

דמויות במראה – אופטיקה, ראייה והכרה

סקירת מאמרים וחומר נוסף למחשבה

דורותי לנסי, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

תקציר

הטענה הנפוצה כי מראה מישורית "הופכת ימין שמאל" מעוררת את החידה "מדוע דמותך במראה מישורית הפוכה ימין-שמאל ולא מעלה-מטה?". נטפל בסוגיה זאת על ידי סקירת מאמרים שבעזרתם נברר מה, אם בכלל, הופכת המראה המישורית ומה מקור תחושת היפוך "ימין שמאל". ניישם את העקרונות של היווצרות הדמות כדי להסביר את "כתב המראה" ותרגיל העלמת חפצים של קוסמים. לבסוף נדגים קשר מעניין בין הכרה וראייה בהקשר לשימוש במראת הנהג במכונית.

מילות מפתח:

מראה מישורית, מיקום דמות, כיווניות דמות, כתב מראה, אשליות אופטיות.

מבוא

דמויות במראה ובמיוחד **במראה המישורית** הן בנות לוויה קבועות של האדם. ילדים צעירים מחפשים מאחורי המראה את הדמויות שהם רואים בתוכה. בגיל מסוים מפסיקים לחפש ומקבלים את יצירת הדמות כתכונה "טבעית" של מראה. האיש ברוב חושב שהבואה היא על פני המראה, אך בשיעורי הפיסיקה מלמדים שתפיסתם המוקדמת של הילדים היא הנכונה! הפיסיקה יודעת לתאר באופן ברור וחד משמעי את המיקום והאוריינטציה של הדמות במראה המישורית (ביחס לעצם). לגבי עצמים ממשיים ומראה מישורית אין יצירת דמות בלי פעולת הראייה. אך הראייה מושפעת לא רק ע"י מהלך האור. אופטיקאי המבצע בדיקת ראייה משתמש במראה המישורית כדי להאריך את המרחק בין הנבדק לספרות אותן יש לזהות. מעצבי-פנים וקוסמים משתמשים במראה המישורית כאמצעי ליצירת אשליה של מרחב. אנשים ונשים מבצעים במיומנות רבה פעולות קוסמטיות (בחלקן מסוכנות) המודרכות על ידי התבוננות במראה. לעומת זאת יש פעולות (קשירת סרט למשל) שקשה לבצען תוך התבוננות במראה.

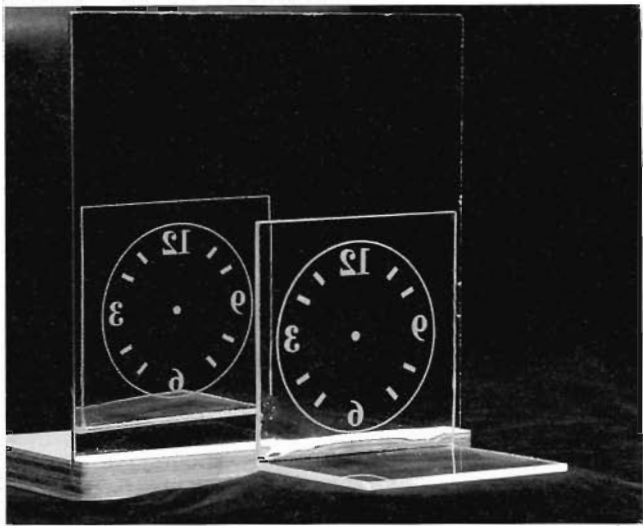
דברים אלה מעלים שאלות לגבי מאפיינים של ראיית הדמות במראה המישורית. במאמר זה אתייחס לשני הבטים של הדמות הנראית: כיווניות ועומק. תחילה אסקור לקט מאמרים המתייחסים לכיווניות של הדמות הנראית ביחס

לעצם, והמנסים להסביר את מקור האשלייה של היפוך ימין-שמאל המתקבלת במראה, ולאחר מכן אתייחס ל"עומק" הדמות הנראית ולבסוף אתאר תופעה שבה ההכרה כופה את עצמה על הראייה - בניגוד ברור לחוקי האופטיקה.

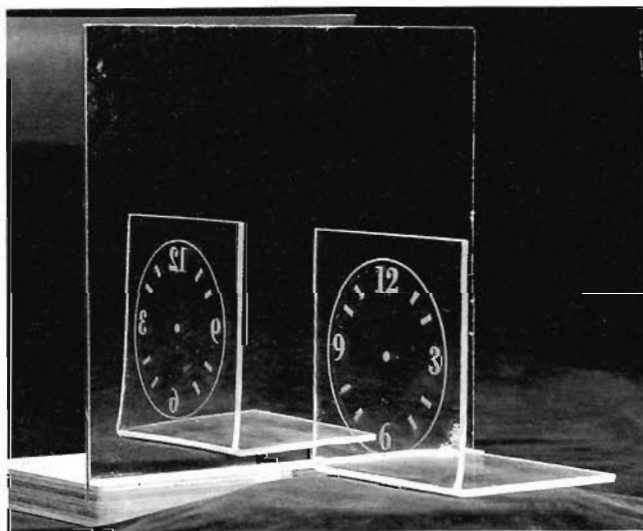
סקירת מאמרים

מה, אם בכלל, הופכת המראה המישורית?

