

Η χρήση του χρώματος στη χαρτογραφία και στα ΣΓΠ

Συμβατική χρήση χρωμάτων στους τοπογραφικούς χάρτες

- Μαύρο:** βασικές τοπογραφικές λεπτομέρειες
- Γκρι:** μεγάλα κτίρια
- Κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο:** κατηγορίες δρόμων
- Μπλε:** υδάτινα στοιχεία
- Σκούρο μπλε:** σημειακά και γραμμικά υδάτινα στοιχεία
- Ανοιχτό μπλε:** επιφανειακά υδάτινα στοιχεία
- Καφέ:** υψομετρικές καμπύλες-ενδείξεις υψομέτρων
- Πράσινο:** δασικές εκτάσεις
- Ανοιχτό πράσινο:** καλλιέργειες

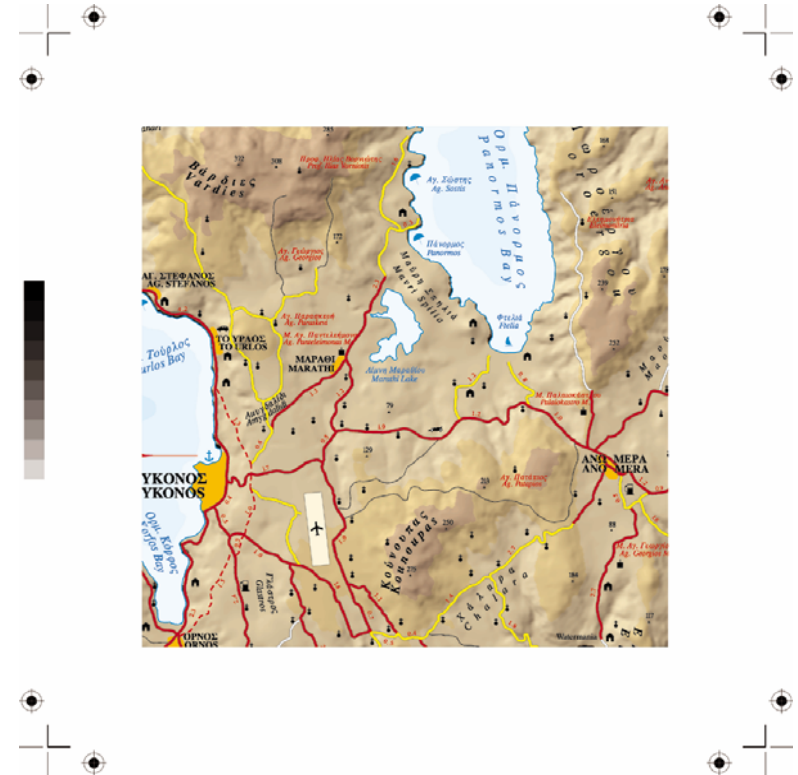


Figure 1.1

Συμβατική χρήση χρωμάτων σε θεματικούς χάρτες και «ασυμβατότητες»

Γεωλογικοί χάρτες:

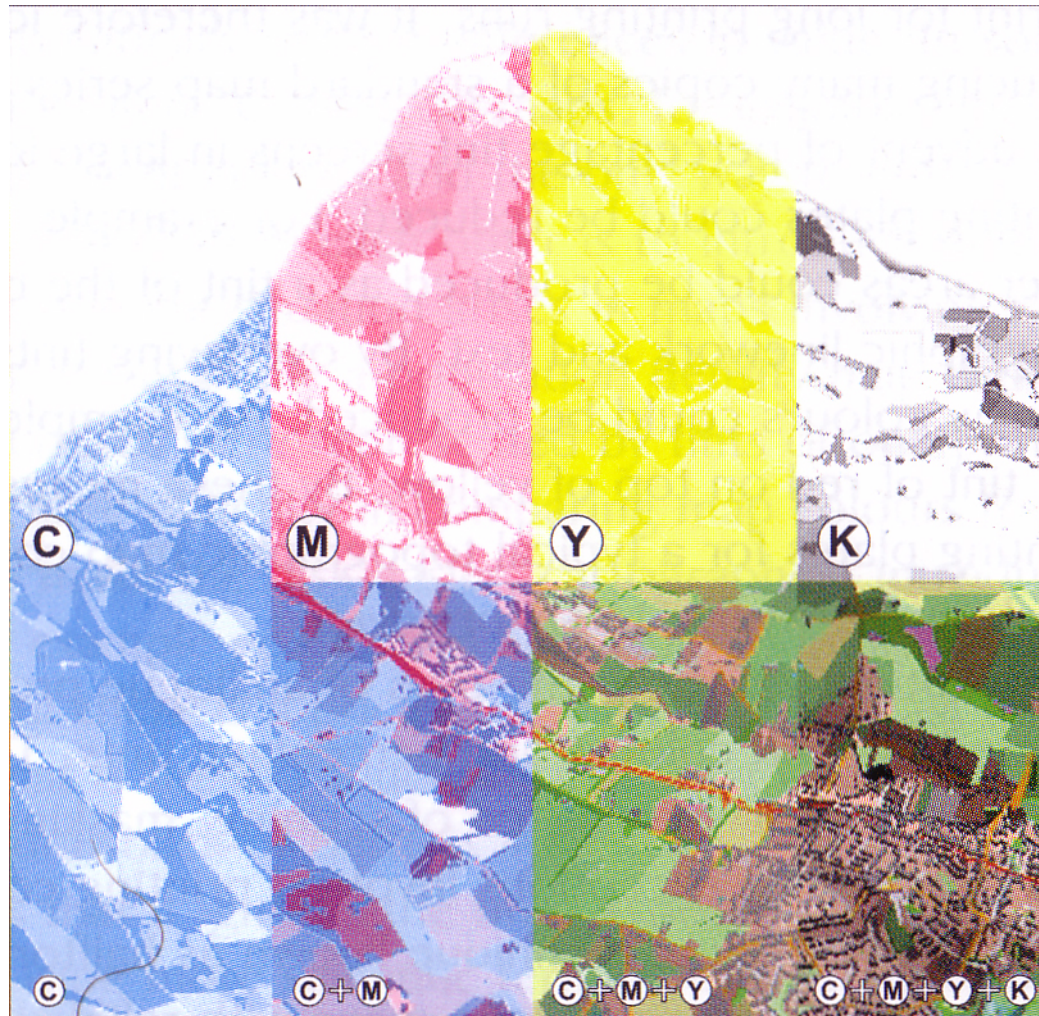
Χάρτες γήινου ανάγλυφου: πράσινο, ώχρα, ανοιχτό καφέ, καφέ, μωβ

Χάρτες χρήσεων γης:

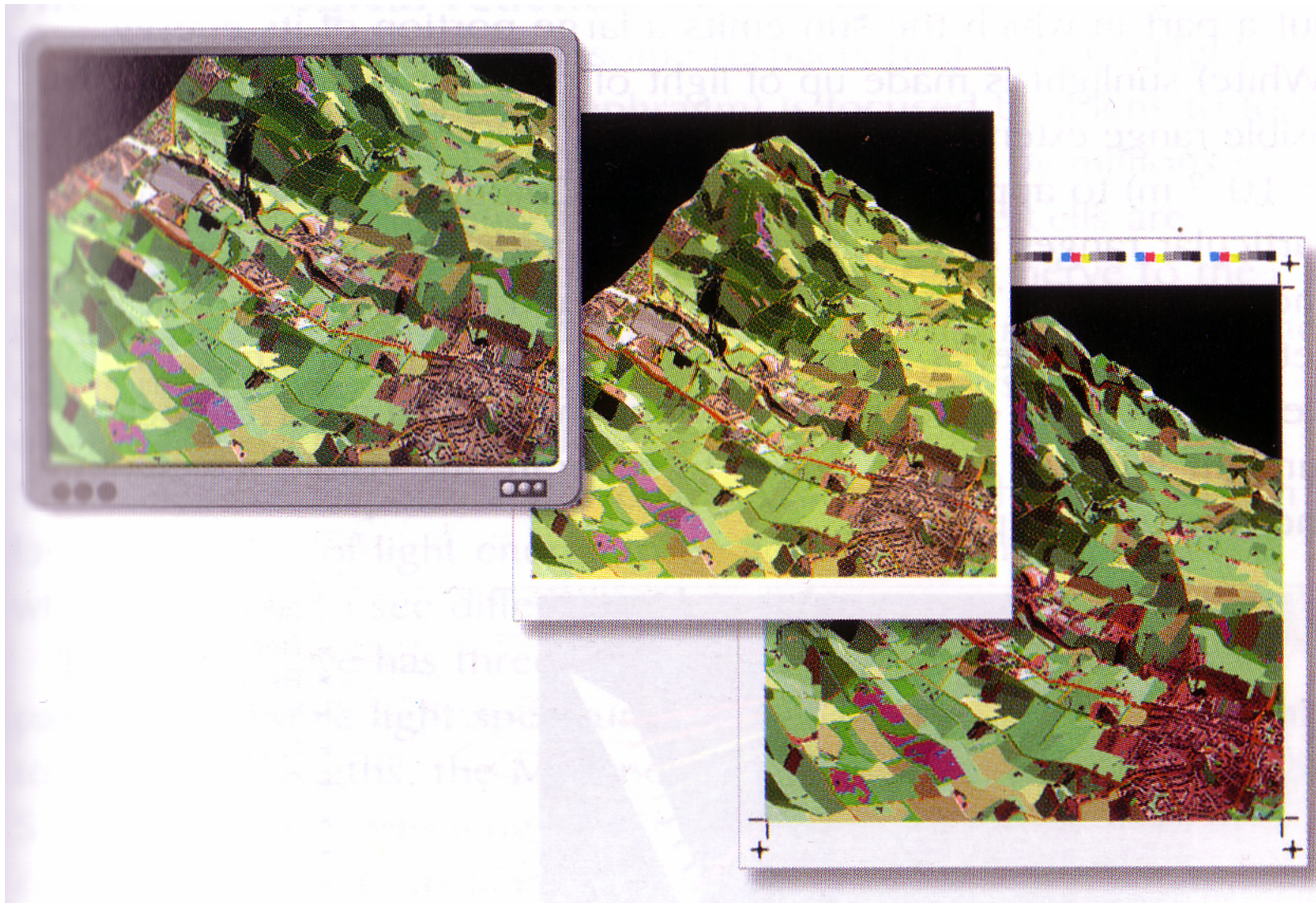
Χάρτες πυκνότητας
πληθυσμού: κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο, σκούρο κόκκινο

