניחים שקפים, והפעל את המטול.

עריכת הניסוי
1. הנח דף נייר על המשטח של המטול, והרם את הדף באיטיות. על הדף מופיע כתם אור שמקורו במטול. שים לב שכתם האור הולך וקטן ככל שהנך מעלה את דף הנייר, עד שהוא מגיע לגודל מזערי, ולאחר מכן הוא הולך וגדל. אתר את המקום שבו גודל כתם האור הוא מזערי. בגובה זה ריכוז האור הפוגע בדף הנייר הוא מרבי.
2. החזק במשך כמה דקות את דף הנייר הלבן מעל משטח המטול, במקום שבו ריכוז האור מרבי. האם דף הנייר הלבן נשרף?
3. החזק במשך כמה דקות את דף הנייר השחור במקום הנדון. האם הנייר השחור נשרף?
4. מה מסקנתך מתוצאות הניסוי?



פעילות 2ב
ריכוז אור השמש על ידי עדשה מרכזת

רשימת הציוד
(1) עדשה מרכזת
(2) דף נייר לבן
(3)דף נייר שחור, מאותו סוג של דף הנייר הלבן.
הערה: את הניסוי יש לערוך בשעות הצהריים, וכאשר השמים אינם מעוננים.

עריכת הניסוי
1. החזק את העדשה כך שאור השמש יפגע בה בזווית ישרה בקירוב (עם משטח העדשה). החזק דף נייר מתחת לעדשה וצמוד אליה, והרחק אותו באיטיות מן העדשה. שים לב שכתם האור הפוגע בדף הנייר הולך וקטֵן ככל שהנך מרחיק את דף הנייר, עד שהוא מגיע לגודל מיזערי, ולאחר מכן הוא הולך וגדל. אתר את המקום שבו גודל כתם האור הוא מזערי (הנקודה שבה אור המגיע ממקור רחוק מאוד יוצר כתם אור מזערי נקראת "מוקד העדשה"). במקום זה ריכוז האור על דף הנייר הוא מרבי.
2. החזק במשך כמה דקות את דף הנייר הלבן בנקודה שאותרה כמוקד העדשה. האם הנייר הלבן נשׂרף?
3. החזק במשך כמה דקות את דף הנייר השחור במוקד של העדשה. האם הנייר השחור נשׂרף?
4. מה מסקנתך מתוצאות הניסוי?

פרק ב: פעילות מספר 1
חוקי ההחזרה של אור

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: כפתיח ללימוד הנושא "חוקי ההחזרה" בפרק ב.

ביצוע הפעילות: פעילויות 1א ו-1ג על ידי המורה כהדגמה. פעילות 1ב על ידי תלמידי כיתות י', פעילות 1ד על ידי תלמיד מתנדב.

מטרת הפעילות: הכרת חוקי ההחזרה של האור, הבנתם, ויישומם, תוך התנסות.



אלומת אור מקבילה פוגעת במראה מישורית.
מה כיוון התפשטותה של האלומה המוחזרת מן המראה?



פעילות 1א
ניסוי החזרת אור במרחב

רשימת הציוד

(1) מראה מישורית;

(2) פנס שאלומת האור שלו מקבילה (למשל פנס לייזר);

(3) כַּן עם מצמד ואוחז (כזה שאפשר לאחוז באמצעותו את הפנס);

(4) מכל עם חומר המשמש לטיהור אוויר הפולט תרסיס בזמן הפעלתו, או לחילופין אבקת גיר.

הערה: עריכת הפעילות מחייבת **האפלה**.

אזהרה: אסור שאור הלייזר יחדור ישירות לתוך העיניים. אין סכנה בפגיעה של אור לייזר בכל חלקי הגוף, פרט לעין.

הרכבת מערכת הניסוי

הרכב את מערכת הניסוי המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:

א. הנח את המראה על השולחן (עם פניה החלקים כלפי מעלה).

ב. הדק את הפנס לכַּן, וכוון את אלומתו לעבר המראה.

עריכת הניסוי

תוכל מן הסתם לזהות את נקודת הפגיעה של האור בתקרה. כדי לעקוב אחר מסלול התפשטות האור תוכל לרסס באמצעות מטהר האוויר את האזור שבו האלומה מתפשטת (או לפזר באיזור זה אבקת גיר).

1. הטל את אלומת האור על המראה מכיוונים שונים. בכל פעם רסס ממכל מטהר האוויר לעבר האלומה הפוגעת במראה והאלומה המוחזרת ממנה, כך שתוכל להבחין בו-זמנית במסלולי התפשטותן של שתי האלומות.



תרשים 1: מערכת ניסוי להתבוננות בהחזרת אור במרחב (הספר בתצלום נועד רק להמחיש שמדובר במראה)

2. נסח, על סמך תצפיותיך, כללים המתארים את הכיוון במרחב שאליו מוחזרת האלומה מן המראה. השתמש במונחים אלה:

- **הקרן הפוגעת** - הקרן הפוגעת במראה.
- **הקרן המוחזרת** - הקרן המוחזרת מן המראה.
- **האנך** - אנך למראה, בנקודה שבה פוגעת הקרן במראה.
- **זווית הפגיעה** - הזווית שבין הקרן הפוגעת לבין האנך.
- **זווית ההחזרה** - הזווית שבין הקרן המוחזרת לבין האנך.

התייחס בתשובתך למישור שבו הקרן מוחזרת, ולכיוון הקרן המחוזרת במישור זה.



פעילות 1ב
ניסוי החזרת אור במישור

מפעילות 1א למדנו כי:
א. הקרן המוחזרת מתפשטת במישור שנקבע על ידי הקרן הפוגעת והאנך.
ב. הניסויים מצביעים (בלי שערכנו מדידות מדויקות) על כך שזווית ההחזרה שווה לזווית הפגיעה.

בעזרת הניסוי המתואר להלן תוכל להווכח ביתר דיוק כי זוויות הפגיעה וההחזרה אכן שוות. הממצא שהקרן המוחזרת מתפשטת במישור שנקבע על ידי הקרן הפוגעת והאנך מצדיק עריכת ניסוי במישור. את זה נעשה עתה.

רשימת הציוד
(1) מערכת אופטיקה גאומטרית - זו עם מקור האור הלבן או זו עם פנס הלייזר. רשימת רכיבי המערכת מפורטת בנספח א.
(2) מראה מישורית המודבקת לתיבה ממערכת האופטיקה הגאומטרית.
הערה: עריכת הפעילות מחייבת **האפלה**.

הרכבת מערכת הניסוי

א. הרכב את מערכת האופטיקה הגאומטרית (ראה נספח א) והפעל את מקור האור.

ב. אם הינך משתמש במערכת עם מקור האור הלבן - הרכב על חזית הפנס תריס עם חריץ יחיד, כך שהחריץ יהיה אנכי ותבקע ממנו אלומה מקבילה, צרה וחדה של אור. הסט במידת הצורך את מקור האור עד שאלומתו תחלוף בדיוק במרכז דסקית העץ.

ג. הצב את המראה במרכז דסקית העץ, כך שהחלק המחזיר של המראה יתלכד עם הקו של הנייר הפולרי שכל אחד משני קצותיו מסומן ב-90°.

במהלך הניסוי אין להסיט את הפנס, ואין להזיז את המראה על פני דסקית העץ.

עריכת הניסוי

1. הפעל את הפנס. זהה במערכת הניסוי את הקרן הפוגעת, את הקרן המוחזרת, האנך, זווית הפגיעה וזווית ההחזרה.
2. עבור כל זווית פגיעה הרשומה בטבלה 1 מדוד את זווית ההחזרה, ורשום את ערכה בטבלה 1.

זווית פגיעה $\alpha(^\circ)$	זווית החזרה $\beta(^\circ)$
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	

טבלה 1: תוצאות המדידות

שאלות

3. מאיזו דופן של מראה העשויה מזכוכית מוחזר עיקר האור - מהדופן הקידמית של הזכוכית או מהדופן האחורית שלה? הסבר.

4. א. תאר מה יהיה מהלך האור אם תציב במקום התריס עם החריץ היחיד את התריס עם חמשת החריצים.
   ב. בחן את תשובתך לסעיף א באמצעות מערכת הניסוי.

5. א. בדוק באיזו זווית מסתובבת אלומת האור המוחזרת כאשר אתה מסובב את דסקית העץ (יחד עם המראה) בזווית α.
   ב. הוכח את תשובתך לשאלה 5א על סמך חוקי ההחזרה.



פעילות 1ג
הדמיה של החזרת אור באמצעות שיפודים ופלסטלינה

פעילות זו נועדה לבחון הבנה של חוקי ההחזרה ולחזק את הבנתם במרחב.

חוקי ההחזרה אומרים:
כאשר אור פוגע במראה, הוא מוחזר ממנה כך שמתקיים:
א. הקרן המוחזרת מתפשטת במישור שנקבע על ידי הקרן הפוגעת והאנך.
ב. זווית ההחזרה β, שווה לזווית הפגיעה α. בקיצור: $\alpha = \beta$.

רשימת הציוד
(1) גוש פלסטלינה
(2) שלושה שיפודי עץ
(3) דף נייר

ביצוע הפעילות
1. הדגם בעזרת שני שיפודים את הכללים הגאומטריים:
   א. שני ישרים במרחב, אינם נמצאים בהכרח במישור אחד.
   ב. שני ישרים במרחב ש**נחתכים** קובעים מישור (כלומר נמצאים בהכרח במישור אחד).

2. עצב את הפלסטלינה בצורת תיבה, והנח אותה על השולחן. המשטח העליון של הפלסטלינה ידמֶה פני מראה. נעץ שיפוד בפלסטלינה שידמה קרן הפוגעת במראה. נעץ בפלסטלינה שיפוד שני, במקום שבו נעצת את השיפוד הראשון, שידמה את "האנך" (ראה תרשים 1). אפשר לראות את שני השיפודים כשני ישרים נחתכים. **זהה את המישור הנקבע על-ידי שני ישרים אלה**, והצב דף נייר (מישורי, ולא מקופל) כך שהוא ימצא במישור זה. נעץ את השיפוד השלישי, כך שידמה את הקרן המוחזרת.



תרשים 1: הדמיה של החזרת אור בעזרת שיפודים

3. שלוף את השיפוד המדמה את הקרן המוחזרת.
   א. נעץ את השיפוד השלישי בכמה מצבים שונים, כך שיתקיים חוק ההחזרה הראשון (ראה בראש עמוד זה), אך **לא** יתקיים חוק ההחזרה השני.
   ב. נעץ את השיפוד השלישי בכמה מצבים שונים, כך שיתקיים חוק ההחזרה השני, אך **לא** יתקיים חוק ההחזרה הראשון.



פעילות 1ד
יישום חוקי החזרת אור - קליעה למטרה

פעילות זו נועדה ליישם חוקי ההחזרה של האור.

רשימת הציוד
(1) מראה מישורית;
(2) פנס שאלומת האור שלו צרה, מקבילה וחזקה (מומלץ פנס לייזר);
(3) כַּן עם מצמד ואוחז (כזה שאפשר לאחוז באמצעותו את הפנס);
(4) דף נייר שעליו מסומנים מעגלים שווי מרכז, בדומה למטרה המשמשת במטווח.
אזהרה: אסור שאור הלייזר יחדור ישירות לתוך העיניים. אין סכנה בפגיעה של אור הלייזר בכל חלקי הגוף, פרט לעין.

ביצוע הפעילות
1. תלה את המטרה על הקיר, במקום גבוה מפני השולחן.
2. הנח את המראה על משטח השולחן כך שפניה המחזירים יפנו כלפי מעלה.
3. הדק את הפנס (כשהוא כבוי) לכַּן .
4. בלי להזיז את המטרה, את השולחן ואת המראה, מקם את הכן וכוון את הפנס הכבוי כך שלאחר הדלקתו, האלומה המוחזרת מן המראה תפגע קרוב ככל האפשר למרכז המטרה.
5. הדלק את הפנס. האם פגעת?

פרק ב: פעילות מספר 2
עצם ודמותו הנוצרת על ידי מראה מישורית

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: כפתיח ללימוד מהלך האור הגורם ליצירת דמות על ידי מראה מישורית בפרק ב.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י'.
מטרת הפעילות: להבין את אופן היווצרותה של דמות על ידי מראה מישורית, ולהכיר מתוך התנסות את מאפייני הדמות: מיקומה והאוריינטציה שלה במרחב ביחס לעצם.



עצם ניצב לפני מראה מישורית.
א. איך נוצרת הדמות של העצם?
ב. היכן נמצאת הדמות של העצם?
ג. האם הדמות הפוכה ביחס לעצם? אם כן, באילו כיוונים מתרחש ההיפוך?

הדפסה מהתקליטור – מודלים של האור – פעילויות

היכנס בתקליטור לתיק "תרשימים להדפסה", והדפס את הקובץ "פרק ב פעילות 2".



פעילות 2א
קביעת מקום דמות בעזרת סרטוט מהלך קרניים

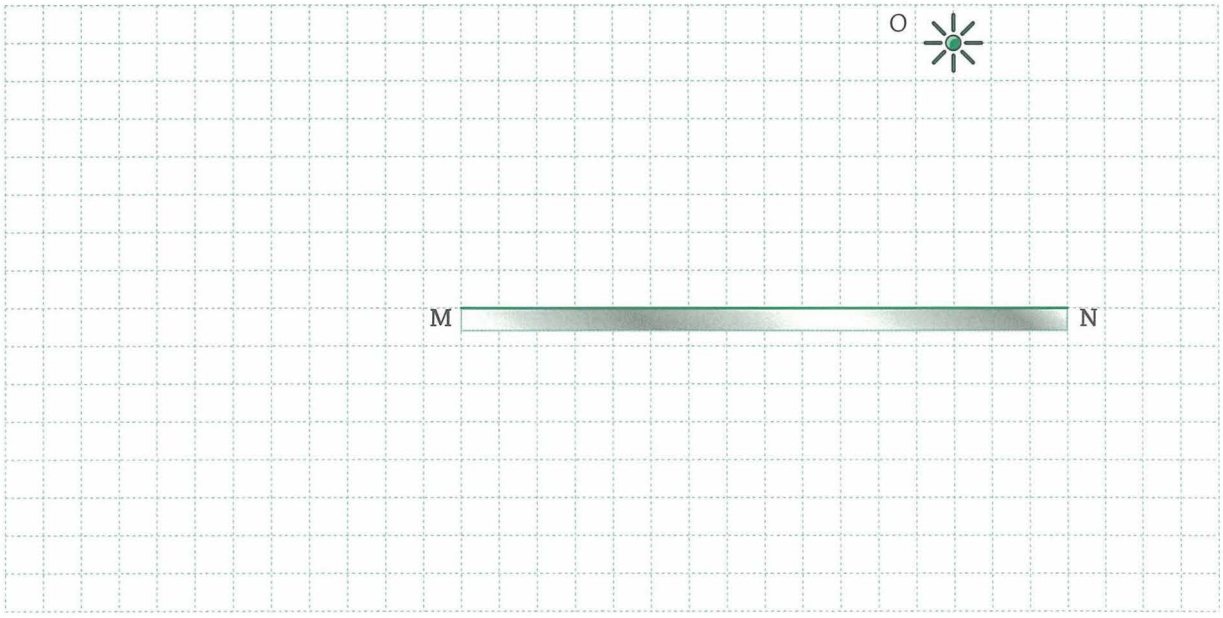
חלק ראשון: דמות של עצם נקודתי

1. בתרשים 1 שלהלן מוצגים חתך MN של מראה ועצם נקודתי O על רקע של רשת קווים. נרצה לגלות באמצעות סרטוט, את מהלך האור הקשור ביצירת דמות העצם, ואת המקום שבו "נמצאת" הדמות.
   א. הוסף לתרשים 1 סרטוט של שלוש קרניים לפחות הנפלטות מ-O ופוגעות במראה.
   נוח לסרטט קרניים הפוגעות במראה בנקודות הצטלבות של קווי הרשת (בפינות של משבצות). אל תשכח לסמן את כיווני הקרניים.
   ב. סרטט בצורה **מדויקת**, על סמך חוקי ההחזרה, את הקרניים המוחזרות מן המראה. העזר ברשת הקווים. שים לב, הדופן **הקידמית** של המראה המסומנת בתרשים היא זו המחזירה אור.
   ג. האם הקרניים המוחזרות נחתכות? סרטט על ידי קווים מקווקוים את המשכי הקרניים המוחזרות (ההמשכים אחורנית, מעבר למראה).
   ד. האם המשכי הקרניים המוחזרות שסרטטת נחתכים בנקודה אחת?
   ה. נסח את החוקיות של מהלך קרניים הנפלטות מן העצם O, פוגעות במראה ומוחזרות ממנה.

2. נקודת החיתוך של המשכי הקרניים המוחזרות נקראת "**מרכז האלומה המוחזרת**" של העצם O.
   א. סמן בתרשים 1 באות I את מרכז האלומה המוחזרת, ומתח קו מהעצם לנקודה זו.
   ב. נסח קשר בין מקום מרכז האלומה המוחזרת למקום העצם.

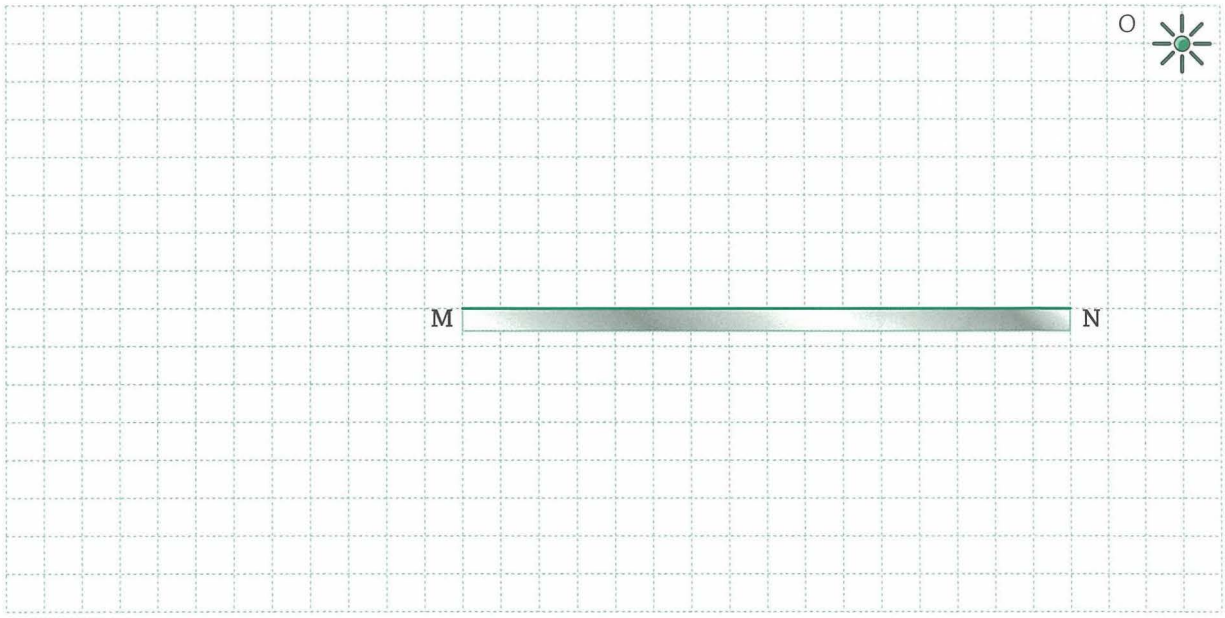
3. א. השחֵר באמצעות עיפרון את התחום שבין שתיים מהקרניים הפוגעות שסרטטת, ואת התחום שבין אותן שתי קרניים אחרי החזרתן על ידי המראה.

ב. נסח, על סמך סעיף 3א, את החוקיות שעל פיה **אלומת אור** הנפלטת מ-O מוחזרת מן המראה.



תרשים 1: עצם ניצב מול מראה מישורית

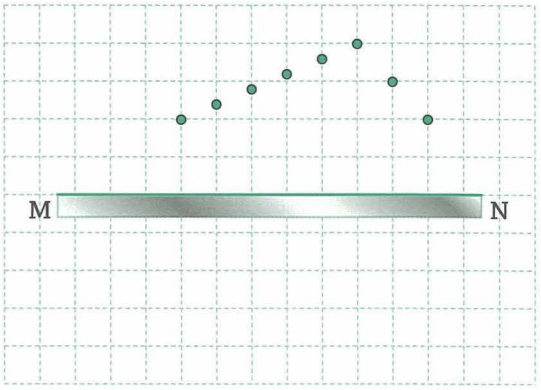
4. כדי לבחון את המתרחש במצב שבו העצם אינו ממוקם מול המראה - חזור על שאלות 1 - 3 לעיל לגבי תרשים 2.



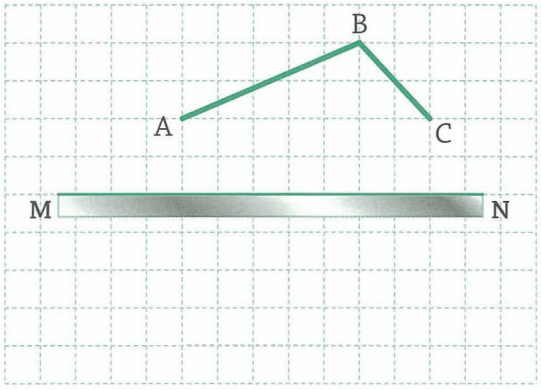
תרשים 2: עצם שאינו ניצב מול המראה

חלק שני: דמות של עצם שאינו נקודתי

5. בתרשים 3 מוצגים חתך MN של מראה ועצם המורכב מכמה מקורות אור נקודתיים. סמן בתרשים את מרכזי האלומות המוחזרות.



תרשים 3: עצם המורכב מכמה מקורות נקודתיים



תרשים 4: עצם שאינו נקודתי

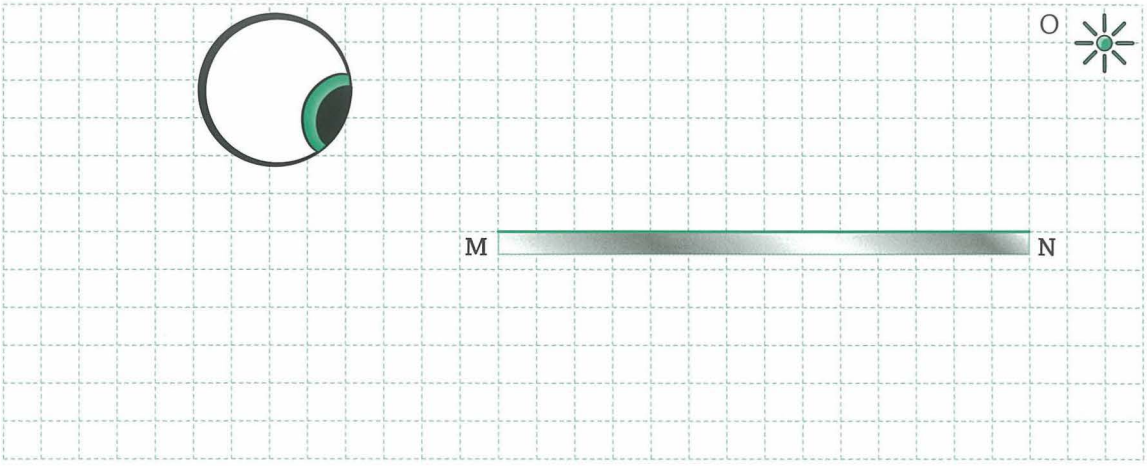
6. בתרשים 4 מוצגים חתך MN של מראה ועצם שאינו נקודתי. התייחס לנקודות A, B ו-C כאל עצמים נקודתיים, וסרטט את המרכזים של האלומות המוחזרות.

חלק שלישי: ראיית דמויות

7. בתרשים 5 מוצגים חתך MN של מראה מישורית, מקור אור נקודתי O ועין של צופה.

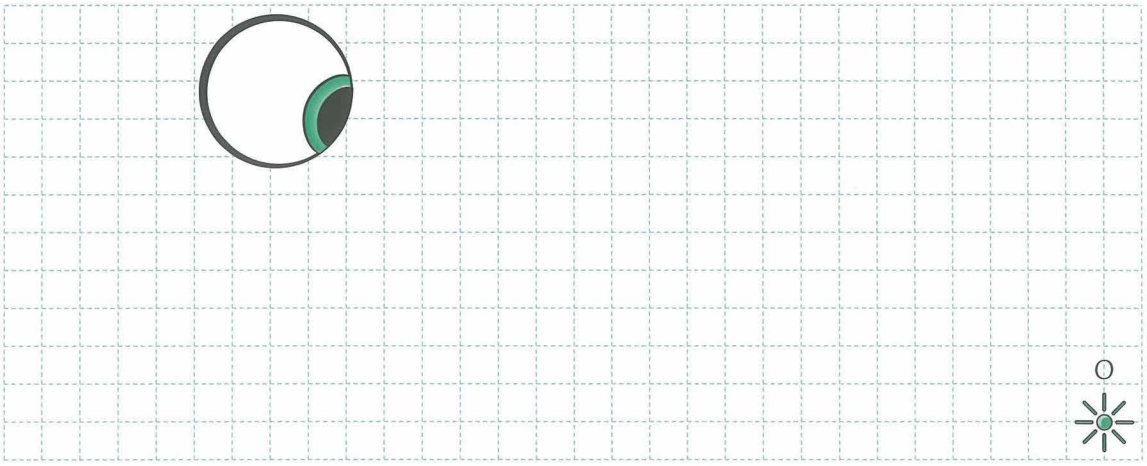
א. סמן בתרשים 5 את מרכז האלומה המוחזרת **על סמך מסקנותיך בשאלה 3** לעיל. הוסף לתרשים 5 סרטוט של מהלך אלומת האור המופצת מן העצם O, מוחזרת מן המראה, וחודרת לעין של הצופה לכל אורך חתך האישון.

ב. כידוע תפקיד המערכת האופטית של העין הוא לרכז אלומת האור הנפלטת מעצם נקודתי וחודר דרך האישון לנקודה אחת על רשתית העין. נקודה זו היא דמות העצם הנקודתי על רשתית העין. סמן דמות זו בתרשים 5.



תרשים 5: ראיית דמות של עצם נקודתי

8. א. בתרשים 6 מוצגים מקור האור הנקודתי O במקום שבו נמצא מרכז האלומה המוחזרת בתרשים 5, והעין של הצופה. סרטט את מהלך אלומת האור המופצת מן העצם O וחודרת לעין של הצופה.
ב. סמן את הדמות הנקודתית הנוצרת על רשתית העין של הצופה על ידי המערכת האופטית של העין.

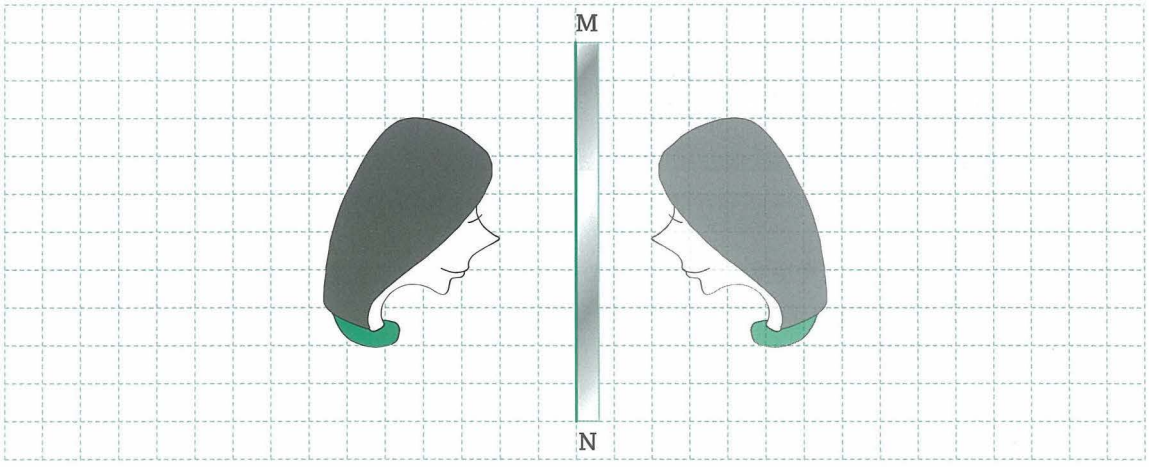


תרשים 6: ראיית עצם נקודתי

9. אדם מודע למה שהוא רואה על-פי המידע שמגיע מהרשתית של עינו למרכז הראייה במוחו. האם יש הבדל בין מה שהצופה רואה במצב המוצג בתרשים 5 לבין מה שהצופה רואה במצב המוצג בתרשים 6? הסבר.

