

כיצד אנו רואים צבעים?

Alex R. Wade and Alex V. Benjamin

המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת יורק, יורק, בריטניה

סוקרים צעירים

SACHA
גיל: 14



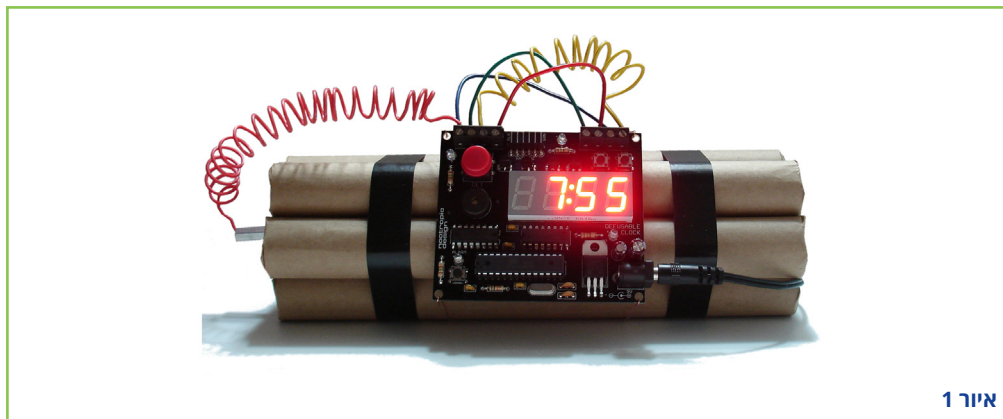
פצצה מתקתקת: גיבורת הסרט רוכנת מעל פצצה מתקתקת. מתחת לאורות הלבנים הבוהקים של משרד ראש העיר קוצב הזמן של הפצצה סופר לאחור ויורד לכיוון ה-0, ויש לה הזדמנות אחת בלבד לנטרל אותו. כשהיא מסירה את הכיסוי מעל ללוח הבקרה, קופץ החוצה סבך ספגטי של חוטים צבעוניים, אבל היא נותרת רגועה. "פשוט תחתי את החוט האדום" היא חושבת לעצמה, בעודה עוברת בזהירות על החוטים השונים. "לא ירוק, לא כחול – כן. הנה!" כשנותרות כמה שניות אחרונות בלבד, היא מוצאת את החוט הנכון וחוטכת אותו. הספירה לאחור מפסיקה שנייה אחת לפני הפיצוץ, והעירייה ניצלת.

עבור מה משמשים צבעים?

אף על פי שאבותינו הקדמונים ככל הנראה השתמשו לראשונה בראיית צבעים כדי למצוא פירות על עצים, היא עדיין רלוונטית גם עבורנו. למרות שרובנו אף פעם לא נצטרך לנטרל פצצה (איור 1), צבעים משמשים לשליחה של מגוון רחב של הודעות חשובות בעולם המודרני. רמזורים הופכים מירוק לאדום כדי להורות לנו לעצור (איור 2), אורות אזהרה בלוח המחוגנים של המכונית הופכים לכתומים, ואור נורת ה־LED (במטען הפלאפון שלי מהבהב בירוק ומודיע לי שאני יכול לשחק שוב ב-Angry birds. צבע זה גם דבר יפה – חשבו כמה זמן אנו מבליים בהתפעלות מגווני הצבע שמופיעים בשקיעה, באומנות ובנופים, ועד כמה מופעי זיקוקים היו נראים פחות מרשימים בשחור-לבן. אם כן, איך בדיוק נוצרת תחושה של צבע?

איור 1

כאשר מנטרלים פצצה, חייבים להיות מסוגלים לראות את צבעי החוטים לפני שמחליטים איזה מהם לחתוך. [התמונה היא של שעון מעורר, לקוחה באישור מהאתר: <http://nootropicdesign.com>.]

