

*Cursul*

2

# DESCRIEREA CULORILOR

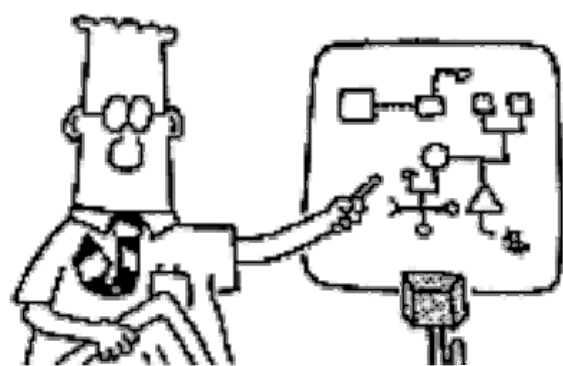
## ACHIZITIA IMAGINILOR COLOR CU CAMERE FOTO DIGITALE

---

C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



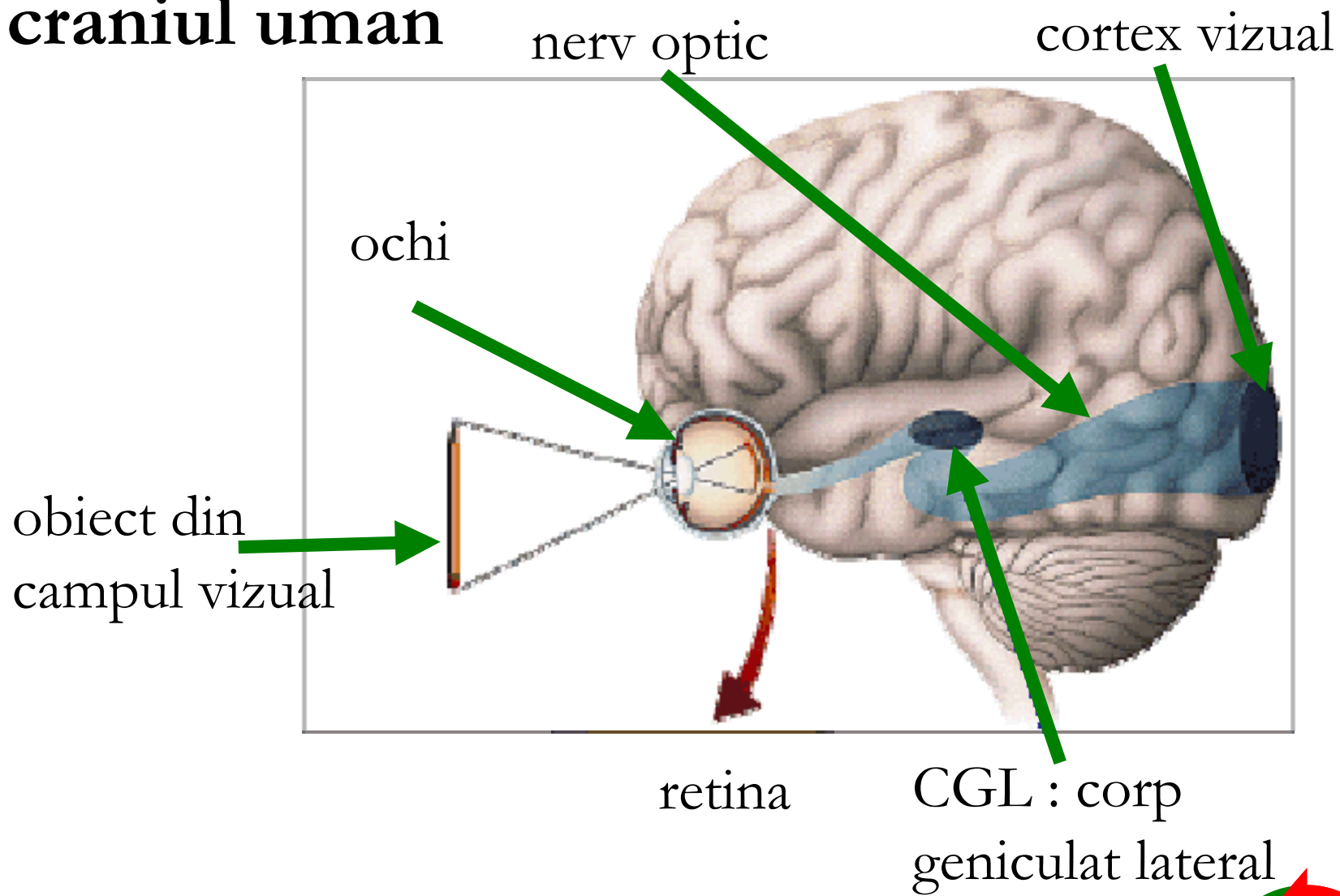


Sistemul vizual uman: perceptia vizuala

Descrierea culorilor

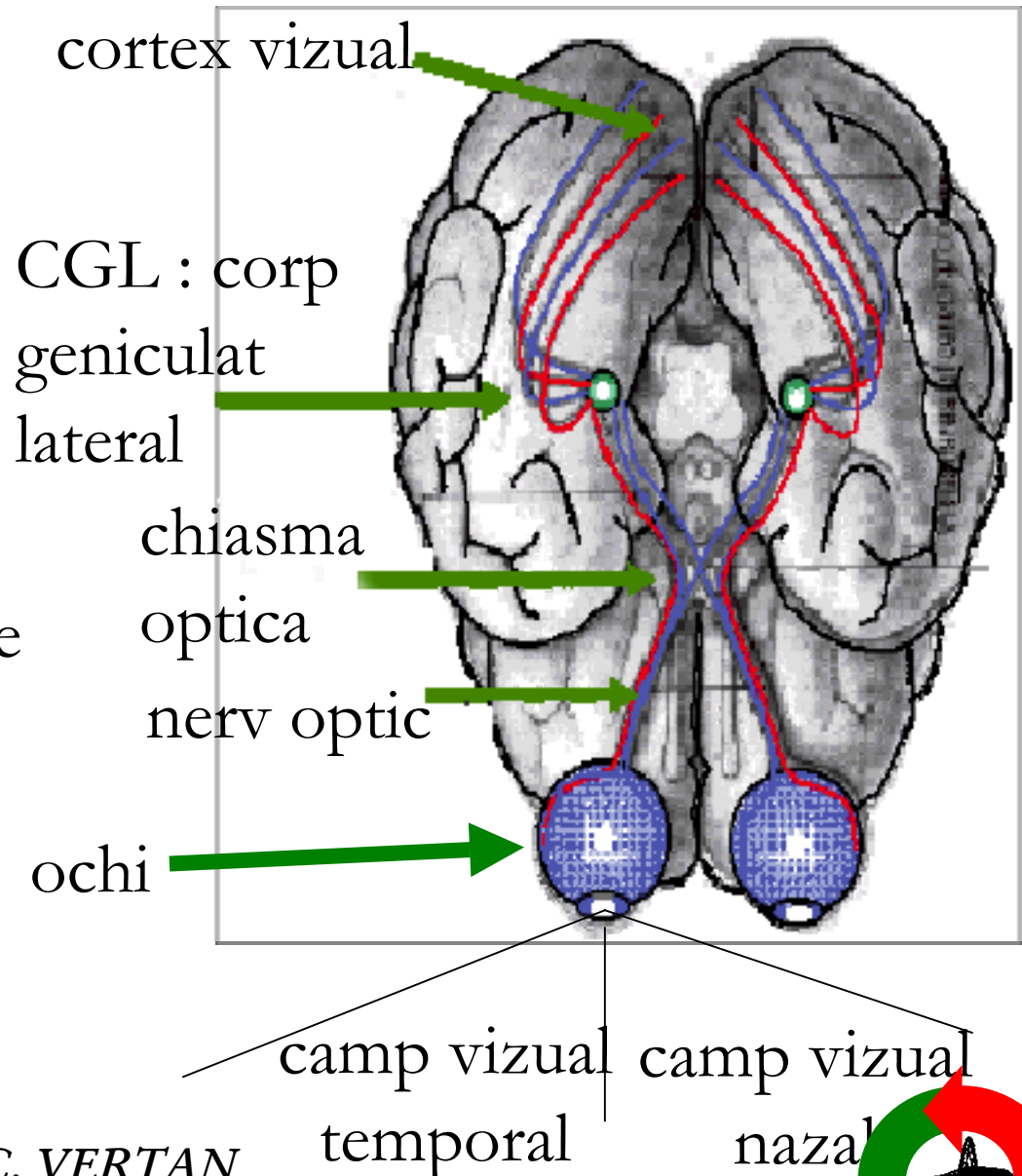
Camera digitala color: structura de baza

# Secțiune laterală prin craniul uman



# Secțiune transversală prin craniul uman

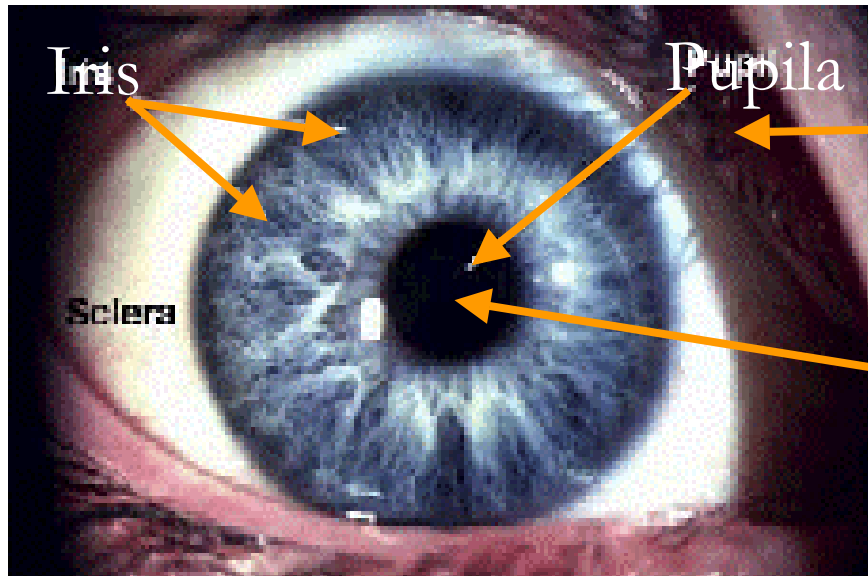
Fiecare ramură a nervului optic are fascicule separate pentru campurile vizuale.



C. VERTAN

# Ochiul uman : vedere exterioara

Iris - muschi circular de control al deschiderii pupilei

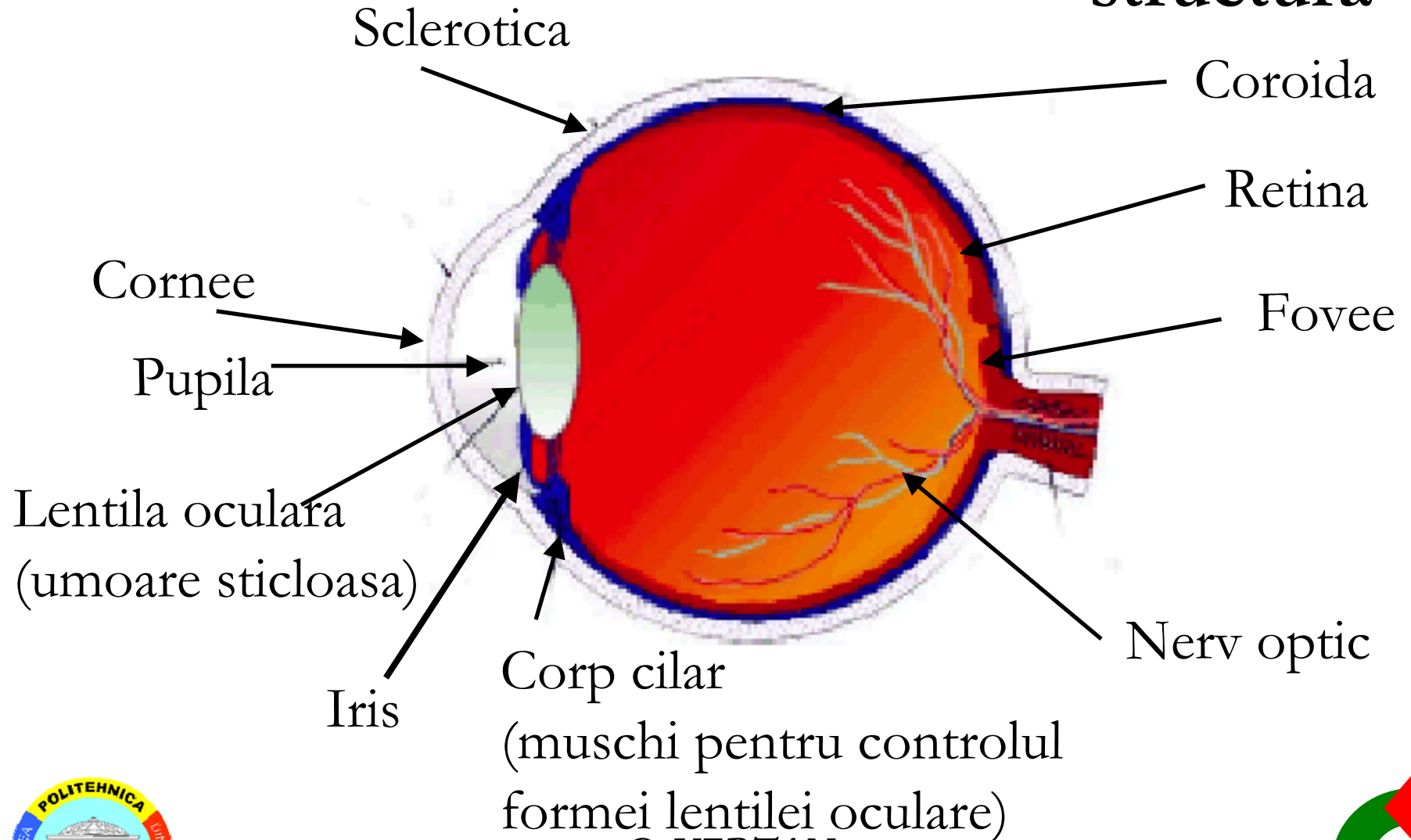


Pleoapa  
(protectie mecanica)

Fanta reglabila pentru  
captarea luminii

Pozitia ochiului este reglata prin sase muschi.

