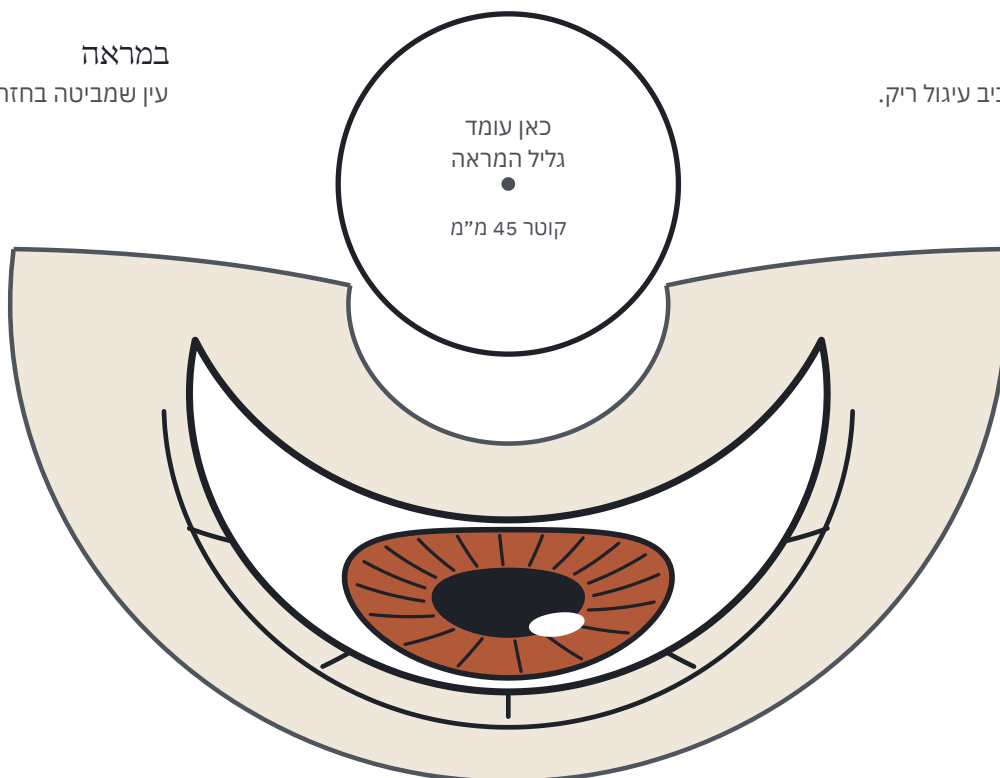


תלוי בנקודת המבט

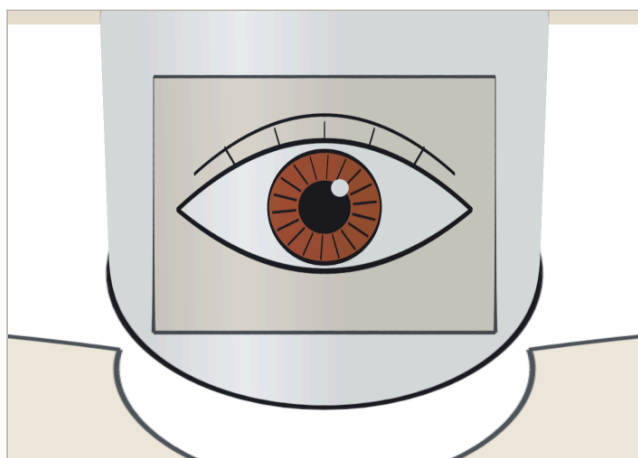
חוברת היכרות עם ציור אנמורפי: אמנות, אור ומתמטיקה
לחטיבת הביניים, כיתות ז' עד ט'

במראה
עין שמביטה בחזרה, ישרה ושלמה.

על הדף
צורה מתוחה והפוכה סביב עיגול ריק.