Χάρτες βροχόπτωσης: κίτρινο ανοιχτό (ξηρασία) σκούρο μπλε (μεγάλη υγρασία)

Χάρτες θερμοκρασίας: ανοιχτό κίτρινο σκούρο κόκκινο για θετικές τιμές (Κελσίου)
ανοιχτό πράσινο σκούρο μπλε για αυξανόμενες αρνητικές τιμές

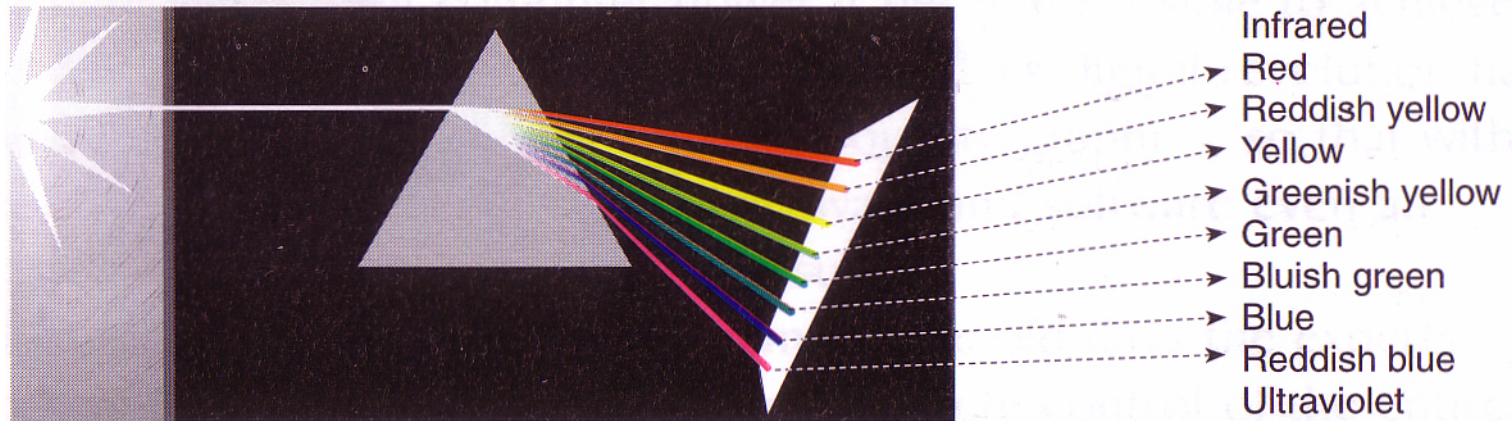


Ξεχωριστά CMYK χρώματα και τα αποτελέσματα συνδυασμού τους στην εκτύπωση



*Ένας χάρτης στην οθόνη (αριστερά), τυπωμένος σε έναν inkjet εκτυπωτή (μέση)
και σε έναν offset εκτυπωτή (δεξιά)*

η όραση του χρώματος

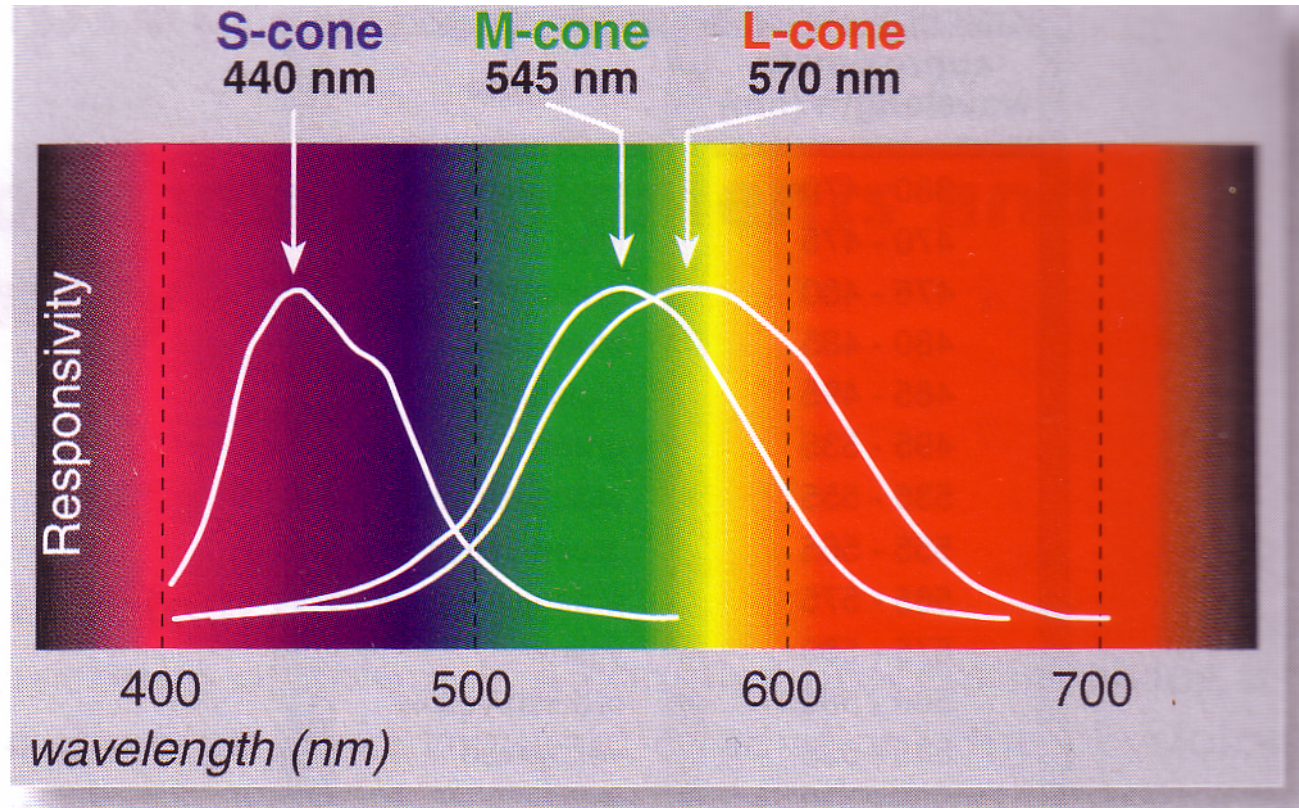


Το κλασικό πείραμα του Νεύτωνα

*Μήκη κύματος φωτός και τα χρώματα
όπως τα αντιλαμβανόμαστε*

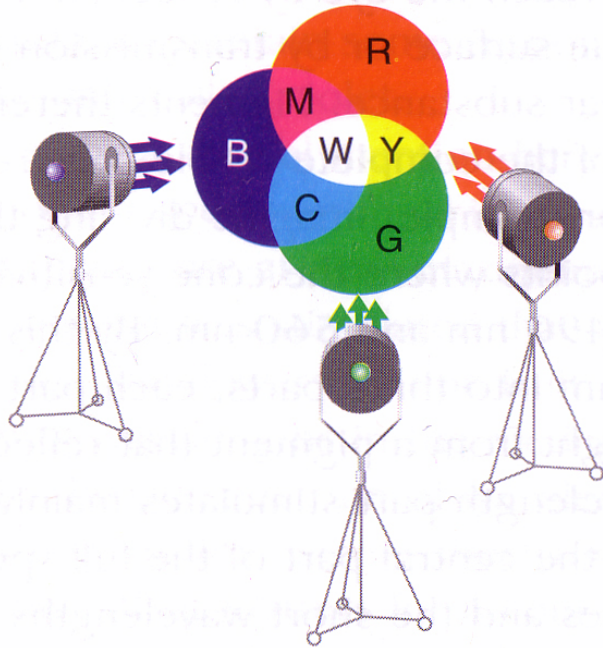
approximate wavelength (nm)	hue
380 - 470	reddish blue
470 - 475	blue
475 - 480	greenish blue
480 - 485	blue-green
485 - 495	bluish green
495 - 535	green
535 - 555	yellowish green
555 - 565	green-yellow
565 - 575	greenish yellow
575 - 580	yellow
580 - 585	reddish yellow
585 - 595	yellow-red
595 - 770	red