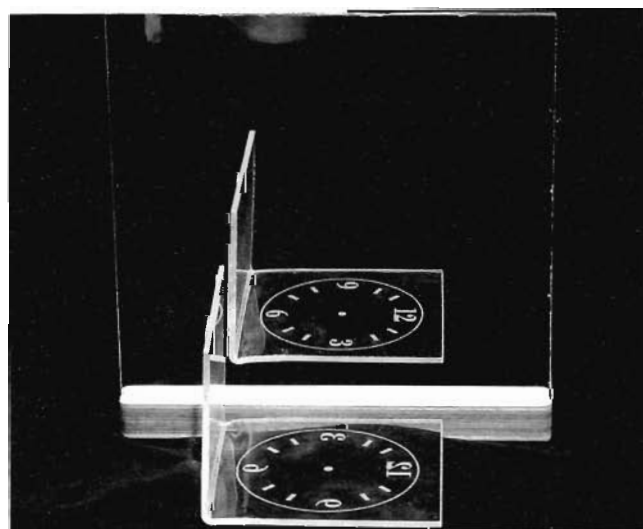
שלושת המאמרים הראשונים בלקט (1, 2, 3) עוסקים בחידה שבה נתקל כל הלומד אופטיקה גיאומטרית והיא: "מדוע דמותך במראה מישורית הפוכה ימין-שמאל ולא מעלה-מטה?" כותבי המאמרים מציעים גישות שונות להתייחסות לחידה זאת. אחת הגישות המוזכרת במאמרים (1, 3), מדגישה את האופן בו אנו רגילים לראות אנשים אחרים במפגש פנים-מול-פנים. מאמר 3 מגדיר עבור כל שני עצמים, שניתן להגדיר להם חזית וגב, את "**המפגש החזיתי האב-טיפוסי**". לדוגמה, עבור שני אנשים מפגש כזה יתקיים כאשר החזית של האחד מופנית מול החזית של האחר, פניו של האחד ימצאו מול פניו של האחר, והרגליים של האחד ימצאו מול רגליו של האחר. במפגש חזיתי אב-טיפוסי כזה הצד הימני של האחד נמצא מול הצד השמאלי של האחר ולהיפך. המפגש שלנו עם דמותנו במראה נתפס כמפגש עם אדם אחר ומובייל לציפיות של מפגש חזיתי אב-



א



ב



ג

תרשים 1: א. מישור השעון אנכי ומקביל לפני המראה.
 ב. מישור השעון אנכי וניצב לפני המראה.
 ג. מישור השעון אופקי וניצב לפני המראה.

טיפוסי. כאשר ציפיה זאת אינה ממומשת, אנו "מסבירים" את הסתירה על ידי הטלת האחריות ל"היפוך" על המראה. אילו המפגש האב-טיפוסי בעולמנו היה כמו מפגש בין כפות הידים לא היתה הדמות במראה נראית מהופכת כלל! מאמר 2 טוען כי למעשה עבור צופה המביט במראה לא השתנו הכיוונים ימין-שמאל כשם שלא השתנו הכיוונים מעלה-מטה! פתרון הפאראדוקס נעוץ לדעת המחבר בהסרת הבלבול בין קביעת כיוונית (orientation) לבין קביעת ימין-שמאל (handedness). ניתן להדגים עובדה זאת תוך השוואת פני שעון לדמותם במראה. המחבר משתמש בפני שעון שספרותיו כתובות על גבי חומר שקוף. הספרות משמשות לקביעת כיוונים במישור המראה על ידי קווים דמיוניים ממרכז המראה לעבר הקפו. מערכת ייחוס זאת מספקת אמצעי לאבחנה העדינה בין הכיוונית של גוף לבין קביעת ימין-שמאל שלו כפי שנראה בדוגמאות הבאות. תחילה מפנה הצופה את פני השעון אל המראה באופן שהוא יכול לראות הן את העצם (מציאו האחורי) והן את דמותו (תרשים 1 א').

ניתן לראות כי אף אחד מהכיוונים "אל 3", "אל 6", "אל 9" ו-"אל 12" לא השתנה, וכן ניתן לראות כי מגמת ההתקדמות של הספרות גם היא לא השתנתה. אך אם פני השעון יהיו ניצבים למישור המראה תהיה לאותה טרנספורמציה תוצאה שונה (תרשים 1 ב', ג'). אם מישור פני השעון ניצב למראה כבתרשים 1 ב', אכן יחול שינוי בציר ימין-שמאל. הכיוון "אל 3" במציאות יהפוך לכיוון "אל 9" בדמות, ואילו אם מישור פני השעון ניצב למראה כבתרשים 1 ג' יחול שינוי בכיוונית מעלה-מטה - הכיוון "אל 6" במציאות יהפוך לכיוון "אל 12" בדמות. כלומר, שינוי הכיוונית חל בציר הניצב למישור המראה.

