

הדמיה ממוחשבת ככלי עזר בהוראה ולימוד אופטיקה גיאומטרית

מיקי רוזן ודורותי אנטלי
המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

בגליון הקודם (תהודה 15/2) הצגנו קשיים שאובחנו אצל תלמידים בהבנת תרשימי קרניים ובשימוש בהם לפתרון בעיות, והמלצנו על מספר הדגשים אשר עשויים לסייע לתלמידים להתגבר על קשיים אלה. ההמלצות מתמקדות בהגברת הדין בשאלות איכותיות וביישום מודל הקרניים במגוון רחב ככל האפשר של מצבים תוך מודעות והתייחסות לקשיים הספציפיים של התלמידים בהבנת משמעות המודל ואופן השימוש בו. מעשית, קשה לשרטט תרשימי קרניים ברורים ומדויקים על הלוח או במחברת. כיוון שכל תרשים ידני הכולל יותר ממספר מוגבל של קרניים הופך במהרה לקישקוש עמוס ובלתי מובן, שואף המורה לצמצם את התרשים המשורטט על הלוח למינימום ההכרחי (ולעיתים אף לפחות מכך). אמנות התימצות עליה אמון המורה לא תמיד ברורה לתלמידים, וכפי שתארנו במאמר הקודם, היא עלולה להוביל לקשיי הבנה רבים, עד כדי אי יכולת של תלמידים לעשות שימוש מושכל במודל הקרניים לפתרון בעיות.

גם אם התרשים המשורטט על הלוח או במחברת הוא ברור ומדויק, קשה להדגים באמצעותו באופן דינמי כיצד יושפע מהלך האור משינוי כלשהו במיקום הרכיבים או בתכונותיהם. באמצעים המקובלים, כרוך כל שינוי כזה בחזרה מייגעת על כל תהליך השרטוט. קשיים אלה מגבילים את השימוש בתרשימי קרניים להצגת מקרים אידיאליים פשוטים ביותר, ויתכן שגורמים בעקיפין לכך שהלימוד מתמקד בעיקר בהיבטים הכמותיים של התופעות הנדונות.

המודעות למגבלות אלה הובילה לפיתוח עזרים ממוחשבים אשר יוכלו לשחרר את המורה והתלמידים מן הקשיים הטכניים, ויאפשרו את מיקוד תשומת הלב בניתוח התוכן והמשמעות של תרשימי הקרניים והמצבים שאותם הם מייצגים ולפתרון בעיות באמצעות מודל זה.

במאמר זה נציג שתי תוכנות הדמיה לאופטיקה גיאומטרית ונתאר את הפוטנציאל שלהן להוראה וללימוד:

RAY, אשר פותחה במחלקה להוראת מדעים במכון ויצמן ומופעלת על מחשבי מקינטוש, ו-
אופטיקל, מסדרת פיסיקל, שפותחה על ידי גייטק טכנולוגיות בע"מ, ומופעלת על מחשבי IBM
ואמיגה.

- שתי התוכנות הן מערכות "פתוחות" המאפשרות למשתמש לבצע את הפעולות הבאות:
- ★ יצירת רכיבים אופטיים ושליטה בתכונותיהם.
 - ★ הדמיית התנהגות האור במערכת הרכיבים הנתונה.
 - ★ ביצוע שרטוטי עזר ומדידות על המסך.
 - ★ שמירת קונפיגורציות של רכיבים ומקורות בקבצי ספרייה וטעינתם בהתאם לצורך.

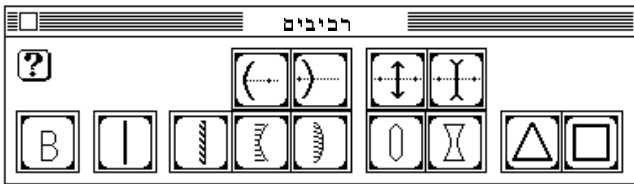
ההדמיות מאפשרות הדגמה ותרגול בנושאים הבאים:

- ★ התפשטות האור - צל וצללית
- ★ החזרה ממראות מישוריות
- ★ החזרה ממראות כדוריות - החזרה אמיתית וקירוב אידיאלי של מראות דקות
- ★ שבירה - חוק סנל והתנהגות האור במנסרות
- ★ שבירה בעדשות כדוריות - שבירה אמיתית וקירוב אידיאלי של עדשות דקות
- ★ עקרון הפעולה של מכשירים אופטיים

ההדמיות יכולות לשרת את המורה במהלך ההוראה בכיתה ובמעבדה, וגם לשמש כסביבת עבודה לתלמידים בבית הספר או בבית. בהמשך נביא דוגמאות ספציפיות של יישום התוכנות כעזר הוראה למורה וכעזר למידה לתלמידים. תחילה נתאר את מאפייניה של כל אחת מהתוכנות.

