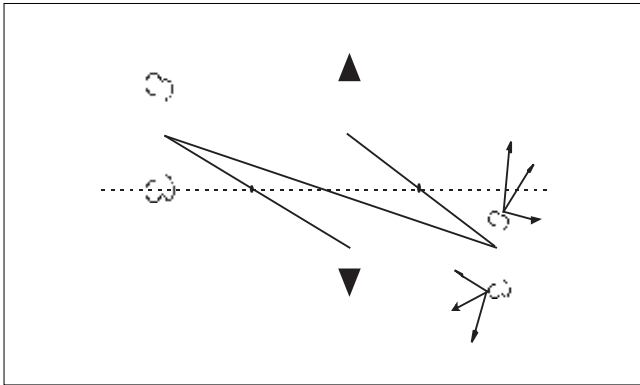


סקירת קשיים בשימוש בתרשימי קרניים באופטיקה הגיאומטרית



מיקי רונן, דורותי לנאלי, כת-שבט אלון
המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות
* טימוטיה ריאליט ע"ש קררי ראש"ז*

I. מבוא

הפרק "אופטיקה גיאומטרית" נלמד בדרך כלל בנושא ראשון בפיסיקה בכיתה יוד ומיועד לאוכלוסייה רחבה, שרובה אינו מתעתד ללמוד פיסיקה ברמה גבוהה. האופטיקה הגיאומטרית עוסקת בנושא שבו יש לתלמידים נסיון אישי רב מחיי היום יום והיא משתמשת במודל פשוט ובמספר קטן של חוקי יסוד לטיפול בתופעות הניתנות לצפייה ישירה. דרך הביטוי העיקרית באופטיקה גיאומטרית מבוססת על "מודל הקרניים" המשמש לתיאור, להסבר ולניבוי תופעות.

השימוש במודל גרפי אינו יחודי לאופטיקה הגיאומטרית, אך בתחום זה יש לייצוג הגרפי תפקיד חיוני במיוחד, הן כאמצעי לתיאור ולהסבר התופעות והן ככלי עבודה לפיתרון בעיות. למרות שהפרק אופטיקה גיאומטרית נחשב כנושא קל, ממצאי מחקרים שנערכו בארץ ובעולם מורים על כך שתלמידים רבים מתקשים בהבנת מודל הקרניים ואינם מסוגלים להשתמש בו לפיתרון בעיות ולהסבר תופעות מחיי היום יום.

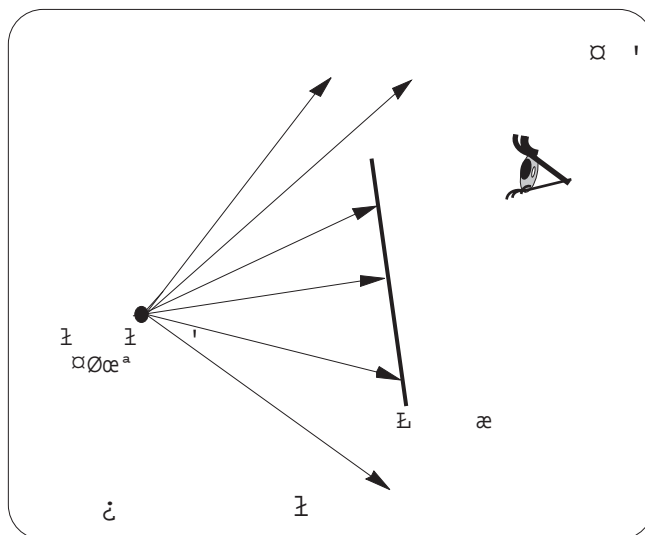
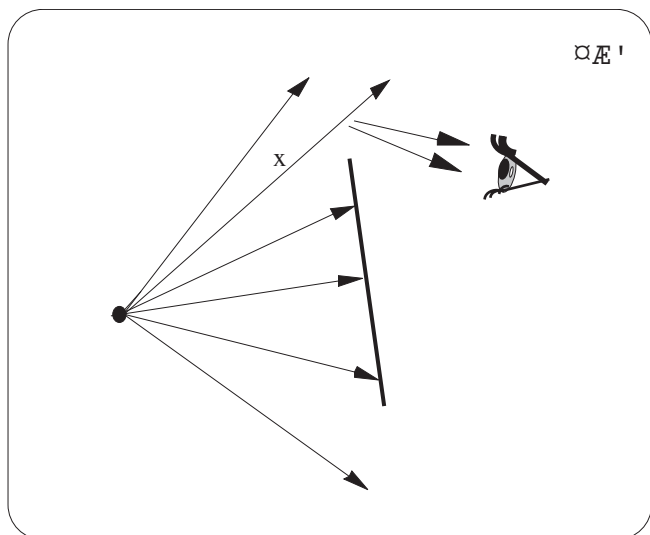
במאמר זה נסקור את הקשיים הנפוצים באמצעות דוגמאות, וננסה לנתח את מקורותיהם.

II. האם מודל הקרניים הוא מודל טבעי לתלמידים?

במחקר מקדים שערכנו עם מבוגרים (שלא למדו אופטיקה), ועם תלמידים לפני לימוד האופטיקה ניסינו לברר האם מודל הקרניים שבו אנו משתמשים בטבעיות בהוראה הוא אכן מודל טבעי לייצוג האור. במחקר נבדקו השאלות הבאות: האם בכלל נזקקים אנשים למודל האור? כיצד מתארים אנשים תופעות אופטיות כמו היווצרות צל וראיית עצמים ודמויות, והאם יש ייצוג לאור בתאורים האלה? האם הייצוג הוא עקבי? מתוך ממצאי המחקר הסתבר כי לרבים אין כלל מודל ברור ועקבי לייצוג האור וכי "מודל הקרניים" איננו בהכרח הייצוג היחיד והטבעי של האור.

III. האם תלמידים מבינים מה מייצגת "קרן" במודל?

הדוגמה הבאה (תרשים 1) לקוחה מתוך מחקר שערכנו עם תלמידי כיתה יוד באחד מבתי הספר במרכז הארץ לאחר לימוד האופטיקה. השאלה מבוססת על תרשים קרניים הדומה לזה שמשרטטים התלמידים או המורה. בתרשים 1' מוצגת דוגמה של תגובה אופיינית שקיבלנו מחלק מן התלמידים.



תרשים 1: (א) השאלה, (ב) דוגמה להסברים שניתנו על ידי תלמידים.

שאלה זו נוגעת בהבנה המהותית של מודל הקרניים והשימוש בו להסבר תופעות. למרות שהתלמיד מסוגל לצטט את "התנאי לראייה" הוא מתקשה ליישמו באמצעות הייצוג הגרפי. ניתן לייחס את הקשיים למקורות הבאים:

★ התלמיד מזהה את ה"קרן" הסמלית המצויירת על הנייר עם "קרן הלייזר" או קרן אור אותה ראה בהדגמה (בגלל האבק). החוויה של "ראיית קרני אור" היא חזקה במיוחד ונחרתת עמוק בזכרון. ההדגמה ללא אבק והסבר המורה כי "אנו רואים את הקרן בגלל הפיזור מן האבק" איננו מופנם די צורכו (מה עוד שהדגמה זו והדיון בה מתבצעים בתחילת ההוראה כאשר מושג הפיזור/החזרה עדיין לא נלמד). בהמשך, השימוש באותו מונח "קרן" תורם עוד יותר לזיהות בין הקרן הסימלית לאלומת האור האמיתית אותה ראה התלמיד.

★ התלמיד משרטט קרניים נוספות בהסתמך על פעולות דומות שעשה המורה. התלמיד בוודאי שמע את המורה אומר: "יש כמובן עוד אינסוף קרניים, אבל אנחנו משרטטים רק כמה קרניים מייצגות". אם לתלמיד לא ברור אילו קרניים נוספות קיימות ובאיזה כיוון, מבחינתו יהיה זה "חוקי" לשרטט קרניים בכל כיוון שהוא מכל נקודה, כך שישבירו את האירוע המוכר לו מנסיונו האישי.