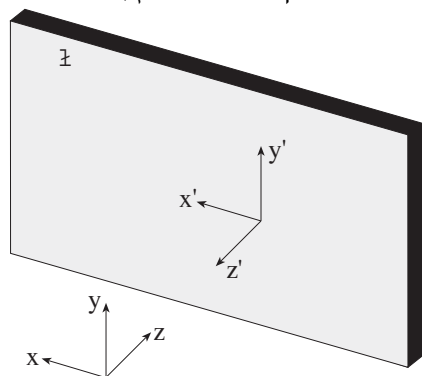
מאמר 1 מציין הסבר נוסף לתחושה שהמראה המישורית הופכת ימין-שמאל, ההסבר מבוסס על כך שרבות מהתנועות שאנשים מבצעים כוללות מרכיב של סיבוב סביב ציר האנכי לכדור הארץ ומשום כך אנו משווים את הדמות הנראית לנו במראה המישורית לתוצאה של סיבוב עצמו סביב ציר אנכי כזה. מאמר 3 מציין שאין די בהסבר זה שכן גם אם נסובב את גופנו סביב ציר אופקי באופן שנשכב בניצב למישור המראה עדיין תראה הדמות כאילו ימין ושמאל התהפכו בה ביחס לעצמנו.

נקודה נוספת עליה חלוקים המאמרים 1 ו-3 היא שאלת הסימטריה הדו-צדדית של גוף האדם ותרומתה לתחושת היפוך ימין-שמאל על ידי המראה המישורית. מאמר 3 טוען, בניגוד למאמר 1, כי דוקא הסימטריה (בקירוב) של גוף

שמחליטים, שגב היצור כלפי התלמידים ושהוא עונד את הצמיד על יד ימין. עתה מעמידים את השקף מול מראה. מכיוון שנראה לנו שהצמיד נמצא על יד שמאל של דמות היצור (אך ידוע שהצמיד לא עבר מיד ליד) סימן שאנו מסתכלים על החזית שלו. מכאן **שהמראה הופכת פנים-אחור**. מה אם כן הקשר בין היפוך פנים-אחור, אותו אכן מבצעת המראה, לבין היפוך ימין-שמאל אותו **נדמה לנו** שהיא מבצעת? התשובה שנותנים המחברים היא זאת: הבה נתבונן באצבעות יד ימין ונדמיין לעצמנו כיצד היתה נראית יד זאת אילו עברה היפוך פנים-אחור (כלומר הצד של היצורן היה עובר אחורה, וכרית האצבע היתה עוברת קדימה). מה שהיה מתקבל כתוצאה מהיפוך זה מתאים ליד שמאלית!

מאמר 5 פורסם בשנת 1993 וכותרתו "המרות ימין-שמאל במראה מישורית". מאמר זה מנסה להגדיר פורמליזם להשוואת מצב העצם למצב דמותו הן בתנאים סטטיים והן בתנאי סיבוב.

השוואת המצב הסטטי של העצם ודמותו מיוצגת על ידי ההשוואה בין מערכת צירים ימנית לבין דמותה במראה מישורית (הצירים x, y מקבילים למישור המראה ואילו ציר z ניצב למישור המראה, כפי שרואים בתרשים 3). מתברר כי עבור הצופה, הצירים המקבילים למישור המראה שומרים על הכיוונית המקורית, ואילו הציר הניצב למישור המראה הופך כיוון. יחס הסדר הקיים בין חפצים הנמצאים במישור המקביל למישור המראה מתקיים גם בין דמויותיהם. אמנם, לפעמים נדמה לצופה שבמצאיות נקודה A של חפץ מסויים היא משמאל לנקודה B של החפץ ואילו בדמותו לכאורה התהפך המצב. אם נעקוב אחרי המדווח על בעיה זאת נגלה שאו שהוא הפנה את החפץ אל מול המראה או שהוא הפנה את עצמו מהחפץ כדי להביט במראה (זה עשוי לקרות כאשר הצופה נמצא בין המראה לחפץ).

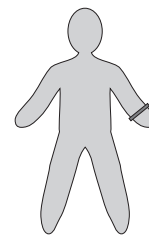


תרשים 3: השתקפות מערכת צירים במראה מישורית

האדם צפויה היתה לטשטש את תחושת ההיפוך. בהמשך המאמר נשוב לסוגיה זאת ונראה כיצד העדר סימטריה דו-צדדית מלאה עוזרת בפתרון חידת המראה.