הצופים יושבים בצד הזה



הדמיה ממוחשבת של ההשתקפות

הכריכה הזו עובדת

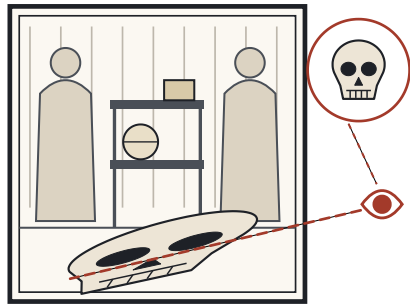
מעמידים על העיגול גליל מראה בקוטר 45 מ"מ, ומסתכלים מהצד התחתון של הדף, קצת מלמעלה. את הגליל בונים בעמוד 5. כדאי להדפיס בגודל בפועל, 100%.

בחוברת

- 2 מבט
- 3 האור
- 4 הרשת
- 5 גליל מראה
- 6 הדג
- 7 אתגר
- 8 לחשוב רחוק יותר

האם מה שאנחנו רואים הוא מה שנמצא שם?

העין לא מצלמת את העולם כמו שהוא. היא קולטת אור שמגיע אליה מכיוונים שונים, והמוח מרכיב מזה תמונה. כשמשינים את נקודת המבט, אותו דבר יכול להיראות אחרת לגמרי. ציור אנמורפי מנצל את זה: הוא מעוות בכוונה, ונראה נכון רק ממקום מסוים או דרך מראה.

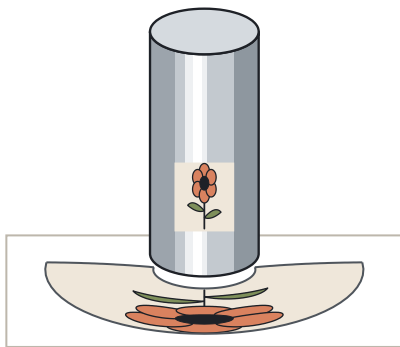


גולגולת בין רגלי השגרירים

הנס הולביין הצעיר, "השגרירים", 1533

ציור שמן גדול, בערך שני מטרים על שני מטרים, שתלוי היום בגלריה הלאומית בלונדון. בתחתית הציור, בין רגליהם של שני האנשים, מרחפת צורה בהירה ומוארכת. מי שעומד מול הציור רואה כתם מוזר. מי שעומד קרוב לקיר, מצד ימין של הציור, ומסתכל לאורכו, רואה גולגולת. בציור של אותה תקופה גולגולת שימשה תזכורת לכך שהחיים חולפים.

איור 1 שרטוט עקרוני: הגולגולת מתוחה לאורך קו אחד, והמבט מהצד מכווץ אותה בחזרה.

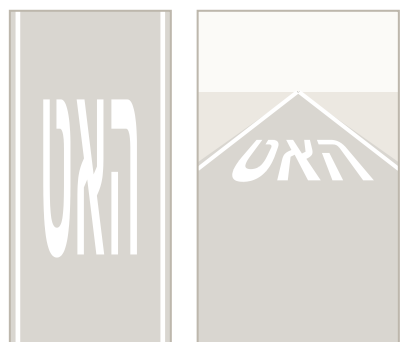


ציור שמתיישר במראה

אירופה, המאות ה־17 וה־18

ציורים שנראים כמו קשת מעוותת סביב עיגול היו פופולריים מאוד באירופה במאות האלה. מעמידים במרכז גליל מראה, ובתוכו מופיעה תמונה רגילה. בסביבות שנת 1630 פרסם מתמטיקאי צרפתי מדריך מדויק לבניית ציורים כאלה, ובמאה ה־18 הם הפכו לשעשוע נפוץ, ואפילו לצעצוע לילדים.

איור 2 שרטוט עקרוני: פרח מתוח על השולחן, ופרח רגיל בתוך גליל המראה. הקשת חושבה במחשב.