רוב הפעילות של התלמידים בלימוד האופטיקה הגיאומטרית מתבצעת בהקשר של הייצוג החזותי, וכוללת שרטוט תרשימי קרניים, פירוש תרשימי קרניים וביצוע

השאלה הוצגה בכתב ולאחר שהתלמידים פתרו והסבירו נערך ראיון בעל פה. להלן דוגמה של מהלך ראיון: תלמיד: הצופה רואה את העצם, כי הוא רואה את הקרניים שיוצאות ממנו (משרטט את החיצים לעבר הצופה).

מראיין: מהו התנאי לכך שהצופה יראה את העצם? תלמיד: שקרניים שיצאו מן העצם יגיעו לעין... (בודק על ידי העברת קו דמיוני בין העצם לעין) ... אז הצופה לא רואה את העצם, אבל הוא עדיין רואה את הקרניים ...

מראיין: מהיכן באות הקרניים הנוספות ששרטטת? תלמיד: הן באות מן האור, הרי יש אינסוף קרניים ... ובשרטוט מראים רק חלק מהן.

מראיין: (מסמן את הקרן X בתרשים) האם הקרניים שציירת הן המשך של הקרן X? או קרניים חדשות אחרות?

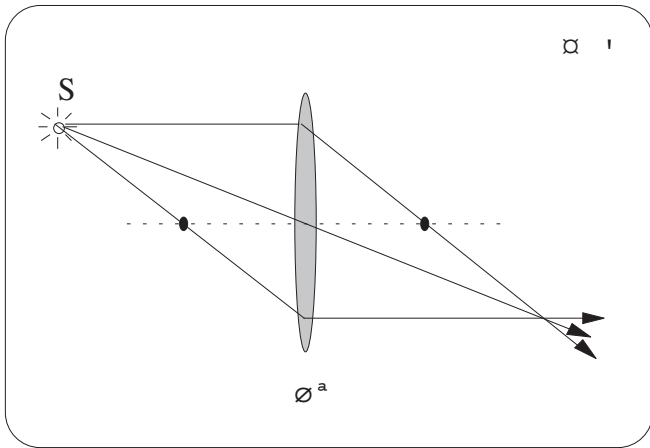
(תלמיד מתקשה לענות על השאלה)

מראיין: האם לדוגמה הקרן X משנה את כיוונה שם? מתפצלת?

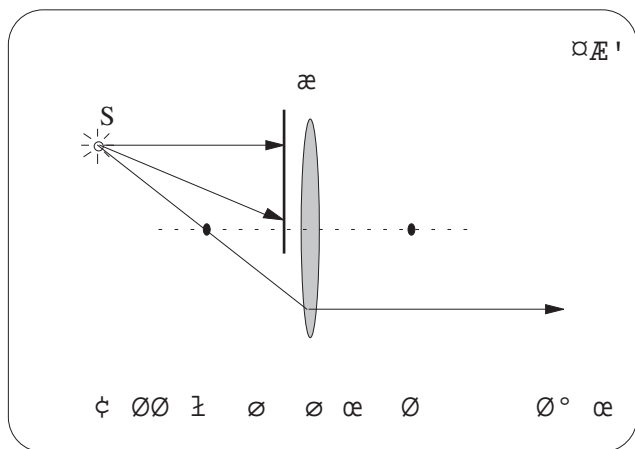
תלמיד: (קופץ על המציאה...) כן, היא נשברת לכל הכיוונים וחלק מגיע לעין ...

מראיין: מה גורם לה להישבר? האם יש משהו בדרכה?

תלמיד: (במבוכה) אם אין שם כלום, רק אוויר, אז אין סיבה שתישבר ... אבל בכל זאת אפשר לראות את הקרן... בעצם צריך שיהיה שם משהו, אבק... אז אם אין אבק - אי אפשר לראות את הקרן.



תרשים 2: (א) מציאת הדמות באמצעות קרניים מיוחדות בלבד.



תרשים 2: (ב) תשובה של תלמיד לשאלה: "מציבים מחסום לפני העדשה. סמן את הדמות".

בהקניית ההליך של מציאת מיקום הדמות, הרי שתרשים הקרניים כולל בדרך כלל רק את ה"קרניים המיוחדות". ואמנם, אחד הקשיים הראשונים (והנפוצים ביותר) שאובחנו אצל תלמידים לאחר לימוד האופטיקה הוא הענקת משמעות יתר לקרניים המיוחדות. מסתבר כי לאחר הלימוד, חלק מן התלמידים חושבים כי הקרניים המיוחדות הן הקרניים היחידות האחראיות ליצירת הדמות וכי קרניים ספציפיות אלה הן חיוניות להיווצרות הדמות. כתוצאה מכך, תלמידים אלה חושבים כי אם חוסמים שתי קרניים מיוחדות לא תיווצר דמות (תרשים 2ב').

ב. התעלמות ממהלך האור שאינו מבצע אינטראקציה עם הרכיב

בתרשים 3א' מוצגת שאלה פשוטה אך לא שיגרתית. השאלה מתייחסת למהלך האור בעדשה ולא ליצירת הדמות

חישובים שונים הקשורים לתרשימים כאלה. מסתבר כי אחד מגורמי הקושי הראשוניים קשור לאי הבנה בסיסית של המודל ונובע מכך שהחוויות החזותיות שיוצר מודל הקרניים שונות מאד מהחוויות החזותיות אותן הוא מייצג, בעוד שהמינוח בעולם המודל זהה למינוח בעולם האמיתי.

IV. באיזו מידה תלמידים מבינים את משמעות המודל הגרפי ?

אי הבנות רבות של תלמידים נובעות מליקוי בסיסי בהבנת משמעות המודל הגרפי ואופן השימוש בו. כיוון שההליכים הטכניים במהלך הוראת הנושא הם פשוטים יחסית, המורה עשוי להניח כי משמעותם ברורה לתלמידים, כפי שהיא ברורה לו. כתוצאה מכך, התלמידים יהיו מסוגלים לבצע הליכים אלה בעצמם, ואף להצליח יפה בבחינה כאשר עליהם לחזור על ההליכים ברמה הטכנית, אך יתקשו ליישם הליכים אלה במצבים חדשים.

מודל הקרניים מספק ייצוג חלקי בלבד של האור. למעשה, עוצמתו המיוחדת של המודל טמונה בכך שהוא מאפשר לטפל במצב נתון על ידי שרטוט מספר מצומצם של קרניים. המורה, הפועל כמומחה, משרטט את תרשים הקרניים על הלוח תוך בחירה טבעית של הקרניים הרלוונטיות והתאמתן לתנאי הבעיה. גם אם המורה מציין כי "יש כמובן אינסוף קרניים אך אנו נבחר מתוכן את הללו..", משמעות אמירה זו איננה תמיד ברורה לתלמידים. במהלך השרטוט בוחר המורה בדרך היעילה ביותר, תוך השמטה מכוונת של קווים נוספים הנראים לו בלתי נחוצים ועלולים לסרב ולסבך את התרשים. במקרים רבים התלמידים אינם מודעים לשיקולים שעושה המורה בבחירת הקרניים הרלוונטיות הללו. כתוצאה מכך, בהינתן בעייה חדשה, תלמידים נוטים "להעתיק" את תרשימי הקרניים שראו במקרים אחרים, וליישם מבלי לבחון את מידת התאמתם לבעיה הספציפית.