# Ochiul uman : structura

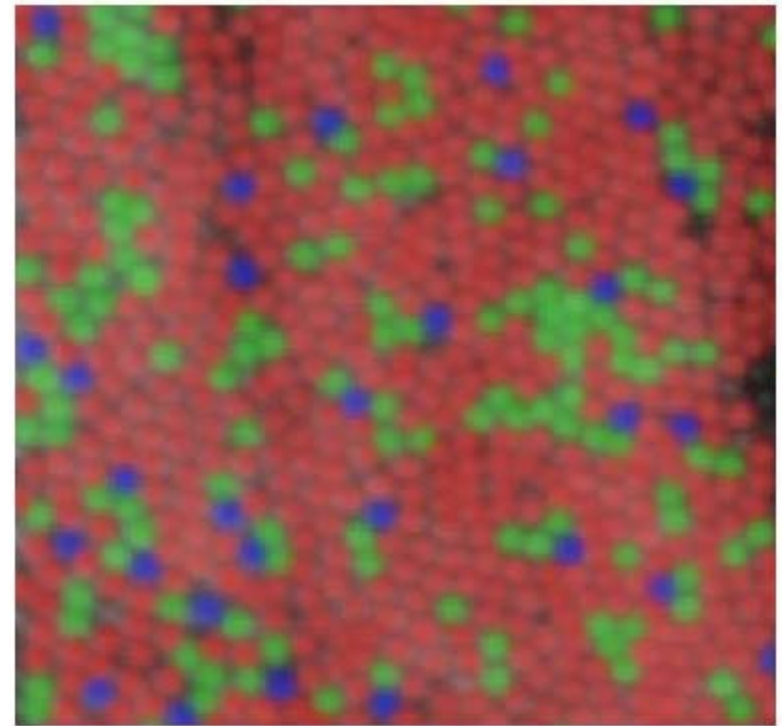


C. VERTAN



# Retina

Vedere la microscop



fovea

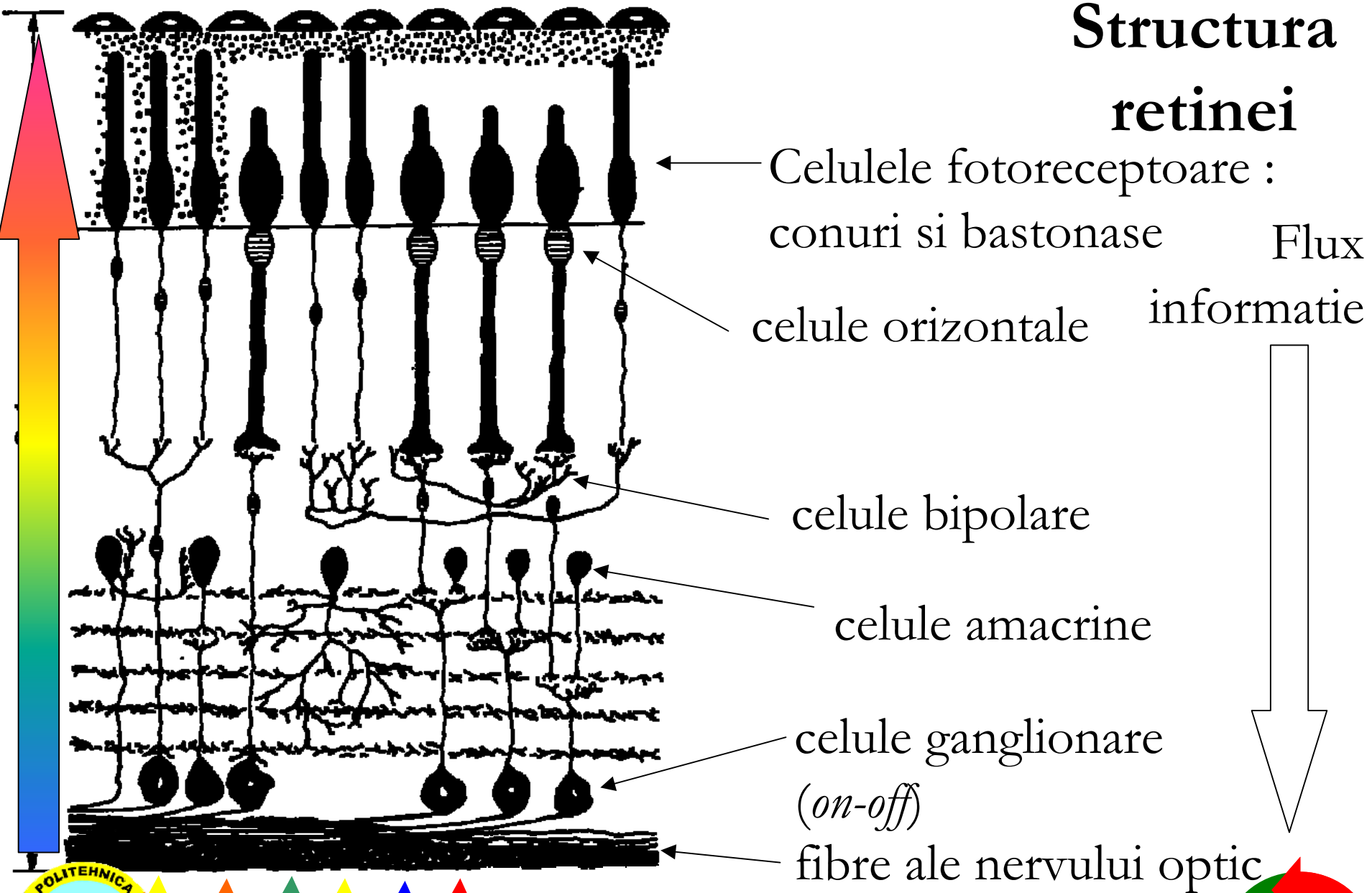
nerv  
optic

Retina ochiului uman

Vedere prin oftalmoscop

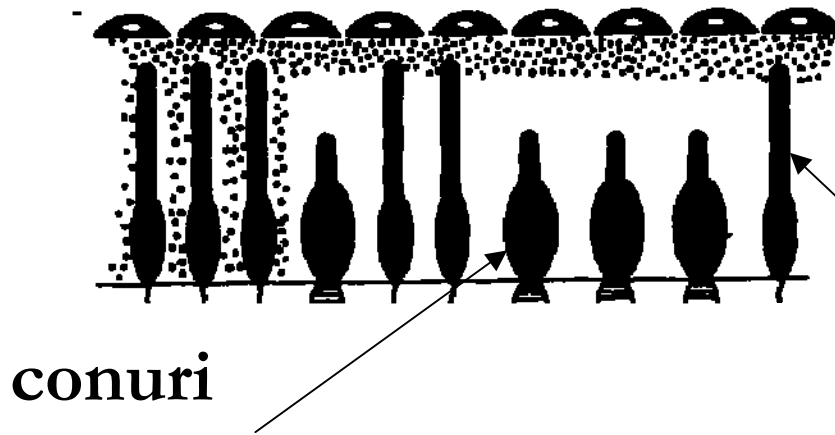
Celulele fotoreceptoare :  
conuri si bastonase

# Structura retinei





# Structura retinei : celule receptoare



bastonase

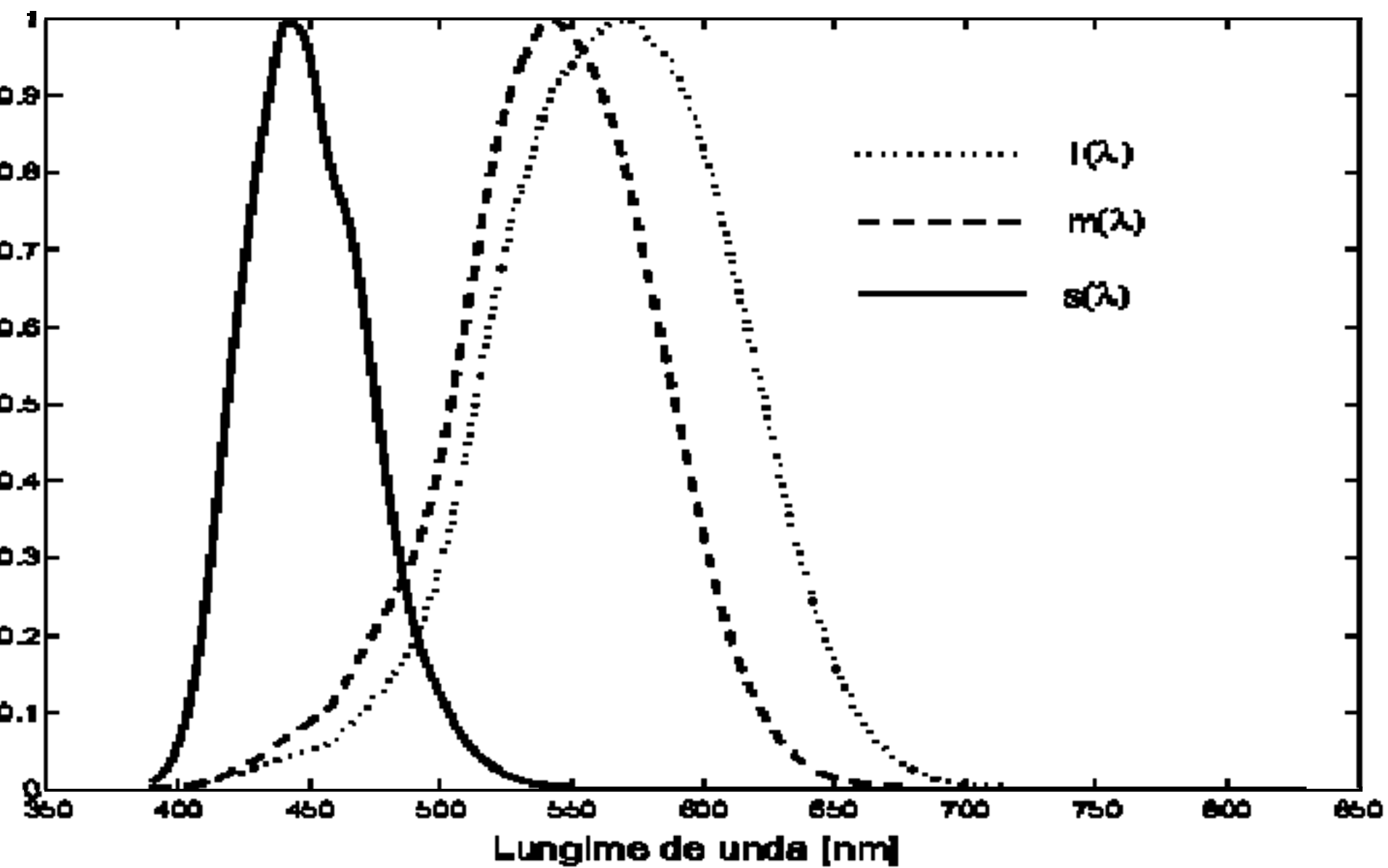
conuri  
pentru vederea diurna  
sensibilitate luminoasa mica

rezolutie spatiala mare

adaptate la diferite lungimi de unda a  
radiatiei luminoase (S, M, L)

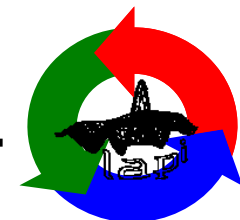
pentru vederea nocturna  
sensibilitate luminoasa mare

rezolutie spatiala mica



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



Cateva numere :

aria retinei :

5 x 5 mm

numar conuri :

5 milioane

numar bastonase :

100 milioane

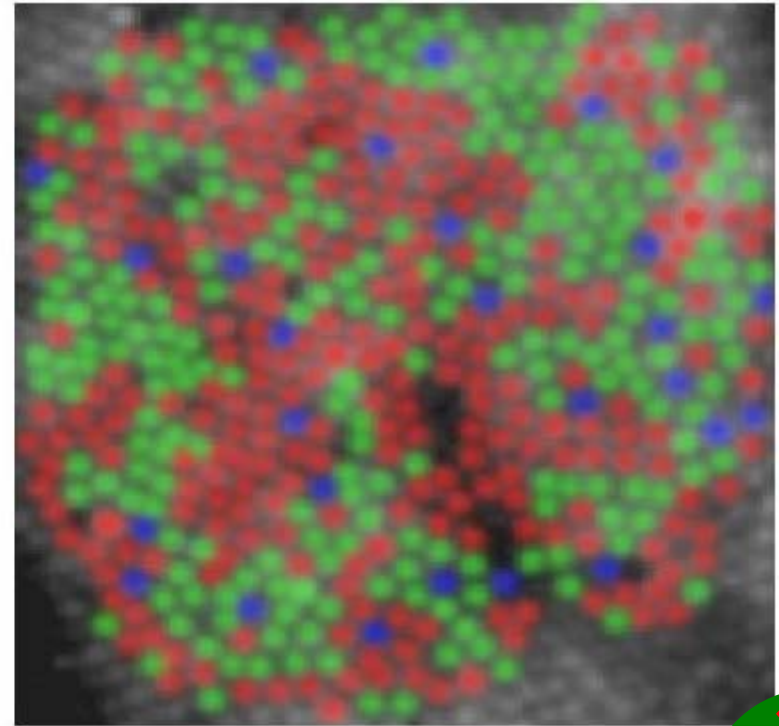
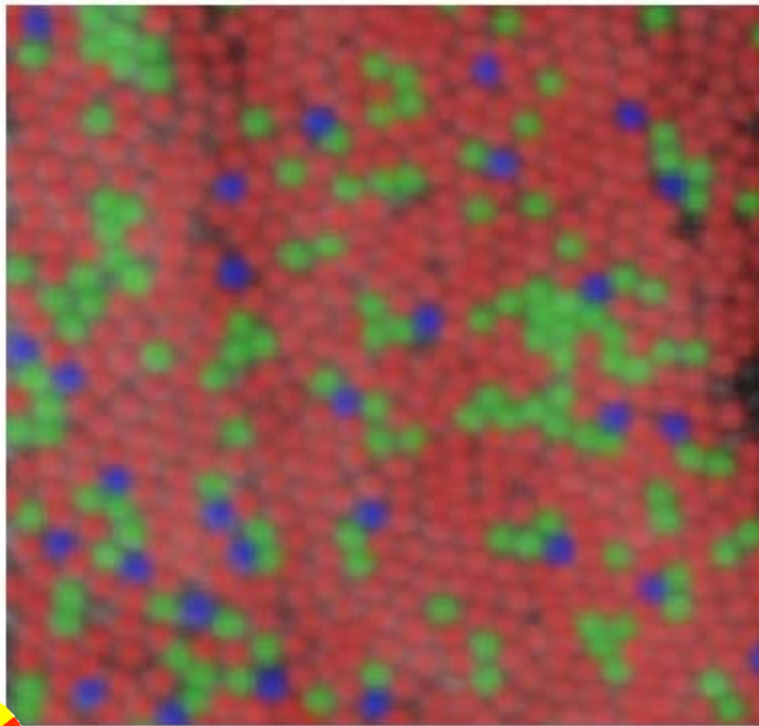
numar fibre ale nervului optic :

1,6 milioane

densitate maxima conuri :

0,16 milioane / mm<sup>2</sup>

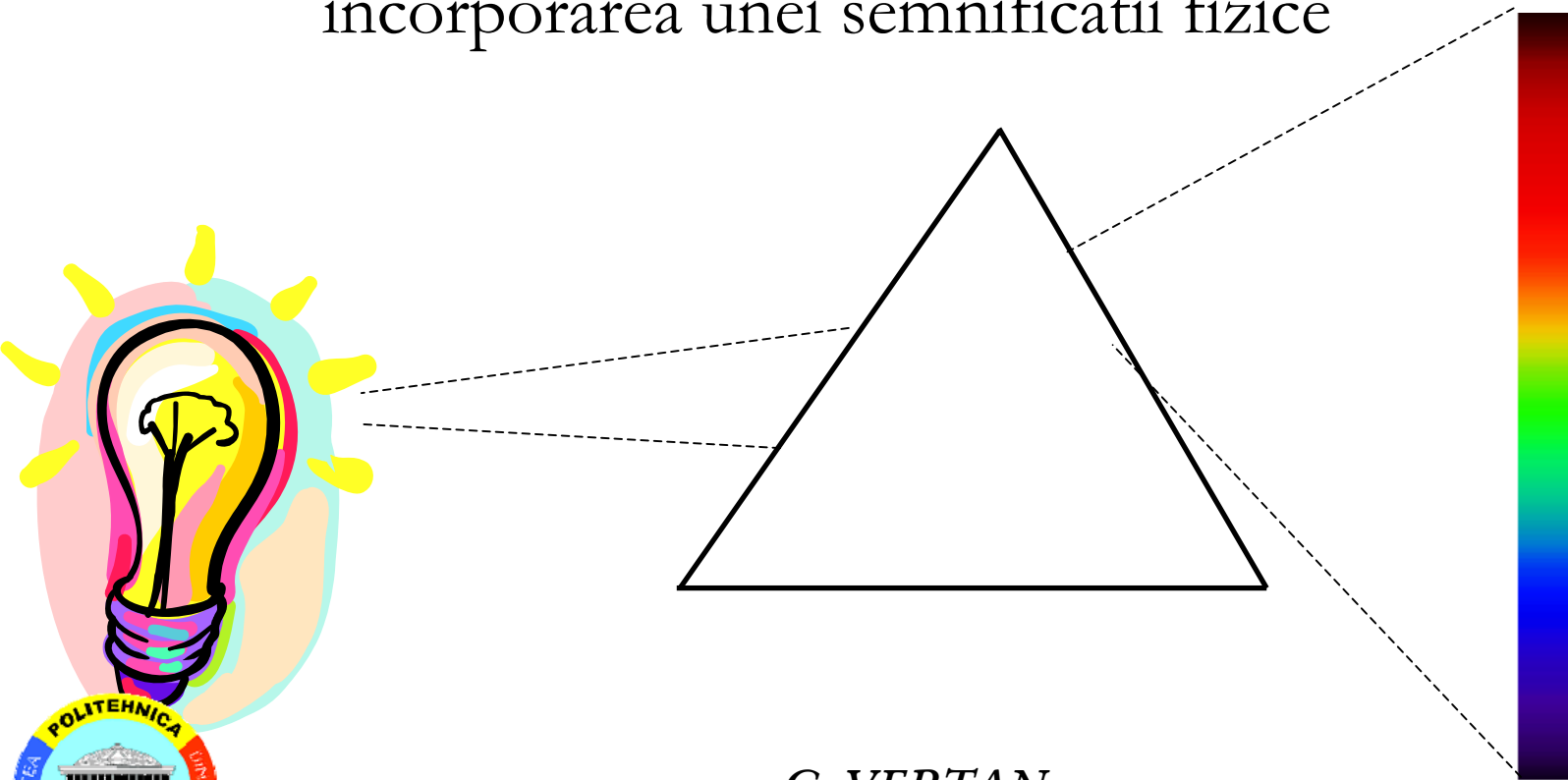
# Structura retinei



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

Trebuie realizata o specificare numerica a culorii :  
uniformitatea denumirii  
repetabilitatea crearii senzatiei de culoare  
pastrarea principiului de diferenta de culoare  
(culori opuse)  
incorporarea unei semnificatii fizice



*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



Lumina vizibila : portiune a spectrului electromagnetic din domeniul lungimilor de unda de  $[360 \text{ nm}, 830 \text{ nm}]$  (sau  $[380 \text{ nm}, 780 \text{ nm}]$ ).

