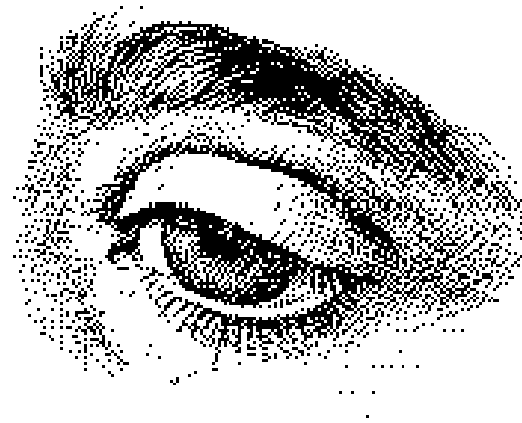


פרק 2 :

תכונות מערכת הראייה



נמרוד פלג

עדכון: אוגוסט 2007

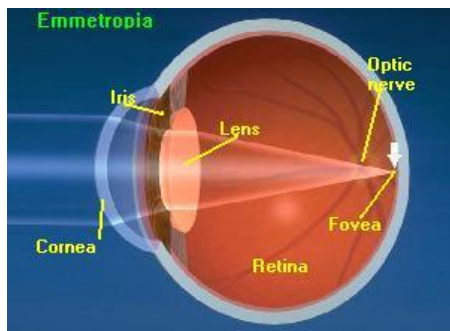
למה זה מעניין ?

- ניצול מגבלות מערכת הראייה.
- לא "להתאמץ" בכיוונים בלתי מועילים לראייה.
- בניית **מודל** עוזרת להבנה והפשטה של מערכת מסובכת.

מודל



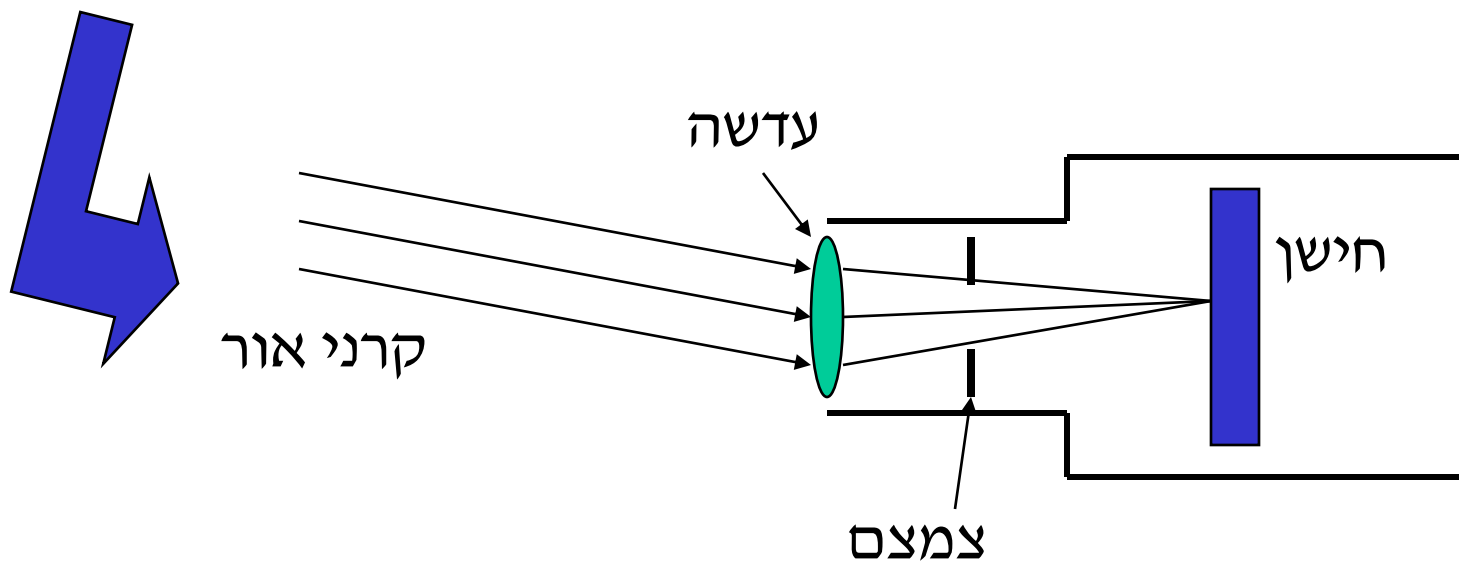
מערכת הדמיה אופטית בסיסית



• מרכיבים עיקריים:

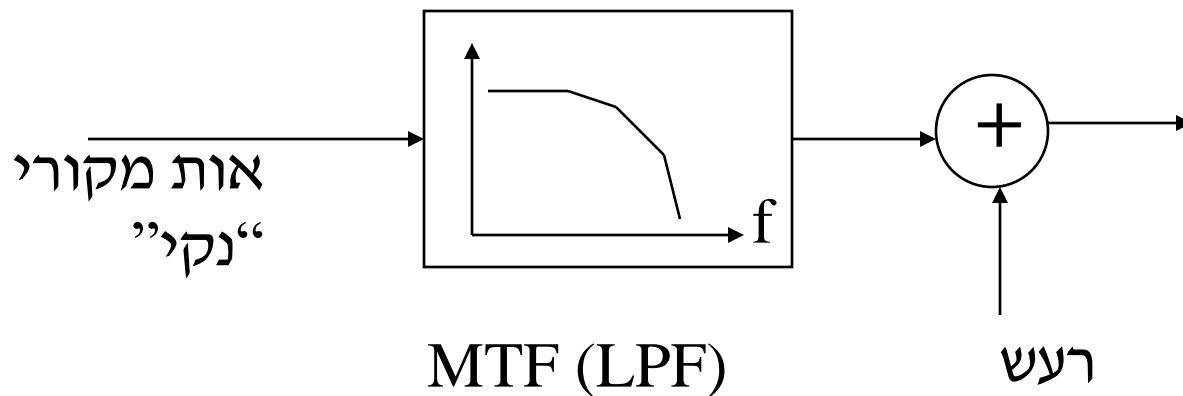
– עדשה או מספר עדשות.

– חישנים (סרט צילום, CCD)



מודל בסיסי

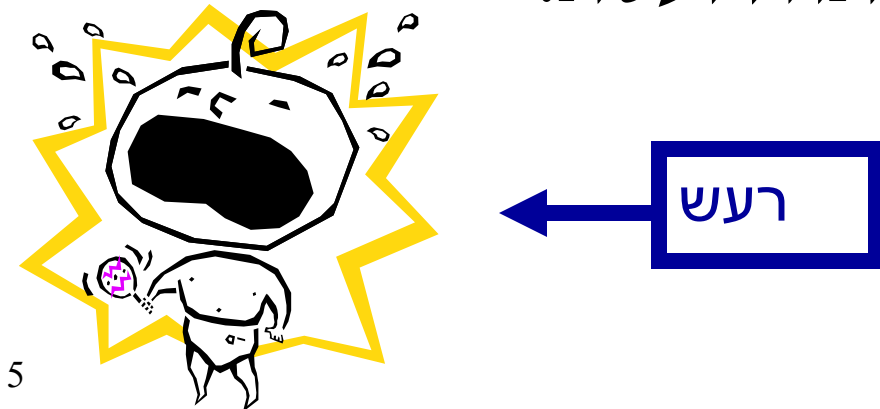
- לכל מערכת הדמיה נכון התיאור של מעבר האות המקורי דרך "מסנן" (בדר"כ LPF) שנקרא MTF ואחריו הוספת רעש המערכת:



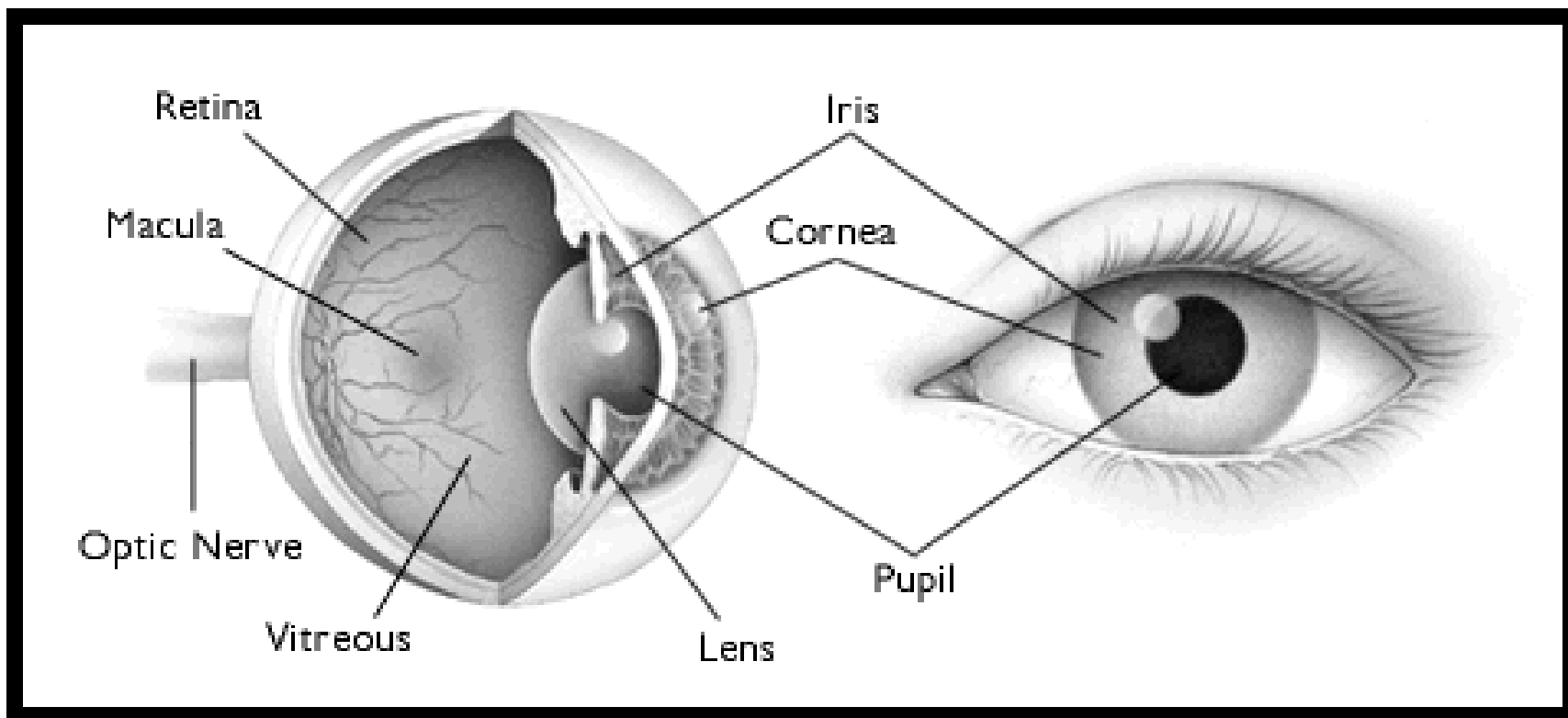
בשרשור
מערכות
מוכפלות
פונקציות
המעבר זו בזו.