הדוגמאות הבאות ימחישו את הקשיים הללו:

א. "הקרניים המיוחדות"

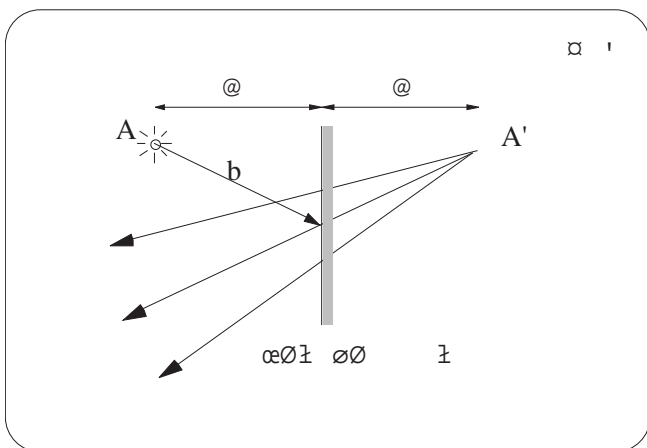
כאשר דנים בעדשות ובמראות כדוריות קיים קושי לשרטט באופן מיידי את מהלכן של קרניים כלשהן העוברות אינטראקציה עם הרכיב. על מנת להקל על תהליך השרטוט משתמשים ב"קרניים המיוחדות" כעזר שרטוט גיאומטרי למציאת מיקום הדמות (תרשים 2א'). אם ההוראה מתמצה

כאמור, ניתן לייחס ממצאים אלה להדגשי ההוראה במהלך השיעור בכתה ובספרי הלימוד. גם כאשר משורטטת כל האלומה הרלוואנטית (ולא רק קרניים מיוחדות), אין בדרך כלל התייחסות לאור אשר אינו עובר אינטראקציה עם הרכיב.

ג. שימוש ב"קיצורי דרך" גיאומטריים בלי לבדוק תקיפותם במערכת הנתונה

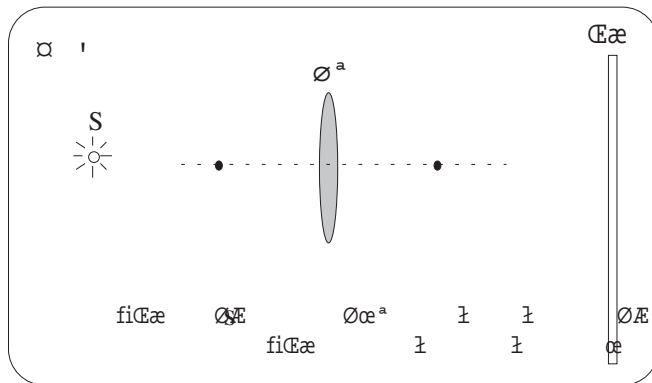
מושג ה"דמות" הוא אחד הרעיונות המרכזיים באופטיקה הגיאומטרית. באינטראקציה של אלומה חד-מרכזית משתתפים אינסוף כיווני אור - "קרני אור" בשפת המודל. כל אחת מקרני האור מבצעת אינטראקציה עם הרכיב הנתון לפי חוקי האינטראקציה בהתאם לנתונים המקומיים ("התנהגות אינדיבידואלית של קרן"). מתברר כי ניתן להכליל במידה מסוימת של דיוק את כל אינסוף ההתנהגויות האלה ולתאר את "ההתנהגות הקולקטיבית של האלומה" כהתנהגות המייצרת מרכז חדש לאלומה כתוצאה מהאינטראקציה. הרעיון הזה הוא כה חזק באופטיקה גיאומטרית עד שהטיפול ברכיבים אופטיים מצטמצם למקרים אידיאליים, שם הקירוב טוב למדי.

אלומה מתפזרת חד-מרכזית הפוגעת במראה במראה מישורית משתנה לאחר ההחזרה לאלומה מתפזרת חד-מרכזית אשר מרכזה הגיאומטרי נמצא "מאחורי המראה" במיקום סימטרי למיקום מרכז האלומה הפוגעת. עיקרון זה מאפשר לתאר בקלות מהלכה של קרן כלשהי באלומה מבלי לבצע מדידת זוויות, לדוגמה העברת הקרן b בתרשים 4א. ברכיבים כדוריים מיושם עקרון זה באמצעות "הקרניים המיוחדות" (תרשים 4ב).

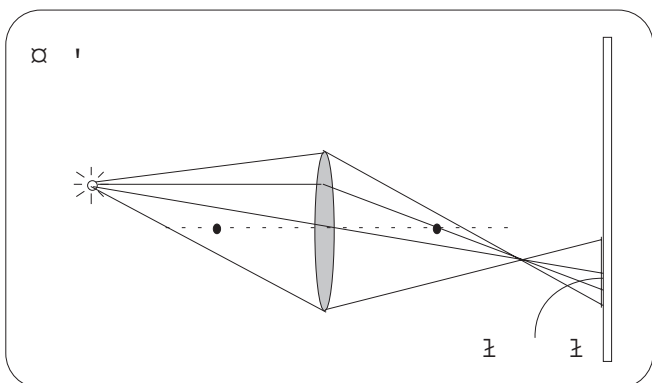
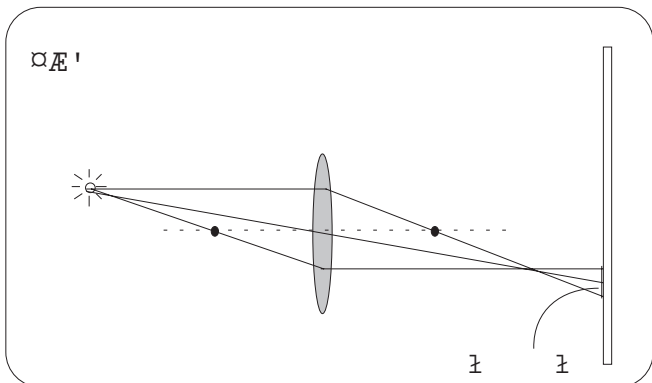


תרשים 4: דוגמה לקיצור דרך גיאומטרי (א) שדה ראיה במראה - שיטת ה"חלון"

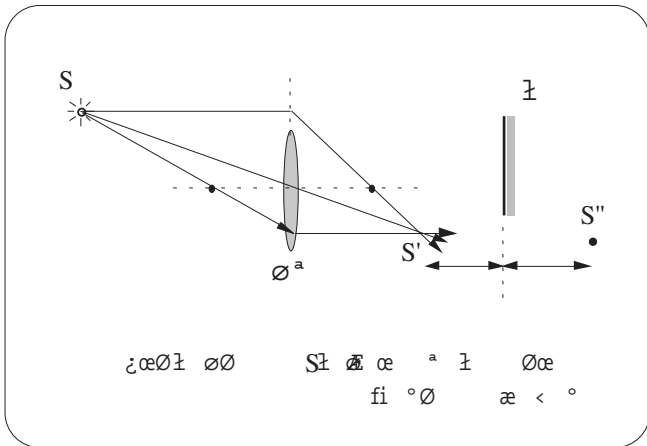
בלבד. השאלה מחייבת את התלמיד להתייחס לכל האלומה הרלוואנטית. בשאלה זו אפשר להבחין אצל תלמידים בשתי שגיאות נפוצות. תרשים 3ב' מציג תשובה של תלמיד המבצע את ההליך המקובל של "מציאת מיקום הדמות" תוך התעלמות מהשפעת העדשה כולה (בעיית הקרניים המיוחדות לעיל). גם תלמידים אשר התייחסו לכל האלומה הנשברת על ידי העדשה (תרשים 3ג), התעלמו ממהלך האור שאינו מבצע אינטראקציה עם הרכיב ומגיע ישירות למסך משני צידי העדשה.