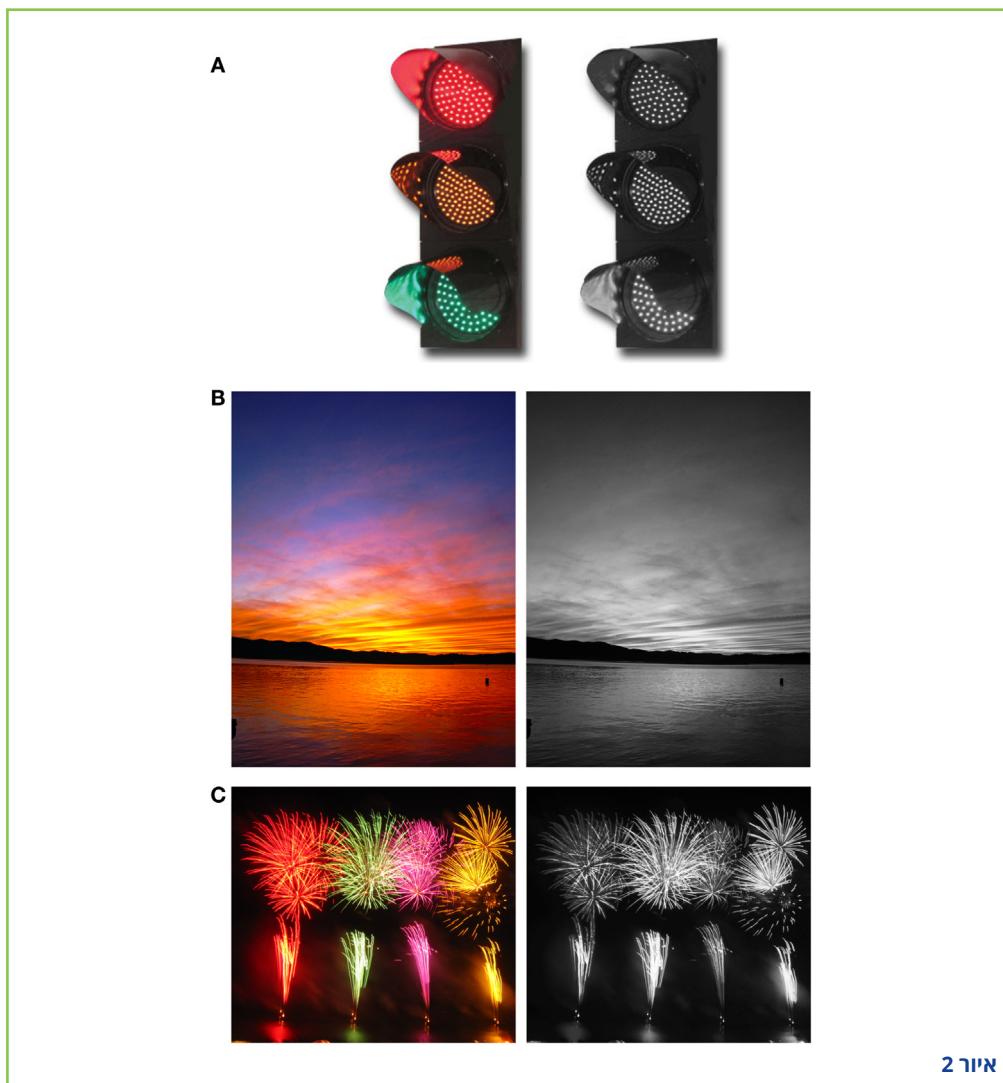


איור 1

איור 2

פריטים צבעוניים.

A. רמזורים. B. שעת דמדומים בקניסנה, דרום אפריקה (Knysna, South Africa). אפשר לראות את ההפרדה בין הצבעים הכתומים שמגיעים מהשמש שמתחת לאופק לכיוון הצופה ובין הרכיבים הכחולים שמתפרים מהשמיים שסביב. C. זיקוקים מפסטיבל זיקוקי הנהר ה-352 בנהר צ'יקוגו, יפן (Chikugo, Japan). תמונה A.2. ניתנת לצפייה ב: http://en.wikipedia.org/wiki/File:LED_Traffic_Light.jpg. העבודה הזו שוחררה על-ידי היוצר שלה, Syafiqshahalam, כחלק מפרויקט ויקיפדיה באנגלית. תמונה B.2. ניתנת לצפייה ב: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Knysnasunset.jpg>. התמונה באדיבות Gerald Browne. קובץ זה מאושר תחת הרישיון Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license. תמונה C.2. ניתנת לצפייה ב: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:ColorfulFireworks.png>. התמונה באדיבות 久留米市民 (Kurume-Shimin).



איור 2

מדע הצבעים מלא בהפתעות, והראשונה שבהן היא שראיית צבעים היא תהליך שמתרחש בתוך המוח שלכם. האותות שגורמים לראיית צבעים מגיעים מהעיניים שלכם, אבל זה המוח שלכם אשר מפרש אותם ומאפשר לכם לראות את התות כאדום ואת השמיים ככחולים. העיניים שלכם יוצרות את הקוד של הצבע, אבל כפי שנראה למטה האותות המקודדים האלה מתפרשים כצבעים רק אחרי ש"קליפת המוח הראייתית" (Visual Cortex, החלק במוח

