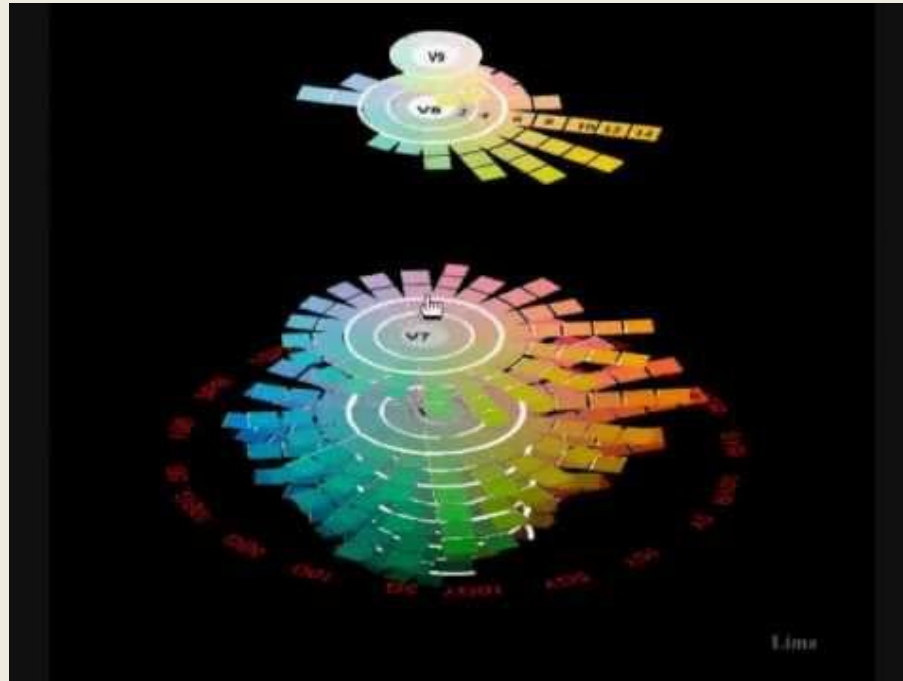


# Χρώμα Γραφικών Τεχνών και Εκτυπώσεων



Αθήνα 2020

Α. Καραμάνη

# Χρωματική αντίληψη



*Τα χρώματα είναι η μεγαλύτερη  
“χάρη του φωτός”, επιδέξια κρυμμένη  
μέσα στη λευκή του φύση*

Γ. Γραμματικάκης

## Αντίληψη του χρώματος

- Φωτεινή πηγή
- Αντικείμενο
- Οπτικό σύστημα

# Αντίληψη του χρώματος

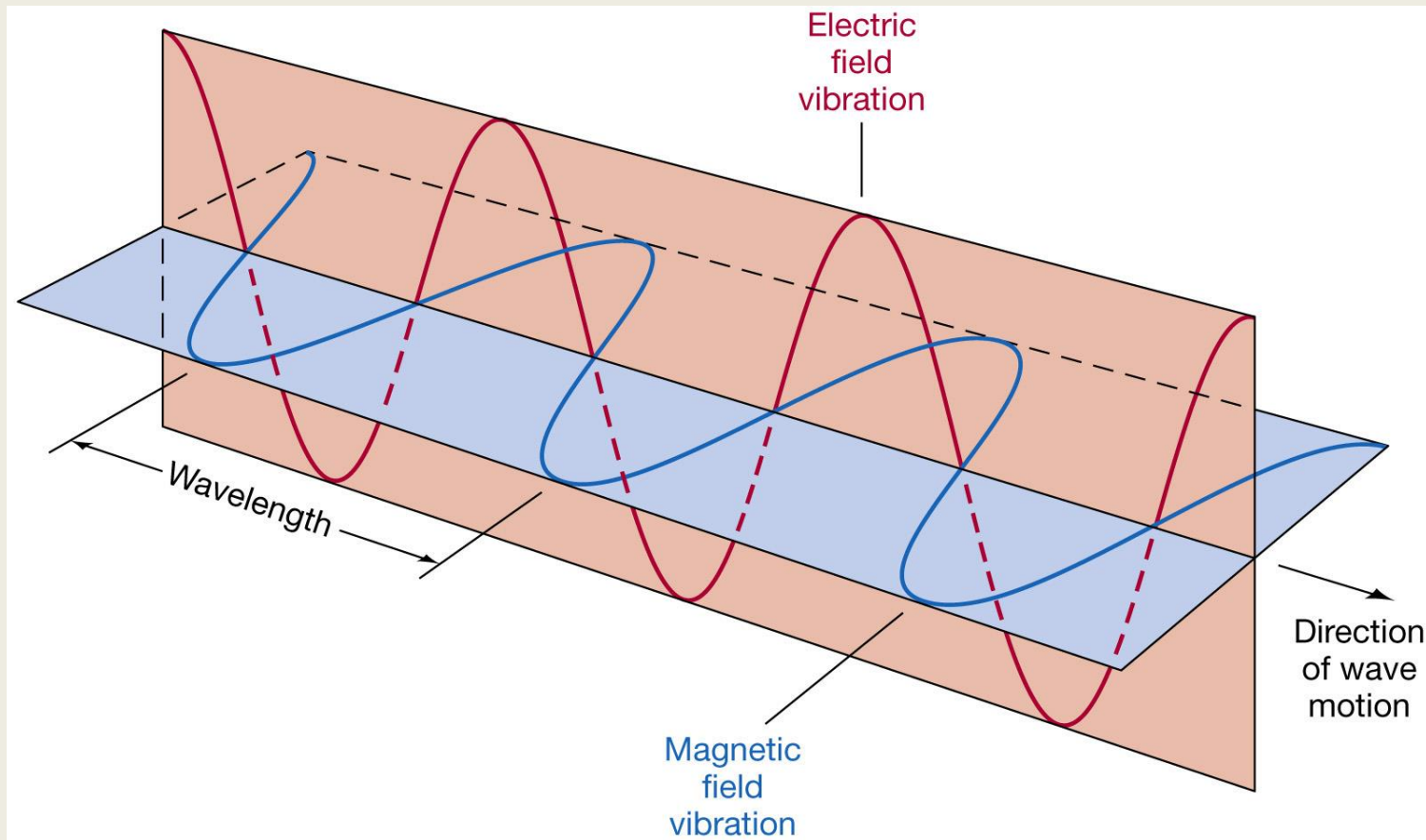
- Η έννοια του χρώματος αναφέρεται στο φαινόμενο της φυσικής μετατροπής του **φωτός** που ανακλάται από τα **αντικείμενα** και γίνεται ορατό, λόγω της χρωματικής ευαισθησίας του **ανθρώπινου οφθαλμού**, μέσω μιας ιδιαίτερα πολύπλοκης διαδικασίας. Αυτή η αισθητήρια αντίληψη προϋποθέτει την ύπαρξη τριών παραγόντων:  
**τη φωτεινή πηγή**  
**το αντικείμενο**, του οποίου οι ιδιότητες καθορίζουν την ανάκλαση και τη διάδοση του προσπίπτοντος φωτός και  
**το οπτικό σύστημα**, που για τον άνθρωπο είναι ο συνδυασμός οφθαλμού-εγκεφάλου

# Φύση του φωτός

## Ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell

- Το φως **είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα**, που παράγεται από δονήσεις των ηλεκτρικά φορτισμένων συστατικών των ατόμων της ύλης.
- Κατά τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων **μεταβιβάζεται ενέργεια** ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου
- **Μήκος κύματος**: η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του κύματος
- **Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**: το εύρος των επιπέδων ενέργειας (μήκη κύματος) που έχουν τα φωτόνια.
- **Ορατό φάσμα**: εκτείνεται από τα 380nm έως τα 770nm. **Διαφορετικά μήκη** κύματος προκαλούν **διαφορετικά αισθήματα** χρώματος ξεκινώντας από το ιώδες (με τα μικρότερα μήκη κύματος στα 380nm) μέχρι το κόκκινο (με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος στα 770nm).

# Φύση του φωτός



Ενέργεια φωτονίου  $E=h \cdot \nu$

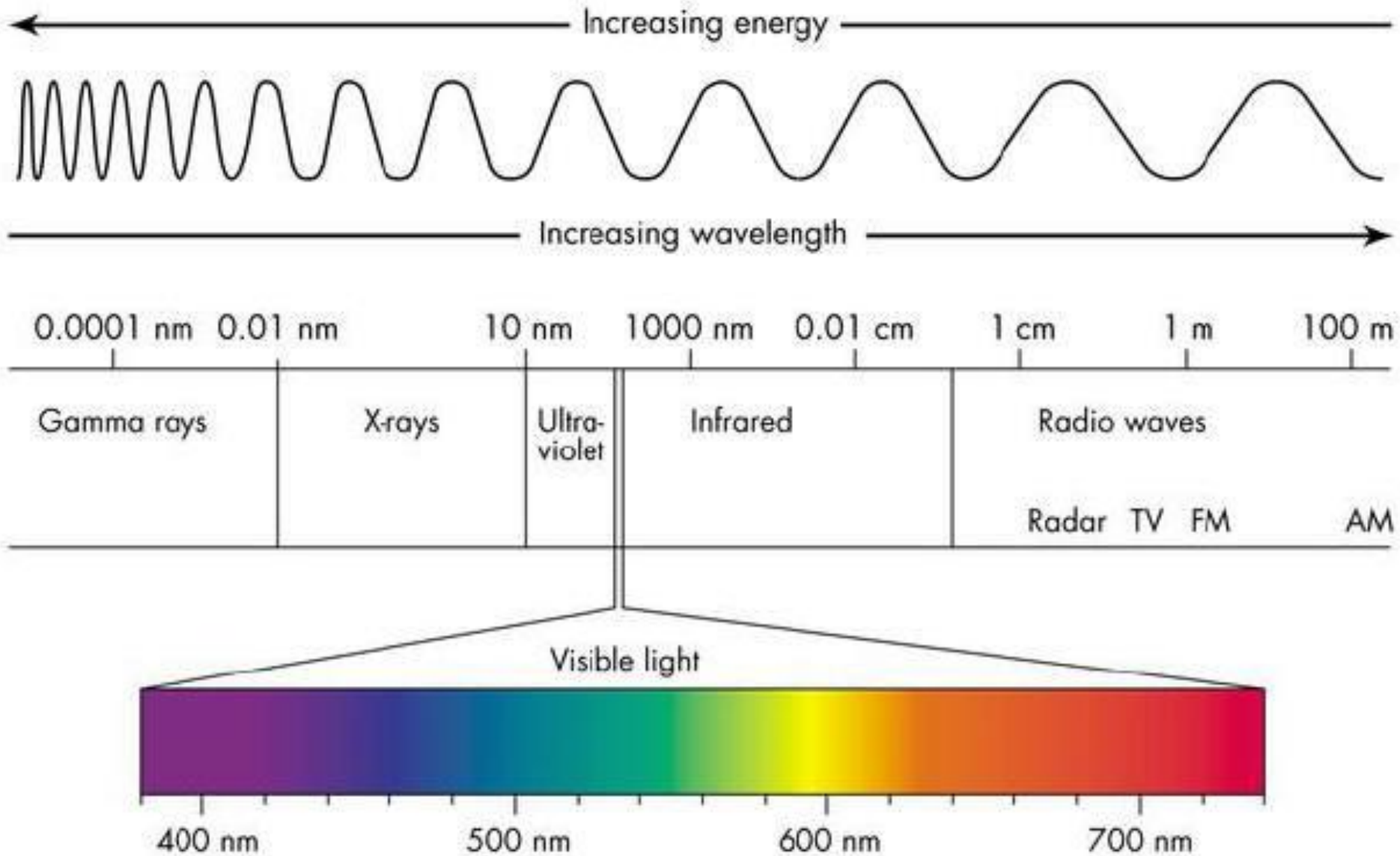
$h$ : σταθερά του Planck,  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$\nu$ : συχνότητα φωτονίου (ο αριθμός των ταλαντώσεων του πεδίου ανά δευτερόλεπτο)


Νανόμετρο  $\text{nm} =$

1 δισεκατομμυριοστό του μέτρου  
 $= 10^{-9} \text{ m}$

# Το ηλεκτρομαγνητικό και το ορατό φάσμα



## Το ηλεκτρομαγνητικό και το ορατό φάσμα

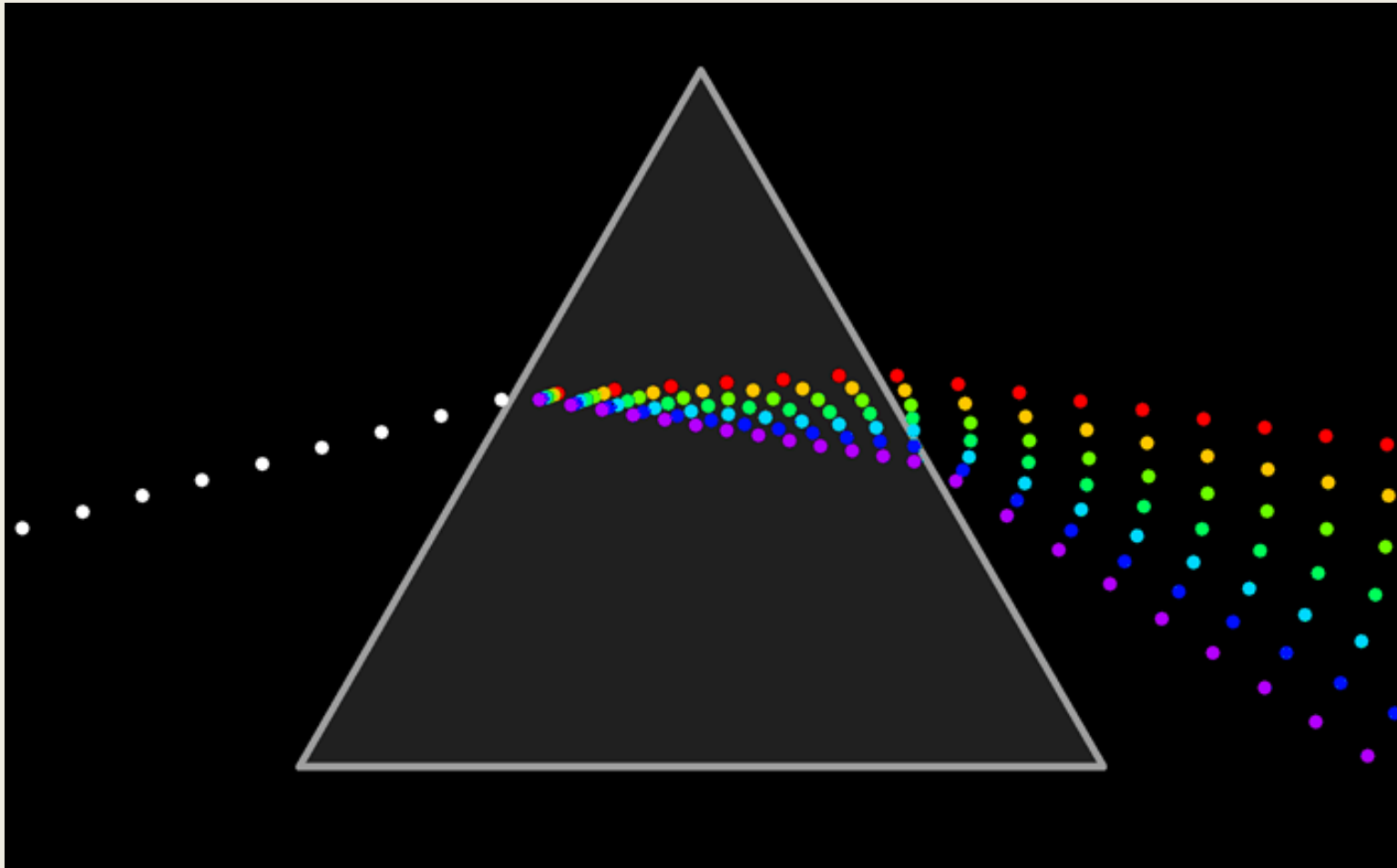
χρώμα	μήκος κύματος (νανόμετρα, nm)	συχνότητα (Hz)
 κόκκινο	~700-635 nm	~430-480 THz
 πορτοκαλί	~635-590 nm	~480-510 THz
 κίτρινο	~590-560 nm	~510-540 THz
 πράσινο	~560-520 nm	~540-580 THz
 κυανό	~520-490 nm	~580-610 THz
 μπλε	~490-450 nm	~610-670 THz
 ιώδες	~450-400 nm	~670-750 THz