RAY

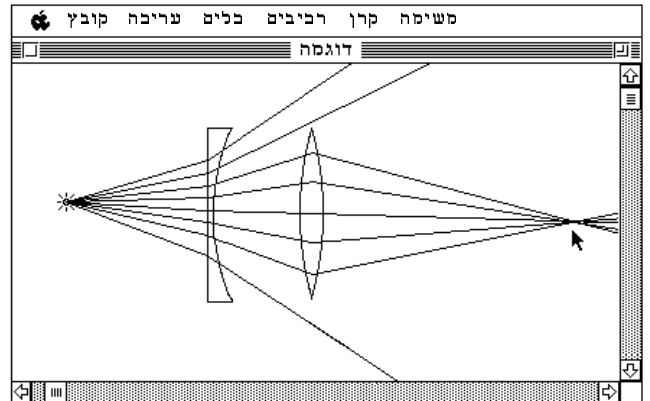
(פותחה במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע)



RAY היא סביבה לימודית פתוחה לאופטיקה גיאומטרית המופעלת במחשבי מקינטוש. בתרשים 1 מוצגת דוגמה להדמיית מהלך האור במערכת אופטית. הערה: כיום RAY קיימת בגירסה אנגלית והגירסה העברית תוכן בקרוב. לצורך המאמר מוצגים תפריטים וכתורות של RAY בעברית.

תרשים 2: חלון הרכיבים (משמאל לימין)

שורה תחתונה: מקדם השבירה של הסביבה (B), מחסום אטום, מראה מישורית, מראות כדוריות, עדשות ומנסרות. שורה עליונה: מראות כדוריות ועדשות בייצוג סמלי.



השליטה בתכונות הגיאומטריות והפיסיקליות של הרכיבים מתבצעת על ידי פעולות גרפיות פשוטות באמצעות העכבר (תרשים 3).

תרשים 1: דוגמה למסך התוכנה RAY



התוכנה מונעת על ידי תפריטים אשר הגישה אליהם מתבצעת באמצעות עכבר. התפריט הראשי מאפשר גישה לפעולות הבאות:

עריכת רכיבים

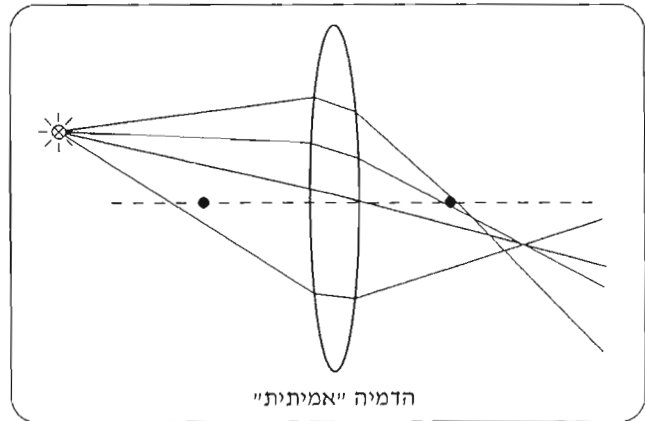
עורך הרכיבים מאפשר למשתמש ליצור את כל הרכיבים האופטיים הנדונים בתוכנית הלימודים, ולמקם אותם על המסך כרצונו. הרכיבים הכדוריים (עדשות ומראות) מיוצגים בשני אופנים: ייצוג אמיתי המתאר את רדיוסי העקמומיות וייצוג סמלי כמקובל בספרי הלימוד (תרשים 2).

תרשים 3: דוגמה להגדרת מנסרה משולשת. התוכנה מאפשרת לקבוע את מקדם השבירה ולשלוט

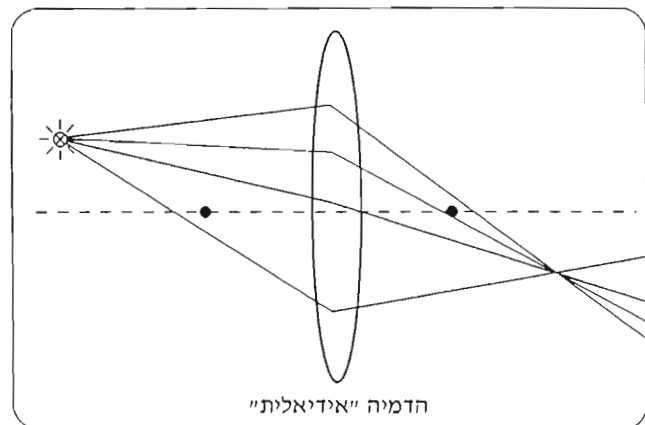
הדמית קרניים ואלומות אור

המשתמש יכול להציב מקור אור נקודתי ולהגדיר קרן או אלומה ממקור זה. התוכנה מציגה הדמיה של מהלך הקרניים בהתאם לאינטראקציות שלהן עם הרכיבים האופטיים הקיימים. ההדמיה מתעדכנת מיידית לאחר כל שינוי ברכיבים האופטיים.

הדמיית האינטראקציה של האור עם רכיבים כדוריים (עדשות או מראות כדוריות) יכולה להתבצע באחד משני האופנים: "אידיאלית", או "אמיתית" (תרשים 4). ההדמיה ה"אידיאלית" מתייחסת אל הרכיבים כאל רכיבים דקים אידיאליים, כאשר רוחק המוקד מחושב על פי נוסחת לוטשי העדשות. ההדמיה ה"אמיתית" מבוססת על מעקב אחר הקרן וחישוב הכיוון החדש שלה על פי האינטראקציה המקומית שלה בנקודת פגיעתה ברכיב (לפי חוק סנל או לפי חוק ההחזרה). ההדמיה כזו משקפת את ההתנהגות האמיתית של האור ומאפשרת הצגת תופעות כדוגמת אברציה כדורית.