אות ורעש

- גילוי האות הרצוי מתוך סה"כ האות+רעש אינו פשוט בדר"כ, ובמקרים בהם מתקיים $SNR < 1$: הגילוי קשה מאד.
- עבור $SNR > 1$ הסתברות הגילוי עולה בצורה מעריכית, (Exponential) בדומה ליכולת העין להבחין בפרטים בתמונה רועשת.



מבנה העין



מבנה העין : פרוט

- **קרנית** (Cornea): ה"חלון" הקדמי, **הצלול** של העין. הקרנית מעבירה וממקדת את האור לתוך העין.
- **קשתית** (Iris): **החלק הצבעוני** בעין : מסייעת לאישון בייצוב כמות האור החודרת.
- **אישון** (Pupil): **המעגל השחור** במרכז הקשתית. משמש כצמצם המווסת את כמות האור החודרת לעין .
- **עדשה** (Lens): תפקידה למקד את האור על הרשתית.
- **רשתית** (Retina): שכבה עצבית בחלק האחורי של העין. העצבים "חשים" את האור, ומייצרים פולסים חשמליים המועברים למוח דרך עצב הראייה.

מבנה העין : פרוט (המשך)

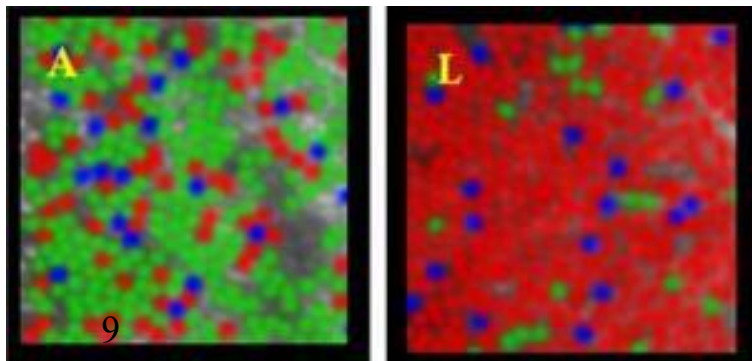
- **קולטנים** (Sensors): **גלאים** זעירים המגיבים לאור (פרוט בהמשך), ומייצרים את הסיגנל החשמלי המתאים.
- **עצב הראייה** (Optic Nerve): העצב המעביר את **העירור החשמלי** הנוצר ברשתית אל המוח, כדי שיתרגמו לתמונה.
- **זגוגית** (Vitreous): חומר מילוי השומר על הצורה **הכדורית** של העין, ועל מרחק קבוע בין הרשתית לעדשה.

הקולטנים ברשתית

• שני סוגים עיקריים:

– **מדוכים** (Rods): כ- 120 מליון קולטנים (Photo-Receptors),
האחראים לראיית יום/לילה: מגיבים לאור במרכז תחום אורכי
הגל הנראים.

– **קונים** (Cones): כ- 4 עד 7 מליון קולטנים המגיבים לאורכי גל
בתחומי צבע שונים: אדום, ירוק, כחול.



*Images of living human
retinas showing the wide
diversity of number of cones
sensitive to different colors.*

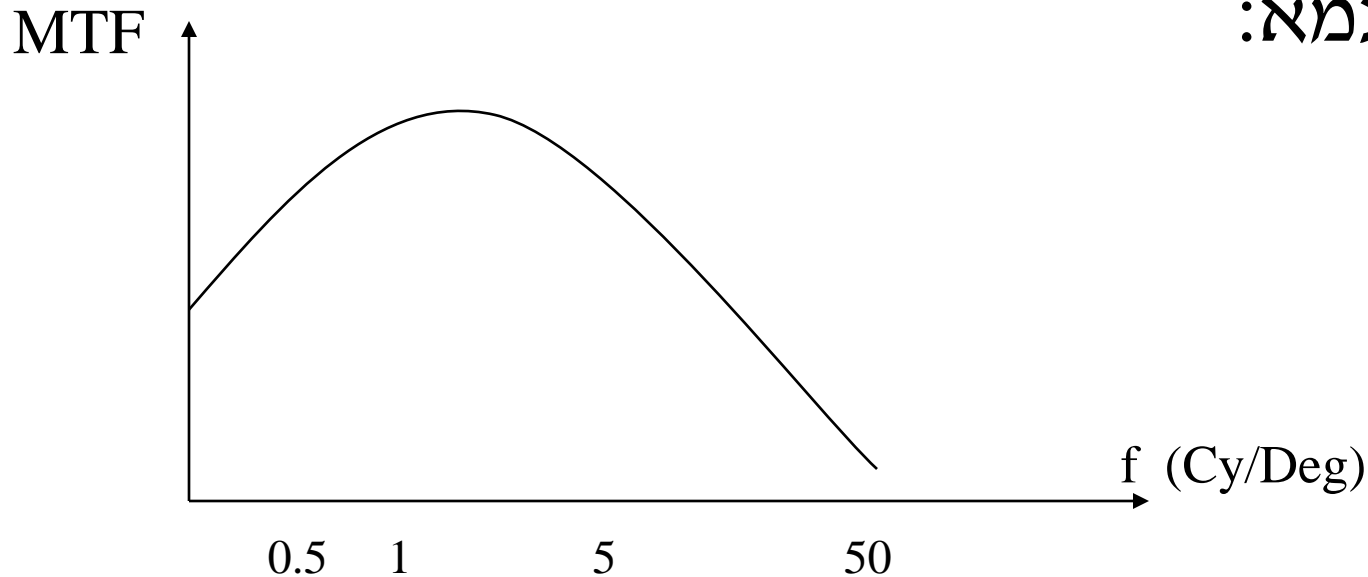
(Photo credit: University of Rochester)

MTF של עין

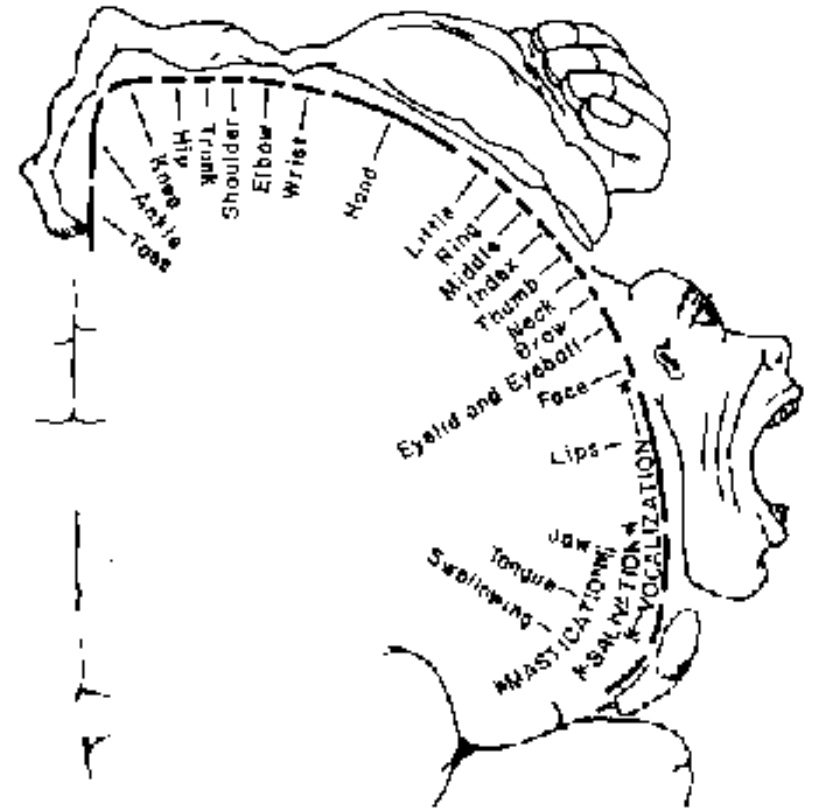
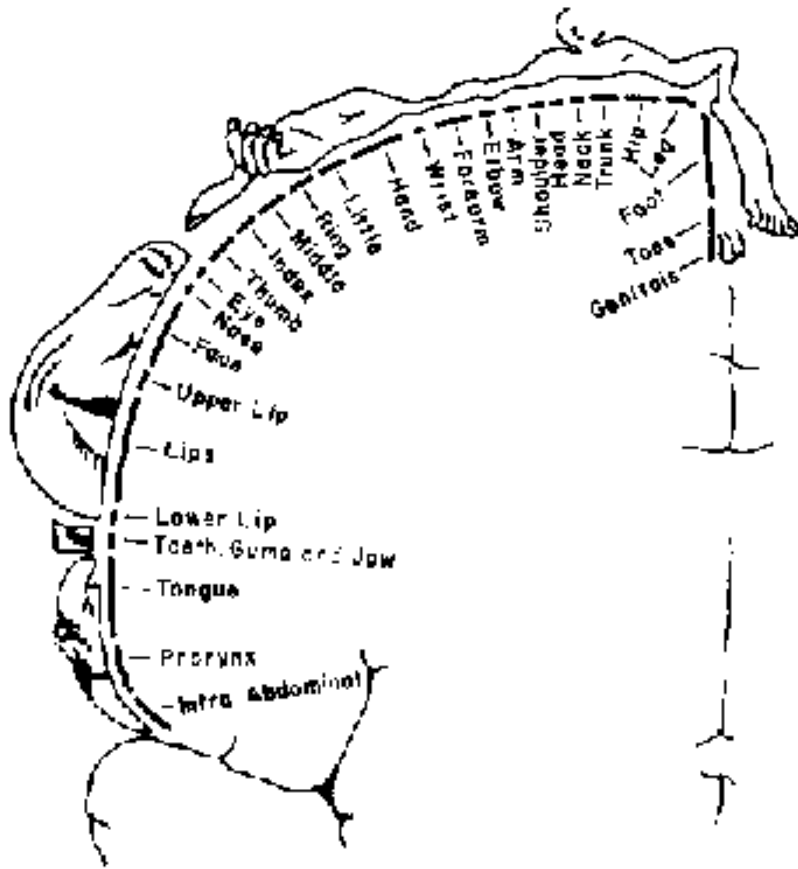
Modulation Transfer Function •

תגובת התדר המרחבי של מערכת : פונקציה דו-ממדית, של התדרים המרחביים בכיוון x, y .