η φυσιολογική αντίδραση του ματιού

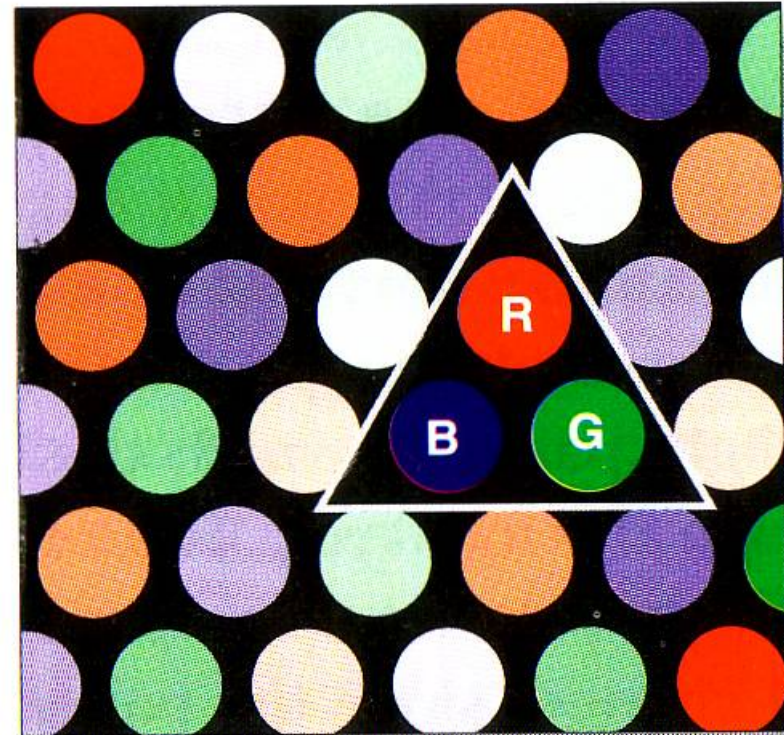


Η φασματική ανταπόκριση των κωνίων του αμφιβληστροειδή

σωματίδια και πρωτεύοντα χρώματα



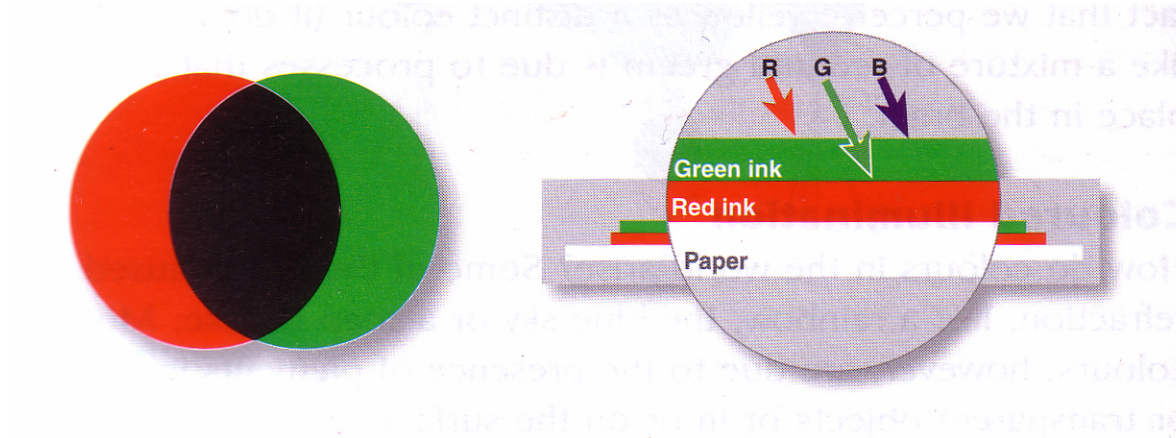
Ανάμειξη προσθετικών χρωμάτων



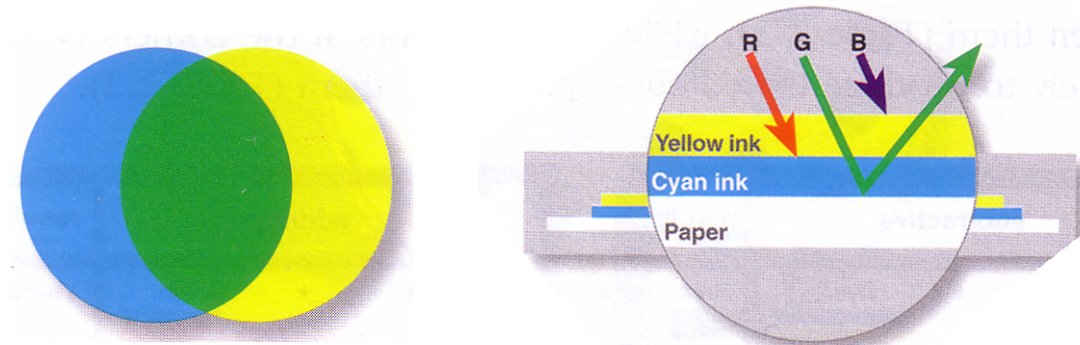
Κόκκινες, Πράσινες και Μπλε κουκίδες φωσφόρου σε έγχρωμη οθόνη

Έγχρωμος φωτισμός

Ανάμειξη αφαιρετικών χρωμάτων, η θεωρία πίσω από την τριχρωματική εκτύπωση

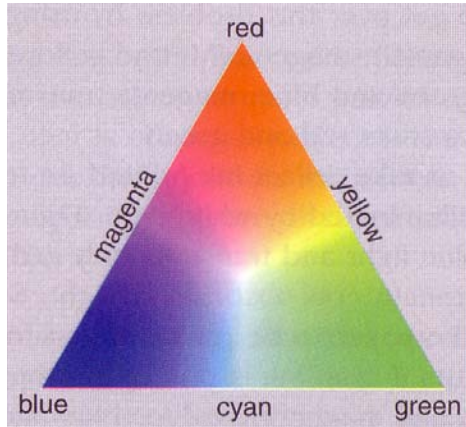


Πως το πράσινο τυπωμένο πάνω σε κόκκινο παράγει μαύρο



Πως το κυανό και το κίτρινο παράγουν πράσινο

Ανάμειξη αφαιρετικών χρωμάτων, η θεωρία πίσω από την τριχρωματική εκτύπωση



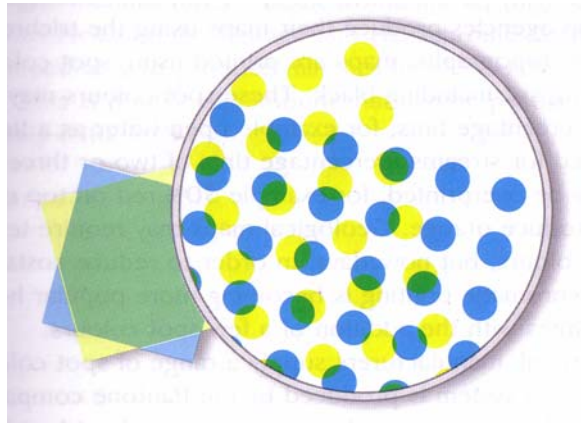
Το χρωματικό τρίγωνο

subtractive		result
Yellow + Cyan	+	
Yellow + Magenta	+	
Cyan + Magenta	+	

ανάμειξη αφαιρετικών

additive		result
Red + Green	+	
Green + Blue	+	
Blue + Red	+	

ανάμειξη προσθετικών



τόνοι του κίτρινου και κυανού παράγουν ανοιχτό πράσινο

Ανάμειξη μελανιών (σημειακά χρώματα)

Οι αισθήσεις του χρώματος (CIE, 1989)

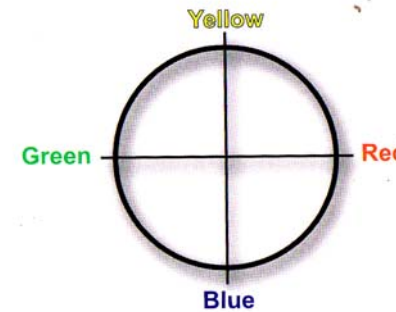
- Λαμπρότητα (brightness):** η ανθρώπινη αίσθηση με την οποία μια περιοχή εκθέτει πολύ ή λίγο φως
- Απόχρωση (hue):** η ανθρώπινη αίσθηση σύμφωνα με την οποία μια περιοχή εμφανίζεται να είναι όμοια με ένα, ή με ποσοστά από δυο, από τα αντιλαμβανόμενα χρώματα κόκκινο, κίτρινο, πράσινο και μπλε
- Πληρότητα χρώματος (colourfulness):** η ανθρώπινη αίσθηση σύμφωνα με την οποία μια περιοχή εμφανίζεται να εκθέτει περισσότερη ή λιγότερη από την απόχρωσή του
- Φωτεινότητα (lightness):** η αίσθηση της λαμπρότητας μιας περιοχής σε σχέση με μια αναφορά άσπρου στη σκηνή
- Χρώμα (chroma):** η πληρότητα χρώματος μιας περιοχής σε σχέση με τη λαμπρότητα ενός αναφερόμενου λευκού
- Κορεσμός (saturation):** η πληρότητα χρώματος μιας περιοχής σε σχέση με τη λαμπρότητά του

Οι οπτικές μεταβλητές του χρώματος

• *απόχρωση* → συγκεκριμένη απόχρωση προκύπτει από συγκεκριμένο συνδυασμό διαφορετικών ποσοτήτων μηκών κύματος του ορατού φωτός

διαφορετικές αποχρώσεις → 

η θεωρία των αντιθέτων χρωμάτων →



• *φωτεινότητα/ένταση* → η ασπρόμαυρη φωτογραφία μιας έγχρωμης σκηνής

διαφοροποίηση στην φωτεινότητα → 

• *κορεσμός/χρώμα* → περιγράφει τη γνησιότητα ενός χρώματος



μια κλίμακα κορεσμού



μια κλίμακα τόνου

Όνομασίες χρωμάτων

white	H-ish white	very pale	very light		
light grey	light H-ish grey	pale light greyish	light	brilliant	
med. grey	H-ish grey	greyish	moderate	strong	vivid
dark grey	dark H-ish grey	dark greyish	dark	deep	
black	H-ish black	blackish	very dark	very deep	

Ένα τυπικό σύστημα διάταξης ονομασίας χρωμάτων, για την απόχρωση (H)

Χρωματικοί χώροι (colour spaces)



- ένα χρώμα μπορεί να προσδιοριστεί στο 3διάστατο χώρο μέσα από τρεις συντεταγμένες, ή παραμέτρους
- οι παράμετροι περιγράφουν τη θέση του χρώματος μέσα στον χρωματικό χώρο
- διαφορετικοί χρωματικοί χώροι για διαφορετικούς σκοπούς
- το ίδιο χρώμα έχει διαφορετικούς παραμέτρους σε διαφορετικούς χώρους

Χρωματικοί χώροι $\xrightarrow{\text{(βασίζονται)}}$

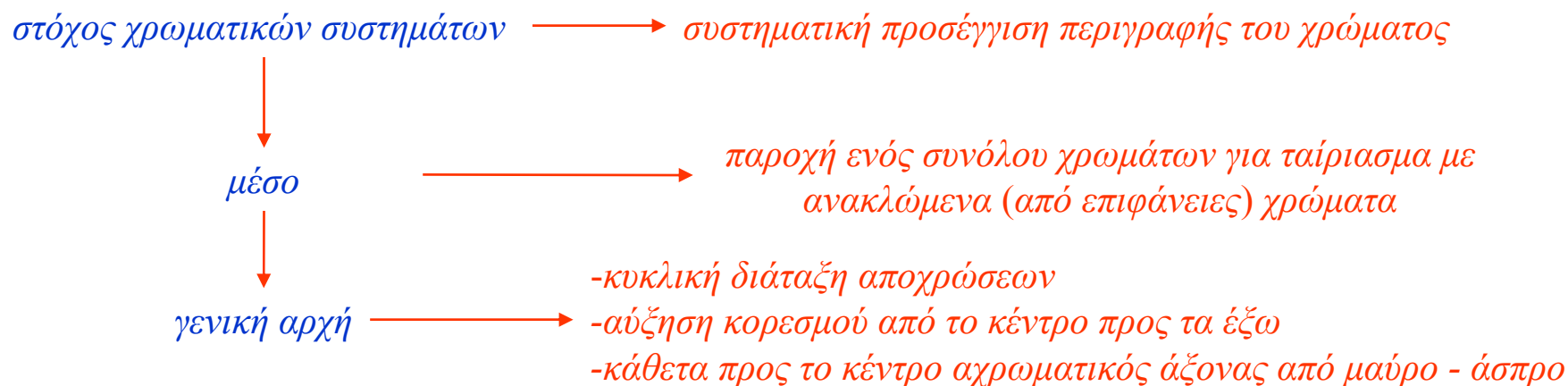
- φυσική μέτρηση της κατανομής της φασματικής δύναμης του χρώματος
- ποσότητα του RGB ή (CMY)
- αντιληπτικότητα ενός κανονικού παρατηρητή «μιας ποσότητας ανάμειξης ενός βασικού συνόλου υγρών σωματιδίων»