בשני המצבים המתוארים בתרשימים 5 ו- 6 נוצרת על רשתית העין אותה דמות, לכן מרכז האלומה המוחזרת (תרשים 5) מכונה **"הדמות המדומה"** של העצם O.

10. בתרשים 7 מוצגים חתך MN של מראה מישורית, פניה של נערה, ודמות פניה המשתקפת במראה.
סרטט את מהלכה של אחת מבין הקרניים של אלומת האור שבאמצעותה הנערה רואה את קצה אפה.



תרשים 7: כיצד הנערה רואה את קצה אפה?

פעילות 2ב
השתקפות להבת נר על ידי לוח זכוכית

רשימת הציוד
(1) לוח זכוכית שממדיו כ- 15 ס"מ x 15 ס"מ (לוח הזכוכית של אמבט הגלים של תכנית רחובות שנועד להדגמת שבירת גלים וצורתו טרפז, מתאים לניסוי זה)
(2) נייר בריסטול שממדיו הם 20 ס"מ x 80 ס"מ לפחות
(3) שני נרות השווים בגובהם
(4) גפרורים
(5) מתקן שבעזרתו אפשר להציב את לוח הזכוכית כך שהוא יהיה מאונך למשטח השולחן, למשל כַּן עם שני מצמדים ושני אוחזים (בתרשים 1 השתמשנו במתקן אחר)
(6) סרט הדבקה

הרכבת מערכת הניסוי
הרכב את מערכת הניסוי המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:

א. הדק את נייר הבריסטול לשולחן באמצעות פיסות של סרט הדבקה.
ב. קבע את לוח הזכוכית כך שהוא יהיה מאונך למשטח השולחן.

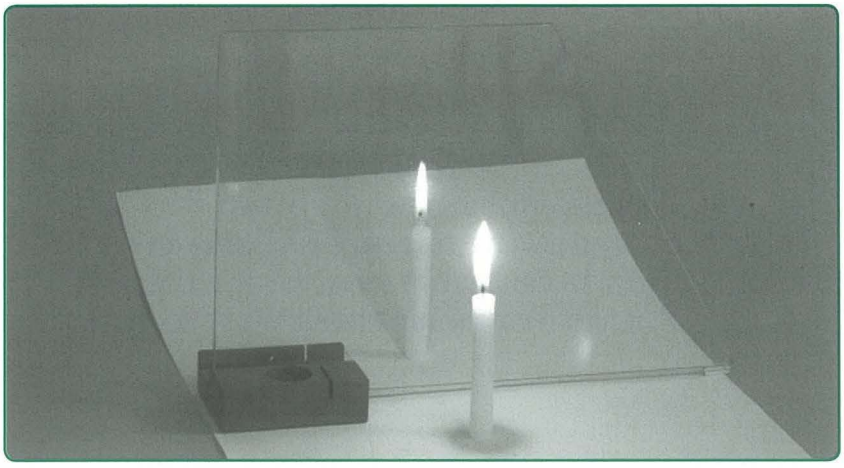


תרשים 1: מערכת הניסוי: נר יחיד דולק והשתקפות להבת הנר

ג. הנח את לוח הזכוכית (המוצב אנכית) לרוחב נייר הבריסטול, כך שלוח הזכוכית יחצה את נייר הבריסטול לאורכו.
ד. הצב את אחד הנרות על נייר הבריסטול, במרחק של כ-5 ס"מ מלוח הזכוכית, והדלק אותו.

עריכת הניסוי
1. עמוד בצד לוח הזכוכית שבו נמצא הנר, והתבונן לעבר לוח הזכוכית. זהה את דמות להבת הנר הנוצרת על ידי לוח הזכוכית (תרשים 1). **מטרת פעילות זו היא לאתר את המקום של דמות זו.**
2. הצב את הנר האחר (הכבוי) מאחורי לוח הזכוכית, ומקם אותו כך שדמות להבת הנר תראה בהמשך לפתיל של הנר הכבוי, כלומר הנר הכבוי יראה כאילו שהוא דולק (תרשים 2). התבונן בדמות של להבת הנר ובנר הכבוי מכיוונים

שונים, והזז במידת הצורך את הנר הכבוי כך שדמות להבת הנר תראה בהמשך לפתיל של הנר הכבוי **מכל כיוון**.
במצב זה הנר הכבוי נמצא במקום שבו נוצרת הדמות של להבת הנר.



תרשים 2: נר דולק ונר כבוי

3. סרטט על נייר הבריסטול מעגל לאורך היקף הנר הדולק ורשום O_1 לידו, ומעגל לאורך היקף הנר הכבוי ורשום I_1 לידו.
4. הצב את הנר הדולק במרחקים שונים מלוח הזכוכית, ובכל פעם בצע את ההנחיות שבסעיפים 1, 2 ו-3 לעיל. סמן את זוגות המעגלים של הנר הדולק ושל הנר הכבוי באותיות O_2 ו- I_2, O_3 ו- I_3 וכך הלאה.
5. כבה את הנר. כדי לסמן את המקום שבו היתה הדופן הקדמית של לוח הזכוכית במהלך הניסוי מתח קו על נייר הבריסטול לאורכה של הדופן, ולאחר מכן הסר את לוח הזכוכית מנייר הבריסטול.
6. א. עבור כל אחד מזוגות המעגלים O_2 ו- I_2, O_3 ו- I_3 וכיו"ב: חבר בקו ישר את מרכז המעגל המסמן את מקום הנר הדולק עם מרכז המעגל המסמן את מקום הנר הכבוי.
7. א. מהי בערך הזווית בין הקווים המחברים את מקום להבת הנר עם מקום דמותה לבין הקו המסמן את המקום שבו היה לוח הזכוכית?

ב. מדוד עבור כל מקרה את מרחק הנר הדולק מלוח הזכוכית ואת מרחק הנר הכבוי מלוח הזכוכית. רשום את תוצאות המדידות בטבלה 1.

מספר סידורי	מרחק להלהבה מלוח הזכוכית	מרחק דמות הלהבה מלוח הזכוכית
1		
2		
3		
4		
5		
6		

טבלה 1: ממצאי הניסוי

עיבוד הממצאים וניתוח תופעת ההשתקפות

8. א. נסח קשר בין מקום להבת הנר לבין מקום דמותה.
   ב. האם קשר זה תואם את הקשר שמצאת בפעילות 2א שאלה 1ה?

שאלות

9. כדי לאתר את המקום של דמות להבת הנר באמצעות הנר הכבוי, נאמר בשאלה 2 לעיל כי יש להקפיד על כך שדמות להבת הנר תראה **מכל כיוון** בהמשך לנר הכבוי. הסבר מדוע אי אפשר להסתפק בכך שדמות להבת הנר נראית מכיוון מסוים בלבד בהמשך לנר הכבוי. העזר בתרשים.
10. אור להבת הנר פוגע בלוח זכוכית. האם חלק מן האור מוחזר מלוח הזכוכית? נמק את תשובתך על סמך הניסוי. האם חלק מן האור עובר לצד השני של לוח הזכוכית? נמק את תשובתך על סמך הניסוי.
★11. אם מחשיכים את החדר שבו נערך הניסוי, אפשר להבחין בדמות שנייה של להבת הנר, הנמצאת מעט מאחורי הדמות הראשונה והיא פחות בהירה מהדמות הראשונה. איך נוצרת דמות זו?



פעילות 2ג
האוריינטציה של הדמות הנוצרת על ידי מראה מישורית ביחס לעצם

רשימת הציוד
(1) מראה מישורית שממדיה הם 15 ס"מ **x** 15 ס"מ לפחות
(2) מספריים
(3) דף נייר

מניסוי ההשתקפות של להבת הנר על ידי לוח זכוכית נוכחת כי **בכיוון אנכי** דמות להבת הנר ישרה ביחס ללהבה.

האם גם בכיוון אופקי ומקביל למראה הדמות ישרה ביחס לעצם?

נתקשה לקבוע זאת על סמך השתקפות להבת נר, כיוון שלהבת נר סימטרית ביחס לציר האנכי שלה. לכן, אף אם דמות להבת הנר הפוכה בכיוון אופקי ביחס ללהבת הנר - היינו מתקשים להבחין בכך.

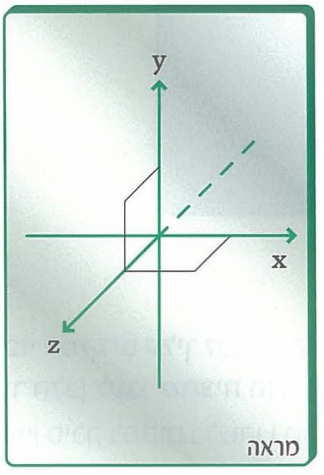
כדי לענות על השאלה נערוך ניסוי עם עצם שאינו סימטרי, כמתואר להלן.

עריכת הניסוי
1. סרטט על דף נייר את האות F כך שממדיה יהיו בערך 3 ס"מ **x** 5 ס"מ, ועובי קווי האות יהיו בערך חצי ס"מ. גזור את האות מתוך הדף.

2. החזק ביד אחת את גזיר הנייר שצורתו האות F, וביד האחרת את המראה, כך שהאות F והמראה יהיו בקירוב מקבילים זה לזה. התבונן באות F ובדמותה הנוצרת על ידי המראה (**כך שגזיר הנייר יהיה בין המראה לבין עיניך**).
נגדיר מערכת צירים x,y המקבילה למראה: הציר y אנכי והציר x אופקי. נגדיר ציר z המאונך למראה (תרשים 1).

3. א. האם בכיוון הציר y דמות האות F הפוכה ביחס לעצם (גזיר הנייר)?
ב. האם בכיוון הציר x הדמות הפוכה ביחס לעצם?

4. הצב את גזיר הנייר שצורתו האות F כך שהוא יהיה מאונך למראה. האם בכיוון הציר z הדמות הפוכה ביחס לעצם?



תרשים 1: המראה ומערכת הצירים



פעילות 2ד
איתור דמות באמצעות "כוונות"

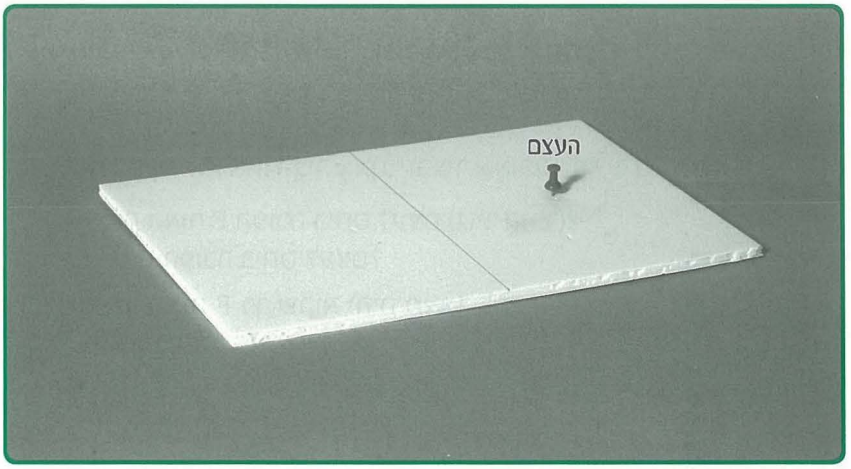
רשימת הציוד
(1) המראה המישורית שבמערכת האופטיקה הגאומטרית - תכנית רחובות
(2) סיכה עם ראש צבעוני
(3) ארבע סיכות תפירה
(4) לוח קלקר או לוח קאפא שממדיו 25 ס"מ x 40 ס"מ לפחות
(5) דף נייר (בגודל A4) (אם הינך משתמש בלוח קאפא - לא נדרש דף נייר)
(6) סרגל שאורכו כ-30 ס"מ

ניסוי מקדים

הרכבת מערכת הניסוי (המקדים)

הרכב את מערכת הניסוי המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:

א. מתח לרוחב דף הנייר קו שיחלק אותו לשני חלקים שווים בקירוב.
ב. הנח את לוח הקלקר על השולחן כך שאחת מצלעותיו הקצרות תהיה קרובה אליך, והנח את דף הנייר על לוח הקלקר. נעץ את הסיכה הצבעונית בנייר (ובלוח הקלקר) בכיוון מאונך לדף, במחצית של דף הנייר הרחוקה ממך.

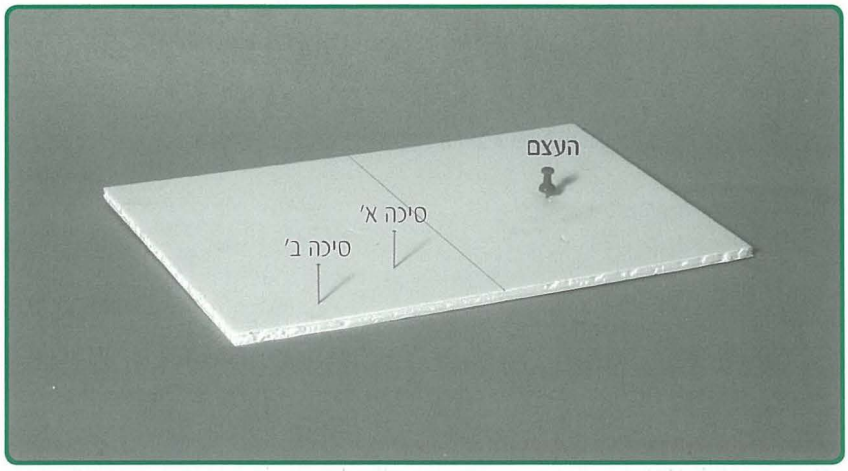


תרשים 1: מערכת הניסוי המקדים (עם לוח קאפא)

בניסוי המקדים עליך למצוא את המקום שבו נמצאת הסיכה הצבעונית, בלי שתעבור את הקו המסורטט על דף הנייר הלבן לעבר מחצית הדף הרחוקה ממך, שבה נעוצה הסיכה.

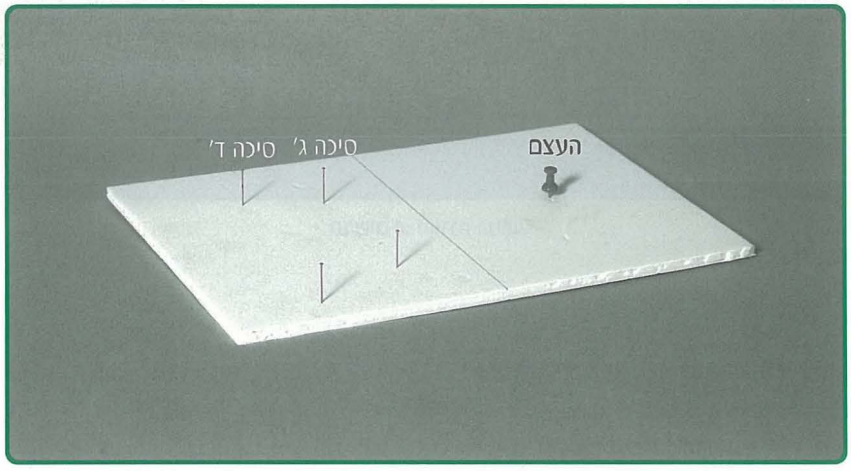
1. נעץ סיכה במקום כלשהו במחצית הדף הקרובה אליך. סיכה זו תכונה "סיכה א".

2. עצום עין אחת, ונעץ סיכה שנייה במחצית דף הנייר הקרובה אליך, שתכונה "סיכה ב", כך שהיא תסתיר מעינך את סיכה א, ושתי הסיכות תסתרנה את הסיכה הצבעונית. במצב זה שלוש הסיכות תמצאנה על קו ראייה אחד (תרשים 2).



תרשים 2: שתי סיכות א ו-ב שבעזרתן אפשר לאתר את הכיוון שבו נמצאת הסיכה הצבעונית

3. עתה ברשותינו מידע חלקי על מקום הסיכה הצבעונית - אנו יודעים שהיא נמצאת לאורך הקו הישר המחבר את שתי הסיכות, אולם איננו יודעים היכן בדיוק. לשם כך בצע שוב את הנחיות 1 ו-2 לעיל, אך מכיוון אחר, כמוצג בתרשים 3 (נכנה את הסיכות "סיכה ג" ו"סיכה ד").



תרשים 3: שתי סיכות ג ו-ד שבעזרתן אפשר לאתר את הכיוון שבו נמצאת הסיכה הצבעונית

4. מתח קו ישר דרך הנקודות שבהן נעוצות סיכות א ו-ב, וקו ישר אחר דרך הנקודות שבהן נעוצות סיכות ג ו-ד. הסבר מדוע שני הקווים אמורים להיחתך במקום שבו נעוצה הסיכה הצבעונית.

הערה

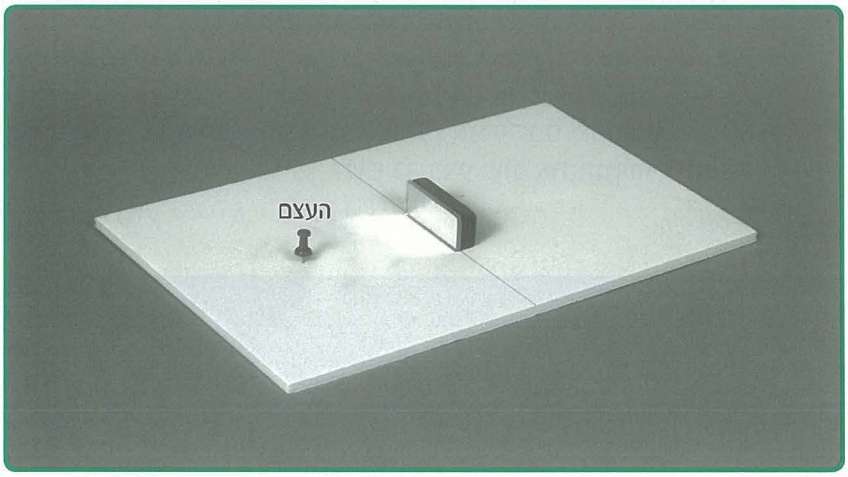
רעיון זה משמש בקליעה למטרה, באמצעות רובה למשל. ברמה העקרונית, כאשר רוצים לפגוע במרכז מטרה, מחזיקים את הרובה כך שהכוונת האחורית (זו הקרובה ליורה) מסתירה את הכוונת הקדמית של הרובה, ושתי הכוונות מסתירות את מרכז המטרה. מצב זה מבטיח ששתי הכוונות ומרכז המטרה נמצאים לאורך אותו ישר. כיוון שקליע הנורה מהקנה נע בכיוון מקביל לקו המחבר את שתי הכוונות - הוא אמור לפגוע במרכז המטרה (זאת בהנחה שמסלול מעופו הוא ישר. באופן מעשי, אם יורים למרחק גדול שבו אי אפשר להזניח את התעקמות מסלול המעוף של הקליע - יש להכניס תיקונים).

אפשר לראות את סיכות א ו-ב כזוג כוונות אחד, ואת סיכות ג ו-ד כזוג כוונות אחר.

הניסוי (העיקרי)

הרכבת מערכת הניסוי (העיקרי)

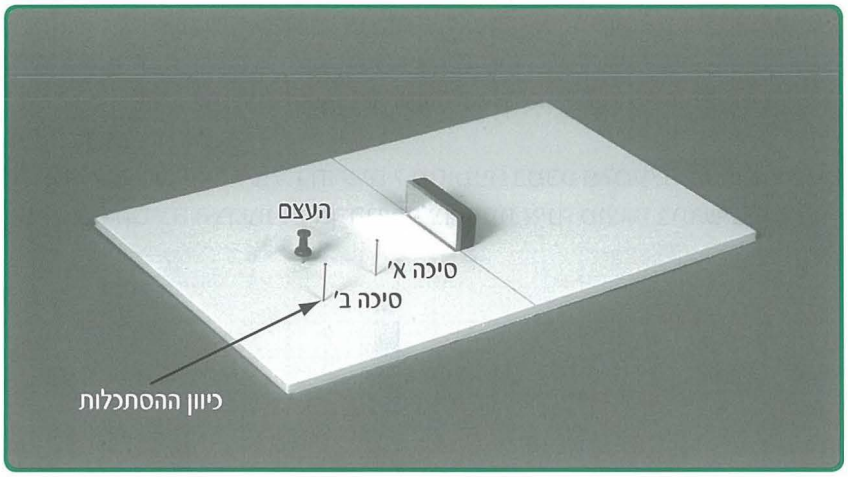
הנח את המראה על דף הנייר כך שהמשטח המחזיר שלה יהיה לאורך הקו שסרטטת על הנייר, ונעץ את הסיכה עם הראש הצבעוני מול הצד המחזיר של המראה, במרחק של כ-10 ס"מ מן המראה (תרשים 4).



תרשים 4: מערכת הניסוי

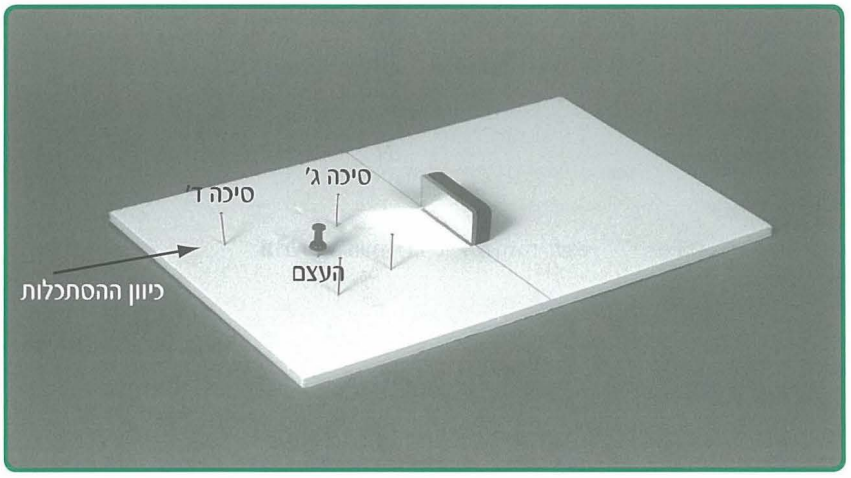
עריכת הניסוי

5. התבונן במראה, וזהה את דמות הסיכה הצבעונית. **מטרת הניסוי היא לאתר את המקום שבו נמצאת דמות זו.**
6. נעץ במחצית דף הנייר הקרובה אליך, במקום כלשהו, סיכה ("סיכה א"). עצום עין אחת, ונעץ במחצית דף הנייר הקרובה אליך סיכה שנייה ("סיכה ב"), כך שזו תסתיר את סיכה א, ושתי הסיכות תסתרנה את **הדמות** של הסיכה הצבעונית (תרשים 5).



תרשים 5: מציאת קו ישר שלאורכו נמצאת דמות הסיכה הצבעונית

7. בצע שוב את ההנחיות שבשאלה 6, אך מכיוון אחר, כפי שמוצג בתרשים 6 ("סיכה ג" ו"סיכה ד").



תרשים 6: מציאת קו ישר שני שלאורכו נמצאת דמות הסיכה הצבעונית

8. סמן לאורך הקו המסומן על לוח הקלקר את הקצוות הימני והשמאלי של המראה. הסר את המראה מדף הנייר.

עיבוד הממצאים

9. מתח קו ישר דרך הנקודות שבהן נעוצות סיכות א ו-ב, וקו ישר אחר דרך הנקודות שבהן נעוצות סיכות ג ו-ד. הסבר מדוע נקודת החיתוך של שני קווים אלה היא הנקודה שבה הייתה הדמות של הסיכה הצבעונית.
10. א. נסח קשר בין מקום הסיכה הצבעונית לבין מקום דמותה.
ב. האם הקשר שמצאת בפעילות זו תואם את הקשר שמצאת בפעילויות הקודמות?

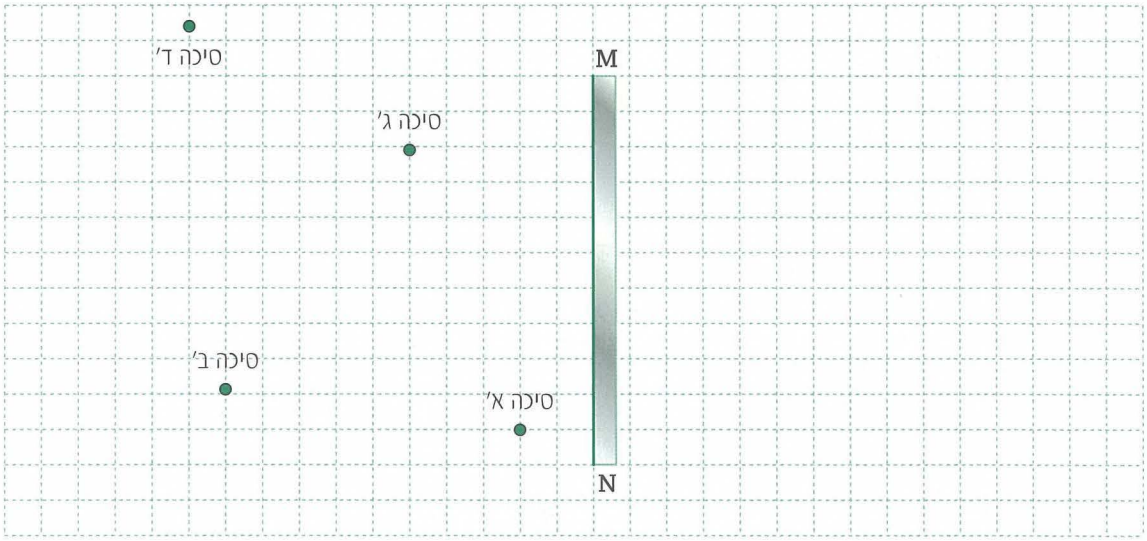
שאלות

11. הראה, על-פי ממצאי הניסוי, כי זווית הפגיעה של קרן שווה לזווית ההחזרה שלה.
12. סמן על גבי דף הנייר את גבולות האלומה שהופצה על ידי הסיכה הצבעונית ופגעה במראה, ואת גבולות האלומה שהוחזרה מן המראה.

13. א. סמן על גבי דף הנייר נקודה כלשהי שממנה אפשר היה לראות את דמות הסיכה הצבעונית במצב שבו המראה היתה מונחת על דף הנייר.

ב. סמן על גבי דף הנייר נקודה שממנה אי-אפשר היה לראות את דמות הסיכה הצבעונית במצב שבו המראה הייתה מונחת על דף הנייר.

14. תלמיד ערך ניסוי דומה לזה המתואר לעיל. בתרשים 7 מסומנים במבט מלמעלה שני זוגות של סיכות שבאמצעותן התלמיד איתר את דמות הסיכה הצבעונית, אך הסיכה צבעונית אינה מוצגת בתרשים.



תרשים 7: מערכת הניסוי ללא הצגת העצם

מצא את מקום הסיכה הצבעונית.



פעילות 2ה
איתור דמות באמצעות מראה שמודבקים עליה סרטים

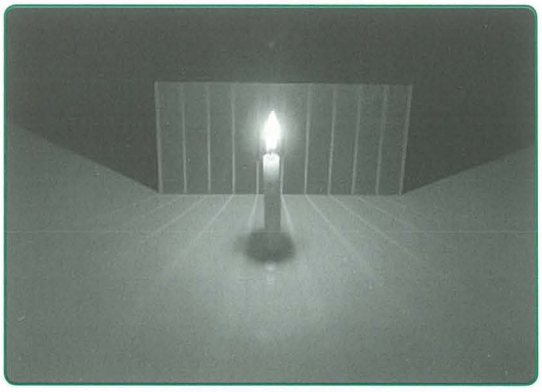
רשימת ציוד
(1) מראה מישורית שממדיה כ- 10 cm x 15 cm
(2) סרט הדבקה אטום לאור שרוחבו כ-1 ס"מ
(3) נר
(4) דף נייר בגודל A4
(5) מתקן שבעזרתו אפשר להציב את המראה על השולחן כך שהיא תהיה אנכית

הערה: עריכת הפעילות מחייבת **האפלת החדר.**

הרכבת מערכת הניסוי

הרכב את מערכת הניסוי המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:

א. הדבק לאורך המראה רצועות של סרט ההדבקה במרווחים של כ-1 מ"מ זה מזה.
ב. הנח את דף הנייר על השולחן.
ג. הנח את המראה על דף הנייר כך שרצועות סרט ההדבקה תהיינה מאונכות לשולחן, וכך שהמראה תחצה בקירוב את הדף לאורכו.
ד. הנח את הנר מול המראה במרחק של כ-10 ס"מ ממנה.