O radiatie luminoasa este caracterizata de distributia spectrala de energie  $f(\lambda)$ .

Dupa cum am vazut, fiecare tip de fotoreceptor din retina (con) are o caracteristica spectrala proprie  $C_i(\lambda)$  ; raspunsul unui con la radiatia luminoasa  $f$  este :

$$c_i = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} C_i(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Teoria tricromaticitatii

Young, Grassman, Maxwell :

orice culoare poate fi reprodusa ca amestec  
(aditiv sau substractiv) a trei culori primare

porneste de la realitatea biologica a fiziologiei sistemului vizual

are suport matematic

O culoare este un triplet de numere, corespunzand proiectiei  
spectrului radiatiei luminoase pe functiile caracteristice ale  
spectrelor “primare” .



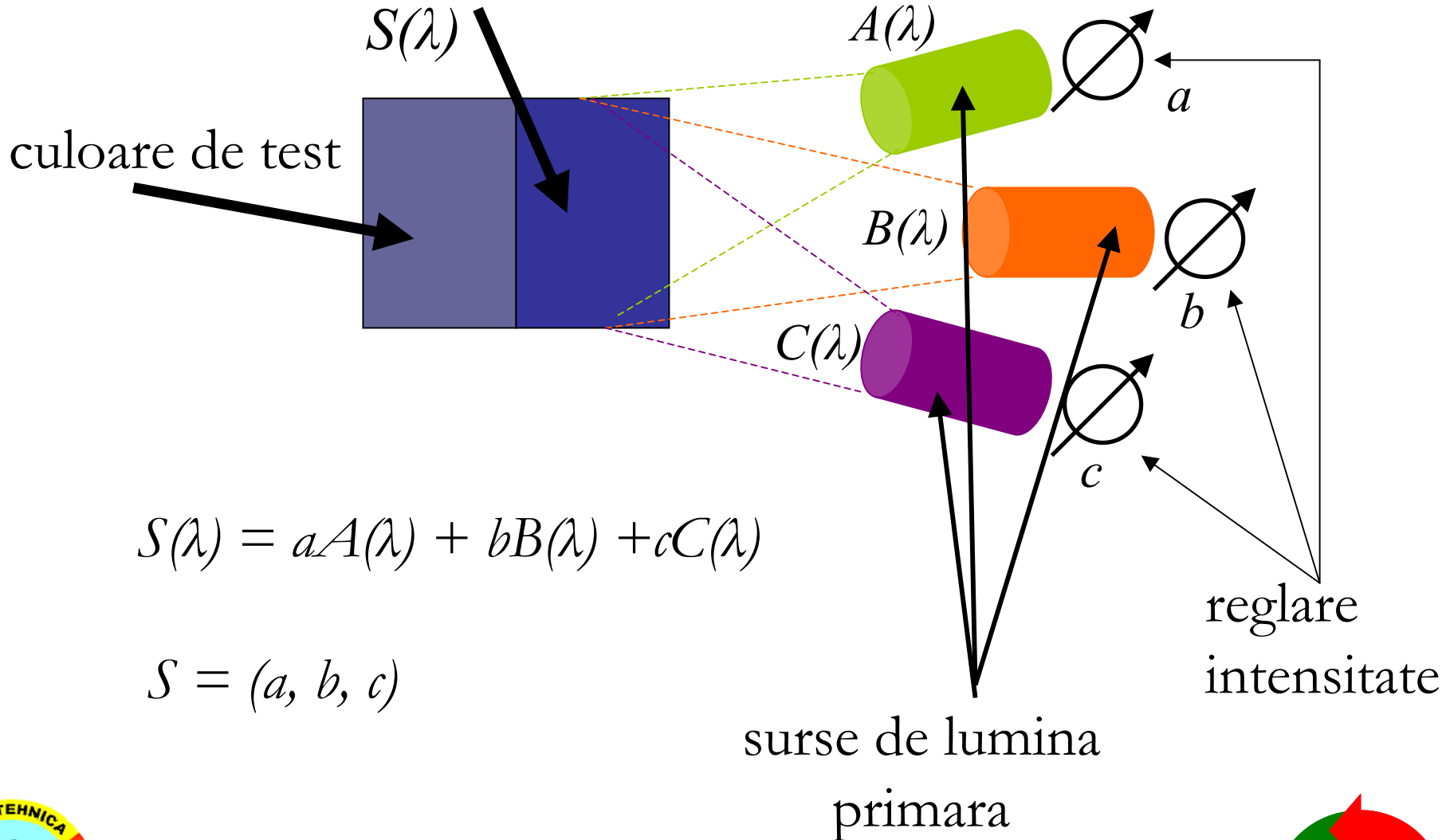
*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Amestec aditiv

culoare sintetizata  
prin amestec aditiv

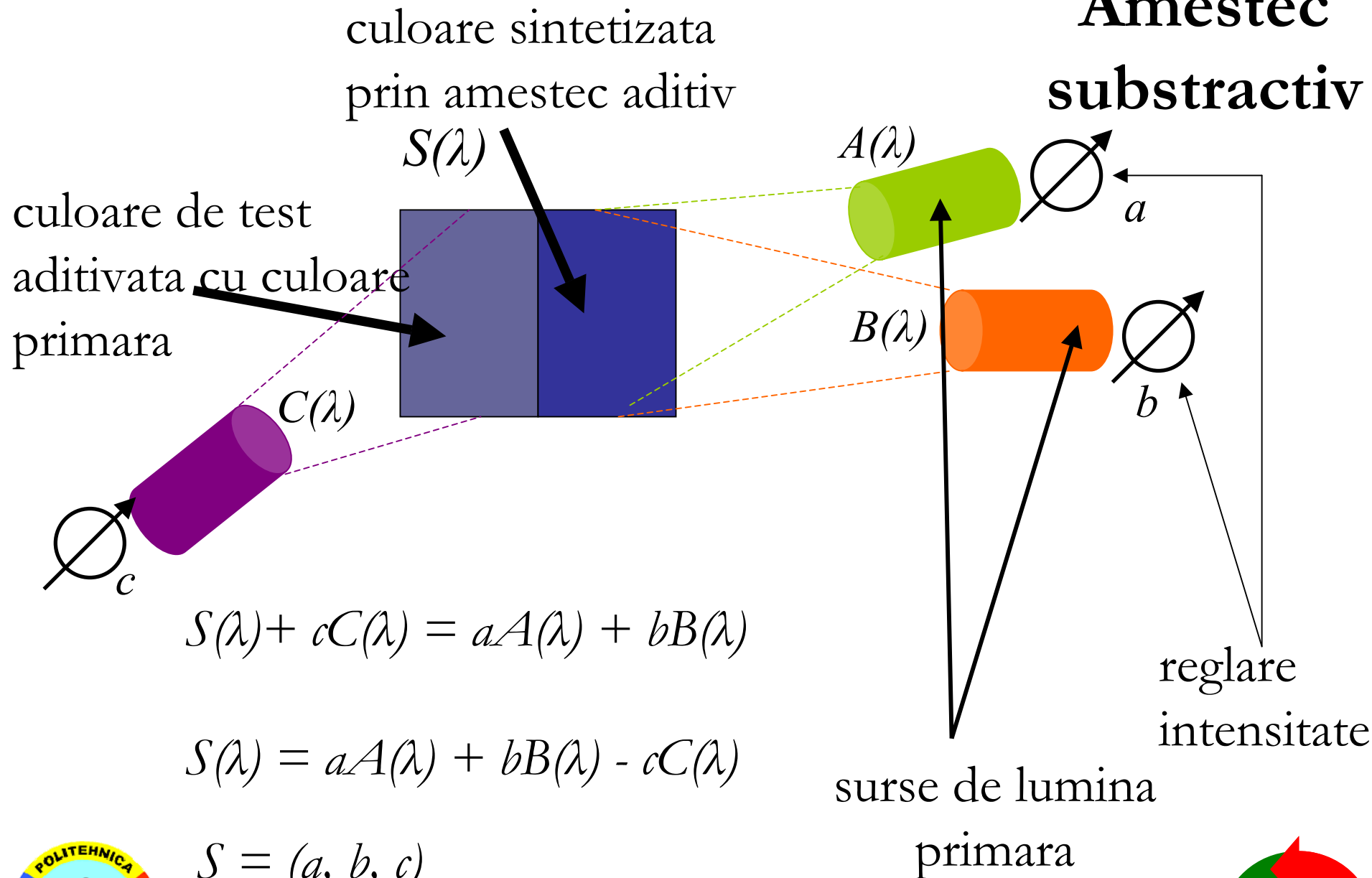


C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Amestec subtractiv



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

In practica: spectrele luminoase sunt esantionate la interval de cel mult  $10 \text{ nm}$ ; ecuatiile capata forma discreta.

$$a = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} A(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j A_j f_j$$
$$b = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} B(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j B_j f_j$$
$$c = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j C_j f_j$$

Reprezentarea unei culori prin tripletul (a, b, c) este univoca si universala daca  $A(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ ,  $C(\lambda)$ , sunt standardizate.

# Tipuri de sisteme colorimetrice :

sisteme primare de reprezentare (RGB, XYZ)

sisteme tehnice derivate liniar (NTSC, PAL, SECAM)

sisteme perceptuale derivate liniar (culori opuse, Ohta)

sisteme cu cromaticitate uniforma (Lab)

sisteme perceptuale neliniare (HSV, Munsell)



*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Standardizarea

*CIE - Comité International de l'Eclairage*

Sisteme colorimetrice de reprezentare - recomandarea CIE 1931 stabileste doua sisteme primare de reprezentare: RGB si XYZ.

**RGB** - (Red, Green, Blue) :

culorile primare sunt spectre monocromatice de lungimi de unda de  $700\text{ nm}$ ,  $546,1\text{ nm}$  si  $435,8\text{ nm}$ .

intensitatile sunt astfel alese incat valorile tristimulus asociate luminii albe sunt egale si unitare.

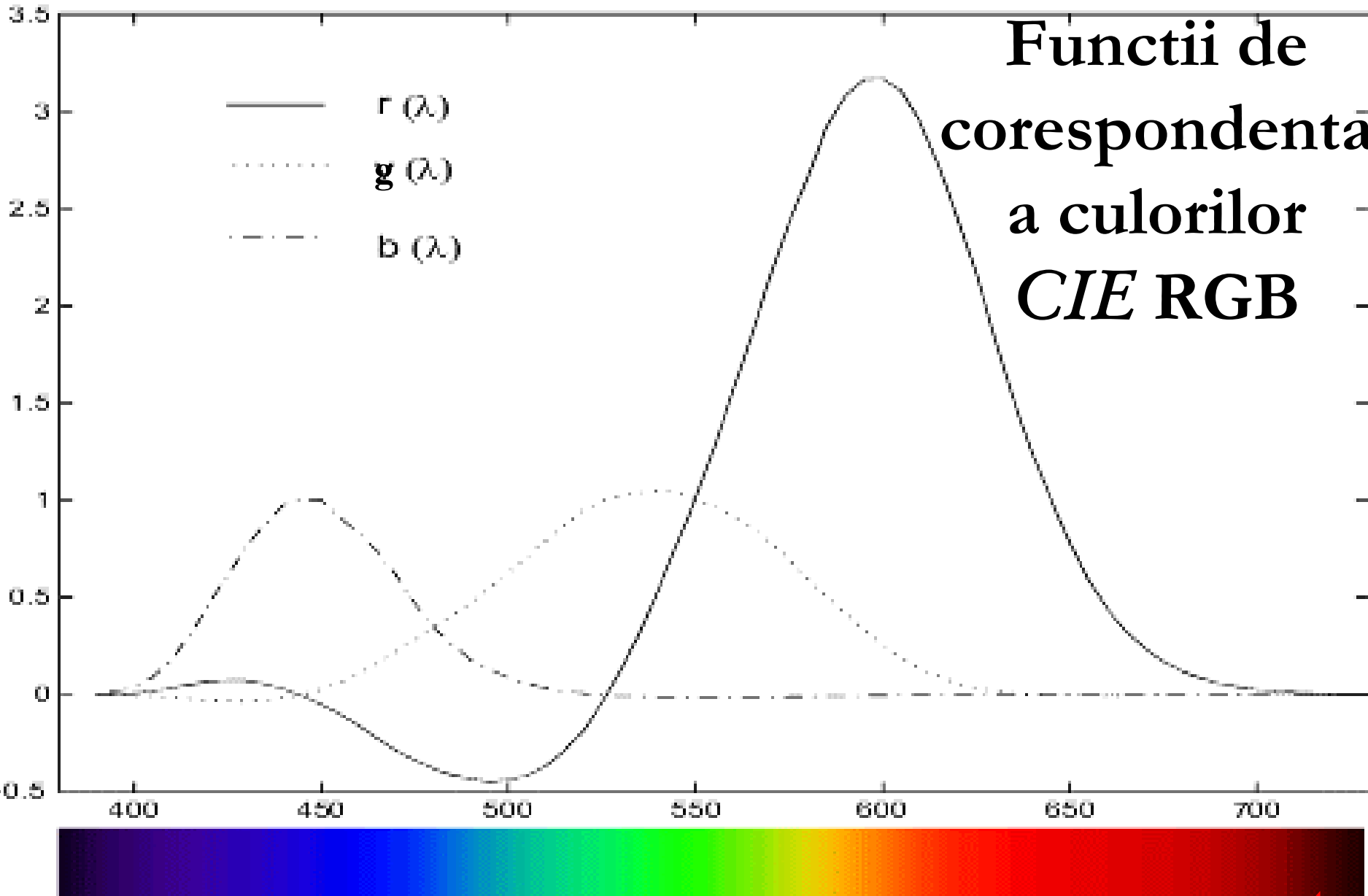


C. VERTAN

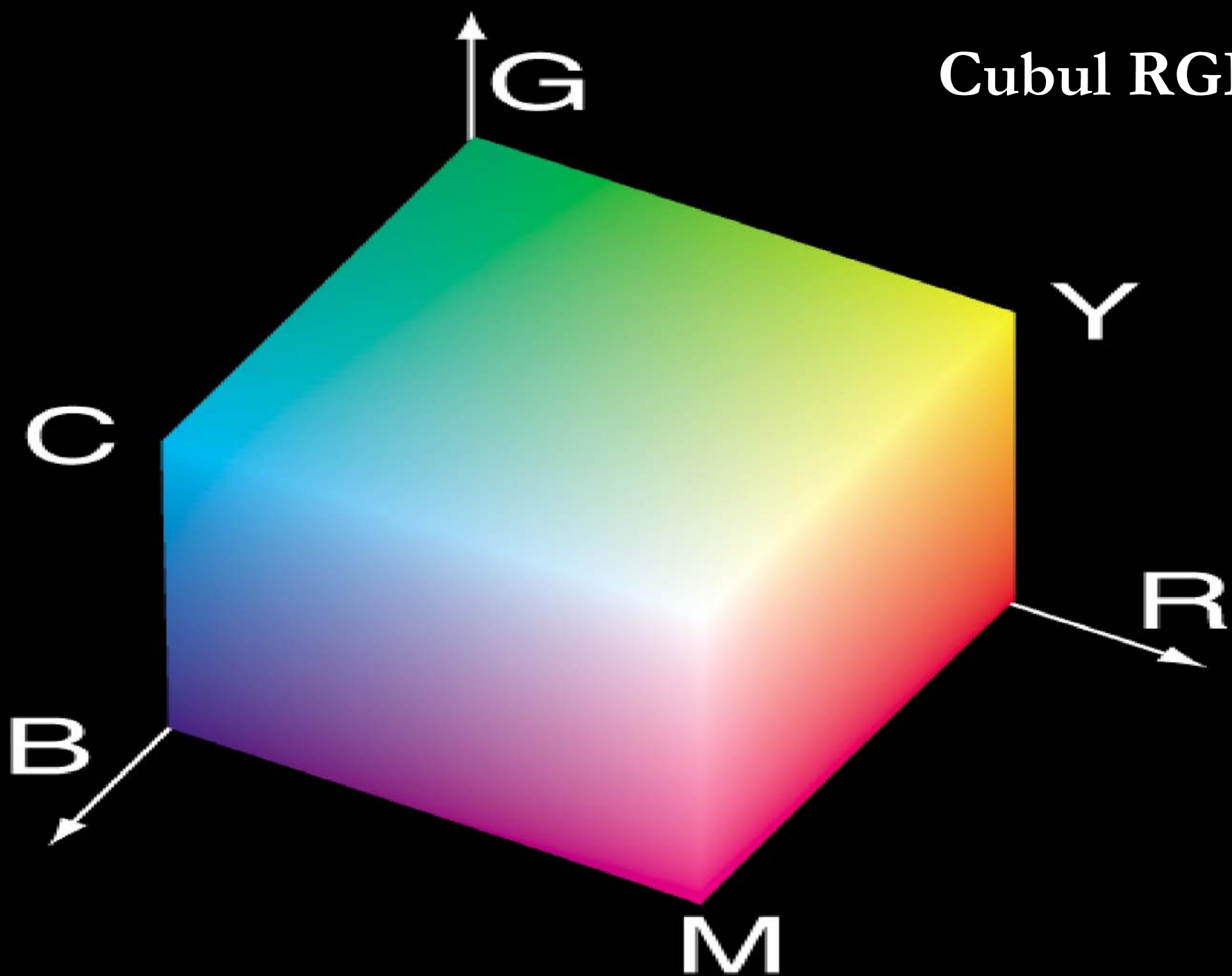
LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Funcții de corespondență a culorilor *CIE* RGB



Cubul RGB



Culorile fizic realizabile prin amestecul aditiv de culori primare (gamut-ul de culoare) RGB sunt situate într-un cub (valorile tristimulus sunt asociate unor coordonate carteziane).