איור 3 משמאל הכיתוב מלמעלה, ומימין אותו כיתוב בפרספקטיבה של נהג. שרטוט עקרוני.

על המדרכה ועל הכביש

היום

אמני רחוב מציירים בגיר על המדרכה בור, מפל או גרם מדרגות שנראים תלת־ממדיים, אבל רק מנקודה אחת. מכל מקום אחר רואים צורות מתוחות ומשונות. אותו עיקרון עובד בכביש: כיתוב שצובעים על האספלט מתוח לאורך הנתיב. מהמדרכה האותיות נראות ארוכות ודקות, והנהג, שרואה אותן בזווית נמוכה, קורא אותן כרגילות. מחקרים על סימון כבישים מצאו שאת הכיתוב המוארך מזהים ממרחק גדול יותר.

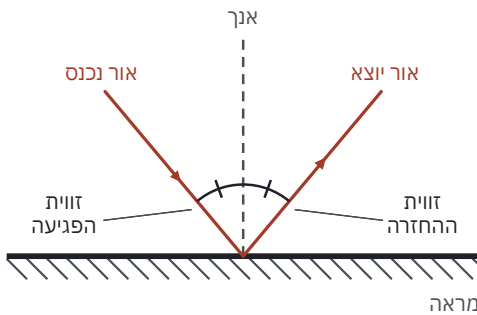
מה משותף לשלושתם? בכל אחת מהדוגמאות יש תמונה, ויש מקום אחד שממנו היא נראית נכון. האמן מחשב מראש איפה יעמוד הצופה, ומעוות את התמונה כך שהעין שלו תתקן אותה.

איך זה עובד? הדרך של האור

אנחנו רואים משהו כשאור יוצא ממנו ומגיע לעין. במראה, האור יוצא מהציור, פוגע במראה, מוחזר ממנה ורק אז מגיע אלינו. המוח לא יודע שהייתה פנייה בדרך. הוא מניח שהאור הגיע בקו ישר, ולכן נדמה לנו שהתמונה נמצאת בתוך המראה.

חוק ההחזרה

קרן אור שפוגעת במראה חוזרת ממנה באותה זווית שבה הגיעה. את שתי הזוויות מודדים מהאנך, הקו שעומד על המראה בזווית ישרה בנקודת הפגיעה. זווית הפגיעה שווה לזווית ההחזרה, בכל מראה ובכל צבע של אור.

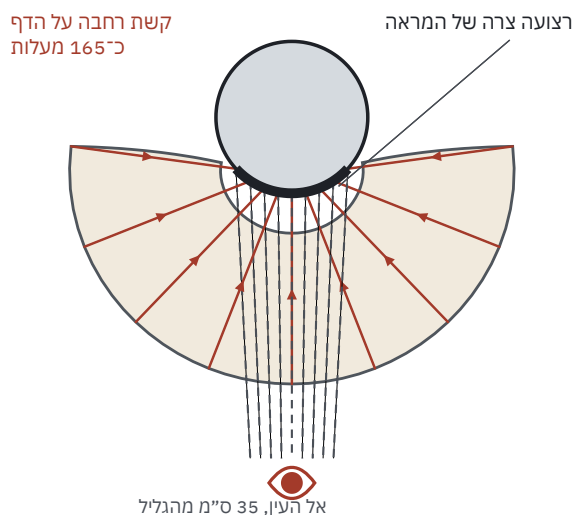


איור 4 מראה ישרה: שתי הזוויות שוות.

מראה עגולה דוחסת

בגליל, האנך משנה כיוון מנקודה לנקודה. במרכז הצד שפונה אלינו הוא מכיוון ישר אלינו, וככל שמתקרבים לשוליים הוא נוטה הצידה. כשהאנך נוטה מעט, הקרן המוחזרת מסתובבת פי שניים. כך רצועה צרה של מראה אוספת אור מקשת רחבה של הדף.