הדמיה "אמיתית"

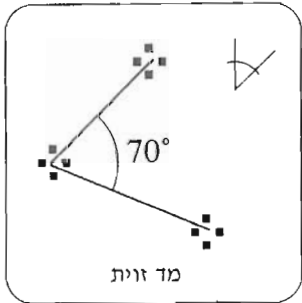


הדמיה "אידיאלית"

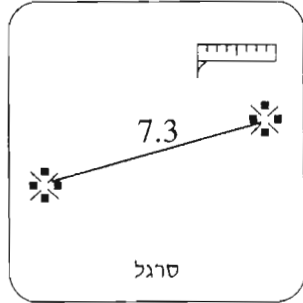
תרשים 4: דוגמה להדמיה "אמיתית" והדמיה "אידיאלית" בעדשה.

כלים גרפיים

התוכנה מציעה סדרה של כלים גרפיים דינמיים שבאמצעותם יכול המשתמש לנתח את תוצאות ההדמיה או לבטא באופן חופשי את השערותיו לפני הפעלת ההדמיה (תרשים 5). כלים אלה הוגדרו על פי צרכי האופטיקה הגיאומטרית והם מאפשרים למשתמש לבצע את הפעולות הבאות: שרטוט קווים ונקודות, מדידת מרחקים וזוויות, סימון שטחים וכתובת תוויות.



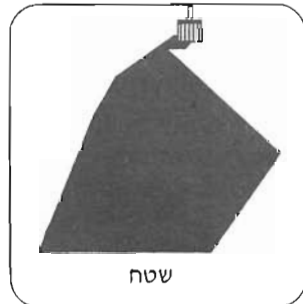
מד זווית



סרגל



עפרון



שטח

תרשים 5: הכלים הגרפיים.

עריכת השימות

עורך המשימות מאפשר להוסיף מלל המציג משימה (כפי שניתן לראות בתרשימים 11-16) וליצר קובץ פעילות מוכן המבוסס על מערך נתון של רכיבים שעוצב והוגדר קודם לכן באמצעות עורך הרכיבים והכלים הגרפיים. עורך המשימות מאפשר להגדיר סביבת עבודה ייחודית המותאמת לכל משימה תוך הגבלת הפעולות שאותן ניתן לבצע בתוכנה. לדוגמה, במשימה שבה יש לגלות את מקדם השבירה של חומר מנסרה לא נאפשר לתלמיד לראות את מקדם השבירה או לשנות אותו. כמו כן ניתן ליצור באמצעות העורך פעילויות מיוחדות מסוג "חידה" שבה חלק מהמסך מוסתר (ראה דוגמאות בהמשך). עורך המשימות מאפשר למורה לשנות את המשימות הקיימות ולהוסיף משימות לפי צרכיו.

אופטיקל

(פנתחה בגייטק טכנולוגיות בע"מ)

ולאחר מכן ל"הדליק" אותם מחדש. כמו כן, ניתן לקבוע את סוג ההדמיה ("אמיתית" או "אידיאלית") שתחול על כל הרכיבים המוגדרים בחלון ההדמיה ברגע מסוים.

עזרים גרפיים

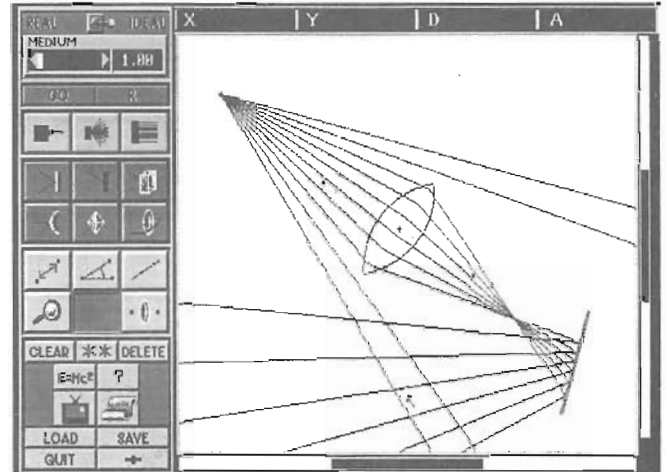
התוכנה מציעה עזרים גרפיים כגון "עפרון" "סרגל" ו"מד-זווית" לביצוע מדידות וסימוני עזר על המסך. כמו כן, מאפשרת התוכנה לבצע באופן אוטומטי סימון מוקדים וציר אופטי ראשי בעדשות וביצוע הגדלה של אזור נבחר (זום).

לאחר שתיארנו את שתי סביבות ההדמיה נראה דוגמאות ספציפיות של יישום התוכנות כעזר הוראה למורה וכעזר למידה לתלמידים.