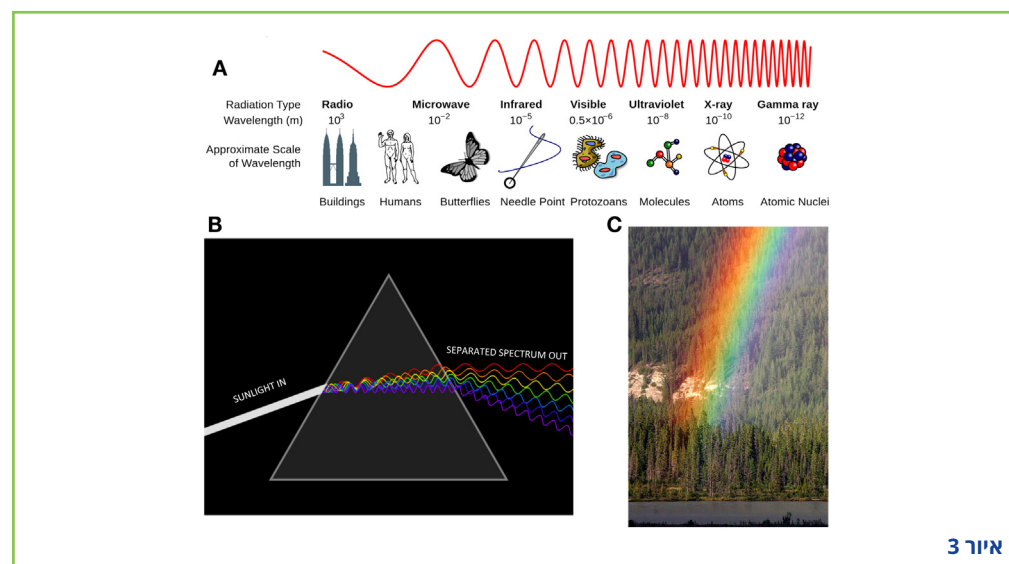
שלכם שנמצא באחורי הראש ועוסק בראייה) מפענחת אותם. הרבה חלקים שונים של קליפת המוח הראייתית צריכים לעבוד יחד כדי שתוכלו לראות צבעים בצורה תקינה, והם נושא שלם בפני עצמו למאמר אחר.

אולם הדבר הכי מפתיע כנראה לגבי צבעים הוא זה: אף על פי שאתם יכולים לראות מיליוני צבעים שונים (כל צבעי הקשת וכן כל ערבוב אפשרי שלהם), יש לכם שלושה סוגים בלבד של קולטני צבע בעיניים. הקולטנים האלה הם סוגים מיוחדים של תאים שנקראים "מדוכים" ("חרוטים" בתרגום ישיר, מאחר שהם נראים כמו חרוטים קטנים כשמסתכלים עליהם במיקרוסקופ), ולכל סוג של תא מדוך (חרוט) יש העדפה לסוג מסוים של אור (כלומר לצבע אחר – אדום, ירוק או כחול). כיצד שלושת סוגי התאים האלה בלבד יכולים לאפשר לכם לקלוט את כל הצבעים שאתם רואים סביב? כדי לענות על השאלה הזו אנו צריכים קודם לכן להבין מעט על המדע שעומד מאחורי האור.

מדע האור

האור שאתם מסוגלים לראות מהווה רק חלק קטן ממה שגודל יותר שנקרא הספקטרום האלקטרומגנטי (ראו איור 3), אשר כולל את קרני הרנטגן (המשמשות לראות שברים בעצמות בבתי חולים), קרני גמא (בהן השתמשו בקומיקס "Hulk", "הענק הירוק" בעברית, כדי להפוך בן אדם בשם Bruce Banner לענק הירוק), גלי מיקרו (בהם משתמשים כשמחממים פופקורן), גלי רדיו (אותם הגלים שמאפשרים לנו לבצע שיחות בפלאפון) וקרני אולטרה-סגולה (אשר תגרום לכם לכוויות שמש אם לא תשתמשו בקרם הגנה בימים שמשיים).

איור 3



איור 3

אפשר לחשוב על כל חלקי הספקטרום האלקטרומגנטי בתור מערכים של גלים שונים במרחב. המרחק בין שני גלים עוקבים נקרא אורך גל. לגלי רדיו יש אורך גל בערך בגודל של מגרש פוטבול, ולגלי מיקרו יש אורך גל בערך בגודל של נמלה, וזו הסיבה שלפעמים נמלים מצליחות לשרוד בתוך מיקרוגל (אבל בבקשה מכם, אל תנסו את זה בבית!). גלי אור נראה הם

A. הספקטרום האלקטרי
רומגנטי. נתנו שמות שונים לאורכי גל בגדלים שונים, אבל כולם שייכים למעשה לאותו סוג של אנרגיה (קרינה אלקטרומגנטית). **B. פריזמה** שמפרידה אור לבן לאורכי הגל השונים שמרכיבים אותו. **C. קשת בענן** נוצרת כאשר טיפות גשם מפרידות את האור לאורכי גל שונים (כמו שעושה הפריזמה בתמונה B.3).
 תמונה A.3. נית
http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum
 תמונה B.3. ניתנת לצפייה
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Light_dispersion_conceptual_waves.gif
 תמונה C.3. ניתנת לצפייה ב:
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:WhereRainbowRises.jpg>

קטנים אפילו יותר מחיידקים. מרבית מקורות האור שסביבכם מפיצים גלים בעלי מגוון אורכי גל שונים. דוגמה טובה לכך היא אור השמש, אשר מורכב מתערובת של פחות או יותר כל אורכי הגל שאתם מסוגלים לראות. אנו קוראים לתערובת הזו בשם "ספקטרום", ואם תעבירו ספקטרום מסוים בתוך חתיכת זכוכית מיוחדת שנקראת "פריזמה", הספקטרום יתפצל לאורכי הגל השונים, שאותם אתם יכולים להקרין על חתיכת נייר. אם תעשו זאת אתם תראו שלכל חלק בספקטרום יש צבע משלו, והאוסף של כל החלקים נראה כמו קשת בענן. אורכי גל קצרים נראים כחלחלים, אורכי גל ארוכים נראים אדמדמים. קשתות בענן בשמיים נוצרות באותה הדרך, פרט לעובדה שהטבע משתמש בטיפות מים כדי לבצע את הפיצול, במקום בפריזמת זכוכית.