Χρωματικοί χώροι $\xrightarrow{\text{(είναι)}}$

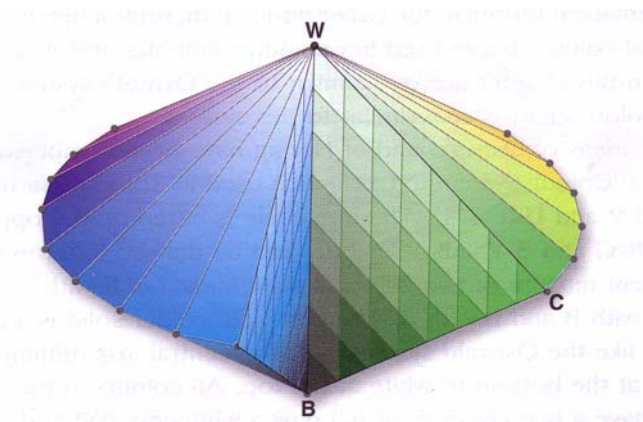
- αντιληπτικά γραμμικοί /ή μη γραμμικοί
- διαισθητικά εύκολοι/ή δύσκολοι στη χρήση
- εξαρτώμενοι/ ή μη εξαρτώμενοι από συσκευές

Βασικό πρακτικό πρόβλημα \rightarrow μετατροπή προδιαγραφών χρώματος μεταξύ συστημάτων

Χρωματικοί χώροι για έγχρωμες επιφάνειες



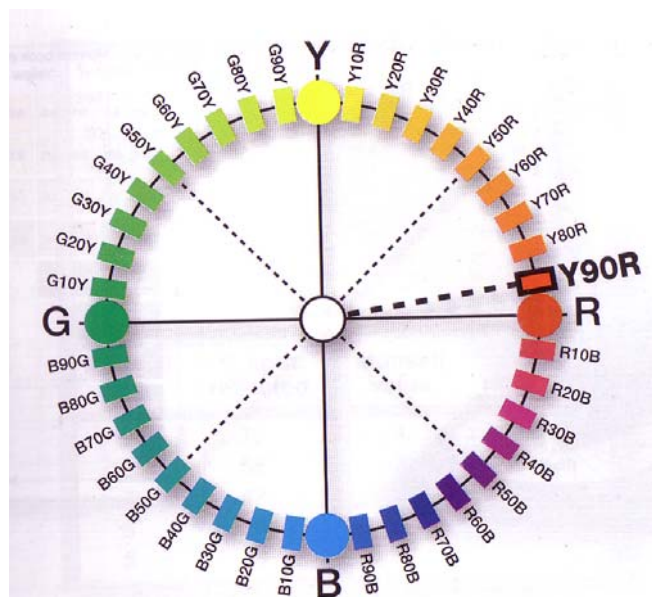
δύο κατηγορίες συστημάτων → σχήμα χρωματικό στερεού: συμμετρικό
 σχήμα χρωματικού στερεού: μη συμμετρικό



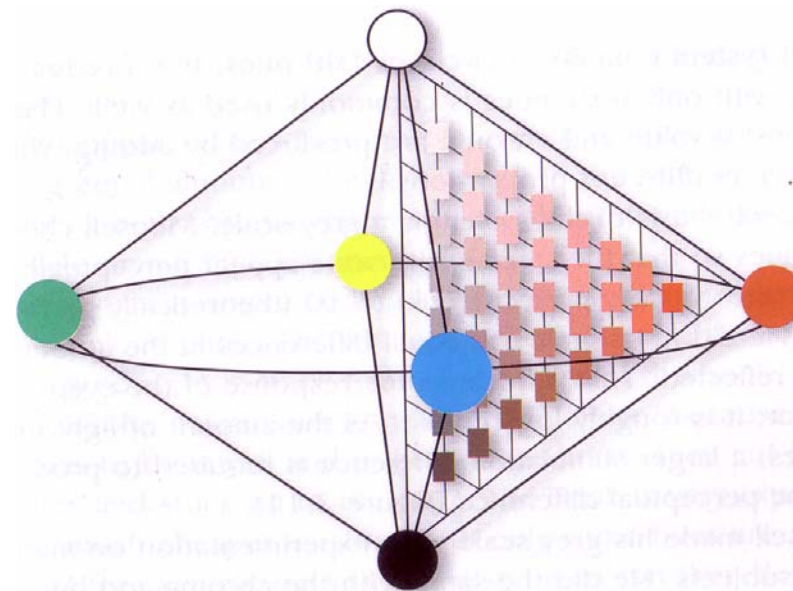
Το χρωματικό σύστημα Ostwald (1916)
 (συμμετρικό χρωματικό στερεό)

- 24 αποχρώσεις
- κεντρικός άξονας: αχρωματικά χρώματα
- για κάθε απόχρωση: 28 χρώματα (ανάμειξη γνήσιας απόχρωσης με μαύρο και άσπρο)
- συνολικός αριθμός χρωμάτων συστήματος: 680
- για όλα τα χρώματα: απόχρωση + άσπρο + μαύρο = 1
- κύκλος στη μέση του στερεού: υψηλού κορεσμού χρώματα (όχι όμως ίδιας φωτεινότητας)

Το σύστημα φυσικού χρώματος Natural Colour System (NCS)



Ο κύκλος αποχρώσεων του
Natural Colour System (NCS)



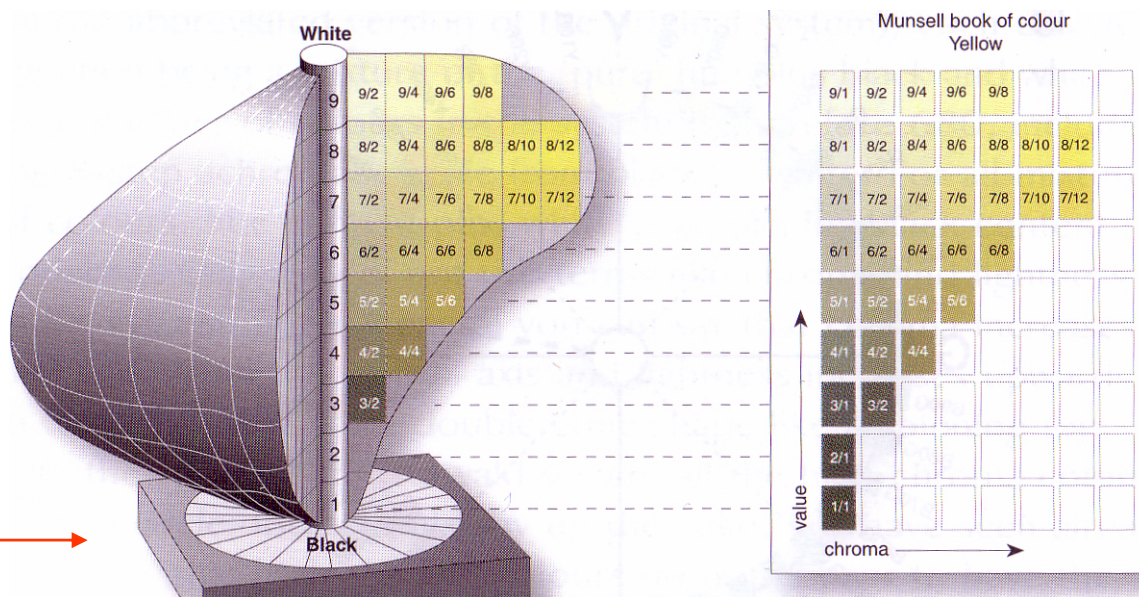
Ο χρωματικός χώρος του (NCS)

- ο κύκλος αποχρώσεων βασίζεται στα αντίθετα ζεύγη R-G & B-Y
- όλες οι άλλες αποχρώσεις ορίζονται από την φαινομενική ανάμειξη δυο διαδοχικών βασικών αποχρώσεων (π.χ R με Y, Y με G, G με B, και B με R)
- το πλήρες στερεό του χρώματος είναι ένας διπλός κώνος με άξονα από το μαύρο στο άσπρο
- όλα τα χρώματα στο στερεό έχουν μια συνιστώσα απόχρωσης (C) μια λευκότητας (W) και μια μαυρότητας (S). Το σύνολο των τριών είναι πάντα 100

Το (μη-συμμετρικό) σύστημα Muncell

- μεταβλητές →
- απόχρωση
 - ένταση
 - κορεσμός

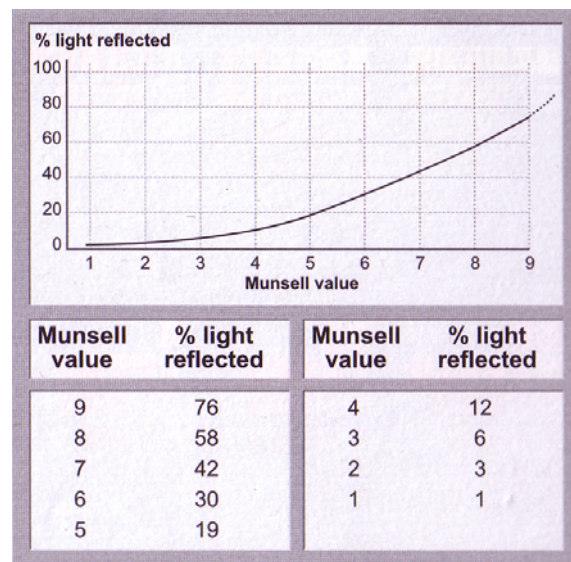
Το τρι-διάστατο χρωματικό στερεό του συστήματος Muncell Ένα τέταρτο του στερεού έχει αφαιρεθεί για να φανεί η εσωτερική διάταξη