ההדמיה כעזר הוראה בכיתה ובמעבדה

סביבת ההדמיה יכולה לשמש כעזר הוראה רב עוצמה המלווה את לימוד האופטיקה הגיאומטרית בכיתה ובמעבדה. ניתן לייצג בקלות כל מערך דו-מימדי של רכיבים אופטיים (ולא דווקא מערך קווי של "ספסל אופטי"), ולהפיק במהירות ובדיוק רב תרשימי קרניים המתארים את התנהגות האור. השימוש בתוכנה משחרר את המורה מן הצורך להשתמש ב"קרניים המיוחדות", ומאפשר אבחנה ברורה בין "קרני אור" שהן תוצרי הדמיה לבין קווי עזר גיאומטריים. ניתן גם להכין קבצים שמורים של מערכים מוגדרים מראש של מקורות אור ורכיבים ולחסוך זמן בכיתה. לצורך השימוש בתוכנת הדמיה כעזר הוראה דרוש בחדר הלימוד מחשב יחיד אותו ניתן לחבר למערכת המקרינה את התצוגה המוגדלת על מסך. סביבות ההדמיה מתאימות ליישום סגנונות הוראה שונים. בשיעורים בהם המורה מעוניין בעיקר בסגנון ההרצאה הפרונטלית יאפשר השימוש בתוכנה לבצע, בקלות וביעילות, את הפעילויות הדידקטיות המסורתיות בנושא האופטיקה הגיאומטרית, ורבות אחרות. להלן דוגמא לשילוב הדגמה דינמית בהוראה פרונטלית בנושא שדה הראייה של דמות ממשית הנוצרת על ידי עדשה (תרשים 7). מסך הפתיחה מראה מקור אור נקודתי הנמצא לפני עדשה מרכזת במרחק הגדול מפעמיים רוחק המוקד. אלומת האור פרושה בזווית הגדולה מגובה העדשה. המורה מתייחס לאזורי ההארה השונים הנוצרים מעבר לעדשה ומסביר מהו התחום שממנו יכול צופה לראות

אופטיקל היא תוכנת הדמיה לאופטיקה גיאומטרית מסדרת ההדמיות "פיסיקל". התוכנה מופעלת על ידי "כפתורים" אשר הגישה אליהם מתבצעת באמצעות עכבר (תרשים 6).



תרשים 6: מסך אופייני של התוכנית אופטיקל. משמאל, לוח הבקרה ומימין מסך הדמיה בו מוצגת התנהגותן של קרני אור ואלומות הפוגעות ברכיבים אופטיים.

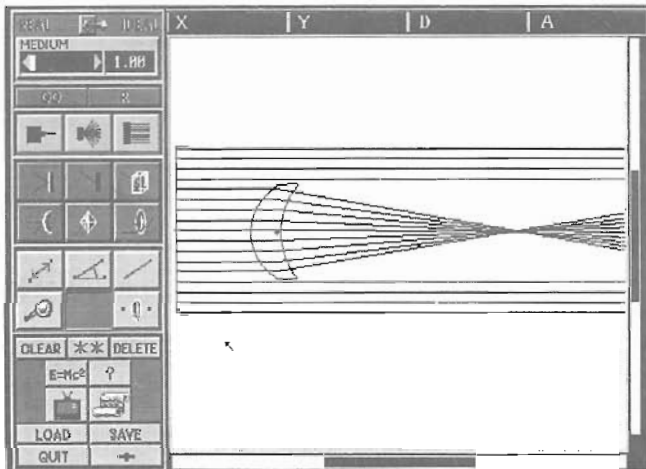
הכפתורים בלוח הבקרה מאפשרים גישה לפריטים הבאים:
רכיבים אופטיים

בחלקו העליון של לוח הבקרה (תרשים 6) מופיעים כפתורים עם סמלי הרכיבים האופטיים: מסך אטום, מראה מישורית, עדשה, מנסרה מרובעת, מנסרה משולשת ומראה כדורית. בעזרת הכפתורים על לוח זה תוכל לקבוע את הרכיבים שיוצגו ולשלוט בתכונותיהם.

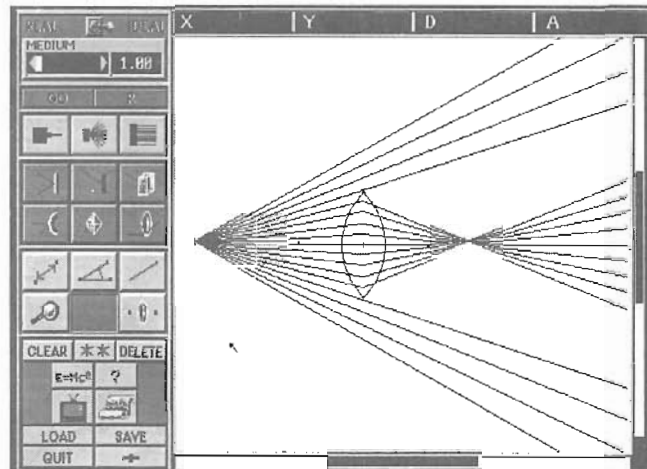
מקורות אור

אופטיקל מאפשרת למשתמש להגדיר שלושה סוגים של מקורות אור (תרשים 6):