בואו נחזור לראיית צבעים ולדוגמה מהחיים האמיתיים. דמיינו שאתם בחוץ במטע תפוחים בצהרי יום חם ובהיר. כיצד אתם יודעים אם הפרי שאתם עומדים לאכול הוא בָּשֵׁל?

האור שמגיע מהשמש פוגע בתפוח ומוחזר מהתפוח אל העיניים שלכם. תפוחים בָּשֵׁלִים מכילים כימיקל מיוחד בקליפה שלהם, וכשאור השמש פוגע בו אותו הכימיקל בולע חלק מהספקטרום של האור. אולם הוא אינו בולע את כל אורכי הגל באותה המידה – אורכי הגל הקצרים נחסמים, אבל רוב אורכי הגל הארוכים אינם נבלעים, והם מוחזרים ישירות לכיוונכם. במילים אחרות, ההחזרה גורמת לספקטרום של האור להשתנות, וכעת הוא מכיל בתוכו הרבה פחות אורכי גל קצרים.

ככל שתפוח יותר בָּשֵׁל כך הוא מכיל כמות גדולה יותר של הכימיקל "בולע הצבעים" הזה, ואז גדלה מידת הבליעה של אורכי גל קצרים שהוא מְבַצֵע. על-ידי כך שהוא מחזיר אלינו רק חלק מספקטרום השמש, התפוח שולח אלינו הודעה מקודדת: "אני טעים מאוד ומוכן לאכילה"¹.

קידוד של צבעים

כדי להבין את ההודעה הזו איננו צריכים לדעת בדיוק כיצד נראה ספקטרום האור המוחזר. אנו רק צריכים לדעת שהוא כולל בתוכו הרבה אורכי גל ארוכים ומעט אורכי גל קצרים. זו הנקודה שבה תאי המדוכים שלנו נכנסים לתמונה.

תאי המדוכים יושבים באחורי העין, והאור מגיע אליהם דרך החור השחור שבמרכז העין שלכם, אשר נקרא "אישון". ידעתם שזה חור, נכון? כל אחד משלושת סוגי המדוכים מעוֹרָר (כלומר מגיב כתוצאה מבליעת אור) על-ידי חלק אחר של ספקטרום האור, במילים אחרות, על-ידי קבוצה אחרת של אורכי גל. מאחר שלמדענים של מערכת הראייה אין דמיון מפותח במיוחד, אנו קוראים לתאי המדוכים שרגישים לאורכי גל ארוכים בשם "מדוכי L" (L-long, ארוך באנגלית), למדוכים שרגישים לאורכי גל קצרים בשם "מדוכי S" (S-short, קצר באנגלית), ולמדוכים שרגישים לאורכי גל בינוניים בשם "מדוכי M" (M-medium, בינוני באנגלית). כאשר גלי האור שמוחזרים מהתפוח פוגעים באחורי העין שלכם, מדוכי ה-L מעוררים במידה רבה מאחר שהספקטרום שלהם כולל הרבה אורכי גל ארוכים. מדוכי ה-M מעוררים במידה מועטה מאחר שישנם רק מעט אורכי גל בינוניים, אבל מדוכי ה-S אינם מעוררים כמעט כלל מאחר שהספקטרום כמעט ואינו מכיל אורכי גל קצרים – קליפת התפוח בלעה אותם. כל תא מדוך שולח הודעה למוח שלכם ואומר לו בדיוק באיזו מידה הוא מעוֹרָר.

¹ אתם ודאי חושבים שאנו מנצלים לרעה את התפוחים בכך שאנו מְפָרֵים אותם כך שיהיו אדומים כשהם בשלים, כדי שנוכל לאכול אותם ביתר קלות. אולם למעשה התפוחים רוצים להיאכל! זו הדרך שבה עצים של תפוחי בר מפזרים את הזרעים שלהם. כך שהמצב הוא הפוך, והתפוחים הם אלה ששולטים בנו בעזרת הצבע שלהם. חשבו על כך בפעם הבאה שאתם אוכלים תפוח!