- Υπάρχουν πέντε βασικές αποχρώσεις (100 συνολικά) κυκλική διάταξη
- Οι διαφοροποιήσεις στον κορεσμό και την ένταση παράγονται με πρόσθεση άσπρου και μαύρου σε διαφορετικές αναλογίες
- Ο κεντρικός άξονας του συστήματος είναι μια κλίμακα του γκρι
- Ο κορεσμός αυξάνεται από τον κεντρικό άξονα (αχρωματικό) προς την περιφέρεια
- Η ένταση αυξάνεται από το μαύρο (στη βάση) προς το άσπρο στην κορυφή

Το σύστημα Munsell

Η γκρι κλίμακα του συστήματος Munsell →



- τα βήματα των κλιμάκων απόχρωσης, έντασης και κορεσμού εμφανίζονται αντιληπτικά ίσα
- η αντίδραση του οφθαλμού στην ένταση του φωτός είναι μη γραμμική, είναι περίπου λογαριθμική
- ο οφθαλμός δεν είναι ομοιόμορφα ευαίσθητος σε όλες τις αποχρώσεις
- ο χώρος του χρώματος σαν σύνολο δεν είναι αντιληπτικά γραμμικός



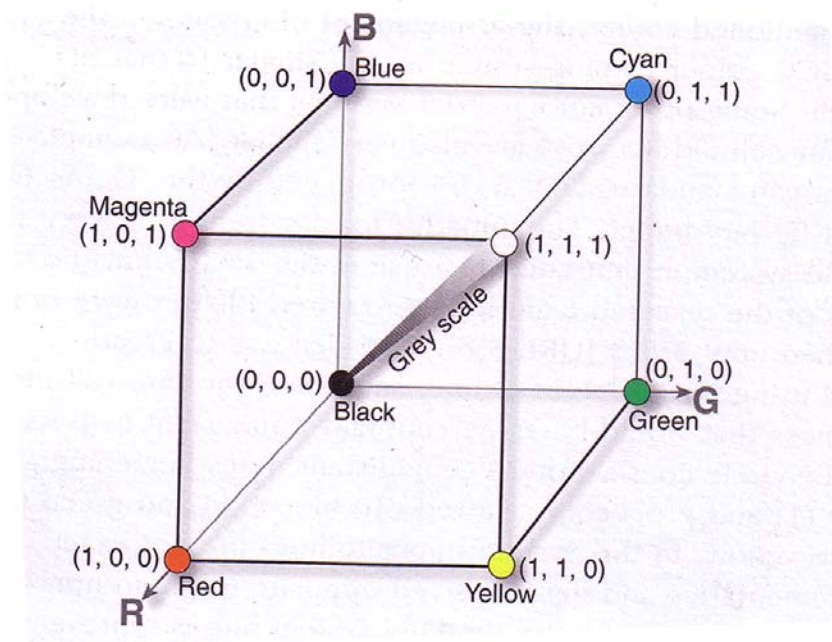
- Το στερεό του Munsell δεν είναι συμμετρικό (ούτε κύλινδρος, ούτε διπλός κώνος)
- Ένα απλό κωδικό σύστημα δίνει σε κάθε τετράγωνο χρώματος ένα μοναδικό κωδικό
- Το σύστημα Munsell διατίθεται σε μορφή βιβλίου
- Κάθε σελίδα του βιβλίου περιέχει όλες τις χρωματικές διαφοροποιήσεις μιας μοναδικής απόχρωσης

Ο κυβικός χρωματικός χώρος με βάση το RGB ή το CMY

Όλα τα χρώματα που παράγονται με προσθετική ανάμειξη σε μια έγχρωμη οθόνη μπορούν να εκφραστούν με ποσότητες **RGB**

Όλα τα έγχρωμα μελάνια και οι έγχρωμες μπογιές μπορούν να εκφραστούν με ποσότητες **CMY**

Ο χρωματικός κύβος RGB →



Ο κύβος των πρωτεύουσων προσθετικών αποχρώσεων, R , G , B , μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις πρωτεύουσες αφαιρετικές αποχρώσεις C , M , Y .

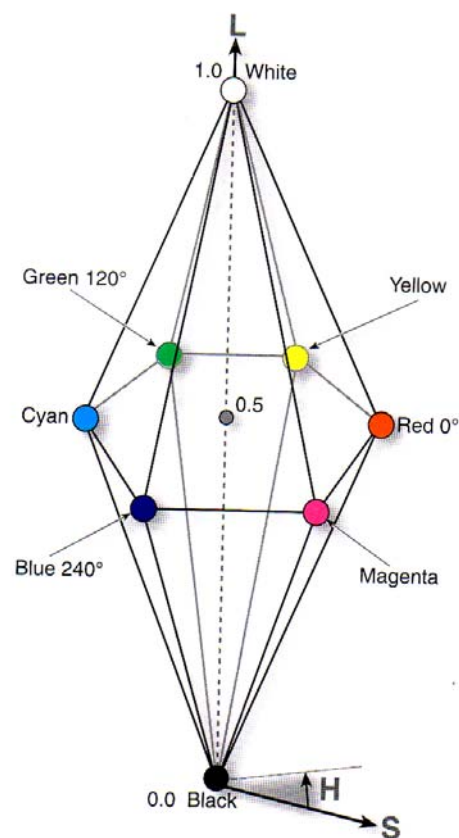
Ισχύει: $R = 1 - C$, $G = 1 - M$, $B = 1 - Y$.

Ο κυβικός χρωματικός χώρος με βάση το RGB ή το CMY

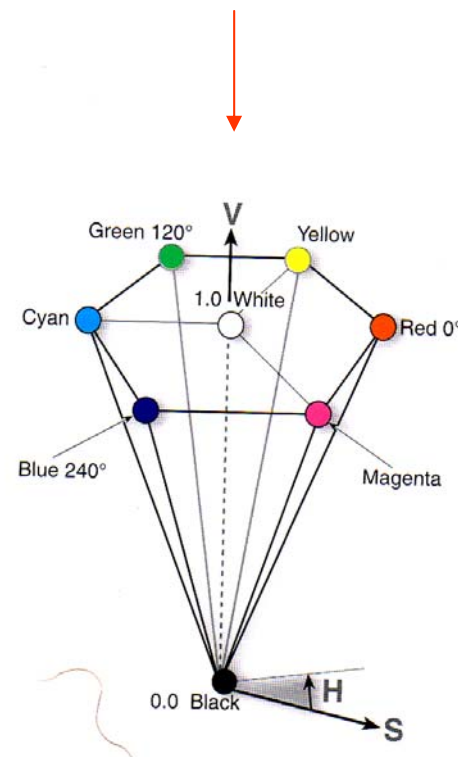
- Ο κύβος είναι απλός και εύχρηστος
- Ο κύβος δεν είναι διαισθητικός: δεν υπάρχει εμφανής σχέση με τις οπτικές μεταβλητές απόχρωσης, έντασης, κορεσμού
- Ο χρωματικός χώρος εξαρτάται από τη συσκευή. Διαφορετικές συσκευές δίδουν διαφορετικά χρώματα στις οθόνες και στις εκτυπώσεις
- Η σχέση μεταξύ της τάσης που παρέχεται στη συσκευή και έντασης ή λαμπρότητας του φωτός που προκύπτει είναι μη γραμμική -η ανθρώπινη όραση έχει μη γραμμική αντιληπτική αντίδραση στη λαμπρότητα. Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν την εικόνα στην οθόνη λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες, όμως οι κλίμακες στους άξονες **RGB** μπορεί να μην είναι εντελώς αντιληπτικά γραμμικοί
- Εάν ο κύβος χρησιμοποιηθεί στην αφαιρετική εκδοχή υπάρχει επίσης μη γραμμικότητα
- Η απλή μετατροπή από το **RGB** στο **CMY** απαιτεί όλες οι γωνίες του κύβου να εμφανίζουν το ίδιο χρώμα και και στα δυο συστήματα. Μέχρι σήμερα αυτό δεν συμβαίνει:
 1. Είναι δύσκολο να ταιριάζουν χρώματα που παράγονται από εκπεμπόμενο φως (προσθετικό σύστημα), με χρώματα που παράγονται από ανακλώμενο φως (αφαιρετικό σύστημα)
 2. Τα σωματίδια των **RGB** και **CMY** δεν είναι ποτέ θεωρητικά «γνήσια» και επομένως δύσκολο να ταιριάζουν συμπληρωματικά
 3. Οι μη-γραμμικότητες των δυο συστημάτων δεν έχουν αντιστοιχεία και επομένως οι απλοί μετασχηματισμοί δεν ισχύουν
- Οι μετασχηματισμοί που μπορούν να δώσουν το ίδιο χρώμα στα δυο συστήματα είναι πολυσύνθετοι