# Φύση του φωτός

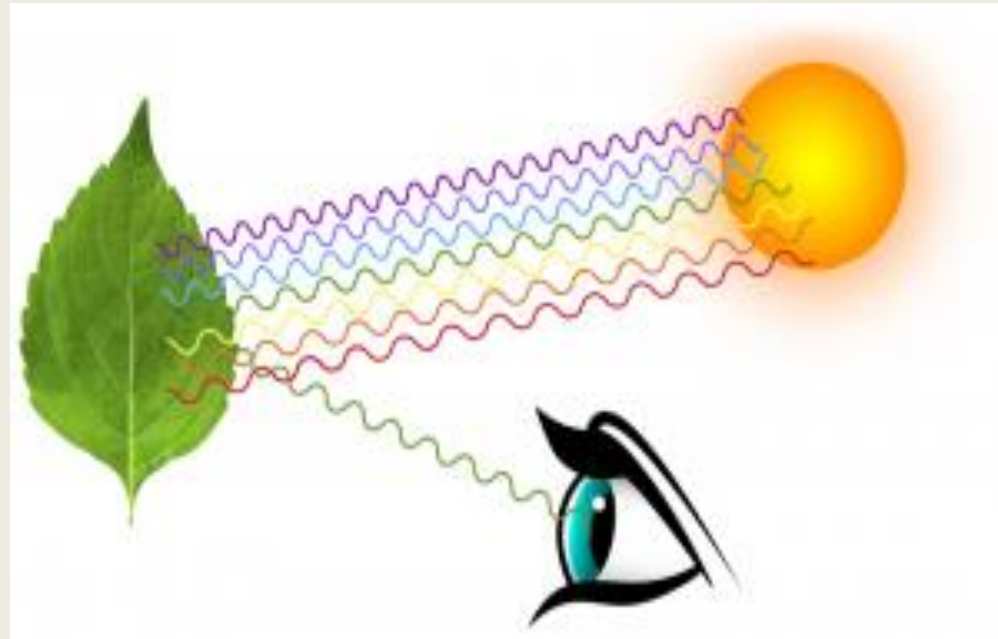
- Κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι δυνατόν να αναλυθούν μεμονωμένα τα μήκη κύματος του λευκού φωτός.
- Η ανακάλυψη του Isaac Newton (1660), πραγματοποιείται εύκολα σε εργαστήριο. Ο Newton χρησιμοποιώντας ένα γυάλινο πρίσμα και διαθλώντας μέσα από αυτό το φως κατάφερε να προβάλλει την ανάλυση όλων των συχνοτήτων του φωτός μεταξύ 400nm και 700nm, που εμφανίζεται ως ένα χρωματικό φάσμα από το οποίο διαχωρίζονται επτά χρώματα που αναμειγνύονται διαδοχικά από το ιώδες μέχρι το κόκκινο



# Φύση του φωτός



# Αντίληψη του χρώματος



- Πηγή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
- Ακτινοβολία που εκπέμπεται από την φωτεινή πηγή
- Ένα αντικείμενο του οποίου οι χημικές ιδιότητες τροποποιούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια
- Ανθρώπινο οπτικό σύστημα  
Η τροποποιημένη ενέργεια:
  - Εστιάζεται από το μάτι (καταγραφή ερεθίσματος στο αισθητήριο όργανο-εικόνα στον αμφιβληστροειδή)
  - Δημιουργία ηλεκτρικών σημάτων από τους υποδοχείς
  - Μεταφορά των σημάτων από εξειδικευμένους νευρώνες
  - Άφιξη των σημάτων στον εγκέφαλο
  - Ανάλυση των σημάτων από τον εγκέφαλο
  - Αντίληψη του εξωτερικού αντικειμένου

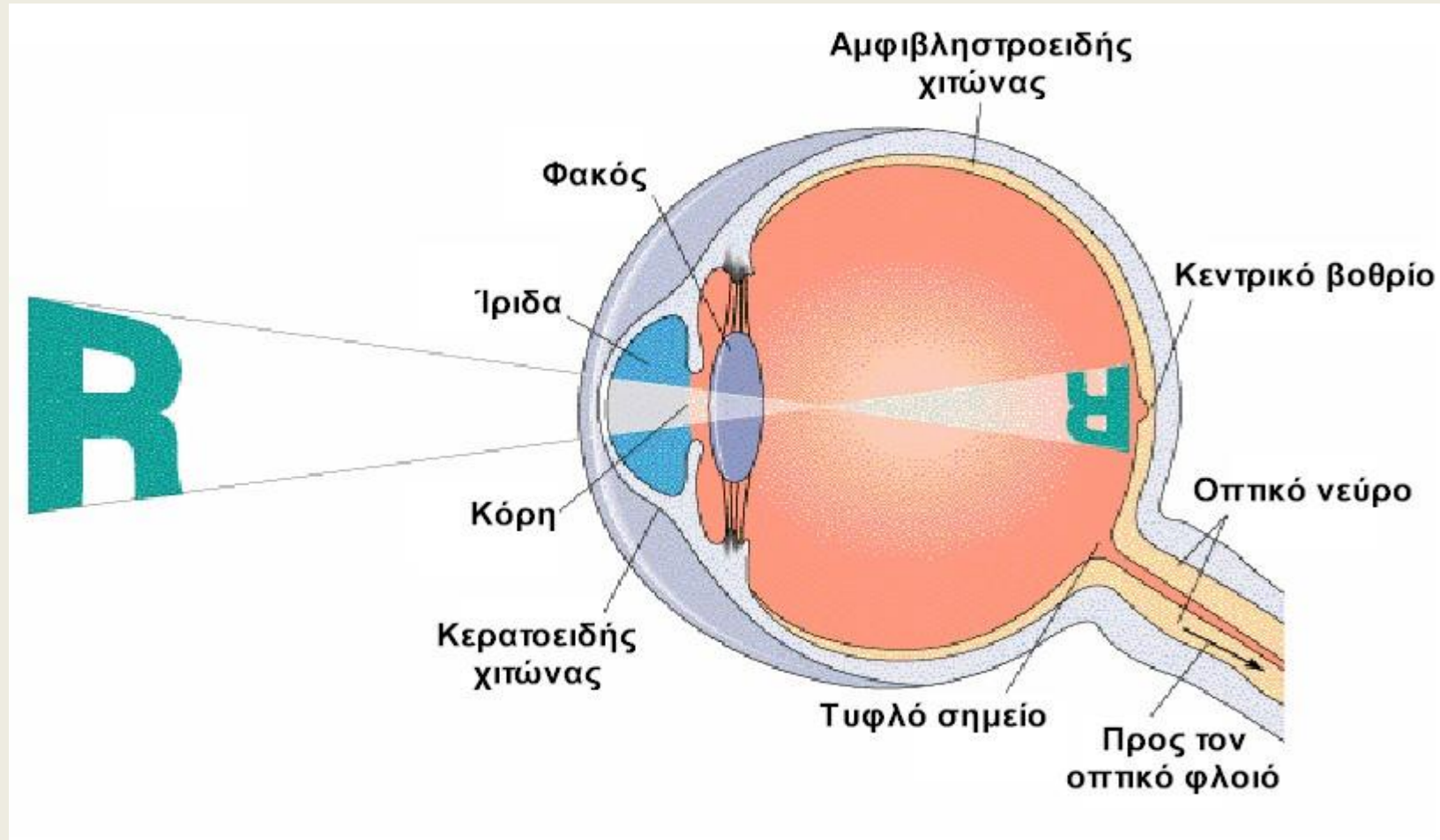
# Ανθρώπινο οπτικό σύστημα

Το ανθρώπινο μάτι απαρτίζεται από:

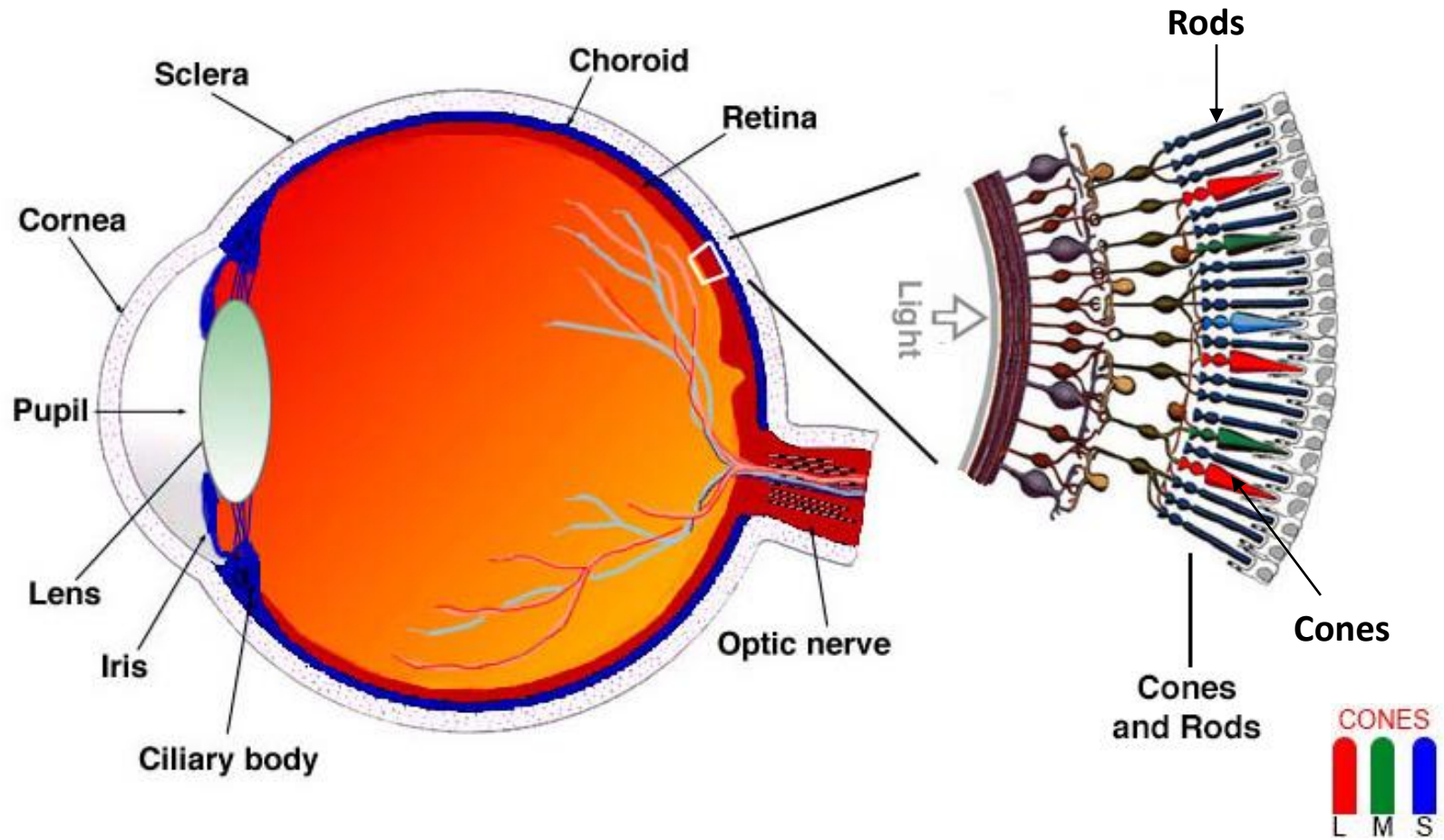
- ένα **οπτικό τμήμα**, το οποίο εστιάζει την οπτική εικόνα στους φωτοαισθητήρες (φωτοϋποδοχείς) και
- ένα **νευρικό τμήμα** το οποίο μετατρέπει την οπτική εικόνα σε μια δεδομένη αλληλουχία νευρικών εκφορτίσεων.

Οι φωτοαισθητήρες είναι ευαίσθητοι μόνο σε εκείνο το μικρό τμήμα του ευρύτατου φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το **ορατό φως**. Φωτεινή ακτινοβολία διαφορετικής φασματικής κατανομής ισχύος, πάντα μέσα στα όρια του ορατού φάσματος, γίνεται αντιληπτή ως διαφορετικά χρώματα.

# Οφθαλμός



# Οφθαλμός



# Ανθρώπινο οπτικό σύστημα

Στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ανθρώπινου οφθαλμού υπάρχουν δύο είδη φωτοϋποδοχέων:

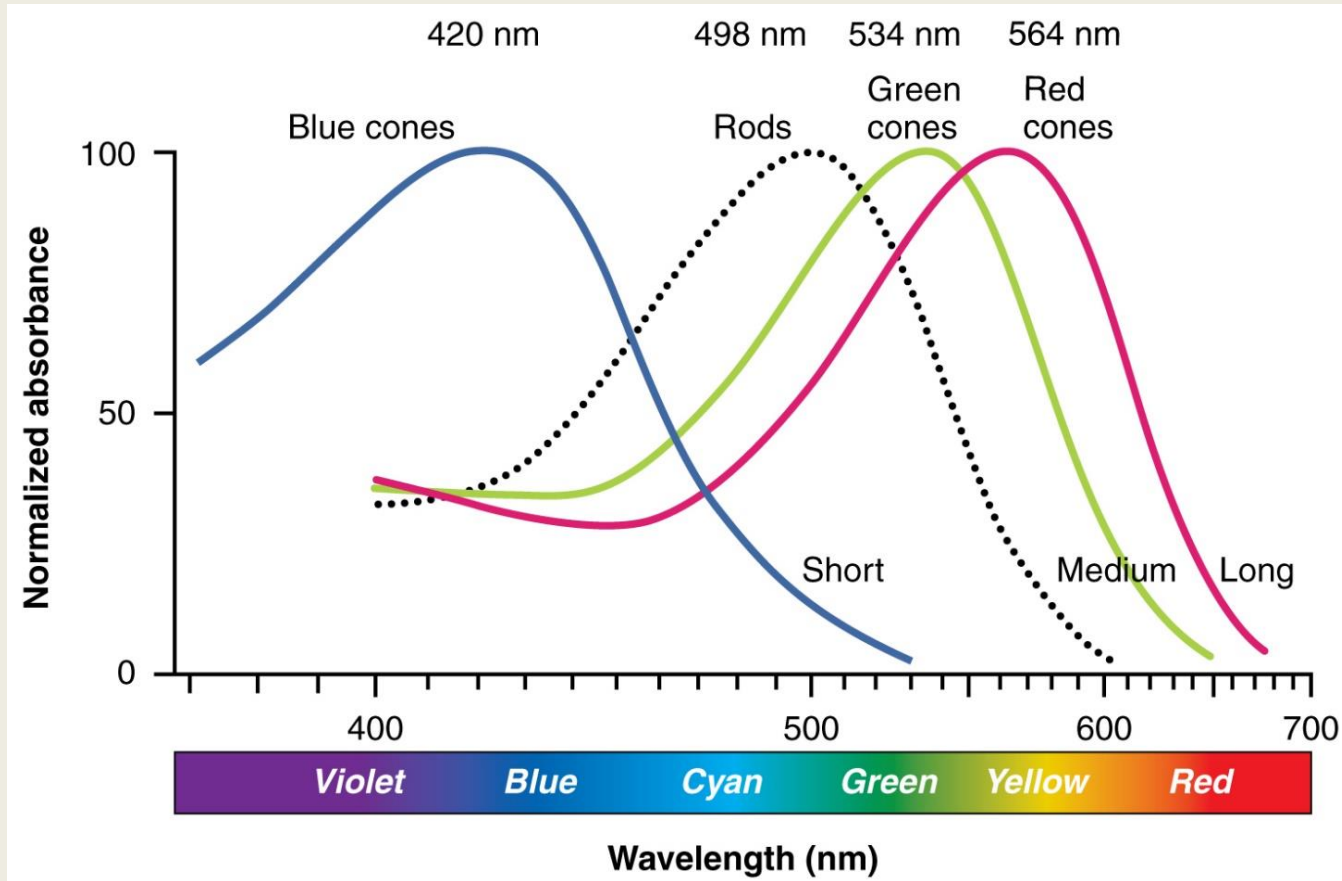
- **Ραβδία:** Περίπου 120 εκατομμύρια  
Βρίσκονται περιμετρικά του χιτώνα  
Έχουν κυλινδρικό σχήμα  
Υπεύθυνα για την όραση σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού, λόγω της μεγάλης τους ευαισθησίας
- **Κωνία:** Λιγότερα από τα ραβδία, περίπου 6 – 7 εκατομμύρια  
Μεγάλη συγκέντρωση στο κέντρο του αμφιβληστροειδούς  
Μικρότερη ευαισθησία στο χαμηλό φωτισμό  
Υπεύθυνα για το **χρώμα** και την **οξύτητα της αντίληψης**

# Ανθρώπινο οπτικό σύστημα

Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη κωνίων τα οποία αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο στα μήκη κύματος του φωτός

- **S-κωνία (Short):** ευαίσθητα σε φωτόνια μικρού μήκους κύματος μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος περίπου  $4.450 \text{ \AA}$  (445 nm). ευαίσθητα στο **μπλε φως**.
- **M-κωνία (Medium):** ευαίσθητα σε φωτόνια μεσαίου μήκους κύματος μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος περίπου  $5.400 \text{ \AA}$  (540 nm). Είναι ευαίσθητα στο **πράσινο φως**.
- **L-κωνία (Long):** ευαίσθητα σε φωτόνια μεγάλου μήκους κύματος και μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος περίπου  $5.770 \text{ \AA}$  (577nm). Είναι ευαίσθητα στο **κόκκινο φως**.