לכן, כאשר הקבוצה הגדולה הזו של מיליוני גלי אור שונים מוחזרת מהתפוח אל תוך העין שלכם ופוגעת במיליוני תאי המדוכים שבתוך העין, התאים מייצרים שלושה אותות בלבד בכל מיקום: גבוה, בינוני וחלש. עבור התפוח, אנו יכולים לדרג את עוצמת האותות האלה בתור 90% עבור הגלים ארוכים (L), 70% עבור הגלים הבינוניים (M) ו-5% עבור הגלים הקצרים (S). נְשָׁלֶשֶׁת המספרים הזו מספרת לנו משהו חשוב מאוד על הפרי: שהוא מחזיר הרבה גלי אור ארוכים ומעט גלי אור קצרים, ומשמעות הדבר היא שהוא בְּנֶשֶׁל.

זו, פחות או יותר, הצורה שבה צבע פועל בכל הדברים שאנו רואים. כל עצם מחזיר אור לתוך העיניים שלכם, והאור המוחזר הזה יוצר תגובה במדוכי ה-L, ה-M ו ה-S שלנו.

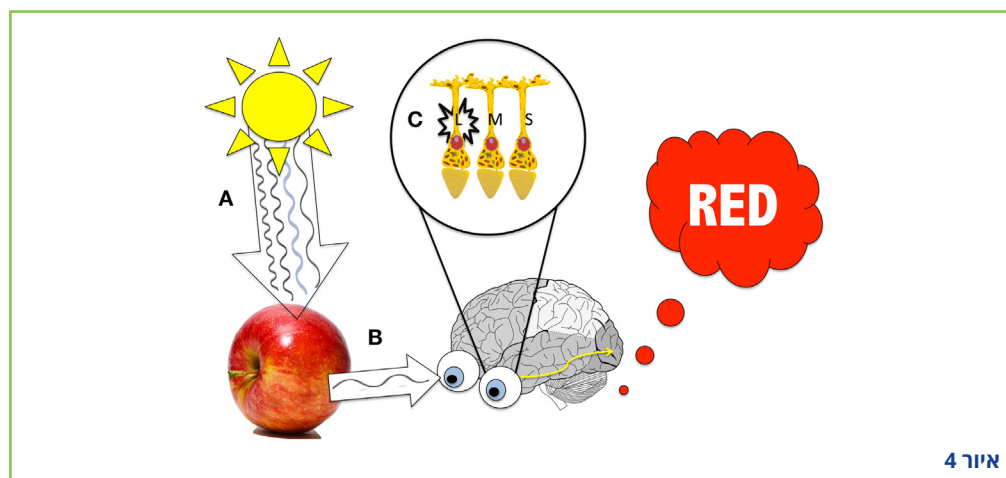
ישנם אלפים רבים של מדוכי L, M ו-S בעין שלכם, וכל אחד מהם שולח למוח שלכם הודעה מקודדת שמספרת לו כמה אורכי גל ארוכים, בינוניים וקצרים מוחזרים מעצמים שונים שאתם יכולים לראות. שלושת סוגי האותות האלה מספרים לכם ממה עשוי כל פריט - וְנְשָׁלֶשֶׁת המספרים הזו מקודדת את מה שאנו קוראים לו צבע.

האור הוא מקרה מיוחד מאחר שאנו רואים את הספקטרום שלו בלי שהוא מוחזר אלינו משום עצם, אבל גם במקרה של האור אותם רעיונות עדיין תקפים והצבע שלו הוא תוצר של עוצמות שונות של האותות שמתקבלים משלושת סוגי המדוכים.

ייתכן ששמתם לב לכך שניסינו לא להזכיר את המילה "צבע" כמעט עד לסוף ההסבר הזה. הרבה הסברים על אור, אפילו בספרי לימוד, מכילים הצהרות כמו "אורכי גל ארוכים הם אדומים". זה לא בדיוק נכון. כפי שאמר פעם הפיזיקאי הבריטי המפורסם, אייזיק ניוטון: "הקרניים אינן צבעוניות" ("The rays are not colored"). במקום זאת, צבע הוא הקוד שהעין שלכם מפיקה כאשר ספקטרום האור פוגע בה. הרעיון שצבע הוא רק בראש שלכם עשוי להישמע משונה בהתחלה, אבל חשבו על זה קצת כמו על כאב. לְלִבְנָה אין "כאב" - היא רק מייצרת כאב כאשר היא פוגעת באצבע שלכם. באותו האופן, לאור אין "צבע" אבל הוא יכול ליצור חוויה של צבע כשהוא פוגע בעין שלכם (ראו איור 4).

איור 4

ראיית צבע אדום. A. אור שמגיע מהשמש פוגע בתפוח. חלק מאורכי הגל נחסמים על-ידי הכימיקלים שנמצאים בקליפת התפוח. B. אורכי הגל המוחזרים עוברים דרך האישון ומעוררים את תאי המדוכים שבאחורי העין. C. המדוכים שולחים למוח הודעה מקודדת לגבי אורכי הגל שנכנסו לעין. בדוגמה הזו, מדוכי ה-L מוערים במידה רבה, מדוכי ה-M מוערים במידה מועטה ומדוכי ה-S כמעט ואינם מוערים כלל. המוח מתרגם את הקוד הזה לתחושה של "אדום".