Το HLS, HSV και σχετικοί χρωματικοί χώροι

Ο χρωματικός χώρος HLS

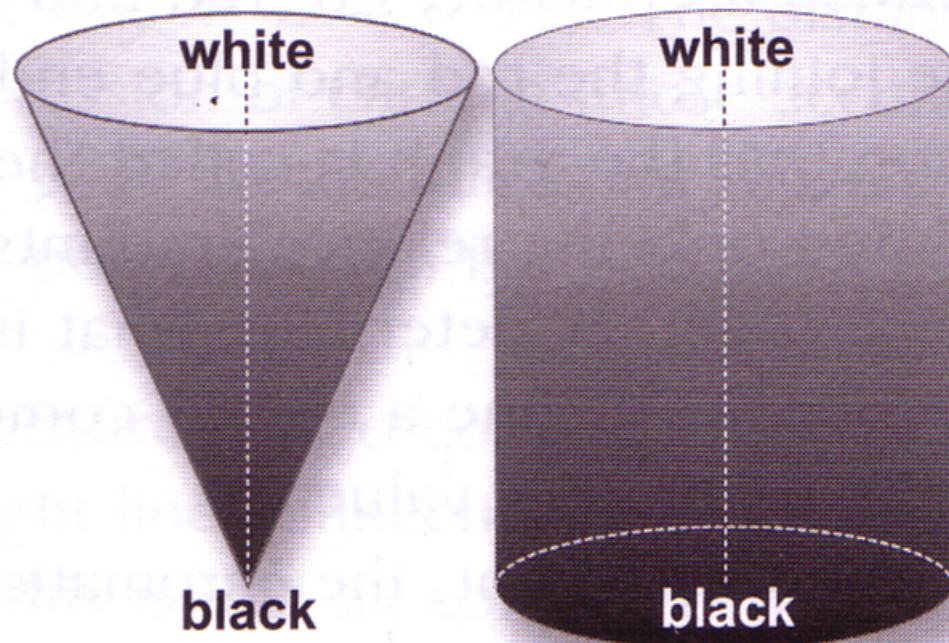


Ο χρωματικός χώρος HSV



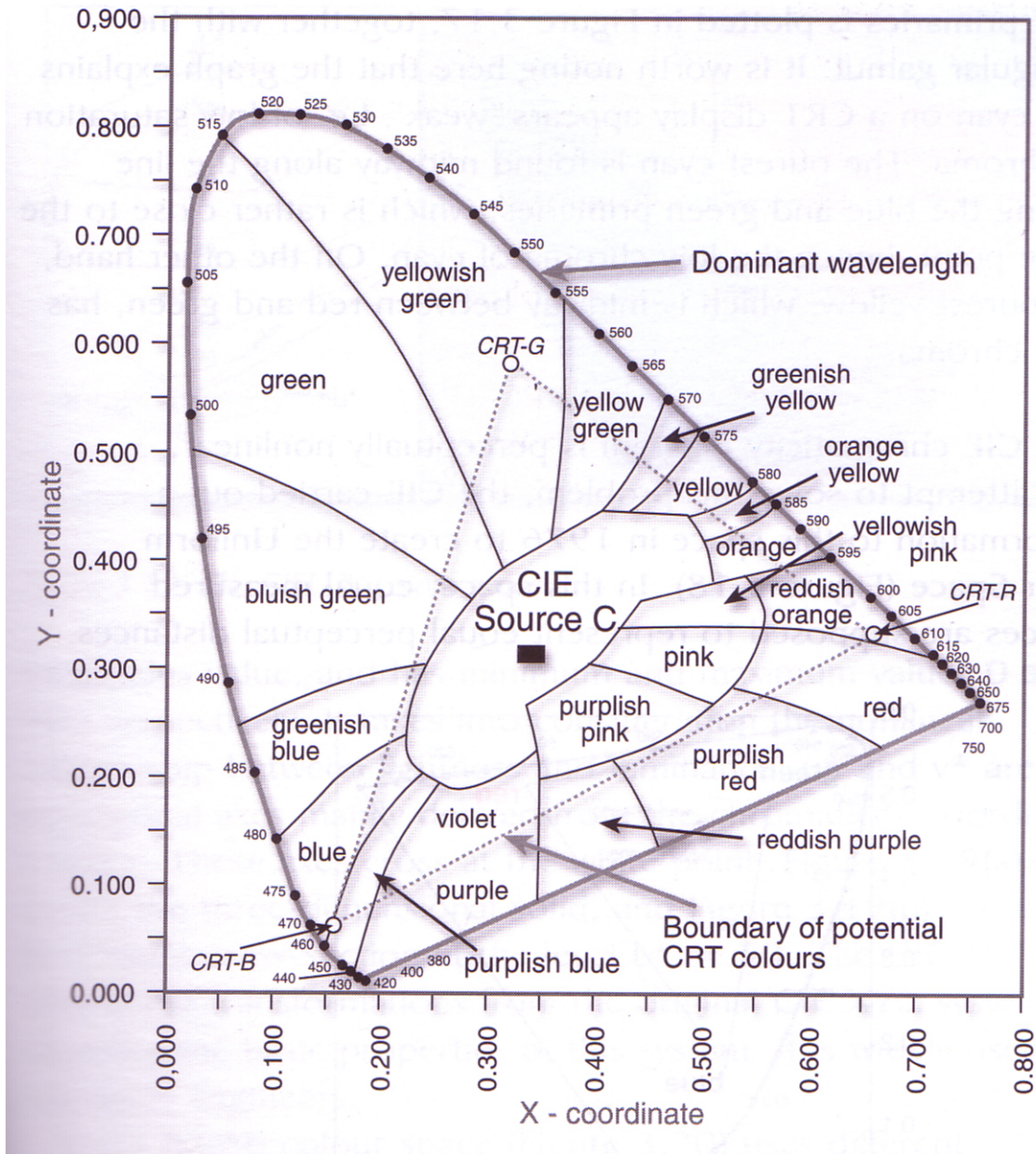
HLS: συνδυασμός προσθετικών (R, G, B) και των κλασικών μεταβλητών για την προσθετική ανάμειξη (H, L, S)

Ο χρωματικός χώρος HSV



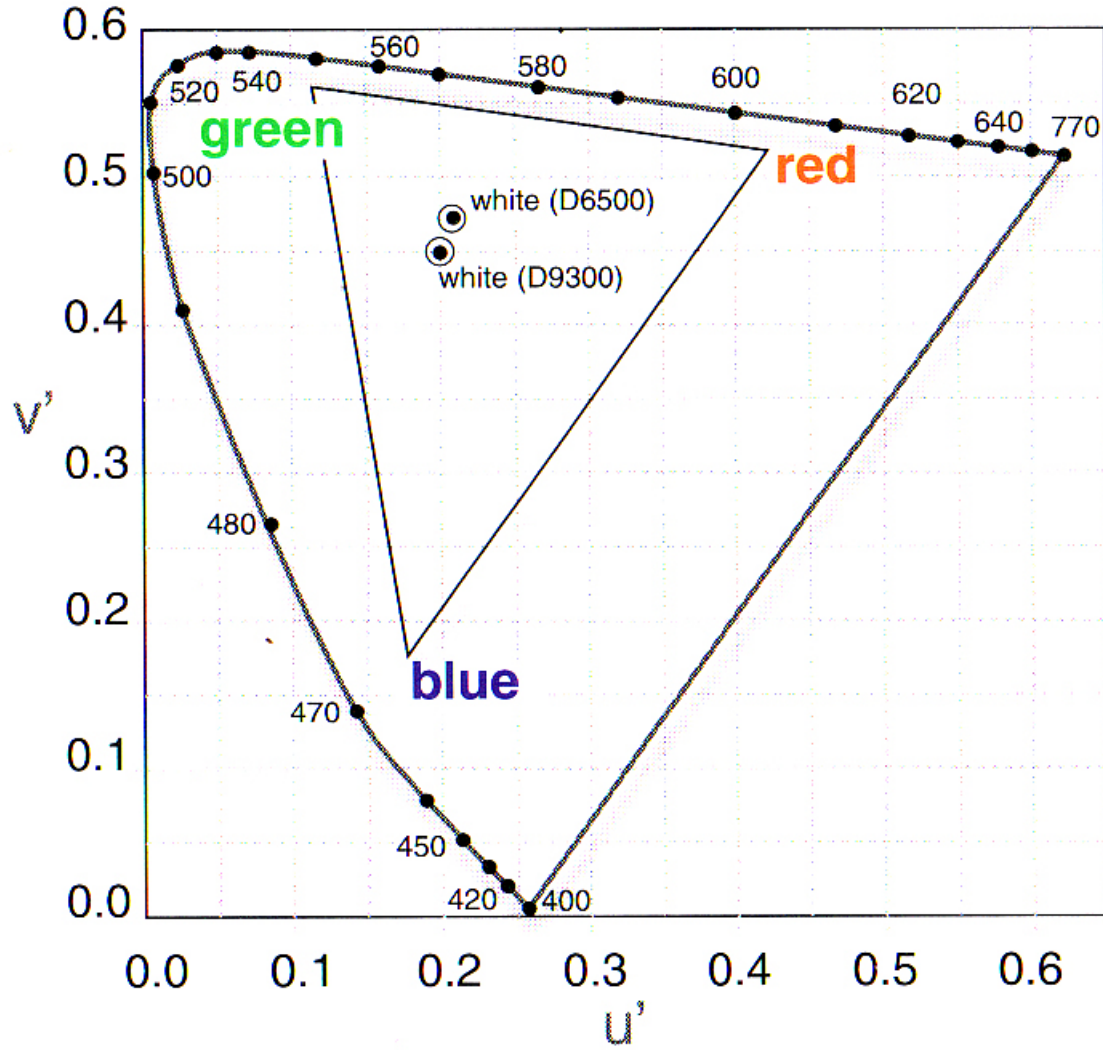
Το HSV ως κύλινδρος αντί του κώνου

- XYZ χρωματικό σύστημα:** ανεξάρτητος συσκευής χρωματικός χώρος
- αναφορά:** χαρακτηριστικά ανθρώπινου συστήματος όρασης (διαισθητικό)
- κύριο πλεονέκτημα:** τα χρώματα (στο χώρο) μπορούν να σχεδιασθούν από φυσικές μετρήσεις με φασματοφωτόμετρο, σε δι-διάστατο διάγραμμα
- βάση:** RGB πρωτεύουσες
- χρήση:** τριμερείς τιμές (τεχνητές πρωτεύουσες):
X (κόκκινο), Y (πράσινο), Z (μπλε)
- διάγραμμα χρωματικότητας:** συντεταγμένες χρωματικότητας $x = X/(X+Y+Z)$ $y = Y/(X+Y+Z)$
 $z = Z/(X+Y+Z)$ όπου $x+y+z = 1$
- εξωτερική καμπύλη γραμμής:** γνήσια φασματικά χρώματα
- ένωση των άκρων (R,B):** τα μωβ (ανάμειξη κόκκινου - μπλε)
- χρωματικότητα ενός χρώματος:** οι σχετικές ποσότητες των τριών πρωτευουσών
- διεύθυνση:** προσδιορίζει την απόχρωση
- συμπληρωματικές αποχρώσεις:** διαμετρικά αντίθετες σε σχέση με το «λευκό σημείο» $x=y=z=0.33$
- απόσταση από λευκό σημείο:** η απόσταση από το λευκό σημείο έκφραση του βαθμού κόρου (απόσταση λευκού σημείου-απόχρωσης ανάλογη απόστασης λευκού σημείου-σημείου απόχρωσης-γραμμής γνήσιου φάσματος)
η προσθετική μίξη δυο χρωμάτων βρίσκεται στην ευθεία σύνδεσής τους και τριών χρωμάτων βρίσκεται στο τρίγωνο που σχηματίζουν