Deși culorile primare sunt fizic realizabile, nu toate valorile tristimulus sunt pozitive (există culori fizice ce nu pot fi sintetizate prin amestecul aditiv al componentelor primare RGB).

Spatiul este cu variație neuniformă - distanțele euclidiene între reprezentările tristimulus nu corespund distanțelor perceptuale dintre culorile corespunzătoare.

:-) Calcularea valorilor tristimulus prin folosirea de adunări și scăderi alternate nu era exactă din cauza erorilor operatorilor umani ce operau mașinile de calcul - s-a dorit deci găsirea unor alte metode, pentru care valorile tristimulus să fie doar pozitive.

*C. VERTAN*



**XYZ** - transformare liniara a valorilor tristimuls RGB astfel incat :

orice culoare fizica monocromatica sa fie caracterizata de valori tristimulus pozitive

componenta Y sa fie o masura a eficientei luminoase (deci a luminantei culorii)

pentru o lumina alba valorile tristimulus sa fie egale.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,490 & 0,310 & 0,200 \\ 0,177 & 0,813 & 0,011 \\ 0,000 & 0,010 & 0,990 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

C. VERTAN

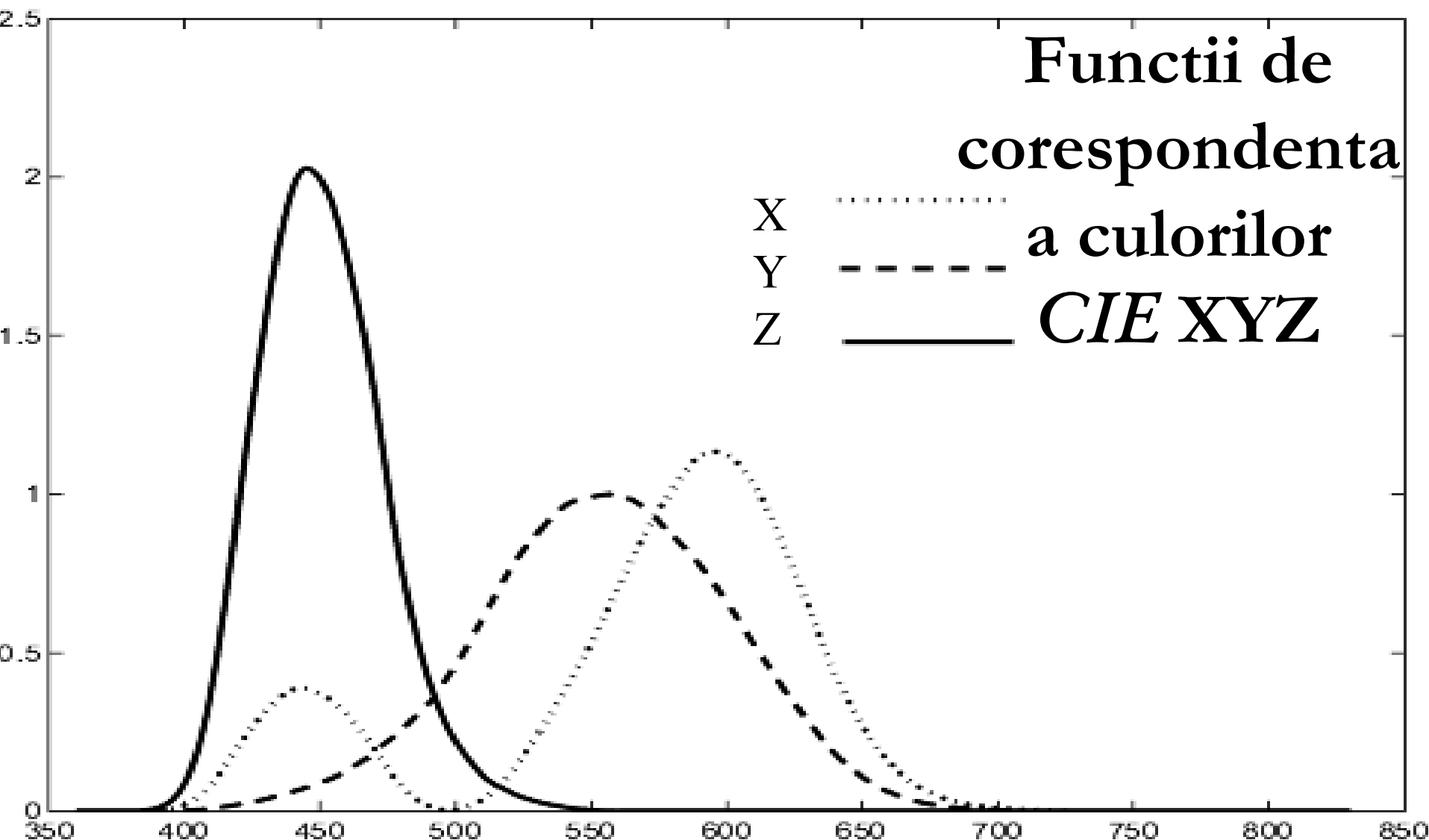
LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPi



# Functii de corespondenta

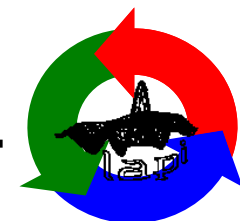
X .....  
Y - - - - -  
Z \_\_\_\_\_

a culorilor  
*CIE XYZ*



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

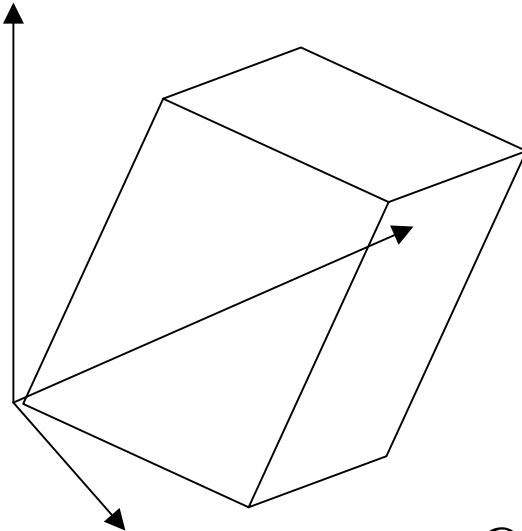


**XYZ**

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,490 & 0,310 & 0,200 \\ 0,177 & 0,813 & 0,011 \\ 0,000 & 0,010 & 0,990 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Matricea transformarii nu este unitara, si deci transformarea nu este o rotatie a cubului RGB cu tot cu sistemul de coordonate.

Gamut-ul de culoare XYZ este un “paraleliped inclinat”



*C. VERTAN*

# Coordonate de cromaticitate

Normalizare a valorilor tristimulus ( $T_1, T_2, T_3$ ):

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{T_1}{T_1 + T_2 + T_3} \\ t_2 &= \frac{T_2}{T_1 + T_2 + T_3} \\ t_3 &= \frac{T_3}{T_1 + T_2 + T_3} \end{aligned} \right\} t_1 + t_2 + t_3 = 1$$

cele trei valori sunt liniar dependente;  
pot fi pastrate doar doua, coordonatele  
de cromaticitate.

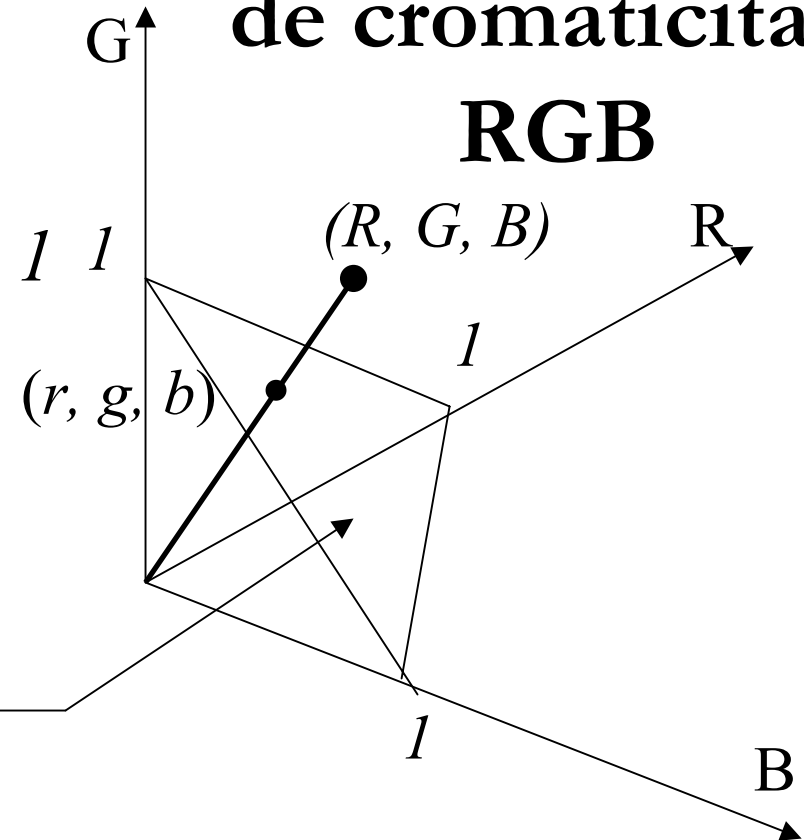
# Coordonate de cromaticitate RGB

$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

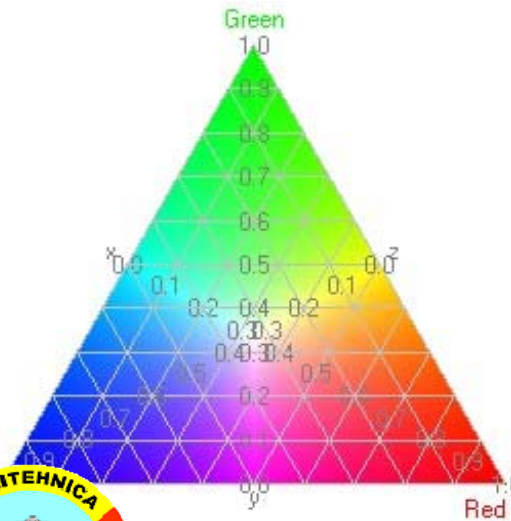
$$g = \frac{G}{R + G + B}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}$$

$$r + g + b = 1$$



Triunghiul  
Maxwell



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



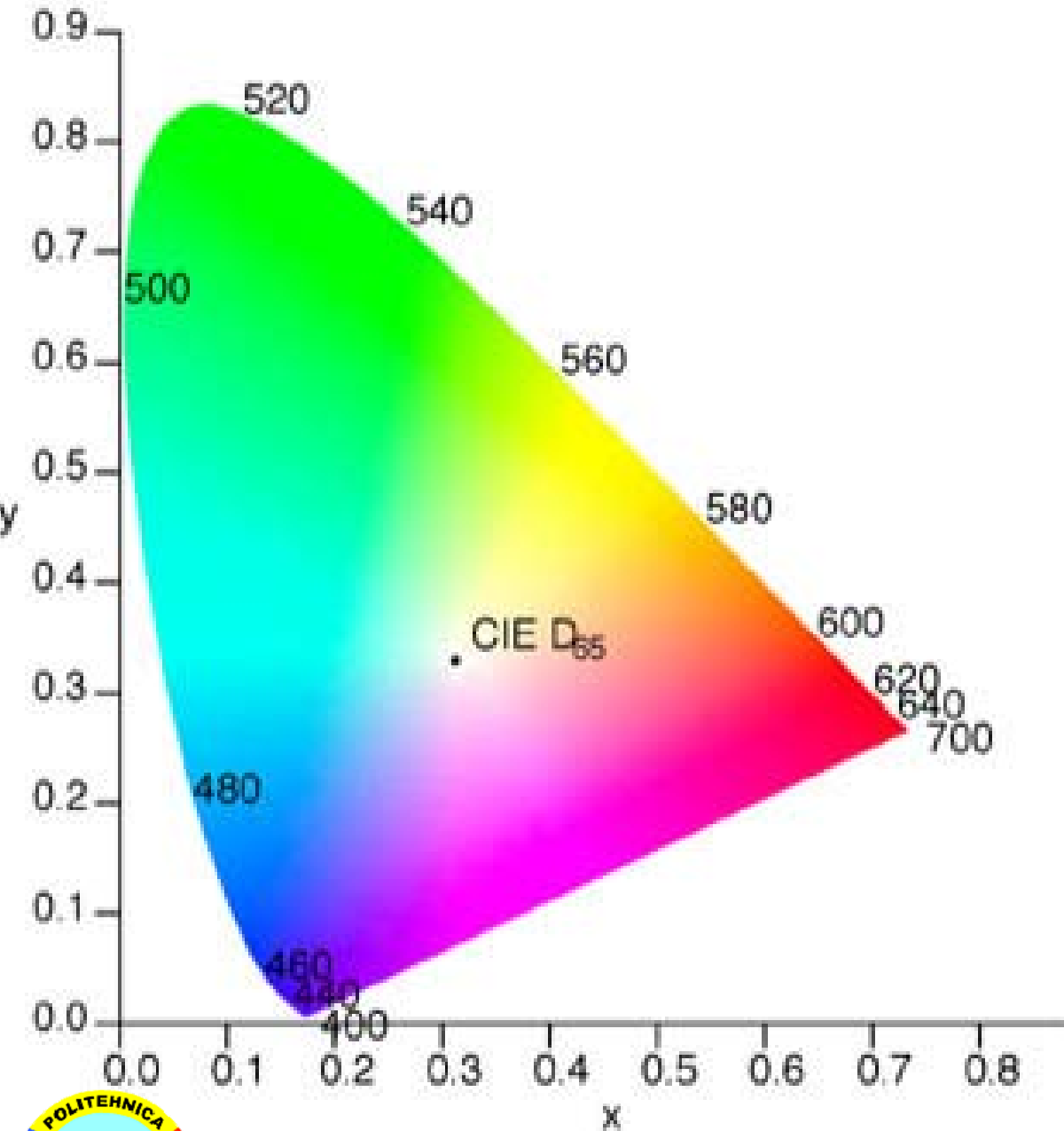
# Coordonate de cromaticitate **XYZ**

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

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

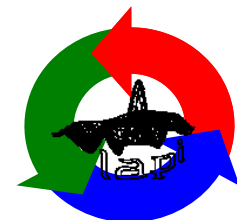
$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