• לדוגמא:

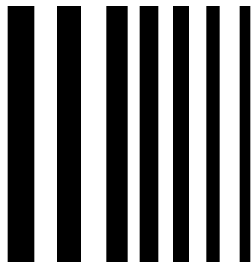


העין והמוח



תדר מרחבי זוויתי

- לסדרה מחזורית של פסים שחור/לבן, בודקים כמה מחזורים נכנסים בגזרה בעלת זווית של מעלה אחת, ונקרא לזה "תדירות זוויתית".



$$f_{\theta} = 1 \frac{\text{Cy}}{\Delta\theta} \left[\frac{\text{Cy}}{\text{deg}} \right]$$

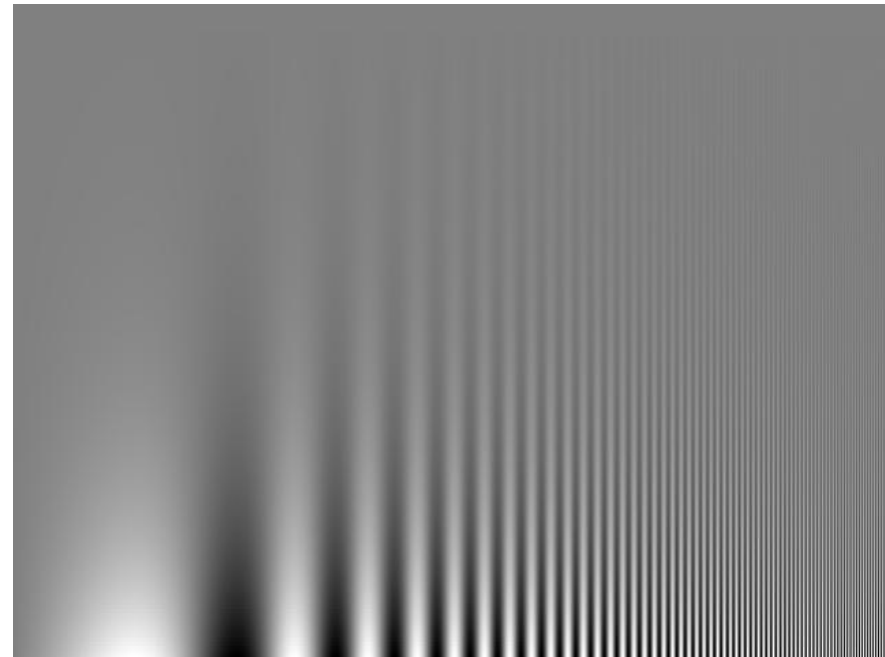
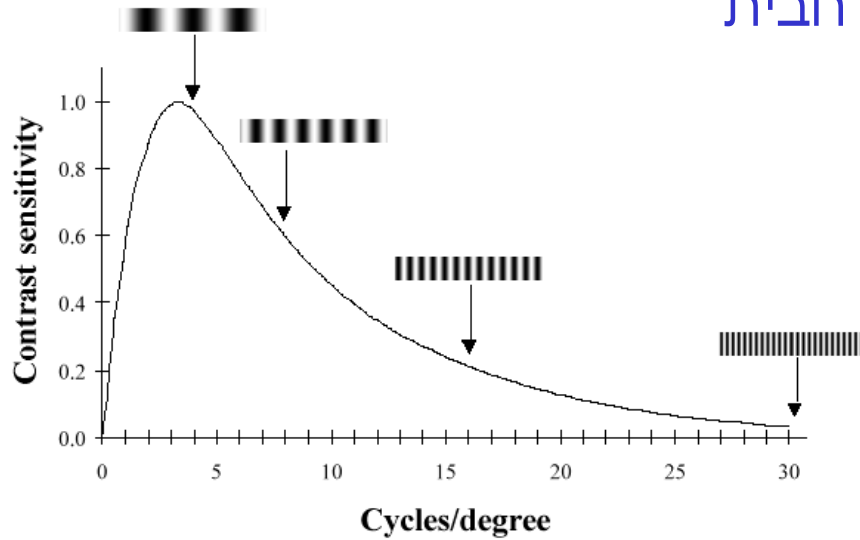
בגזרה שגדלה $\Delta\theta$

נכנס מחזור אחד

השימוש בתדר זוויתי עדיף כי נחסכת התלות במרחק העצם מהעדשה והעדשה מהדמות.

Contrast Sensitivity Function (CSF)

מדגימה את רגישות העין לתדירות מרחבית

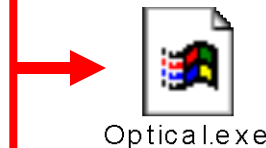


אשליות ראייה....

http://www.illusionworks.com/html/hall_of_illusions.html

ועוד אחת....

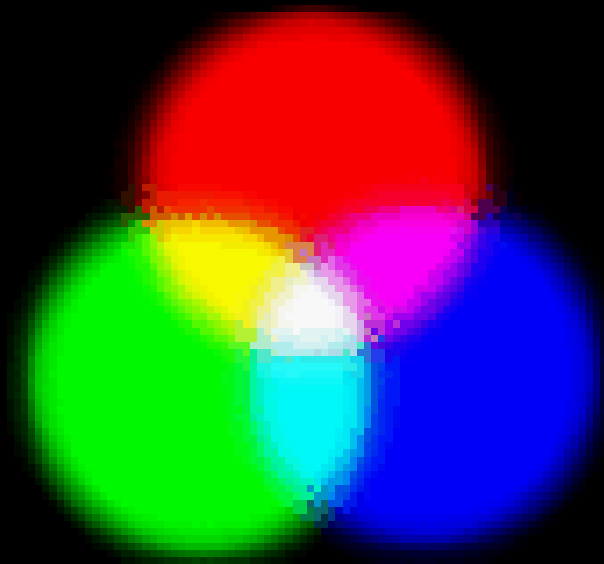
1. Leave your hand on the mouse
2. Double click the symbol below (it's virus checked)
3. Concentrate on the dot in the middle of the screen and count to 30 (It's very important to watch it for 30 seconds! Otherwise it won't work!)
4. Now look at your hand on the mouse
5. **Don't scream!**



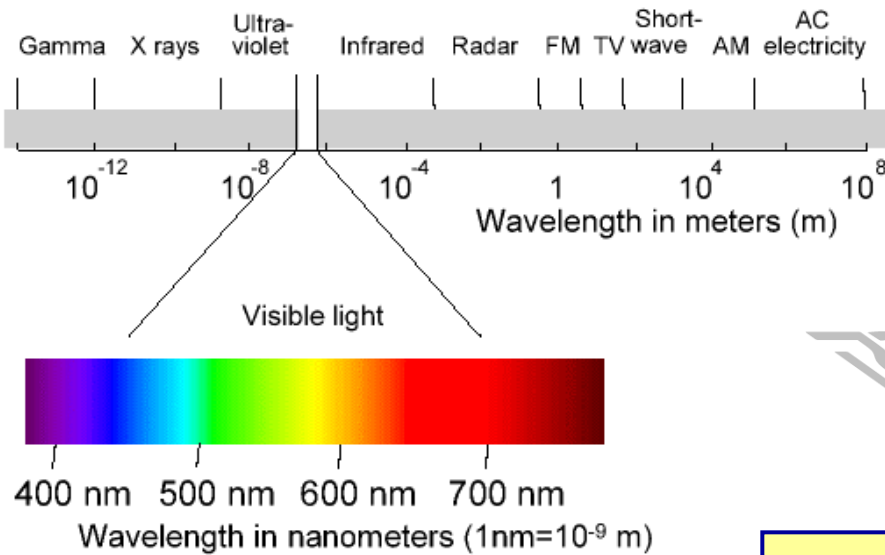
Inattentional Blindness Examples:

viscog.beckman.uiuc.edu/djs_lab/demos.html : מבחן הגורילה:

צבע ומרחבי צבע



Electromagnetic Radiation - Spectrum



ספקטרום
הצבעים הנראה
לעין

צבע זה לא רק

אורך גל!

Color Perception Is Not in
the Eye of the Beholder:
It's in the Brain
(University of Rochester)

גם צבע : תפיסה של המוח !

קצר בין האונה הימנית לאונה השמאלית
קיראו הסבר בתמונה
מפליא !!!

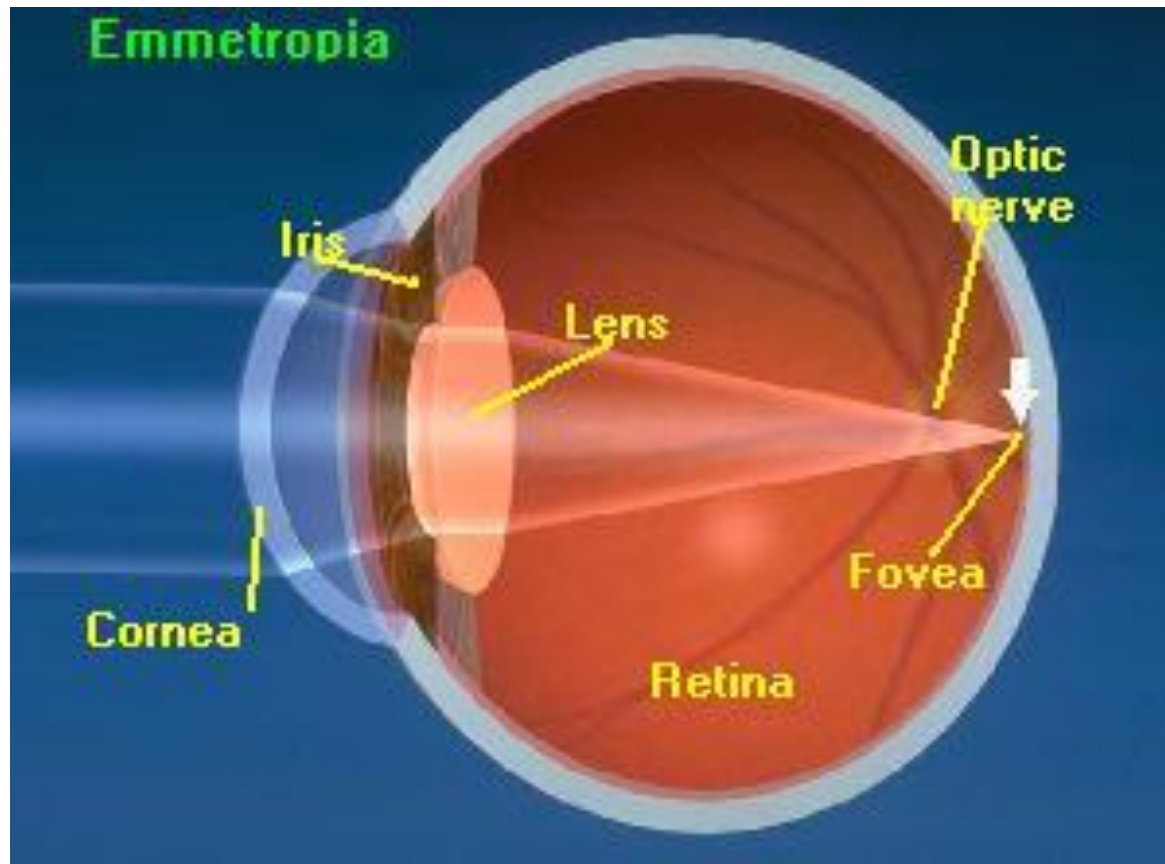
נסו להסתכל על הרשימה ולומר את הצבע ולא את המילה

כתום	כחול	צהוב
ירוק	אדום	שחור
אדום	צהוב	סגול
שחור	ירוק	כתום
סגול	אדום	כחול
כתום	כחול	ירוק