- ★ "לייזר" - מפיק קרן אחת בכיוון הנדרש.
 - ★ מקור נקודתי המפיק אלומה מתבדרת בזווית הפרישה הנדרשת.
 - ★ מקור לאלומה מקבילה בכיוון וברוחב נדרשים.
- התוכנה מאפשרת למשתמש שליטה על ההדמיה. לאחר שמקורות האור הוגדרו, נראית על המסך תצוגת הקרניים. ניתן ל"כבות" את כל מקורות האור (כלומר, למחוק את תצוגת הקרניים מן המסך מבלי למחוק את מקורות האור)



תרשים 8: דוגמה למסך בשאלת ניבוי

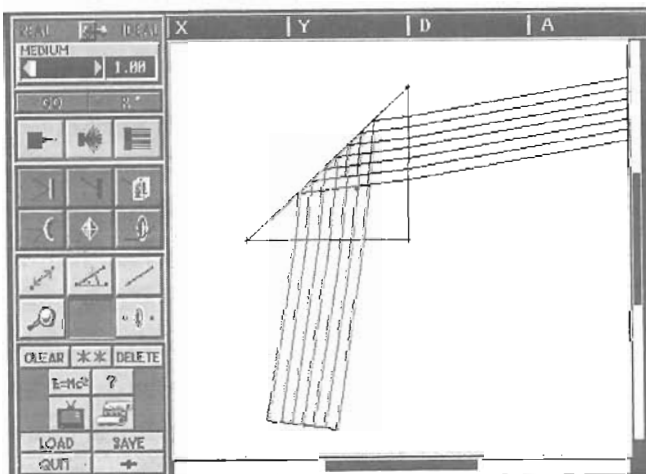


תרשים 7: הדגמת שדה ראייה של דמות ממשית

דוגמאות נוספות:

- א. נתונה מנסרה משולשת ומסלול קרן אור במנסרה. מה יקרה אם נגדיל את מקדם השבירה של המנסרה?
- ב. נתונה מראה קעורה ומקור אור נקודתי. מה יקרה אם נרחיק את מקור האור מהמראה הקעורה?

פעילויות תכנון: המורה מציג בהדמיה מערכת אופטית הכוללת רכיבים, מקורות אור ומהלך קרניים נתון. המורה שואל "כיצד יש לשנות את... כך ש...?" או "מה ניתן לשנות וכיצד כך ש...?". מטרת התכנון מנוסחות באופן איכותי (לקרב, להקטין וכו'), והתלמידים נדרשים להציע תכנון מנומק להשגת המטרה. בכך שונות פעילויות אלה מפעילויות תכנון בעלות מטרה הממוקדת בחדות אשר מתאימות יותר לעבודה עצמית של תלמידים.



תרשים 9: דוגמה למסך בשאלת תכנון

את הדמות ללא מסך. בשלב הבא מזיז המורה את מקור האור ומתייחס לשינויים בשדה הראייה. דוגמאות לנושאים נוספים: יצירת דמות על ידי שבירה במנסרה מלבנית, פעולת מקרן שקפים, השוואת פעולות המיקוד בעדשה זקה ועדשה עבה והסבר פעולת מיקרוסקופ.

לעומת זאת, בשיעורים בהם המורה מעדיף סגנון הוראה אינטראקטיבי תוך שיתוף פעיל של התלמידים ניתן לנצל את האפשרויות החדשות הנפתחות על ידי תוכנת הדמיה למימוש מגוון פעילויות הוראה המתבססות על תרשימי קרניים. התוכנה מאפשרת לשנות בקלות תכונות של רכיבים ולנתח את התנהגות האור בתנאים שונים תוך הצגת שאלות מטיפוס של "מה יקרה אם...?" או "כיצד יש לשנות את... כדי ש...?". תלמידים יוכלו לבטא את השערותיהם בעל-פה ובכתב, וההדמיה תשמש להשוואה ולבדיקה מיידית. המערכת מאפשרת לבצע בכיתה פעילויות "חקר" על גבי תרשימי קרניים, ופעילויות הבודקות הבנה תוך שיתוף פעיל של התלמידים. להלן דוגמאות אחדות לפעילויות הוראה אינטראקטיביות שניתן לבצע בכתה:

פעילויות ניבוי: המורה מציג בהדמיה מערכת אופטית הכוללת רכיבים, מקורות אור ומהלך קרניים נתון. המורה שואל "מה יקרה אם נשנה/נזיז/נגדיל/נהפוך/נסובב...?" השאלות הן איכותיות, והתלמידים נדרשים לבטא את השערותיהם המנומקות בעל פה או בליווי תרשימים. ההדמיה תשמש לבדיקה מיידית של ההשערות.

דוגמא: נתונה עדשה קמורה-קעורה ואלומת אור מקבילה הפוגעת בעדשה ומתרכזת (תרשים 8). מה יקרה אם נהפוך את העדשה?