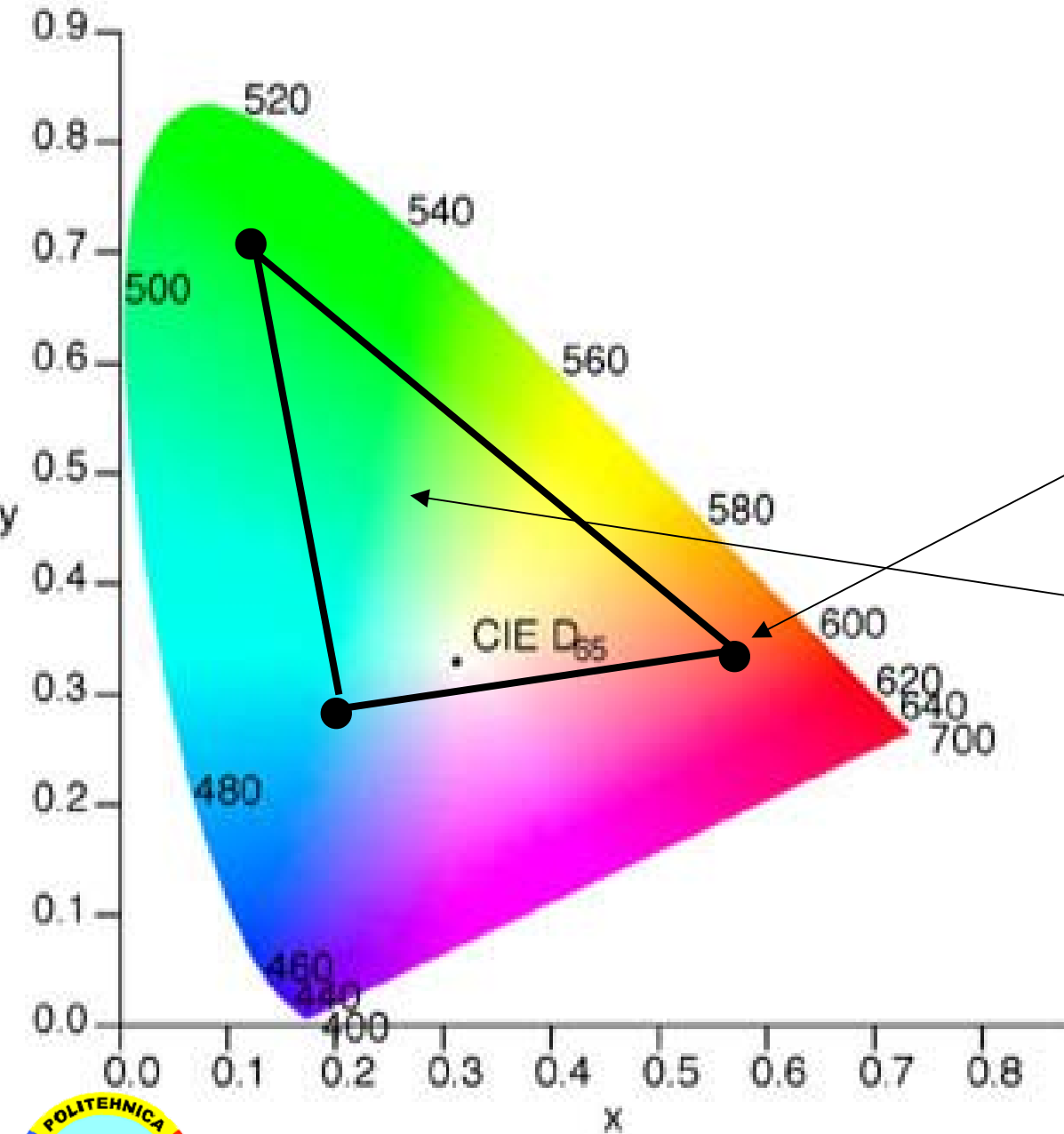


C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Gamut-ul reprezentabil



culori primare

culori realizabile  
prin amestec aditiv



# NTSC receptor

# Standarde de televiziune

SMPTE

*(Society of Motion Picture and Television Engineers)*

corespunde culorilor primare realizate de afisajele cu fosfor (tuburi catodice)

$$\begin{pmatrix} R_r \\ G_r \\ B_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,842 & 0,156 & 0,091 \\ -0,129 & 1,319 & -0,203 \\ 0,008 & -0,069 & -0,897 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# NTSC

# Standarde de televiziune

National Television Standard Committee  
(*Never Twice the Same Color*)

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,597 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,437 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$Y$  este componenta de luminanta;  $I$ ,  $Q$  sunt diferite cromatice

$$Y \approx 0,3R + 0,6G + 0,1B$$

$$I = 0,493(B - Y)$$

$$Q = 0,877(R - Y)$$

C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# PAL

# Standarde de televiziune

Phase Alternating Lines

*(Peace At Last)*

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,597 & 0,114 \\ 0,196 & -0,274 & -0,322 \\ -0,211 & -0,523 & 0,312 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$Y$  este componenta de luminanta;  $U$ ,  $V$  sunt diferente cromatice  
Componentele de crominanta se pot subesantiona (1:2)

$$Y \approx 0,3R + 0,6G + 0,1B$$

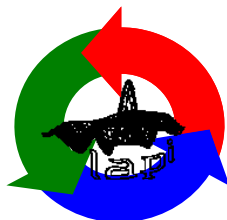
$$U = 0,74(R - Y) - 0,27(B - Y)$$

$$V = 0,48(R - Y) + 0,41(B - Y)$$



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# SECAM

# Standarde de televiziune

Sequentiel à Memoire

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,597 & 0,114 \\ -0,169 & -0,331 & 0,500 \\ 0,500 & -0,418 & -0,031 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$Y$  este componenta de luminanta;  $Cb$ ,  $Cr$  sunt diferente cromatice

Componentele de crominanta se pot subesantiona (1:2)

Se foloseste si in compresia JPEG



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

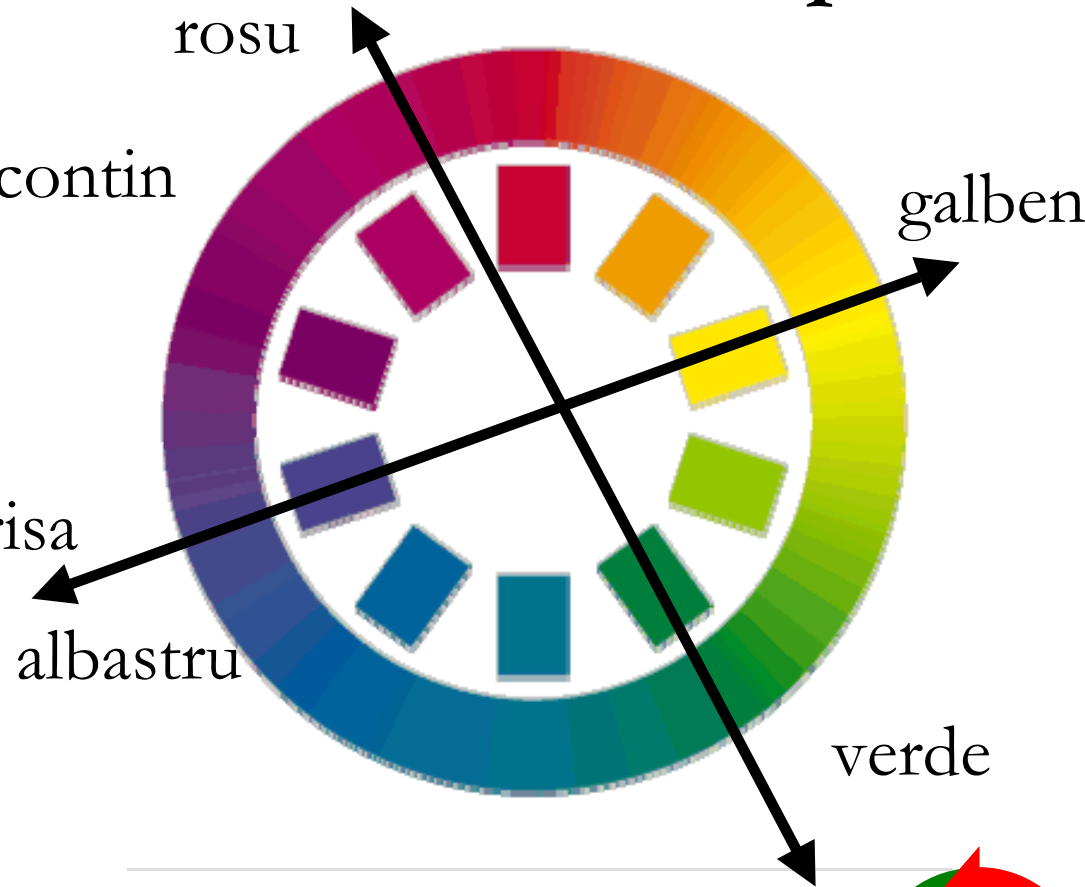


Experimentele lui **Hering** : aranjarea de catre observatori pe un cerc in plan a unor esantioane de culoare, a. i. culorile similare sa fie vecine.

## Spatiul culorilor opuse

Jumatati opuse ale cercului contin rosu si respectiv verde, sau galben si respectiv albastru.

Nici o culoare nu este descrisa ca fiind simultan ;  
rosie si verde,  
galbena si albastra.



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



Culorile opuse sunt :

rosu - verde

galben - albastru

[alb - negru] (prin extensie)

## Spatiul culorilor opuse

Experimentul e sustinut de fenomenul de post-imagine (*afterimage*).

Codare : cat rosu / verde, galben / albastru si alb contine culoarea.

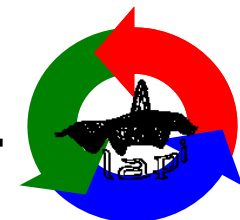
$$\begin{pmatrix} Y \\ O_1 \\ O_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,333 & 0,333 & 0,333 \\ 0,500 & -0,500 & 0,000 \\ -0,250 & -0,250 & 0,500 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

O alta varianta foloseste pentru codarea componentelor opuse raspunsul perceptual (logaritmat) al culorilor primare.



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Sisteme colorimetrice neliniare: Motivatie

Exista neliniaritati intrinseci in mecanismul perceptiei umane (fotodetectorii din retina au o caracteristica logaritmica) si in dispozitivele de achizitie (corectia de  $\gamma$ ).

Trebuie tinut cont de pragul de sensibilitate la culoare a sistemului vizual uman (culori diferite ce arata similar) si trebuie introdusa o distanta intre culori care sa fie proportionala cu distanta perceptuala dintre respectivele culori.

Trebuie folosita o descriere de culoare similara cu descrierea semantica si perceptuala utilizata de observatorii umani.



*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

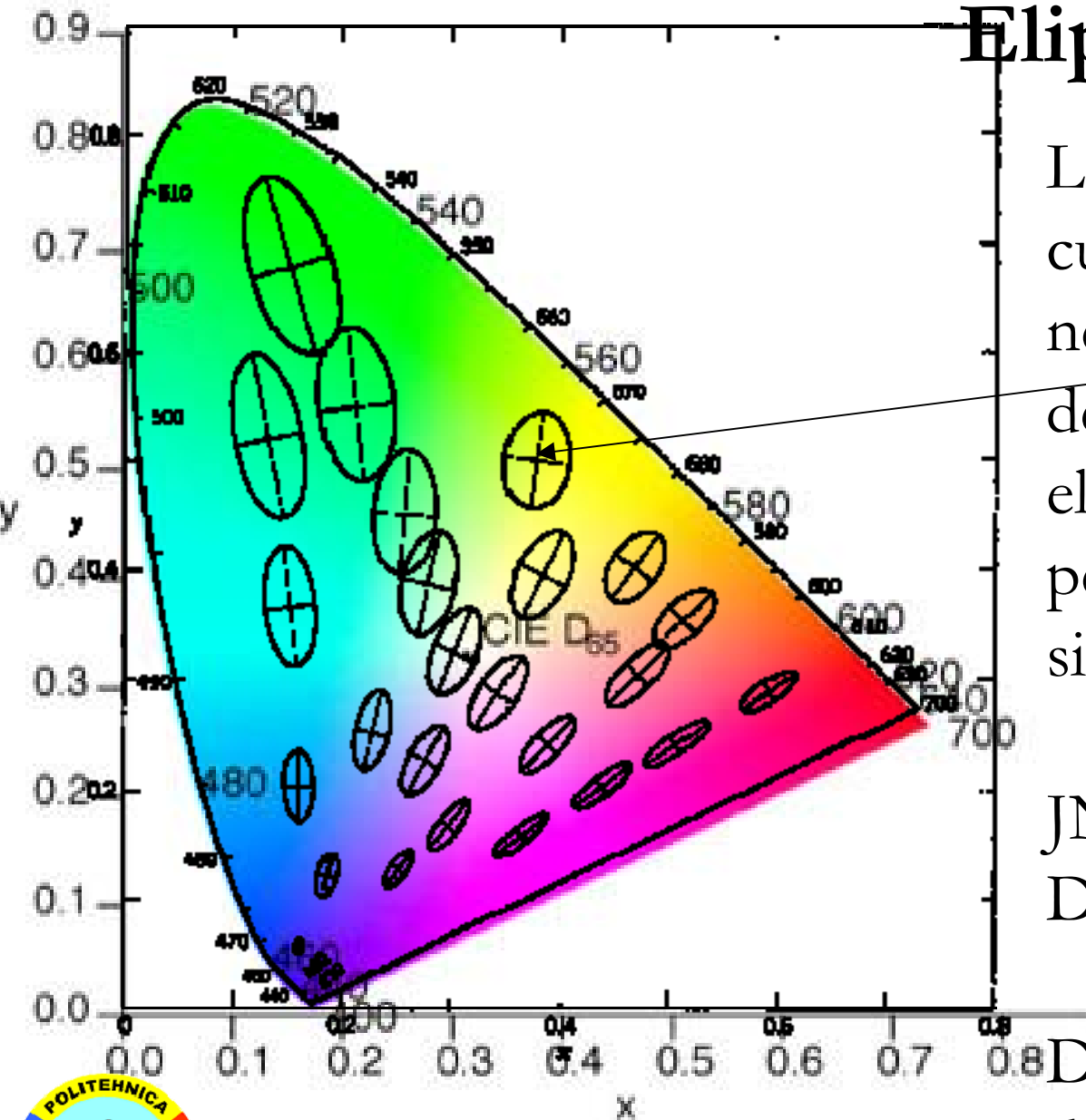


# Elipsele MacAdams

Locul geometric al  
culorilor perceptual  
nediscriminabile fata  
de culoarea centrului  
elipsei (raport 1:20  
pentru factorul de aspect  
si dimensiuni absolute).

JND - Just Noticeable  
Difference

Dorim ca elipsele sa  
devina cercuri.



C. VERTAN



# Spatiul **Yuv**

Spatiu de cromaticitate uniforma (UCS) :

elipsele MacAdams devin aproape circulare (1:1 - 1:2)

si aproape egale in tot spatiul de cromaticitate.

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

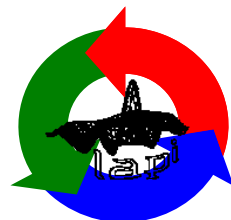
$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z}$$

Distantele Euclidiene dintre numerele  $(u,v)$  si respectiv  $(U,V,W)$  sunt in continuare diferite de distantele perceptuale dintre culori.



*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Spatiul $U^*V^*W^*$

Spatiul de cromaticitate uniforma modificat (UCS modificat):  
translatie cu originea in “albul de referinta”  
neliniaritate a coordonatei de luminanta (“stralucire”)

$$W^* = 116Y^{1/3} - 17$$

$$U^* = 13W^*(u - u_0)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0)$$

$$L = 116 f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - 16$$

**CIE Lab 1976**

$$a = 500 \left( f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right)$$

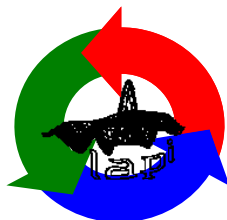
$$b = 200 \left( f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right)$$

unde albul de referinta este  $(X_0, Y_0, Z_0)$  si functia neliniara de transformare a stralucirii este ca la CIE Luv 1976:

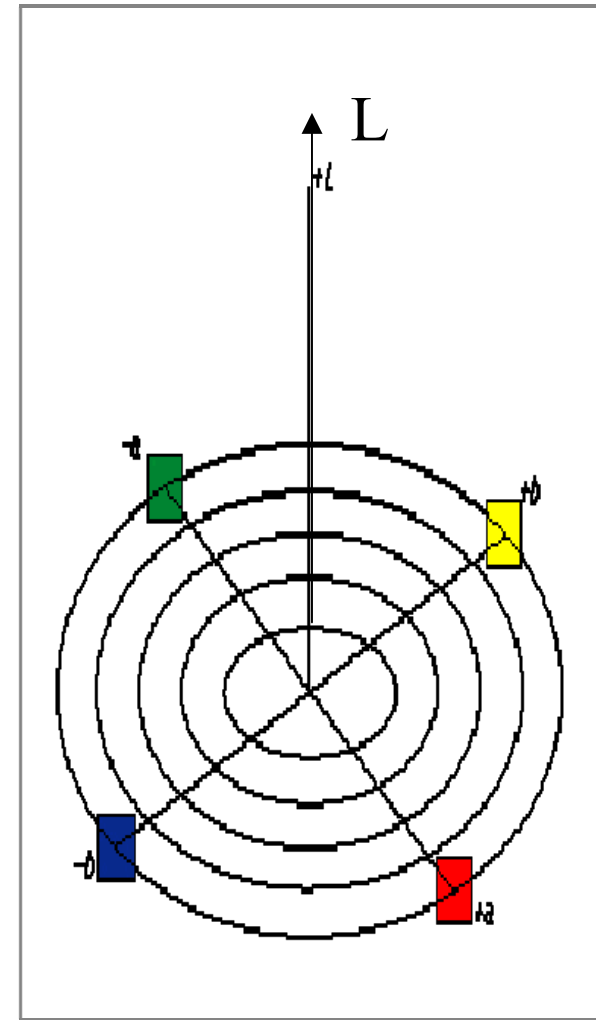
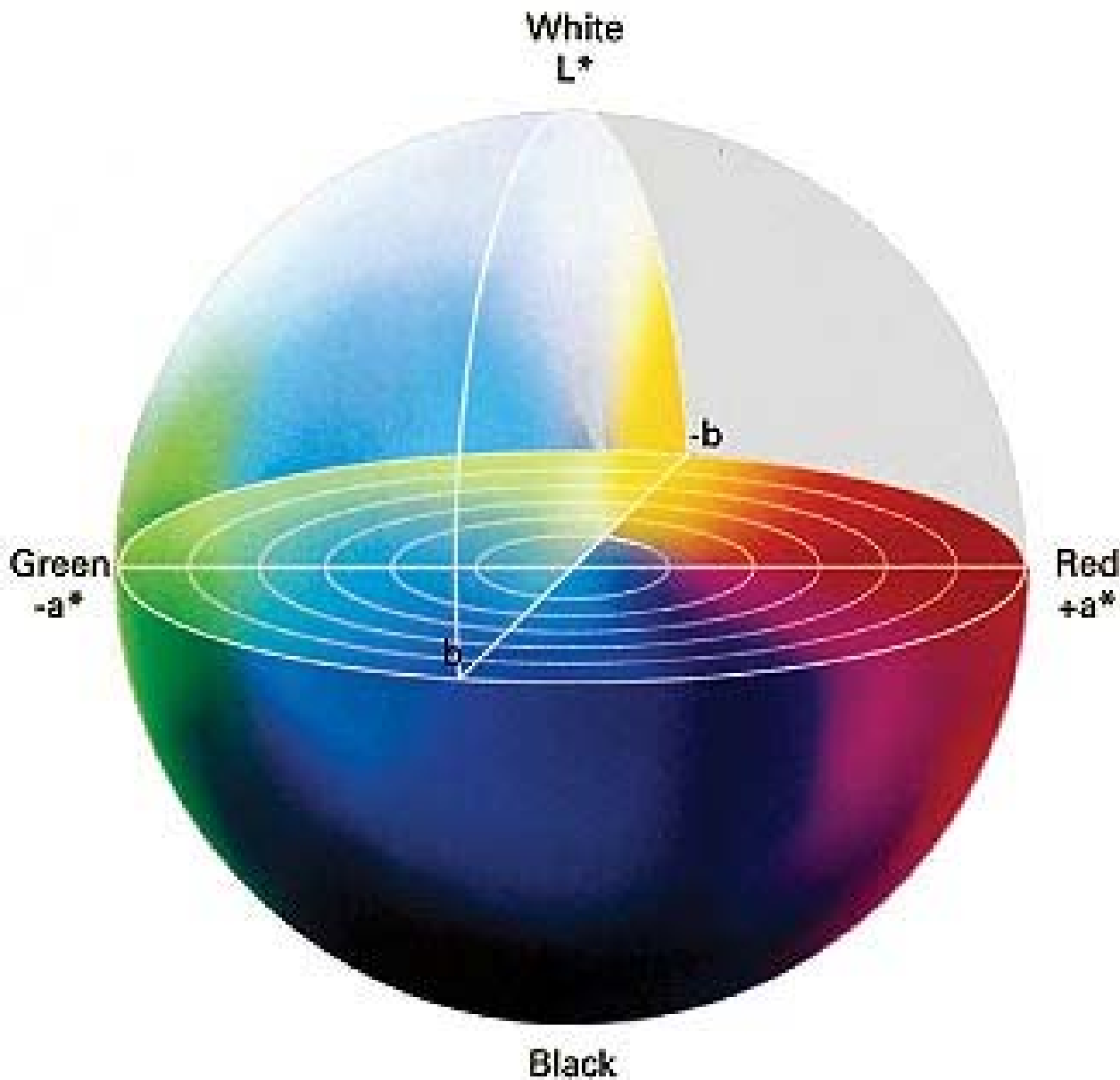
$$f(x) = \begin{cases} x^{1/3}, & x \geq 0.00886 \\ 7.787x + \frac{16}{116}, & \text{in rest} \end{cases}$$

**C. VERTAN**

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# CIE Lab 1976



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



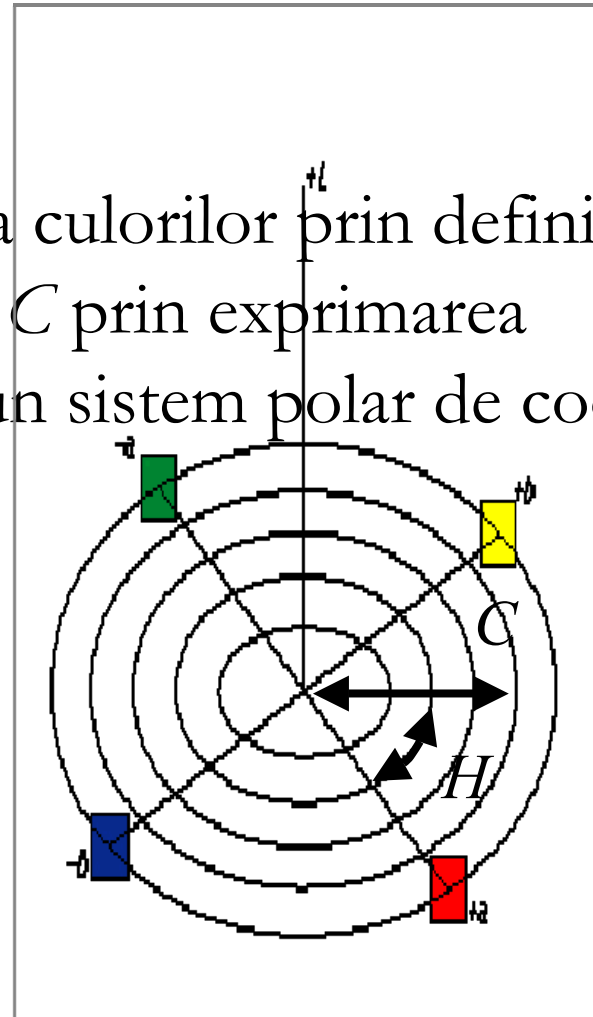
# CIE Lab 1976

Coordonatele de cromaticitate (diferente cromatice)  $a$  și  $b$  sunt independente de luminanța  $L$ .

Se poate face o definire perceptuală a culorilor prin definirea unei “nuante”  $H$  și a unei “saturatii”  $C$  prin exprimarea coordonatelor de cromaticitate într-un sistem polar de coordonate

$$H = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$



C. VERTAN

# CIE Lab 1976

Distanța euclidiană în spațiul Lab corespunde distanței perceptuale dintre culori:

$$\Delta_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

În spațiul Lab, diferența dintre două culori abia perceptibile este definită de o distanță maximă de 2,3.

Spațiul Lab este utilizat în majoritatea aplicațiilor de analiză automată a imaginilor.



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZĂ ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



# Spatii perceptuale : familia HSV

Descrierea culorilor in limbaj natural foloseste o terminologie specifica:

**nuanta** - ce fel de culoare (verde, rosu, galben, ....)

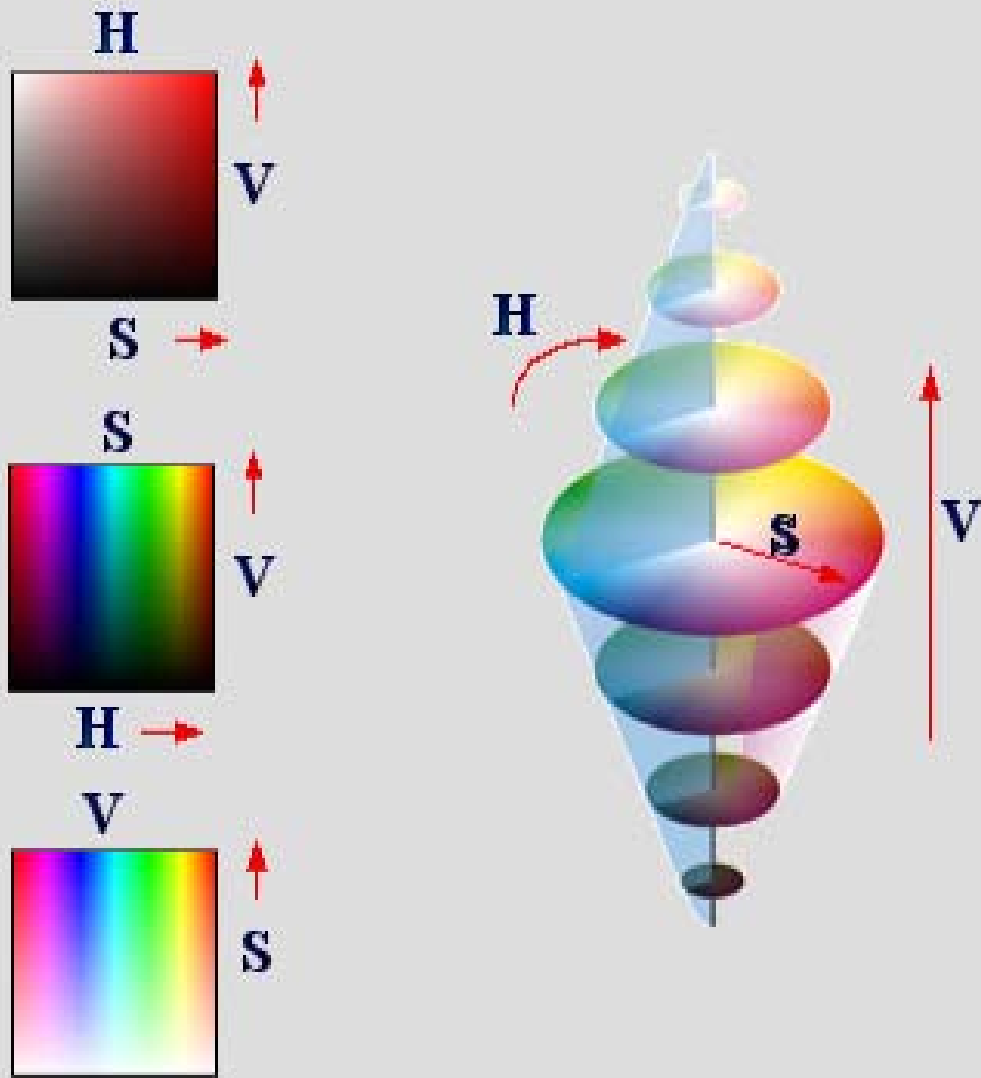
**saturatia** - cat de pura este culoarea, cu cat alb a fost amestecata culoarea pura din care aceasta provine

**luminozitatea** - luminanta, stralucire luminoasa

Este deci un sistem de reprezentare de tipul celui utilizat de Munsell, dar cu o specificare numerica a nuantei.



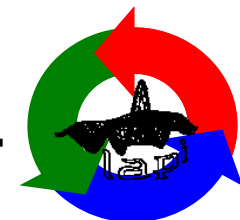
# Spatii perceptuale : familia HSV



spatiul de culoare este  
modelat ca un dublu con  
există variante cu model  
de cilindru, dubla prisma

C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI





# Spatii perceptuale : familia HSV

Componenta de intensitate ( $V$  sau  $I$ )

$$V = \frac{R + G + B}{3}$$

$$V = 0.3R + 0.6G + 0.1B = Y$$

$$V = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{2}$$

Componenta de saturatie  $S$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B}$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$$

Componenta de nuanta  $H$

$$H = \begin{cases} \arccos \frac{0.5((R - G) - (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 - (R - B)(B - G)}}, B > G \\ 2\pi - \arccos \frac{0.5((R - G) - (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 - (R - B)(B - G)}}, B < G \end{cases}$$

C. VERTAN



# Sisteme de achizitie a imaginilor color: camera digitala

Achizitie digitala

senzori imagine

Tehnologie:

CMOS

CCD

Parametru esential:

numarul de pixeli



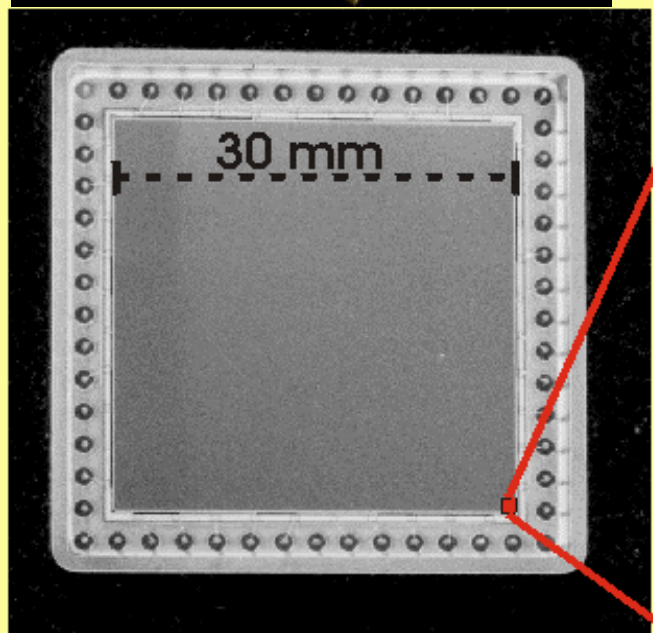
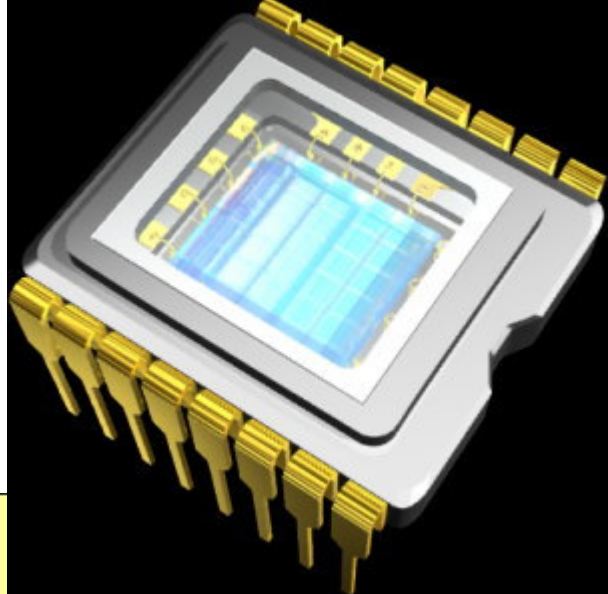
*C. VERTAN*

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

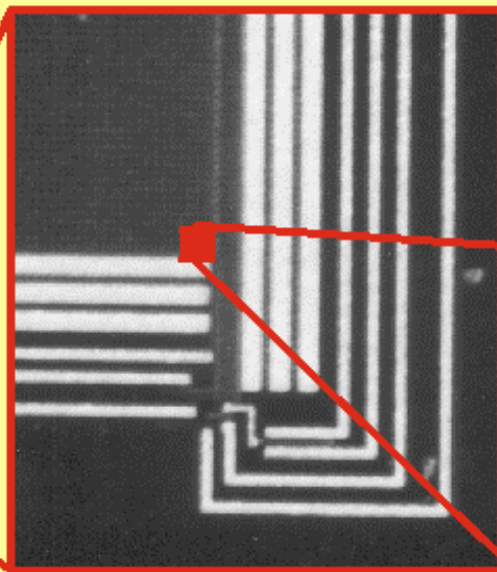


# CCD

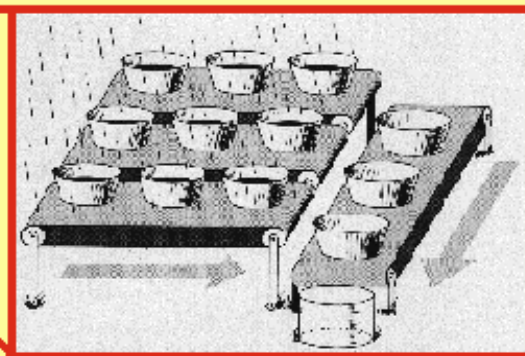
Sarcina acumulata in celule este proportionala cu intensitatea radiatiei (luminoase) incidente.



a)