תרשים 1: מערכת הניסוי

עריכת הניסוי

1. הדלק את הנר, והחשך את החדר. התבונן באלומות האור המוחזרות מן המראה, והנצפות על דף הנייר.

עיבוד הממצאים

2. א. סמן על דף הנייר, באמצע הרוחב של כל אלומת אור המוחזרת מן המראה, שתי נקודות שהמרחק ביניהן גדול.
ב. הדלק את האור בחדר וכבה את הנר.
ג. מתח קו על דף הנייר לאורך הצד המחזיר של המראה, והסר את המראה מדף הנייר.
ד. הקף במעגל את הנר, וסמן באות O את מרכז המעגל.

3. סמן בקווים רציפים את הקרניים שהוחזרו מן המראה, ובקווים מקווקוים את ההמשכים אחורנית של הקרניים המוחזרות. האם המשכי הקרניים המוחזרות נחתכים בנקודה אחת?
4. סמן את מקום הדמות של להבת הנר באות I.
5. מתח קו בין הנקודות O ו- I. מהו מקום דמות להבת הנר ביחס למקום להבת הנר?

שאלות

6. לאחר שתלמיד ערך את הניסוי הקודם הוא הציב את הנר במקום שבו היתה מסומנת הנקודה I, ואת המראה הוא הציב כך שמשטחה המחזיר פנה לעבר הנר (כלומר בכיוון מנוגד לכיוון שבו המראה היתה מוצבת במהלך הניסוי הקודם), וכך שהמרווחים בין רצועות סרטי ההדבקה היו באותם המקומות שבהם הם היו קודם לכן.
   א. מה מייצגים הקווים המקווקים המסורטטים על הדף הלבן עבור המצב הנוכחי של מערכת הניסוי?
   ב. איך התלמיד יכול להיווכח באמצעות מערכת זו שזווית ההחזרה שווה לזווית הפגיעה?
7. על לוח **זכוכית** שממדיו זהים לאלה של המראה, התלמיד הדביק סרטי הדבקה אטומים לאור, בדיוק במקומות שבהם סרטי ההדבקה מודבקים למראה המישורית. הוא הציב את הנר בנקודה שעל דף הנייר המסומנת ב-I, את לוח הזכוכית במקום המקורי של המראה.
   הסבר מדוע אלומות האור העוברות במצב זה את לוח הזכוכית מתלכדות עם האלומות המוחזרות בניסוי המקורי.



פעילות 12
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Reflections of You

מקור ההדמיה: Cambridge Physics Outlet

מטרת ההדמיה: להציג את התנאי לכך שאדם יראה את דמותו במראה ולחקור את שדה הראייה.

המערכת המוצגת: שלושה עצמים שונים הניצבים לפני מראה מישורית אחת, או זוג מראות בזווית קבועה ביניהן ועין של צופה.

המערכת מאפשרת: לצפות בקרן הנפלטת מעצם אל המראה ומוחזרת מן המראה. אפשר לשנות את כוון הקרן הפוגעת במראה. דמות העצם מופיעה רק כאשר הקרן המוחזרת חודרת לאישון העין של הצופה. ההדמיה מיועדת לתלמידים בגילאים 12-6 אבל יכולה להועיל גם לתלמידי כתה י'.

הפעלת ההדמיה: הקלקה עם העכבר על העצם שולחת קרן מן העצם אל המראה. גרירת הקרן על ידי העכבר גורמת לשינוי כוון הקרן.

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 2:

מקור ההדמיה: האגף לתכנון ופיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך התרבות והספורט.

שם ההדמיה: טיול עם מראה.

מטרת ההדמיה: היכרות עם היבטים שונים של המראה. ההדמיה מיועדת לתלמידי חטיבת הביניים אך יכולה להועיל גם לתלמידי כתה י'.

המלצה: ★☆☆☆☆

הדמיה מספר 3:

מקור ההדמיה: The department of physics Kansas State University

מטרת ההדמיה: לקבל דמות של עצם הניצב לפני מראה מישורית.

המערכת המוצגת: מראה מישורית.

המערכת מאפשרת: להציב לפני המראה תמונה, אדם או את האות R ולקבל את דמותם ואת מהלך הקרניים. אפשר לשנות את דרגת הרזולוציה.

הפעלת ההדמיה: יש לבחור את האובייקט הרצוי ולסרוק אותו על ידי לחיצה על העכבר.

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: היווצרות דמות במראה מישורית.

מקור ההדמיה: המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

ההדמיה זהה להדמיה מספר 3 אך מתורגמת לעברית ויש בה שתי שאלות מחשבה.

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Miroir plan rotatif

מקור ההדמיה: אוניברסיטת מונקטון, קנדה

מטרת ההדמיה : חקירת השפעת הסיבוב של מראה מישורית על מקום הדמות.

מערכת המוצגת: עצם קווי ומראה מישורית. מוצג מהלך של שתי קרני אור המגיעות במאונך למראה מכל אחד מקצוות העצם.

המערכת מאפשרת: שינוי מקומו וגובהו של העצם ושינוי מקומה וכיוונה של המראה.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את מקומו ואת גובהו של העצם יש לקליק על ראש העצם ולגרור אותו. אפשרות אחרת היא להכניס את גודלו של המקום הרצוי בחלונית השנייה (מסומנת I) וללחוץ ENTER. כדי לשנות את מקום המראה יש להקליק על נקודת החיתוך שלה עם הציר ולגרור אותה. כדי לשנות את כיוון המראה יש להקליק על אחד מקצוות המראה ולסובב אותה או להכניס את גודל הזווית בין המראה לציר האופקי בחלונית הראשונה (מסומנת ang) וללחוץ ENTER.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 6:

שם ההדמיה: Multiple Reflections from two plane mirrors

מקור ההדמיה: אוניברסיטת טיוואן.

מטרת ההדמיה : חקירת הקשר שבין הזווית בין שתי מראות מישוריות לבין מספר הדמויות הנוצרות.

המערכת המוצגת: עצם נקודתי/קווי הנמצא בין שתי מראות מישוריות. המערכת מציגה את הדמויות הנוצרות. כאשר מקליקים על ראש העצם מתקבל גם מהלכן של שתי קרניי אור. אם מקליקים פעמיים על הנקודה הצהובה מתקבלת מהלך של אלומת קרניים שמקורן בנקודה זו.

המערכת מאפשרת: שינוי מקומו ואורכו של העצם ושינוי הזווית בין שתי המראות.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את מיקומו של העצם יש להקליק על הנקודה הצהובה עם מסגרת אדומה ולגרור אותה. כדי לשנות את אורכו של העצם יש להקליק על הקצה של הקטע הכחול ולגרור אותו. כדי לשנות את הזווית בין שתי המראות יש להקליק על הנקודה הירוקה ולגרור אותה.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 7:

שם ההדמיה: Ray Optics, Light Reflection, More Rays

מטרת ההדמיה : חקירת החזרת האור ממראה מישורית.

המערכת המוצגת: ההדמיה מציגה מהלך של עשר קרניים המגיעות ממקור אור נקודתי ופוגעות במראה מישורית. בכל נקודת פגיעה מוצגים הקרניים המוחזרות והאנכים.

המערכת מאפשרת: שינוי מיקומו של מקור האור.

הפעלת ההדמיה: אפשר לשנות את מיקומו של המקור תוך הקלקה עליו בעזרת העכבר וגרירתו.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 8:

שם ההדמיה: Reflections

מקור ההדמיה: אוניברסיטת אלברטה, קנדה

מטרת ההדמיה : חקירת היווצרות הדמות הנוצרת על ידי מראה מישורית.

המערכת המוצגת: עצם (נר דולק) הנמצא מול מראה מישורית.

המערכת מאפשרת: מוצגות שתי קרניים שנפלטות מראש הלהבה (אחת מהן מאונכת למראה) והחזרתן מהמראה המישורית. אפשר לשנות את מקום הנר ולמדוד מרחקים וזוויות. אפשר להציג את האנך בנקודת הפגיעה.

הפעלת ההדמיה: את הנר מזיזים בעזרת הלשונית בצד שמאל למטה. כדי למדוד מרחקים יש לסמן את המשבצת "Show Ruler" ולהזיז את הסרגל לפי הצורך. כדי למדוד זוויות יש לסמן את המשבצת " Protractor" ולהזיז את מד הזווית שמופיע לפי הצורך. כדי להציג/למחוק את האנך יש לסמן /להוריד את הסימן של המשבצת "Show Norml".

המלצה: ★★★★☆

פרק ג: פעילות מספר 1

התפשטות אור באוויר לעבר פרספקס ולהיפך

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: פתיח ללימוד הנושא "חוק סנל" בפרק ג.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב.
מטרת הפעילות: הכרת החוקים המתארים את מהלך אור המתפשט באוויר ופוגע בפרספקס, ולהפך: את מהלך אור המתפשט בפרספקס ומגיע למשטח גבול עם אוויר. מטרה נוספת היא יישום חוקים אלה.



א. אור מתפשט באוויר. מהם החוקים המתארים את כיוון התפשטות האור לאחר שהוא פוגע במשטח גבול עם פרספקס?
ב. אור מתפשט בפרספקס. מהם החוקים המתארים את כיוון התפשטותו האור לאחר שהוא פוגע במשטח גבול עם אוויר?



פעילות 1א

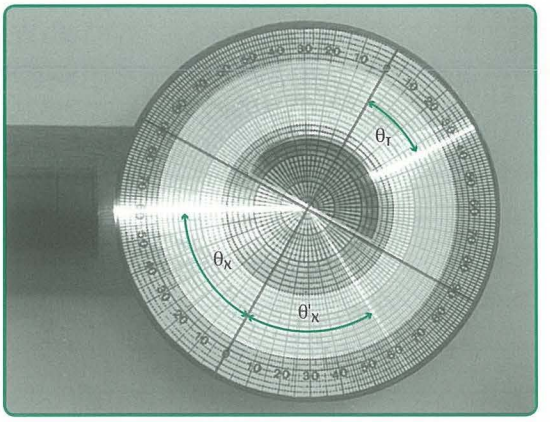
ניתוח עם חצי דסקית עשויה מפרספקס

רשימת הציוד

(1) מערכת אופטיקה גאומטרית - זו עם הפנס ה"טלסקופי" או זו עם פנס הלייזר. רשימת מרכיבי המערכת מפורטת בנספח א.
(2) חצי דסקית עשויה מפרספקס (דמויית האות D)
(3) מנסרה משולשת ישרת זווית ושוות-שוקיים עשויה מפרספקס
הערה: עריכת הפעילות מחייבת **האפלה**.

הרכבת מערכת הניסוי

הרכב את מערכת הניסוי המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:
א. הרכב את מערכת האופטיקה הגאומטרית (ראה נספח א), והפעל את הפנס.
ב. אם הינך משתמש בפנס "הטלסקופי" עם אור לבן - הרכב על חזית הפנס תריס עם חריץ יחיד כך שהחריץ יהיה אנכי, והסט, במידת הצורך, את הפנס עד שאלומתו תחלוף בדיוק במרכז הנייר הפולרי.
ג. הנח את חצי הדסקית העשויה מפרספקס (שתכונה בהמשך בקיצור "דסקית הפרספקס") במרכז דסקית העץ, כך שהדופן המישורית של דסקית הפרספקס תתלכד עם הקו של הנייר הפולרי המסומן בקצותיו ב-°90-, °90, ומרכז דסקית הפרספקס (המסומן בקו דק החרוט בה) יהיה בדיוק במרכז הנייר הפולרי. (במצב זה אלומת האור תפגע במרכז דסקית הפרספקס).
במהלך הניסוי אין להסיט את הפנס, ואין להזיז את דסקית הפרספקס על פני הלוח האופטי.



תרשים 1: מערכת הניסוי (עם פנס "טלסקופי")

הערה: החל ממקום זה, עד שיאמר אחרת, **נתעניין במהלך האור רק בעוברו דרך הדופן המישורית של דסקית הפרספקס** ולא דרך הדופן הגלילית שלה. אם התקנת את המערכת על-פי ההנחיות - האור לא ישנה את כיוון התפשטותו בדופן הגלילית; עניין זה ידון בשאלה 17.

חלק ראשון: התפשטות אור באוויר לעבר פרספקס

האם אור משנה את כיוון התפשטותו כשעובר מאוויר לפרספקס?

1. סובב את דסקית העץ למצב שבו אלומת האור תפגע בדופן המישורית של דסקית הפרספקס, וזווית הפגיעה תהיה **שונה** מ-°0.
   מה קורה לכיוון התפשטות האור לאחר פגיעתו בפרספקס?
   (שים לב שלאחר הפגיעה בפרספקס האלומה מתפצלת לשתי אלומות; התייחס בתשובתך לשתיהן).
2. שנה כמה פעמים את זווית הפגיעה של האור בדופן המישורית של דסקית הפרספקס ($\theta_{א}$), על-פי הערכים הרשומים בטבלה 1.
   לכל זווית פגיעה באוויר, ($\theta_{א}$), מדוד את זווית השבירה בפרספקס ($\theta_{פ}$) (האות פ מציינת שהאור מתפשט בפרספקס) ואת זווית ההחזרה (θ') (קרא את הזוויות בעזרת השנתות המסומנות בשולי הנייר הפולרי). לאחר מכן סובב את דסקית העץ וחזור על המדידה כך שהקרן תפגע בפרספקס מהצד השני של האנך. אם יש הבדל בין שתי זווית השבירה - חשב את זווית השבירה הממוצעת, וכך לגבי זווית ההחזרה. העתק את טבלה 1 ורשום בה את ערכי הזוויות הממוצעות.
3. בחן האם עוצמת האור המוחזר הולכת וגדלה ככל שגדלה זווית הפגיעה, הולכת וקטנה או אינה משתנה.
4. סרטט דיאגרמת פיזור (נקודות במערכת צירים) של זווית השבירה, $\theta_{פ}$, כפונקציה של זווית הפגיעה, $\theta_{א}$.
5. קבע, על-פי דיאגרמת הפיזור, האם הקשר בין זוויות השבירה ובין זוויות הפגיעה הוא לינארי.
6. הוסף לטבלה 1 את ערכי $\sin\theta_{א}$ ואת ערכי $\sin\theta_{פ}$.

זווית הפגיעה באוויר משני צדדי האנך $\theta_א(^\circ)$	זווית השבירה הממוצעת בפרספקס $\theta_פ(^\circ)$	זווית ההחזרה הממוצעת באוויר $\theta'(^\circ)$	$\sin\theta_א$	$\sin\theta_פ$
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
85				

טבלה 1: תוצאות של מדידות ושל חישובים

7. א. סרטט דיאגרמת פיזור של $\sin\theta_פ$ כפונקציה של $\sin\theta_א$.
   ב. הוסף לדיאגרמת הפיזור את הישר המתאים לה ביותר.
   ג. מצא את משוואת הקו הישר שסרטטת.
   ד. הראה כי אפשר לרשום את משוואת הקו באופן: $\frac{\sin\theta_א}{\sin\theta_פ} = n$
   כאשר n גודל קבוע שערכו בערך 1.5.

8. השלם את הכללים הבאים:
   כאשר אלומת אור מתפשטת באוויר ופוגעת במשטח גבול עם פרספקס אזי:
   i) כאשר זווית הפגיעה שווה לאפס האלומה מתפצלת לשתיים:
      1) חלק מהאור מוחזר על פי הכלל: ...
      2) חלק מהאור עובר לפרספקס בכיוון ...
   ii) כאשר זווית הפגיעה שונה מאפס, האלומה הפוגעת מתפצלת לשתיים:
      1) חלק מהאור מוחזר על פי הכלל: ...
      2) חלק מהאור עובר לפרספקס וכיוון התפשטותו משתנה (כלומר האור נשבר), כך שזווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה, ומתקיים הכלל: ...

9. א. בעזרת הקשר המתמטי שמצאת בסעיף ז7, הראה כי הזווית שאליה שואפות זוויות השבירה בפרספקס כאשר זוויות הפגיעה באוויר שואפות ל-90° היא בקירוב בת 42°. זווית זו נקראת **זווית הגבול** או **הזווית הקריטית**, והיא מסומנת ב-θ_c (קריטי באנגלית - critical).
   ב. האם זווית השבירה שמדדת המתאימה לזווית פגיעה בת 85° (טבלה 1) קרובה ל- 42°?

חלק שני: התפשטות אור בפרספקס לעבר אוויר

10. סובב את דסקית העץ כך שאלומת האור תחדור לדסקית הפרספקס דרך המשטח הגלילי שלה. גם עתה נתעניין רק במעבר אור דרך המשטח המישורי של דסקית הפרספקס (הפעם מפרספקס לאוויר).

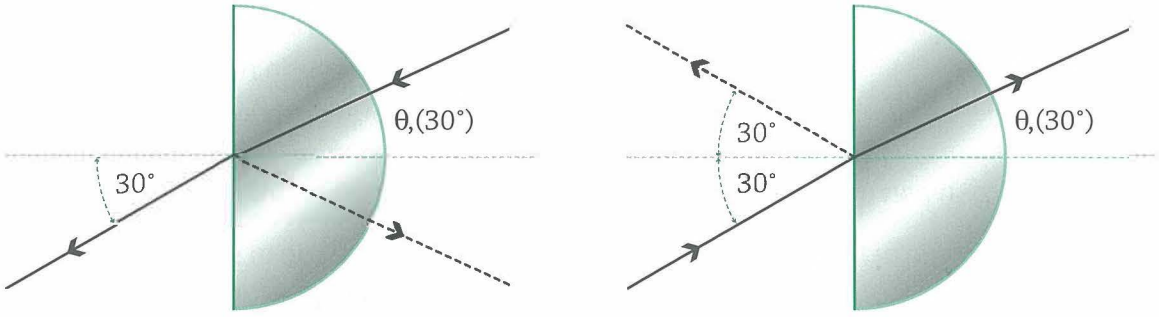
11. קרא מטבלה 1 את ערכה של זווית השבירה בפרספקס המתאימה לזווית הפגיעה באוויר בת 30°; נסמן זווית שבירה זו ב- $\theta_{פ}(30°)$.

קבע את דסקית העץ כך שזווית הפגיעה בפרספקס תהיה שווה ל-$\theta_{פ}(30°)$. מדוד את זווית השבירה באוויר פעמיים - פעם אחת מכל צד של האנך, וחשב את זווית השבירה הממוצעת.

האם זווית השבירה שווה בקירוב ל-30°?

פסק זמן למחשבה

נוכחת ודאי לדעת כי אם זווית הפגיעה באוויר היא בת 30° וזווית השבירה בפרספקס היא $\theta_{פ}(30°)$ (תרשים 2א), אז כאשר זווית הפגיעה בפרספקס היא $\theta_{פ}(30°)$ מתקבל כי זווית השבירה באוויר היא בת 30° (תרשים 2ב). במילים אחרות עבור זווית באוויר בת 30° **מהלכן של הקרן הפוגעת ושל הקרן הנשברת הוא הפיך**.



א. מעבר אור מאוויר לפרספקס

ב. מעבר אור מפרספקס לאוויר

תרשים 2: מהלכן של קרן פוגעת ושל קרן נשברת הוא הפיך

האם אפשר שגם קרן פוגעת ושל קרן נשברת הוא הפיך בכל הזוויות?

נענה על השאלה באמצעות ניסוי.

המשך הניסוי

12. במצב שבו אלומת האור חודרת לדסקית הפרספקס דרך הדופן הגלילית שלה, קבע את זוויות הפגיעה בפרספקס (בדופן המישורית) בערכים המופיעים בטבלה 2, ומדוד בכל פעם את זווית השבירה (משני צדדי האנך) באוויר ואת זווית ההחזרה (משני צדדיו האנך), ורשום בטבלה 2 את הערכים הממוצעים.

$\theta_{פ}(°)$	$\theta_{א}(°)$	$\theta_{פ}'(°)$	$\sin\theta_{פ}$	$\sin\theta_{א}$
0				
10				
20				
30				
40				

טבלה 2: תוצאות של מדידות ושל חישובים

13. חשב את ערכי $\sin\theta_{ג}$ ואת ערכי $\sin\theta_{א}$, ורשום אותם במקומות המתאימים בטבלה 2. הוסף את הנקודות לגרף שסרטטת בשאלה 7. האם הקו הישר בגרף מתאים גם לנקודות אלה? אם כן - מה משמעות הדבר?

14. ראינו בסעיף 13 לעיל כי מהלך קרן פוגעת וקרן נשברת הוא הפיך. לכל זווית $\theta_{א}$ בתחום $0 \le \theta_{א} < 90°$ מתאימה באופן חד-חד ערכי זווית בפרספקס בתחום $0 \le \theta_{ג} < \theta_c$.

לכל זווית בפרספקס שגדולה מ- θ_c (גדולה מ-42°) אין זווית מתאימה באוויר. מה יקרה, אם כן, כאשר אור יתפשט בפרספקס בזווית גדולה מ- 42°? הרי אין לזווית כזו "בת זוג" מתאימה באוויר. בדוק זאת באמצעות מערכת הניסוי, ורשום את ממצאי בדיקה זו.

סיכום

הליך שבעזרתו תוכל לקבוע את מהלך אור בהתפשטותו מאוויר לפרספקס ומפרספקס לאוויר

א. כל עוד האור מתפשט באותו תווך - המשך את מהלך הקרן בקו ישר.

ב. כאשר אור מתפשט באוויר ומגיע למשטח גבול עם פרספקס, נהג על-פי הנחיות אלה:

(1) זהה באזור הפגיעה של הקרן את משטח הגבול המפריד בין האוויר לפרספקס

(2) עלה אנך למשטח הגבול בנקודה שבה הקרן פוגעת בו.

(3) זהה וסמן את זווית הפגיעה.

(4) קבע את ערכה של זווית הפגיעה באוויר - $\theta_{א}$.

(i) אם $\theta_{א} = 0$: המשך את הקרן בפרספקס בכיוון התפשטותה באוויר.

(ii) אם $\theta_{א} \ne 0$: סרטט את הקרן הנשברת כך ש- $\theta_{א} > \theta_{ג}$ וקרן מוחזרת (החזרה חלקית) כך ש-$\theta' = \theta_{א}$.

ג. כאשר אור מתפשט בפרספקס ומגיע למשטח גבול עם אוויר, נהג על-פי הנחיות אלה:

(5) קבע את ערכה של זווית הפגיעה בפרספקס - $\theta_{ג}$.

(i) אם $\theta_{ג} = 0$: המשך את הקרן באוויר בכיוון התפשטותה בפרספקס.

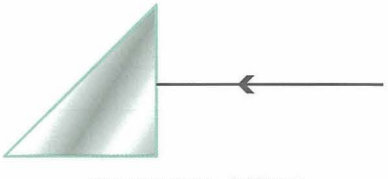
(ii) אם $0 < \theta_{ג} < \theta_c$: סרטט קרן נשברת כך ש- $\theta_{ג} < \theta_{א}$, וקרן מוחזרת (החזרה חלקית) כך ש-$\theta' = \theta_{ג}$.

(iii) אם $\theta_{ג} > \theta_c$: סרטט את הקרן כך שהיא תוחזר במלואה לפרספקס, על-פי חוקי ההחזרה.

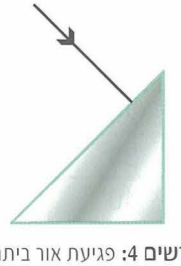
חלק שלישי: יישום חוקי מעבר מאוויר לפרספקס ומפרספקס לאוויר

15. קרן פוגעת בדופן של מנסרה משולשת ישרת זווית ושוות-שוקיים עשויה מפרספקס, כך שזווית הפגיעה שווה לאפס, כמתואר בתרשים 3.

סרטט, לפני שתבחן זאת באופן ניסויי, מה יהיה מהלך האור במנסרה עד צאתו ממנה (העזר בהליך לקביעת מהלך אור המתואר לעיל). בחן את תשובתך באופן ניסויי.



תרשים 3: פגיעת אור בניצב



תרשים 4: פגיעת אור ביתר

16. ענה על שאלה 15 לגבי המצב המתואר בתרשים 4.

שאלות

17. אלומת אור צרה המתפשטת באוויר פוגעת במרכזה של חצי דסקית עשׂויה מפרספקס בזווית פגיעה שונה מאפס וחלקה עובר לפרספקס. הסבר מדוע יציאת האור מהפרספקס לאוויר דרך המשטח הגלילי של דסקית הפרספקס אינו מלווה בשבירה.

18. מהן שתי התופעות שהכרנו עד כה, שבהן אור משנה את כיוון התפשטותו?

שאלות אינטגרטיביות לתלמידים שסיימו ללמוד את הנושא "מודלים של האור". מומלץ לתלמידי י"ב כהכנה לבחינת הבגרות במעבדה.

19. כאשר הכנת את מערכת הניסוי, התקנת על חזית הפנס תריס עם חמישה חריצים. הוצאת והכנסת את הצינור "הטלסקופי" כדי שחמש אלומות הקרניים שנפלטו מהתריס תהיינה מקבילות. מהו הדבר המאפיין את מצב ההדדי של שני הצינורות הטלסקופיים הגורם לכך שחמש האלומות בוקעות כשהן מקבילות?

20. הסבר את תופעת שבירת האור באמצעות -
א. המודל החלקיקי של האור. מה נובע מהמודל החלקיקי של האור לגבי גודל מהירות האור בפרספקס לעומת גודל מהירותו באוויר? הסבר.
ב. מודל הגלים המכניים של האור. מה נובע ממודל הגלים המכניים לגבי גודל מהירות האור בפרספקס לעומת גודל מהירותו האור באוויר? הסבר.

21. אור מונוכרומטי מתפשט באוויר ופוגע במשטח גבול עם פרספקס. אילו מבין הפרמטרים שלפניך משתנים כתוצאה מן המעבר:
א. תדירות האור
ב. אורך הגל של האור
ג. גודל המהירות של האור
ד. כיוון התפשטות האור

22. האם גלים אלקטרומגנטיים בעלי אורכי גל שונים מתפשטים באותו גודל מהירות -
א. בריק? ב. בחומר?



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Reflection/Refraction

מקור ההדמיה: National Taiwan Normal University

מטרת ההדמיה: ללמוד על מהלך אלומה מקבילה של אור מאוויר למים וממים לאוויר.

המערכת המוצגת: פנס הפולט אלומה מקבילה של אור באוויר, והאור מתפשטת לעבר מים, או מהלך אלומת האור כך שהפנס נמצא במים והאור מתפשט לעבר אוויר (משטח הגבול בכל אחד משני המקרים הוא מישורי).

ההדמיה מאפשרת: לגרור את הפנס למקומות שונים בתוך שבו הוא נמצא מלכתחילה - על ידי גרירת הפנס בחלק הכחול שלו, ולסובב את הפנס באמצעות גרירת החלק הירוק שלו. הקשה על המקש הימני של העכבר גורמת להצגת אנך למשטח הגבול בין שני התווכים. הקשה נוספת על מקש זה גורמת להעלמות האנך.

המלצה: ★★★½☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Snell's Law

מקור ההדמיה: Simor Fraser University

מטרת ההדמיה: ללמוד על מהלך אלומת קרניים הנפלטות מעצם נקודתי, ועוברות לתווך אחר.

המערכת המוצגת: מקור אור נקודתי הפולט אור לכיוונים שונים, ושני תווכים שונים (באחד מהם נמצא המקור).

ההדמיה מאפשרת: להזיז את מקור האור לכל נקודה במשטח ההדמיה, לבחור מתוך רשימה את כל אחד משני התווכים, לקבוע את מספר הקרניים שיוצגו, להציג ולהעלים את האנכים למשטח הגבול בנקודות הפגיעה של הקרניים.

המלצה: ★★★★½

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Refraction of Light

מקור ההדמיה: אוניברסיטת מיסורי

מטרת ההדמיה : חקירת שבירת אור במעבר בין שני חומרים שונים.

המערכת המוצגת: פנס שפולט קרן אור ושני חומרים שקופים. הגבול בין שני החומרים הוא מישורי. מוצגים הערכים של זווית הפגיעה ושל זווית השבירה.