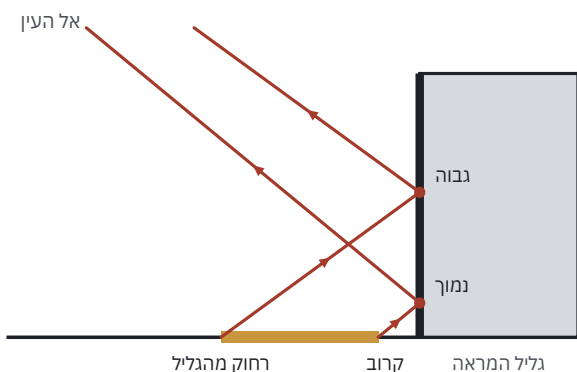
בגליל של החוברת, כל התמונה במראה תופסת מהעין פחות מ-5 מעלות לרוחב. על הדף אותה תמונה פרושה על קשת של כ-165 מעלות. המראה דוחסת את הקשת לתמונה צרה, ולכן את הציור על הדף מותחים מראש.



איור 5 מבט מלמעלה, בפרופורציות אמיתיות. הקווים האדומים הם אור מהשוליים החיצוניים של הציור, והקווים המקווקווים ממשיכים אל העין.

למה הציור הפוך על הדף?

הגליל עומד ישר, ולכן האנך שלו אופקי. קרן שיורדת מהעין אל המראה ממשיכה לרדת גם אחרי ההחזרה, באותו שיפוע. קרן שפוגעת גבוה במראה נוחתת רחוק מהגליל, וקרן שפוגעת נמוך נוחתת קרוב אליו. לכן החלק העליון של התמונה מצויר בשוליים החיצוניים של הקשת, הקרובים לצופים, והחלק התחתון צמוד לגליל. ימין ושמאל לא מתחלפים.



איור 6 מבט מהצד, בפרופורציות אמיתיות. הפס הצהוב הוא הציור על הדף.

נסו בעצמכם: גליל מראה

המראה היא גליל קרטון עטוף בחומר מבריק. ככל שהעטיפה חלקה יותר, ההשתקפות חדה יותר.

שלבים

חומרים

- 1 מעמידים את הגליל על עיגול הבדיקה. אם הוא מכסה אותו בדיוק, הקוטר מתאים.
- 2 גוזרים את התבנית לאורך הקו המקווקו, מעתיקים אותה אל הגב של בריסטול הכסף, וגוזרים רצועה.
- 3 עוטפים את הגליל כשהצד המבריק בחוץ. כדאי למתוח היטב: כל קמט במראה יופיע כעיוות בתמונה.
- 4 מדביקים את התפר בסלוטייפ, בצד שלא פונה אל הצופים. עם נייר אלומיניום ההשתקפות פחות חדה, אבל זה עובד. מחליקים אותו בעדינות באצבע, בלי לקמט.



למה הקוטר חשוב

הקשתות בחוברת חושבו לגליל בקוטר 45 מ"מ. עם גליל עבה או דק יותר התמונה תצא מעוותת מעט, וזה דווקא ניסוי טוב: מה בדיוק משתנה?