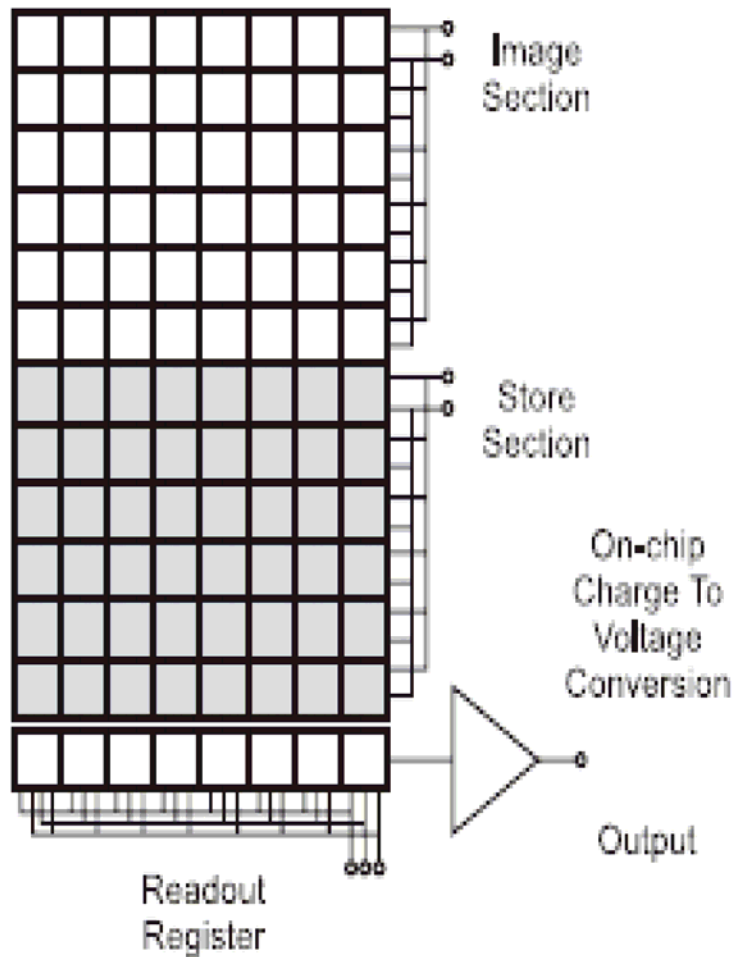


b)

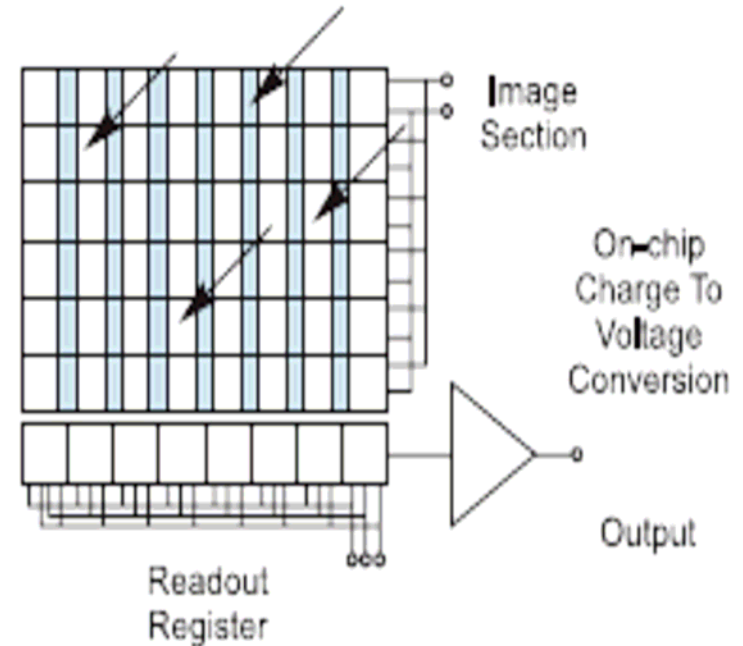


c)

# CCD



frame transfer

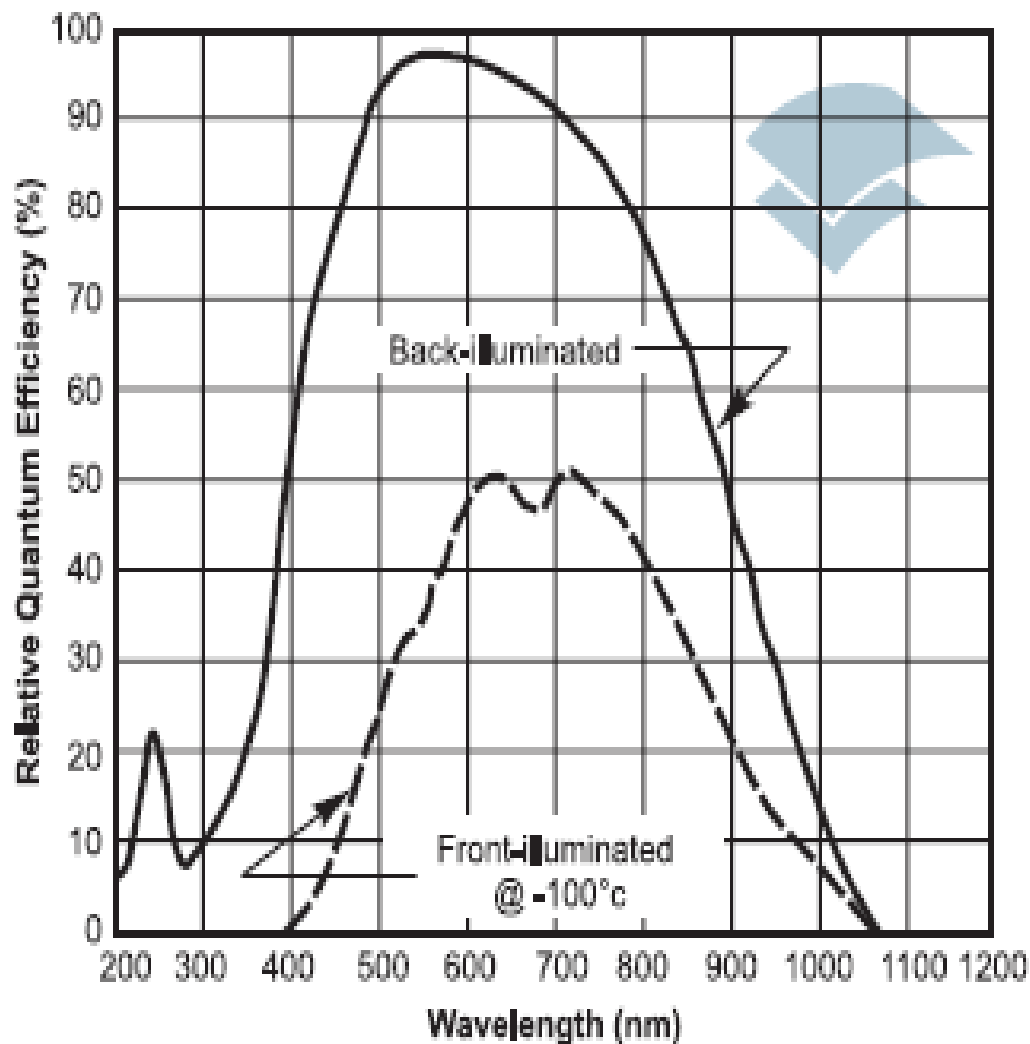


interline

read noise

C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI



→ shot noise

# CCD



—————→ dark noise



# Cazul tri-CCD

trei CCD, dispozitive de filtrare și separare a fluxului optic

un CCD, set de filtre optice mobile ce se interpun pe rând în fluxul optic la fiecare poză

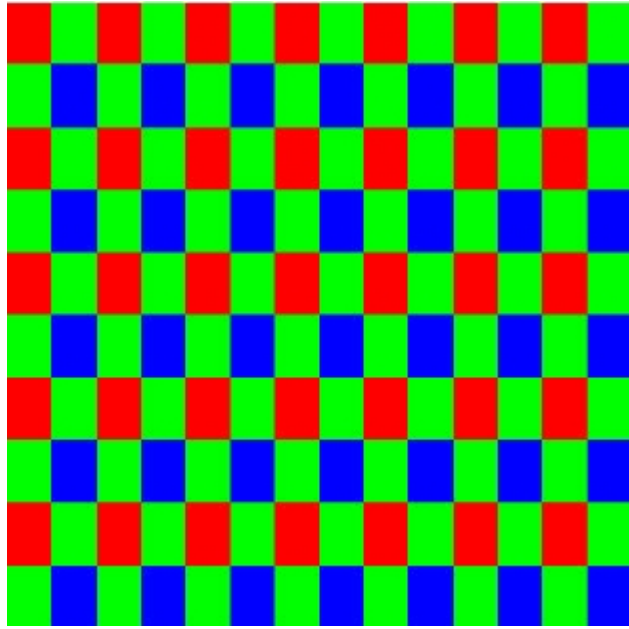


*C. VERTAN*

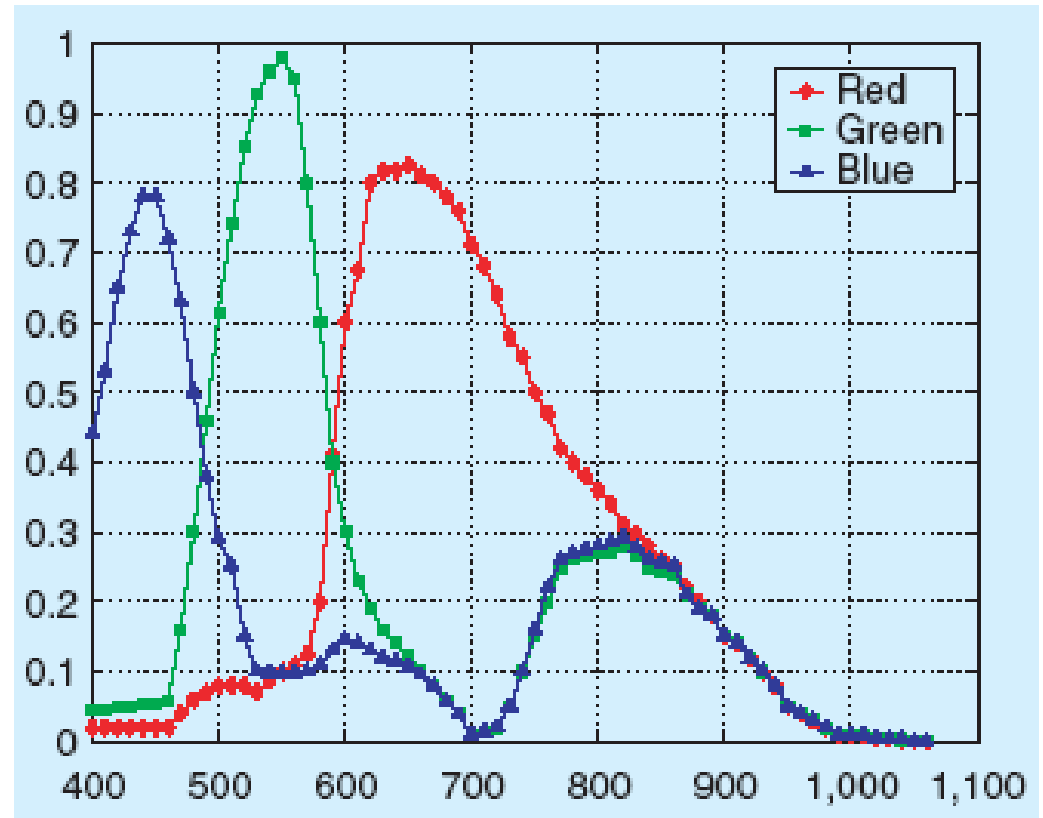
LABORATORUL DE ANALIZĂ ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPİ



# Cazul mono-CCD



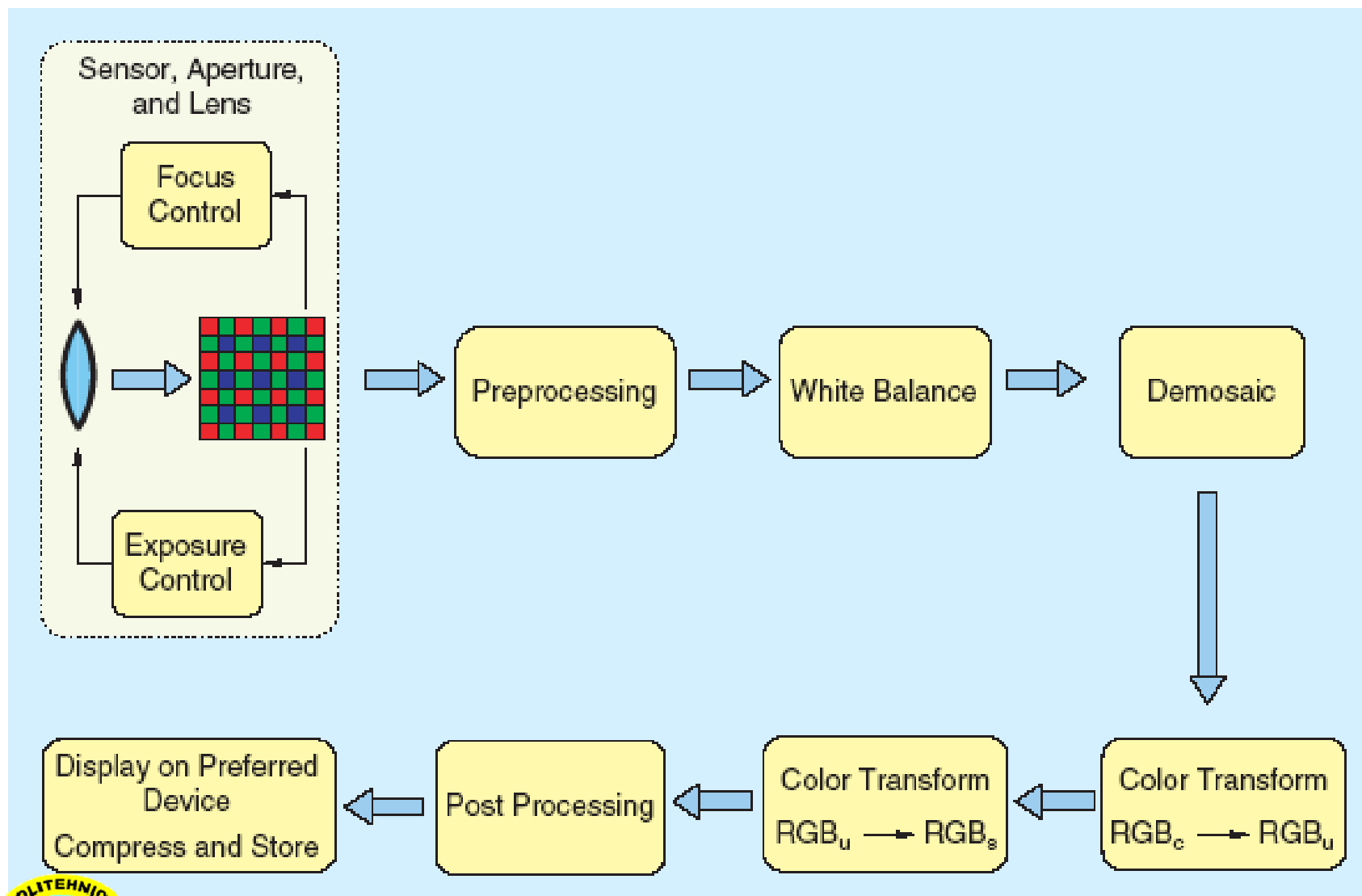
Bayer pattern



*(CFA – Color Filter Array)*



# Schema operatiilor la achizitia imaginii in camera digitala



C. VERTAN

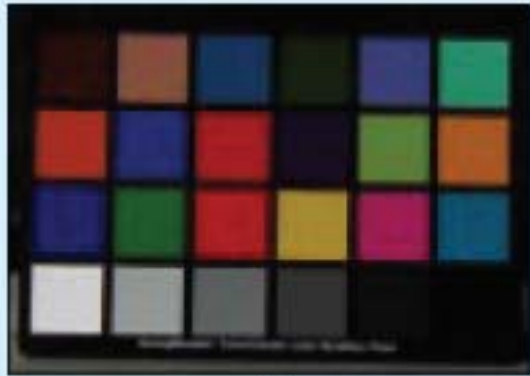
LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI

# Controlul expunerii



(a)

Imagine  
supraexpusa



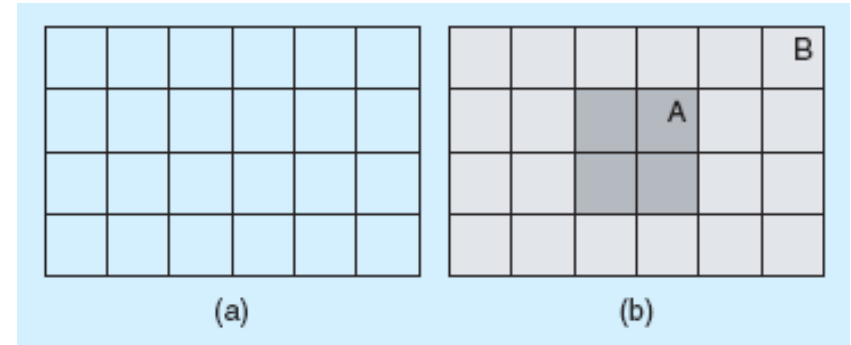
(b)