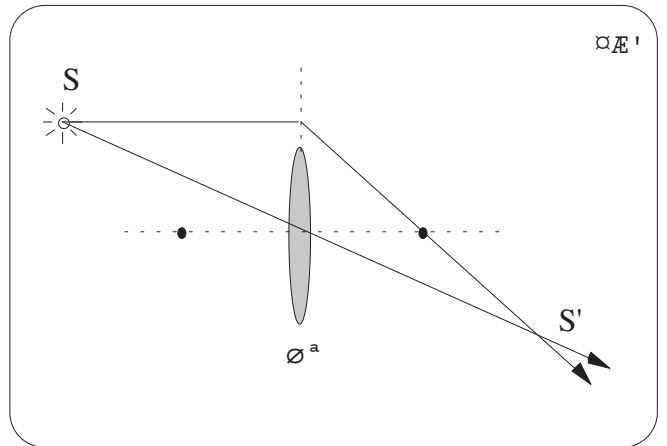
תרשים 3: (א) השאלה



תרשים 3: (ב, ג) תשובות חלקיות אופייניות



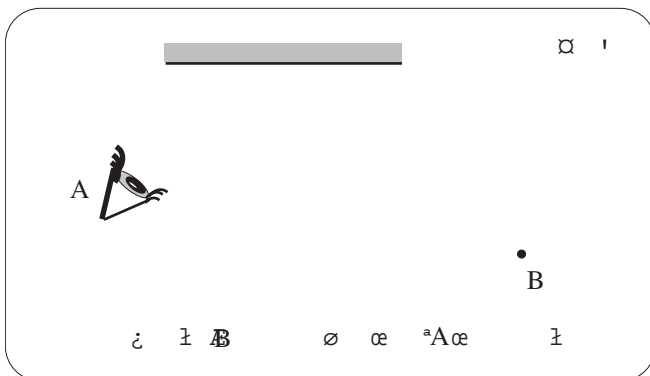
תרשים 6: תשובתו של תלמיד המתייחס אל הדמות S' כאל עצם נקודתי עבור המראה, תוך התעלמות ממהלך האור. במקרה זה האור היוצר את הדמות S' איננו מגיע למראה ולכן לא נוצרת כלל דמות S'' .



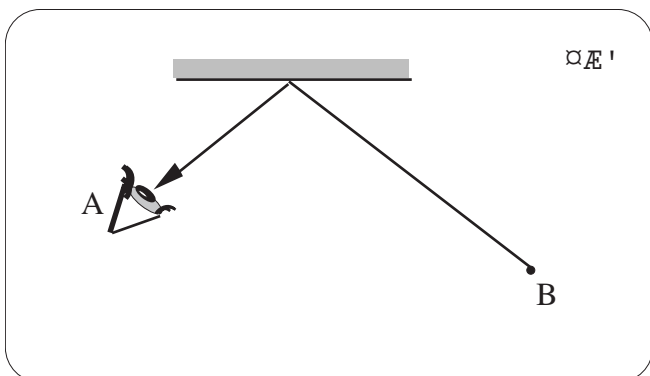
תרשים 4: דוגמה לקיצור דרך גיאומטרי (ב) מציאת הדמות בעדשה

ד. שימוש בקרן בודדת במקום באלומת קרניים חד מרכזית

בתרשים 7א' מוצגת שאלה פשוטה. התשובה וההסבר של תלמידים רבים (תרשים 7ב') מתבססת על שרטוט הקרן בין A ו-B. "קרן" זו מייצגת לגבי התלמידים אלומת אור (צרה) אמיתית. תשובה זו עשויה גם לשקף את הטעות הנפוצה כי "הדמות נמצאת על פני המראה".



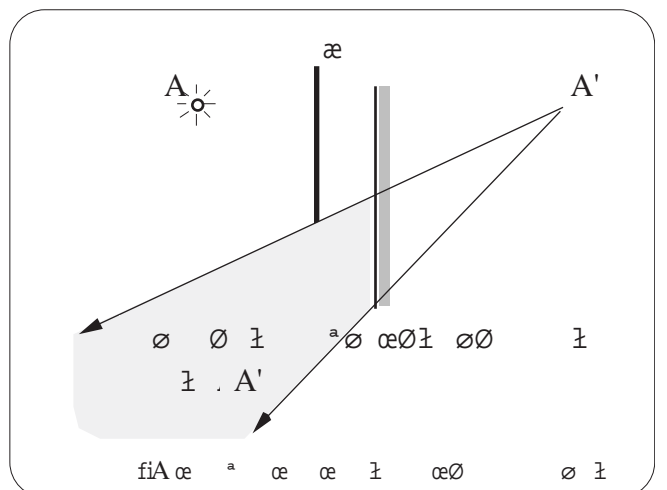
תרשים 7: (א) השאלה



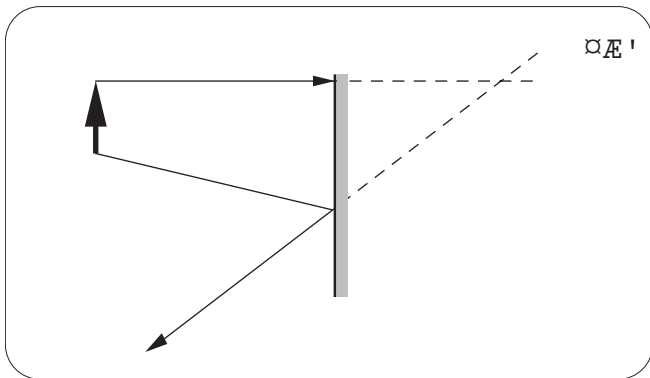
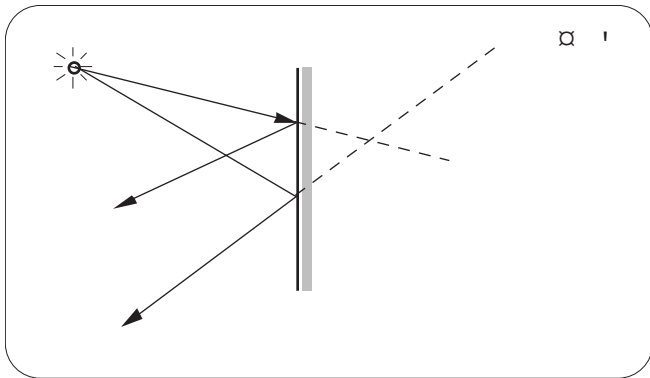
תרשים 7: (ב) דוגמה לשרטוט תשובת תלמיד

בגלל הקושי בשרטוט מדויק על הלוח, רבים מן התרשימים שמשרטט המורה (והתרשימים המופיעים בספרי הלימוד) מבוססים על "קיצורי דרך" גיאומטריים (ראה דוגמאות בתרשים 4). השימוש בקיצורי הדרך הוא לגיטימי ויכול להיות יעיל מאוד לפתרון בעיות, אך השימוש בהם מותנה בהבנת משמעותם ובבדיקת תקיפותם למקרה הספציפי.

יישום "טכני" בלבד של קיצורי הדרך, כאשר משמעותם אינה ברורה, עלול לגרום לשימוש מוטעה במודל הקרניים. אחת הדוגמאות לבעיה זו היא התעלמות מהקשר בין גודלו המוגבל של הרכיב לבין תחום ההשפעה שלו על אלומת האור הפוגעת בו (תרשימים 5 ו-6).



תרשים 5: תשובתו של תלמיד המיישם את "שיטת החלון" מבלי לבחון את תקיפותה במקרה הנתון



תרשים 8: דוגמאות לשימושים שגויים בתרשימי קרניים לבניית דמות

התופעה של שימוש בקרן בודדת היא שכיחה מאוד אצל תלמידים. תופעה זו אינה נובעת רק מ"עצלות לשרטט קרניים נוספות", אלא מעוגנת כנראה בתפיסה של המושג האינטואיטיבי החזק של "קו ראייה", שהוא הקו המקשר את העצם הנקודתי עם העין.

ה. חוסר אבחנה בין קווים המשמשים לתיאור מהלך האור לבין קווי עזר גיאומטריים.