# Ανθρώπινο οπτικό σύστημα



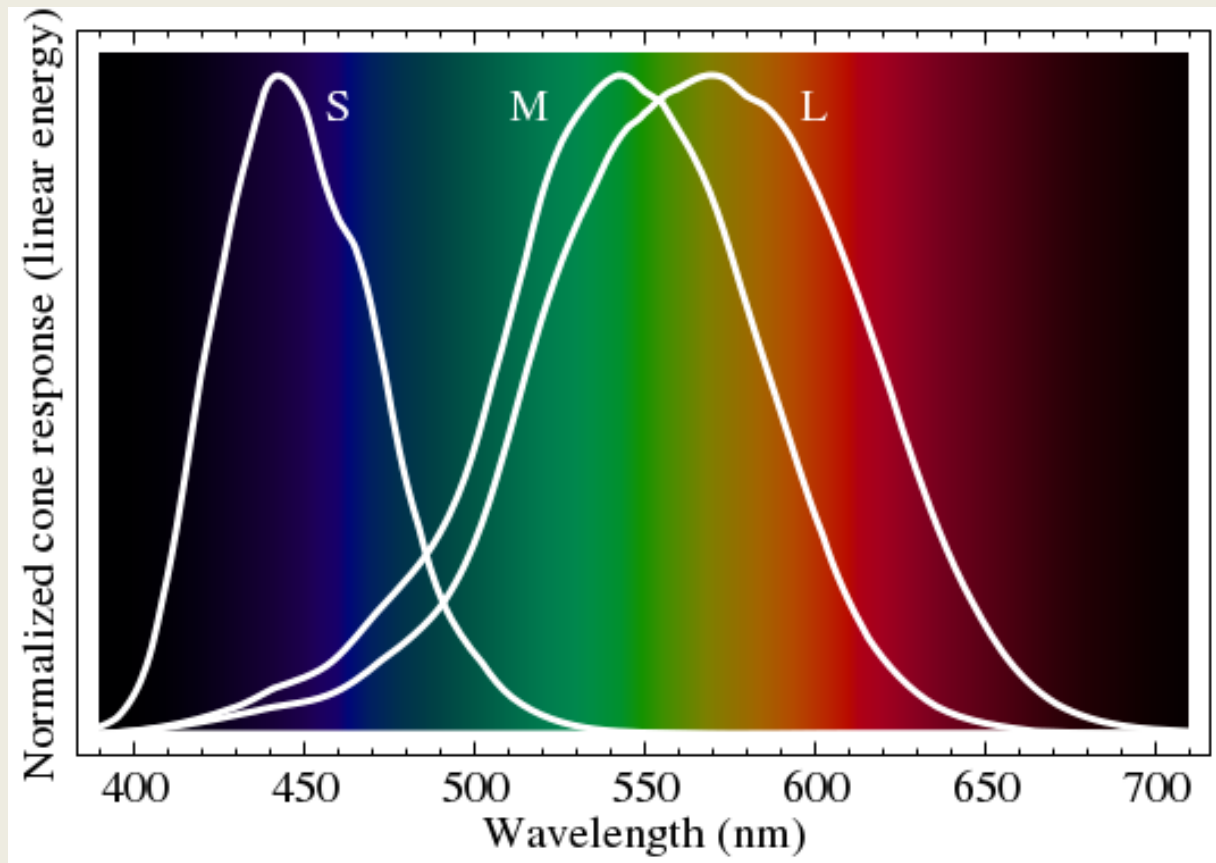
Φασματικές ευαισθησίες των L, M, S κωνίων συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



# Κωνία

- Η διάταξη των κωνίων είναι ανομοιόμορφη. Αριθμητικά εκείνα που αποκρίνονται (είναι ευαίσθητα) στην κόκκινη ακτινοβολία είναι πολύ περισσότερα από εκείνα που επηρεάζονται από την πράσινη και εκείνα με τη σειρά τους περισσότερα από εκείνα που επηρεάζονται από την μπλε ακτινοβολία.
- **S-κωνία : M-κωνία : L-κωνία = 1:16:32**

# Κωνία

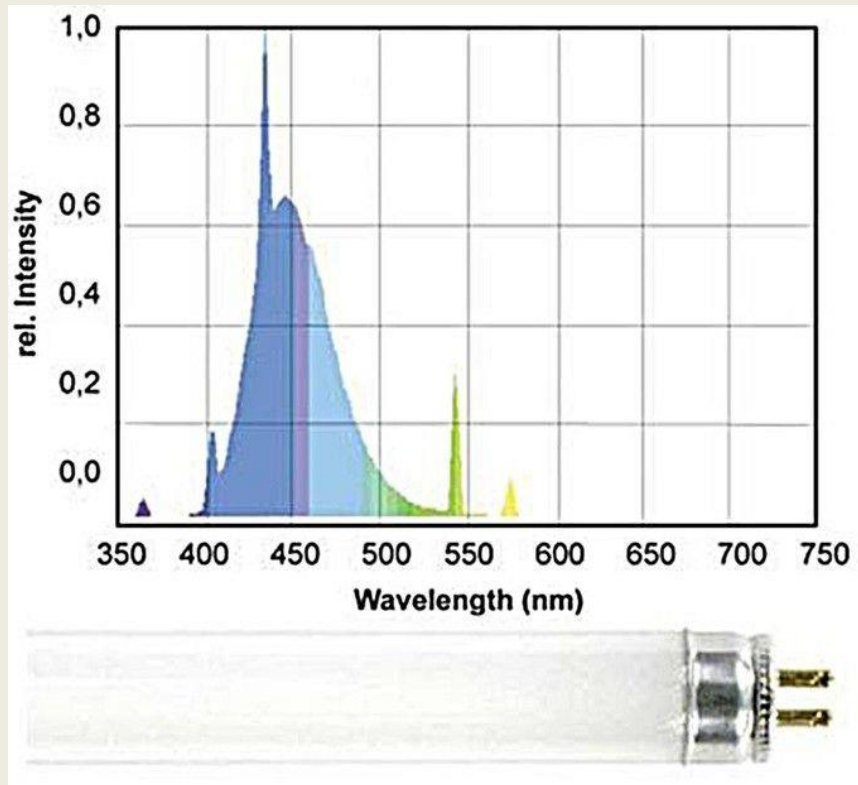


Φασματικές ευαισθησίες των L, M, S κωνίων συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

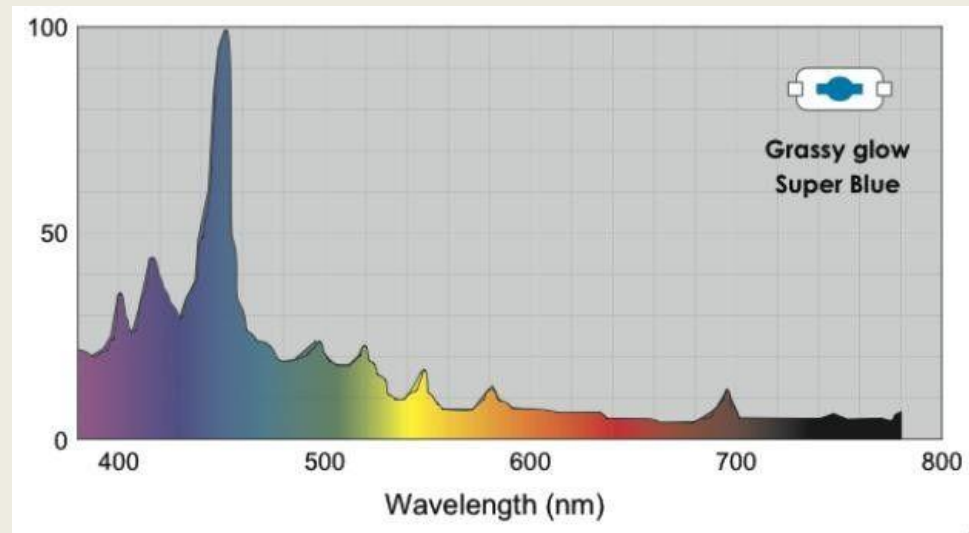
# Φωτεινή πηγή

- **Φωτεινές πηγές** μπορούν να χαρακτηριστούν τα σώματα τα οποία εκπέμπουν **ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες** με μήκη κύματος που βρίσκονται στην **περιοχή του ορατού φάσματος**. Η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατανέμεται, σε διάφορα μήκη κύματος, τα οποία καθορίζουν την καμπύλη φάσματος της φωτεινής πηγής.
- Όταν η εκπεμπόμενη ενέργεια συγκεντρώνεται σε μια πολύ στενή φασματική περιοχή γύρω από ένα μήκος κύματος έχουμε **μονοχρωματική ακτινοβολία**, ενώ όταν κατανέμεται ισόποσα σε όλη την ορατή περιοχή, έχουμε το **λευκό φως**

# Φωτεινή πηγή



Χαρακτηριστική ακτινική λάμπα φθορισμού:  
Giesemann Actinic Plus



Το φάσμα του Grassy glow super blue 25000K

# Φωτεινή πηγή

## Χαρακτηριστικά

- Θερμοκρασία χρώματος
- Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index, CRI)

# Φωτεινή πηγή

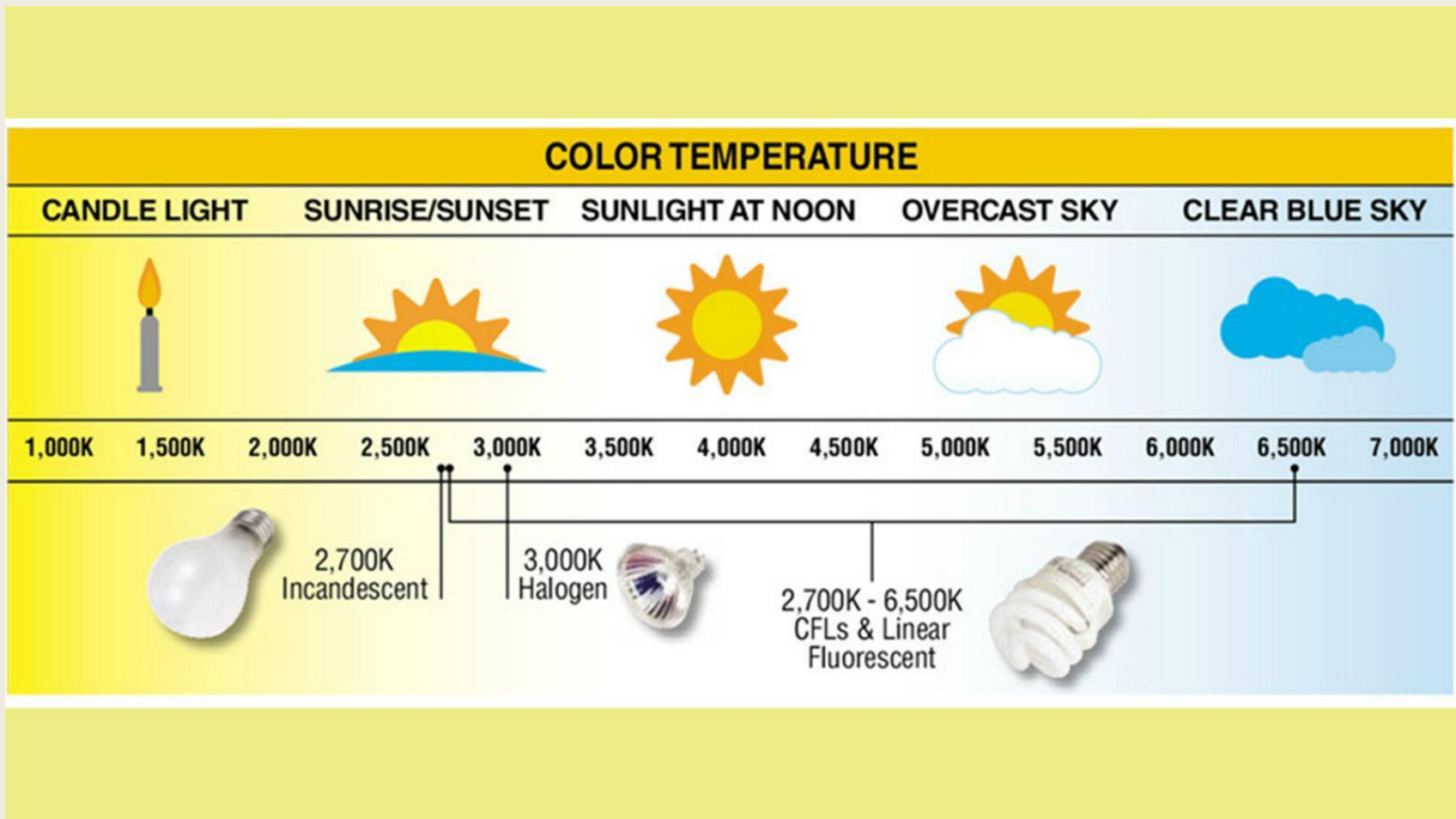
- **Θερμοκρασία χρώματος (Color Temperature):**

Περιγράφει το χρώμα του φωτός της πηγής με βάση τη θεωρία της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος.

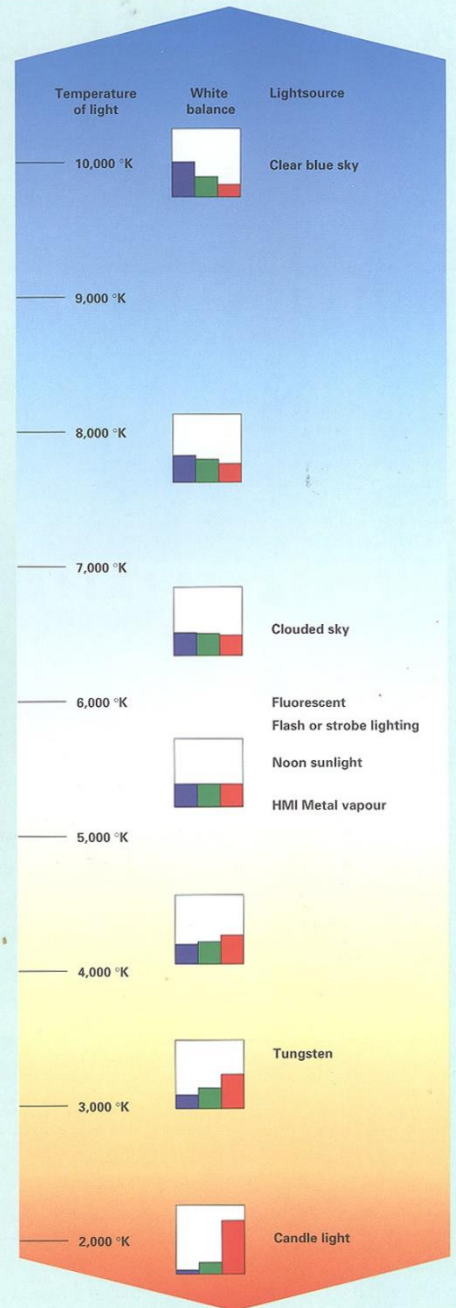
- **Μέλαν σώμα** είναι ένα θεωρητικό σώμα που απορροφά όλες τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που πέφτουν πάνω του (για το λόγο αυτό είναι μαύρο) και, θερμαινόμενο, ακτινοβολεί, σύμφωνα με το νόμο του Planck, φως χρωματικότητας που αντιστοιχεί στην αναφερόμενη θερμοκρασία  $T$ , μετρημένη σε βαθμούς **Kelvin**.
- Όσο **υψηλότερη** είναι η **θερμοκρασία χρώματος** τόσο **ψυχρότερη** είναι η **απόχρωση** της φωτεινής πηγής (χαμηλότερο επικρατούν μήκος κύματος).