Imagine  
subexpusa



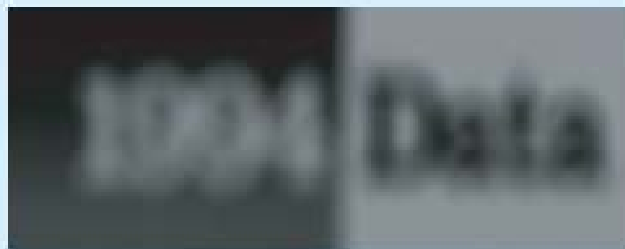
(c)

Imagine  
normala

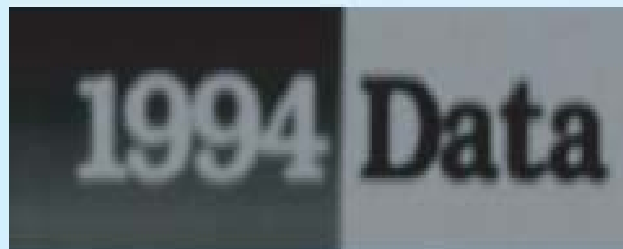


partitionarea imaginii  
pentru masurarea luminantei  
medii

# Controlul focalizarii



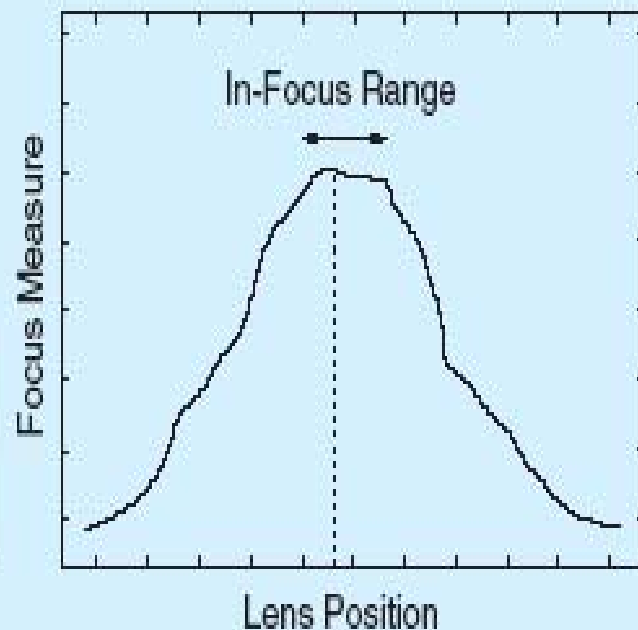
(a)



(b)



(c)

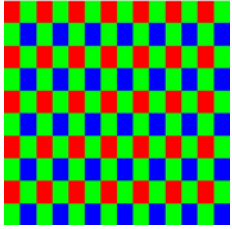


(d)

# Controlul punctului de alb

“Gray world” model: toate canalele se scaleaza la fel, astfel incat valoarea maxima sa corespunda culorii albe.





# De-mozaicarea

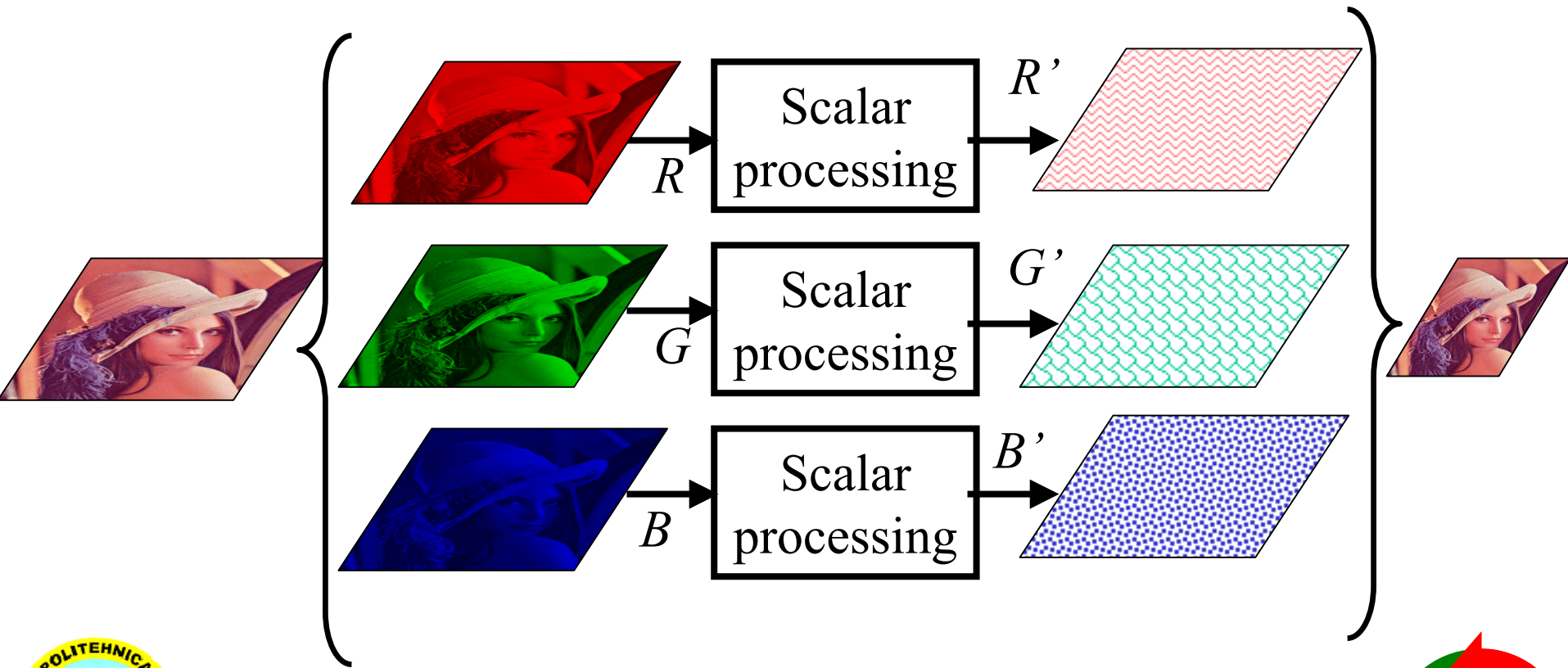
Refacerea unui triplet RGB pt fiecare pixel



“color aliasing”

# Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

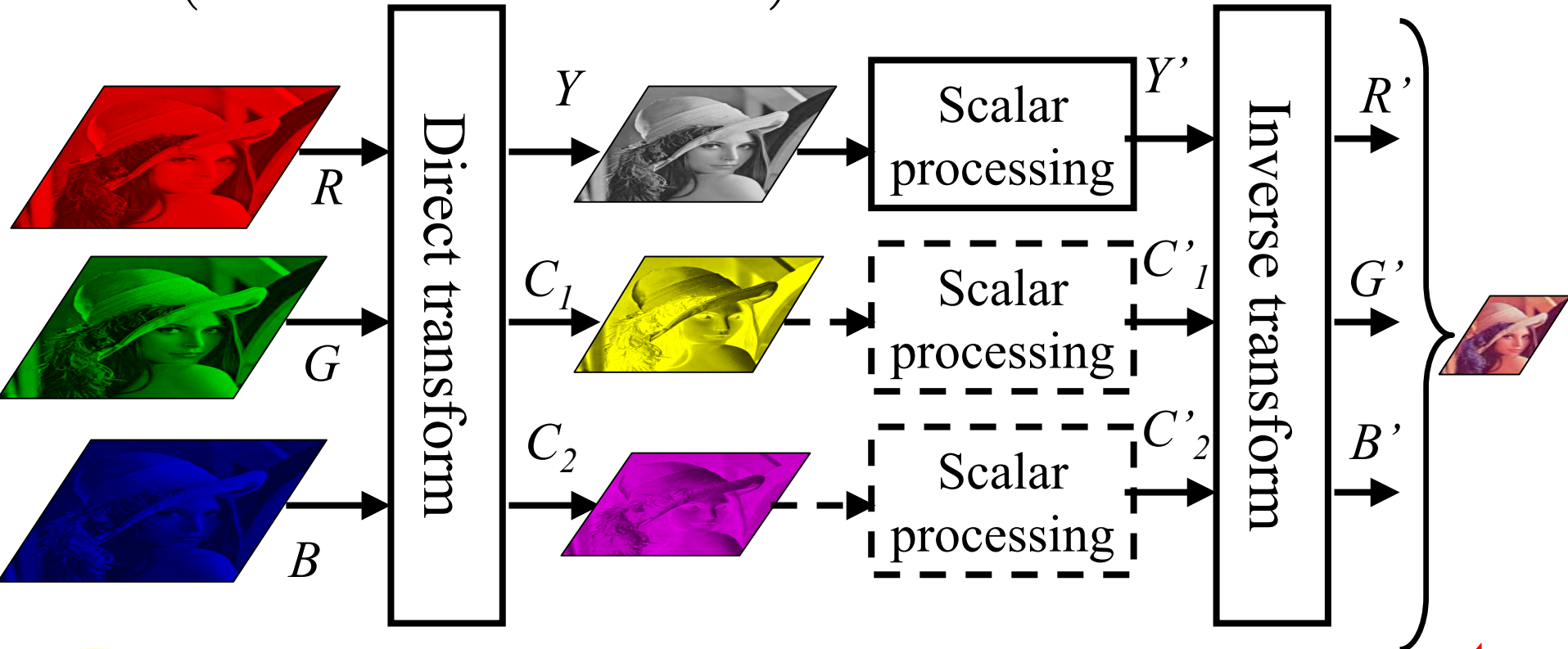
## 1. Abordarea marginala : descompunere $RGB$



C. VERTAN

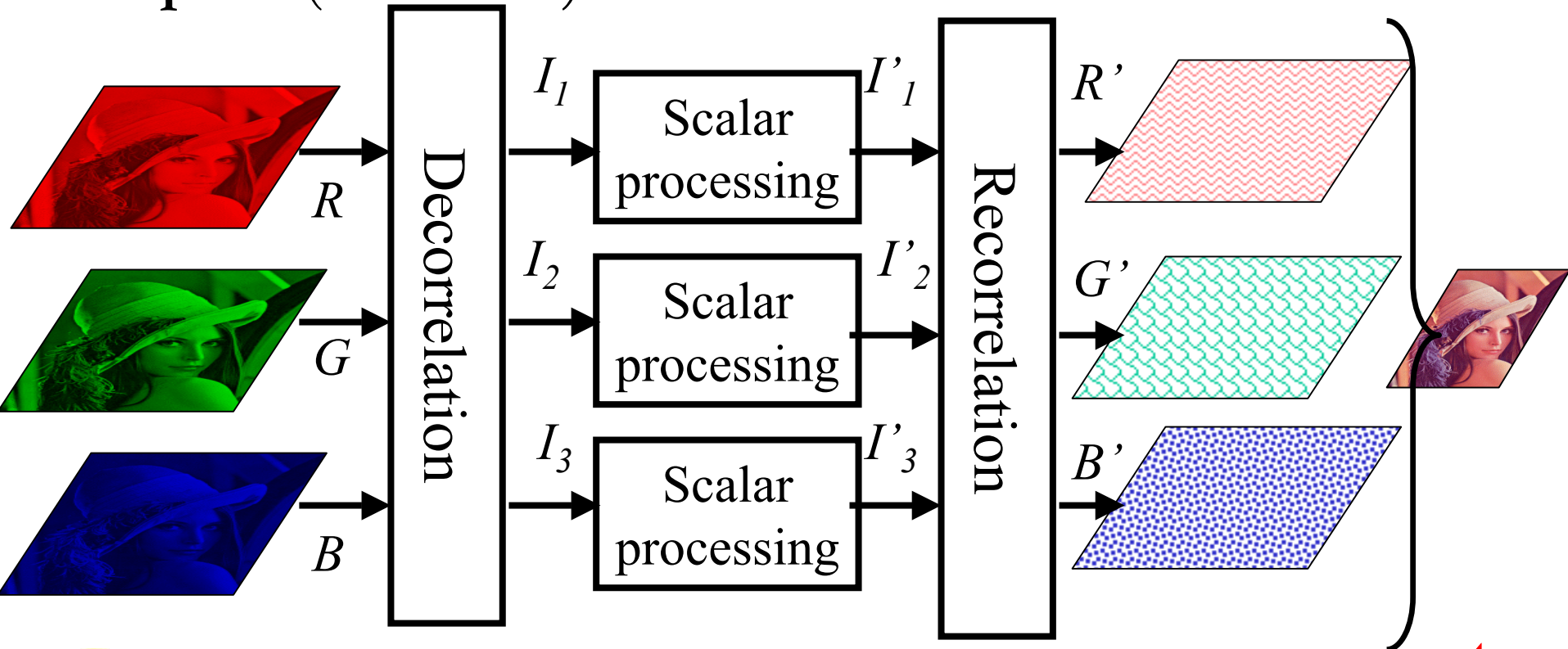
# Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

## 2. Abordarea transformării colorimetrice liniare fixe (luminanta + crominante)



# Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

## 3. Abordarea transformării colorimetrice liniare adaptive (decorelare)



C. VERTAN

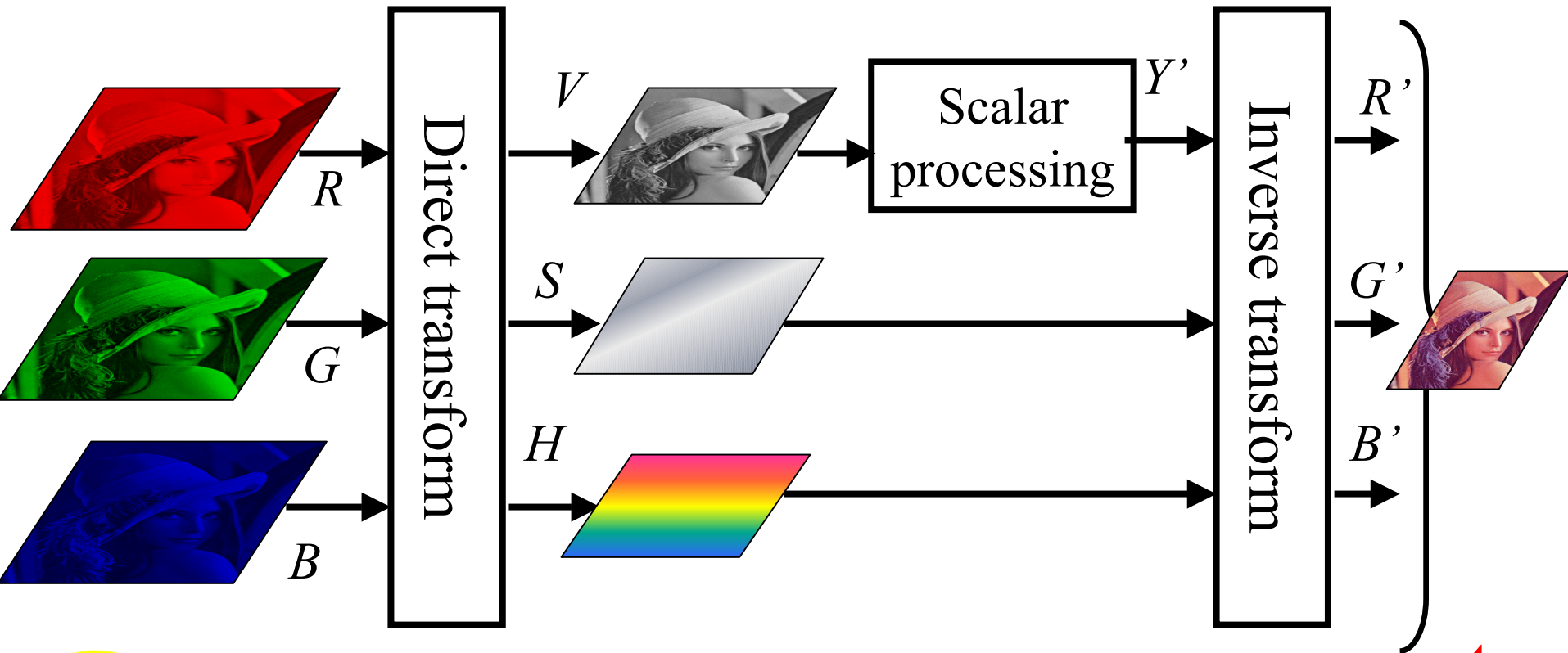
LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI





# Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

## 4. Transformare neliniara



C. VERTAN

LABORATORUL DE ANALIZA ȘI PRELUCRAREA IMAGINILOR - LAPI