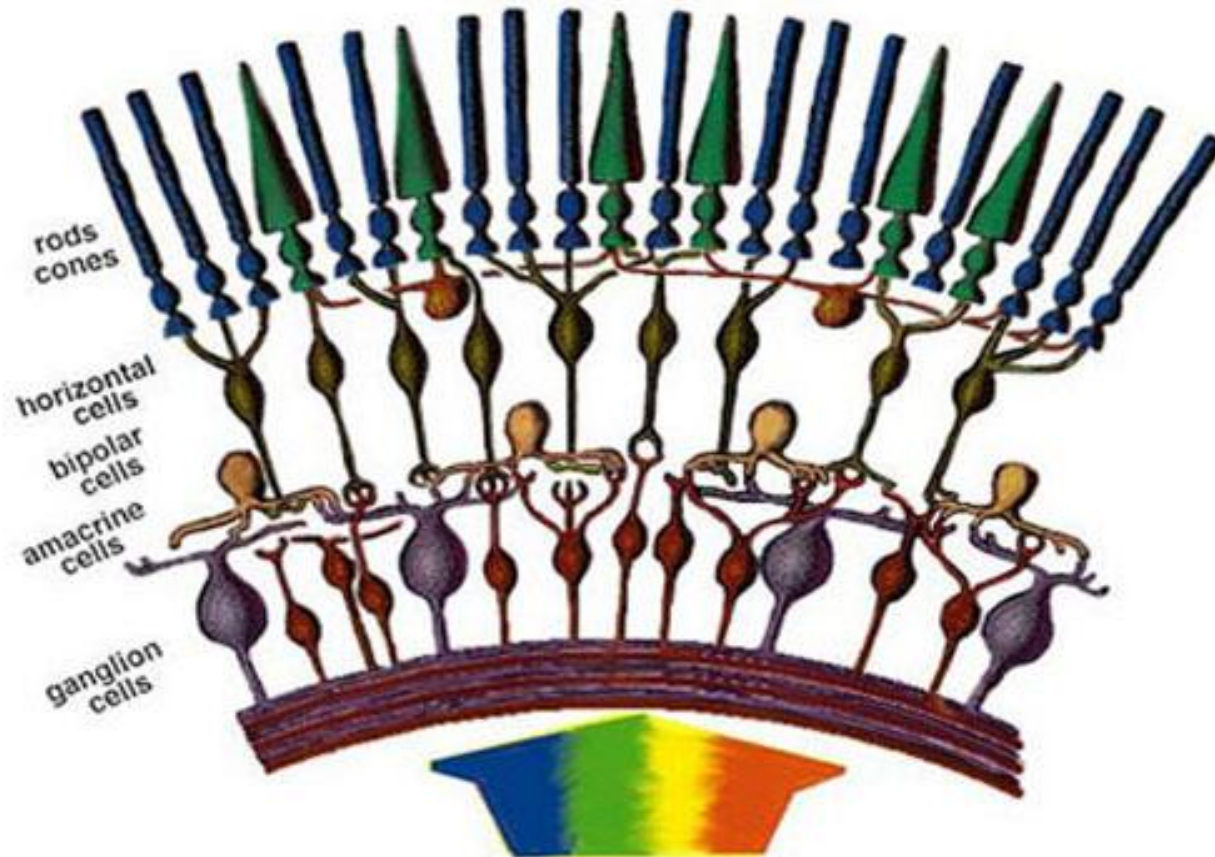
קונפליקט ימין-שמאל

האונה הימנית של המוח מנסה להגיד את הצבע
אבל האונה השמאלית מתעקשת לומר את המילה

העין... והפעם בצבע

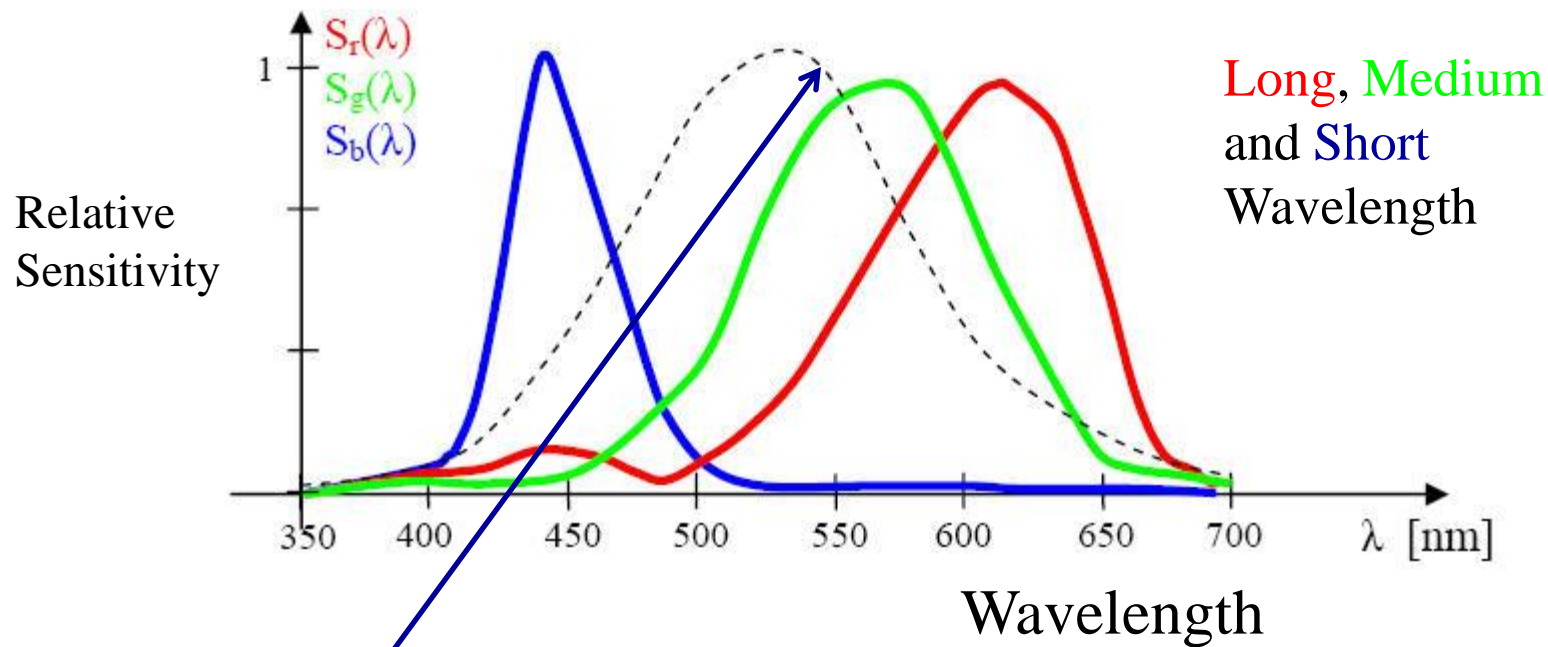


מבנה הרשתית



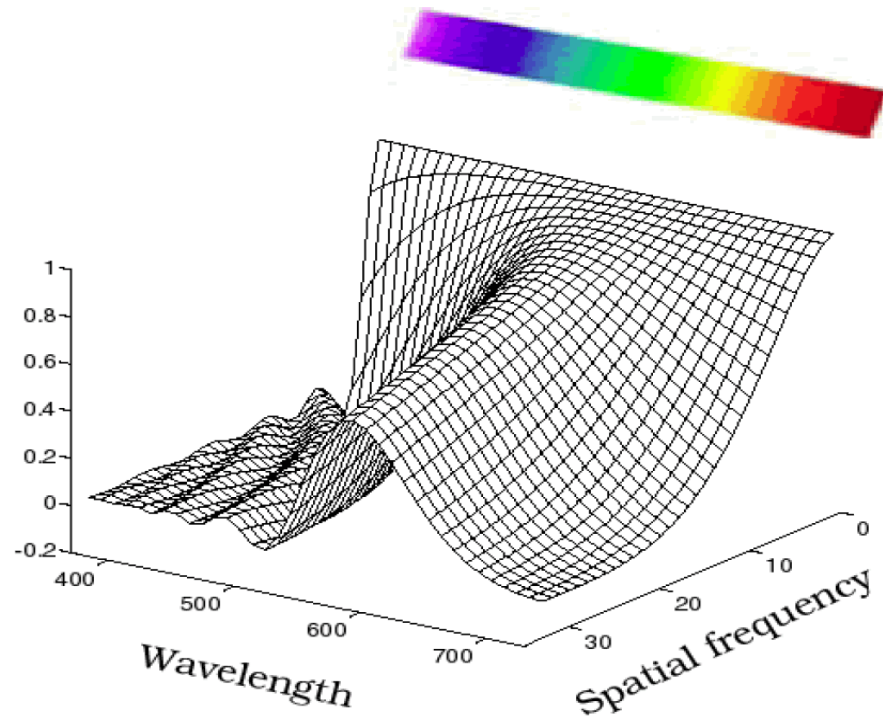
3 סוגים של קולטני יום (cones) לראיית צבע

Cone Spectral Sensitivity



20 Relativity of Sensitivity

רגישות העין לתדירות מרחבית ולאורכי גל



Chromatic Modulation Transfer Function

התאוריה של 3 צבעים (TriChromatic)

• תומס יאנג : (Thomas Young)

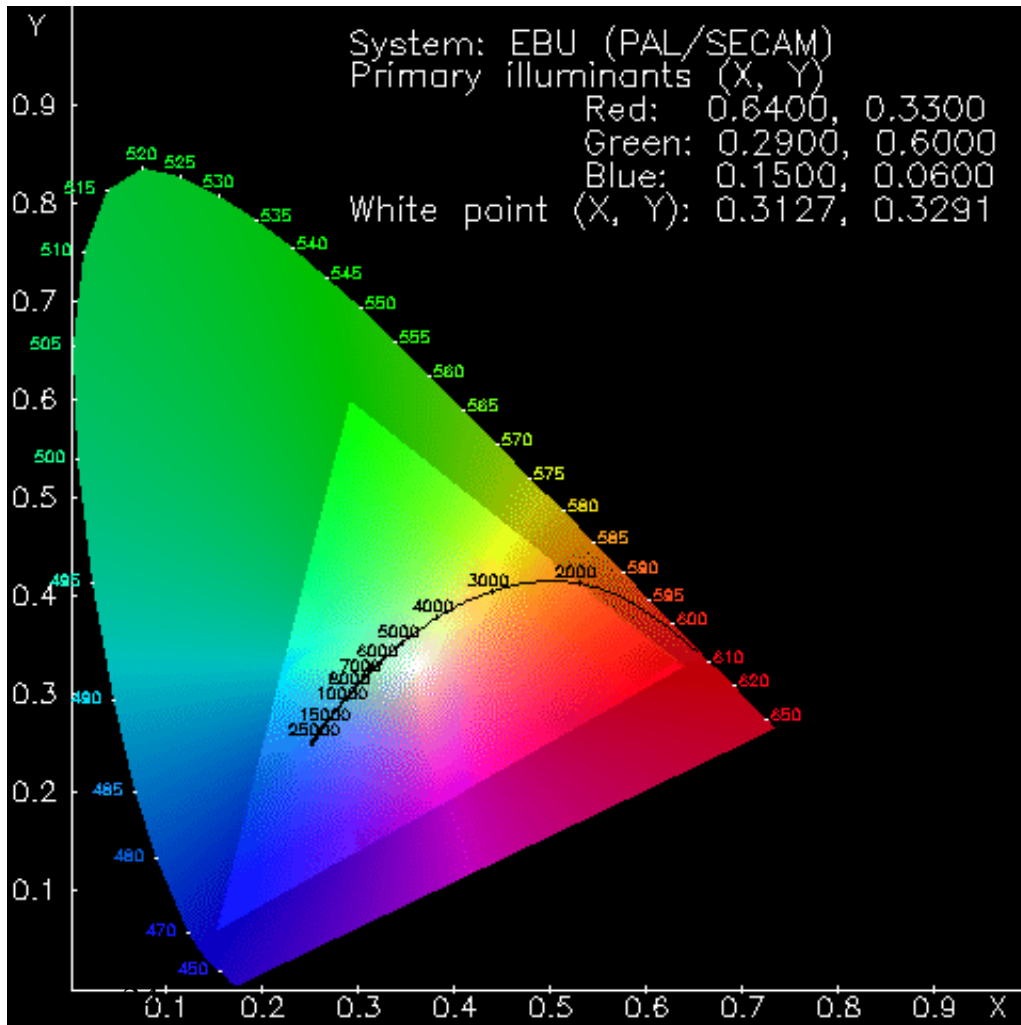
– 1773 - 1829 , הציע לראשונה את המבנה של שלשה קולטנים הרגישים לאורכי גל שונים, ומאפשרים ראייה של כל התחום הנראה.