המערכת מאפשרת: שינוי זווית הפגיעה ושינוי החומרים דרכם האור עובר.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את מקום הפנס יש להקליק עליו ולגרור. כדי לשנות את סוג החומר השקוף יש ללחוץ

על שם החומר המבוקש מהרשימה המוצגת. אם החומר אינו מופיע ברשימה, אפשר להקליד את מקדם השבירה שלו בחלונית.

המלצה: ★★★½☆

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: הדגמת חוק סנל לשבירת האור במעבר מתווך לתווך

מקור ההדמיה: "The Laser Adventure"

מטרת ההדמיה : חקירת מעבר האור מתווך אחד לשני. מדובר בדף פעילות בעברית, סביב ההדמיה.

המערכת המוצגת: קרן אור העוברת מתווך אחד לתווך אחר ונשברת דרך משטח מישורי אנכי. מוצג האנך בנקודת הפגיעה וגודלן של זווית הפגיעה וזווית השבירה.

המערכת מאפשרת: שינוי גודלה של זווית הפגיעה ושינוי שני החומרים שדרכם האור עובר.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את גודל הזווית יש להקליק על הקרן ולגרור אותה. כדי לשנות את מקדמי השבירה יש להשתמש בלשוניות המתאימות.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Light Refraction

מקור ההדמיה: אוניברסיטת מונקטון, קנדה

מטרת ההדמיה : חקירת מעבר קרן אור דרך שלוש שכבות מקבילות שקופות.

המערכת המוצגת: קרן אור העוברת דרך שלוש שכבות מקבילות.

המערכת מאפשרת: שינוי זווית הפגיעה ושינוי החומרים שדרכם האור עובר.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את זווית הפגיעה יש להקליק על אחת משתי הנקודות הצהובות ולגרור. כדי לשנות את סוג החומרים יש להקליק על שם החומר ולבחור מהרשימה.

המלצה: ★★★★☆

פרק ג: פעילות מספר 2
עצם ודמותו הנוצרת על-ידי עדשה מרכזת

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: כפתיח ללימוד תת הנושא "הקשר בין מרחק עצם מעדשה ומרחק דמותו מן העדשה" בפרק ג.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב
מטרת הפעילות: ללמוד על הדמות הנוצרת על ידי עדשה מרכזת.



א. איך אפשר למדוד את רוחק המוקד של עדשה מרכזת?
אור המופיע מעצם עובר דרך עדשה מרכזת.
ב. כיצד אפשר לראות את דמות העצם הנוצרת על-ידי העדשה?
ג. מה הקשר (הכמותי) בין מרחק העצם מן העדשה לבין מרחק הדמות ממנה?
ד. מה הם מאפייני הדמות כתלות במרחק העצם מן העדשה?



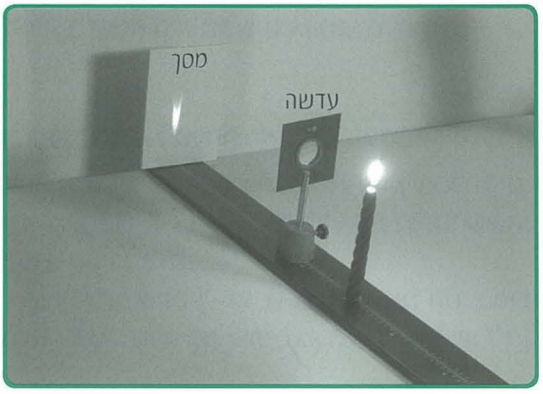
פעילות 2א
ניסוי עם עדשה מרכזת

רשימת הציוד

(1) עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה הוא בין 10 ס"מ ל- 20 ס"מ.
(2) ספסל אופטי הכולל סרגל וַנים להצבת רכיבים אופטיים.
אם לא עומד לרשותך ספסל אופטי - השתמש במקומו ברכיבים המפורטים בסעיף (3) שלהלן.
(3) א. סרגל שאורכו 1 מטר לפחות;
ב. מסך (זכוכית מט או דף נייר לבן);
ג. כן לעדשה;
ד. כן למסך.
(4) נר + קופסת גפרורים.
(5) א. נורה קטנה המופעלת על-ידי מתח של כ-3.5 וולט.
ב. מקור מתח להפעלת הנורה.
(6) א. פנס (למשל זה של מערכת האופטיקה הגאומטרית).
ב. שני תֵילים מוליכים.
ג. מקור מתח המתאים להפעלת הפנס.
(7) פיסת נייר שממנה גזורה צורה לא סימטרית, למשל האות F, שגובהה כ- 2-3 ס"מ. נוח לקַבֵּע את פיסת הנייר במסגרת המשמשת להחזקת מסננים צבעוניים (ציוד רחובות מספר קטלוגי 0670) לאחר שהמסנן הצבעוני המצוי בה הוסר (או במסגרת המשמשת לסדקים לאופטיקה - ציוד רחובות מספר קטלוגי 0590).

הרכבת מערכת הניסוי

הרכב את מערכת הניסוי המתוארת בתרשים 1, על-פי הנחיות אלה:
הצב את העדשה ואת המסך על הספסל האופטי בעזרת כנים מתאימים. אם אינך משתמש בספסל אופטי - הנח על השולחן את הסרגל ואת שני הכנים לאורכו.



תרשים 1: מערכת הניסוי

חלק ראשון: מדידה ישירה של רוחק המוקד של עדשה מרכזת

כדי למדוד בצורה ישירה את רוחק המוקד של העדשה שברשותך הפנה את הספסל האופטי לעבר עץ או בניין הנראה בעד חלון, כאשר העדשה ממוקמת בקצה הספסל הפונה אל החלון, והמסך ממוקם מאחורי העדשה. שנה את מרחק המסך מן העדשה עד שדמותו של העצם (עץ או בניין) תראה על המסך.

1. א. מדוד את המרחק בין המסך לבין העדשה.
   ב. הסבר מדוע המרחק שמדדת הוא בקירוב מציין רוחק המוקד של העדשה.

חלק שני: ראיית דמות הנוצרת על-ידי עדשה מרכזת

מקם את העדשה באמצע הסרגל, ואת הנר לאורך הסרגל, **כך שמרחקו מהעדשה יהיה גדול מרוחק המוקד של העדשה** והדלק את הנר. העדשה יוצרת דמות של להבת הנר.

איך אפשר לראות את פאות להבת הנר?

2. א. שנה את מרחק המסך מן העדשה (כשהוא נמצא בצד העדשה שבו לא נמצא הנר) עד שעל המסך תראה דמות החדה של הלהבה. זו דרך אחת לצפות בדמות.
   ב. סמן את המקום שבו נמצאת דמות להבת הנר, סלק את המסך, והתבונן לעבר העדשה כאשר עיניך נמצאות לאורך ציר העדשה (או בקרבתו), במרחק של כ-30 - 50 ס"מ מהדמות. צפה בדמות להבת הנר "התלויה באוויר" זו דרך שנייה לצפות בדמות.

   הערות:

   (i) אם הדמות גדולה מדי כך שאי-אפשר לראות אותה בשלמותה - החזר את המסך, הרחק את הנר מן העדשה, והזז את המסך עד שתתקבל עליו דמות שגודלה הוא מסדר גודל של להבת הנר.

   (ii) אם אינך מצליח לאתר את הדמות (בהתבוננות ללא מסך), הסתייע בחבר. כאשר צופה רואה ללא מסך דמות ממשית של להבה - מתקבל על עינו כתם אור. בקש, אם כן, מהחבר שיינחה אותך לאיזה כיוון עליך להסיט את ראשך, כדי שכתם האור יפגע בעיניך.

   ג. האם הדמות שצפית בה (שאלות א ו-ב לעיל) היא ממשית או מדומה? נמק.

3. קרב את הנר לעדשה **כך שמרחקו ממנה יהיה הפעם קטן מרוחק המוקד של העדשה**. גם הפעם העדשה יוצרת דמות של להבת הנר.
   א. הצב את המסך לאורך הסרגל בצד העדשה שבו לא נמצא הנר, ושנה באיטיות את מרחקו מן העדשה. האם במקרה זה מתקבלת דמות להבת הנר על המסך?
   ב. סלק את המסך, והתבונן לעבר העדשה כאשר עינך נמצאת בקרבת ציר העדשה. צפה בדמות להבת הנר.
   ג. האם הדמות שצפית בה (שאלה ב לעיל) היא ממשית או מדומה? נמק.

חלק שלישי: מרחק דמות מעדשה כפונקציה של מרחק העצם מן העדשה

4. תחילה ערוך את הניסוי עבור דמויות ממשיות. לשם כך הצב את הנר במרחקים, u, שונים מהעדשה, כך ש- $u > f$ ובכל פעם שנה את מרחק המסך מן העדשה עד שתראה עליו את דמותו של הנר. מדוד את u ואת המרחק v של הדמות מן העדשה, ורשום את ערכיהם בטבלה.
   אם רוחק המוקד של העדשה שברשותך שווה ל- 10 ס"מ, הצב את הנר במרחקים u הרשומים בטבלה 1. אם רוחק המוקד **אינו** 10 ס"מ, הצב את הנר במרחקים שונים מן העדשה כך שכל מרחק יהיה גדול מרוחק המוקד של העדשה.

דמות ממשית/מדומה	u(cm)	v(cm)	$\frac{1}{u}(cm^{-1})$	$\frac{1}{v}(cm^{-1})$
ממשית	50			
ממשית	40			
ממשית	30			
ממשית	20			
ממשית	15			
מדומה	7			
מדומה	5			

טבלה 1: ממצאי ניסוי ותוצאות חישובים

5. עתה המשך את הניסוי עבור דמויות מדומות: נוח לערוך חלק זה של הניסוי עם מקור אור נקודתי, לשם כך החלף את הנר בנורה שמופעלת על-ידי מתח של כ-3.5 וולט.

6. סמן על המסך שני קווים מקבילים שהמרחק ביניהם כפול מקוטר העדשה שדרכו עובר אור.

7. אם רוחק המוקד של העדשה שברשותך הוא 10 ס"מ הצב את הנורה כך שמרחקה מן העדשה יהיה 7 ס"מ (אם רוחק המוקד **אינו** 10 ס"מ, הצב את הנורה כך שמרחקה מן העדשה יהיה קטן מעט מרוחק המוקד של העדשה). מהעבר השני של העדשה הצב את המסך. הזז באיטיות את המסך לאורך הספסל האופטי עד שכתם האור הנוצר עליו ימלא את התחום שבין שני הקווים המקבילים שסרטטת (שים לב, כתם אור זה **אינו** הדמות של הנורה).

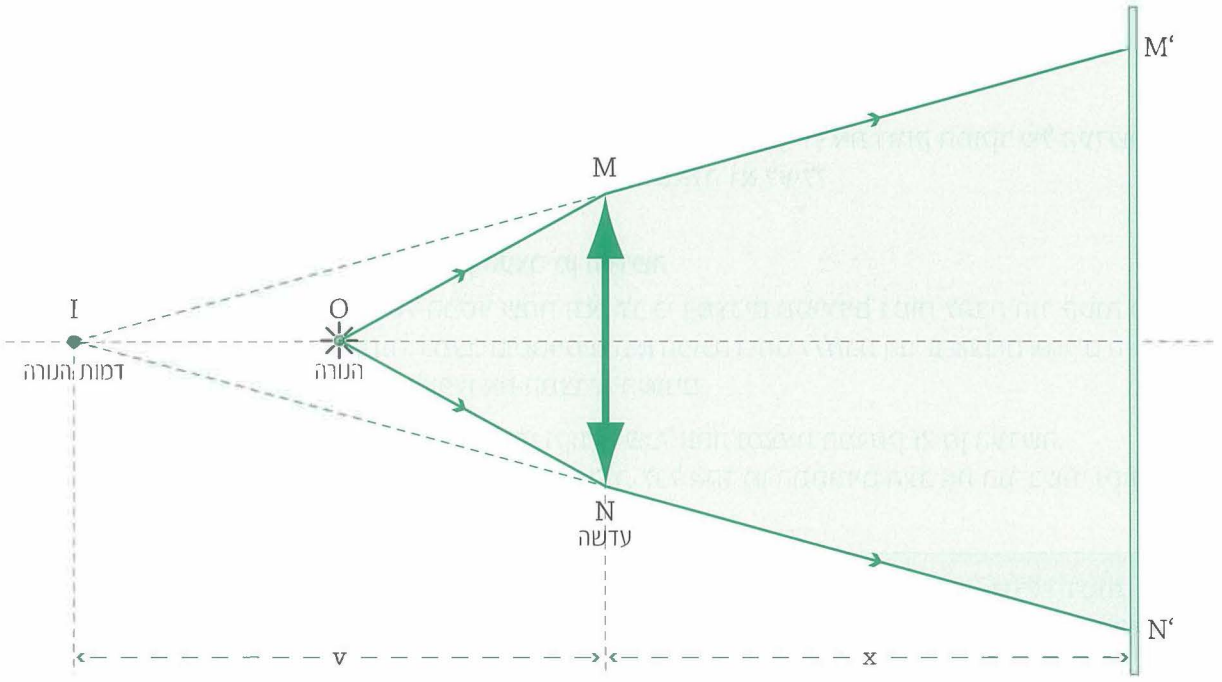
נסביר מדוע במצב זה מרחקי המסך והדמות מן העדשה שווים זה לזה:

תרשים 2 הוא מבט מלמעלה של מערכת הניסוי. O הוא חוט הלהט של הנורה המשמש עצם נקודתי. OM ו- ON הם גבולות גיזרת האלומה הפוגעת בעדשה MN. העדשה מרכזת את האור, אך למרות זאת אחרי שהאלומה עוברת דרך

העדשה היא מתפשטת כאלומה מתפזרת, הפוגעת במסך בין הגבולות 'M'N, כך ש-'M'N=2MN. נקודות החיתוך I של גבולות האלומה הנשברת 'MN ו-'NN היא הדמות של העצם O. מרחק הדמות מן העדשה הוא v.

מרחק המסך מן העדשה הוא x.

$\Delta IMN \approx \Delta IM'N'$ לכן $\frac{v}{v+x} = \frac{MN}{M'N'} = \frac{1}{2}$ לכן: $x = v$.



תרשים 2: מדידת מרחק הדמות המדומה מן העדשה

8. מדוד את המרחק בין המסך והעדשה, ורשום את ערכו בטבלה 1 עם הסימן האלגברי המתאים, במקום המתאים שבחלק הטבלה העוסק בדמויות מדומות.
9. בצע שוב את ההנחיות שבשאלות (7) ו-(8) כאשר הפעם מרחק הנר מן העדשה הוא 5 ס"מ.

תזכורת מן התאוריה (ראה גם עמוד 167 בספר הלימוד).

על סמך חוקי השבירה אפשר להוכיח כי כאשר עצם ניצב במרחק u מעדשה מרכזת דקה שרוחק המוקד שלה הוא f, אז העדשה יוצרת דמות של העצם במרחק v מן העדשה, כך שמתקיים:

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \qquad (1)$$

v חיובי כאשר הדמות ממשית, ושלילי כאשר הדמות מדומה. לפיכך, בחן את הסימנים האלגבריים של v שרשמת בטבלה 1.

בחינת ההתאמה בין ממצאי הניסוי לבין התאוריה

10. סרטט דיאגרמת פיזור (נקודות במערכת צירים) המתארת את מרחק הדמות מן העדשה, v, כפונקציה של מרחק העצם מן העדשה, u. הערך על-פי הגרף את רוחק המוקד של העדשה.

11. א. על סמך קשר (1) הסבר מדוע הקשר של 1/u כפונקציה של 1/v הוא לינארי.
ב. על סמך קשר (1) לעיל קבע מהו שיפוע הגרף של 1/v כפונקציה של 1/u.

12. א. הוסף לטבלה 1 את הערכים של 1/u ושל 1/v.
ב. על סמך טבלה 1 סרטט דיאגרמת פיזור של 1/v כפונקציה של 1/u.
ג. הוסף לדיאגרמת הפיזור את הישר המתאים לה ביותר.
ד. מצא את משוואת הקו הישר שסרטטת.
ה. מצא (ישירות על סמך הגרף, או על סמך המשוואה שמצאת בסעיף ד) את רוחק המוקד של העדשה. האם תוצאת החישוב שווה בקירוב לרוחק המוקד שמצאת בשאלה 1א לעיל?

חלק רביעי: מאפייני הדמות כתלות של מרחק העצם מן העדשה

כאשר ערכת את החלקים הקודמים של הניסוי שמת ודאי לב כי במצבים מסוימים דמות להבת הנר קטנה מלהבת הנר, ובמצבים אחרים היא גדולה ממנה. במצבים מסוימים היא הפוכה ביחס ללהבת הנר ובמצבים אחרים היא ישרה ביחס אליה. בחלק זה של הניסוי נרצה לאפיין את המצבים השונים.

13. א. סמן לאורך הסרגל את מוקדי העדשה, ושתי נקודות שכל אחת נמצאת המרחק 2f מן העדשה.
ב. בטבלה 2 מוגדרים תחומים שונים של הימצאות הנר. לכל אחד מן התחומים הצב את הנר בשתי נקודות שונות.

דמות ממשית/מדומה	תחום המצאות להבת הנר	כיוון הדמות בציר האנכי ביחס לכיוון להבת הנר ישרה/הפוכה	גודל הדמות מוגדלת/מוקטנת/שווה
ממשית	$u > 2f$		
ממשית	$u = 2f$		
ממשית	$f < u < 2f$		
מדומה	$u < f$		

טבלה 2: מאפייני הדמות במצבים שונים

השלם את העמודה השלישית והרביעית בטבלה 2.

14. במצב שבו מתקבלת על המסך דמות ממשית - הדבק סרט הדבקה אטום לאור על העדשה, כך שהוא יכסה בערך מחצית משטחה. צפה כיצד הדבר משפיע על הדמות. הסבר את התוצאה.
הדמות הממשית היא הפוכה בכיוון הציר האנכי.

הכם היפוך לא יהי משהו אחרת רק בכיוון אנכי?

15. נבחן מה מתרחש במישור מקביל לעדשה. הצב במקום הנר את הנייר שממנה נגזרה והוצאה פיסת נייר שצורתה האות F. הטל על פיסת הנייר אור באמצעות הפנס. שנה את מרחק המסך מן העדשה (כשהוא נמצא בצד העדשה שבו לא נמצא הנייר) עד שעל המסך תראה דמותה של האות F. סרטט את האות F ואת דמותה. באיזה כיוון (במישור המקביל לעדשה) או באילו כיוונים דמות האות F הפוכה ביחס לעצם?

שאלות

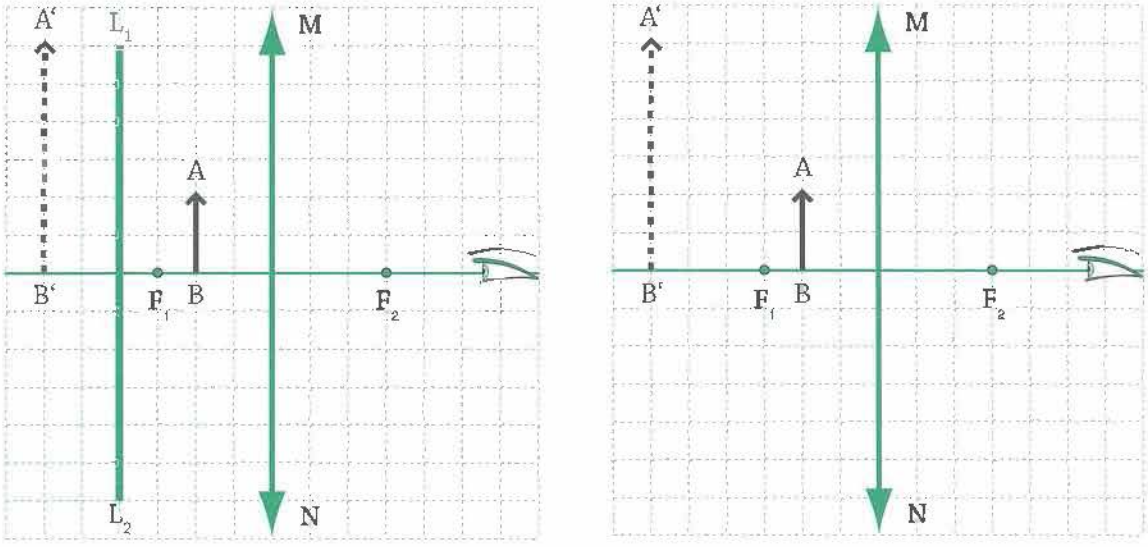
16. א. הסבר מהי "דמות ממשית".
ב. מדוע צופים העומדים במקומות שונים לפני מסך יכולים לראות דמות המתקבלת על המסך?
ג. מדוע אפשר לראות דמות ממשית גם ללא מסך?
ד. ציין מה משותף לעצם ולדמותו הממשית, ובמה הם נבדלים זה מזה.

17. כאשר צפית בדמות ממשית של להבת הנר, נוכחת כי בכיוון הציר האנכי הדמות הפוכה ביחס לעצם. מדוע קשה להיווכח בהיפוך גם בכיוון הציר האופקי, כאשר העצם הוא להבת נר?

18. א. הסבר מהי "דמות מדומה".
ב. מדוע דמות מדומה אינה מתקבלת על מסך?

19. הסבר, על סמך קשר (1) לעיל, מדוע גם הקשר בין $v + u$ לבין uv הוא לינארי.

20. בתרשים 3א מוצגת עין המתבוננת בדמות המדומה A'B' של עצם AB. MN היא עדשה מרכזת. מציבים לוח אטום לאור L_1L_2 בין העצם לבין דמותו, כמוצג בתרשים 3ב.



א. אדם מתבונן בדמות העצם AB

ב. L_1L_2 הוא לוח אטום לאור

תרשים 3: התבוננות בדמות מדומה הנוצרת על ידי עדשה מרכזת

האם האדם ימשיך לראות את דמות העצם לאחר הצבת הלוח? הסבר.



פעילות 2ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

מקור ההדמיה: The Department of Physics and Astronomy Northwestern University

מטרת ההדמיה: קבלת דמות של עצם הניצב לפני עדשה.

המערכת המוצגת: עדשה, עצם (מיוצג על ידי חץ), דמות העצם ומהלך של שלוש קרניים הנפלטות מראש העצם אל דמותו.

המערכת מאפשרת: לבחור בין עדשה מרכזת או מפזרת, לשנות את מרחק העצם מן העדשה.

הפעלת ההדמיה: שינוי מקום העצם נעשה על ידי גרירת העצם כאשר לוחצים על העכבר.

המלצה: ★★★★

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Image Formation by a Converging Lens

מקור ההדמיה: Mississippi State University

מטרת ההדמיה: חקירת דמות של עצם הניצב לפני עדשה מרכזת.

המערכת המוצגת: עצם (מיוצג על ידי חץ) ניצב לפני עדשה מרכזת ועל המסך מוצגים דמותו ומהלך קרניים מן העצם אל דמותו. כמו כן מופיעים על המסך הנתונים המספריים של מרחקי העצם ודמותו מן העדשה. האובייקטים בהדמיה מופיעים בצבעים שונים: העצם בצבע אדום, העדשה בצבע כחול, הדמות הממשית בצבע ירוק והדמות המדומה בצבע אפור.

המערכת מאפשרת: שינוי מקום העצם.

הפעלת ההדמיה: אפשר לשנות את מקום העצם על ידי גרירתו בעזרת העכבר הלחוץ.

המלצה: ★★★★

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Image Formation by a Converging Lens

מקור ההדמיה: אוניברסיטת מסינה, איטליה.

מטרת ההדמיה : חקירת היווצרות הדמות בעדשה מרכזת.

מערכת המוצגת: עצם קווי (בצורת חץ), עדשה מרכזת.

המערכת מאפשרת: הצגת אלומת קרניים שמקורן בראש העצם; הקרניים המיוחדות מודגשות בצבע שונה. אפשר לשנות את מקום העצם. הערכים של רוחק המוקד, מרחק העצם מהעדשה ומרחק הדמות מהעדשה מוצגים.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את מקום העצם יש להקליק בעזרת העכבר במקום הרצוי למיקום העצם.

המלצה: ★★★★☆

הערה: אפשר להוריד את ההדמיה.

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: Image Formation by a Diverging Lens

מקור ההדמיה: אוניברסיטת מסינה, איטליה.

מטרת ההדמיה : חקירת היווצרות הדמות הנוצרת על ידי עדשה מפזרת.

מערכת המוצגת: עצם קווי (בצורת חץ), עדשה מפזרת.

המערכת מאפשרת: הצגת אלומת קרניים שמקורן בראש העצם; הקרניים המיוחדות מודגשות בצבע שונה. אפשר לשנות את מקום העצם. הערכים של רוחק המוקד, מרחק העצם מהעדשה ומרחק הדמות מהעדשה מוצגים.

הפעלת ההדמיה: כדי לשנות את מקום העצם יש להקליק בעזרת העכבר במקום הרצוי למיקום העצם.

המלצה: ★★★★½

הערה: אפשר להוריד את ההדמיה.

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Problem 8- Converging Lens

מקור ההדמיה: Davidson College

מטרת ההדמיה : מציאת רוחק מוקד של עדשה מרכזת.

מערכת המוצגת: מקור אור נקודתי ועדשה מרכזת.

המערכת מאפשרת: הזזת העדשה וקריאת המקום של העכבר.

הפעלת ההדמיה: כדי להפעיל את ההדמיה יש ללחוץ על Start. כדי להזיז את העדשה יש להקליק עליה בעזרת העכבר ולגרור. בחלונית בצד שמאל של חלון ההדמיה אפשר לקרוא את הערכים של מיקום העכבר.

המלצה: ★★★½☆

הדמיה מספר 6:

שם ההדמיה: Problem 9- Diverging Lens

מקור ההדמיה: Davidson College

מטרת ההדמיה : מציאת רוחק מוקד של עדשה מפזרת.

מערכת המוצגת: מקור אור נקודתי ועדשה מפזרת.

המערכת מאפשרת: הזזת העדשה וקריאת המקום של העכבר.

הפעלת ההדמיה: כדי להפעיל את ההדמיה יש ללחוץ על Start. כדי להזיז את העדשה יש להקליק עליה בעזרת העכבר ולגרור. בחלונית בצד שמאל של חלון ההדמיה אפשר לקרוא את הערכים של מיקום העכבר.

המלצה: ★★★½☆

הדמיה מספר 7:

שם ההדמיה: Reflection & Refraction at Curved Surfaces

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת היווצרות הדמות בעדשות דקות.

מערכת המוצגת: עצם קווי (בצורת חץ) ועדשה דקה.

המערכת מאפשרת: בחירת סוג העדשה ורוחק המוקד שלה, שינוי מיקום וגובה העצם, הצגת אלומת קרניים שנפלטות מראש העצם ונשברות דרך העדשה, הצגת הקרניים המיוחדות, קריאת הערכים של מקום וגובה הדמות ושל ההגדלה הקווית.
בחלון ההדמיה מסומנות נקודות המוקד והנקודות הנמצאות במרחק 2f מהעדשה.

הפעלת ההדמיה: כדי להפעיל את ההדמיה יש ללחוץ על Click to begin. ההדמיה מופיעה בחלון נפרד.
בחלוניות העליונות יש לבחור את סוג העדשה, את הערך של רוחק המוקד, את מרחק העצם מהעדשה ואת גובה העצם. את מרחק העצם מהעדשה ואת רוחק המוקד של העדשה אפשר לשנות גם תוך כדי הקלקה וגרירה בעזרת העכבר של העצם/ נקודת המוקד (צהובה). הקלקה כפולה בתוך אלומת האור הנפלטת מחליפה אותה בשלוש הקרניים המיוחדות. הקלקה כפולה נוספת מחזירה את האלומה.

המלצה: ★★★★

הדמיה מספר 8:

שם ההדמיה : Optics Bench

מקור ההדמיה: Davidson College

מטרת ההדמיה : חקירת מהלך הקרניים דרך עדשה.

מערכת המוצגת: מסך עם תפריט שמתוכו אפשר לבחור.

המערכת מאפשרת: בחירת סוג העדשה ורוחק המוקד שלה, הצבת מקור אור נקודתי, עצם קווי או אלומת קרניים מקבילות, הצבת מחסום שבו פתח, שינוי מקדם השבירה של הסביבה, הצבת מסך, הצבת משטח שקוף נוסף.