ההדמיה כסביבת עבודה לתלמידים

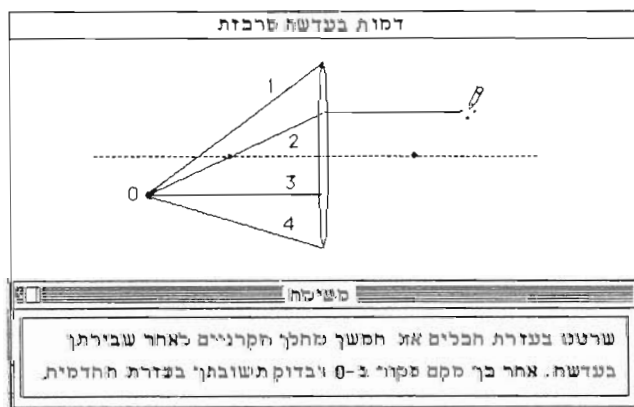
ההדמיות RAY ואופטיקל מתאימות לשמש כסביבות עבודה שבה יכול התלמיד לבצע משימות לימודיות שונות ומגוונות, החל מתירגול בסיסי של מושגים ועד לפעילויות מורכבות כמו תכנון מכשירים אופטיים. פעילויות התלמידים יכולות להתבצע בעבודה עצמית מול המחשב בבית הספר או בבית. התוכנה מאפשרת לתלמיד לבחון בעצמו את איכות הביצוע על ידי הפעלת ההדמיה וניתוח תוצאותיה. ספריית התוכנית מכילה מגוון עשיר של משימות שתוכננו לעבודה עצמית של תלמיד וכוונו למטרות דידקטיות שונות ולרמות מגוונות. כל מורה יכול להוסיף משימות שיותאמו לצרכים הספציפיים של תלמידיו.

גישות לשילוב הדמיות בעבודת התלמידים באופטיקה הגיאומטרית

תוכנות הדמיה פתוחות מאפשרות ליישם גישות דידקטיות שונות ללימוד האופטיקה הגיאומטרית. נתאר חמש גישות לפעילויות תלמידים. הדוגמאות המוצגות כאן מיושמות בתוכנית RAY אך עקרונית ניתנות ליישום גם בתוכנית ההדמיה אופטיקל.

תירגול - שרטוט תרשימי מהלך קרניים

נתון רכיב (או רכיבים). על התלמיד לשרטט תרשימי מהלך קרניים, בעזרת הכלים הגרפיים בלבד. לאחר מכן יכול התלמיד לבדוק את הפיתרון בעזרת ההדמיה. משימות אלה דומות לתירגול המסורתי של שרטוט תרשימי קרניים, כאשר העיפרון מוחלף בכלים הגרפיים. היתרון של גישה זו לעומת "תרגילי המחברת" הוא בכך שהתלמיד יכול לבדוק בעצמו את הפיתרון על ידי השוואת השרטוט לתוצאות ההדמיה. ניתן ליישם גישה זו למשימות בסיסיות (כמו בדוגמה בתרשים 11) וגם למשימות קשות ומורכבות יותר המצריכות מדידות וחישובים.



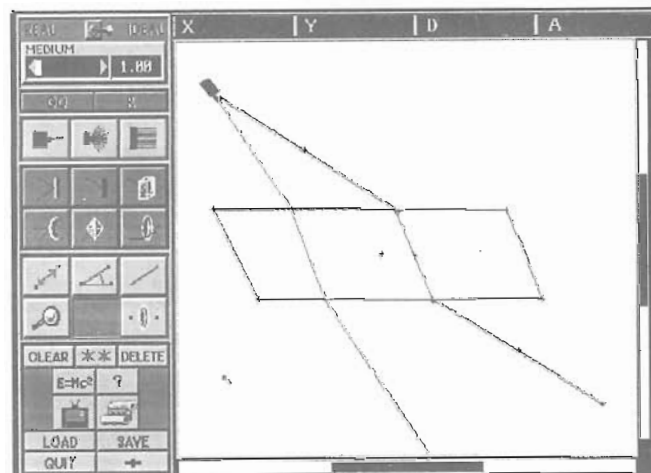
תרשים 11: דוגמה למשימה מסוג "תירגול" (במהלך פתרונו).

דוגמא: נתונה מנסרה ישרת זווית ואלומת קרניים מקבילות פוגעת באחד "הניצבים" (תרשים 9). מה יש לשנות וכיצד, כך שהקרניים תוכלנה לצאת מה"יתר"?
דוגמאות נוספות:

מחסום קווי נמצא בין זוג מקורות אור נקודתיים לבין קיר. כיצד יש לשנות את המרחק בין המחסום למקורות כדי להקטין את אזור הצללית החלקית?
עצם נמצא במרחק קבוע מעדשה. מה ניתן לשנות וכיצד כדי שדמותו של העצם תהיה גדולה יותר?

איתור שגיאות: המורה מציג על המסך מהלך "קרניים" ששורטט בעזרת הכלים הגרפיים ומכיל שגיאות. במקביל יכול המורה לחלק תדפיסים לתלמידים. השאלה היא: "מה שגוי בתרשים הקרניים הנתון?" לאחר שמיעת רעיונות של התלמידים אפשר לאשר או להפריך על ידי הפעלת ההדמיה.
דוגמא: בתרשים 10 מוצגת מנסרה ונתון מהלך נכון של קרן אור העוברת דרכה (המסלול השמאלי).

תלמיד שרטט מסלול **משוער** של קרן אחרת העוברת דרך המנסרה. האם המסלול המשוער נכון?