❖  $K = C + 273$

# Φωτεινή πηγή

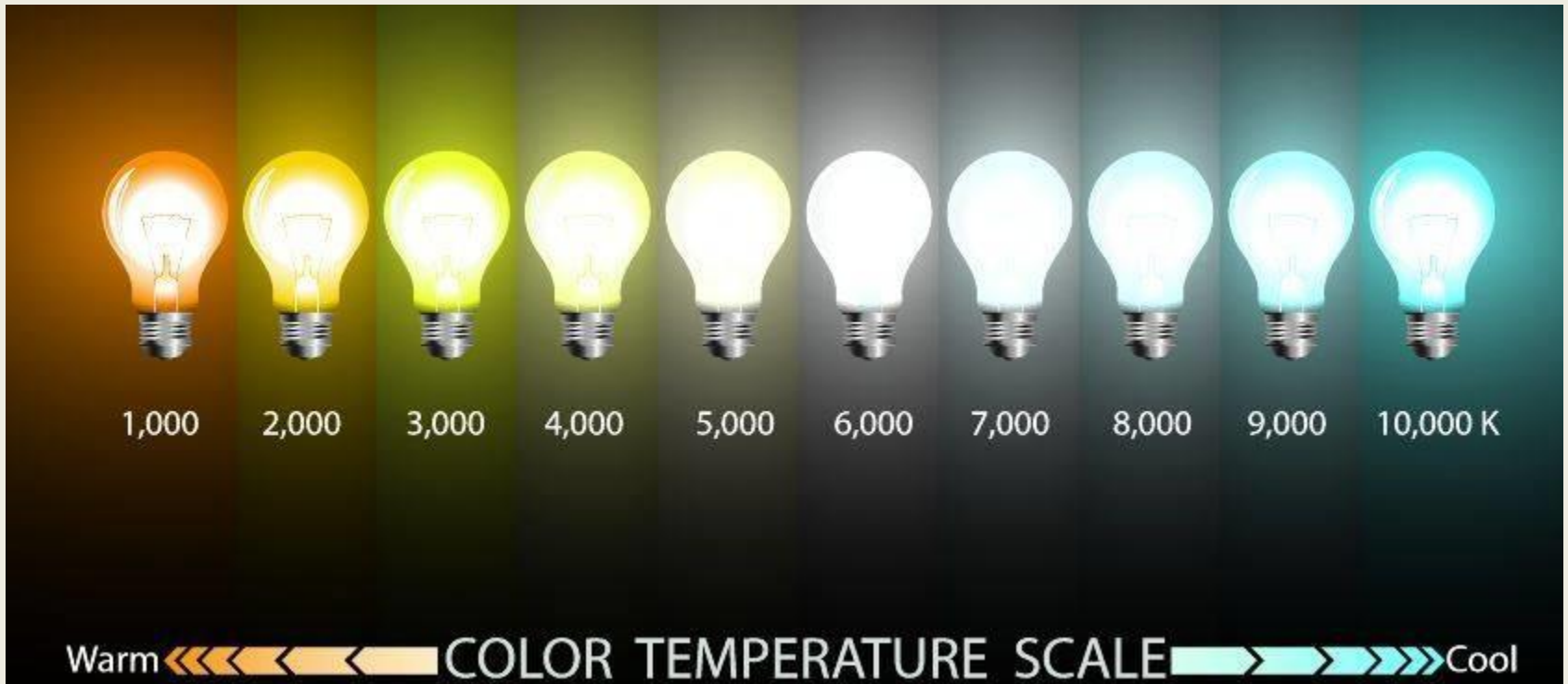


# Light source characteristics

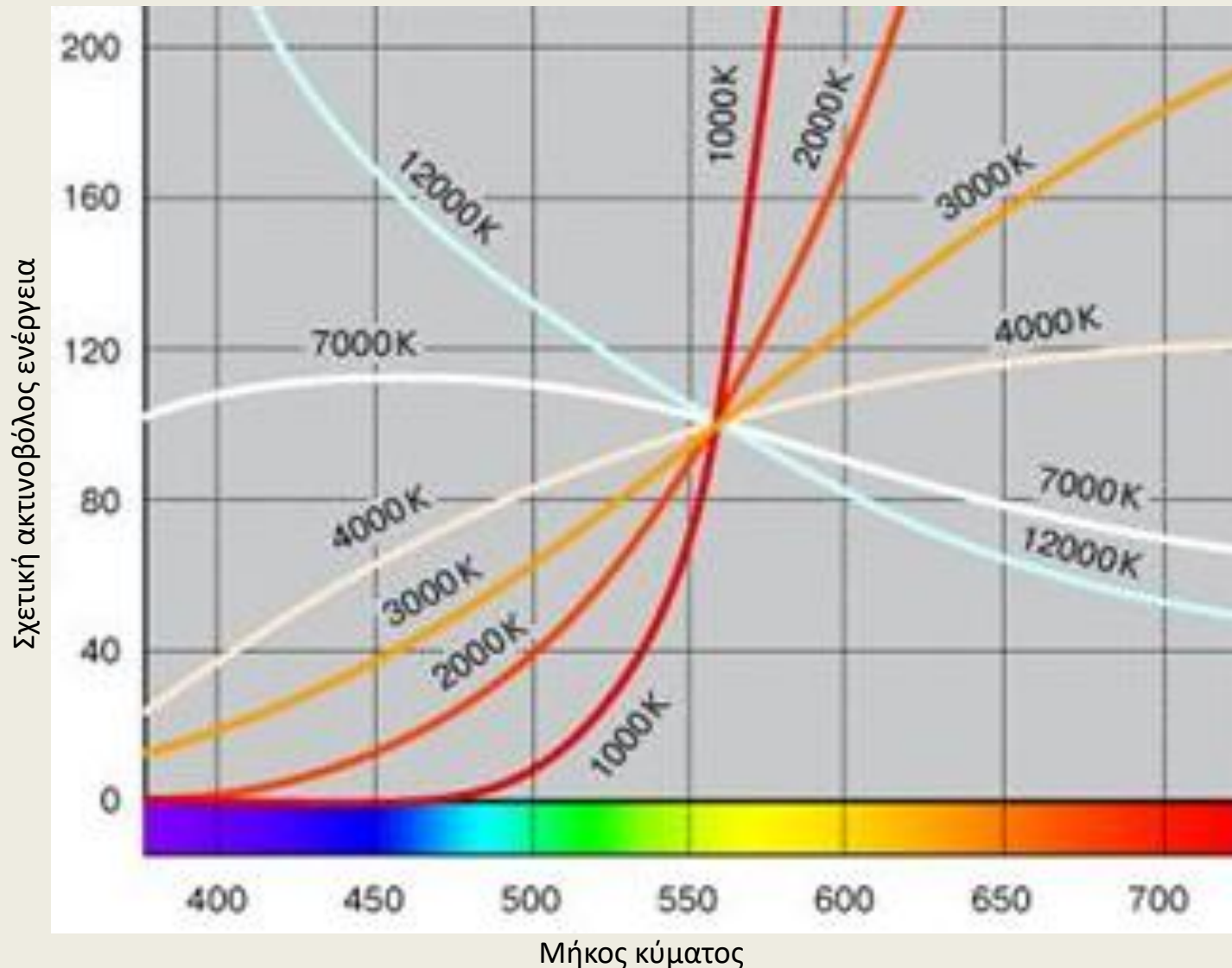




# Φωτεινή πηγή



# Φωτεινή πηγή



Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας μέλανος σώματος ανάλογα με την θερμοκρασία

# Χρωματική Διαφορά (ΔΕ)

## Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index, CRI)

- Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ικανότητας πιστής απόδοσης των χρωμάτων επιφανειών και αντικειμένων από το φως που εκπέμπει μια πηγή φωτός, σε σύγκριση με μια **φωτεινή πηγή αναφοράς**.
- Υπολογίζεται: Καθορισμένα έγχρωμα δείγματα (με το πρότυπο CIE 1995), φωτίζονται διαδοχικά από μια πηγή φωτός και από μια φωτεινή πηγή αναφοράς.

Η **διαφορά** αυτή είναι το μέτρο της **χρωματικής αποδόσεως** της υπό εξέταση πηγής.

**Μικρή διαφορά**  **μεγάλη προσέγγιση** προς την πηγή αναφοράς

**Μεγάλη διαφορά**  **σημαντική απόκλιση των χρωμάτων**

## Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index, CRI)

- **CRI:** τιμές από **0-100**
- **CRI 100:** Λευκό φως ιδίων χαρακτηριστικών με το φως ημέρας.
- **CRI μεγαλύτερο του 95:** Λαμπτήρες πυρακτώσεως
- **Λαμπτήρες αλογόνου:** Εκπέμπουν περισσότερο στο κόκκινο / κίτρινο τμήμα του ορατού φάσματος  
Έχουν **συνεχόμενο φάσμα όπως και το φως της ημέρας:**  
σημαντικός παράγοντας σε ότι αφορά την ανταπόκριση του ανθρώπινου ματιού στο φως.
- **CRI 90 - 100:** Ορισμένοι από τους λαμπτήρες **φθορισμού**.

## CRI Levels

CRI 97 - Natural and vivid colors.



# Φωτεινή πηγή

Λαμπτήρες που αποδίδουν φυσικό χρώμα

- **PHILIPS**  
**Graphica Pro TLD 90**  
**58W/950**  
(5300 Kelvin) CRI ~ 98
  - **OSRAM**  
**ColorProof L-58W/950**  
(5400 Kelvin) ) CRI ~ 98
- ή ακόμα και
- **OSRAM**  
**Lumilux De Lux L58W/954**  
(5400 Kelvin) CRI > 90

## Ugra Light Indicator

This is how the light indicator appears under standard light of 5000 K. All patches show the same color.



If the light indicator is viewed under a non-standard light source. The patches show different colors.



# Φωτεινή πηγή

## Ταξινόμηση φωτεινών πηγών

- **Μέλαν σώμα**
- **Ημερήσιο φως**
- **Φωτεινές πηγές τεχνητού φωτισμού**
  - Λάμπες πυράκτωσης
  - Λυχνίες εκκενώσεως αερίων: Αποτελούνται από ένα σωλήνα που περιέχει αέριο (ατμούς υδρογόνου ή αέριο xenon) και διεγείρονται με ηλεκτρισμό. Οι λάμπες **φθορισμού** είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος τέτοιων λυχνιών. Οι φώσφοροι που καλύπτουν το εσωτερικό του σωλήνα απορροφούν τα φωτόνια που εκπέμπονται από το αέριο και τα εκπέμπουν ξανά σε διαφορετικά μήκη κύματος.
  - LEDs
- **Οθόνες υπολογιστών CRT (Cathode Ray Tube)** Φώσφορος ο οποίος εκπέμπει συγκεκριμένα μήκη κύματος



# Φωτεινή πηγή

## Τυποποίηση φωτεινών πηγών κατά CIE

- **Φωτεινή πηγή A** : Προσομοιάζει με το φως **λαμπτήρων πυράκτωσης**  
T: 2.855,5K

Με τη βοήθεια φίλτρων που μεταβάλλουν την κατανομή της φασματικής ενέργειας της πηγής A προέκυψαν οι πηγές B και C

- **Φωτεινή πηγή B**: Αντιστοιχεί στην ακτινοβολία που εκπέμπει το **ηλιακό φως** (το φως του ήλιου κατά το μεσημέρι)  
T: 4874K
- **Φωτεινή πηγή C**: Προσομοίωση του **πρωινού ηλιακού φωτός**  
T: 6774 K

Οι πρότυπες πηγές φωτισμού δεν είναι φυσικές πηγές, αλλά φωτιστικά μοντέλα (πρότυπα) με διακριτή κατανομή φασματικής ενέργειας

# Φωτεινή πηγή

- **Φωτεινή πηγή D:** Σειρά φωτιστικών με ποικιλία μοντέλων που αντιστοιχούν στο **φως ημέρας (Daylight)**

D50: T= 5.000 K (Γραφικές Τέχνες)

D55: Φωτογραφία

D65: T= 6.500 K (Δεν υποστηρίζεται πλέον)

Η **D50** χρησιμοποιείται ευρύτατα στις **γραφικές τέχνες**.

- **Φωτεινή πηγή E:** Ιδανική (μη υπαρκτή) φωτεινή πηγή, χρησιμοποιείται μόνο για υπολογισμούς. Εκπέμπει **ίση ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος** του ορατού φάσματος.
- **Φωτεινή πηγή F:** Αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικά μήκη κύματος από μεγάλη ποικιλία **λαμπτήρων φθορισμού**, όπως οι F2, F3, έως F12 (Fraser, Murphy & Bunting, 2005).

# Πρότυπος παρατηρητής

- Εκτός από τον καθορισμό των τυπικών φωτιστικών, η CIE διεξήγαγε πειράματα για να ποσοτικοποιήσει τον τυπικό παρατηρητή. Η ανάπτυξη του τυπικού παρατηρητή είναι η βάση για όλες τις οργανικές μετρήσεις χρώματος.
- Ένας τυπικός παρατηρητής ορίζεται ως ένας τυπικός ανθρώπινος παρατηρητής με φυσιολογική έγχρωμη όραση.
- Σημαντικό στοιχείο είναι οι συνθήκες παρατήρησης που ποικίλλουν μεταξύ των πεδίων οπτικής γωνίας **2° (1931)** και **10° (1964)** και δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα που χαρακτηρίζονται από το ευαίσθητο πεδίο χρωματικής διάκρισης της γωνίας **2°** και την αντικειμενική και πληρέστερη παρατήρηση του η γωνία **10°**.

# Πρότυπος παρατηρητής

- **1931 Πρότυπος παρατηρητής 2°**
- Το 1927, οι φυσικοί John Guild και David Wright συγκέντρωσαν θέματα και πραγματοποίησαν ένα πείραμα αντιστοίχισης χρωμάτων για να προσδιορίσουν πώς αντιλαμβάνεται το χρώμα ο μέσος άνθρωπος. Ζητήθηκε από τα άτομα να κοιτάξουν μέσα από μια τρύπα και να ταιριάξουν με κάθε χρώμα στο φάσμα συνδυάζοντας διάφορες εντάσεις κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτός. Η τρύπα επέτρεπε μόνο οπτικό πεδίο 2° λόγω της πεποίθησης ότι σε αυτήν την περιοχή υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση κωνίων, συνεπώς το μάτι εμφανίζει τη μεγαλύτερη χρωματική οξύτητα.