הפעלת ההדמיה: בחלוניות העליונות יש לבחור את סוג מקור האור (Beam - אלומה מקבילה, Object - עצם קווי Source - מקור נקודתי). בחלוניות שמתחת להדמיה יש לבחור Lens אם רוצים להציב עדשה, ולבחור Apperture אם רוצים להציב מחסום. אחרי כל בחירה יש להציב בחלון ההדמיה את האלמנט הנבחר, תוך לחיצה על הנקודה הרצויה. כדי לשנות את כיוון האלומה המקבילה יש להקליק על הנקודה הלבנה שבתוך האלומה ולגרור לפי הצורך.
כדי לשנות את סוג העדשה יש להקליק על אחת מנקודות המוקד לגרור אותה לצד השני של העדשה.
בצד ימין של ההדמיה אפשר לבחור שינוי מקדם השבירה של העדשה (כך שיהיה גדול יותר ממקדם השבירה של העדשה), הצבת משטח שקוף נוסף או הצבת מסך.
אפשר להוסיף מספר מקורות/עדשות/מחסומים ולשנות את מקומם או את גודלם תוך הקלקה וגרירה בעזרת העכבר.
המלצה: ★★★★
הערה: ההדמיה מאפשרת שימוש במראות (Mirror) ובסיבים אופטיים (fiber optic).

פרק ג: פעילות מספר 3

האוריינטציה של הדמות הממשית הנוצרת על ידי עדשה מרכזת

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: במסגרת לימוד אופיין של הדמויות הנוצרות על ידי עדשה מרכזת.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב.
מטרת הפעילות: להבין מדוע הדמות הממשית הנוצרת על ידי עדשה מרכזת היא הפוכה ביחס לעצם.



דמות ממשית של עצם נוצרת על ידי עדשה מרכזת.
מדוע הדמות הממשית הפוכה ביחס לעצם?



פעילות 3א

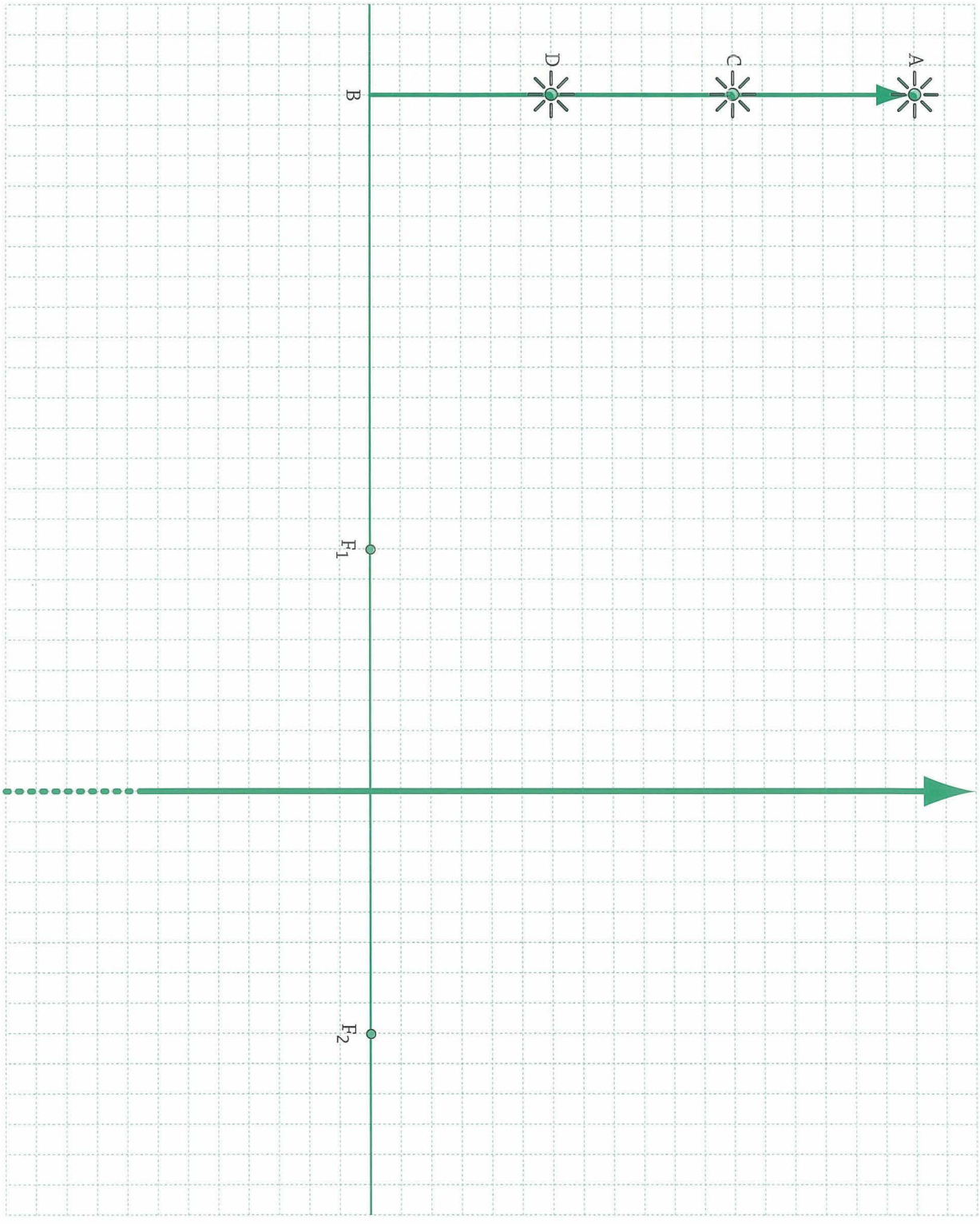
סרטוט נקודות שונות של דמות העצם

הדפסה מהתקליטור המצורף לספר

היכנס בתקליטור לתיק "תרשימים להדפסה", והדפס את קובץ ה- word "פרק ג פעילות 3". הקובץ כולל את תרשים 1. לחילופין, פתח באמצעות התוכנה paint את התרשים מהתיק "תרשימים בפורמט jpeg"

בתרשים 1 מסורטט עצם AB הניצב לפני עדשה מרכזת. על העצם מסומנות שלוש נקודות A, C ו-D.

1. מצא בעזרת סרטוט מהלך קרניים מתאימות את הדמות של הנקודה A, וסמן אותה ב-A'.
2. מצא בעזרת סרטוט מהלך קרניים מתאימות את הדמות של הנקודה C, וסמן אותה ב-C'.
3. מצא בעזרת סרטוט מהלך קרניים מתאימות את הדמות של הנקודה D, וסמן אותה ב-D'.
4. הסבר על סמך הסרטוטים מדוע דמות העצם הפוכה ביחס לעצם.



תרשים 1: עצם ניצב לפני עדשה מרכזת

פרק ה: פעילות מספר 1
שבירת אור על סמך המודל החלקיקי

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: במהלך לימוד פרק ה.
ביצוע הפעילות: על ידי המורה ותלמידי כיתות י', כהדגמה. אפשר להסתפק באחת מהפעילויות 1א או 1ב.
מטרת הפעילות: להיווכח שכוח יכול לשנות כיוון תנועה של גוף נע, בהתאם למהלך אור מאוויר לזכוכית, ולבחון כיצד משפיע הכוח על גודל מהירות הגוף לאחר הפעלת הכוח.



אור מתפשט באוויר ועובר לזכוכית. ידוע כי כאשר זווית הפגיעה שונה מאפס - האור נשבר, כך שזווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה. כאשר זווית הפגיעה שווה לאפס - האור אינו נשבר.

א. איך אפשר להסביר עובדות אלה באמצעות המודל החלקיקי של האור?

ב. איך משפיע הכוח על גודל מהירות האור בזכוכית ביחס לגודל מהירות האור באוויר?



פעילות 1א
הפעלת כוח על-ידי מטאטא על כדור-רגל נע

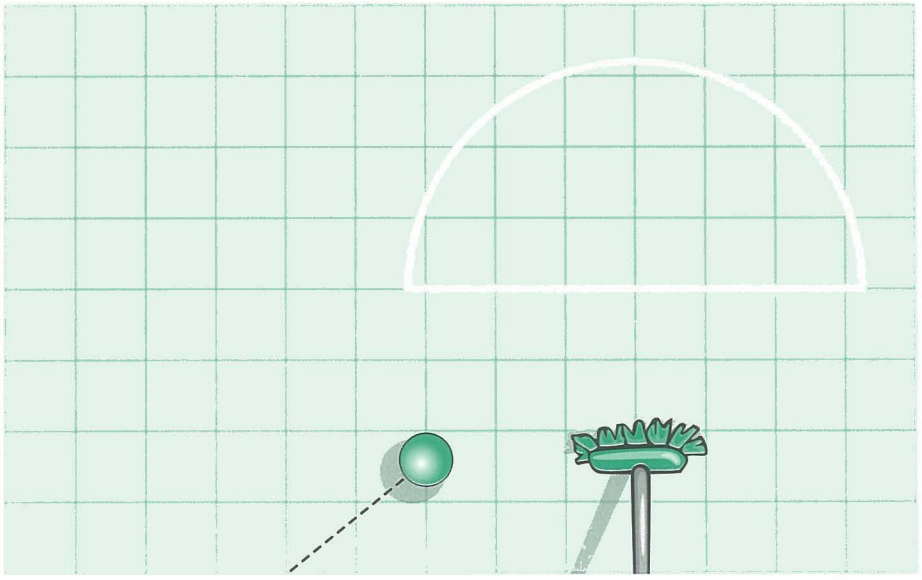
רשימת הציוד

(1) כדור גדול (למשל כדור-רגל);
(2) מטאטא;

עריכת הנסוי

חלק ראשון – שינוי כיוון תנועה

1. סרטט עם גיר על רצפת הכיתה חצי עיגול שרדיוסו כ- 1m, ואת הקוטר הסוגר אותו (תרשים 1). הסרטוט מסמל חצי דסקית העשׂויה מזכוכית.
2. סמן בסרטוט את מרכז חצי העיגול ואת האנך לקוטר של חצי העיגול בנקודת המרכז.
3. אחד התלמידים יגלגל כדור (הכדור ידמה חלקיק אור) לכיוון מרכז העיגול, כמתואר בתרשים 1. ברגע שהכדור יגיע למרכז העיגול, תלמיד אחר יהדוף בעזרת מטאטא את הכדור בכיוון האנך, כלפי העיגול (ההסבר מדוע הכוח הפועל בכיוון האנך מופיע בספר הלימוד בעמודים 217-215).
4. סמן עם גיר את מסלול תנועת הכדור לפני ההדיפה עם המטאטא ואחריה. זהה בהדמיה זו את זווית הפגיעה ואת זווית השבירה.
5. א. על סמך תצפיתך בתנועת הכדור, קבע איזו זווית גדולה יותר - זווית הפגיעה או זווית השבירה?
   ב. האם שינוי כיוון תנועת הכדור מתאים לשינוי כיוון אור בעת מעברו מאוויר לזכוכית?



תרשים 1: מערכת הניסוי

חלק שני - שינוי גודל מהירות

6. א. על סמך תצפיתך בתנועת הכדור, קבע איזו מהירות גדולה יותר - זו שלפני ההדיפה או זו שאחריה?
ב. מהו הניבוי העולה מהמודל החלקיקי של האור לגבי גודל מהירות האור בזכוכית בהשוואה לגודל מהירות האור באוויר?



פעילות 2ב

הפעלת כוח על כדור פינג-פונג נע על ידי מאוורר ידני

רשימת הציוד

(1) כדור פינג-פונג;
(2) מאוורר ידני קטן;

עריכת הניסוי

חלק ראשון - שינוי כיוון תנועה

1. סרטט בגיר על שולחן חצי עיגול (שרדיוסו כ- 30 cm) ואת הקוטר הסוגר אותו. הסרטוט מסמל חצי דסקית העשׂויה מזכוכית.

2. סמן את המרכז של העיגול ואת האנך לקוטר של חצי העיגול בנקודת המרכז.

3. אחד התלמידים יגלגל כדור פינג-פונג (הכדור ידמה חלקיק אור) לכיוון מרכז העיגול. ברגע שהכדור יגיע למרכז העיגול, תלמיד אחר יפעיל לזמן קצר מאוורר ידני, כך שזרם האוויר יהיה בכיוון האנך, לעבר העיגול.

4. זהה בהדמיה זו את זווית הפגיעה ואת זווית השבירה.

5. א. קבע, על סמך תצפיתך בתנועת הכדור, איזו זווית גדולה יותר - זווית הפגיעה או זווית השבירה?
   ב. האם שינוי כיוון תנועת הכדור מתאים לשינוי כיוון אור בעת מעברו מאוויר לזכוכית?

חלק שני – שינוי גודל מהירות

6. א. קבע, על סמך תצפיתך בתנועת הכדור, איזו מהירות גדולה יותר - זו שלפני ההדיפה או זו שאחריה?
   ב. מהו הניבוי העולה מהמודל החלקיקי של האור לגבי גודל מהירות האור בזכוכית בהשוואה לגודל מהירות האור באוויר?

פרק ו: פעילות מספר 1

תכונות בסיסיות של פולסים חד-ממדיים

איפיון הפעילות

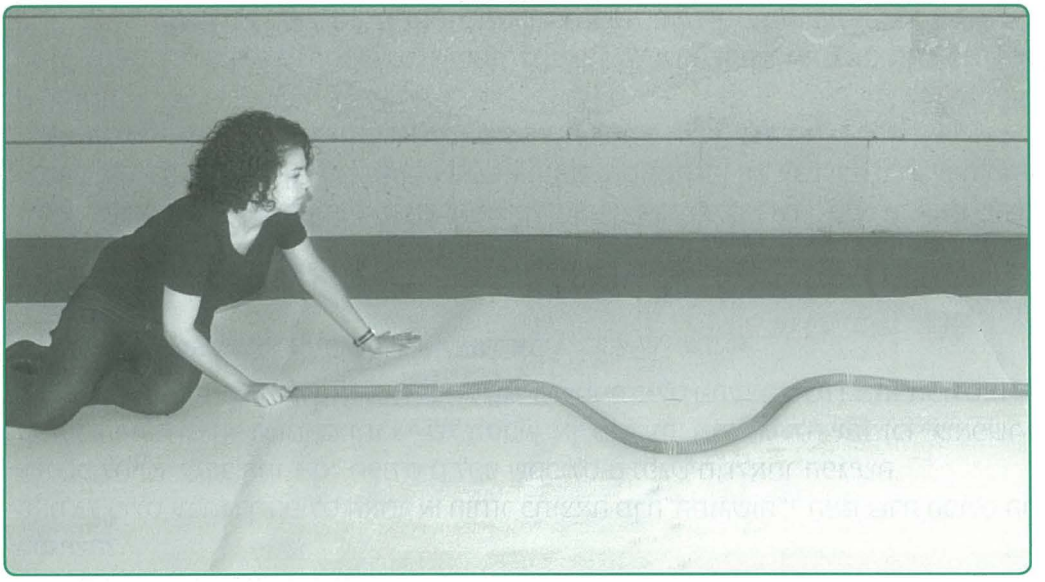
שילוב הפעילות: במהלך לימוד פרק ו.

ביצוע הפעילות: על ידי המורה בעזרת אחד התלמידים, כהדגמה.

מטרת הפעילות: לצפות בפולסים חד-ממדיים, ולהכיר את תכונותיהם הבסיסיות.



פולס, כדוגמת זה המתואר בתרשים 1, מתפשט לאורך קפיץ.



תרשים 1: פולס משוגר לאורך קפיץ

א. מה סוג התנועה של הפולס?

ב. האם, בדומה לאור, גם פולסים עוברים האחד דרך האחר מבלי שפולס אחד ישפיע על הפולס האחר?

ג. האם, בדומה לאור, גם פולסים מוחזרים?

ד. האם, בדומה לאור, גם פולסים מתפצלים לחלק עובר ולחלק מוחזר בעוברם מתָווך אחד למשנהו?



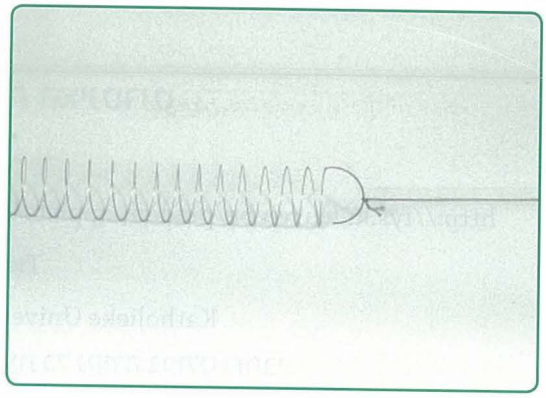
פעילות 1א
ניסויים של התפשטות פולסים בקפיצים לולייניים ארוכים

רשימת הציוד
(1) שני קפיצים לולייניים ארוכים ושונים זה מזה;
(2) חוט שאורכו 1 - 1.5 מטר;
(3) חוט שאורכו כ- 30 ס"מ שנועד לקשור את שני הקפיצים זה לזה.

עריכת הנסוי
א. מהירות פולס כפונקציה של הזמן, ותלותה בתווך
1. אחוז באחד הקצות של קפיץ, וחברך יאחז בקצהו האחר של הקפיץ. מיתחו את הקפיץ על הרצפה.
2. הסט בתנועה חדה את קצה הקפיץ בכיוון מאונך לקפיץ, הלוך ושוב. הערך, האם מהירות הפולס משתנה כפונקציה של הזמן?
3. בחן, האם מהירות הפולס תלויה בגודלו. האם מהירות הפולס תלויה בצורתו?
4. אסוף לתוך ידך חלק מהקפיץ כך שחלק הקפיץ הנותר, המוחזק בין ידך לבין ידי חברך יהיה מתוח יותר, ומשקלו ליחידת אורך תהיה קטנה יותר (הקפיץ יהיה "קל" יותר). שגר פולס לאורך הקפיץ. האם מהירות הפולס עתה גדולה ממהירות הפולס ששיגרת קודם, קטנה ממנה או שווה לה?

ב. פגישת פולסים הנעים בכיוונים מנוגדים לאורך קפיץ
5. שגר פולס מהקצה שאותו הינך אוחז, וחברך ישגר בו-זמנית פולס מהקצה שבידו. אחד הפולסים יהיה בעל משׂרעת קטנה, והפולס האחר ישוגר באותו צד של הקפיץ, אך משׂרעתו תהיה גדולה יותר (כדי שאפשר יהיה להבדיל בין שני הפולסים). עקוב אחר אחד הפולסים לפני שהפולסים נפגשים, ולאחר הפגישה.
האם כל פולס עבר דרך הפולס האחר או הוחזר כתוצאה מן ה"התנגשות"? האם צורת הפולס השתנתה בעקבות הפגישה?
6. חזור על ההנחיות שבסעיף 5 לגבי שני פולסים הנעים משני צידי הקפיץ.

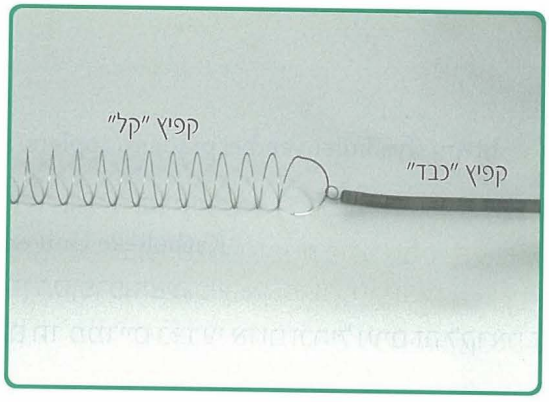
ג. החזרת פולסים מקצה קפיץ
7. שגר פולס לאורך הקפיץ. האם הפולס מוחזר מקצה הקפיץ המוחזק בידי חברך? אם כן - האם הפולס מוחזר באותו צד של הקפיץ, או שהוא מתהפך, כלומר מוחזר מצידו האחר של הקפיץ?
כיוון שקצה הקפיץ שבידי חברך מוחזק במקומו, ואינו חופשי להתנודד כשאר פיסות הקפיץ, קצה זה של הקפיץ מכונה **קצה קשור**.
8. חברך יקשור לקצה הקפיץ שבידו חוט שאורכו 1 - 1.5 מטר, ויאחז בקצה החוט (במקום בקצה הקפיץ) כמתואר בתרשים 2.
שגר פולס לאורך הקפיץ. האם הפולס מוחזר מקצה הקפיץ הקשור לחוט? אם כן - האם הפולס מוחזר באותו צד של הקפיץ, או שהוא מתהפך?
כיוון שקצה הקפיץ הקשור לחוט אינו מוחזק במקומו, אלא חופשי להתנודד כשאר פיסות הקפיץ, קצה זה של הקפיץ מכונה **קצה חופשי**.



תרשים 2: קפיץ שקצהו חופשי

ד. מעבר פולס מתווך אחד למשנהו

חבר את הקפיץ הנוסף שברשותך לקפיץ שבו השתמשת עד כה, כמתואר בתרשים 3.



תרשים 3: קפיץ "קל" (השמאלי) וקפיץ "כבד" קשורים זה לזה

אחוז בידך את קצה הקפיץ שמסתו ליחידת אורך (במצב מתיחה) קטנה יותר. קפיץ זה יכונה קפיץ "קל". חברך יאחז עתה בקצה הקפיץ השני, שיכונה קפיץ "כבד".

9. שגר פולס מהקפיץ ה"קל" לעבר הקפיץ ה"כבד", ובחן האם בהגיעו לקשר שבין שני הקפיצים, הפולס מתפצל לחלק העובר לקפיץ ה"כבד" ולחלק המוחזר לקפיץ ה"קל".

10.א. סרטט את שני הקפיצים, ואת הפולס הנע בקפיץ ה"קל" לכיוון הקשר שבין שני הקפיצים (התייחס לכיוון הפולס, כלומר לצד שבו הפולס נע).

ב. סרטט שנית את שני הקפיצים, את הפולס המוחזר מהקפיץ ה"כבד", ונע בקפיץ ה"קל", ואת הפולס העובר לקפיץ ה"כבד".

11. חזור על סעיפים 9 ו-10, אלא שהפעם הפולס ישוגר מהקפיץ ה"כבד" לעבר הקפיץ ה"קל".



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Transverse Waves

מקור ההדמיה: Katholieke Universiteit Leuven

מטרת ההדמיה: ללמוד על תנועת כל נקודה בפולס רוחבי.

המערכת המוצגת: מסך ובו גל/פולס רוחבי המתקדם משמאל לימין.

המערכת מאפשרת:
א. בחירה בין: פולס רוחבי עם העתק חיובי או שלילי, גל רוחבי, קפיץ מוחזק בשני קצותיו, מוט מוחזק בקצה אחד.
ב. שינוי משרעת ותדירות וכן עצירת התנועה והמשך הפעלתה בקצב הרצוי.

הפעלת ההדמיה: לחיצה על "Start".

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Transverse Waves

מקור ההדמיה: Katholieke Universiteit Leuven

מטרת ההדמיה: ללמוד על עקרון הסופרפוזיציה.

המערכת המוצגת: פולסים/גלים חד ממדיים בצבעי אדום וכחול נעים זה לקראת זה. ההעתק הכולל באזור החפיפה מוצג בצבע צהוב.

המערכת מאפשרת: בחירת פולס או גל, בחירה בין כווני העתקים שווים או מנוגדים, בחירה בין פולסים שווי משרעות או בעלי משרעות שונות. אפשר לעצור את התנועה בכל רגע.

הפעלת ההדמיה: לחיצה על "Start".

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Reflection of Waves from Boundaries

מקור ההדמיה: Kettering University Applied Physics

מטרת ההדמיה: לבחון כיצד מתנהג פולס רוחבי חד ממדי בהגיעו לקצה חופשי או לקצה קשור וכן במעבר פולס מתווך כבד לקל או להפך.

המערכת המוצגת: ההדמיות מופיעות ברצף של טקסט (באנגלית) המסביר את תופעת ההחזרה וההעברה של גלים חד ממדיים. יש חמש אנימציות של פולסים רוחביים בקפיץ: אחת מדגימה פולס מתקדם, שתיים מדגימות

החזרה מקצה קשור או מקצה חופשי ושתיים מדגימות העברה והחזרה כאשר פולס מתקדם מקפיץ קל לקפיץ כבד או להפך.
ההדמיה אינה מאפשרת שינויים.

הפעלת ההדמיות: יש לגלגל את המסך קדימה ולבחור את ההדמיה הרצויה.

המלצה: ★★☆☆☆

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: principle of superposition (1)

יוצר ההדמיה: Noriyoshi KATO

מטרת ההדמיה: ללמוד על עקרון הסופרפוזיציה של שני פולסים חד ממדיים בעלי העתקים שווי כוון הנעים זה לקראת זה.

המערכת המוצגת: שני פולסים חד ממדיים נעים זה לקראת זה.

המערכת מאפשרת: לקבל על המסך את הפולס השקול עם רכיביו או בלעדיהם. אפשר לשנות את מהירות ההתקדמות של הפולסים.

הפעלת ההדמיה: בתחתית ההדמיה יש חמישה לחצנים. פעולת הלחצנים בסדר מימין לשמאל: הלחצן הראשון מפעיל את ההדמיה, השני מפעיל אותה צעד- צעד, הלחצן האמצעי עוצר את התמונה, הרביעי מחזיר אחורנית צעד-צעד והאחרון מפעיל את ההדמיה אחורנית. לחצן Reset מחזיר את המערכת למצב ההתחלתי.

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Wave Phenomena Reflection of Waves

מקור ההדמיה: The Department of Physics and Astronomy Northwestern University

מטרת ההדמיה: ללמוד כיצד מוחזר גל בממד אחד בהגיעו לקצה חופשי או לקצה קשור.

המערכת המוצגת: מסך ובו לחצן הפעלה/עצירה.

המערכת מאפשרת: בחירה בין גל לבין פולס בודד וכן בחירה בין קצה חופשי לבין קצה קשור.

הפעלת ההדמיה: לחיצה על "Start".

המלצה: ★★★☆☆

הדמיה מספר 6:

שם ההדמיה: Transverse Wave

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת המאפיינים של פולס חד-ממדי רוחבי.

המערכת המוצגת: תווך חד-ממדי (מיוצג על-ידי סדרת נקודות קשורות) דרכו עובר פולס רוחבי.

המערכת מאפשרת: בחירת סוג הפולס, גובה הפולס ומהירות הפולס. אפשר לעצור את התקדמות הפולס. קיימת חלונית אנכית שבעזרתה אפשר להתמקד בתנועה של אחת מנקודות התווך.

הפעלת ההדמיה: בחירת סוג הפולס -בחלונית העליונה יש לבחור Pulsed Crest או Pulsed Trough. (שינוי גובה הפולס - בעזרת הלשונית Amplitude ושינוי מהירות הפולס - בעזרת הלשונית Frequency). ניתן לעצור את התקדמות הפולס בעזרת הכפתור Stop ולחדש את התנועה בעזרת הכפתור Start.

המלצה: ★★★★☆

הערה: הדמיה זו מאפשרת גם חקירה של התקדמות של גל חד-ממדי והחזרתו מקצה חופשי או קשור.

הדמיה מספר 7:

שם ההדמיה: Longitudinal Wave

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת המאפיינים של פולס חד-ממדי אורכי.

המערכת המוצגת: תווך חד-ממדי (מיוצג על-ידי סדרת נקודות/קווים) דרכו עובר פולס אורכי.

המערכת מאפשרת: בחירת סוג הפולס, גובה הפולס ומהירות הפולס. ניתן לעצור את התקדמות הפולס. קיימת חלונית אנכית שבעזרתה אפשר להתמקד בתנועה של אחת מנקודות התווך.

הפעלת ההדמיה: בחירת סוג הפולס - בחלונית העליונה יש לבחור Pulsed Rarefaction או Pulsed Compression. שינוי את גובה הפולס - בעזרת הלשונית Amplitude (ושינוי מהירות הפולס - בעזרת הלשונית Frequency). ניתן לעצור את התקדמות הפולס בעזרת הכפתור Stop ולחדש את התנועה בעזרת הכפתור Start.

המלצה: ★★★★☆

הערה: הדמיה זו מאפשרת גם חקירה של התקדמות של גל חד-ממדי והחזרתו מקצה חופשי או קשור.