השאלה "מדוע דמותך במראה מישורית הפוכה ימין-שמאל ולא מעלה-מטה?" מנוסחת באופן הניתן להתפרש כאילו אין עוררין על הטענה כי המראה המישורית אכן מבצעת היפוך ימין שמאל. למעשה אין המראה המישורית הופכת ימין-שמאל וגם לא מעלה-מטה! בשני המאמרים הבאים בלקט (5, 4) מוצעת למורה סדרת הדגמות כדי להמיר את השקפת התלמידים ש"היפוך הדמות הוא הטבע של מראה מישורית" בהבנה עמוקה יותר של התופעה. בהדגמה הראשונה מציגים לפני התלמידים מילה הכתובה על שקף שאליו צמוד דף אטום. שואלים את התלמידים מה הם מצפים לראות אם יפנו את הכתוב אל עבר מראה מישורית. לאחר מכן מבצעים את הפעולה ומתקיימת התאמה בין ניבוי התלמידים לבין התופעה הנצפית כלומר: המראה אכן "הופכת" את הכתוב! עתה מפנים את הכתוב אל התלמידים ומסירים את הדף האטום. כעת יכולים התלמידים לראות בו זמנית את הכתוב ואת הדמות והנה אינם הפוכים. לבסוף מסובבים את השקף אל המראה ואז שוב רואים התלמידים כי קיימת התאמה בין הכתוב על השקף לבין דמותו. לסיכום, התלמידים אמורים להבין ש"האשמה" בהיפוך מוטלת על מי שסובב את הכתוב מול המראה ולא במראה עצמה.

עתה ניגשים המחברים לתקוף את התחושה שהמראה יוצרת היפוך ימין-שמאל. כאשר אנו מרימים יד ימין מול מראה נראה לנו שדמותנו מרימה יד שמאל. כיצד מבצעת המראה דבר זה אם אינה מבצעת היפוך ימין-שמאל? שוב מציעים המחברים לשרטט יצור סכמטי על שקף ולענוד לו "צמיד" על אחת הידיים (תרשים 2).



תרשים 2: "ייצור" דו-ממדי עם צמיד על יד אחת, המשמש להדגמות הנוגעות לתכונות של דמות במראה מישורית

מציגים את השקף לפני התלמידים ושואלים אותם על איזו יד נמצא הצמיד. תשובות התלמידים תלויות בשאלה איזה צד של היצור פונה אליהם, החזית או הגב? מחליטים ביחד מהו הצד הפונה לצופים ולפיכך על איזו יד נמצא הצמיד. נניח

הדוגמאות מתארת מה קורה כאשר הופכים פנים-חוץ בכפפת גומי המיועדת ליד ימין. התוצאה היא כפפה המיועדת ליד שמאל. דוגמא נוספת מתארת מסכת גומי של פני אדם. אם נהפוך את המסכה (כלומר שקעים לבלטות ולהפך), נקבל את דמות פני האדם במראה מישורית. לבסוף מטפלים המחברים בשאלה באיזו מידה יכול אדם להתייחס לדמותו במראה כאילו תאומו הזהה עומד מולו. התשובה הניתנת היא שלילית ונעוצה באסימטריה של המבנה הפנימי של הגוף סביב ציר האורך. בעוד שאצל האדם העומד מול המראה, הלב נמצא בצד שמאל של הגוף, ימצא "הלב" בצד ימין של דמות הגוף. (הערה: לגבי רוב האנשים קיימות אסימטריה חיצונית כגון שומה או צלקת, וגם אלה ימצאו בצד הנגדי אצל הדמות. ד.ל.)

יישום העקרונות של היווצרות דמויות במראה

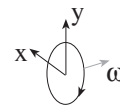
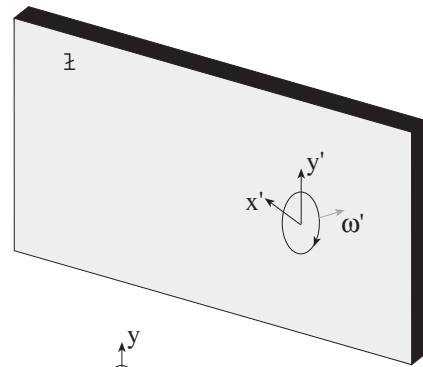
כתב מראה - פעילות יישומית

ידוע שלאונרדו דה וינצ'י חשב להצפין את רעיונותיו החדשניים על ידי כך שרשם אותן בכתב מראה. איך יוצרים כתב מראה ואיך צריך להחזיק את המראה כדי לפענח אותו? ניח שברצונך להצפין את המשפט "המצאתי הליקופטר". איזו מהפעולות הבאות, עליך לעשות?