• Helmholtz & Maxwell:

– 1850 : התאמת צבעים ע"י 3 צבעים ראשוניים

התאמת צבעים

דיאגרמת CIE - קורדינטות צבע RGB



צפיפות שטף אורי $f(\lambda)$

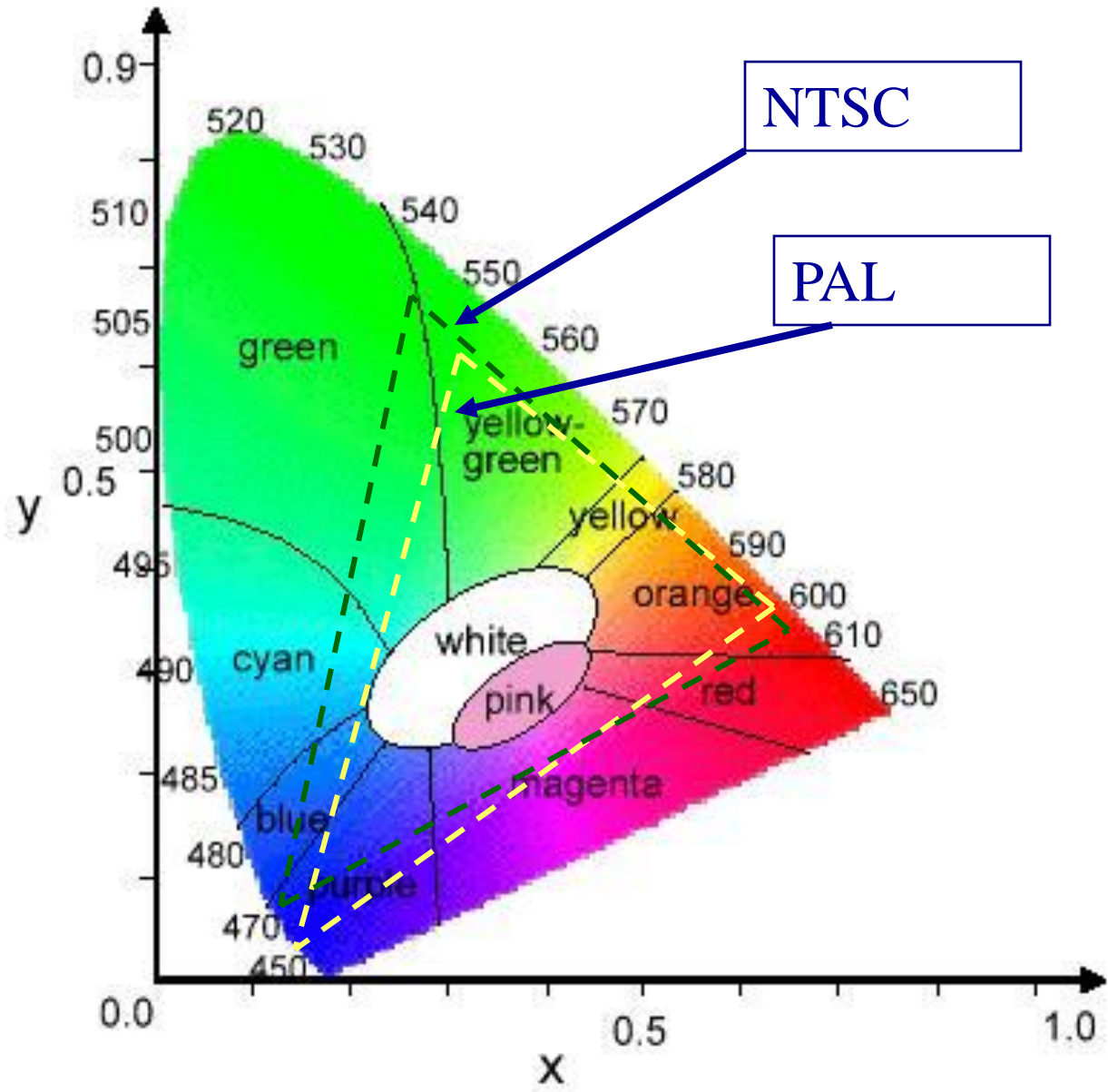
$$X = \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

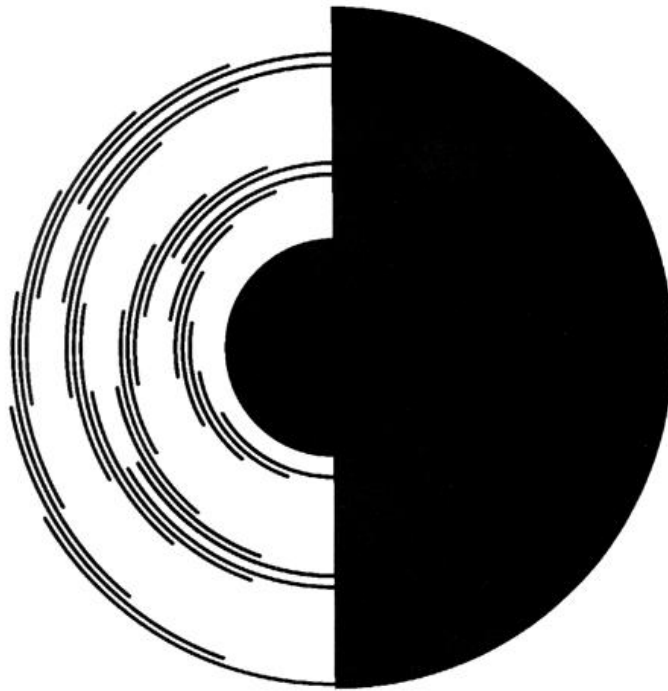
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$



Color Naming & TV Colors (Gamut, Complementary Colors)

צבעים מדומים



סובב במהירות...
ותקבל צבעים!

Bernham's top

תנועה : עניין תפיסתי ?



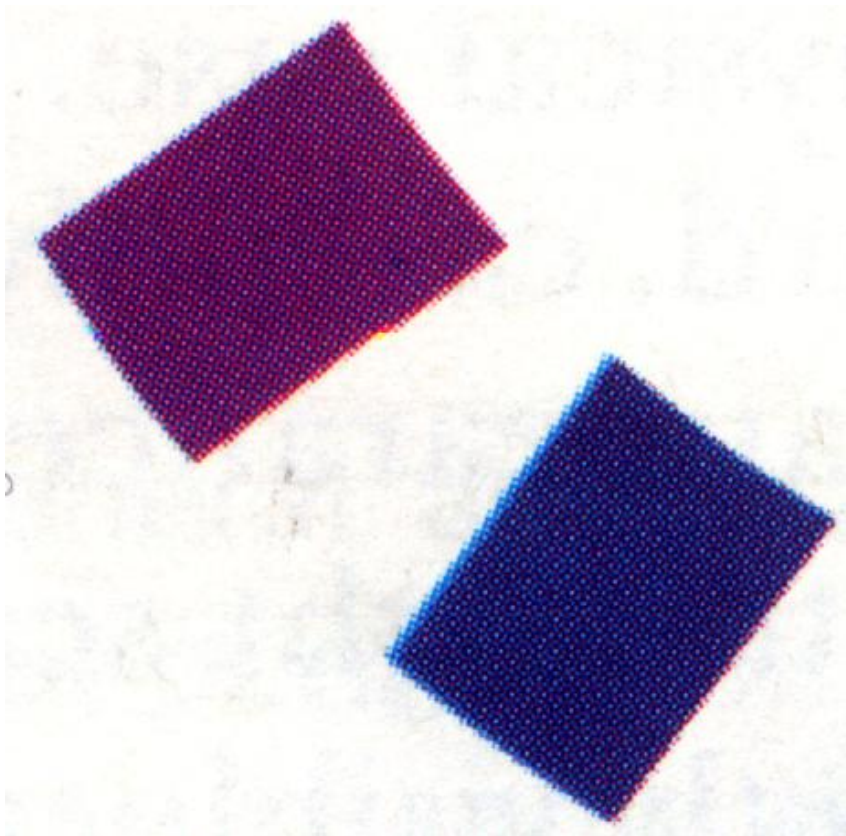
אשליות ראייה – גם בצבע

קצת דוגמאות באינטרנט...