איור 4

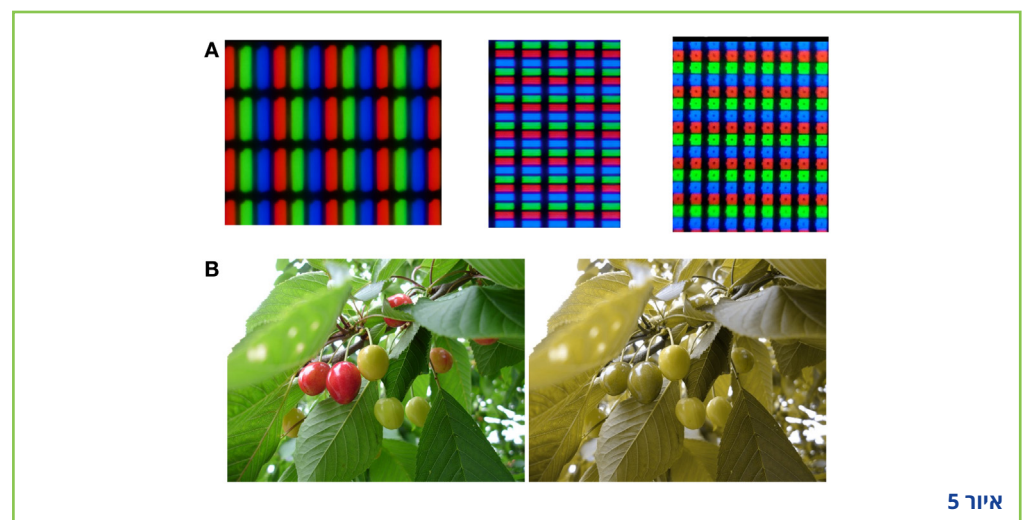
צבעים, משחקי וידיאו וטלפונים ניידים

כעת, ייתכן שאיתרתם בעיה במערכת הזו שתיארנו. היינו רוצים להשתמש בצבעים כדי להבחין בין דברים, אבל הדבר היחיד שאנו באמת יודעים על הצבע של עצם מסוים הוא הקוד של שְׁלֶשֶׁת המספרים שמוצג בתאי המדוכים שלכם. משמעות הדבר היא שכל שתי קרני אור שגורמות למדוכים שלכם להגיב באותו האופן ייראו לכם זהות לחלוטין, אפילו אם הן מכילות אורכי גל שונים. זה נכון, באופן תיאורטי, ויש כמה מקרים שבהם אתם תטעו בין שני עצמים שונים שנראים כאילו הם בעלי אותו הצבע. למרבה המזל, זה קורה לעיתים רחוקות יותר ממה שאתם עשויים לְשַׁעֵר – זו אינה בעיה גדולה. יתרה מזו, היכולת לחקות את הצבע של דבר אחד במציאות בעזרת קבוצה אחרת של אורכי גל, מתבררת כיעילה להפליא.

דמיינו שמדדתם את הספקטרום המדויק של תפוח עץ, ואתם רוצים להראות תמונה של אותו התפוח על-גבי מסך טלוויזיה. מסכי טלוויזיה בנויים מהרבה אורות קטנים המסודרים בתבנית שחוזרת על עצמה שוב ושוב. אם תיקחו זכוכית מגדלת ותסתכלו על מסך הטלוויזיה שלכם, או על כמעט כל מסך שתוכלו למצוא (כמו למשל המסך שככל הנראה נמצא מולכם ברגע זה), תוכלו לראות את האורות הקטנים שדיברנו עליהם. אולם לפני שתעשו זאת, נחשו כמה סוגים שונים של אורות אתם צריכים כדי להפיק במדויק את הצבע של תפוח עסיסי?

מספר קסם

התשובה היא שלושה, מאחר שכל מה שאתם צריכים לעשות זה "לרמות" את מדוכי ה-L, ה-M וה-S בעין שלכם כדי שגיבו באותה הצורה כמו שהיו מגיבים אם היו רואים תפוח אמיתי. זכרו, דבר לא משנה למוח שלכם מלבד הקוד של שְׁלֶשֶׁת המספרים שהוא מקבל ממדוכי ה-L, ה-M וה-S. כעת, לכו והביטו במסך שלכם דרך זכוכית מגדלת (או, לחלופין, הסתכלו על איור 5A) תראו שישנם שלושה סוגים בלבד של אורות בכל מסך וידיאו צבעוני: אחד שנראה אדום, אחד שנראה ירוק ואחד שנראה כחול.



איור 5

אם כן, קיומם של שלושה סוגי מדוכים בלבד בעין שלכם הוא יעיל מאוד. משמעות הדבר היא, ראשית, שאין צורך במערכת מסובכת כדי להעביר למוח שלכם מידע לגבי צבעים (מספיקים

איור 5

A. מערכי LCD (תצוגת

נביש נוזלי - Liquid

B. Crystal Display).

הדמיה של עיוורון צבעים.