תבנית לרצועת המראה

לגליל בקוטר 45 מ"מ

אורך 15.1 ס"מ: ההיקף ועוד חפיפה של 1 ס"מ

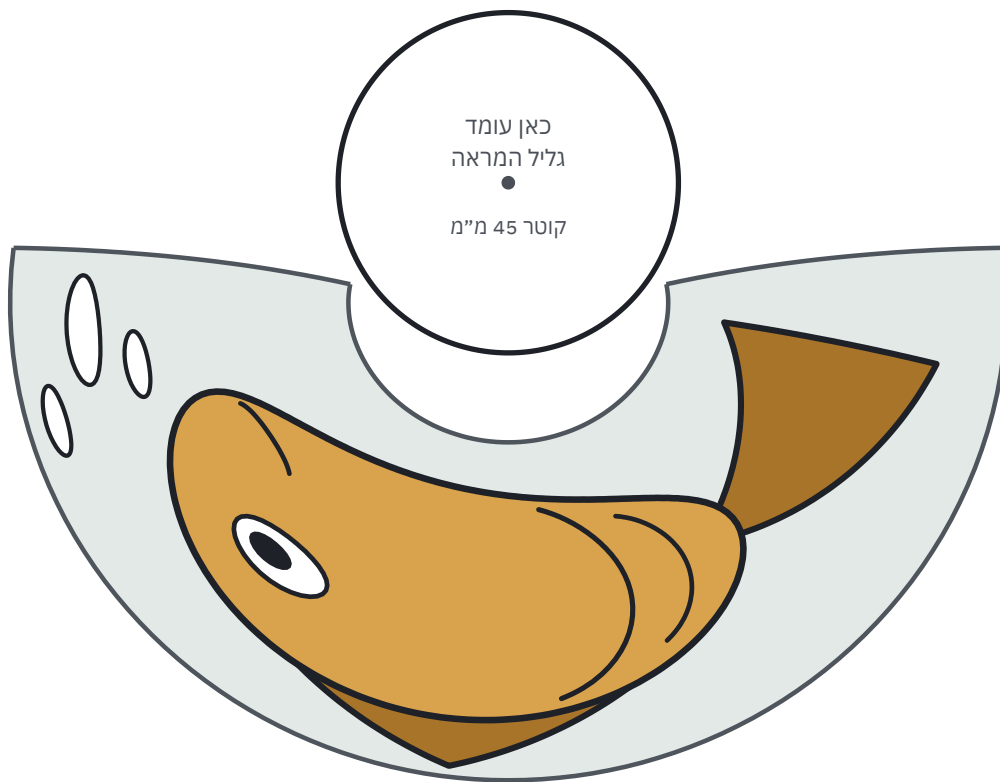
גובה 10 ס"מ, או הגובה של הגליל שלכם



סרגל בדיקה

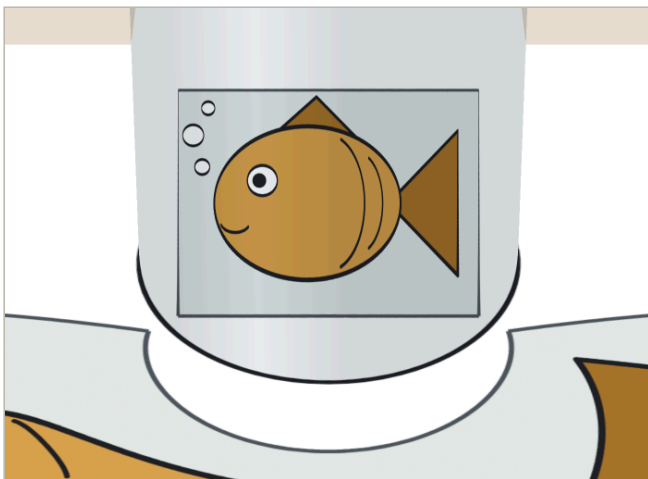
אחרי ההדפסה מודדים: הקו צריך להיות באורך 10 ס"מ בדיוק. להדפיס ב-100%, לא "התאמה לדף".





הדג שמתיישר

מעמידים את גליל המראה על העיגול, ומסתכלים אל הגליל מהצד התחתון של הדף.



מה רואים בגליל
הדמיה ממוחשבת של ההשתקפות

איך מסתכלים

יושבים מול הקשת ומסתכלים אל הגליל מלפנים וקצת מלמעלה, בערך 35 ס"מ מהגליל ו-28 ס"מ מעל השולחן. אין נקודה אחת מדויקת: כמה אנשים יכולים להסתכל יחד, בשתי העיניים.