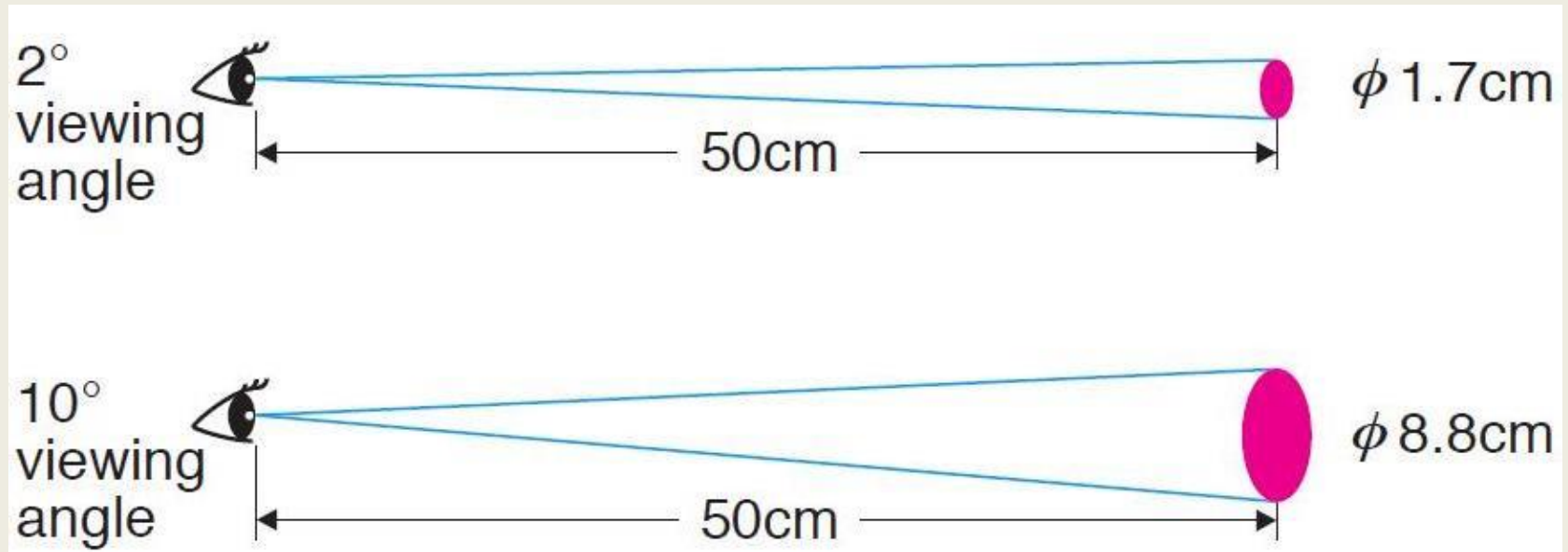
# Πρότυπος παρατηρητής

- Με βάση τις αποκρίσεις σε αυτό το πείραμα, οι τιμές σχεδιάστηκαν για να αντανακλούν τον τρόπο με τον οποίο το μέσο ανθρώπινο μάτι αισθάνεται τα χρώματα στο φάσμα με οπτικό πεδίο  $2^\circ$ . Κάθε καμπύλη – γραμμή x, γραμμή y και γραμμή z – αντιπροσωπεύει ένα από τα τρία βασικά χρώματα του φωτός.
- Αναφερόμενος ως ο Πρότυπος Παρατηρητής  $2^\circ$ , η CIE δημοσίευσε αυτό ως μαθηματική συνάρτηση το 1931 για να χρησιμοποιηθεί στην ποσοτικοποίηση του χρώματος και να τυποποιήσει τον τρόπο αξιολόγησης του χρώματος.

# Πρότυπος παρατηρητής

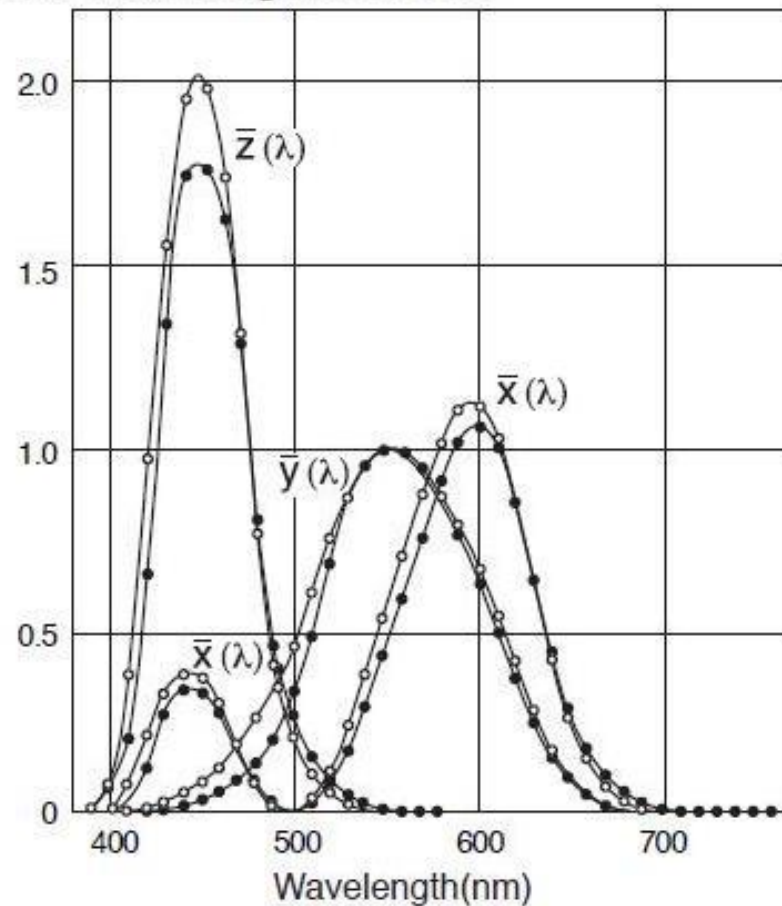
- **1964 Πρότυπος παρατηρητής 10°**
- Αργότερα καθορίστηκε ότι οι τιμές χρώματος που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τον παρατηρητή 2° δεν συσχετίζονται πάντα καλά με την οπτική αξιολόγηση, καθώς οι περισσότερες οπτικές αξιολογήσεις γίνονται με οπτικό πεδίο μεγαλύτερο από 2 μοίρες. Το 1964, το CIE όρισε έναν συμπληρωματικό παρατηρητή για να παρέχει καλύτερη συσχέτιση με την εμπορική αντιστοίχιση χρωμάτων. Ο συμπληρωματικός παρατηρητής βασίζεται σε πειράματα αντιστοίχισης χρωμάτων που διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας οπτικό πεδίο 10°.
- Η επαναληψιμότητα του τυπικού παρατηρητή βρέθηκε να είναι πιο ακριβής χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο οπτικό πεδίο. Σήμερα, ο παρατηρητής 10° χρησιμοποιείται ευρύτερα στη σύνθεση χρωμάτων και στον έλεγχο ποιότητας χρώματος.

# Πρότυπος παρατηρητής



# Πρότυπος παρατηρητής

Color-matching functions



● 2° Standard Observer

○ 10° Supplementary Standard Observer



# Αντικείμενο

- Υπάρχουν τρία ενδεχόμενα για τις φωτεινές ακτίνες που προσκρούουν σε μια επιφάνεια:
- **αντανάκλαση  $R(\lambda)$**
- **διάδοση  $T(\lambda)$**  και
- **απορρόφηση  $A(\lambda)$**
- Το χρώμα ενός αντικειμένου που τελικά αντιλαμβανόμαστε εμείς καθορίζεται από τη φασματική κατανομή του προσπίπτοντος φωτός, το οποίο φτάνει στο μάτι μας διαφοροποιημένο μετά από ανάκλαση στην επιφάνεια του αντικειμένου.
- Το ποσοστό που θα ανακλαστεί είναι συνάρτηση της μορφής που έχει η **επιφάνεια του υλικού**, της **φύσης του υλικού**, του **μήκους κύματος**, της **γεωμετρίας του φωτισμού** και της **παρατήρησης**.

# Χρωματικές Θεωρίες

Ιστορικά, υπήρξαν πολλές θεωρίες, οι οποίες προσπάθησαν να εξηγήσουν την λειτουργία της ανθρώπινης χρωματικής όρασης.

Στην Αρχαία Ελλάδα, ο **Αριστοτέλης** (στο *Περί Αισθήσεως και Αισθητών*) ανέπτυξε την πρώτη γνωστή θεωρία του χρώματος κατατάσσοντας τα χρώματα σε μια **γραμμική κλίμακα** μεταξύ λευκού και μαύρου, με τα ανοιχτότερα χρώματα να ξεκινούν με κίτρινο κοντά στο λευκό και τα πιο σκούρα χρώματα να ξεκινούν με μπλε κοντά στο μαύρο.

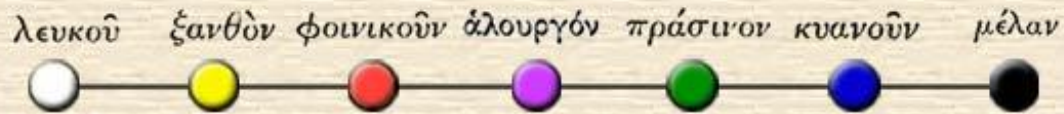
Η κατάταξη των χρωμάτων από τον Αριστοτέλη βασίστηκε στην παρατήρηση της αλλαγής των χρωμάτων του ορίζοντα κατά την δύση του ηλίου.

Τα χρώματα πηγάζουν από την αλληλεπίδραση φωτός και σκότους.

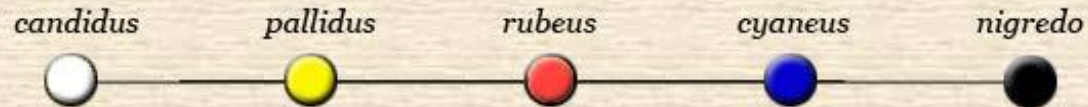
## Linear systems

© David Briggs, 2013

A. Aristotle, c. 330 BC



B. Chalcidius, c. 325 AD



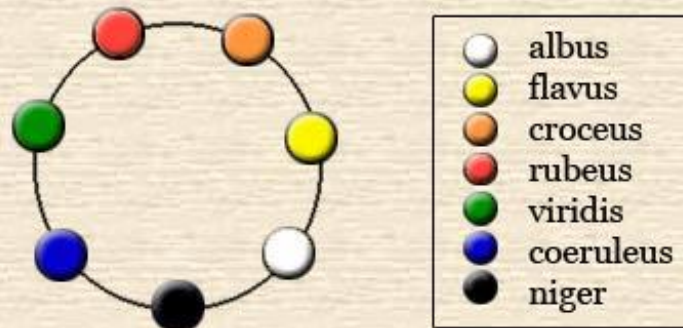
C. Bartholomaeus Anglicus, 14th c.



D. Leonardo da Vinci, c. 1500



E. Robert Fludd, 1629



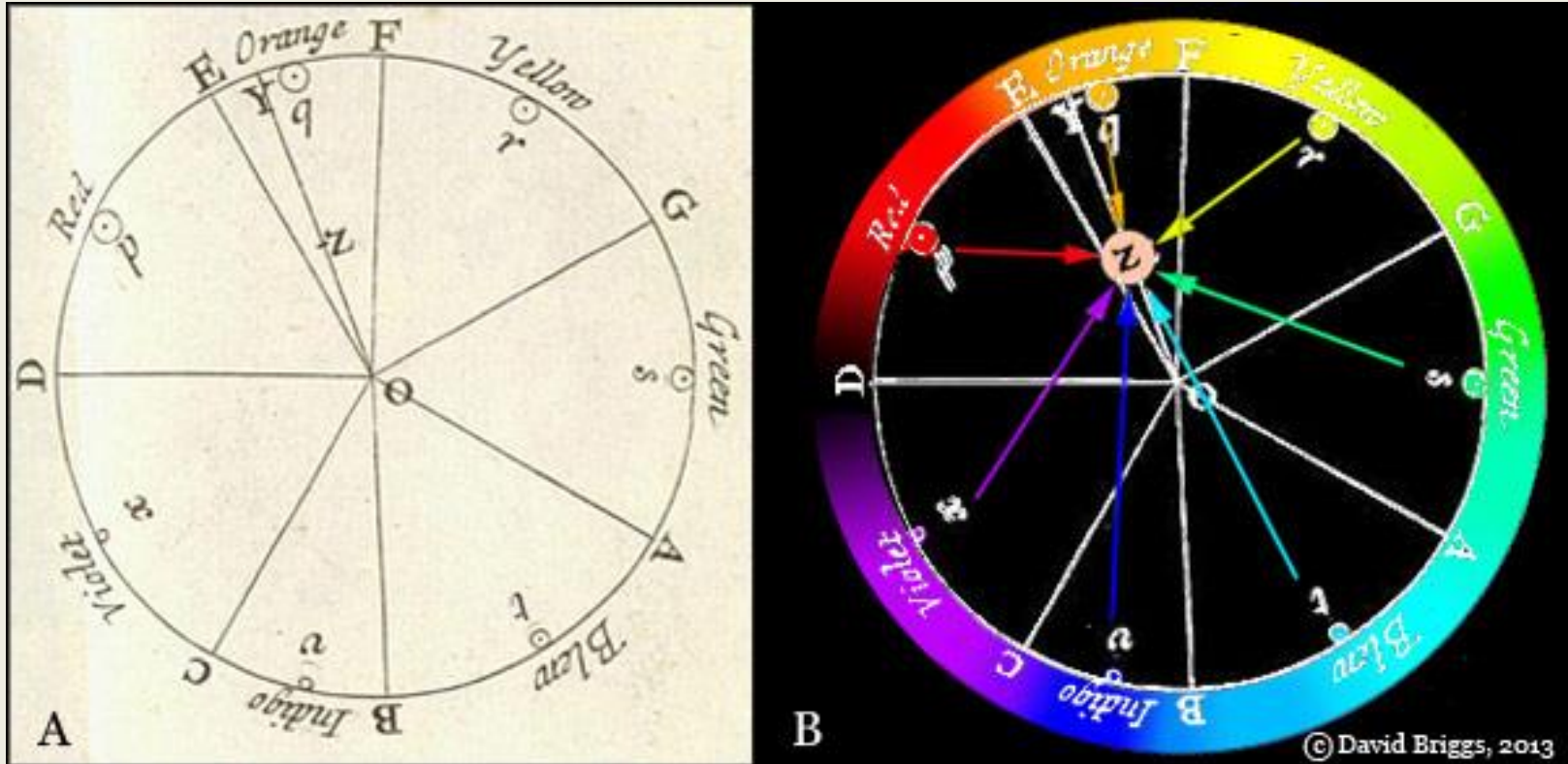
# Χρωματικές Θεωρίες

- Ο **Νεύτων** παρουσίασε, το 1704, το **κυκλικό του διάγραμμα** στο *Opticks* (ή *Πραγματεία των αντανακλάσεων, των διαθλάσεων και των χρωμάτων του φωτός*) ως έναν κατά προσέγγιση οδηγό για την προσθετική ανάμειξη των ακτίνων του φωτός, εξηγώντας ότι το χρώμα που προκύπτει από μια τέτοια ανάμειξη θα βρισκόταν στο "κέντρο βάρους" των συστατικών φώτων, σταθμισμένο σύμφωνα με τον σχετικό τους "αριθμό ακτίνων».

Δήλωσε επίσης ότι τα χρώματα στην περιφέρεια

- θα ήταν «έντονα στον υψηλότερο βαθμό» και ότι
- άλλα χρώματα θα ήταν έντονα ανάλογα με την απόστασή τους από το κέντρο,  
καθιστώντας έτσι το διάγραμμά του την πρώτη γραφική αναπαράσταση της διάστασης του **κορεσμού**.

# Χρωματικές Θεωρίες



Έγχρωμος κύκλος από το Newton's *Opticks* (1704), που δείχνει ένα μη κορεσμένο πορτοκαλί (z) στο "κέντρο βάρους" των επτά άνισων φασματικών συστατικών του, που υποδεικνύεται από κύκλους διαφορετικού μεγέθους. Πηγή: [Posner Library](#) .

Η κλίμακα αποχρώσεων του Νεύτωνα, η οποία εξακολουθεί να δίνεται ευρέως ως χρώματα του φάσματος και του ουράνιου τόξου, αποτελούνταν από επτά αποχρώσεις, *ιώδες, μπλε, κυανό, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο*, σε απόσταση γύρω από τον κύκλο σύμφωνα με τα διαστήματα μιας μουσικής κλίμακας.

# Χρωματικές Θεωρίες

Θεμελιώδεις θεωρίες που οδήγησαν στην ανάπτυξη των σύγχρονων συστημάτων ταξινόμησης, προσδιορισμού, μέτρησης και πιστοποίησης του χρώματος:

- Η **τριχρωματική θεωρία** των Young-Helmholtz και
- Η θεωρία των **ανταγωνιστικών χρωμάτων** (opponent colour theory) που αναπτύχθηκε από τον Ewald Hering.