A. תמונות מוגדלות של סוגים שונים של מסכי וידיאו (משמאל לימין: צג LCD, מסך של אייפון ומסך של נינטנדו DS). כל מסך מורכב ממאות אלפי נקודות שפולטות אור באורכי גל ארוכים, בינוניים וקצרים. B. דובדבנים נעשים אדומים כאשר הם מבשילים, בדיוק כמו תפוחים. למישהו עם ראיית צבע תקינה קל לראות את הדובדבנים הבשלים לים שבעץ. אנשים עם עיוורון צבעים אינם רואים כל כך טוב את ההבדל בין אדום לירוק, ולכן הרבה יותר קשה להם לקטוף את הפירות הבשלים. כיום אנו יכולים להשתמש במחשבים כדי ליצור הדמיות של סוגים שונים של עיוורון צבעים, ואפילו לשנות תמונות באופן כזה שיהיו ברורות יותר לאנשים עם עיוורון צבעים. התמונה היא הדמיה של עיוורון צברים באדיבות Julie Kertesz, והיא ניתנת לצפייה ב: www.vischeck.com

שלושה אותות בלבד מכל מיקום). שנית, זה אומר שצריך רק שלושה אורות בכל נקודה במסך וידיאו כדי להפיק כל צבע בעולם. זו עדיין בעיה קשה – לדחוס שלושה אורות קטנים לכל נקודה במסך שלכם, ולקח למהנדסים זמן רב לייצר מסכי טלוויזיה צבעוניים אחרי שהם ייצרו מכשירים עם תצוגת שחור-לבן. אולם כיום ישנם מסכים כל כך טובים שהצבעים המוצגים בהם נראים אמיתיים, ולכן אתם אף פעם לא חושבים על הנקודות הקטנות שמרכיבות כל פיקסל במסך. אילו היו לכם סוגי מדוכים נוספים בעין (כמו שיש לחלק מהציפורים וגם לחסילונים, המוכרים גם כשרימפסים), זה היה כמעט בלתי אפשרי ליצור תמונת טלוויזיה באיכות טובה, והמכשירים הסלולריים שלכם או קונסולת המשחקים הניידת שברשותכם היו גדולים במידה מרגיזה.

ציפורים, דבורים וחסילונים

למרבית האנשים (ולחלק מהקופים) יש שלושה סוגים של תאי מדוכים, כפי שתיארנו למעלה. אולם למספר לא מועט של אנשים יש רק שני מדוכים, ומשמעות הדבר היא שראיית הצבע שלהם היא מעט שונה. העובדה שיש למישהו שני סוגים מדוכים בלבד אינה מעידה על כך שהוא רואה רק שחור ולבן. בדרך כלל, זה פשוט אומר שיש לו קושי להבדיל בין אדום לירוק, מה שעשוי להפוך חלק מהמשימות המורכבות יותר (למשל בחירת פרי, קישוט הסלון בבית ונטרול פצצות). אף על פי שאנשים עם שני מדוכים בלבד (שהם כמעט תמיד זכרים) יכולים עדיין לראות צבעים רבים, אנו קוראים לתסמונת הזו "עיוורון צבעים".

באותו האופן, חתולים וכלבים עשויים גם הם להיות עיוורי צבעים – יש להם שני סוגי מדוכים בעין בלבד, ולכן גם להם עשוי להיות קושי בהבחנה בין אדום לירוק. איור 5B. מראה איך העולם היה נראה אם היו לכם רק שני סוגי מדוכים. כמובן שאם אתם עיוורי צבעים שתי התמונות באיור 5B. ייראו לכם דומות מאוד.

בנקודה זו אתם עשויים להרגיש די שבעי רצון ביודעכם שראיית הצבעים שלכם היא טובה יותר מזו של כלב. אולם לאחרונה התגלה כי לאנשים נדירים מאוד יש ארבעה סוגים של מדוכים. האנשים האלה (שכולן נשים – מצטערים, בחורים!) נקראים "טטרכרומטיים" (Tetrachromats, טטרא מלשון ארבע, וכרומטי מלשון קשור לצבע), ואנו מאמינים שהם יכולים לראות טווח שלם נוסף של צבעים שמרבית האנשים אינם מסוגלים לראות. זה דבר שלרובנו קשה לדמיין – כמו שעיוור צבעים מנסה לדמיין את ההבדל שבין אדום לירוק. מעניין לנסות לחשוב איצד העולם עשוי להיראות עבור האנשים האלה, כי למרות שאנו יכולים לחקור את הראייה שלהם בצורה מדעית, עדיין איננו יכולים לחוות אותה ישירות.