בודקים ומתעדים

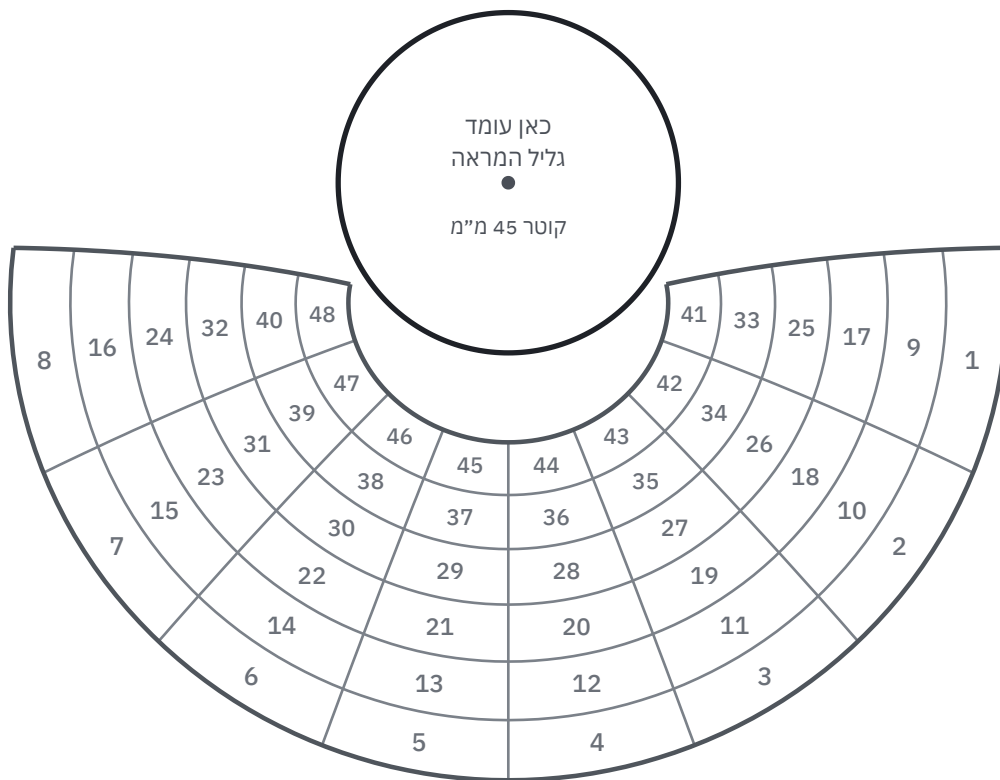
- 1 לפני שמעמידים את הגליל: איפה הראש של הדג על הדף, ואיפה הזנב? מה למעלה ומה למטה?
- 2 מעמידים את הגליל ומסתכלים. מה התהפך, ומה נשאר במקומו?
- 3 מזיזים את הראש ימינה ושמאלה, למעלה ולמטה. מתי הדג מתעוות?
- 4 מסובבים לאט את הדף סביב הגליל. מה קורה לדג במראה?



סרגל בדיקה: 10 ס"מ בדיוק. להדפיס ב-100%.

הצופים יושבים בצד הזה





אחרי ההעתקה אפשר לגזור לאורך הקו, ולהשאיר ליד הגליל רק את הקשת.

אתגר: ציור משלכם

איך מעבירים

- 1 מציירים בעיפרון על הרשת הריבועית.
- 2 מעבירים משבצת אחר משבצת: מה שעובר במשבצת 12 ברשת הריבועית, עובר במשבצת 12 גם בקשת.
- 3 בודקים במראה תוך כדי עבודה, לא רק בסוף.

טיפים

- מתחילים בצורות פשוטות ונועזות: אות גדולה, לב, חץ, פרצוף.
- מסמנים קודם את הנקודות שבהן קו חוצה קו של משבצת, ורק אחר כך מחברים אותן.
- המספרים כבר מודפסים. כדאי לסמן בנקודה כל משבצת שהועברה.
- שטח צבוע נראה במראה טוב יותר מקו דק.
- זוכרים: מה שלמעלה בציור נמצא בשוליים החיצוניים של הקשת.