# Χρωματικές θεωρίες

- **Τριχρωματική θεωρία των Young-Helmholtz**

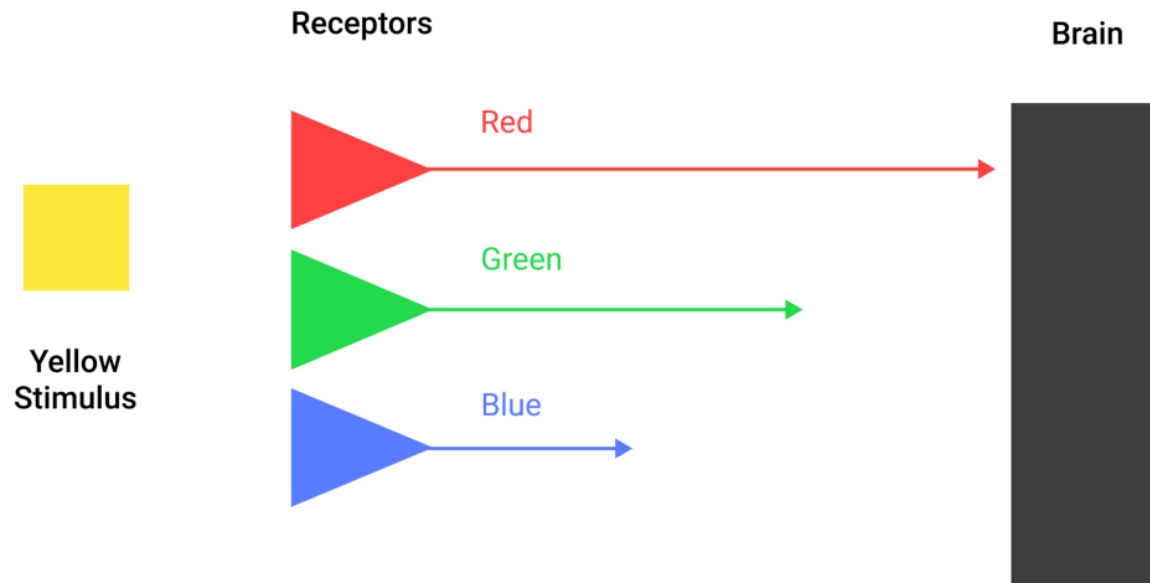
Τρεις τύποι κωνίων που αντιδρούν επιλεκτικά σε διαφορετικά μήκη κύματος ενός φωτεινού ερεθίσματος είναι υπεύθυνοι για την αντίληψη όλων των χρωμάτων.

Τα **χρωματικά αισθήματα καθορίζονται** από τον λόγο των αποκρίσεων **των τριών ειδών κωνίων**. Για παράδειγμα, στα 480nm ο λόγος αυτός είναι 1:5:9=κόκκινο:πράσινο:μπλε, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κυανού χρώματος.

Στο σχήμα παριστάνονται οι καμπύλες φασματικής ευαισθησίας των τριών φωτοχρωστικών, οι οποίες καθορίζουν την πιθανότητα απορρόφησης ενός φωτονίου ως συνάρτηση του μήκους κύματος αυτού. Φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος παρουσιάζουν διαφορετικές πιθανότητες να απορροφηθούν από τις τρεις κατηγορίες κωνίων.

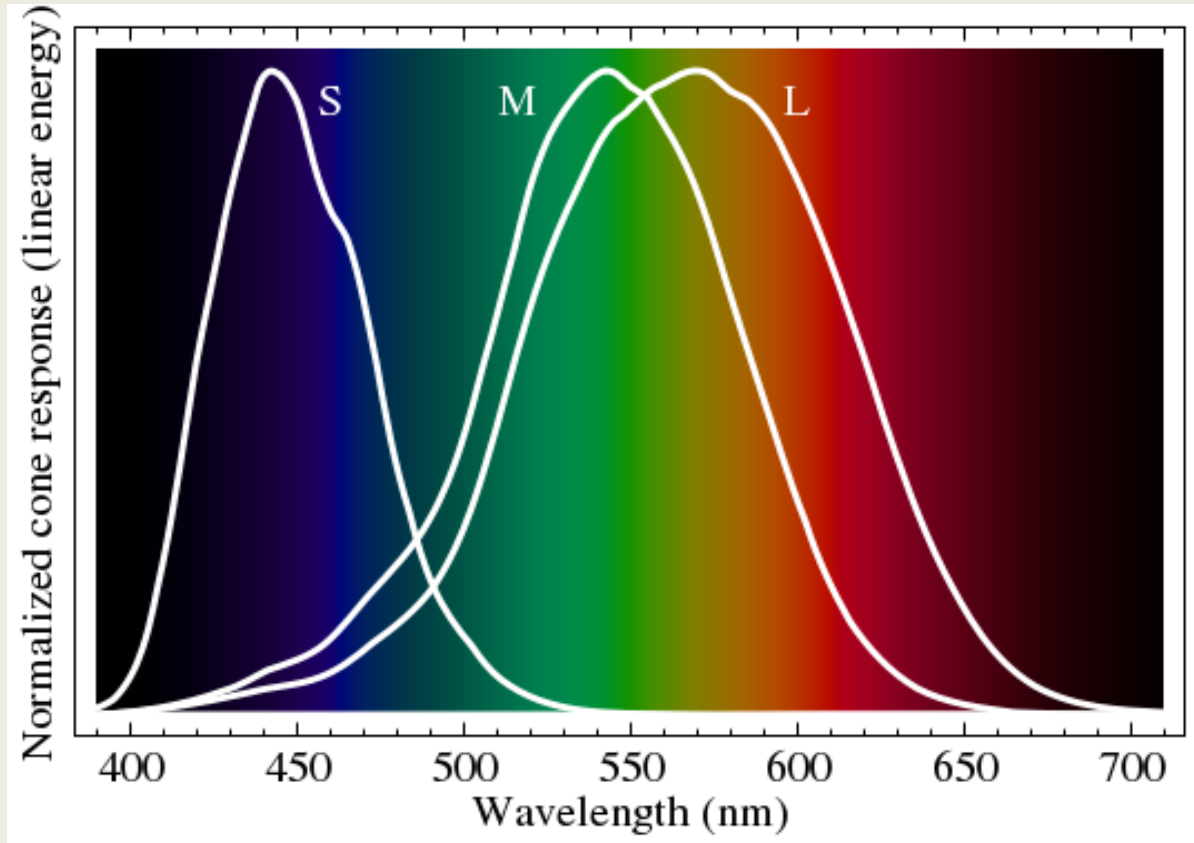
# Τριχρωματική θεωρία των Young-Helmholtz

## TRICHROMATIC THEORY





# Τριχρωματική θεωρία των Young-Helmholtz



Φασματικές ευαισθησίες των L, M, S κωνίων συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

# Χρωματικές θεωρίες

- **Θεωρία ανταγωνιστικών χρωμάτων (opponent colour theory) του Ewald Hering.**

Ο Hering είχε διαπιστώσει τις ελλείψεις της τριχρωματικής θεωρίας και ιδιαίτερα το πρόβλημά της να εξηγήσει τις μετά-εικόνες. Ορμώμενος λοιπόν από τις παρατηρήσεις του πάνω στις μετά-εικόνες, ο Hering πρότεινε ότι η χρωματική όραση βασίζεται σε:

Τρεις μηχανισμούς οι οποίοι αντιδρούν επιλεκτικά αλλά και με αντιθετικό/ανταγωνιστικό (opponent) τρόπο σε έξι βασικά χρώματα που λειτουργούν σε ζεύγη:

**πράσινο-κόκκινο,**

**μπλε-κίτρινο**

**άσπρο-μαύρο**

# Χρωματικές θεωρίες

- Σύμφωνα με τον **Hering** ο κάθε μηχανισμός περιέχει **κύτταρα** που **διεγείρονται από ένα συγκεκριμένο χρώμα** (μήκος κύματος φωτός) και αναστέλλονται από το συμπληρωματικό του. Υπέθεσε ότι για κάθε μηχανισμό η ύπαρξη μιας χημικής ουσίας σηματοδοτούσε ένα χρώμα (κόκκινο), ενώ η απουσία της ίδιας ουσίας σηματοδοτούσε το «αντίθετο» χρώμα (πράσινο).
- Έτσι, όταν κοιτάζουμε μία κόκκινη επιφάνεια η διέγερση του κυττάρου δημιουργεί την αντίληψη του κόκκινου χρώματος, ενώ όταν κοιτάζουμε μια πράσινη επιφάνεια η αναστολή του ίδιου κυττάρου δημιουργεί την αντίληψη του πράσινου χρώματος.
- Ο συνδυασμός της λειτουργίας αυτών των μηχανισμών μπορεί να κωδικοποιήσει και όλα τα υπόλοιπα χρώματα.

# Χρωματικές θεωρίες

Με αυτό το μοντέλο, ο Hering κατάφερε να ερμηνεύσει τόσο τις μετα-εικόνες, όσο και την αδυναμία να αντιληφθούμε συνδυασμούς αντιθετικών χρωμάτων. Εφόσον το πράσινο και το κόκκινο, αντιθετικά χρώματα, επεξεργάζονται από τον ίδιο μηχανισμό, δεν μπορούμε να φανταστούμε συνδυασμούς των δύο χρωμάτων. Δεν υπάρχει δηλαδή χρώμα που να περιγράφεται ως πρασινοκόκκινο ή κιτρινομπλέ.

- Για τις μετα-εικόνες η ερμηνεία βασίζεται στην εξοικείωση (habituation), του νευρώνα. Ο «κόκκινος-πράσινος» νευρώνας, εξοικειώνεται στο συνεχές μακρό μήκος κύματος. Συνεπώς, όταν θα ερεθιστεί από όλα τα μήκη (λευκό πλαίσιο), θα κωδικοποιήσει το ανταγωνιστικό (opponent) χρώμα.

# Χρωματικές θεωρίες

Ο Hering παρατήρησε ότι το χρώμα της μετα-εικόνας είναι πάντα το «συμπληρωματικό-αντίθετο» του αρχικού χρώματος.

Συνεπώς η κωδικοποίηση του χρώματος γίνεται σε ζεύγη και όχι από τους τρεις τύπους κωνίων.

Σήμερα οι περισσότεροι ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα (ύστερα από πειραματικά δεδομένα) ότι στην αντίληψη χρωμάτων εμπλέκεται τόσο το τριχρωματικό σύστημα των κωνίων, όσο και τα δίπολα αντιθετικά κύτταρα

# Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη του χρώματος

## Χρωματική σταθερότητα (Color Constancy)

Το χρώμα ενός αντικειμένου παραμένει σχετικά σταθερό ανεξάρτητα από τις αλλαγές στην ένταση και στη φασματική σύνθεση του φωτός του χώρου.

## Χρωματική Προσαρμογή (Color Adaptation)

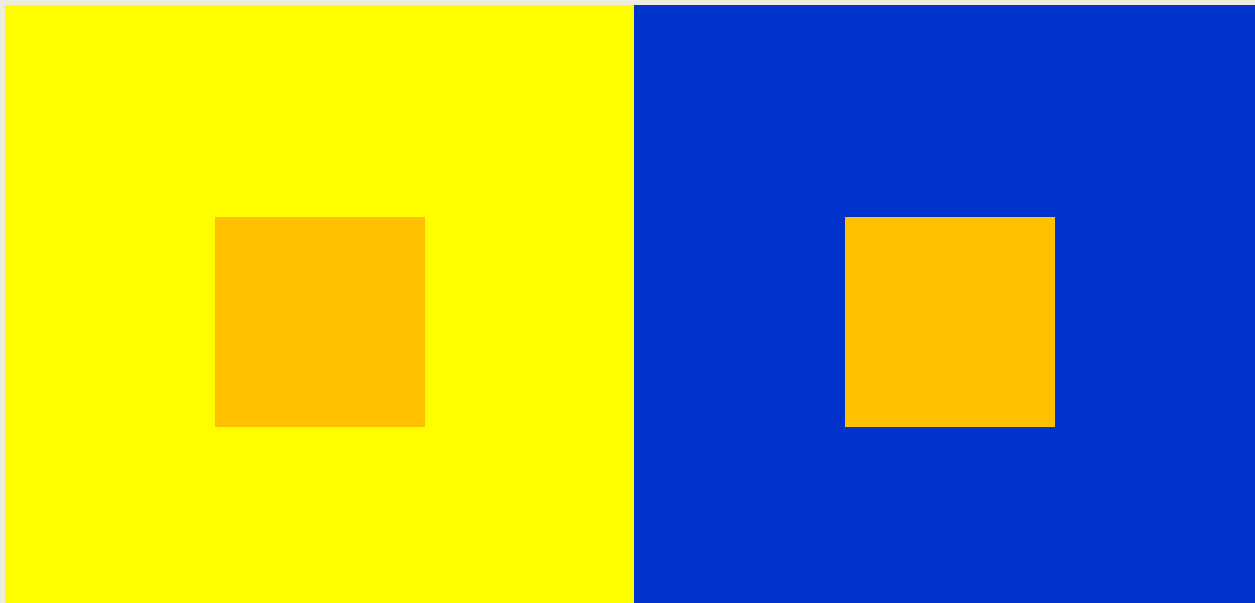
Η ευαισθησία του ματιού μεταβάλλεται έτσι ώστε να ανταποκριθεί σε αντίστοιχους τύπους ακτινοβολίας και συνθήκες όρασης.

Για παράδειγμα, εάν το φώς περιέχει μόνο μήκος κύματος περίπου 620nm, μπορούμε να δούμε μόνο το κόκκινο χρώμα υποθέτοντας ότι το ακτινοβολούμενο αντικείμενο μπορεί να αντανakλάσει μήκη κύματος σε αυτό το εύρος.

# Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη του χρώματος

## Ταυτόχρονη αντίθεση (simultaneous contrast)

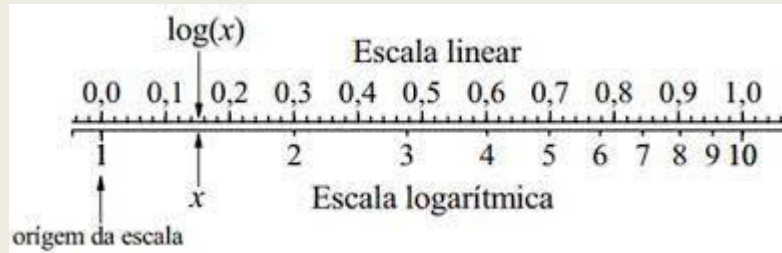
Ένα χρώμα μεγάλης λαμπρότητας, φαίνεται να παρουσιάζει μεγαλύτερη ακόμα λαμπρότητα όταν βρίσκεται κοντά σε ένα άλλο μικρότερης λαμπρότητας και αντίθετα.



# Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη του χρώματος

**Υστερογενής αντίθεση.** Κατά την επίδραση του φωτός στον αμφιβληστροειδή, η άμεσα ερεθιζόμενη θέση του αμφιβληστροειδούς υφίσταται μεταβολή μετά από ένα ορισμένο χρόνο. Αποτέλεσμα: **το αρνητικό μετείκασμα**

**Η μη γραμμικότητα** του ανθρώπινου οπτικού συστήματος. Το ερέθισμα που γίνεται αντιληπτό από τον εγκέφαλο δεν είναι ανάλογο της φωτεινότητας. Έτσι η προσλαμβανόμενη φωτεινότητα δεν είναι ανάλογα αυξανόμενη με την ένταση του φωτός.