ועוד קצת... Michael Bach's Optical Illusions & Visual Phenomena

וקצת הסברים בעברית... (אתר רופאי עיניים בישראל)

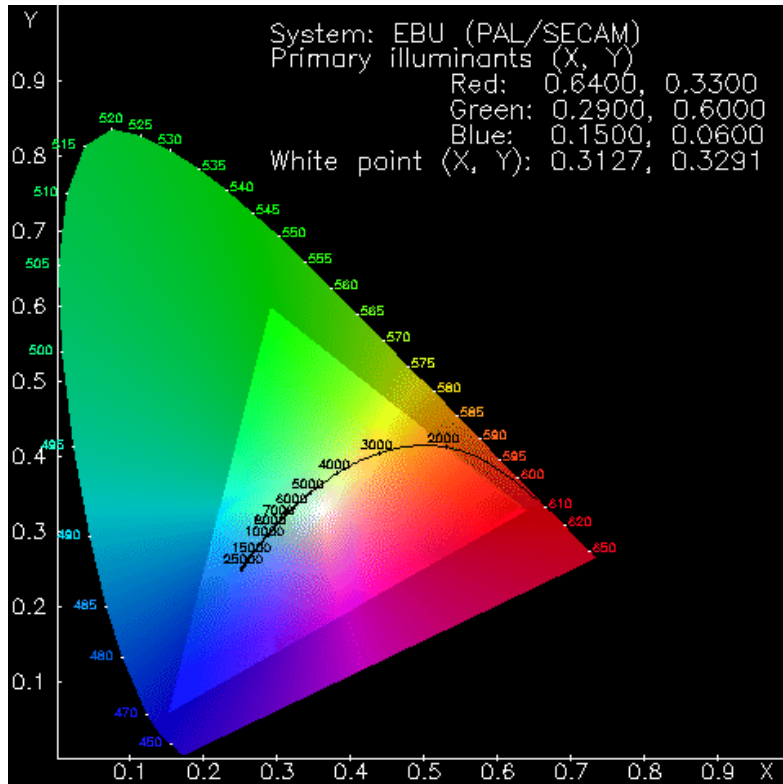
Dithering



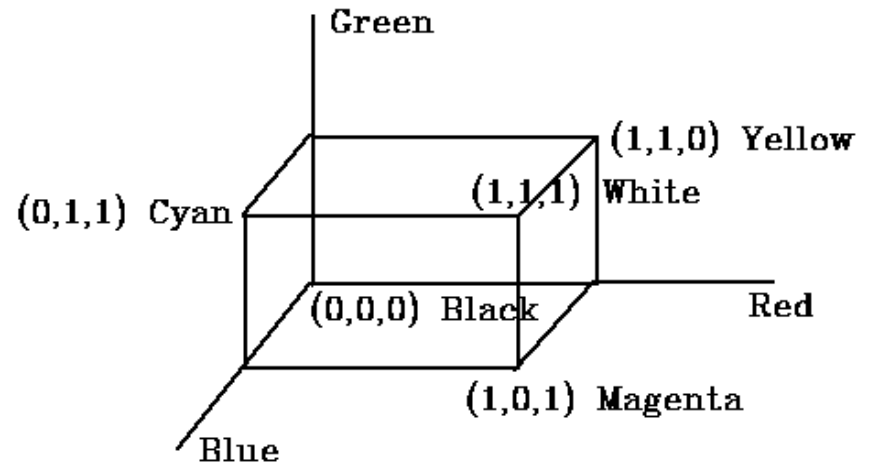
Surround effects



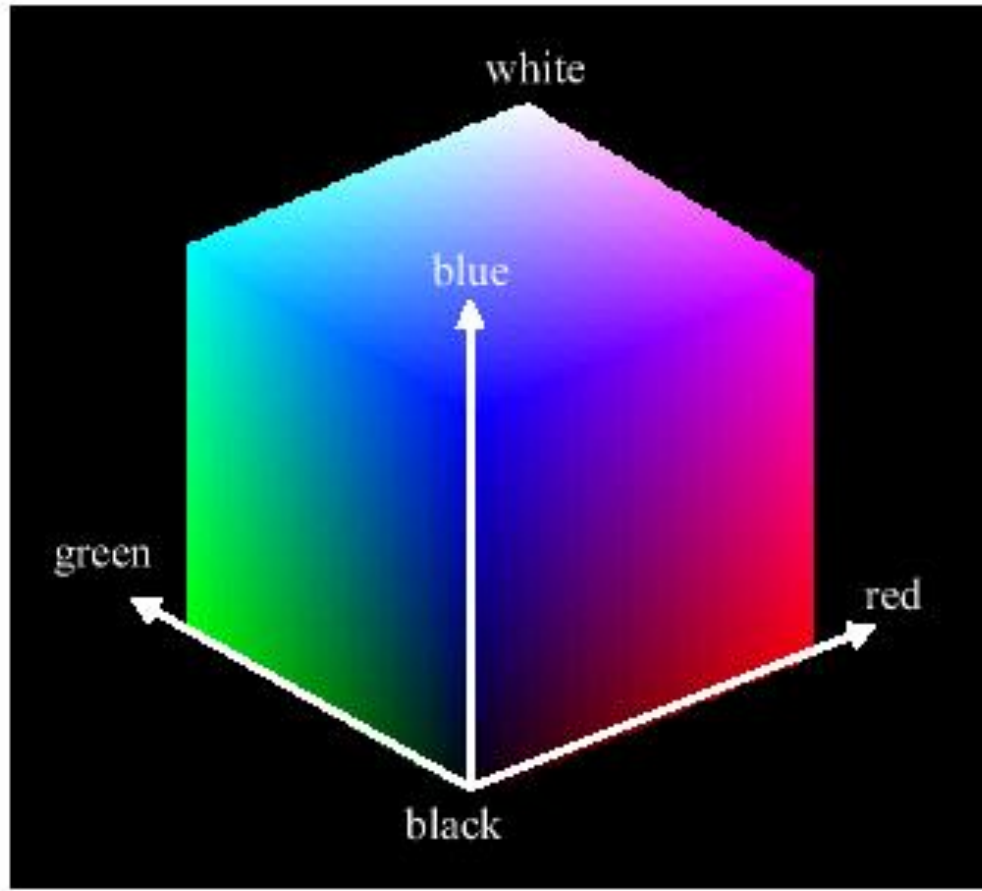
מרחבי צבע



RGB



RGB Cube



ייצוג RGB

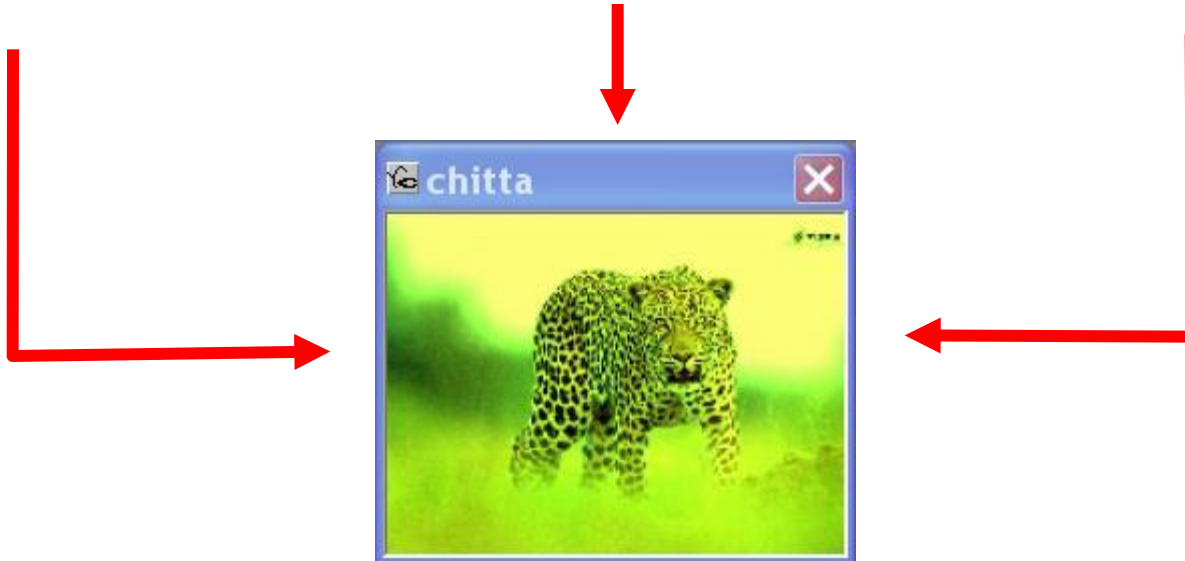
יתרונות

- מקובל במוניטורים ובטלביזיות שנים רבות.
- פשוט חישובית: בכל רכיב צבע עובדים באותה צורה וההעברות לינאריות.

חסרונות

- תלוי ב"מכשיר": בכל צג נראה קצת אחרת.
- לא מכסה את כל מרחב הצבעים. (gamut compression)
- לא אחיד מבחינה תפיסתית.

RGB Presentation Example



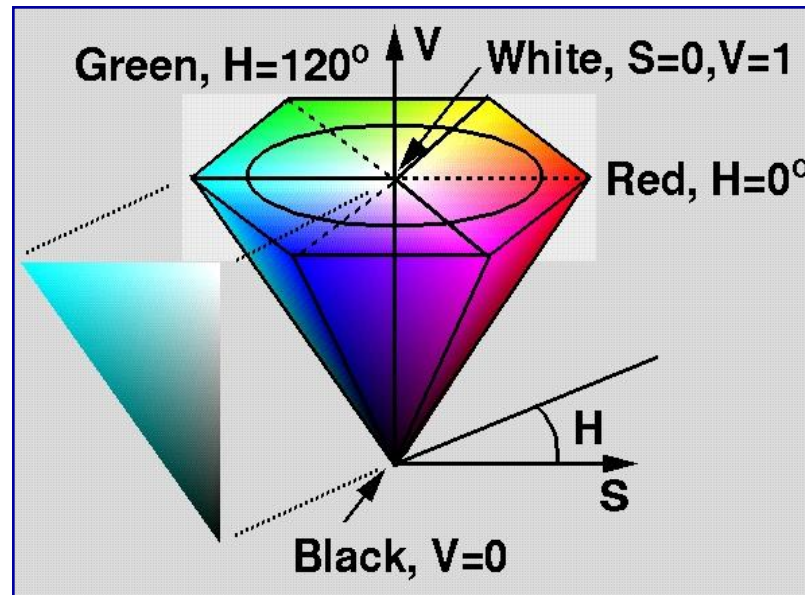
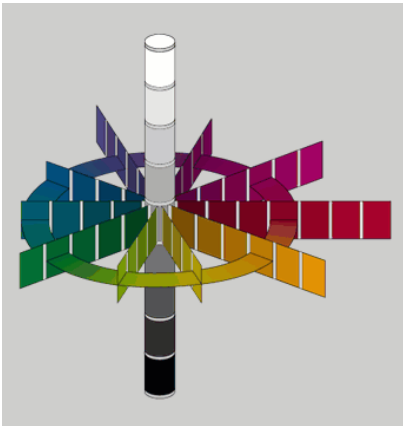
Munsell's color space

אפיון צבעים לפי:

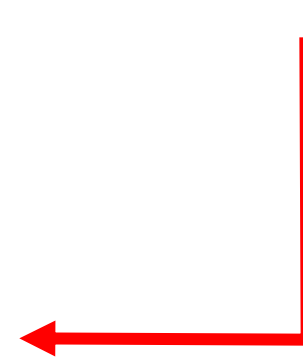
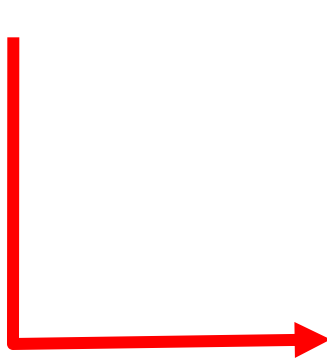
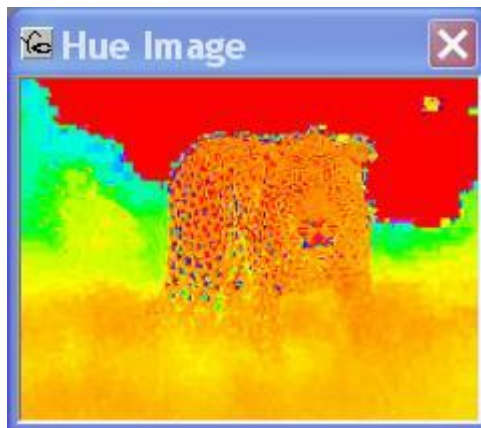
Hue (גוון)