הדמיה מספר 8:

שם ההדמיה: Transverse Waves

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת הסופרפוזיציה של שני פולסים רוחביים.

המערכת המוצגת: שני פולסים רוחביים שמתקדמים בכיוונים מנוגדים לאורך תווך חד-ממדי (מיוצג על-ידי סדרת נקודות קשורות) והפולס המתקבל מחיבור שני הפולסים.

המערכת מאפשרת: בחירת גובה הפולס ובחירת כיוון ההפרעה. קיימות חמש חלוניות אנכיות שבעזרתה אפשר להתמקד בתנועה של חמש מנקודות התווך.

הפעלת ההדמיה: בחירת גובה הפולס: יש לסמן בחלונית Amplitude אם הגובה שווה או שונה. בחירת כיוון הפולס: יש לסמן בחלונית Phase אם הכיוון זהה – In או שונה – Out. ניתן לעצור את התקדמות הפולס בעזרת הכפתור Stop ולחדש את התנועה בעזרת הכפתור Start.

המלצה: ★★★★☆

הערה: הדמיה זו מאפשרת גם חקירה של סופרפוזיציה של שני גלים חד-ממדיים.

הדמיה מספר 9:

שם ההדמיה: Transverse Waves - Reflection & Transmission

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת החזרה והעברה של פולס רוחבי.

המערכת המוצגת: גל רוחבי המתקדם ימינה בתווך אחד או בשני תווכים.

המערכת מאפשרת: בחירה בין החזרה מקצה חופשי, החזרה מקצה קשור, מעבר מתווך דליל לתווך צפוף ומעבר מתווך צפוף לתווך דליל (יש לסמן את הבחירה בחלונית הנמצאת בצד שמאל, מתחת לחלון ההדמיה). סימון החלונית האמצעית גורם להצגת התופעות המתרחשות בגבול. ניתן לעצור את התקדמות הפולס בעזרת הכפתור Stop ולחדש את התנועה בעזרת הכפתור Start.

המלצה: ★★★★☆



פעילות 1ג
ניתוח סרטוני וידאו

רשימת ציוד

(1) מחשב שבו מותקנת התוכנה "Excel";
(2) התקליטור "מודלים של האור - פעילויות".

סקירת סרטוני הווידאו הנמצאים בתקליטור

בתקליטור תשעה סרטוני וידאו: חמישה סרטונים שבהם מוצגים פולסים המתפשטים לאורך קפיץ, וארבעה סרטונים שבהם מוצגים פולסים המתפשטים לאורך "מכונת גלים".

שמות הסרטונים עם קפיץ מתחילים בקידומת sp (spring - קפיץ באנגלית), ושמות הסרטונים עם מכונת הגלים מתחילים בקידומת wm (wave machine - "מכונת גלים").

תשעת הסרטונים מופיעים בתקליטור בשלוש תיקיות:

א. התיקיה "סרטונים לתצוגה": כוללת את תשעת הסרטונים, עם הסיומת wmv בשם הסרטון. פורמט זה של סרטונים מיועד **לתצוגה בלבד** ואינו מאפשר לצפות בסרטון תמונה אחר תמונה או לנתח את הסרטון. הפעלת הסרטון נעשית על-ידי הקלקה כפולה עליו. במצב זה הסרטון מוצג פעמיים - תחילה בקצב האמיתי, ואחר כך בהילוך איטי.

ב. התיקיה "סרטוני וידאו 800x600": כוללת את תשעת הסרטונים בפורמט המאפשר לצפות בהם באמצעות התוכנה VideoexpL. הסיומת של כל סרטון כזה היא avi, והם מיועדים לשימוש עם מסכי מחשב בעלי רזולוציה 800x600 (תוכל לבדוק את הרזולוציה של המסך שלך: לחץ על מקש start (התחל), בחר בתיקיה Control Panel ובה בחר בתיקיה Display. בחלון שנפתח בחר בלשונית Setting).

ג. התיקיה "סרטוני וידאו 1024x768": דומה לסרטונים בתיקיה המתוארת בב' לעיל, אך סרטונים אלה מיועדים לשימוש עם מסכי מחשב בעלי רזולוציה של 1024x768.

השמות (ללא הסיומת) של הסרטונים:

1) sp-fixed end-small tension

בסרטון זה מוצג פולס המתפשט בקפיץ לעבר "קצה קשור" של הקפיץ.

2) sp-fixed end-large tension

בסרטון זה מוצג פולס המתפשט בקפיץ שבסרטון הקודם, אך הפעם הקפיץ יותר מתוח.

3) sp-free end

בסרטון זה מוצג פולס המתפשט בקפיץ לעבר "קצה חופשי" של הקפיץ.

4) sp-light to heavy

בסרטון זה מוצג מעבר פולס מקפיץ "קל" לקפיץ "כבד".

5) sp-heavy to light

בסרטון זה מוצג מעבר פולס מקפיץ "כבד" לקפיץ "קל".

6) wm-free end

בסרטון זה מוצג פולס המתפשט במכונת גלים לעבר "קצה חופשי".

7) wm-fixed end

בסרטון זה מוצג פולס המתפשט במכונת גלים לעבר "קצה קשור".

8) wm-2 pulses1

בסרטון זה מוצגים שני פולסים המתפשטים זה לקראת זה לאורך מכונת גלים - העתקי שני הפולסים בעלי סימנים אלגבריים שווים.

9) wm-2 pulses2

בסרטון זה מוצגים שני פולסים המתפשטים זה לקראת זה לאורך מכונת גלים - העתקי שני הפולסים בעלי סימנים אלגבריים מנוגדים.

עריכת הפעילות

הפעל את התוכנה VideoexpL (ראה נספח ג) ובצע את הפעילויות המפורטות להלן.

א. סוג התנועה של פולס

1. פְּתח באמצעות התוכנה VideoexpL את הקובץ **sp-fixed end-small tension** ברזולוציה המתאימה למסך המחשב שברשותך - מהתיקיה "סרטוני וידאו 800x600" או מהתיקיה "סרטוני וידאו 1024x768".

> פתיחת סרטון וידאו באמצעות התוכנה : בתפריט "קבצים" בחר ב"פְּתח".

2. הרץ את הסרטון, התבונן בו, ותאר את מה שמוצג בסרטון.

> הבאת סרטון להתחלה והרצתו: באמצעות לחצנים מתאימים בתחתית החלון השמאלי.

3. מצא את הקצב שבו פעלה מצלמת הווידאו (כלומר את מספר הצילומים בשנייה).
שים לב, את ערכי הזמן t המתאימים לכל תמונה ותמונה, תוכל לראות בחלונית הנמצאת בחלק העליון של המסך, מצד שמאל.

4. הבא את הסרטון להתחלה. בעזרת המקש "הצג את התמונה הבאה" שבשורת הלחצנים בתחתית החלון השמאלי קדם את הסרטון עד שהפולס יופיע לראשונה במלואו (בצד הימני של התמונה).

5. הנחיות לניתוח הסרטון על ידי תלמידי כיתות י (תלמידי י"ב ימשיכו לסעיף 6):

א. הבא את ראש החץ של סמן העכבר לנקודת השיא של הפולס, ולחץ על הלחצן השמאלי של העכבר. שים לב שבחלון הימני נרשמה נקודה (המייצגת את מקום שיא הפולס) ומיד לאחר מכן מוצגת בחלון השמאלי התמונה הבאה של הסרטון.

ב. סמן בכל התמונות, עד לתמונה שבה הפולס מגיע לקצה השמאלי של הקפיץ, את המקומות של שיא הפולס (סך הכל 9 תמונות).

ג. צפה בסדרת הנקודות שסומנה בחלון הימני. הנקודות מייצגות את המקומות של שיא הפולס במרווחי זמן שווים.

(1) האם המרחקים בין נקודות סמוכות שווים?

(2) האם מהירות הפולס קבועה? נמק.

ד. על הרקע הלבן בסרטון מודבק סרט שאורכו 1 מטר (הסרט מקביל לקפיץ). העֲרך בעזרת הסרט את אורך הקפיץ.

ה. פְּתח באמצעות התוכנה VideoexpL את הקובץ **sp-fixed end-large tension**, וחזור על סעיפים א-ד לגבי הפולס בסרטון זה.

ו. קבע על סמך שני הסרטונים אם מהירות פולס בקפיץ גדֵלה כתוצאה מכך שמותחים את הקפיץ, קטֵנה או אינה משתנה.

6. הנחיות לניתוח הסרטון על ידי תלמידי כתות י"ב:

א. **קנה מידה:** אורך הסרט המודבק לנייר הלבן שעליו מונח הקפיץ הוא 1 מטר (הסרט מקביל לקפיץ). קבע על-פי נתון זה את קנה המידה של מערכת צירים x, y.

> בתפריט "צירים" בחר ב"קנה מידה". בחלונית שנועדה לרישום המרחק בין שתי נקודות רשום 1. אחר-כך סמן באמצעות סמן העכבר את שני קצות הסרט.

ב. **ראשית של מערכת צירים x,y**: קבע בסרטון את הראשית של מערכת הצירים בנקודת השיא של הפולס.

> בתפריט "צירים" בחר "ב"בחירת צירים". בחלון השמאלי הבא את קצה החץ של סמן העכבר לשיא הפולס, ולחץ על הכפתור השמאלי של העכבר. בחלון הימני תצטייר מערכת צירים.

ג. **קביעת רגע t = 0**: הגדר את הרגע שבו השיא נמצא בראשית הצירים כ- t = 0.

> בתפריט "צירים" בחר ב"בחירת זמן אפס" (בתמונה שבה נבחרה ראשית מערכת הצירים).

ד. בתפריט "עריכה" בחר באפשרות "מחק נקודות", כדי למחוק נקודות מיותרות שאולי נרשמו בחלון הימני.

ה. סמן (דייק בסימון) את עקבות שיא הפולס בתמונות הסרטון החל מהתמונה שנבחרה כ- t = 0 עד לתמונה שבה הפולס קרוב לקצה השמאלי של הקפיץ.

ו. העבר את ערכי t, x ו-y של עקבות שיא הפולס לגיליון אלקטרוני.

> בתפריט "קבצים" בחר ב"גליון".

ז. סרטט דיאגרמת פיזור של מקום השיא ביחס לציר ה-x כפונקציה של הזמן t (שים לב, ערכי x שליליים כי הפולס נע בכיוון השלילי של הציר x).

ח. מהו סוג התנועה של הפולס (שוות-מהירות, שוות תאוצה...)?

ט. הוסף לדיאגרמת הפיזור שבסעיף ז' את הישר המתאים לה ביותר, את משוואת הישר, ואת ריבוע מקדם המתאם.

י. מה גודלה של מהירות הפולס?

יא. פְּתח באמצעות התוכנה VideoexpL את הקובץ **sp-fixed end-large tension**, וחזור על סעיפים א-י לגבי הפולס בסרטון זה.

יב. קבע על סמך ניתוח שני הסרטונים אם מהירות פולס בקפיץ גדֵלה כתוצאה מכך שמותחים את הקפיץ, קטֵנה או אינה משתנה.

הפעילויות הבאות מיועדות לתלמידי כיתות י' ולתמידי כיתות י"ב:

ב. החזרת פולס מ"קצה קשור" ומ"קצה חופשי"

7. התבונן בסרטונים **sp-fixed end-small tension** וב-**wm-fixed end**.
   א. הסבר מדוע בשני מקרים אלה קצה הקפיץ הוא "קצה קשור".
   ב. האם הפולס מתהפך בהחזרה מהקצה הקשור?

8. א. התבונן בסרטונים **sp-free end** וב-**wm-free end** והסבר מדוע בשני מקרים אלה קצה הקפיץ הוא "קצה חופשי".
   ב. האם הפולס מתהפך בהחזרה מהקצה החופשי?

ג. מעבר פולס מתווך אחד למשנהו

9. התבונן בסרטון **sp-light to heavy**.
   א. האם הפולס העובר לקפיץ ה"כבד" מתהפך ביחס לפולס הפוגע?
   ב. האם הפולס המוחזר לקפיץ ה"קל" מתהפך ביחס לפולס הפוגע?
   ג. קבע על סמך הסרטון באיזה משני הקפיצים הפולס נע מהר יותר? נמק.

10. התבונן בסרטון **sp-heavy to light**.
    א. האם הפולס העובר לקפיץ ה"קל" מתהפך ביחס לפולס הפוגע?
    ב. האם הפולס המוחזר לקפיץ ה"כבד" מתהפך ביחס לפולס הפוגע?

ד. עקרון הסופרפוזיציה

11. התבונן בסרטון **wm-2 pulses1**.

קדם את הסרטוט תמונה-תמונה, כאשר הפולסים קרובים זה לזה, מדוד את המשרעת של כל אחד משני הפולסים; כאשר קצה סמן העכבר יהיה במנוחה בנקודה על המסך שבה העתק הפולס שווה לאפס - קרא את ערך ה-y של המסך. לאחר מכן הבא את קצה סמן העכבר לשיא הפולס, וקרא את ערך ה-y של המסך. על פי שני ערכי ה-y, חשב את המשרעת של הפולס.

באופן דומה מצא את המשרעת של הפולס האחר.

עתה קדם את הסרטון תמונה אחר תמונה עד שלפולס המורכב תהיה משרעת מרבית.

מדוד את המשרעת של הפולס המורכב.

האם סכום המשרעות של שני הפולסים שווה בקירוב למשרעת של הפולס המורכב?

פרק ח: פעילות מספר 1
תופעות בסיסיות של גלי מים

איפיון הפעילות
שילוב הפעילות: במהלך לימוד פרק ח.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב.
מטרת הפעילות: לצפות בתופעות בסיסיות של גלי מים, ולהשוות אותן לתופעות של אור.



א. מה הקשר בין כיוון הקו שלאורכו משתרעת חזית פולס לבין כיוון התפשטות הפולס?

ב. מה כיוון התנועה של גוף הצף על פני מים בשעה שפולס עובר במים "מתחת" לגוף?

ג. אור מוחזר מעצמים. האם גלי מים מוחזרים ממחסומים? אם כן - האם חוק ההחזרה של גלי מים זהה לחוק ההחזרה של אור?

ד. באור מתרחשת תופעת נפיצה. האם תופעה זו מתרחשת גם בגלי מים?



פעילות א1
ניסויים באמבט גלים

רשימת הציוד
אמבט גלים ואביזריו. אם הינך משתמש באמבט של תכנית רחובות (מספר קטלוגי 0430) - ראה רשימת ציוד בנספח ב.

עריכת הנסוי
א. התפשטות פולס
1. הכנס לאמבט מוט גלילי, וכאשר המים שקטים הנח את קצות אצבעותיך על המוט, והרעד אותו בתנועה חדה קדימה (למרחק של 1-3 מ"מ). התבונן בפולס שמתפשט על פני המים. מהי צורת הפולס?
2. גע לזמן קצר בקצה אצבעך במים. מהי צורת הפולס שנוצר במקרה זה?
3. קבע, על-פי תצפיותיך בהתפשטות שני הפולסים שיצרת בשאלות 1 ו-2 לעיל, מה הקשר בין כיוון הקו שלאורכו משתרעת החזית של פולס לבין כיוון התקדמות הפולס.
4. הערך, על-פי שני הפולסים שיצרת (שאלות 1 ו-2 לעיל), האם פולס מתפשט במהירות קבועה או במהירות משתנה.
5. הנח על-פני המים מצוף (למשל פקק שעם קטן) ושגר פולס לעבר המצוף. מה כיוון תנועת המצוף בשעה שהפולס עובר אותו?

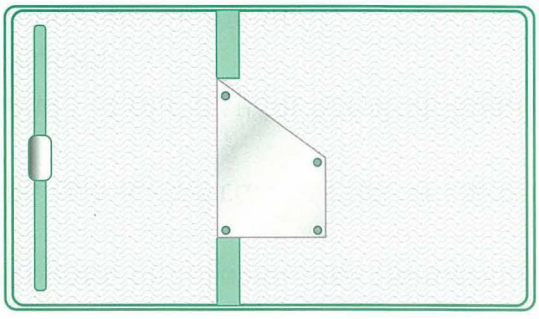
ב. החזרת פולס

6. א. הכנס לאמבט מחסום ישר, והצב את המוט הגלילי בכיוון מקביל למחסום, במרחק של כ- 10 ס"מ ממנו. שגר פולס ישר לעבר המחסום.
   ב. האם הפולס מוחזר? אם כן באיזה כיוון? סרטט את הפולס הנע לעבר המחסום ואת הפולס המוחזר מן המחסום.
   ג. מהי זווית הפגיעה של הפולס במחסום ומהי זווית ההחזרה של הפולס מן המחסום?
7. א. הטה את המוט הגלילי כך שהוא לא יהיה מקביל למחסום, ושגר פולס לעבר המחסום.
   ב. סרטט את הפולס הנע לעבר המחסום ואת הפולס המוחזר מן המחסום.
   ג. ערך את זווית הפגיעה של הפולס במחסום ואת זווית ההחזרה של הפולס מן המחסום, וסמן ערכים אלה בסרטוטך.
8. גע באצבעך בפני המים (כאשר המחסום הישר טבול במים). מה צורת הפולס המוחזר מן המחסום? איזו תופעה באור דומה לתופעה זו? הסבר.

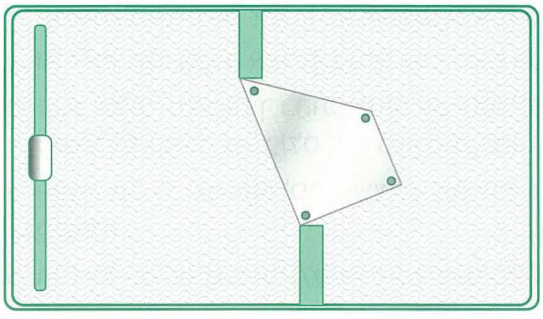
ג. שבירת גלים

הערה: עריכת ניסוי של שבירת גלים באמבט של תכנית רחובות דורשת מיומנות רבה; קיימים אמבטים שבהם קל יותר להדגים תופעה זו.

9. התקן את מחולל הגלים החשמלי, כך שהוא יצור גלים מחזוריים ישרים.
10. הנח לוח זכוכית בתוך אמבט הגלים, כך שהגבול בין המים העמוקים (בין מחולל הגלים לבין לוח הזכוכית) למים הרדודים (אלה שמעל ללוח הזכוכית) יהיה מקביל למחולל הגלים (תרשים 1). קבע את כמות המים באמבט כך שעומקם יהיה לפחות 10 מ"מ, ועומקם מעל הזכוכית לא יעלה על 2 מ"מ. ודא כי עומק המים אחיד מעל לכל חלקי לוח הזכוכית.
11. הפעל את מחולל הגלים החשמלי.
12. התבונן בתמונת הגלים שהתקבלה. האם אורך הגל, λ_2, הנוצר במים הרדודים גדול מאורך הגל, λ_1, במים העמוקים, קטן ממנו או שווה לו?
13. הסבר מדוע תדירות הגלים המתפשטים במים העמוקים שווה לתדירות הגלים המתפשטים במים הרדודים.
14. הוכח, על סמך שאלות 12 ו-13, כי מהירות הגלים במים הרדודים, v_2, קטנה ממהירות הגלים במים העמוקים, v_1.
15. סובב את לוח זכוכית בתוך אמבט הגלים, כך שהגבול בין המים העמוקים למים הרדודים לא יהיה מקביל למחולל הגלים הישרים (תרשים 2). האם כיוון התפשטות הגלים בתחום המים הרדודים שונה מכיוון התפשטותם במים העמוקים (כלומר האם מתרחשת תופעת שבירה)?
    אם כן - האם זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה או קטנה ממנה?



תרשים 1: הגבול בין שני התווכים מקביל למחולל



תרשים 2: הגבול בין שני התווכים אינו מקביל למחולל

ד. נפיצת גלים

16. במצב שבו משטח הגבול בין המים הרדודים למים העמוקים אינו מקביל למחולל הגלים הישרים, והזווית ביניהם קבועה, שנה כמה פעמים את תדירות הגלים המחזוריים. האם מידת השבירה משתנה? איזו תופעה באור מקבילה לתופעה זו?



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Snell's Law

מקור ההדמיה: The Department of Physics and Astronomy Northwestern University

מטרת ההדמיה: להראות התפשטות גל מתוך שקוף אחד לאחר.

המערכת המוצגת: מסך ובו מוצגים מקדמי השבירה של שני התווכים, הקרן הפוגעת, הקרן הנשברת והקרן המוחזרת.

המערכת מאפשרת: שינוי של מקדמי השבירה, שינוי זווית הפגיעה, הצגת האנך למשטח המפריד בין שני התווכים, בחירה בין קרן אור לבין גל מישורי, אפשרות להציג או לא להציג את הקרן המוחזרת ואת הקרן הנשברת.

הפעלת ההדמיה: כדי לקבל גל מישורי יש לבחור את האפשרות:"Wave Fronts View" במקום "Laser View".

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Ripple Tank

מקור ההדמיה: Davidson College

מטרת ההדמיה : חקירת ההתפשטות של גל דו - ממדי ושל ההתאבכות של גלים דו - ממדיים.

המערכת המוצגת: בחלון ההדמיה מופיע אמבט גלים ובו שני מקורות נקודתיים.

המערכת מאפשרת: שינוי מספר המקורות, קביעת מקום המקורות וקביעת המאפיינים של הגל הנפלט מכל מקור. ניתן לעצור את ההדמיה או לקדם אותה צעד אחר צעד (קדימה או אחורה)

הפעלת ההדמיה: שינוי מספר המקורות : לסמן Clear Sources/Add Source

המלצה: ★★★½☆

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Ripple Tank

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת גלי מים.

המערכת המוצגת: ההדמיה נפתחת בחלון נפרד ומציגה מבט מלמעלה על פני אמבט מים.

המערכת מאפשרת: שינוי מספר המקורות, שינוי תדירות הגלים, שינוי סוג הגל, הוספת מחסומים, להכניס מחסום עם חריץ אחד או עם שני חריצים, חקירת החזרה, חקירת שבירה.

הפעלת ההדמיה: יש בחור את האופציה הרצויה בחלונית העליונה.

המלצה: ★★★★☆

הערה: ניתן להוריד את ההדמיה.

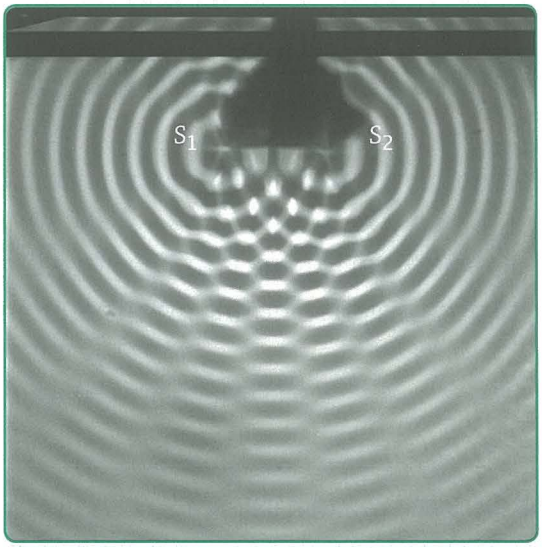
פרק ט: פעילות מספר 1

תבנית התאבכות של גלי מים משני מקורות

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: כפתיח ללימוד הנושא "התאבכות" בפרק ט.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב.
מטרת הפעילות: להבין את ההיווצרות של תבנית ההתאבכות באמבט גלים שבו פועלים שני מקורות נקודתיים שווי מופע.

שני כדורים קטנים מתנודדים אנכית בתדירות f, ונמצאים בכל רגע ורגע באותו גובה. במהלך ירידתם, מקישים שני הכדורים בפני המים שבאמבט גלים (כל כדור יוצר במים גל מעגלי מחזורי), ונוצרת תבנית כדוגמת זו המוצגת בתרשים 1.



תרשים 1: תצלום תבנית התאבכות באמבט גלים

א. כיצד נוצרת התבנית, ומה מאפיין אותה?
ב. כיצד משתנה התבנית כפונקציה של הזמן?

הדפסה מהתקליטור המצורף לספר

היכנס בתקליטור לתיק "תרשימים להדפסה", והדפס את העמוד הראשון של קובץ ה- word "פרק ט פעילות 1". הקובץ כולל את תרשים 2, ותרשים נוסף למורה המיועד להכנת תבניות moire.



פעילות 1א
השוואה בין תבנית המתקבלת באמבט לבין ניתוח תרשים

רשימת הציוד
(1) אמבט גלים עם ציוד נלווה ליצירת התאבכות משני מקורות נקודתיים.
אם הינך משתמש באמבט הגלים של תכנית רחובות (מספר קטלוגי 0430) - ראה מרכיבי המערכת בנספח ב.
(2) סרגל שאורכו כ-50 ס"מ.

הערה: את הניסוי יש לערוך בהאפלה חלקית לפחות.

בניית מערכת הניסוי
א. הרכב את אמבט הגלים. אם הינך משתמש באמבט הגלים של תכנית רחובות - ראה הנחיות שבנספח ב.
ב. הדבק באמצעות סרט הדבקה את גיליון הנייר הלבן למשטח השולחן שמתחת לאמבט הגלים.
ג. הפעל את מקור האור.
ד. סובב את שני הווים שבמחולל כך שחודיהם יפנו כלפי מטה, וכך שהמרחק בין הדמויות הנוצרות על גיליון הנייר הלבן של שני החודים יהיה בערך 10 ס"מ. כוון את גובהו של המחולל (באמצעות המוטות המכופפים שבדפנות האמבט או באמצעות שינוי אורך הגומיות), כך ששני הווים יגעו קלות בפני המים, ובמידה שווה.

עריכת הניסוי
1. הפעל את מקור האור ואת המנוע, והתבונן בתבנית המתקבלת על פני גיליון הנייר הלבן. כדי להבחין היטב בתבנית כדאי להתרחק מעט ממנה.
2. סמן באותיות S_1 ו-S_2 על גבי גיליון הנייר הלבן את הדמויות של שני מקורות הגלים.
3. שנה באמצעות הפוטנציומטר את תדירות התנודות של מקורות הגלים עד שהתבנית תכלול 4 - 6 איזורים "מוצלים" בכל אחד מצידיו של הקו המרכזי ה"מואר".
4. תאר את התבנית המתקבלת על גיליון הנייר הלבן.

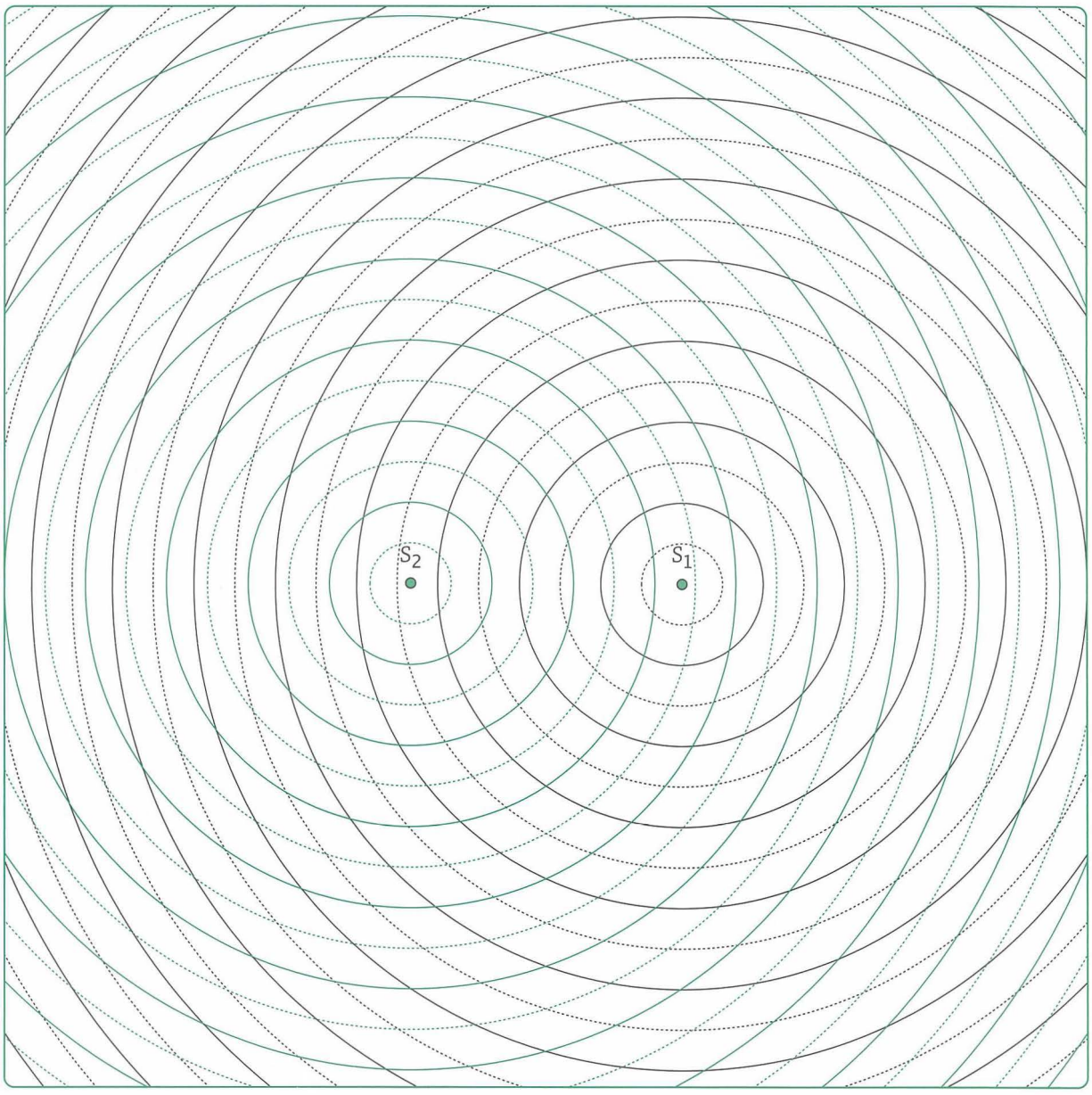
ניתוח התבנית
בתרשים 2 מסומנים שני מקורות גלים S_1 ו-S_2, וצורת הגל שהיתה מתקבלת על פני המים באמבט הגלים, אילו כל מקור היה פועל לבדו. המעגלים הרציפים מייצגים שיאי גלים, והמקווקווים את השפלים של הגלים.