## Μεταμερισμός

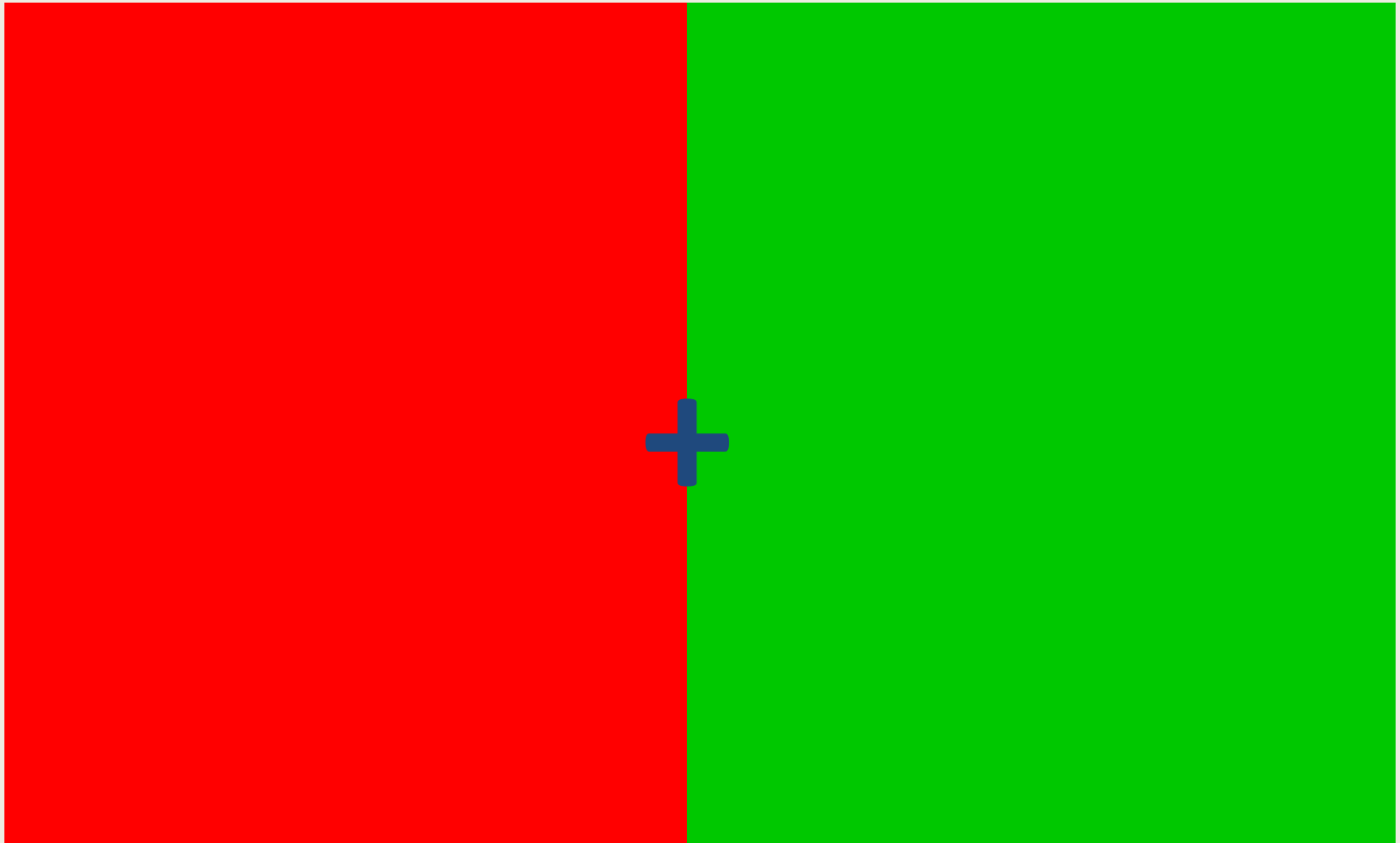
Το φαινόμενο που παρουσιάζεται κατά **τη σύγκριση δύο έγχρωμων δειγμάτων** τα οποία ταυτίζονται χρωματικά κάτω από ένα δεδομένο φωτισμό ή παρατηρητή, αλλά διαφέρουν όταν αλλάξουν οι συνθήκες φωτισμού ή παρατήρησης.



## Μετα – εικόνες

**Μετα-εικόνες:** Αν κοιτάξουμε για διάστημα μερικών δευτερολέπτων (30-40) συνεχώς μια έγχρωμη κηλίδα τοποθετημένη σε λευκό πλαίσιο και στρέψουμε στη συνέχεια το βλέμμα μας σε γειτονική λευκή περιοχή θα δούμε να εμφανίζεται το μετείκασμα της κηλίδας, δηλαδή σχήμα όμοιο με την κηλίδα, αλλά με χρώμα που προκύπτει από την ανάμειξη του αντίθετου χρώματος της κηλίδας με το χρώμα της επιφάνειας.

# Μετα – εικόνες



Εστιάστε σταθερά για λίγα δευτερόλεπτα στο σταυρό



# Γνωστικοί παράγοντες στη χρωματική αντίληψη

- **Μνήμη χρώματος (memory color).** Για συγκεκριμένα αντικείμενα με χαρακτηριστικό χρώμα (π.χ. μήλα) το ανώτερο γνωστικό σύστημα επεμβαίνει και «διορθώνει» το αισθητηριακή λειτουργία του οπτικού μας συστήματος. Έτσι η χρωματική αντίληψη επηρεάζεται από τη μνήμη μας για το πρωτότυπο χρώμα του αντικειμένου.
- **Κουλτούρα και χρωματική αντίληψη.** Σύμφωνα με την κοινωνιολογικής προέλευσης θεωρία «πολιτισμικός ρελατιβισμός», η οποία προτάθηκε από τον Whorf το 1965, η χρωματική αντίληψη επηρεάζεται από το πολιτισμικό περιβάλλον.
- **Χρώμα και συναισθήματα** τα χρώματα του περιβάλλοντός μας επηρεάζουν τη διάθεσή μας
- Το **κίτρινο**, το **πορτοκαλί** και το **μπλε** θετική διάθεση
- Το **κόκκινο**, το **μαύρο** και το **καφέ** αρνητική διάθεση

# Χαρακτηριστικά του χρώματος

- **Απόχρωση ή χροιά (Hue )**: Προσδιορίζεται από τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που απορροφώνται ή ανακλώνται από ένα αντικείμενο.
- **Βαθμός κόρου ή κορεσμός (Saturation)**: Η καθαρότητα του χρώματος.
- **Φωτεινότητα ή λαμπρότητα ή ένταση (brightness, lightness, value)**: Η ένταση της ακτινοβολίας που υπάρχει στο φως. Λαμπρότερο φως = μεγαλύτερη ένταση.

Τα **Hue**, **Saturation**, **Lightness** καταδεικνύουν ότι το ορατό χρώμα είναι τρισδιάστατο. Αυτές οι ιδιότητες παρέχουν τρεις συντεταγμένες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να «χαρτογραφήσουν» το ορατό χρώμα σε ένα διάστημα χρώματος.

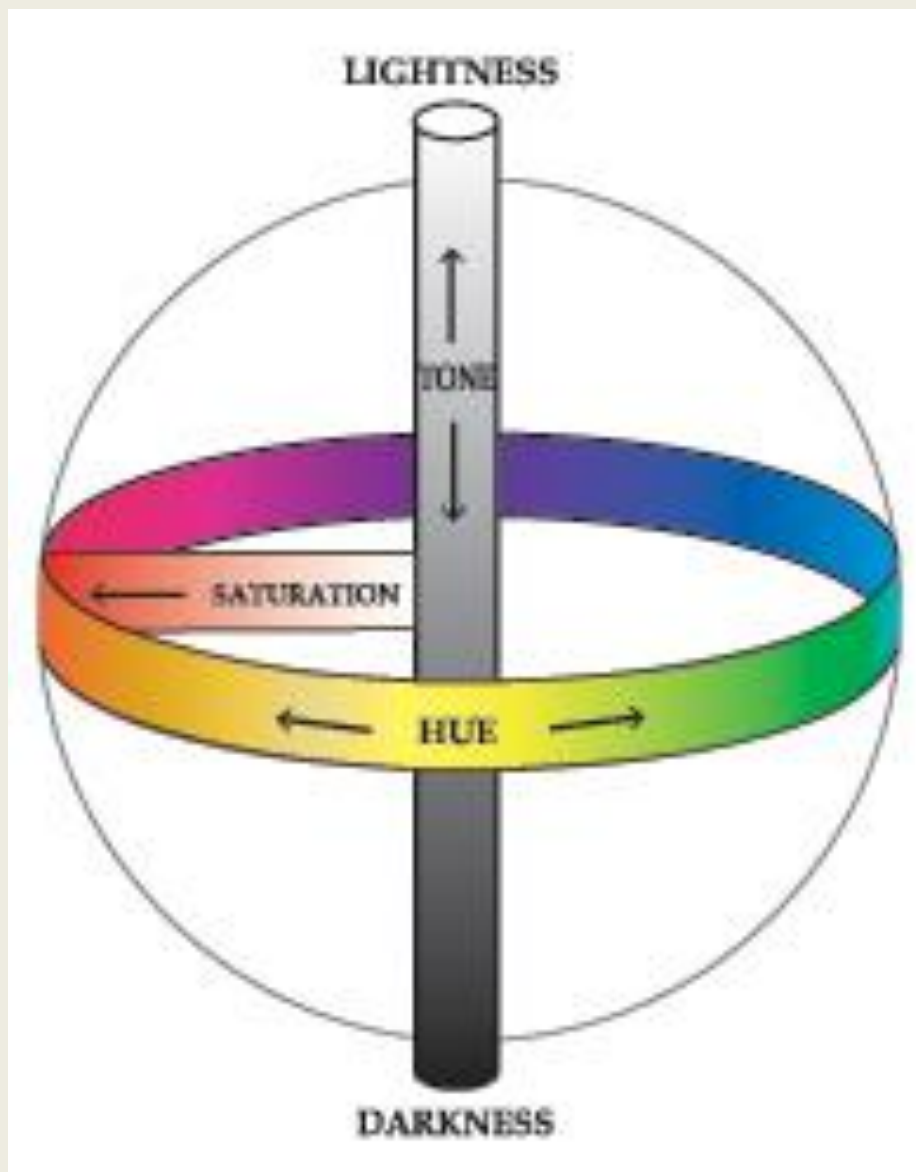
# Χαρακτηριστικά του χρώματος

- Η **απόχρωση** ή **χροιά**: σχετίζεται με τη μεταβολή της συχνότητας και προσδιορίζεται από τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που απορροφώνται ή ανακλώνται από ένα αντικείμενο. Κατά μήκος μιας φασματικής γραμμής μπορούμε να δούμε τα χρώματα: κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε και ιώδες.
- Η Χροιά ορίζει το κυρίαρχο μήκος κύματος που επικρατεί στη σύσταση ενός χρώματος
- Προσδιορίζει το *“τι χρώμα είναι αυτό”*
- Ο **βαθμός κόρου**: αναφέρεται στην καθαρότητα του χρώματος και σχετίζεται με το ποσοστό του αχρωματικού που υπάρχει σε ένα χρώμα. Ένα χρώμα είναι τόσο λιγότερο κορεσμένο όσο περισσότερο αχρωματικό περιέχει.
- Προσδιορίζει *“το πόσο έντονο ή δυνατό είναι το χρώμα”*
- **Αχρωματικά ή άχροα**: Τα χρώματα τα οποία δεν παρουσιάζουν ούτε απόχρωση, ούτε βαθμό κόρου. Μαύρο, άσπρο και όλα τα γκρι.

## Χαρακτηριστικά του χρώματος

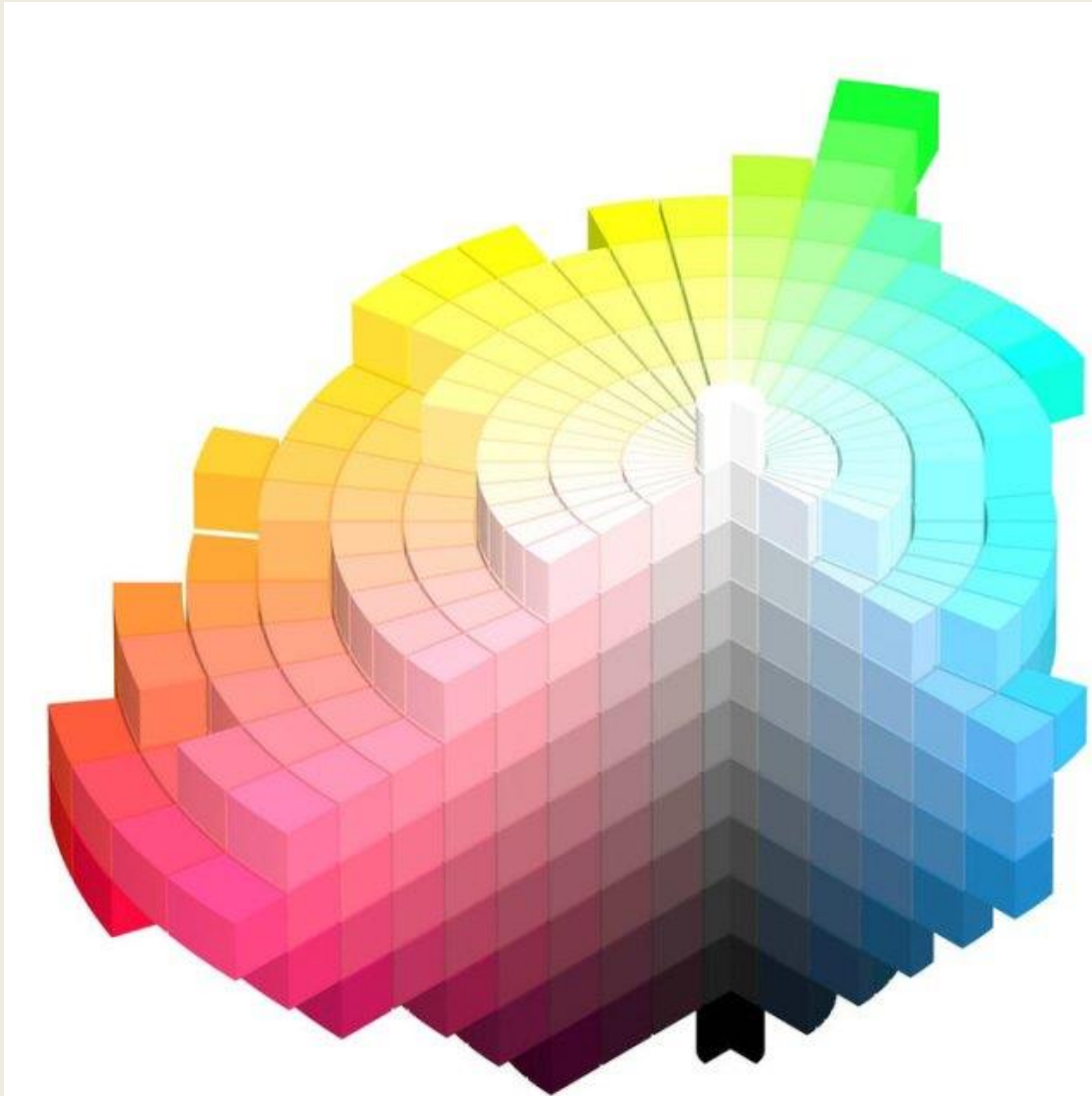
- Η **φωτεινότητα ή λαμπρότητα ή ένταση** : χαρακτηρίζει την ένταση της ακτινοβολίας που υπάρχει στο φως. Λαμπρότερο φως σημαίνει μεγαλύτερη ένταση. Είναι η παράμετρος που προσδιορίζει το πόσο ανοιχτό ή σκούρο είναι το χρώμα ενός αντικειμένου και εξαρτάται από την ποσότητα του προσπίπτοντος φωτός που θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί από την επιφάνεια του.

# Χαρακτηριστικά του χρώματος





# Χαρακτηριστικά του χρώματος



# Χαρακτηριστικά του χρώματος

Τα καθαρά χρώματα γίνονται λιγότερο κορεσμένα με τέσσερεις τρόπους:

- **Ένα καθαρό χρώμα μπορεί να σπάσει με άσπρο.**

Ο χρωματικός χαρακτήρας γίνεται έτσι λίγο ψυχρός. Απ' όλα τα χρώματα μόνο το μπλε αντιστέκεται και κρατά τον θεμελιώδη χαρακτήρα του. Τα άλλα χρώματα γίνονται περισσότερο ή λιγότερο ψυχρά.

- **Ένα καθαρό χρώμα μπορεί να σπάσει με μαύρο.**

Το ελάχιστο μαύρο σε ένα καθαρό κίτρινο δίνει ένα ουδέτερο γκριζοκίτρινο χρώμα.

- **Το κορεσμένο χρώμα μπορεί να σπάσει με γκριζο.**

Τα χρώματα γίνονται ουδέτερα ή αδιαφανή μόλις ανακατευτούν με γκριζο.

- **Ο κορεσμός των χρωμάτων μπορεί να μειωθεί μέσω αντιστοίχων συμπληρωματικών.**

Αν προσθέσουμε κίτρινο στο μωβ λαμβάνουμε τονικές αξίες που βρίσκονται ανάμεσα του ανοιχτόχρωμου κίτρινου και του σκουρόχρωμου μωβ.