8	7	6	5	4	3	2	1
16	15	14	13	12	11	10	9
24	23	22	21	20	19	18	17
32	31	30	29	28	27	26	25
40	39	38	37	36	35	34	33
48	47	46	45	44	43	42	41



סרגל בדיקה: 10 ס"מ בדיוק. להדפיס ב-100%.

הצופים יושבים בצד הזה





עוד דפים ומתנות
בעמוד הפייסבוק שלנו

לחשוב רחוק יותר

שאלות לשיחה בכיתה או לכתיבה. אין להן תשובה אחת נכונה.

- 1 מתי שינוי בנקודת המבט שינה את הדרך שבה הבנתם משהו? זה יכול להיות מראה, ויכוח או סיפור.
- 2 אמנים ומהנדסי תנועה משתמשים באותו עיקרון. מה המטרה של כל אחד מהם, ולמה בכביש חשוב כל כך שהכיתוב ייקרא מהר?
- 3 בגליל המראה אפשר להסתכל מכמה מקומות, ובציור של הולביין רק ממקום אחד. מה ההבדל בין שתי השיטות?
- 4 המשבצות החיצוניות בקשת גדולות מהפנימיות. איך מסבירים את זה בעזרת חוק ההחזרה?
- 5 מה יקרה אם נעמיד במרכז גליל עבה יותר? נסו לנחש, ואז בדקו.
- 6 המוח מתקן כל הזמן את מה שהעין קולטת: מסילת רכבת נראית לנו מקבילה גם כשבתמונה היא נפגשת באופק. איפה עוד המוח מתקן בשבילנו, ומתי התיקון מטעה אותו?

להמשך החקירה

- מחפשים כיתוב על כביש או על רצפה בשכונה, ומצלמים אותו מהמדרכה: פעם מגובה העיניים ופעם מגובה נמוך מאוד. מה משתנה?
- מנסים מראות אחרות: כף מבריקה, פחית או בקבוק. איך הצורה של המראה משנה את העיוות?
- מי שמכירים תוכנת גאומטריה או גיליון אלקטרוני יכולים לשרטט רשת קוטבית בעצמם: זווית קבועה לכל עמודה, ומרחק קבוע לכל שורה.

לצוות

קשרים לתחומי דעת

מדע: אור, חוק ההחזרה, מראות קמורות.
מתמטיקה: מערכות צירים, טרנספורמציות, יחס וקנה מידה.
אמנות: פרספקטיבה, אנמורפוזת בתולדות האמנות, אמנות רחוב.

זמן

שיעור כפול, כ־90 דקות. אפשר לפצל: שיעור לרקע, לגליל ולדג, ושיעור לאתגר.

מה מדפיסים

עמודים 5 עד 7 לכל תלמיד או זוג, בגודל בפועל, 100%. את שאר העמודים אפשר להקריין.

חומרים לכיתה

גליל קרטון בקוטר 45 מ"מ לכל זוג, בריסטול כסף מראה או נייר אלומיניום, מספרים, סלטייפ, עפרונות וצבעים.

מה שונה מהערכה לכיתות ג' עד ו'

שם הדגש על היצירה ועל ההפתעה. כאן מוסיפים את ההסבר: חוק ההחזרה, מערכת צירים קוטבית, דוגמאות מתולדות האמנות ושאלות שמזמינות דיון.

ערכה קשורה, חנימית: הציור שקם מהדף לכיתות ג' עד ו'

<https://hut-mahshava.pages.dev/mara/>

העובדות בחוברת נבדקו מול הגלריה הלאומית בלונדון, מוזיאון גלילאו בפירנצה, ארכיון החברה המלכותית ומחקר על סימון כבישים.