5. א. התבונן בגיליון הנייר הלבן שמתחת לאמבט הגלים, בקטע הישר המהווה אנך האמצעי לקו המחבר את שני המקורות S_1 ו-S_2. לאחר מכן סרטט את האנך האמצעי בתרשים 2, והתבונן בקו זה. הסבר את מה שמתרחש באמבט לאורך קו זה.
ב. לאורך האנך האמצעי שסרטטת בתרשים 2, סמן באמצעות עיגולים (מלאים) את הנקודות שבהן שיא שמקורו ב-S_1 נחתך עם שיא שמקורו ב-S_2, ובאמצעות מעגלים (ריקים) נקודות החיתוך של שפלים.
6. א. זהה על גבי גיליון הנייר הלבן ובתרשים 2 שני קווים נוספים, שלאורכם מצויות נקודות חיתוך של שני שיאים, ונקודות חיתוך של שני שפלים. הוסף בתרשים 2 קווים כדוגמת האנך האמצעי (שים לב, הקווים לא חייבים להיות ממש ישרים), וסמן את נקודות החיתוך של שיאים בעיגולים מלאים, ואת נקודות החיתוך של שפלים במעגלים.
ב. את קצותיו של האנך האמצעי סמן ב-A_0, את הקצוות של שני הקווים הסמוכים לאנך האמצעי סמן ב-A_1, ואת הקצוות של שני הקווים הסמוכים הבאים סמן ב-A_2, וכך הלאה.

הקווים שסימנת נקראים **קווי מקסימום**. קו המקסימום שקצהו מסומן ב-A_0 מכונה **קו מקסימום מסדר 0** או **קו מקסימום ראשי**. שני קווי המקסימום שאת קצותיהם סימנת ב-A_1 מכונים **קווי מקסימום מסדר ראשון**. שני קווי המקסימום שאת קצותיהם סימנת ב-A_2 מכונים **פסי מקסימום מסדר שני**, וכך הלאה.

7. א. התבונן בגיליון הנייר שמתחת לאמבט הגלים בשני הפסים ה"מוצלים" הנמצאים בין קו מקסימום מסדר אפס לבין שני קווי המקסימום מסדר ראשון, ותאר את פני המים לאורך פסים אלה.

ב. הוסף לתרשים 2 קווים מקווקווים לאורך כל זוגות הקווים ה"מוצלים".



תרשים 2: שני מקורות נקודתיים של גלים מים; כל מקור יוצר גל מעגלי מחזורי

ג. לאורך כל קו מקווקו, סמן באמצעות עיגול חצי מלא את נקודות החיתוך של שׂיא מאחד המקורות עם שפל מהמקור האחר.

ד. סמן את קצותיהם של שני הקווים המקווקווים הקרובים לאנך האמצעי ב-N_1, את הקצוות של שני הקווים הסמוכים סמן ב-N_2, ואת הקצוות של שני הקווים הסמוכים העוקבים סמן ב-N_3, וכך הלאה.

כל אחד מהקווים המקווקווים נקרא **קו מינימום**, או **קו צומת**. קווי הצומת שקצותיהם מסומנים ב-N_1 נקראים **קווי צומת מסדר ראשון**, אלה שקצותיהם מסומנים ב-N_2 מכונים **קווי צומת מסדר שני**, וכך הלאה.

8. התמונה המופיעה על גיליון הנייר הלבן שמתחת לאמבט הגלים הרוגש מכונה **תבנית התאבכות**. תרשים 2 עם הסרטוטים שהוספת לו מהווה תמונה סטטית, כלומר הוא מתאר את תבנית ההתאבכות **ברגע מסוים**.
במציאות התמונה מוטלת על גיליון הנייר שמתחת לאמבט הגלים היא **דינמית**, כלומר מרגע לרגע היא משתנית במקצת. מה משתנה בתבנית ההתאבכות במשך הזמן, ומה נשאר קבוע בה?

שאלות

9. א. האם המשׂרעת לאורך קווי הצומת שווה לאפס, או שהיא מהווה מינימום (שאינו אפס) ביחס למשרעת הגלים שמצידי קו הצומת?

ב. מדוע קווי הצומת מהסדרים הגבוהים, כלומר אלה הרחוקים מהאנך האמצעי, נראים יותר מטושטשים מקווי הצומת מהסדרים הנמוכים?



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Interference in a Ripple Tank
יוצר ההדמיה: B.Surendranath Reddy
מטרת ההדמיה: לחקור את תבנית ההתאבכות משני מקורות נקודתיים באמבט גלים.
המערכת המוצגת: תבנית התאבכות משני מקורות נקודתיים.
המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל ואת המרחק בין המקורות. כמו כן המערכת מאפשרת קבלת תבנית התאבכות עם הצגת קווי ההתאבכות או בלעדיהם, סרטוט קווים דקים או עבים.
הפעלת ההדמיה: יש ללחוץ על "Applet Menu", לבחור "Waves" ו "Ripple Tank". לחיצה על "Start" מפעילה את ההדמיה הדינמית. אם לא לוחצים על Start מוצגת תמונה סטטית.
המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Interference of water waves

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת תבנית ההתאבכות של גלי מים משני מקורות.

המערכת המוצגת: פני אמבט מים ובו שני מקורות נקודתיים שיוצרים גלים בעלי תדירות זהה.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, המרחק בין שני המקורות, הפרש המופע בין שני הגלים. כמו כן המערכת מאפשרת ל"הקפיא" את התמונה.

הפעלת ההדמיה: הקלקה בעזרת העכבר בנקודה כלשהי בחלון ההדמיה גורם להצגת שני הגלים המגיעים לאותה נקודה. הפרש הדרך בין הגלים מופיע בצבע כחול.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Interference of two Circular or Spherical Waves

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת תבנית ההתאבכות של גלי מים משני מקורות.

המערכת המוצגת: פני אמבט מים ובו שני מקורות נקודתיים זהים. מוצגים חזיתות המקסימום והמינימום והדרך ששני הגלים עוברים עד נקודה כלשהי של התווך.

המערכת מאפשרת: שינוי אורך הגל, שינוי המרחק בין שני המקורות וקביעת הנקודה שבה מחושב הפרש הדרך.

הפעלת ההדמיה: שינוי אורך הגל ושינוי המרחק בין המקורות - בעזרת החלוניות המתאימות; אחרי הכנסת השינוי יש ללחוץ Enter . כדי לשנות את הנקודה שבה מחושב הפרש הדרך יש לגרור את הנקודה האדומה למקום הרצוי, תוך לחיצה על העכבר.

המלצה: ★★★★☆

פרק ט: פעילות מספר 2
מדידת אורך גל מים על-פי תבנית התאבכות

איפיון הפעילות

שילוב הפעילות: במסגרת לימוד הנושא "התאבכות גלי מים" בפרק ט.

ביצוע הפעילות: חלק ראשון (מציאת אורך גל על-פי הפרש מרחקים משני המקורות) על ידי תלמידי כיתות י' - י"ב.
חלק שני (מציאת אורך גל על-פי גל עומד) וחלק שלישי על ידי תלמידי כיתות י"ב.

מטרת הפעילות: למדוד את אורך הגל של גל מים מעגלי הנוצר באמבט גלים על-ידי מקור יחיד, בעזרת תבנית ההתאבכות בין הגלים הנוצרים על ידי מקור זה והגלים הנוצרים על ידי מקור נוסף.



באמבט גלים נוצרת תבנית התאבכות משני מקורות של גלים מעגליים שווי מופע. מדוד, בעזרת תבנית ההתאבכות, את אורך הגל של הגל הנוצר כל אחד משני המקורות.



פעילות 2א
מדידת אורך גל של גל מים מעגלי ומחזורי

רשימת הציוד

(1) אמבט גלים עם ציוד נלווה הנדרש ליצירת תבנית התאבכות משני מקורות נקודתיים.
אם הינך משתמש באמבט הגלים של תכנית רחובות (מספר קטלוגי 0430) - ראה מרכיבי המערכת בנספח ב.
(2) סרגל שאורכו כ-50 ס"מ.

בניית מערכת הניסוי

א. הרכב את אמבט הגלים. אם הינך משתמש באמבט הגלים של תכנית רחובות - הרכב את "המערך הבסיסי של אמבט הגלים" ואת "המערך עם מנוע חשמלי" (על-פי ההנחיות בנספח ב).
ב. הדבק את גיליון הנייר הלבן לפני השולחן שמתחת לאמבט הגלים, באמצעות סרט ההדבקה.
ג. הפעל את מקור האור.
ד. סובב את שני הווים שבמחולל כך שחודיהם יפנו כלפי מטה, וכך שהמרחק בין הדמויות הנוצרות על גיליון הנייר הלבן של שני החודים יהיה בערך 10 ס"מ. כוון את גובהו של המחולל (באמצעות המוטות המכופפים שבדפנות האמבט או באמצעות שינוי אורך הגומיות), כך ששני הווים יגעו קלות בפני המים, ובמידה שווה.

חלק ראשון - מציאת אורך הגל על-פי הפרשי מרחקים משני המקורות

1. סמן על גבי גיליון הנייר הלבן את הדמויות של שני מקורות הגלים באותיות S_1 ו- S_2.
2. שנה באמצעות הפוטנציומטר את תדירות התנודות של מקורות הגלים עד שהתבנית תכלול כארבעה או חמישה קווי צומת בכל אחד משני צידיו של קו המקסימום מסדר אפס.
3. א. בחר נקודה על קו מקסימום מסדר ראשון, ומדוד את מרחקה משני המקורות S_1 ו- S_2. רשום את תוצאת המדידה בטבלה 1.
   ב. חזור על סעיף א לגבי נקודות המקסימום ונקודות הצומת המפורטות.
4. לגבי כל נקודה (מקסימום או צומת) חשב את הערך המוחלט של הפרש המרחקים משני המקורות, ורשום את תוצאות החישובים במקומות המתאימים בטבלה 1.

קו בתבנית ההתאבכות	מרחק מהמקור S_1 (ס"מ)	מרחק מהמקור S_2 (ס"מ)	הפרש המרחקים בערך מוחלט (ס"מ)	אורך הגל - λ (ס"מ)
מקסימום מסדר ראשון הקרוב ל- S_1				
מקסימום מסדר ראשון הקרוב ל- S_2				
מקסימום מסדר שני הקרוב ל- S_1				
מקסימום מסדר שני הקרוב ל- S_2				
מקסימום מסדר שלישי הקרוב ל- S_1				
מקסימום מסדר שלישי הקרוב ל- S_2				
צומת מסדר ראשון הקרוב ל- S_1				
צומת מסדר ראשון הקרוב ל- S_2				
צומת מסדר שני הקרוב ל- S_1				
צומת מסדר שני הקרוב ל- S_2				
צומת מסדר שלישי הקרוב ל- S_1				
צומת מסדר שלישי הקרוב ל- S_2				

טבלה 1: תוצאות של מדידות ושל חישובים

5. חשב על-פי כל הנקודות המפורטות בטבלה 1, את אורך הגל, λ, ורשום את תוצאות החישובים במקומות המתאימים בטבלה.
6. חשב את λ - הממוצע של ערכי אורך הגל שרשמת בטבלה 1.

חלק שני – מציאת אורך הגל על-פי גל עומד- עבור תלמידי כיתות י"ב

התבונן בהיטל של תבנית ההתאבכות על גיליון הנייר הלבן. האם נוצר גל עומד בין שני המקורות S_1 ו- S_2? אם כן, בצע את המטלות שלהלן.

7. מצא את אורך הגל על-פי התבנית של הגל העומד.
8. השווה בין תוצאת המדידה של אורך הגל על-פי הפרשי מרחקים משני המקורות, לתוצאת המדידה על-פי הגל העומד.

חלק שלישי – מציאת אורך גל באמצעות נוסחה – עבור תלמידי כיתות י"ב

9. בחר נקודה כלשהי על קו מקסימום מסדר n (השונה מאפס). מדוד עבור נקודה זו את:
   d - המרחק בין שני המקורות;
   x_n - מרחק הנקודה מן האנך האמצעי;
   L_n - מרחק הנקודה ממרכז שני המקורות;
10. חשב את אורך הגל בעזרת הנוסחה:

$$\sin\theta_n = n\frac{\lambda}{d} = \frac{x_n}{L_n} \qquad (1)$$

11. חזור על סעיפים 9-10 עבור שתי נקודות אחרות - כל אחת על קו מקסימום אחר (ושונה מזה שבחרת בסעיף 9).
12. חשב את הממוצע של שלושת אורכי הגל שמצאת באמצעות נוסחה (1).
13. באיזה תנאי נוסחה (1) היא קירוב טוב?
14. השווה בין אורך הגל שמצאת ממדידות מרחקי נקודות משני המקורות (סעיף 6) עם אורך הגל שמצאת בעזרת נוסחה (1) (סעיף 12). מה אחוז הפער בין שתי המדידות?

פרק ט: פעילות מספר 3
עקיפה והתאבכות של אור

איפיון הפעילות
שילוב הפעילות: במהלך לימוד פרק ט.
ביצוע הפעילות: על ידי תלמידי כיתות י'-יב'.
מטרת הפעילות: לצפות בתופעות עקיפה והתאבכות של אור.

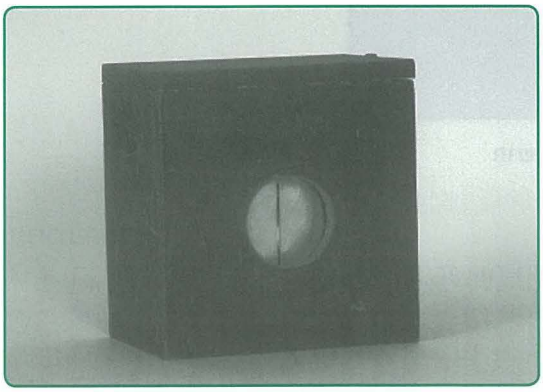


א. כאשר גלי מים עוברים דרך פתח הם עשויים לעקוף (לחדור לצל הגאומטרי).
האם מתרחשת תופעת העקיפה גם באור? אם כן - מהי השפעת רוחב החריץ על תבנית העקיפה?
ב. כאשר גלי מים עוברים דרך זוג פתחים הם מתאבכים.
האם גם אור מתאבך בעוברו דך זוג חריצים? אם כן - מהי השפעת המרחק בין החריצים על תבנית ההתאבכות, ומהי השפעת צבע האור (אורך הגל) על תבנית ההתאבכות?



פעילות 3א
ניסוי באמצעות לוחיות בעלות חריץ יחיד ולוחיות בעלות זוג חריצים

רשימת הציוד
(1) פנס לייזר הליום-ניאון שהספקו כ-1mW;
(2) לוחיות שבכל אחת יש חריץ יחיד צר, כך שהחריצים שונים ברוחבם [השיקופיות ממערכת השיקופיות של תכנית רחובות (מס' קטלוגי 0590), המסומנות ב-1, 2 ו-3 - מתאימות].
(3) לוחיות שבכל אחת יש זוג חריצים צרים וקרובים, כך שהמרחקים בין החריצים שונים מלוחית ללוחית [השיקופיות ממערכת השיקופיות של תכנית רחובות (מס' קטלוגי 0590), המסומנות ב-5, 6 ו-7 - מתאימות].
(4) מחזיק עדשות [מחזיק העדשות של תכנית רחובות מס' קטלוגי 0700 מתאים].
(5) לוח קרטון לבן שממדיו הם בערך 10cm x 10 cm, עם מתקן המאפשר להציב אותו אנכית, כך שישמש מסך.
(6) מקור אור חזק שבחזיתו פתח שרוחבו כ-1 - 2 מ"מ [מקור האור לאופטיקה של תכנית רחובות מס' קטלוגי 0690 עם חריץ בחזית שלו מתאים (תרשים 1)].
(7) מקור מתח (ישר או חילופין) של 12V.
(8) 2 תֵילים מוליכים
(9) שני דפי צלופן, אדום וכחול, בגודל של כ- 5 cm x 10 cm.



תרשים 1: מקור אור

הערה: לביצוע הפעילות דרושה **האפלה**.

אזהרה: אסור שאור הלייזר יחדור ישירות לתוך העיניים. אין סכנה בפגיעה של אור לייזר בכל חלקי הגוף, פרט לעין.

א. ניסויים עם מקור אור לבן

1. א. כסה את פתח מקור האור לאופטיקה בנייר צלופן אדום, והפעל אותו (באמצעות מתח של 12V).
   ב. צפה באור האדום הבוקע מהפנס דרך הלוחית בעלת זוג החריצים הקרובים ביותר.
   ג. החלף את נייר הצלופן האדום בנייר צלופן כחול, וצפה דרך הלוחית בעלת זוג החריצים הקרובים ביותר באור הכחול הבוקע מהפנס.
   ד. מה השוני בין שתי תבניות ההתאבכות?
   ה. סרטט את שתי תבניות ההתאבכות, ורשום לאיזה צבע מתאימה כל תבנית.
2. א. הסר את נייר הצלופן ממקור האור, והתבונן באור הלבן הבוקע מפתח מקור האור דרך הלוחית בעלת זוג החריצים הקרובים ביותר.
   ב. במה שונה תבנית ההתאבכות של אור לבן העובר דרך זוג החריצים מתבנית ההתאבכות של אור חד-צבעי?

ב. ניסויים עם פנס לייזר

הרכבת מערכת הניסוי

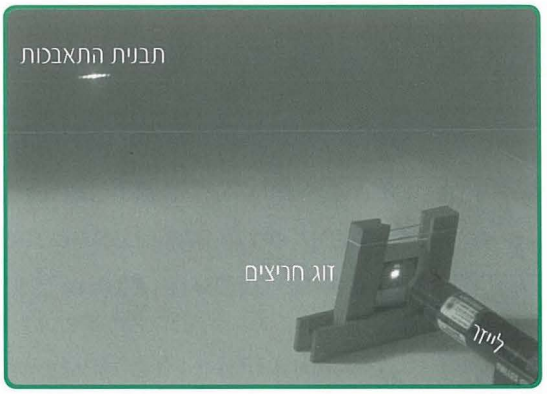
בנה את מערכת הניסוי המתוארת בתרשים 2 בהתאם להנחיות אלה:

א. הצב את פנס הלייזר בקצהו של שולחן ארוך.

ב. ליד פתחו של פנס הלייזר הצב מחזיק עדשות.

ג. הצב את המסך במרחק של כמטר מפנס הלייזר ומולו.

ד. כוון את המערכת כך שאור הלייזר יפגע במסך.



תרשים 2: תצלום מערכת הניסוי

עריכת הניסוי

3. א. הכנס למחזיק העדשות, בזו אחר זו, את הלוחיות בעלות חריץ יחיד, כך שבכל פעם רוחב החריץ ילך ויקטן. שמור על מרחק קבוע בין הלוחית לבין המסך (לשם כך סמן את מקום מחזיק העדשות). התבונן בכל פעם בתבנית העקיפה המתקבלת על המסך.
   ב. סרטט תבנית עקיפה שהתקבלה על המסך.

ג. כיצד משפיע רוחב החריץ על התבנית?

4. א. הכנס למחזיק העדשות הקרוב לפנס הלייזר, בזו אחר זו, את הלוחיות בעלות זוג חריצים, כך שבכל פעם המרחק בין החריצים ילך ויקטן. שמור על מרחק קבוע בין הלוחית לבין המסך. התבונן בכל פעם בתבנית ההתאבכות המתקבלת על המסך.
ב. סרטט תבנית התאבכות שהתקבלה על המסך.
ג. כיצד משפיע המרחק בין החריצים על התבנית?

סעיפים 5-6 מיועדים לתלמידי כיתות י"ב

5. בחר בשיקופית עם שני החריצים הקרובים ביותר. מדוד את הרוחב Δx של פס אור. דאג לכך שאי-הוודאות (ה"שגיאה") במדידה תהיה קטנה. מדוד את המרחק L מן השיקופית עד המסך. העתק את המרחק d בין החריצים מן השיקופית.
6. חשב את אורך הגל של הלייזר בעזרת נוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$$

לשם השוואת תוצאת מדידתך עם הערך הידוע: אורך הגל של אור לייזר הליום-נאון הוא 632.8 nm.



פעילות 3ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: Young's Double Slit Experiment
מקור ההדמיה: Mississippi State University
מטרת ההדמיה: לחקור השפעת שינויים בפרמטרים השונים על תבנית ההתאבכות של אור העובר דרך שני חריצים.
המערכת המוצגת: על מסך ההדמיה מתואר אור העובר דרך שני חריצים, מסך שעליו רואים את תבנית ההתאבכות וגרף של התחלקות עוצמת האור לאורך המסך.
המערכת מאפשרת: שינוי של: אורך הגל (ובהתאם לכך של צבע האור), המרחק בין החריצים ומרחק המסך מן החריצים.
הפעלת ההדמיה: יש להיכנס להדמיה על ידי לחיצה על "Start simulation". שינוי של אחד הפרמטרים מפעיל את ההדמיה.
המלצה: ★★★★★

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Young's Double Slit Experiment and N-slit Diffraction

מקור ההדמיה: The Department of Physics and Astronomy Northwestern University

מטרת ההדמיה: קבלת גרף של עוצמת האור כפונקציה של הזווית או של סינוס הזווית במעבר אור מונוכרומטי דרך חריצים.

המערכת המוצגת: גרף צבעוני של עוצמת האור כפונקציה של הזווית לגבי נתוני פתיחה שנקבעו (שני חריצים, מרחק התחלתי, רוחב חריץ ואורך גל) הנתונים המספריים רשומים על המסך.

המערכת מאפשרת: שינוי מספר החריצים, רוחבם, המרחק ביניהם ואורך הגל. יש אפשרות לקבל גרף של עוצמת האור כפונקציה של הזווית או של סינוס הזווית. יש אפשרות לראות את המרכיבים של הגרף יחד עם הגרף הכולל או בנפרד, וכן את הגרף הכולל ללא מרכיביו.

הפעלת ההדמיה: יש לרשום את הנתונים הרצויים ואז לבחור את האפשרות של Plot I(theta)

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Classic Two-Slit Experiment

מקור ההדמיה: University of Colorado

מטרת ההדמיה: לבדוק את השפעת המרחק בין החריצים על תבנית ההתאבכות.

המערכת המוצגת: מקור אור בצבע ירוק פולט אור לעבר זוג חריצים בעת הפעלת ההדמיה. על המסך מתקבלת תבנית ההתאבכות.

המערכת מאפשרת: שינוי המרחק בין החריצים על ידי גרירת כפתור "SLIT SEPARATION" וקבלת תבנית ההתאבכות (או העקיפה) על המסך.

הפעלת ההדמיה: לחיצה על כפתור "ON" מדליקה את מקור האור, לחיצה על "OFF" מכבה אותו.

המלצה: ★★★★★

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: Young's Double Slit Experiment Applet

מקור ההדמיה: Georgia Institute of Technology

מטרת ההדמיה: חקירת ההתאבכות של אור.

המערכת המוצגת: חתך רוחב דרך מערכת שכוללת מקור אור מונוכרומטי (לייזר), מחסום עם חריץ אחד, מחסום עם שני חריצים ומסך.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, המרחק בין שני החריצים והמרחק בין המחסום עם שני החריצים

למסך.

הפעלת ההדמיה: שינוי אורך הגל ושינוי עוצמת האור - בעזרת הלשוניות הנמצאות בצד שמאל של חלון ההדמיה.שינוי המרחק בין שני החריצים ושינוי המרחק בין המחסום עם שני החריצים למסך - תוך הקלקה וגרירה עם העכבר.

המלצה: ★★★★½☆

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Interference

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה: חקירת התאבכות של אור.

המערכת המוצגת: חתך רוחב דרך מערכת שמציגה חזיתות של גל מונוכרומטי העוברות דרך מחסום עם חריץ אחד, מחסום עם שני חריצים ומסך. מוצגת תמונת המסך ותיאור גרפי של עוצמת האור על המסך.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, שינוי המרחק בין שני החריצים ואת המרחק בין המחסום עם שני החריצים למסך.

הפעלת ההדמיה: השינויים מתבצעים בעזרת גרירת הלשוניות המתאימות.

המלצה: ★★★★½☆

הדמיה מספר 6:

שם ההדמיה: Double Slit Experiment Interference & Diffraction

מקור ההדמיה: פרטי

מטרת ההדמיה : חקירת התאבכות ועקיפה של אור.

המערכת המוצגת: ההדמיה נפתחת בחלון נפרד בו מוצג המסום עם שני החריצים, שתי קרניי האור המגיעות לחריצים ומסך.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, המרחק בין שני החריצים, את המרחק בין המחסום עם שני החריצים למסך, רוחב החריצים וזווית ההסתכלות.

הפעלת ההדמיה: השינויים מתבצעים בעזרת גרירת הלשוניות המתאימות פרט לשינוי זווית ההסתכלות שמתבצע תוך הקלקה בתוך המערכת וסיבובה בעזרת העכבר.

המלצה: ★★★★½

הערה: שינוי בעזרת החלונית השמאלית מ- Experiment ל – Result גורם להצגת תמונת המסך ושל התיאור הגרפי של עוצמת האור על המסך.

פרק י"א: פעילות מספר 1
האפקט הפוטואלקטרי – היבטים איכותיים

איפיון הפעילות
שילוב הפעילות: כפתיח ללימוד הנושא "האפקט הפוטואלקטרי".
ביצוע הפעילות: הדגמה על ידי המורה לתלמידי כיתות י' - י"ב שלומדים לראשונה נושא זה.
מטרת הפעילות: התוודעות לאפקט הפוטואלקטרי ברמה איכותית, והבנת הקשיים שהוא מעורר מנקודת ראותו של מודל הגלים האלקטרומגנטיים.



האם האפקט הפוטואלקטרי מתרחש במקרים אלה:
א. כאשר אור לבן פוגע באבץ?
ב. כאשר קרינה על-סגולה פוגעת באבץ?
ג. כאשר אור לבן פוגע בברזל?
ד. כאשר קרינה על-סגולה פוגעת בברזל?



פעילות 1א
ניסוי באמצעות אלקטרוסקופ

רשימת ציוד
(1) אלקטרוסקופ (רגיש).
(2) מצבט תנין.
(3) לוח ברזל (או לוח אלומיניום) שממדיו כ- 2 cm x 5 cm.
(4) לוח אבץ (או לוח פח מגולוון) שממדיו כ- 2 cm x 5 cm.
(5) צמר פלדה או נייר זכוכית.
(6) לוחית PVC, ופיסת בד צמר [לוחיות ה-PVC של ציוד רחובות, מספר קטלוגי 0540 מתאימות].
(7) קולונמטר (מד מטען חשמלי).
(8) נורת כספית [זו של ציוד רחובות, מספר קטלוגי 0620 מתאימה].