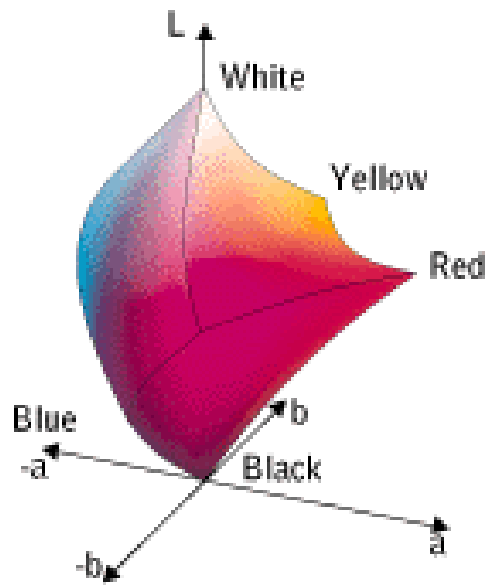
Saturation (ריויה)

Intensity (עוצמה) / Value



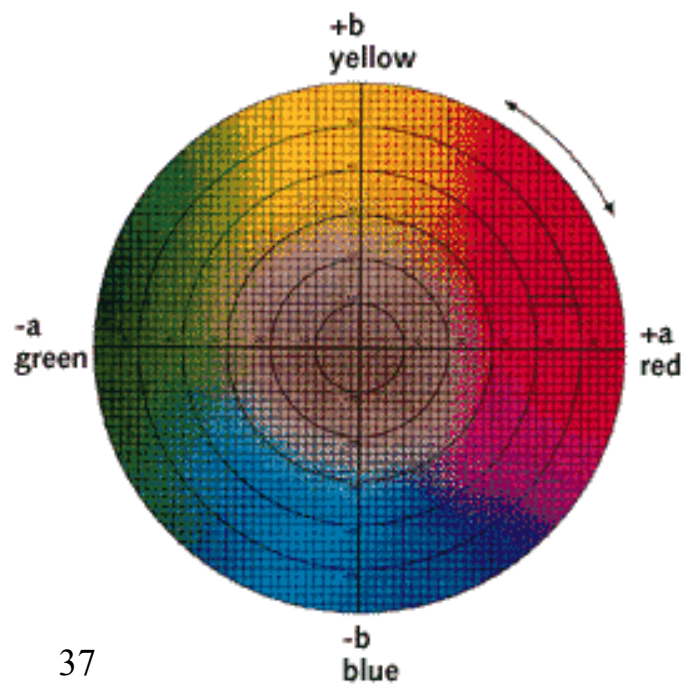
HSV Presentation Example





"המדויק" - Lab

$$L = \begin{cases} 903.3 \frac{Y}{Y_n} & \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \\ 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \end{cases}$$

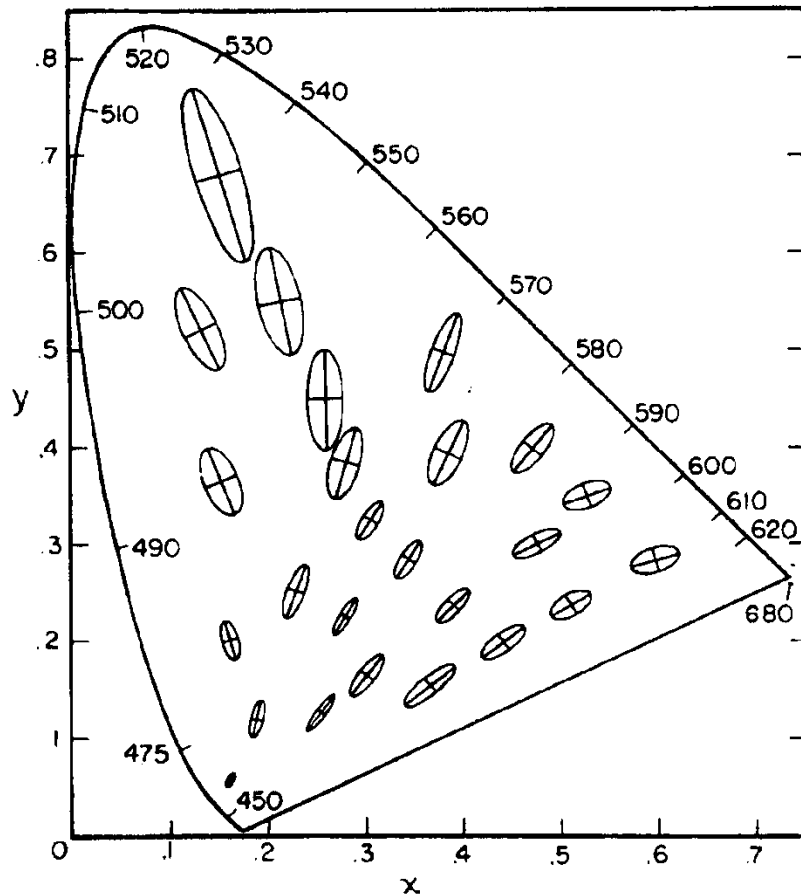


$$a = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n} > 0.008856$$

האליפסות של MacAdam (Just Noticeable Distance)



(פי 10 מהגודל האמיתי)

ייצוג Lab

יתרונות

L: Luminance
a : green to magenta
b : blue to yellow

אינו "תלוי מכשיר"

מכסה את כל מרחב הצבע

אחיד מבחינה תפיסתית

מפריד בין רכיב ההארה לרכיבי הצבע

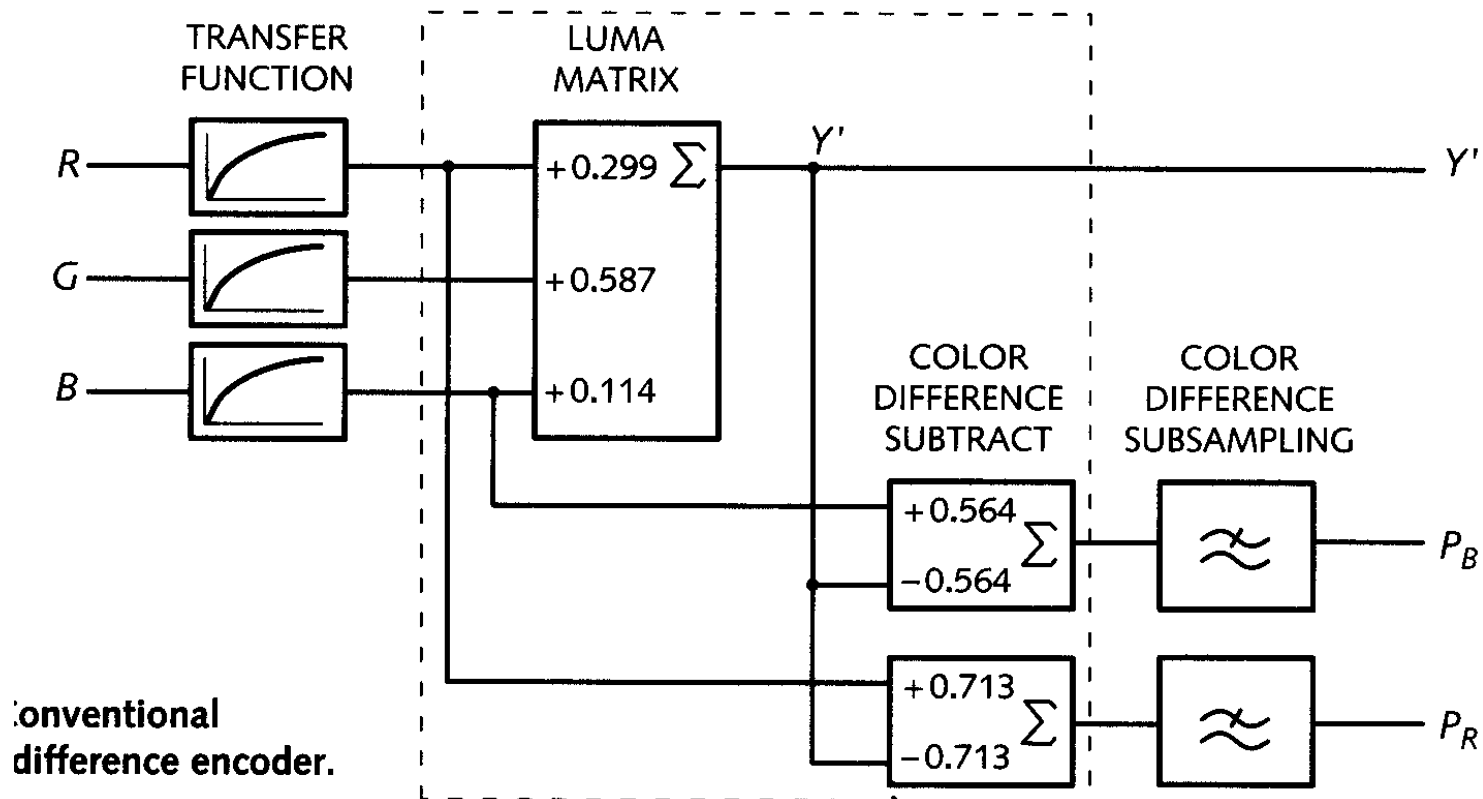
חסרונות

כבד חישובית (פעולות לא-ליניאריות)