בעיה זו התגלתה במפתיע במהלך מחקר שערכנו לאחרונה עם תוכנת הדמיה באופטיקה. מיד לאחר סיום הלימוד של פרק האופטיקה, הוצגה לתלמידים שאלה דומה לזו המוצגת בתרשים 7א'. לרשות התלמידים עמדה הדמיה המאפשרת להם למקם מקור אור ו"לשלוח קרניים" לכל כיוון לפי בחירתם, וכלי שרטוט רגילים. חלק מן התלמידים שרואינו קבעו את מקום הדמות מאחורי המראה משיקולי סימטריה, הציבו מקור אור במקום הדמות וניסו לשלוח "קרניים" לעבר החלק האחורי של המראה. אחד התלמידים חזר על הנסיון ארבע פעמים והיה מופתע בכל פעם מדוע "הקרן לא עוברת ומגיעה לעצם?" במהלך הראיון הסתבר כי התלמיד "שיחזר" את פעולות המורה שהעביר קווים - כקיצורי דרך גיאומטריים אל מאחורי המראה (תרשים 4א'), ולא היה מודע כלל להבדל בין הקווים שייצגו "קרניים" - מהלך אור" לבין שרטוטי העזר למציאת מקום הדמות.

ניתן לקשור טעות זו לאופן ההוראה. מבחינת התלמיד, לא היה הבדל בין הקווים השונים ששרטטו על הלוח. בעיה כזו עלולה להתעורר כאשר הטכניקה הגיאומטרית של בניית השרטוט מודגשת הרבה יותר מאשר משמעות הקווים בשרטוט. מתברר כי גם הקפדה על שרטוט המשכי הקרניים מקווקווים אינה מספקת.

1. שימוש שגוי במודל לייצוג הדמות

בנוסף לבעיות שמנינו, ניתן לאבחן אצל תלמידים שגיאות בסיסיות הנובעות משימוש מוטעה במודל הקרניים לייצוג ולמציאת מקום הדמות. לדוגמה:

★ תרשים 8א' - ייצוג דמות על ידי מפגש בין קרניים לפני האינטראקציה, לבין קרניים אחרי אינטראקציה, עם הרכיב.

★ תרשים 8ב' - ייצוג דמות על ידי מפגש בין קרניים שמקורן בעצמים נקודתיים שונים.

V. כיצד מבינים תלמידים את מושג הדמות ? כל הידע הקודם שיש לתלמיד בנושא, והכרת התופעות שלהן הוא נחשף במהלך ההדגמות וניסויי המעבדה, מבוססים על נסיונו האישי כצופה ישיר בתופעות מנקודת מבט מסויימת מאוד. לעומת זאת, מהלך ההוראה מתמקד בעיקר בתהליך של "יצירת הדמות", כאשר זו נוצרת באופן בלתי תלוי בצופה כלשהו. עובדה זו מעוררת קשיים רבים ביכולת ליישם את מודל הקרניים לניתוח מצבים אמיתיים הקשורים בראיית דמויות. להלן דוגמאות אחדות של קשיים הקשורים לראיית דמויות.

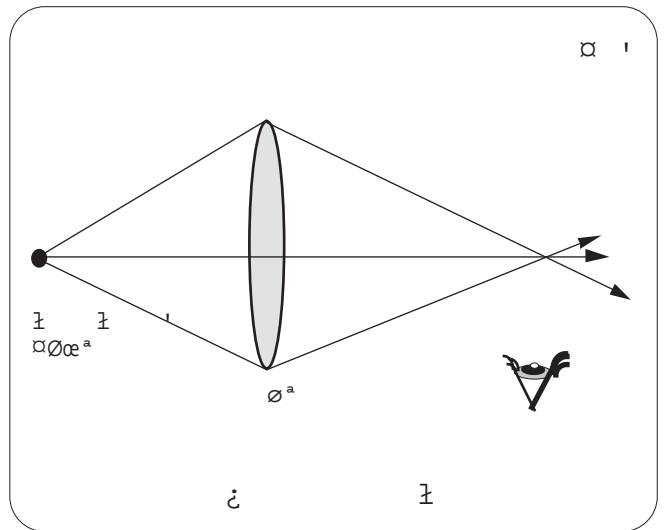
א. הדמות כמקור איזוטרופי

בתרשים 9א' מוצגת שאלה שהופנתה לתלמידים מתוך אחד המחקרים שערכנו. רוב התלמידים ענו כי הצופה רואה את הדמות הממשית, ונימקו את תשובתם על ידי שרטוט קרניים מן הדמות לעבר העין (תרשים 9ב').

★ הליך בניית הדמות מבוסס בדרך כלל על הקרניים המיוחדות ולא על אלומה המוגבלת על ידי הקרניים הקיצוניות הקובעות גם את שדה הראיה שלה.

★ לאחר שהדמות "נוצרה" על ידי רכיב אופטי אחד, המורה מתייחס אליה כאל "מקור" ליצירת דמויות נוספות באמצעות "קיצורי הדרך" המקובלים.

★ בניסויים המסורתיים הדמות הממשית נצפית לאחר שהיא נוצרת על מסך - כך שהיא אמנם מהווה מקור איזוטרופי כתוצאה מהחזרה מפורת של המסך. אם עורכים ניסוי של צפיה ישירה בדמות ממשית (מומלץ מאוד), תלמידים רבים מופתעים מכך שניתן לראות את הדמות ללא מסך.



תרשים 9: (א) השאלה

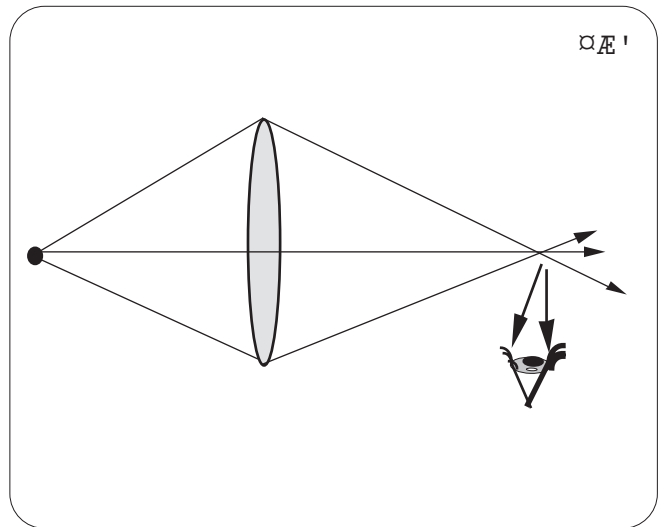
ב. מושג שדה הראייה

בגלל הטיפול החלקי בנושא זה במהלך ההוראה, וההבנה הלקויה של משמעות מודל הקרניים, תלמידים רבים אשר מסוגלים לשרטט את מקום היווצרות הדמות, יתקשו להשתמש במודל על מנת לענות על השאלה: "מהיכן ניתן לראות דמות זו?". מושג שדה הראיה הוא בעייתי במיוחד, והקשיים בהבנתו קשורים לשני גורמים:

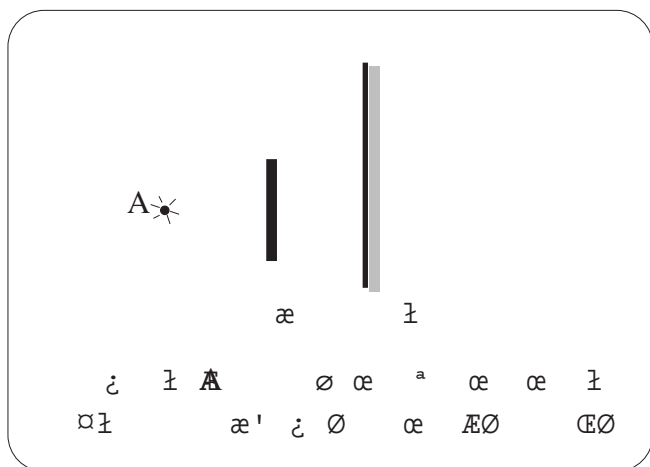
★ הליקויים הקודמים שמנינו בהבנת מודל הקרניים והשימוש בו.