הקדמה: טעינת אלקטרוסקופ באמצעות לוחית PVC טעונה

כאשר משפשפים לוחית PVC באמצעות פיסת בד צמר - הלוחית נטענת במטען חשמלי. את סימן המטען של הלוחית תוכל לקבוע בעזרת קולונמטר, בדרך זו:

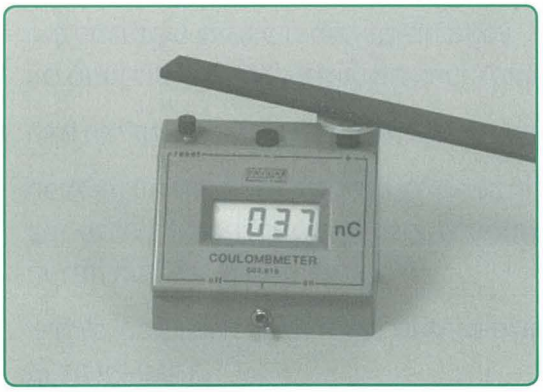
חבר לשקע החיובי של הקולונמטר את הדסקית השייכת למערכת, באמצעות מצבט ה"בננה". הפעל את הקולונמטר ואפס אותו (תרשים 1א). טען את לוחית ה-PVC על-ידי שפשוף, וטען את הקולונמטר באמצעות לוחית ה-PVC על-ידי מגע בדסקית. סימן המטען שמראה הקולונמטר (תרשימים 1ב ו-1ג) זהה לסימן המטען שבו טעונה לוחית ה-PVC.



א. קולונמטר מאופס



ב. מטען שלילי



ג. מטען חיובי

תרשים 1: מציאת סוג מטען חשמלי של לוחית PVC באמצעות קולונמטר

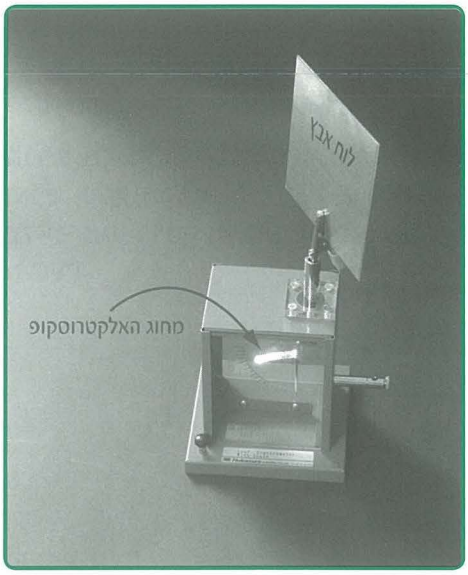
אפשר לטעון את דסקית הקולונמטר גם על-ידי השראה אלקטרוסטטית באמצעות לוחית ה-PVC: קרב את לוחית ה-PVC לדסקית, גע בדסקית באצבעך, נתק את האצבע מהדסקית, ולבסוף הרחק את לוחית ה-PVC מהדסקית. כאשר טוענים קולונמטר באמצעות השראה אלקטרוסטטית - הסימן של המטען החשמלי שמורה הקולונמטר **מנוגד** לסימן המטען של לוחית ה-PVC.

הרכבת מערכת הניסוי

הרכב את המערכת המתוארת בתרשים 2 על-פי הנחיות אלה:

א. הכנס את בסיס מצבט התנין לראש האלקטרוסקופ.

ב. שפשף **היטב** את אחד המשטחים של לוח האבץ באמצעות צמר פלדה (או באמצעות נייר זכוכית) כדי להסיר תחמוצות שנוצרו על פני המשטח. חבר את לוח האבץ בראש האלקטרוסקופ באמצעות מצבט התנין.



תרשים 2: תצלום מערכת הניסוי כאשר האלקטרוסקופ טעון

עריכת הניסוי

1. טען את האלקטרוסקופ במטען חשמלי **שלילי** באמצעות לוחית PVC טעונה, כך שהמחוג יסטה (תרשים 2).

הנחיות: שפשף את לוחית ה-PVC בבד צמר, ומצא את סימן מטענה. אם מטען הלוחית שלילי - טען את האלקטרוסקופ באמצעות מגע עם לוח האבץ.
אם מטען לוחית ה-PVC המשופשת חיובי - טען את האלקטרוסקופ באמצעות השראה אלקטרוסטטית.

2. האם האלקטרוסקופ נפרק כתוצאה מפגיעת האור הנראה שבחדר בלוח האבץ?

3. הפעל את נורת הכספית כך שקרינה על-סגולה הבוקעת ממנה תפגע במשטחו של לוח האבץ ששיפשפת באמצעות צמר פלדה. האם האלקטרוסקופ נפרק כתוצאה מכך? אם כן - האם פריקת האלקטרוסקופ **החלה מיד** עם פגיעת הקרינה העל-סגולה בלוח האבץ?

שים לב, אם במנורת הכספית שברשותך יש חלון מזכוכית - יש **לפתוח את החלון**, כי הזכוכית נועדה למנוע מעבר קרינה על-סגולה.

4. החלף את לוח האבץ בלוח ברזל (או האלומיניום) לאחר שיפשופו בצמר פלדה, וחזור על הניסוי שערכת עם לוח האבץ.

רשום בטבלה 1 "+" בכל מקרה שבו האלקטרוסקופ נפרק, ו-"–" בכל מקרה שבו האלקטרוסקופ אינו נפרק.

	לוח אבץ	לוח ברזל
אור לבן		
קרינת U.V.		

טבלה 1: ממצאי הניסויים

שאלות

5. הסבר, בעזרת מודל הגלים האלקטרומגנטיים של האור, מדוע קרינה על-סגולה גרמה לפריקת האלקטרוסקופ כאשר היא פגעה בלוח האבץ?
6. האם אפשר להסביר, בעזרת מודל הגלים האלקטרומגנטיים של האור -

- מדוע אור נראה שעוצמתו גדולה אינו גורם לפריקת האלקטרוסקופ שהוצמד לו לוח אבץ, ואילו קרינה על-סגולה שעוצמתה קטנה גרמה לפריקתו?
- מדוע אור נראה וקרינה על-סגולה אינם גורמים לפריקת האלקטרוסקופ שהוצמד לו לוח ברזל?
- מדוע פריקת האלקטרוסקופ שהוצמד לו לוח אבץ החלה **מיד** כאשר לוח האבץ הוקרן בקרינה על-סגולה?

סיכום

על-פי מודל הגלים האלקטרומגנטיים האנרגיה של גל אלקטרומגנטי תלויה במשרעת הגל, כלומר בעוצמת האור, והיא אינה תלויה בתדירות הגל.
את תוצאות הניסוי המפורטות להלן אי אפשר להסביר על-ידי מודל הגלים האלקטרומגנטיים, והן עומדות בסתירה למודל זה.

1. **תוצאת ניסוי:** אור לבן הפוגע בלוח אבץ או בלוח ברזל אינו גורם לפריקת האלקטרוסקופ, גם אם עוצמתו גדולה, וגם אם משך ההארה ארוך.
סתירה למודל הגלים האלקטרומגנטיים: על-פי המודל, הקרינה מעבירה אנרגיה למתכת. אנרגיה זו הולכת וגדלה ככל שמשך ההארה גדל. האלקטרונים, על-פי מודל זה, צריכים היו לרכוש אנרגיה רבה יותר ויותר, ובסופו של דבר להעקר מן המתכת המוקרנת באור לבן ולגרום לפריקת האלקטרוסקופ, בניגוד לתצפיות.



תרשים 3: פריקת האלקטרוסקופ כתוצאה מפגיעת קרינה על-סגולה בלוח האבץ (הקרינה נפלטת מנורת כספית)

2. **תוצאת ניסוי:** קרינה על-סגולה הפוגעת בלוח אבץ גורמת לפריקת האלקטרוסקופ, גם אם עוצמתה קטנה, ומשך ההארה קטן, כמתואר בתרשים 3.
סתירה למודל הגלים האלקטרומגנטיים: על-פי המודל, אין קשר בין האנרגיה של גל אלקטרומגנטי לבין תדירות הגל, לכן אי אפשר להסביר באמצעות המודל מדוע קרינה על-סגולה בעוצמה נמוכה מצליחה לעקור אלקטרונים מלוח האבץ בעוד שאור לבן אינו מצליח.

3. **תוצאת ניסוי:** קרינה על-סגולה הפוגעת בלוח אבץ גורמת לפריקה **מיידית** של האלקטרוסקופ.
סתירה למודל הגלים האלקטרומגנטיים: על-פי המודל, צריך לחלוף זמן בין הרגע שבו מתחילים להקרין את המתכת לבין הרגע שבו מתחילה עקירה של אלקטרונים.



פעילות 1ב
הדמיות מרשת האינטרנט

הדמיה מספר 1:

שם ההדמיה: El efecto fotoeléctrico

מקור ההדמיה: Universidad del País Vasco

מטרת ההדמיה: חקירה כמותית של האפקט הפוטואלקטרי.

המערכת המוצגת: פוטונים משוגרים לעבר הפולט של שפופרת פוטואלקטרית.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל של האור, המתח בין הקולט והפולט, המתכת שממנה עשוי הפולט, עוצמת האור (מספר הפוטונים הנשלחים).

הפעלת ההדמיה: יש להיכנס לאתר ולהגיע אל ההדמיה, לבחור את תנאי הניסוי וללחוץ על לחצן: "Fotan".

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 2:

שם ההדמיה: Photoelectric Effect

מקור ההדמיה: Brigham Young University

מטרת ההדמיה : חקירה איכותית של האפקט הפוטואלקטרי.

המערכת המוצגת: תרשים של מעגל הכולל מקור מתח, תא פוטואלקטרי ואמפרמטר; מקור פוטונים חיצוני.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, סוג המתכת המוקרנת ועוצמת האור.

הפעלת ההדמיה: כדי להפעיל את ההדמיה יש ללחוץ על Start. שינוי אורך הגל וסוג המתכת: בעזרת החלוניות המתאימות. שינוי עוצמת האור - לחיצה על הכפתור Low Intensity. אם נפלטים אלקטרונים מוצגת האנרגיה שלהם.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 3:

שם ההדמיה: Photoelectric Effect

מקור ההדמיה: Mississippi State University

מטרת ההדמיה : חקירת האפקט הפוטואלקטרי.

המערכת המוצגת: תרשים של מעגל הכולל מקור מתח, תא פוטואלקטרי ואמפרמטר; מקור פוטונים חיצוני.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, סוג המתכת המוקרנת (רק שתי אפשרויות), עוצמת האור ומתח.

הפעלת ההדמיה: השינויים מתבצעים בעזרת החלוניות. אם נוצר זרם, עוצמתו מופיעה מעל התרשים.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 4:

שם ההדמיה: Photoelectric Effect

מקור ההדמיה: Mississippi State University

מטרת ההדמיה : חקירת האפקט הפוטואלקטרי.

המערכת המוצגת: תרשים של מעגל הכולל מקור מתח, תא פוטואלקטרי ואמפרמטר, ומקור פוטונים חיצוני.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, סוג המתכת המוקרנת והמתח.

הפעלת ההדמיה: כדי להתחיל את ה"ניסוי" יש ללחוץ על הכפתור Set Parameters. בחלון שנפתח יש לבחור את הפרמטרים הרצויים ולאחר מכן לסגור אותו. אחר כך יש ללחוץ על הכפתור Start Experiment בחלון ההדמיה.

המלצה: ★★★★☆

הדמיה מספר 5:

שם ההדמיה: Photoelectric Effect

מקור ההדמיה: Illinois University

מטרת ההדמיה : חקירה איכותית של האפקט הפוטואלקטרי.

המערכת המוצגת: תרשים של מעגל הכולל מקור מתח, תא פוטואלקטרי ואמפרמטר; מקור פוטונים חיצוני.

המערכת מאפשרת לשנות את: אורך הגל, המתח, ועוצמת האור.

הפעלת ההדמיה: ההדמיה מופעלת עם העלתה. שינוי אורך הגל, המתח ועוצמת האור - בעזרת הלשוניות המתאימות.

המלצה: ★★★★☆

הערה: הדמיה מוצלחת מאוד מבחינה ויזואלית

נספח א
הרכבת מערכת אופטיקה גאומטרית – תכנית רחובות

א. מערכת עם פנס "טלסקופי" של אור לבן

רשימת מרכיבי המערכת

(1) מקור מתח (ישר או חילופין) בן 12 וולט
(2) שני תֵילים מוליכים
(3) מערכת אופטיקה גאומטרית (של תכנית רחובות - מספר קטלוגי 0510) הכוללת:

- לוח אופטי הכולל בסיס עץ בו נעוצים שני ווים, ודסקית עץ שאותה אפשר לסובב, ושעליה מודבק נייר פולרי
- פנס "טלסקופי" של אור לבן (מספר קטלוגי 0011)
- "גשרון" עשוי מעץ
- תריס עם חריץ יחיד המתאים להרכבה על חזית הפנס, ותריס דומה עם חמישה חריצים
- גומיה

הערות

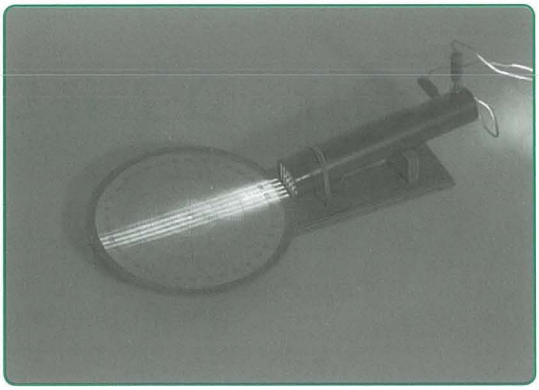
1. הִספק הנורה של הפנס ה"טלסקופי" הוא 10W. לצורך הדגמה על ידי המורה מומלץ להחליף נורה זו בנורה דומה שהספקה 21W. היתרון שלה הוא שעוצמת האור רבה יותר. החסרון - הפנס מחמם מאוד.
2. הכוונת המערכת "אופטיקה גאומטרית" דורשת האפלה.

הרכבת המערכת

הרכב את המערכת המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:

א. הנח את הפנס על בסיס הלוח האופטי בין שני הווים, כאשר המסילה שלאורך הפנס מופנית כלפי מטה וכך שחזית הפנס תפנה לעבר דסקית העץ של הלוח האופטי, ומרחקה מהדסקית יהיה כ-1 ס"מ. הכנס את גשרון העץ מתחת לפנס (בחציו האחורי), והדק את הפנס ללוח האופטי באמצעות הגומיה, כך שהגומיה תהיה מוחזקת על ידי שני הווים.
ב. חבר באמצעות שני התֵילים המוליכים את הפנס למקור המתח, והפעל את מקור המתח (12V).
ג. הרכב את התריס שבו חמישה חריצים על חזית הפנס, כך שהחריצים יהיו אנכיים.
ד. הזז את הגשרון למצב שבו חמש אלומות האור הבוקעות מחמשת החריצים תראיינה לכל אורך דסקית העץ.
ה. שחרר מעט את הבורג שמהדק את שני החלקים של הצינור ה"טלסקופי" של הפנס, והזז את הצינור הפנימי קדימה ואחורה, עד למצב שבו חמש אלומות האור תהיינה מקבילות זו לזו.
ו. סובב את הצינור ה"טלסקופי" עד למצב שבו חמש אלומות האור תהיינה חדות ובהירות (זה קורה כאשר חוט הלהט של הנורה מקביל לחריצים של התריס) - ראה תרשים 1.

הערה: אם בנוסף לחמש האלומות בוקעות מהפנס אלומות אור נוספות - קרוב לוודאי שהדבר נובע מהחזרת האור על ידי הדופן הפנימית של הפנס. כדי למנוע זאת הכנס לצינור הטלסקופי הפנימי נייר בריסטול שחור לאורך הדופן הגלילית.

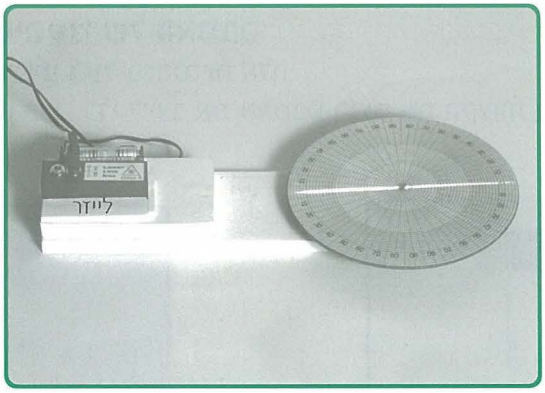


תרשים 1: מערכת אופטיקה גאומטרית – מקור אור לבן

ז. הדק את שני חלקי מקור האור על ידי הבורג המצוי בחלק העליון של הפנס, מצידו האחורי.
ח. הסר את התריס בעל חמשת החריצים, והרכב במקומו תריס בעל חריץ יחיד.

ב. מערכת עם פנס לייזר

זו מערכת אופטיקה גאומטרית הכוללת: לוח אופטי (הדומה ללוח האופטי של המערכת שתוארה בחלק א), פנס לייזר וסוללות (תרשים 2). המערכת מוכנה להפעלה. נציין כי לייזר הוא אור מונוכרומטי לכן מערכת זו אינה מאפשרת יצירת נפיצה.



תרשים 2: מערכת אופטיקה גאומטרית – לייזר

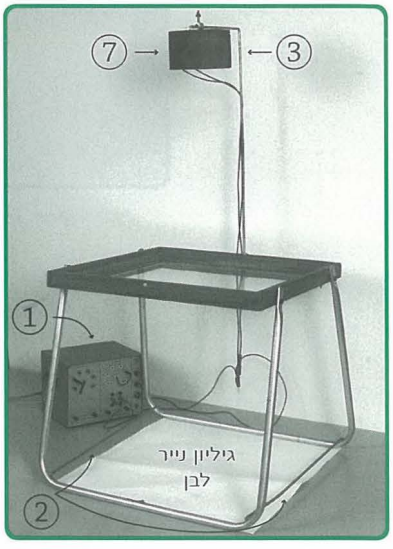
נספח ב
הרכבת אמבט הגלים - תכנית רחובות

מרכיבי המערכת

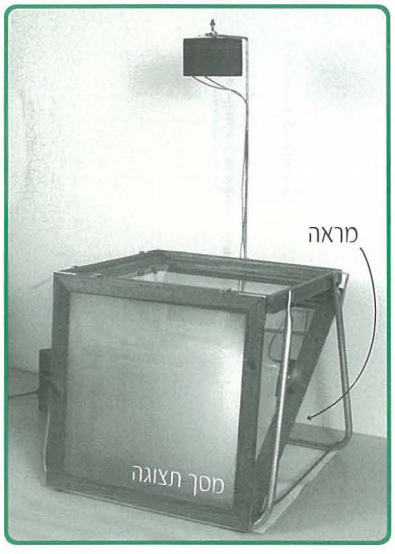
(1) מקור מתח (ישר או חילופין) בן 12V, ומקור מתח ישר בן 1.5V - 3V.
אמבט גלים (מספר קטלוגי 0430) הכולל פריטים (2)-(6) שלהלן:
(2) שני מוטות מתכת ישרים שקצותיהם מכופפים.
(3) מוט מתכת כפוף בזווית ישרה לנשיאת "מקור האור לאופטיקה".
(4) שני מוטות מתכת קטנים יותר כפופים בזווית ישרה לנשיאת מחולל הגלים.
(5) מחולל גלים חשמלי (הכולל מנוע חשמלי המופעל על ידי מקור מתח ישר בן 1.5V - 3V).
(6) טריזי גומי לאיזון אמבט הגלים.
(7) מקור אור להארת האמבט מלמעלה ("מקור אור לאופטיקה" שמספרו הקטלוגי 0690). מקור האור מופעל על-ידי מתח ישר או חילופין בן 12V.
(8) נגד משתנה [למשל הנגד המשתנה של תכנית רחובות, שהתנגדותו המרבית כ-20Ω ומספרו הקטלוגי 0520]
(9) גיליון נייר לבן שממדיו הם כ- 60 ס"מ x 60 ס"מ.
(10) גומיות משרד דקות.
(11) ארבעה תֵילים מוליכים (מלבד שני התֵילים המחוברים למנוע החשמלי) - שניים מהם ארוכים.
(12) סרט הדבקה.

א. הרכבת "המערכת הבסיסית" של האמבט

הרכב את המערכת המוצגת בתרשים 1 על-פי הנחיות אלה:
א. העמד את האמבט על שולחן יציב. כדי לייצב את האמבט הכנס את הקצוות של שני מוטות המתכת הישרים לחורים שבפינות הפנימיות של רגלי האמבט.



תרשים 1: אמבט גלים - "המערכת הבסיסית"



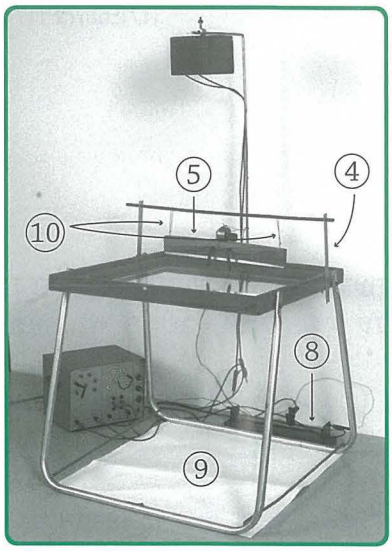
תרשים 2: אמבט גלים עם מערכת תצוגה

ב. מתחת לרגלי האמבט הכנס גיליון נייר לבן שגודלו כגודל האמבט. הדבק את גיליון הנייר לשולחן באמצעות סרט הדבקה.
ג. מלא את האמבט מים, כך שעומק המים יהיה כ-8 מ"מ. וודא שעומק המים שווה בכל פינות האמבט. לרשותך טריזי גומי שיאפשרו לך לאזן את האמבט במידת הצורך.
ד. הרכב את מוט המתכת שנועד לשאת את מקור האור (מוט כפוף בזווית ישרה). הרכב על הזרוע האופקית שלו את מקור האור, וחבר את מקור האור באמצעות שני התֵילים המוליכים הארוכים למקור מתח מתאים (12V). הזז במידת הצורך את מקור האור כך שהחלק המואר של גליון הנייר יהיה במרכזו.

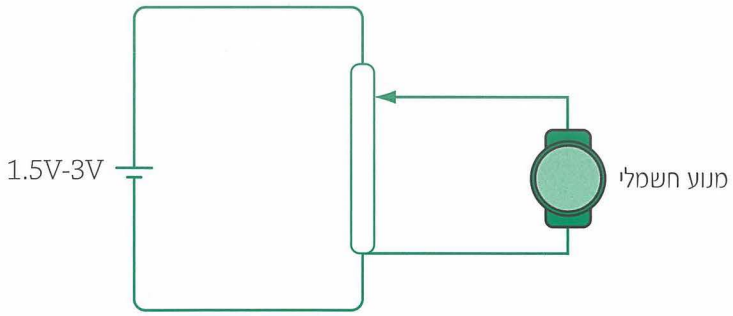
לצורך הצגת היטל תמונת הגלים בפני כיתה אפשר להוסיף מערכת תצוגה: מראה נטויה ב-45° (תרשים 2) וזכוכית מט (תרשים 2).

ב. הרכבת מערכת המנוע החשמלי

הוסף למערכת הבסיסית את המערכת המוצגת בתרשים 3 על-פי הנחיות אלה:
ה. הכנס לחורים שבצידי אמבט הגלים את שני המוטות המכופפים בזווית ישרה.
ו. תלה את מחולל הגלים החשמלי על המוטות בעזרת שתי גומיות.
ז. חבר את המנוע של מחולל הגלים, בחיבור פוטנציומטרי, אל מקור המתח ישר בן 1.5 וולט או 3 וולט, כמתואר בתרשים 4. כדאי להדק באמצעות סרט הדבקה את התֵילים של המנוע למוט המכופף שעליו תלוי מקור האור, כדי שהתֵילים לא יפריעו לתנודות מחולל הגלים.



תרשים 3: אמבט גלים עם מחולל הגלים החשמלי



תרשים 4: המעגל החשמלי של המנוע

נספח ג
התוכנה "VideoexpL" לניתוח סרטוני וידאו

על התוכנה

התוכנה VideoexpL פותחה על-ידי מר **שלמה רוזנפלד** מהמחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע. בעזרת התוכנה אפשר לצפות על גבי מסך המחשב בסרטוני וידאו (בפורמט מתאים) בתמונה אחר תמונה, ולנתח את הארוע המוצג בסרטון.

התקנת התוכנה

את התוכנה אפשר להתקין במחשבי פנטיום 2 ומעלה, עם מערכת הפעלה חלונות 95 ומעלה. הגירסה של התוכנה הנמצאת בתקליטור "מודלים של האור - פעילויות" היא 3.0.44. בעת התקנת התוכנה רצוי שלא תהיינה תוכנות אחרות פתוחות במחשב.

אופן ההתקנה:

א. הכנס את התקליטור "מודלים של האור - פעילויות" לכונן המתאים במחשב.

ב. הקש על הצלמית "My Computer" ("המחשב שלי") הנמצאת על שולחן העבודה של המחשב שלך.

ג. היכנס לכונן שלתוכו הוכנס התקליטור.

ד. פתח בתקליטור "מודלים של האור - פעילויות" את התיקיה VideoexpL.

ה. זהה את הקובץ setup.exe (הצלמית מוצגת בתרשים 1), והפעל אותו על-ידי לחיצה כפולה.



תרשים 1: צלמית הקובץ setup.exe.

התקן את התוכנה על-פי הוראות ההתקנה שיופיעו על מסך המחשב. אם במהלך ההתקנה במחשב מופיעה הודעת שגיאה, בחר באפשרות "Ignore" ("התעלם"). באחד החלונות שבו מופיעה תמונה של מחשב - יש להקליק על תמונת המחשב.

למיטב ידיעתינו התוכנה תקינה. עם זאת נדגיש כי התקנת התוכנה היא על אחריות המתקין בלבד.

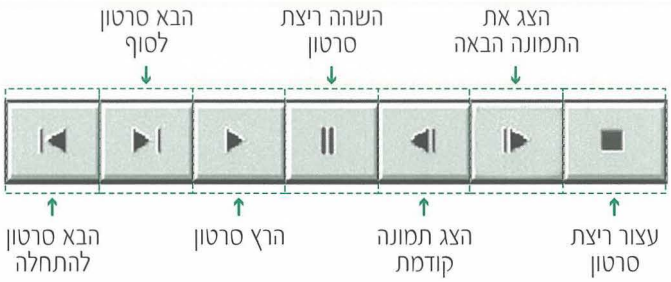
העלאת סרטון והרצתו

(1) בתפריט "Start" ("התחל") של המחשב בחר בתפריט "Programs", סמן את תפריט המשנה "Weizmann", ולחץ על "VideoexpL". במצב זה אמור להפתח חלון בשם "About VideoexpL".

(2) הקש בחלון שיפתח על "O.K.", והתוכנה "VideoexpL" אמורה להפתח.

(3) בתפריט "קבצים" של התוכנה בחר ב- "פתח". בחלון שנפתח בחר בתקליטור "מודלים של האור - פעילויות", ובו בחר בתיקיה **"סרטוני וידאו 800x600"** או בתיקיה **"סרטוני וידאו 1024x768"**.

(4) סמן את הסרטון שברצונך להעלות, ולחץ על המקש "Open". התוכנה תעלה, ויוצגו שני חלונות - ימני ושמאלי. בתחתית החלון השמאלי מופיעה שורת לחצנים כמפורט בתרשים 2.



תרשים 2: שורת הלחצנים לשליטה בסרטון וידאו

לחץ על המקש "הרץ סרטון", וצפה בסרטון. כדי לצפות בתמונה אחר תמונה, לחץ על הלחצן "הבא סרטון להתחלה", ולאחר מכן על הלחצן "הצג את התמונה הבאה".
בחלון הימני יוצגו הנקודות שאותן תסמן במהלך ניתוח סרטון ("תרשים עקבות" של תנועת הגוף). הנחיות לניתוח סרטוני וידאו מופיעות בפעילויות השונות המתוארות בספר.