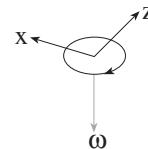
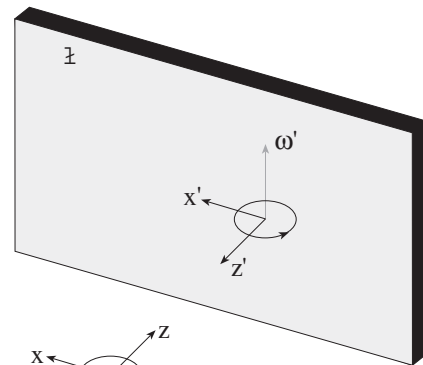
1. להשאיר את האותיות באותו סדר מימין לשמאל ולכתוב כל אות במהופך סביב ציר הניצב לשורה.
2. להשאיר את צורת האותיות כפי שהיא ורק לכתוב אותן משמאל לימין.
3. להשאיר את האותיות באותו סדר מימין לשמאל ולכתוב כל אות במהופך סביב ציר המקביל לשורה.
4. לכתוב את האותיות בסדר הפוך משמאל לימין ולכתוב כל אות במהופך סביב ציר הניצב לשורה.
5. לכתוב את האותיות בסדר הפוך משמאל לימין ולכתוב כל אות במהופך סביב ציר המקביל לשורה.
6. פעולה אחרת. פרט _____.

התשובה תלויה גם באופן בו מתכוונים להחזיק את המראה בזמן הפיענוח. צורת הצפנה תהיה שימושית רק אם נוכל להתאים לה מצב של החזקת המראה לקבלת פיענוח קריא.

המאמר מטפל במצבי סיבוב של העצם במישור הניצב למישור המראה ובמישור המקביל למישור המראה. המחברים מציעים לתאר את מגמת הסיבוב באמצעות הפסאודו-ווקטור (pseudo-vector) של המהירות הזוויתית, ω . כיוון ω מוגדר כמגמת ההתקדמות של בורג ימני בזמן סיבובו (תרשים 4). כפי שנראה בתרשים 4', משמרת המראה המישורית את הכיוון של ω עבור סיבוב במישור המקביל למישור המראה. לעומת זאת השיקוף של סיבוב במישור הניצב למישור המראה גורם להיפוך בכיוון של ω (תרשים 4'ב'). המחברים ממליצים להעדיף את השימוש בכיוון של ω לתיאור מגמת הסיבוב על התיאור "עם/נגד מגמת מחוגי השעון", כי ברור שהכיוון של ω אינו תלוי במיקום הצופה ביחס לגוף המסתובב.



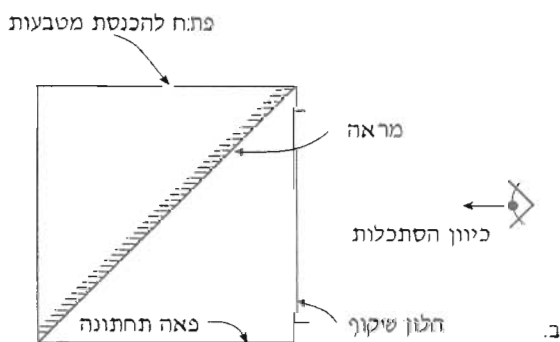
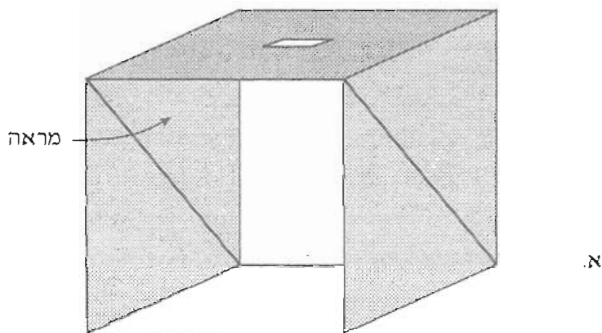
תרשים 4': השתקפות עצם דו-ממדי המסתובב במישור המקביל למישור המראה



תרשים 4'ב': השתקפות עצם דו-ממדי המסתובב במישור הניצב למישור המראה

המאמר מציג מספר המחשות מעוררות מחשבה ודמיון לגבי נושא היפוך פנים-אחור שיוצרת המראה המישורית. אחת

העוסק בביצוע מעשי קסם למטרות לימודיות (6) וכותרתו "אשליות בעזרת מראות מישוריות" פורסם בשנת 1987. המחברים, שעסקו בהוראת האופטיקה לאוכלוסייה כללית, ממליצים להגביר את הענין בקרב הלומדים על ידי תכנון פעילויות מבדרות המנצלות את תכונותן של מראות מישוריות ליצור דמויות "בתוך המראה". מבין הדוגמאות המגוונות המוזכרות במאמר נתאר בפירוט רק דוגמא אחת: **קוביה שחפצים המוכנסים לתוכה נעלמים!** אפקט זה מושג על ידי מראה מישורית הממוקמת בזווית של 45° לאורך אלכסון התיבה (תרשים 6). מכניסים מטבעות אל התיבה דרך חריץ בפיאה העליונה. המתבונן דרך חלון שקוף (המהווה את הפאה הקדמית) רואה חלל קוביה ריק. אשליה זאת נוצרת משום שהמראה האלכסונית משקפת את הפאה התחתונה באופן שהיא נראית למתבונן כאילו היא גם הדופן האחורית. ציפוי דפנות התיבה בבד קטיפה כהה מסתיר את חיבורי המראה לרצפת התיבה ומגביר את האשליה.