★ בלבול בהגדרת המושג "שדה ראייה", כתוצאה משימוש במינוח יום יומי זהה בעל משמעות שונה.

בתרשים 10 מוצגת שאלה שנכללה באחד המחקרים האחרונים שערכנו. שאלה זו הוצגה לתלמידי כיתה יוד זמן קצר לאחר לימוד פרק האופטיקה.



תרשים 9: (ב) דוגמה לשרטוט תשובת תלמיד



תרשים 10: (א) השאלה

תגובה זו משקפת אי הבנה נפוצה מאוד שאובחנה גם במחקרים אחרים. תלמידים תופסים את הדמות כישות עצמאית ה"נוצרת" וקיימת ללא קשר למהלך האור שגרם ליצירתה. לכן, עבור תלמידים אלה, הדמות מהווה מקור איזוטרופי (הפולט אור לכל הכיוונים).

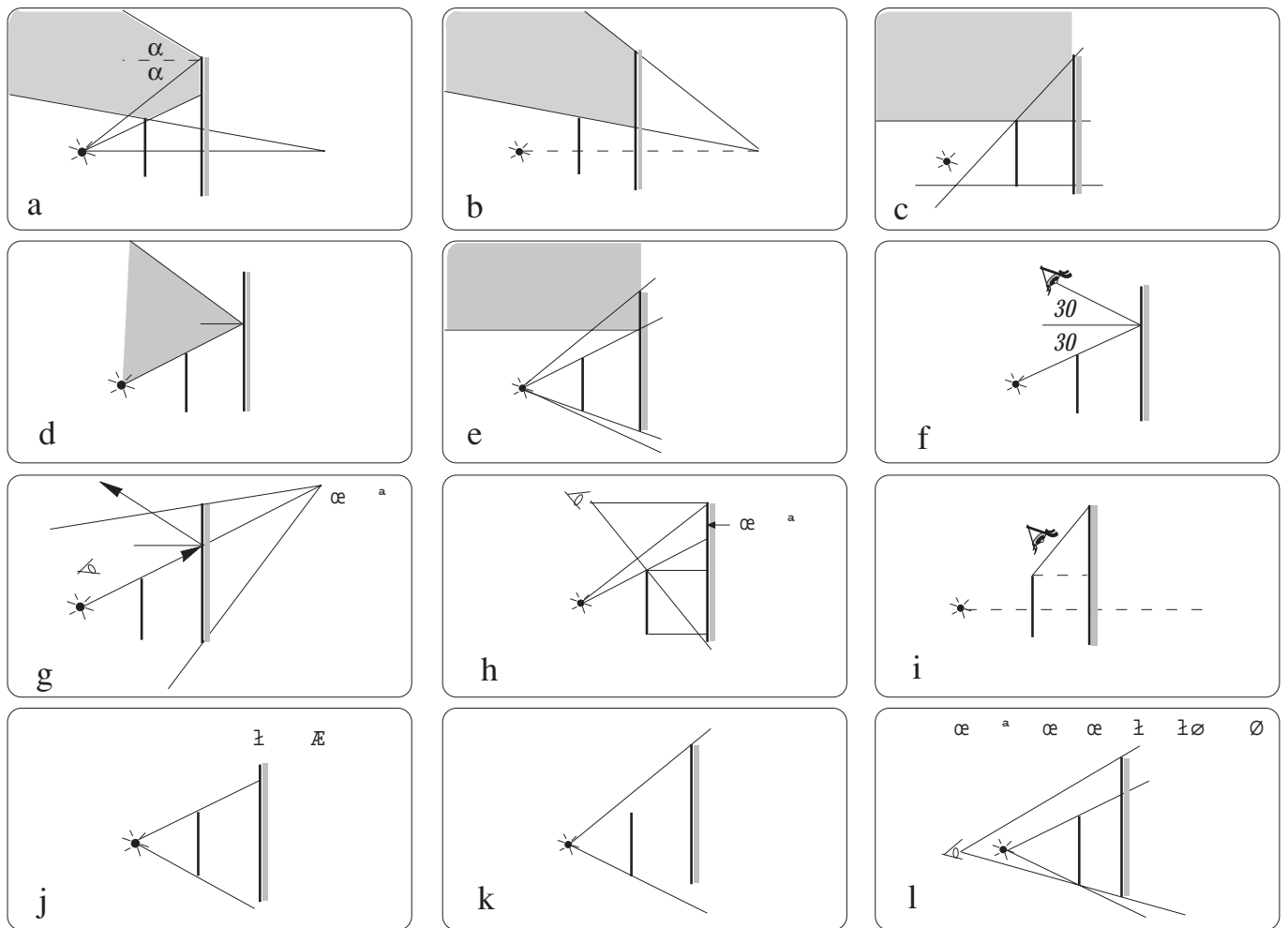
ניתן לקשור אי הבנה זו ישירות להדגשים הנקוטים בהוראה, המתמקדת בעיקר בטכניקה של "היווצרות הדמות". במהלך ההוראה, השאלה "מהיכן אפשר לראות את הדמות?" היא משנית ולעיתים קרובות אינה נשאלת כלל. הדגשים אלה באים לידי ביטוי גם בשרטוט תרשימי הקרניים באופנים הבאים:

★ לעיתים קרובות לא משרטטים את המשכי הקרניים מעבר לדמות (אזור זה אינו חשוב...).

דמות ביססו טענה זו על התפיסה כי אי אפשר לראות את הדמות. כדברי תלמיד (מתוך התגובות המילוליות שנלוו לשרטוט): "אין דמות במראה כיוון שהמחסום מסתיר את הדמות ולכן העין לא יכולה לראות אותה". מתוך התשובות הסתבר כי כ-20% מן התלמידים מאמינים כי "דמות אינה נוצרת אם אני לא יכול לראות אותה".

שדה ראייה: רוב התלמידים הבינו כי השאלה קשורה למושג "שדה ראייה", ואף הזכירו מושג זה בהסבריהם הכתובים. למרות שכמעט כל התלמידים קישרו את המושג עם הליך גרפי של שרטוט קו או קווים לקצות המראה, נראה כי קיימת אי הבנה בסיסית של המושג שדה ראייה ואי יכולת ליישמו למצב נתון. התשובות המגוונות שקיבלנו לשאלה זו משקפות קשיים אחרים בשימוש בתרשימי קרניים: הדמות ממוקמת לאורך הקרן הפוגעת במראה (תרשים g), הדמות נוצרת על פני המראה (תרשים h), המחסום מתקשר אוטומטית עם יצירת צללים (תרשים j), תרשים קרניים מבוסס על קרן אחת בלבד (תרשימים d, f).