Lab Presentation Example



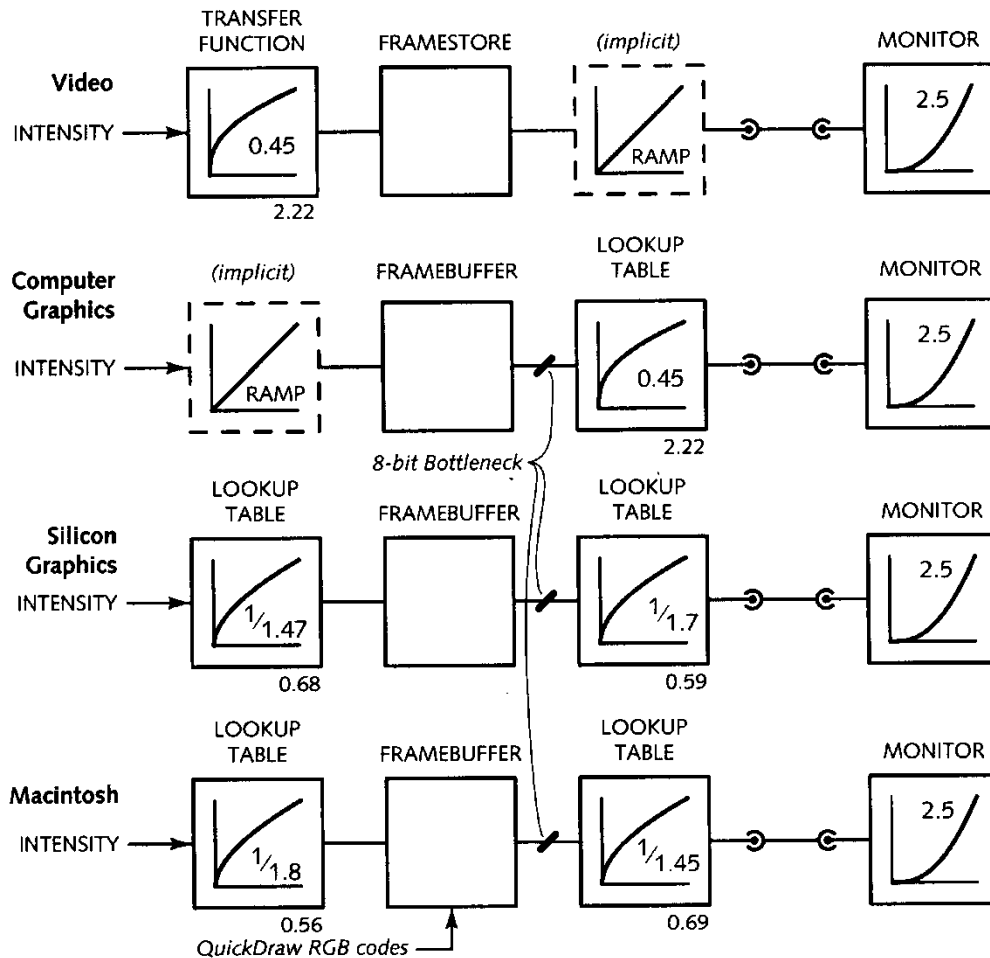
שימוש - Y'CbCr



YUV Presentation Example



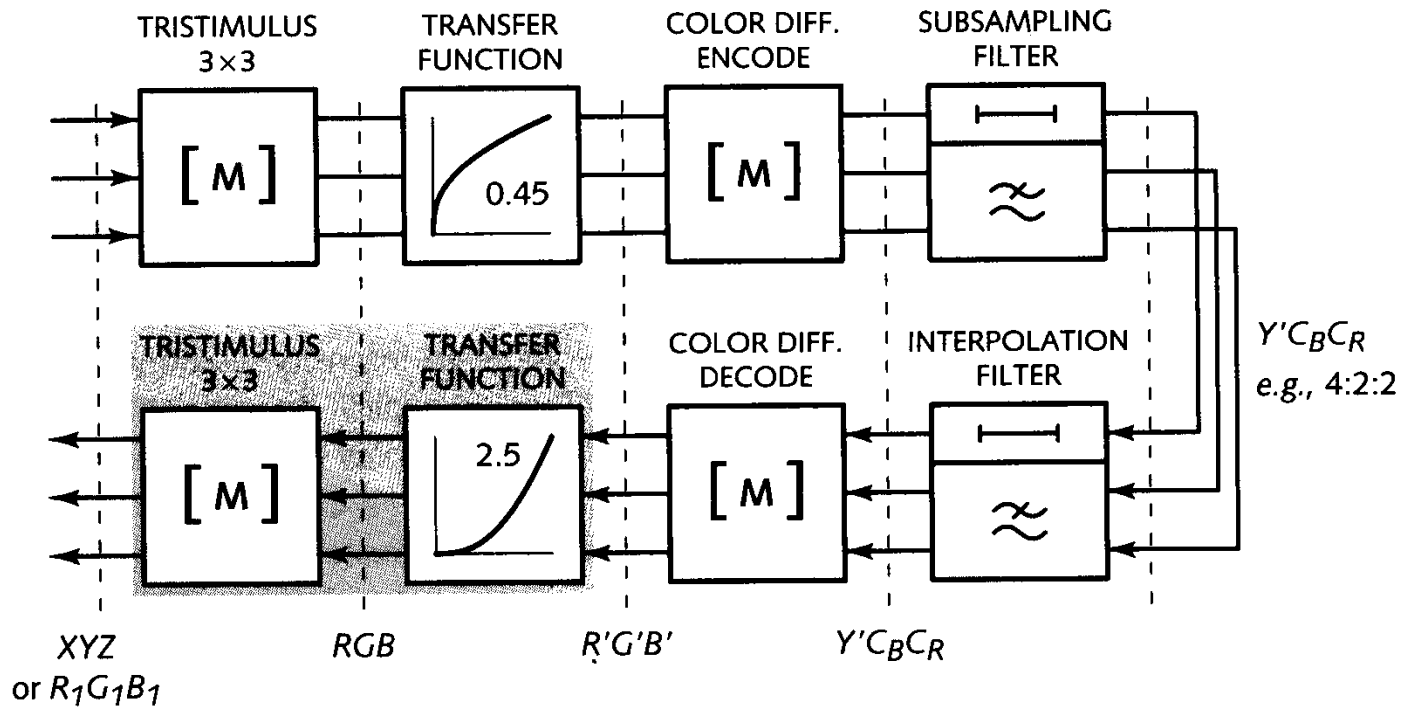
Gamma Correction



$$\text{intensity} = \text{voltage}^\gamma$$

$$\text{intensity} = (\text{voltage} + \epsilon)^{2.5}$$

דחיסת תמונות עם Y'CbCr



ייצוג YCbCr

יתרונות

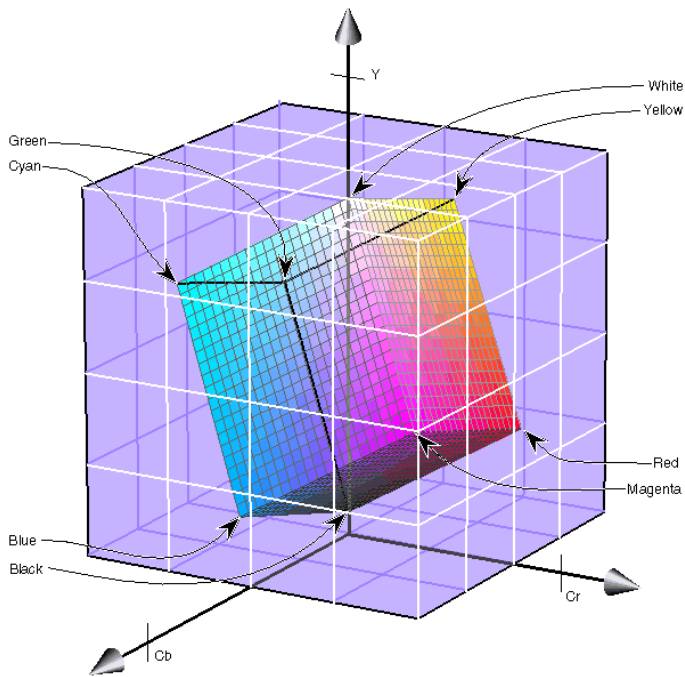
אינו "תלוי מכשיר"

"די" אחד תפיסתית

מפריד בין רכיב ההארה לרכיבי הצבע

קל למימוש

טבעי לעיבודי תמונה



YCbCr Presentation Example



The Gamma Correction

- Not a color space...
- A non-linear correction for the pixel values:

$$x_{out} = x_{in}^{1/\gamma} \quad 0 \leq \gamma \leq 3$$

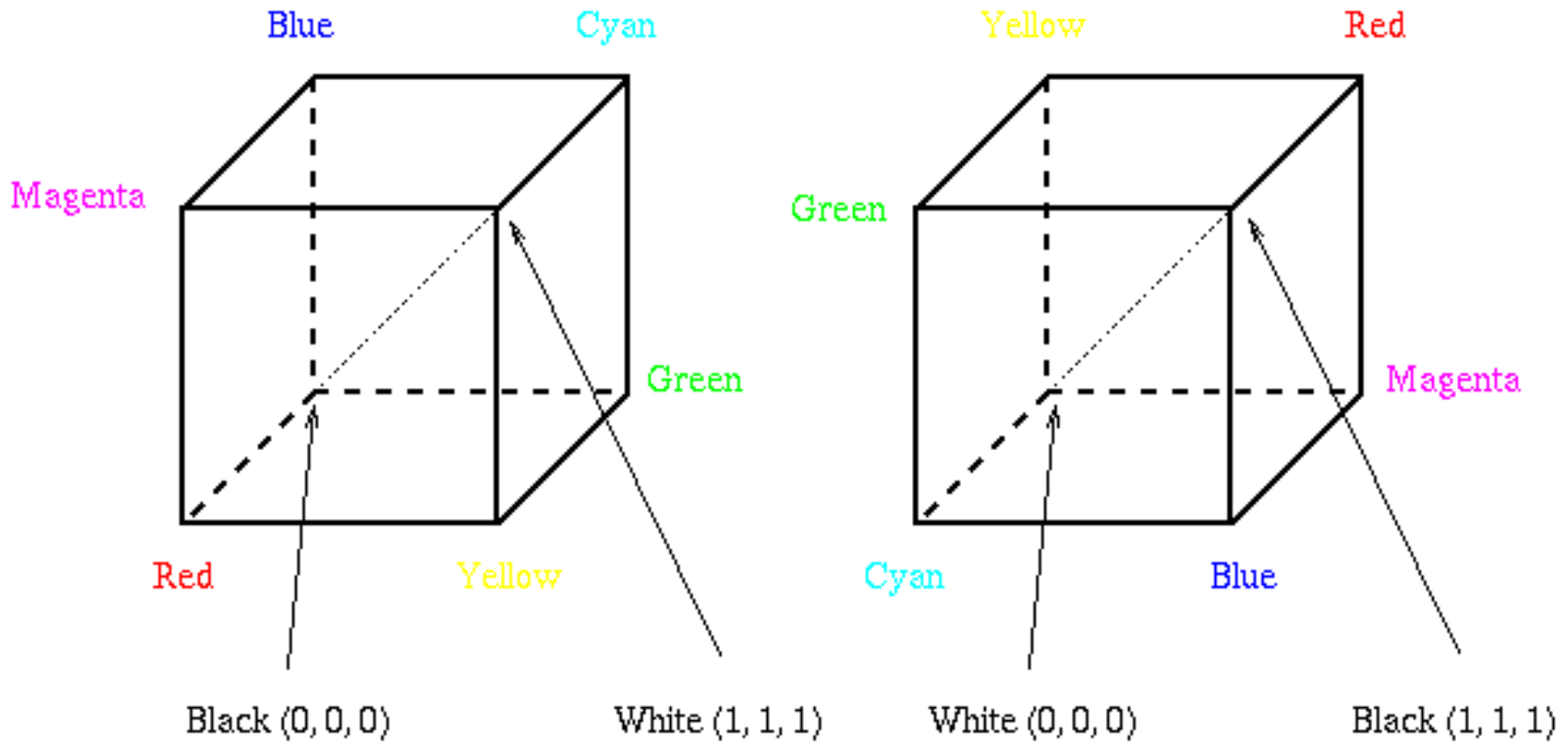
- Used to correct pixel value differences between different platforms

Gamma Correction Example



הדגמה: VCDemo

להדפסה - CMYK



The RGB Cube

The CMY Cube

ולא נשכח את העיקר...היופי שבצבעים (ובעיני המתבונן !)