תרשים 6:

א. שרטוט תלת ממדי של "תיבת הקסמים"
 ב. חתך צד של הקוביה

מי מלפני ומי מאחורי? – חומר למחשבה

האם נתקלתם אי פעם באדם החושב שהדמות של עצם שהוא רואה במראה היא מאחוריו? האם דבר כזה יתכן בכלל? כאשר הנהג מתבונן במראה הפנימית ורואה את

אפשר להחזיק את המראה כך שמישור המראה.

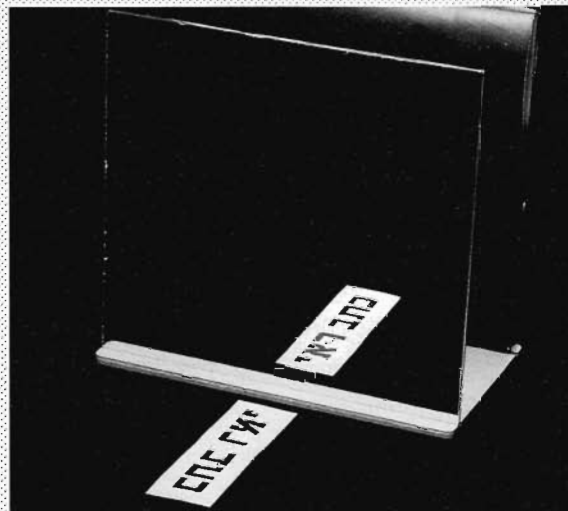
1. מקביל למישור הדף

2. ניצב למישור הדף ולכיוון השורה.

3. ניצב למישור הדף ומקביל לשורה.

4. פעולה אחרת. פרט _____

נסו למצוא את צורות ההצפנה השימושיות. אילו מבין הצורות מאפשרת קריאה שוטפת גם עם מראה די קטנה?



תרשים 5:

"עומק הדמות" – מבוא לקסמים

ניתוח פיסיקלי של מהלך האור היוצא מעצם נקודתי והמוחזר ממראה מישורית מוכיח כי תחושת הראיה האמורה להתרחש כתוצאה מפגיעת האור המוחזר בעין, זהה לזו שהיתה מתרחשת אילו היה העצם מוצב "מאחורי המראה" בנקודה הנמצאת על האנך המורד מהעצם למראה, וברוחק השווה לרוחק העצם מהמראה.

מחקרים רבים מדווחים על כך שאנשים הנשאלים לגבי מיקום הדמות אומרים שהדמות הניבטת אליהם מן המראה המישורית היא על פני המראה, בניגוד למסקנה הפיסיקלית שתארנו קודם. מורי הפיסיקה המציאו כל מיני פטנטים שמטרתם לשכנע את התלמידים שהדמות היא בעומק המראה (אפילו אם המראה תלויה על קיר!). שיטות אלה כוללות יצירת התלכדות בין עצם ממשי לדמות המדומה, מיקוד מצלמה לצילום הדמות, והשינוי בשדה הראיה עם שינוי נקודת התצפית. מעניין שתכונה זאת של המראה מנצלת על ידי קוסמים ללא כל התלבטות פדגוגית. מאמר

מהתופעות הללו ולאתר את המקורות לפיענוחן. אחד ההסברים לתופעה שבבואתו של אדם "ימני" נראית לו "שמאלית" הוא בתחום תרבות החיים האנושיים. המפגש האב-טיפוסי בין פרטים בני התרבות הזאת, הוא המפגש החזיתי שבו היד המוגדרת ימנית אצל אחד הפרטים נמצאת מול היד המוגדרת שמאלית אצל האחר. הסבר אחר נעוץ בעובדה הפיסיקלית שהמראה המישורית אכן מבצעת היפוך בציר הניצב למישור המראה. היפוך כזה המתבצע על "יד ימין" גורם לה להראות כ"יד שמאל" ממש כפי שכפפה ימנית המהופכת פנים-חוץ הופכת לכפפת יד שמאל. ומה באשר לכתב ההפוך? כאן אין מימד עומק (כאשר השורה הכתובה מקבילה למראה) והיפוך פנים-אחור אינו משפיע. כאן מתברר שהיפוך הכתב מתבצע על ידי מי שסובב את הכתוב כלפי המראה!

בעיית תפישת עומק הדמות במראה מלווה אותנו מילדות. התחושה הטבעית כשאנו מתבוננים בדמותנו במראה היא שיש עולם שלם מאחורי המראה. אולי חוסר האפשרות להימצאותו האמיתית של מישו מאחורי מראה הצמודה לקיר, או האכזבה של הילד מחיפושיו גורמת לאנשים לענות לשאלה "היכן הדמות?" בתשובה שהדמות היא על פני המראה. אבל כאשר אין שואלים שאלות אלא מציגים לפני האנשים מצב נתון שבו גם אינם מודעים לקיומה של מראה, חוזרת תחושת העומק לפעול - דבר המנוצל היטב על ידי קוסמים.