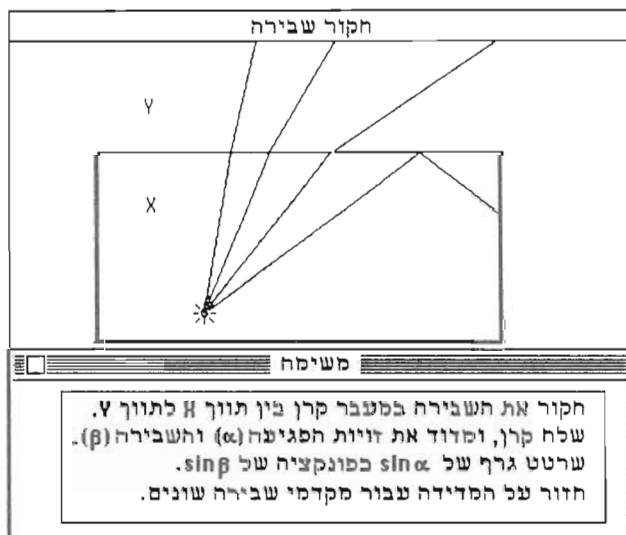
תרשים 10: דוגמה למסך בשאלת איתור שגיאות

ספריית המשימות מציעה מגוון **קבצי הדגמה** היכולים לשמש כבסיס להוראה אינטראקטיבית בכיתה. המורה יכול לתכנן ולהכין מראש פעילויות נוספות המותאמות לצרכיו. ניתן כמוכן גם להשתמש בתוכנה באופן ישיר וללא כל הכנה מוקדמת, כדי לענות על צרכים מידיים העשויים להתעורר בכיתה במהלך שיעור.

הערה: הדוגמאות לשילוב ההדמיות כעזר הוראה הובאו מהדמית אופטיקל. ניתן לבצע את כל הפעילויות גם בהדמית RAY.

חקר

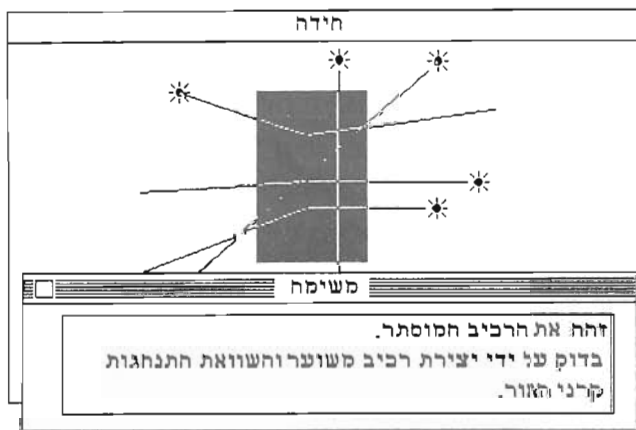
התוכנה יכולה לשמש לחקר עקרונות בסיסיים, להמחשת מושגים ולניתוח התנהגות האור במערכות אופטיות שונות כאשר ההדמיה משמשת כ"סביבת ניסוי" (תרשים 12).



תְרָשִׁים 12: דוגמה למשימת חקר (במהלך ביצוע).

חידה

אזור המכיל רכיב או רכיבים מוסתר על ידי "קופסה שחורה". על התלמיד לגלות מה בדיוק מוסתר ב"קופסה השחורה" על ידי שימוש בהדמיה (תרשימים 14, 15). ניתן לייצר בקלות משימות כאלה בשתי התוכנות שתוארו.



תרשים 14: דוגמה למשימה מסוג "חידה" (במהלך פתרונה). במשימה זו מציגה התוכנה את מהלך הקרניים באזור המוסתר.

מדידה

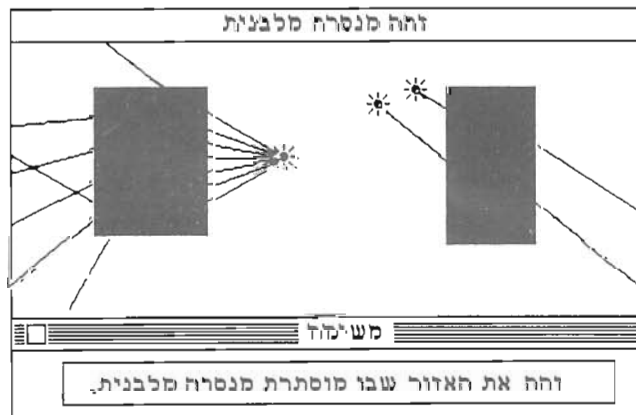
נתון רכיב (או רכיבים). על התלמיד לבצע מדידה כלשהי של תכונות הרכיב, תוך יישום ידע קודם. ביצוע המשימה יכול להיות מבוסס על שימוש בהדמיה להצגת התנהגות האור ובכלים הגרפיים לניתוח הממצאים.



תרשים 13: דוגמה למשימה מסוג "מדידה".

דוגמאות נוספות: מדידת מקדמי שבירה של חומרים שונים ומדידת ביצועים של מכשירים אופטיים.