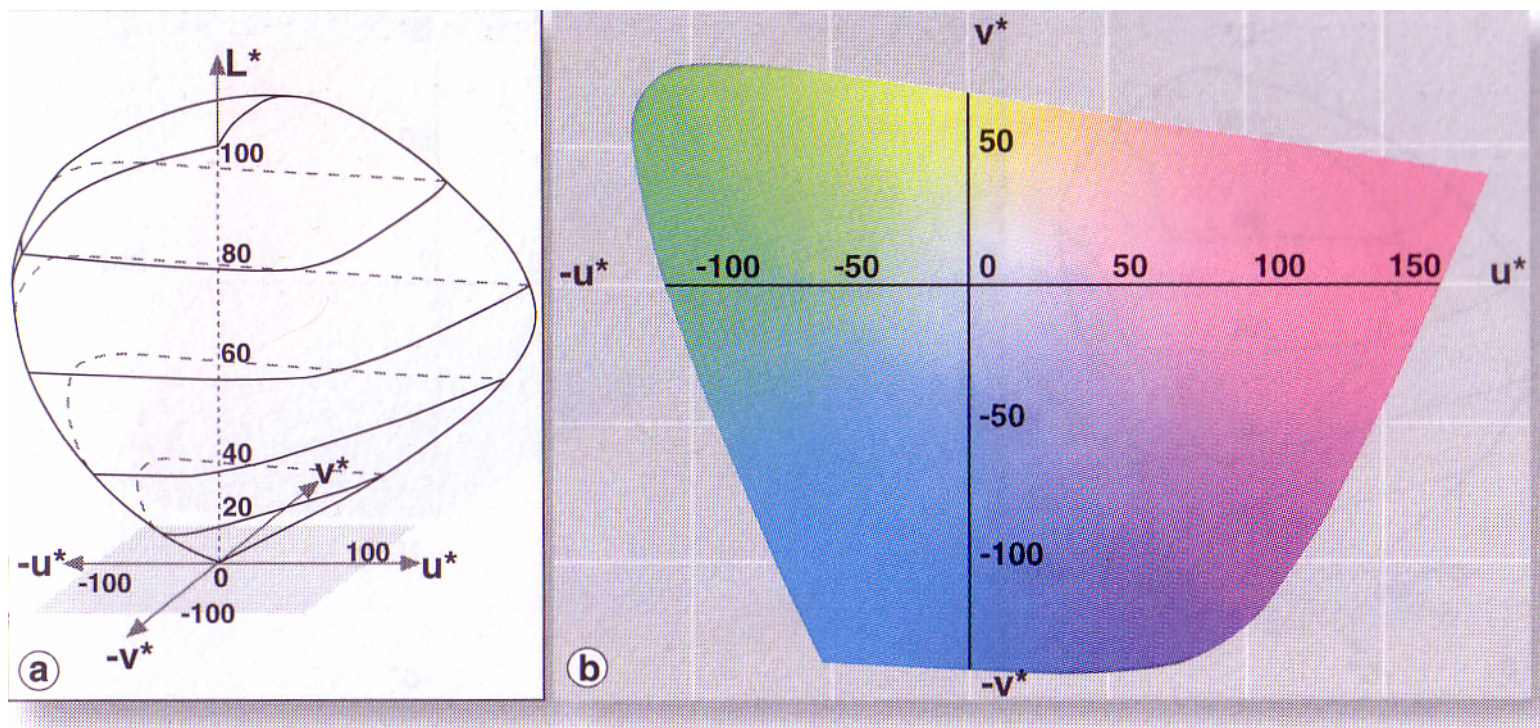


Η χρήση του διαγράμματος CIE και της γκάμας και των πρωτοουσών μιας τυπικής οθόνης CRT