הנשים האלה אינן היחידות שראויות טוב יותר מכם! לחלק מהציפורים יש ארבעה מדוכים, וחסילון המנטיס (Mantis shrimp, ראו איור 6) המדהים נחשב לחיה בעלת יכולת ראיית הצבעים הטובה מכולן: לחלק מהזנים של חסילון המנטיס ישנם 8 סוגים שונים של קולטני אור (שהם למעשה תאי מדוכים) והוא מסוגל אפילו לראות אזורים שלמים נוספים של הספקטרום האלקטרומגנטי, כמו למשל אינפרה-אדום ואולטרה-סגול. ראיית הצבעים של החיות האלה עדיין אינה מובנת לגמרי, ומדענים אינם בטוחים אם החסילונים משתמשים בכל קולטני האור האלה באותה הצורה שבני אדם משתמשים בהם, אבל בהינתן שהם נראים לנו, בעלי שלושת המדוכים בלבד, כאלה צבעוניים – דמיינו איצד הם נראים זה לזה!

איור 6

חסילון מנטיס. חסילון המ־נטיס בעל הצבעים הבהירים והבוהקים. התמונה, באדיבות והבוהקים. התמונה, באדיבות Silke Baron, ניתנת לצפייה ב: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:OdontodactylusScyllarus.jpg>



איור 6

אל המצולות

סופסוף, אנו חוזרים אל הפצצות. כמדענים של ראיית צבעים אחד מרגעי הקולנוע האהובים עלינו הוא סצנה מהסרט "המצולות" (The Abyss, 1989) שבה הגיבור צריך לנטרל פצצה גרעינית שנמצאת בתחתית האוקיינוס, באמצעות חיתוך של חוט כחול והימנעות מחיתוך של חוט שחור. הוא צולל מטה ומגיע אל הפצצה, אולם בשעה שהזמן הולך ואוזל הוא מגלה שהתאורה שהביא עימו גורמת לשני החוטים להיראות אותו הדבר (ראו איור 7). לא נהרס לכם את סוף הסרט, אבל כן נאמר שמבחינה מדעית הסצנה היא אמינה: מקור האור של הצוללן הוא מקל זוהר בצבע צהוב, והספקטרום שהוא מפיץ כולל גלים באורכים בינוניים בלבד. עבור המוחות שלנו, ההבדל היחיד בין חוט שחור לחוט כחול הוא כמות גלי האור באורכים הקצרים שכל אחד מהם מחזיר – כלומר, ההבדל הוא בכמות הפעילות של מדוכי ה-S שכל אחד מהחוטים גורם לה. אם המקל הזוהר מלכתחילה אינו מפיץ אף גל בעל אורך גל קצר, אזי לא יהיה לחוטים מה להחזיר לצופה, ולכן שני החוטים ייראו אותו הדבר². מוסר ההשכל של הסיפור הזה הוא שאם אתם חייבים לנטרל פצצה בעומק של שלושה קילומטרים מתחת לפני הים, תביאו איתכם פנס.

² כן, אנחנו באמת חושבים על דברים כאלה כשאנו רואים סרט בקולנוע. אחרי כן אנו מנדנדים לחברים שלנו ואומרים להם את זה, למקרה שהם פססו. זה הופך אותנו למקובלים מאוד.

איור 7

סצנה אינטנסיבית מהסרט "המצולות" (The Abyss).

ודאו שאתם חותכים את החוט הכחול-לבן ולא את החוט השחור-לבן! התמונה לקוחה באישור מהאתר של חברת הסרטים Twentieth Century Fox Film Corporation.



איור 7

פורסם אונליין: 31 במאי 2018

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: Wade AR and Benjamin AV (2018) כיצד אנו רואים צבעים? Front. Young Minds. doi:10.3389/frym.2013.00010-he

תורגם והותאם מ:

Wade AR and Benjamin AV (2013) How do we see color? Front. Young Minds 1:10. doi:10.3389/frym.2013.00010

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

© COPYRIGHT Wade and Benjamin 2013. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

SACHA, גיל: 14

כשהייתי בן כמה שבועות בלבד, עברנו לבנקום (Benekom), עיירה קטנה ליד העיר ארנהם בהולנד (Arnhem), עיר שבה התרחש קרב מפורסם שיצא עליו סרט בשם "גשר אחד רחוק מדי" - "a bridge too far". כיום אני בן 14, לומד במסלול דו-לשוני בבית ספר תיכון שבו ניתנים שיעורים באנגלית ובהולנדית. אני מקווה להשלים את תואר "בוגר בינלאומי" (IB - International Baccalaureate) לפני שאסיים את בית הספר. בזמני הפנוי אני אוהב לשחק פוטבול ולבלות עם החברים שלי. עבודת העריכה עניינה אותי משלוש סיבות: רציתי מאוד להבין יותר על העבודה של אבא שלי; אני אוהב את הרעיון של העיתון הזה שעוזר לנו להבין מה ההורים שלנו עושים ואני גם אוהב את הרעיון של להיות עורך!

הכותבים

ALEX R. WADE

ALEX V. BENJAMIN



Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