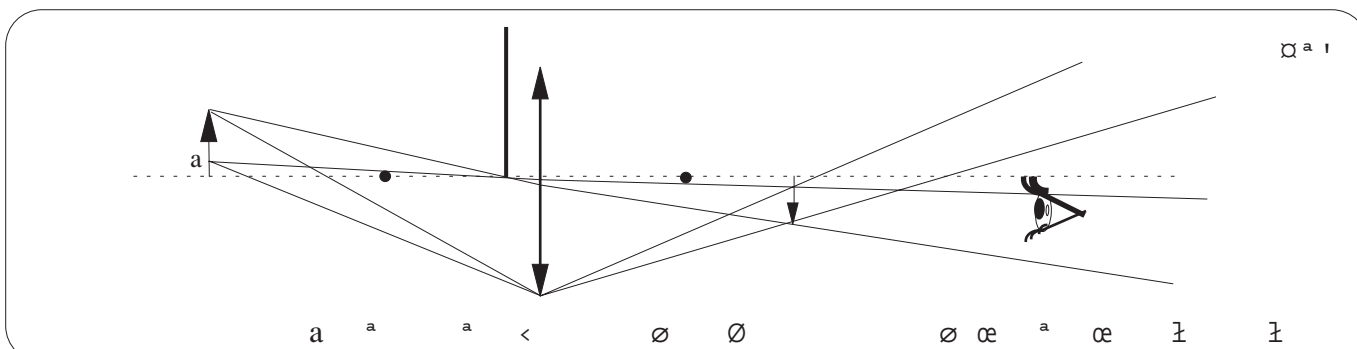
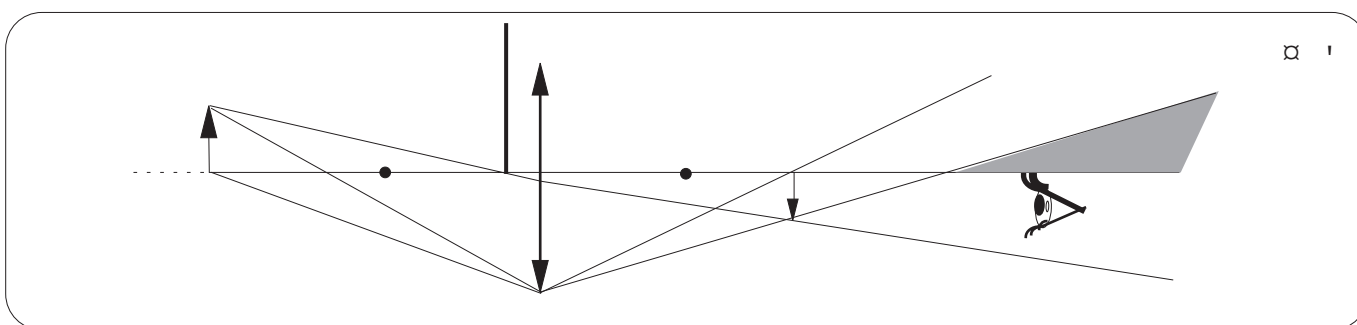
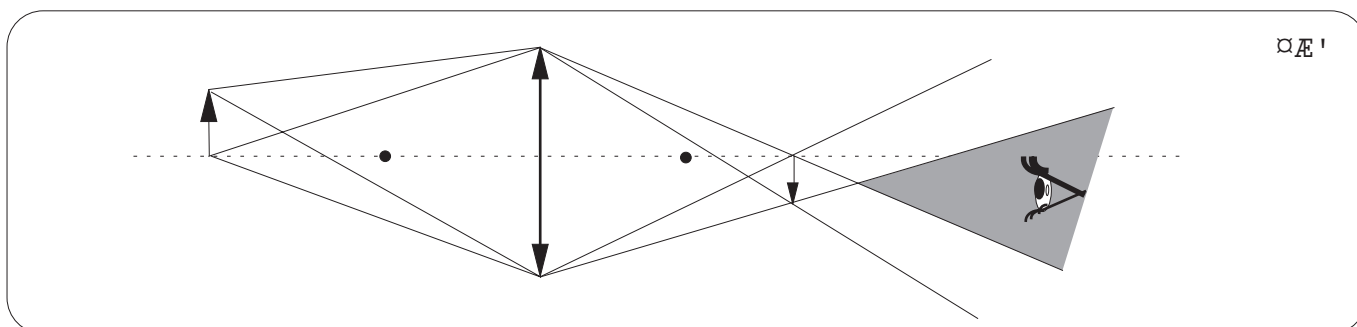
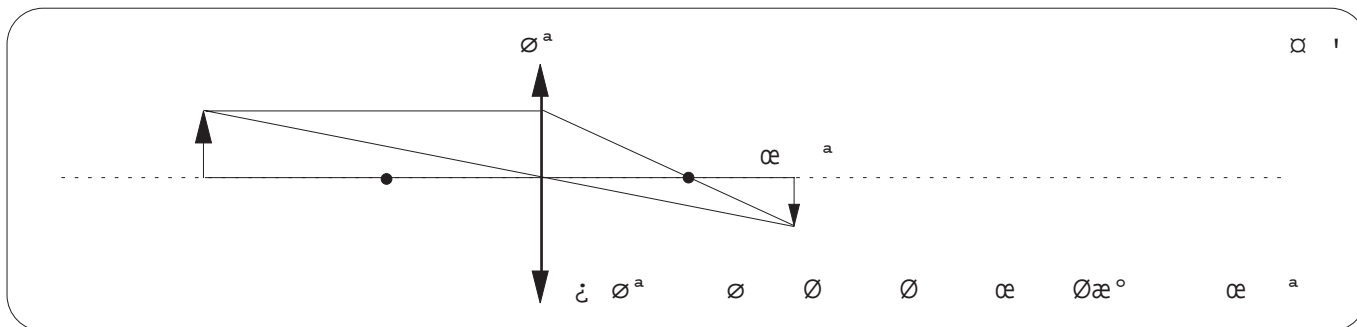
נביא כאן ניתוח הממצאים בכיתה אחת בבית ספר במרכז הארץ. מתוך 28 תלמידים רק שלושה פתרו נכון את שני סעיפי השאלה. תשובות התלמידים התבססו על מגוון רחב של שרטוטים. תרשים 10(ב) מציג את רוב התשובות השגויות (התשובות האחרות שאינן מובאות כאן כלל קו מקרי אחד או שניים מן העצם אל קצה המראה ו/או אל קצה המחסום). תרשימי התלמידים מעידים על שני קשיים עיקריים: חוסר הבחנה בין יצירת דמות לבין ראייתה, ואי הבנה בסיסית של המושג "שדה ראייה". קשה למיין את השגיאות לקטגוריות בודדות. השונות הרבה מצביעה על מגוון גדול של מקורות לקשיים וצירופים שונים של שגיאות. **יצירת דמות וראייה:** רוב התלמידים לא ידעו להחליט אם המחסום משפיע על יצירת הדמות או על ראייתה, וכיצד לדוגמה, בתרשימים (a), (b), (g) יצירת הדמות אינה מושפעת על ידי המחסום. תלמידים אלה הניחו כי הדמות נוצרת, סימנו את מיקומה, ואז ניסו למצוא את שדה הראיה שלה. לעומתם, תלמידים אחרים אשר טענו כי לא נוצרת



תרשים 10: (ב) סיכום תשובות תלמידים מכתה אחת

ג. שימוש במודל לפתרון בעיות מורכבות – טיפול בתפיסות אינטואיטיביות

תרשים 11א' מציג שאלה קלאסית שאנו נוהגים להפנות לתלמידים: תשובת תלמידים כי תיווצר "חצי דמות" מתקבלת כלא נכונה ונעשה מאמץ לשכנעם, באמצעות תרשים הקרניים, כי הסתרת מחצית העדשה איננה פוגעת ביצירת הדמות ומשפיעה רק על עוצמת האור ("מספר הקרניים" היוצרות את הדמות). אפשר גם להדגים את התופעה בניסוי כאשר הדמות הממשית מתקבלת על מסך.



תרשים 11

איננה נכונה". אחרת, תלמידים יבצעו הפרדה מוחלטת בין המודל לנסיון האישי ויטייחו למודל כאל "חומר לימוד בבית הספר" המנותק מן המציאות המוכרת.

VI. המלצות להדגשים בהוראה

יש נושאים שהקושי בהוראתם נובע מהיותם מופשטים, מורכבים או מהעדר התנסות אישית בתופעות שבהן מדובר. באופטיקה הגיאומטרית נראה שהמצב הפוך, ומכיוון שהמודל ודרכי ייצוגו נראים "פשוטים" למורה הוא עלול להתייחס להיבטים רבים כאילו הם מובנים מאליהם. ממצאי המחקר מורים על כך שתהליך הלימוד המקובל אינו מצליח להמיר בשלמות את התפיסות הראשוניות שיש לתלמידים, ובמקרים רבים רק מוסיף עליהן הליכים "טכניים" המופעלים בתוך מסגרת מושגים רופפת ושברירית.