אנשים משתמשים במראה בחיי יום ויום ומבצעים פעילויות רבות תוך התבוננות במראה. המראה מאפשרת לנו לראות מה קורה מאחורינו, ובתור שכזאת היא מנוצלת בנהיגה. העובדה המוזרה היא שלמרות שמבחינה אופטית הדמות שיוצרת מראת הנהג היא מלפנינו התחושה היא שהדמות מאחור. הידיעה על המצב האמיתי של העצמים בכביש כופה את עצמה על המסר האופטי המגיע לעיניים ולמוח.

ולבסוף אציע חומר נוסף למחשבה: יש דברים שקשה מאד לבצע בזמן התבוננות במראה. מי שביקר בתערוכה "על הפנים" שהתקיימה במשך החדשים האחרונים במוזיאון המדע על שם בלומפילד בירושלים ודאי זוכר את הקושי בסרטוט קו לפי תרשים נתון תוך התבוננות בדמות התרשים בלבד. לעומת זאת יש פעולות שאנחנו מבצעים היטב מול המראה כמו גילוח, סירוק השיער ואיפור הפנים. מענין האם המוח מדריך את "הידיים" שבמראה לפעול על "הראש" במראה, או את הידיים (בשר ודם) על הראש האמיתי?

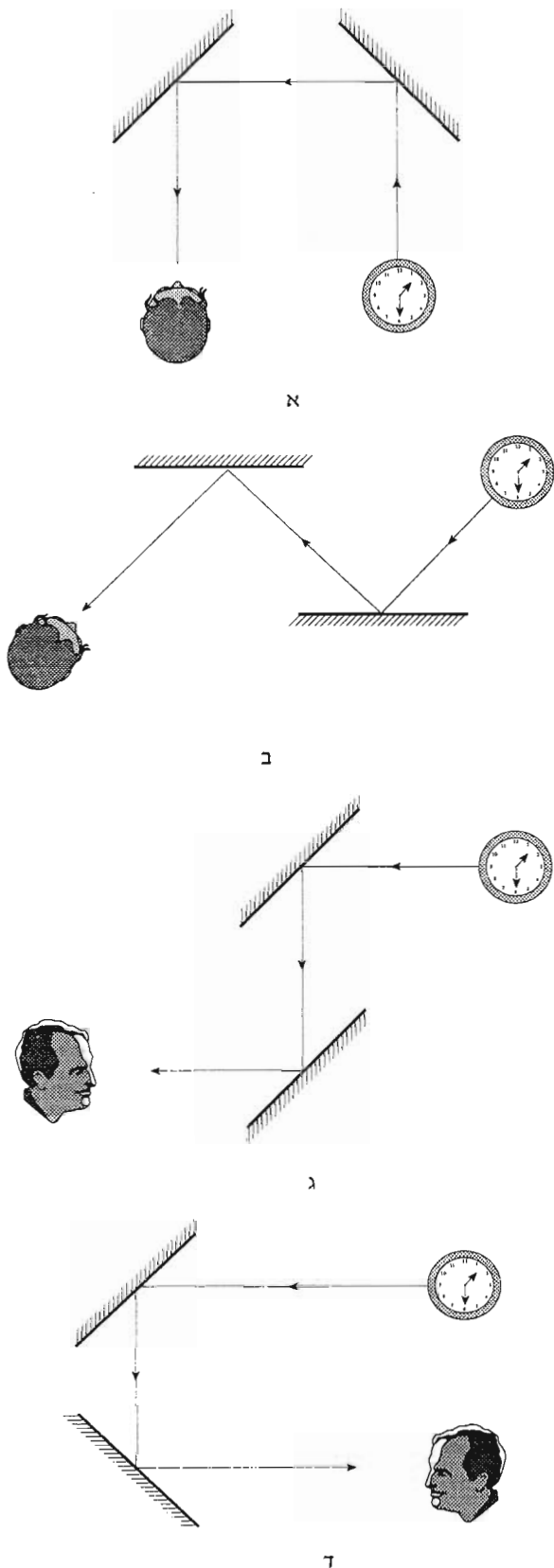
דמות המכניית הנמצאת מאחוריו - היכן נראית לו דמות זאת? מבחינה אופטית טהורה הדמות (כלומר נקודת ההתלכדות של אלומות האור המגיעות לעיני הנהג) היא מלפניו, דמות חזית המכניית מול פניו והיא מתקדמת לקראתו. אבל למרבה הפלא המחזה הזה אינו מלווה בתגובת פחד והנהג אינו נוקט פעולות למנוע התנגשות חזיתית! היכולת של הנהג להשליך את המסר האופטי לאחור הוא שאלת חיים ומוות על הכביש. יתכן שמישהו יטען שתופעה זאת קשורה לכך שהמראה הפנימית היא מראה קמורה והיא יוצרת דמות מוקטנת, אבל התופעה הזאת של השלכת תמונה אחורה מתרחשת בכל פעם שאנחנו מתבוננים דרך מראה על עצמים שאנחנו **יוזעים** שהם מאחורינו. נסו ותיווכחו. שבו ליד מראה באופן שלא תוכלו לראות את דמותכם והתבוננו בדמויות של חפצים שהם מאחוריכם בחדר. תחושו שדמויות העצמים הן מאחוריכם למרות שמבחינה אופטית טהורה העין קולטת מידע על "עצם מלפנים". לעומת זאת, אם תתבוננו בדמות של עצמים הנמצאים ביניכם לבין המראה (גם אם לא תראו אותם ישירות) תחושו שהם לפניכם. נראה שיש כאן הזדהות עם הדמות של עצמכם במראה (אפילו אם אינכם רואים אותה כרגע). מה שנמצא מאחורי הדמות שלכם הוא מאחוריכם ולהפך. לאחר שמגלים מודעות לתופעה הזאת, ניתן "להתגבר" עליה (אם מעוניינים בכך) על ידי התבוננות מכוונת בדמות שבמראה וניהול שיחה פנימית עם עצמכם: "אני יודע שהאור מגיע מלפני, סימן שמה שאני רואה גם הוא נמצא לפני". לאחר זמן מה של שכנוע עצמי כזה אכן רואים את הדמות כאילו היא עצם הנמצא מולכם.