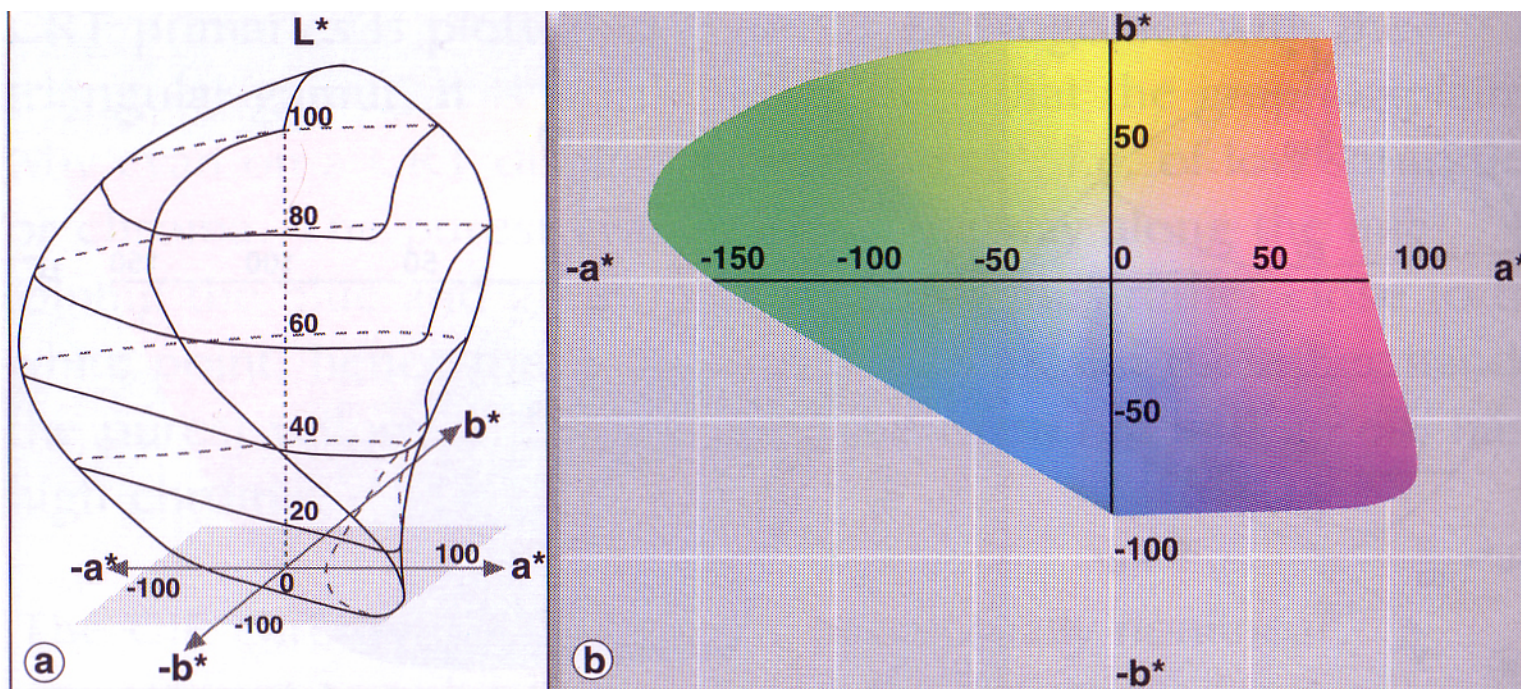
Ο ομοιόμορφος χρωματικός χώρος του CIE



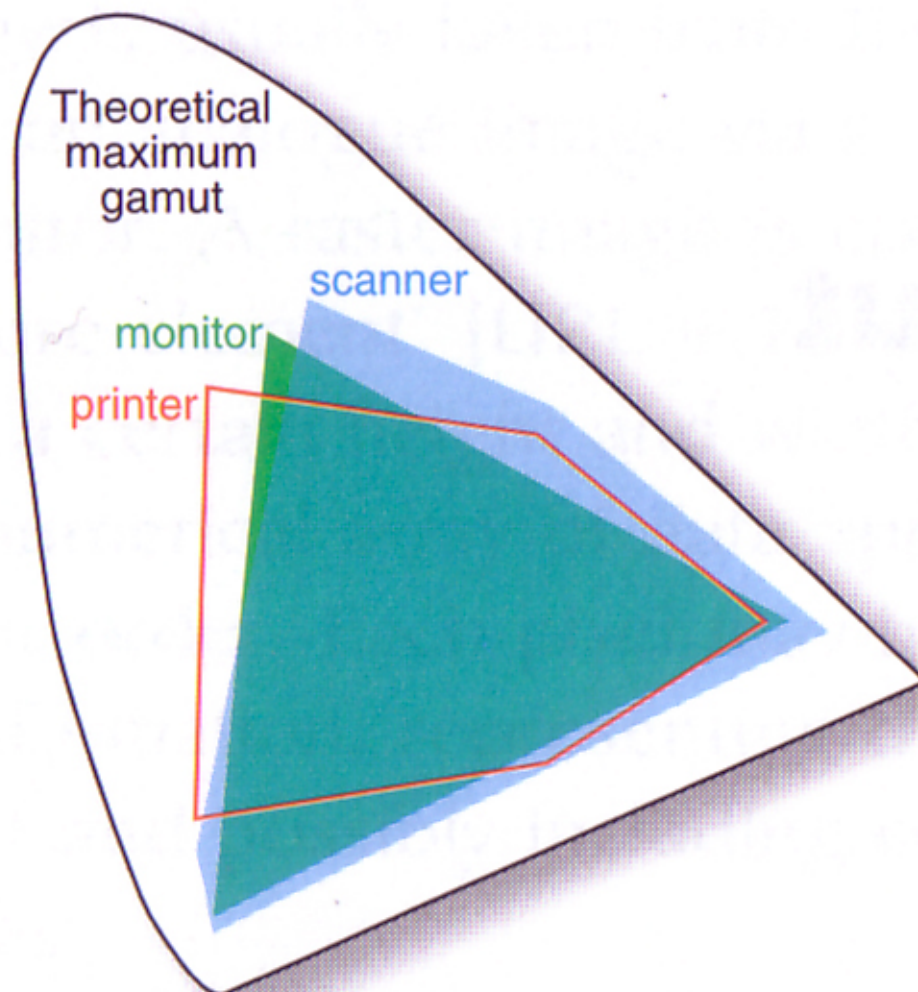
Ο χρωματικός χώρος του CIELUV

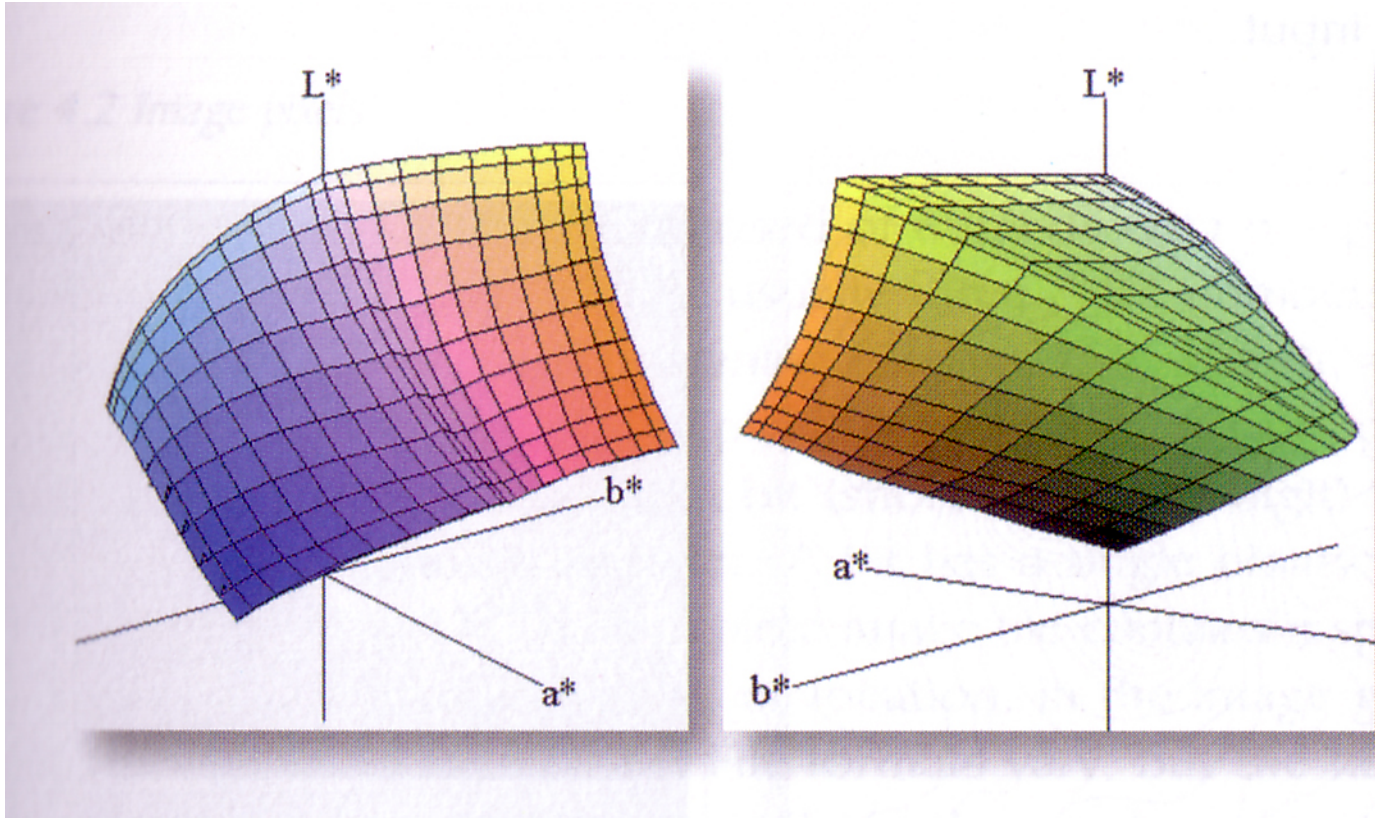


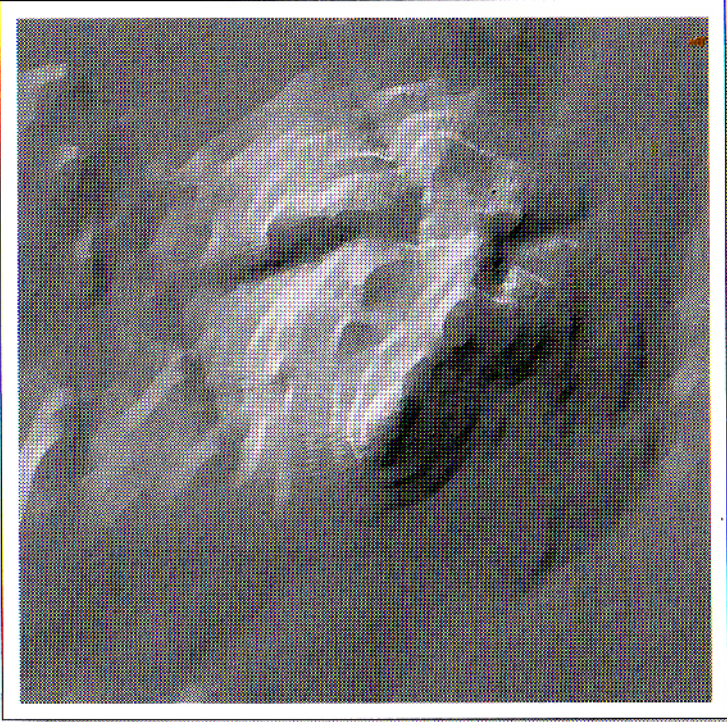
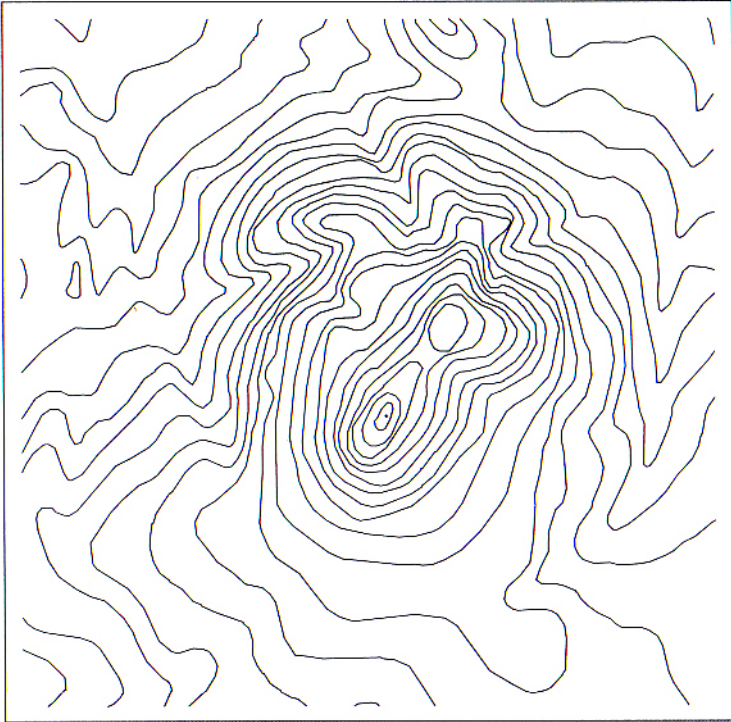
Ο χρωματικός χώρος του CIELAB

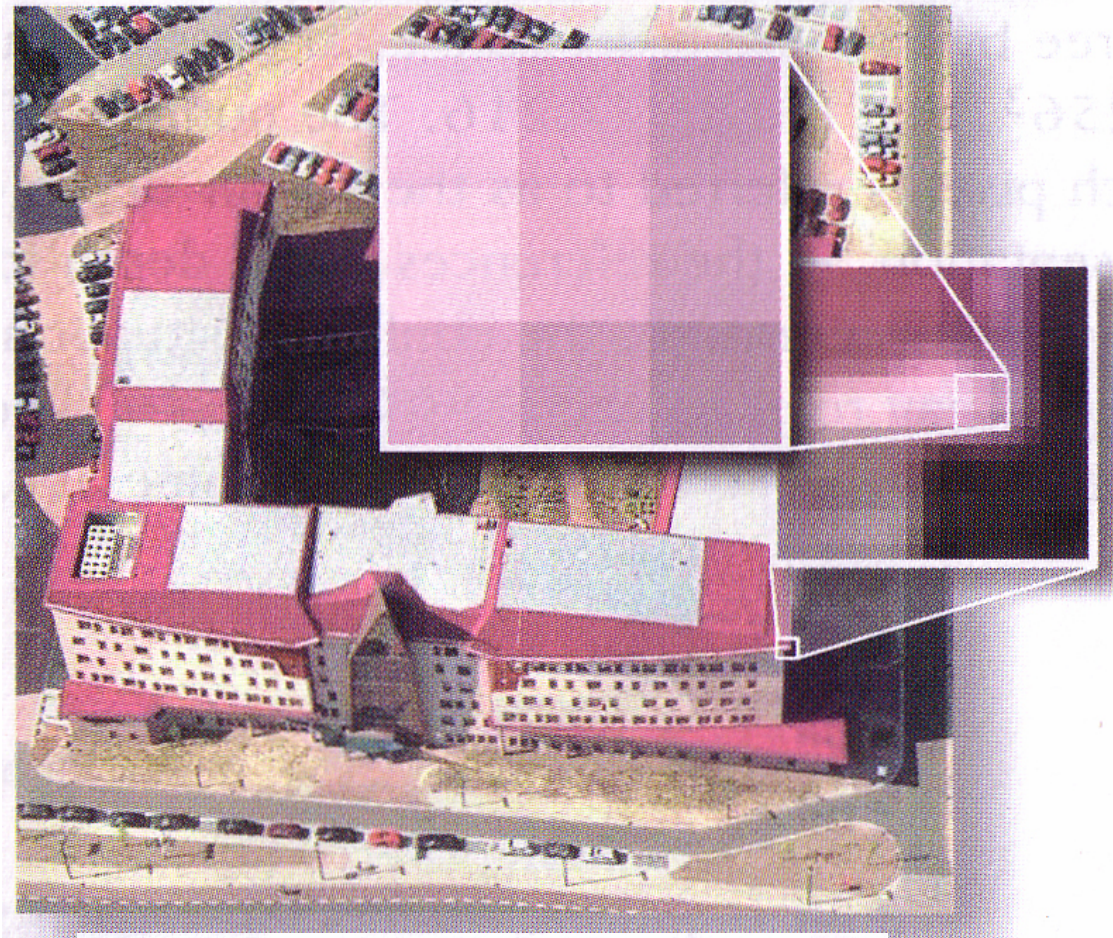



Οι διαφορές στη γκάμα των χρωμάτων μεταξύ των συσκευών εισόδου και εξόδου










1 bit 

2 bit 

3 bit 

4 bit 