במאמר זה סקרנו חלק מן הקשיים שהתגלו אצל תלמידים לאחר לימוד האופטיקה הגיאומטרית, תוך התמקדות בהבנת המודל הגרפי וביכולת להשתמש בו לניתוח תופעות והסברן. המודעות לבעיות אלה חשובה במיוחד אם מטרת ההוראה היא לספק לתלמיד כלי פורמלי שיסייע לו בהבנת העולם הסובב אותו. לאור ממצאי המחקרים והנסיון הרב שהצטבר בנושא נראה שהקשיים עשויים להיפתר באמצעות ההדגשים הדידקטיים הבאים:

- ★ דיון במשמעות המודל, לדוגמה: מהי "קרן" במודל לעומת אלומת אור צרה במציאות.
- ★ התייחסות לשיקולים המנחים לבחירת הקרניים הרלאוונטיות בכל תרשים.
- ★ התייחסות לכל מהלך האור היוצא מן העצם, כולל המשך מהלכו לאחר יצירת הדמות כגון: שימוש ב"אלומות" במקום בקרניים בודדות.
- ★ התייחסות לכל האלומה הרלאוונטיות העוברת אינטראקציה עם הרכיב האופטי - שימוש באלומות בנוסף לקרניים המיוחדות.
- ★ דיון בשאלות איכותיות תוך יישום מודל הקרניים (גם אם הדבר בא על חשבון תרגילים כמותיים).
- ★ הדגשת המשמעות של "קיצורי הדרך" והדגמת המגבלות בשימוש בהם.
- ★ דיון משולב ב"יצירת דמות וראייתה" תוך הכנסת מושג הצופה החל מהשלבים הראשונים של הלימוד.
- ★ קישור בין המודל והמציאות (או הניסוי) תוך התייחסות לדעות ולתפיסות קודמות של תלמידים וייצוגן בעזרת המודל.

למעשה, אם הדמות איננה נוצרת על מסך אלא נצפית בראייה ישירה - תשובת התלמידים אמנם מתארת מה עשוי לראות צופה המביט בדמות. תרשים 11 ב' מציג את שדה הראיה של כל הדמות (המקום ממנו רואים את הדמות בשלמותה). אזור זה מוגבל מאוד. אם מכסים חצי עדשה אזור זה מצטמצם עוד יותר. אם הצופה נמצא כמתואר בתרשים 11 ג, כך שלפני ההסתרה הוא ראה את כל הדמות, התוצאה אמנם תהיה ראייה של חלק מן הדמות בלבד, בתלות במיקום העין - תרשים 11 ד'.

בעיה דומה מתעוררת במהלך הטיפול בשאלה הבאה: "צופה ניצב מול מראה ורואה רק חלק מגופו. מה על הצופה לעשות כדי לראות את כל גופו במראה?". מנסיונם האישי ידוע לתלמידים כי המרחק מן המראה משפיע על מה שהם רואים במראה. העובדה (המפתיעה מאוד) כי "המרחק אינו משפיע על חלק הגוף הנראה" נכונה רק כיוון שבמקרה זה הגוף שעליו מביטים *זו ביחד עם העין*. חשוב להדגיש כי שדה הראייה של כל שאר העצמים משתנה בתלות במיקום העין - כפי שהתלמידים יכולים לנבא מנסיונם האישי.

התגובה השגויה האופיינית לשאלה זו היא מעניינת במיוחד כיוון שהיא משקפת בעייה אחרת הקשורה גם היא ליישום של מושגים אינטואיטיביים. הצג לתלמידך את השאלה הבאה: אתה ניצב מול מראה ומאחוריך קיר. מה עליך לעשות כדי לראות חלק גדול ככל האפשר של הקיר במראה? גם במקרה זה, אצל חלק מן תלמידים, התגובה האינטואיטיבית המיידית (לפני ניתוח באמצעות שרטוט) תהיה כי יש *להתרחק* מן המראה. תגובה זו נובעת מהנסיון האישי החזק שלפיו: "שדה הראיה גדל ככל שמתרחקים". ואמנם, הכללה זו נכונה לגבי מצב שבו *זווית הראיה קבועה*.

מהלך הוראה שבו מודגש רק הקונפליקט - מבלי לחזק את הקשר בין המודל הפורמלי לניסיון האישי עשוי לערער את האמון של התלמיד ביכולתו להשתמש במודל, או ביעילותו של המודל בכלל. חשוב לזכור כי התפיסות האינטואיטיביות חזקות הרבה יותר מן המודל הפורמלי הנלמד בכיתה. לכן, על מנת לעודד את התלמיד להשתמש במודל, חשוב להדגיש את יעילותו של המודל להסבר הנסיון האינטואיטיבי. במקרה שנוצר "קונפליקט" בין המודל והאינטואיציה (כמו בשתי הדוגמאות האחרונות) חשוב להתייחס לתפיסות הקודמות של התלמיד ולהראות באמצעות המודל "באילו תנאים האינטואיציה נכונה, ומדוע היא איננה ישימה במקרה זה", ולא רק להוכיח כי "המודל מראה שהאינטואיציה

מקורות לקריאה נוספת:

1. Goldberg F. and MacDermott L.C.: "Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror", The Physics Teacher, 24 (8), pp. 472-480 (1986).
2. Goldberg F. and MacDermott L.C.: "An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror", Am. J. Physics, 55(2), pp.108-119 (1987).
3. Goldberg F., Bendall S. and Galili I.: "Lenses, Pinholes, Screens and Eye", The Physics Teacher, 29(4), pp. 221-224 (1991).
4. Galili I., Bendall S. and Goldberg F.: "Some reflections on plane mirror and images", The Physics Teacher, 29 (8) (1991).
5. Galili I., Bendall S. and Goldberg F.: "Incomplete understanding of image formation: relevant rays and holistic conceptualization", J. of Research in Science Teaching, 30 (3) pp. 271-283 (1993).
6. Ronen M. and Eylon B.: "To See or not to See: The Eye in Geometrical Optics - When and How?", Physics Education , 28 (1), pp. 52-59 (1993).

אנו מקווים כי המודעות לבעיות אלה תסייע למורים לטפל בהן באמצעים ובכלים העומדים לרשותם. הקשיים שנדונו במאמר זה קשורים לשימוש במודל הגרפי. בגליון הבא של "תהודה" נציג כלים ממוחשבים שפותחו כדי לסייע למורה ולתלמידים להתגבר על חלק מן הקשיים הללו.

אם אתה מעוניין לבחון באיזו מידה קיימים קשיים אלה אצל תלמידך, תוכל להעזר בשאלון המצורף בעמ' 35. שאלון זה מתייחס לחלק מן הבעיות המרכזיות שתוארו במאמר. תוכל להעביר את השאלון, בחלקים או בשלמות, לאחר הלימוד או במהלכו. אם תשתמש בשאלון זה, או בחלקים ממנו, נשמח אם תשתף אותנו בממצאים. נשמח ללמוד מנסיונך האישי בהוראת הנושא, ונודה לך על כל הערה או הארה למאמר זה.



מילון מדעי - סוגרי קרס

בקריאת מאמר מדעי יש לזכור שכוונת המחבר לא תמיד תואמת את התמליל. לדוגמא:

לפעמים משמעותו:	אם כתוב:
לא הגבניו אציון בלאחר החקוי	"יוד זה מכנה..."
הניסוי לא הלא אק אשבי אפמוג	זא אא אלא ניאן אצניו זא אלאו אלה באופן מושלם..."
אוכא אהפיק חמנו פיסוק אאנ..."	"כחוי איהיה צויק בהשקצג דבוצה רבה אפני אהטפדה גבן בלאואה..."
הטפדה אינה חובנג אי כאל..."	"...בלא אשובו אאוהיט ומדשיח לחיובה..."
אוי זה אצניו..."	"...חואכ ע-..." "ניאן אהאליון ע-..." "יכול אהיוג ע-..."
איני אושב ע..."	"החסקנה חובנג אלאיה"
איני לא הייתי הראשון שהדלה את החיזיון	