סיכום

ראיה היא הכרה חושית. האור הנכנס לעין מעורר תאי עצב ומפעיל את תחושת הראיה במוח. אך פיענוח האותות במוח מעוגן בהרגלים תרבותיים וברמזים חושיים נוספים. מאמר זה עסק באיפיון תכונות הראיה של הדמות הנוצרת על ידי מראה מישורית. במאמר זה התייחסנו לשאלת האוריינטציה של הדמות הנראית ולשאלת העומק שבו נראית הדמות. כאשר צופה אנושי עומד מול מראה אנכית ומתבונן בדמותו הוא עשוי לטעון שהיד הימנית שלו הפכה ליד השמאלית של בבואתו. כאשר מפנים דף מודפס אל עבר המראה ומתבוננים בדמות, נראה כי המראה הפכה את השורה כולה ואת כל אחת מהאותיות בניגוד לכיוון כתיבתן הרגיל. המאמרים שסקרנו מנסים לספק הסבר לכל אחת

הערת המערכת:
חסר בשאלה הסבר לגבי כיוון השעון. השעון מכוון תמיד כך שפניו ניצבים לכיוון ההסתכלות (החץ המופיע בציור).

1. Ford K. (1975) Why is your image in a plane mirror inverted left-to-right but not top-to-bottom? *Physics Teacher*, 13, 228
2. Thomas D.E. (1980) Mirror Images, *Scientific American* 243(14), 206
3. Navon D. (1987) Why do we blame the mirror for reversing left and right? *Cognition* 27, 275
4. Galili I., Goldberg F. and Bendall S. (1991) Some Reflections on Plane Mirrors and Images. *Physics Teacher*, 29, 471
5. Galili I. and Goldberg F. (1993) Left-Right Conversions in a Plane Mirror. *Physics Teacher*, 31, 463
6. Ruiz M.J. and Robinson T.I. (1987) Illusions with Plane Mirrors. *Physics Teacher*, 25, 206



תרשים 7

הערת המערכת: בארצות רבות (בחוץ לארץ) נהוג לכתוב את המילה "אמבולנס" (בשפה המתאימה) בכתב מראה על מסכה המנוע של אמבולנס. נהג שמאחוריו נוסעת מכונית האמבולנס רואה אז במראה הקדמית שלו את המילה בצורתה הנכונה. תרשים 7 הוא תצלום של אמבולנס צעצוע עליו הדבקנו את הכתובת, "אמבולנס" ודמותה המשתקפת בראי.

אנו מביאים כאן שאלה שניתנה בשלב ג' של האולימפיאדה הארצית בפסיקה בשנת תשנ"ד. שאלה זו מתאימה מאוד לדיון שהובא במאמר: "דמויות במראה - אופטיקה, ראייה והכרה" מאת דורותי לנגלי המופיע בחוברת זו בעמוד 51. פתרון הבעיה יופיע בחוברת הבאה.

שאלה:
התרשימים הבאים מראים צופה המתבונן על שעון בעזרת שתי מראות מישוריות. בתרשימים א' ובי ראש הצופה מוצג מלמעלה, ואילו בתרשימים ג' ודי מציגים את הצדודית (פרופיל) שלו. מהי המערכת בעזרתה הצופה לא יוכל לראות את השעון בצורה רגילה?