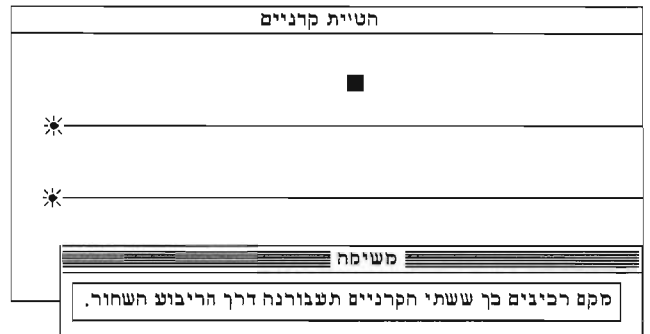
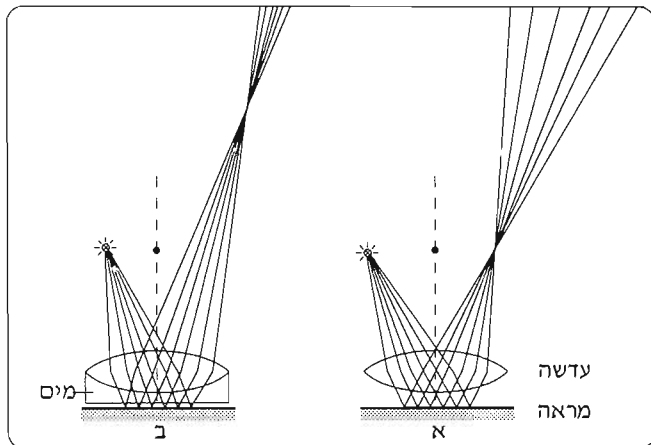
זהה מנסרה מלבנית



תרשים 15: דוגמה למשימה מסוג "חידה" (במהלך פתרונה). במשימה זו גם מהלך הקרניים מוסתר באזור המושחר.

תכנון

התלמיד מתבקש לתכנן וליצור מערכת רכיבים שתענה לדרישות שהוגדרו מראש (תרשים 16). דוגמאות נוספות: תכנון ו"בניית" מכשירים אופטיים כגון התאמת "משקפיים" לתיקון ליקויי ראייה, ובניית מודל של מיקרוסקופ, טלסקופ, או פריסקופ. ההדמיה משמשת לבדיקת איכות התכנון והביצוע.



תרשים 16: דוגמה למשימה מסוג "תכנון" בעלת פתרונות רבים.

תרשים 17: איתור דמויות במערכת עדשות ומראה מישורית, ניסוי 11 מתוך חוברת ניסויי חקר, עמודים 32-34. א. הדמות מתקבלת מול העצם כאשר העצם נמצא במישור המוקד. ב. הוספת מים בין העדשה למראה משנה את רוחק המוקד של המערכת ומיקום הדמות.

לסיכום

שתי התוכנות שתוארו קלות להפעלה וכוללות ספרייה מגוונת של קבצי פעילויות מוכנים ברמות וגישות שונות. שילוב תוכנות אלה נוסה כבר בפועל במספר בתי ספר בשנים האחרונות במתכונות מגוונות: כעזר הוראה בכיתה, כסביבת עבודה עצמית לתלמידים, בשילוב עם ניסויי מעבדה לבגרות ולביצוע פרויקטים אישיים בפיסיקה. ההדמיה מצטרפת לכלי העבודה של המורה כעזר רב עצמה המאפשר ייצוג גרפי דינמי, מדויק ומיידי של התנהגות האור בהתאם למודל הקרניים. השימוש בסביבת הדמיה פותח אפשרויות חדשות לפעילויות למידה והוראה יצירתיות ומעניינות כדוגמת אלה שתוארו, ומאפשר הגברה והעמקה של השימוש במודל הפורמלי להסבר תופעות ולהבנתן.

שילוב הדמיה וניסוי

הדמיה אינה מהווה תחליף לניסויי תלמידים או לניסויי הדגמה. השימוש בסביבת הדמיה פתוחה יכול להעשיר את הניסויים וההדגמות באופטיקה גיאומטרית. התוכנה מאפשרת למורה ולתלמידים ליצור בקלות את הייצוג הגראפי המתאים לכל מערך ניסוי, לייצג את מהלך האור ולנתח את התנהגות האור בתנאים שונים. הדמיית הניסוי וניתוחו יכולים להתבצע לפני, בזמן, או אחרי ביצוע הניסוי האמיתי. ההדמיה מאפשרת המחשת היבטים לא אידיאליים של תופעות תוך השוואה למציאות. שילוב אפשרי שנוסה כבר בהצלחה בבתי ספר הוא שימוש בסביבת ההדמיה, במקביל לביצוע ניסויים לבחינת הבגרות במעבדה כסביבה תומכת לניסוי. בתרשים 17 מוצגת דוגמה לניתוח ניסוי חקר בעזרת תוכנת ההדמיה.

כחיוך... מאת עובדי קדם



ביולוג ופיסיקאי ניבנו אלווה. כשאלו את הביולוג להי בקשה האחינה אחי: פירמתי גאוקייה לדנינגר האסכזיה טפלוז ביולוגיות בלונמיס פיסיקאיים. (א לאהן) אי סלמיני כזו להצא את הנושא. בקשה האחינה של הפיסיקאי היגה: (א להוציא אוי להוציא לפני הסלמיני.