# Χαρακτηριστικά του χρώματος

- Πρέπει να σημειωθεί και να τονιστεί ότι η παρουσία ή απουσία του χρώματος δεν επηρεάζει τον τόνο. Ο τόνος είναι σταθερός. Η αύξηση ή η μείωση του κορεσμού δείχνει τη σταθερότητα του τόνου και αποδεικνύει ότι ο τόνος και το χρώμα συνυπάρχουν στην αντίληψη μας, χωρίς να μετριάζεται το ένα από το άλλο.
- Ενώ λοιπόν η απόχρωση καθορίζει την ποιότητα του χρώματος, ο βαθμός κόρου αναφέρεται στην ποσότητα του χρώματος.

# Χαρακτηριστικά του χρώματος



Χρώματα με υψηλό κορεσμό



Λιγότερο κορεσμένα χρώματα



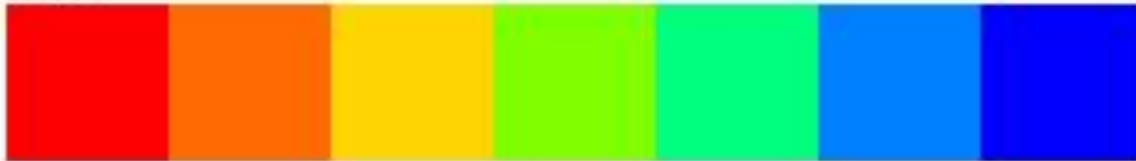
Μηδενικός κορεσμός, απουσία χρώματος



Σταθερή απόχρωση,  
μεταβαλλόμενος κορεσμός

# Χαρακτηριστικά του χρώματος

**Hue**



**Saturation**



**Brightness**



Απόχρωση, κορεσμός, λαμπρότητα

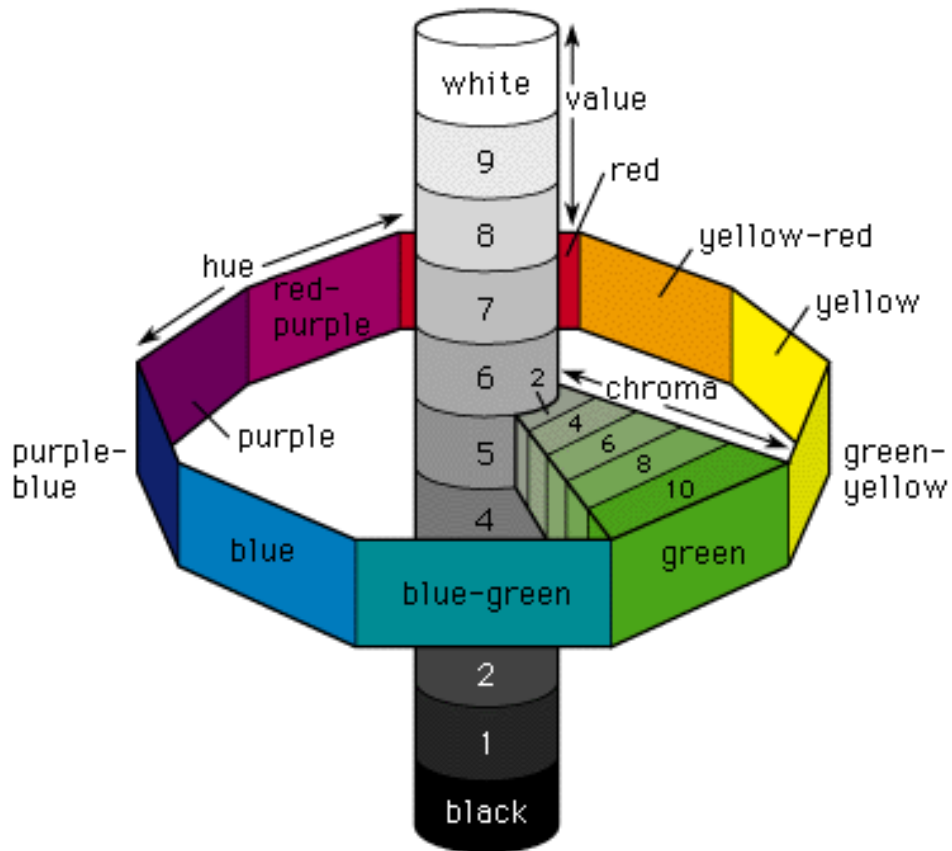
# Χρωματικά μοντέλα

Η ανάγκη για μια οργανωμένη και μαθηματική περιγραφή του χρώματος με στόχο την επίλυση προβλημάτων κωδικοποίησης και αναπαραγωγής του, οδήγησε στη δημιουργία συστημάτων χρωματικής ταξινόμησης και χρωματικών χώρων. Τα συστήματα αυτά μας επιτρέπουν την ακριβή περιγραφή χρωμάτων με χρήση φυσικών απεικονίσεων και αριθμητικών αξιών.

# Το χρωματικό σύστημα Munsell

- Το σύστημα κατά Munsell αποτελεί το πιο γνωστό σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται στην αντίληψη των χρωμάτων και αποτελείται από ένα αριθμητικό σύστημα χρωματικής παράστασης σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα φυσικά δείγματα. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση βασίζεται στην αντίληψη των **ίσων χρωματικών αποστάσεων** και περιλαμβάνει όλα τα πραγματικά χρώματα, τα οποία διατάσσονται με βάση τις τρεις χρωματικές παραμέτρους (**hue, value, chroma**) που επινοήθηκαν από τον Munsell, δημιουργώντας μια τρισδιάστατη διάταξη στο χρωματικό χώρο
- Οι αριθμητικές τιμές του συστήματος Munsell περιλαμβάνουν 10 χρωματικές οικογένειες (χρoιάς), 10 βαθμίδες χρωματικής πυκνότητας και 10 βαθμίδες φωτεινότητας σε ίσες χρωματικές αποστάσεις, ενώ ο καθορισμός κάθε χρώματος γίνεται με την παράθεση και των τριών παραμέτρων που το συνθέτουν

# Το χρωματικό σύστημα Munsell



Τιμή, χροιά, χρώμα στο σύστημα Munsell

Ο κύκλος της χροιάς στο σύστημα Munsell, διαιρείται σε ίσα διαστήματα ως προς την αντίληψη, σε πέντε βασικές χροιές.

**μωβ, μπλε, πράσινο, κίτρινο, κόκκινο** και αντιστοιχούν στους αριθμούς 5P, 5B, 5G, 5Y, 5R.

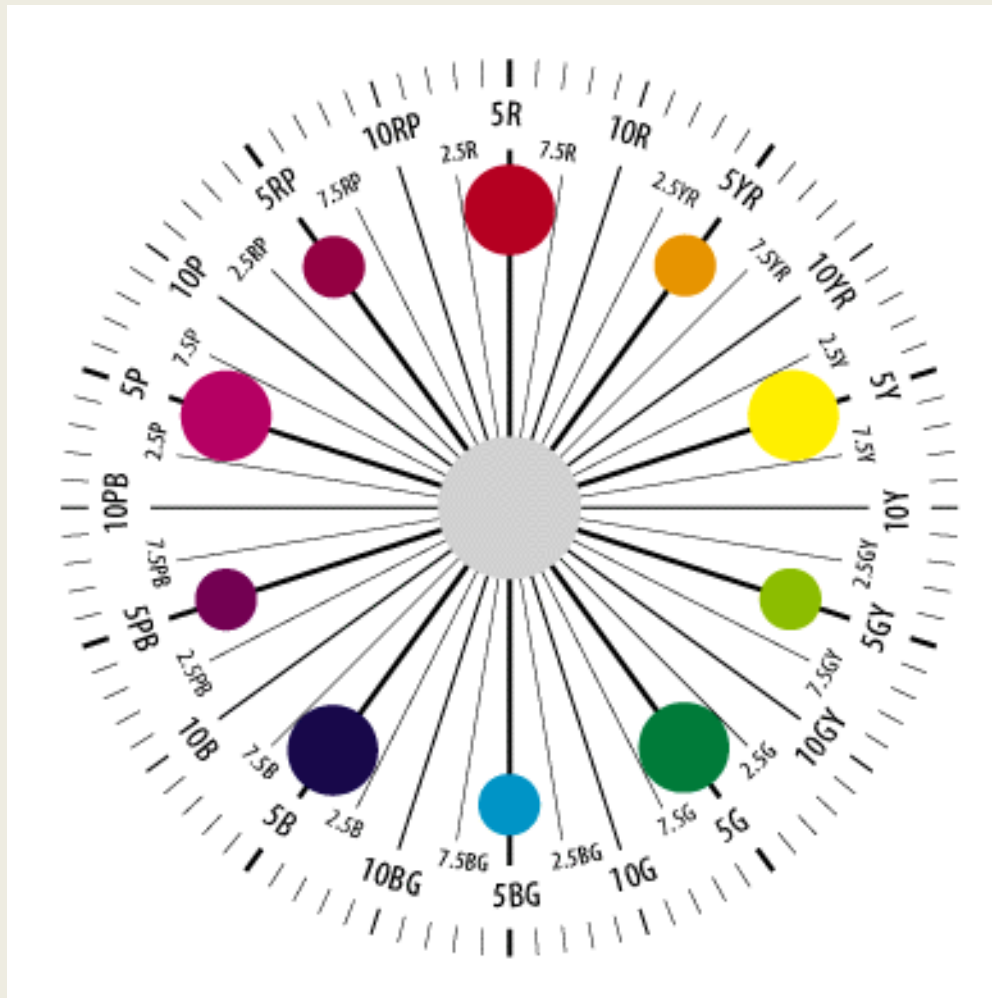
Οι πέντε ενδιάμεσες τιμές χαρακτηρίζονται από τους αριθμούς 5PB, 5BG, 5GY, 5YR, 5RP.

Ενδιάμεσα αυτών, υπάρχουν δέκα διαστήματα.

Με τον τρόπο αυτό περιγράφεται ένα σύνολο εκατό χροιών που αντιστοιχούν σε ακέραιους, ενώ ενδιάμεσες χροιές έχουν δεκαδική αναπαράσταση.



# Το χρωματικό σύστημα Munsell



Μια απόχρωση στο σύστημα Munsell συμβολίζεται με τα αρχικά γράμματα των τριών παραμέτρων H V/C, π.χ., Ένα κόκκινο μπορεί να αποδοθεί ως 5R 6/14

**Ο κύκλος της χροιάς στο σύστημα Munsell**

# Το χρωματικό σύστημα Munsell

- **Χροιά (Hue)**

Ο κύκλος της χροιάς στο σύστημα Munsell, είναι σχεδιασμένος ώστε να χωρίζει τις χροιές σε ίσα διαστήματα ως προς την αντίληψη και είναι διαιρεμένος σε πέντε βασικές χροιές, το μωβ, το μπλε, το πράσινο, το κίτρινο και το κόκκινο

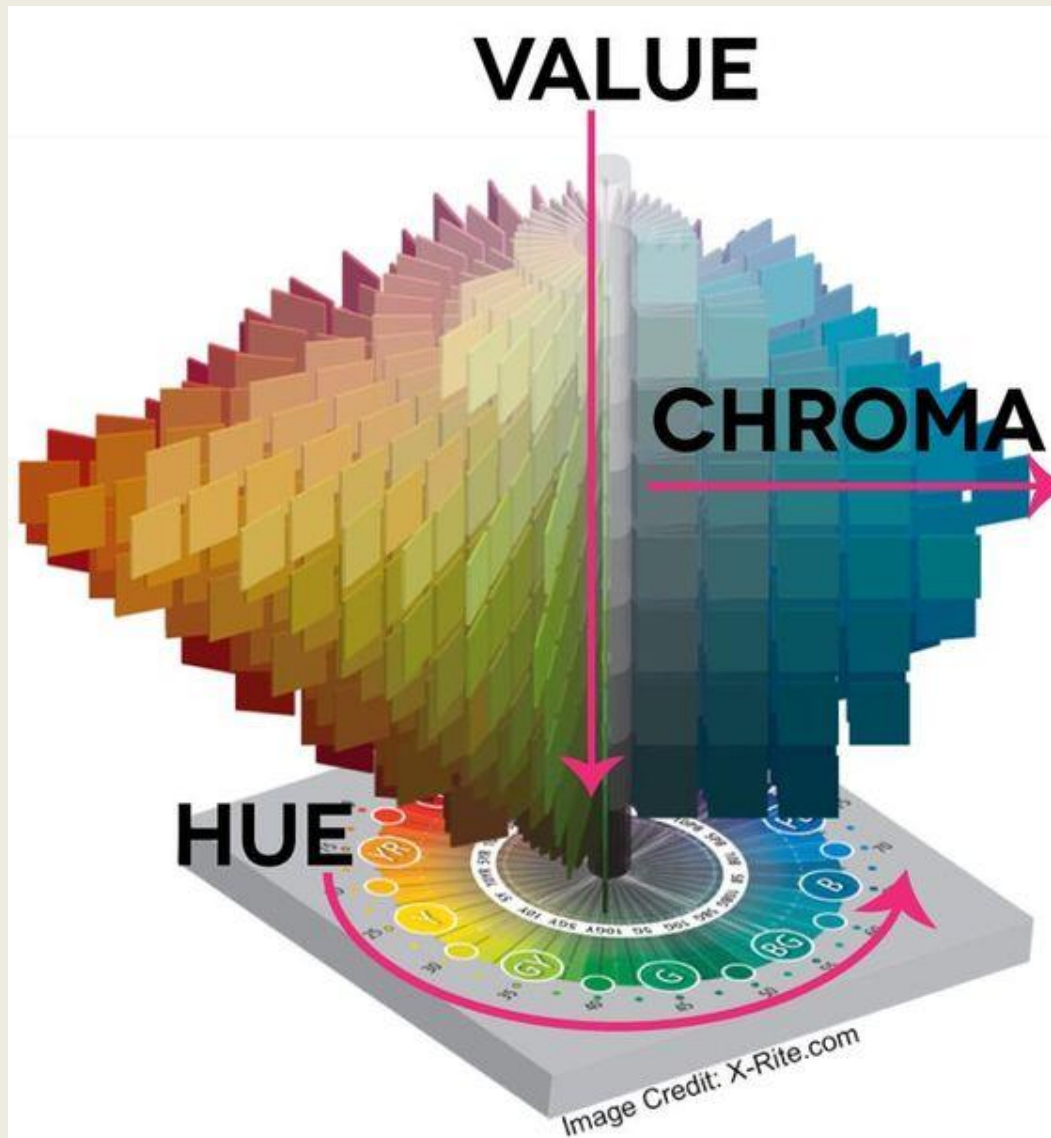
- **Αξία (Value)**

Η κλίμακα της αξίας του Munsell δείχνει τη φωτεινότητα του χρώματος. Στις δέκα κύριες βαθμίδες της κλίμακας, αντιστοιχίζεται η τιμή 0 στο μαύρο, η τιμή 10 στο άσπρο, ενώ στα ενδιάμεσα γκρι δίνονται οι τιμές του διαστήματος 0 μέχρι 10.

- **Χρώμα (Chroma)**

Το χρώμα, τέλος, είναι το μέγεθος της απόστασης από το αχρωματικό χρώμα προς το εξωτερικό του κύκλου και παριστάνει τον αυξανόμενο κορεσμό

# Το χρωματικό σύστημα Munsell

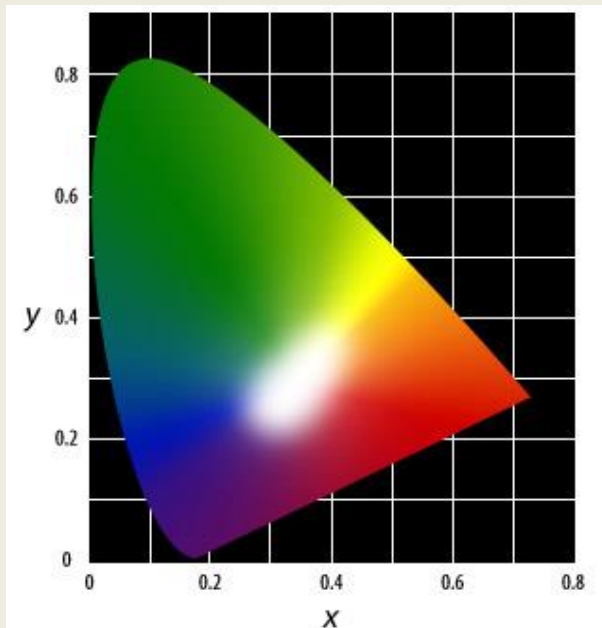


# Χρωματικό σύστημα XYZ CIE 1931

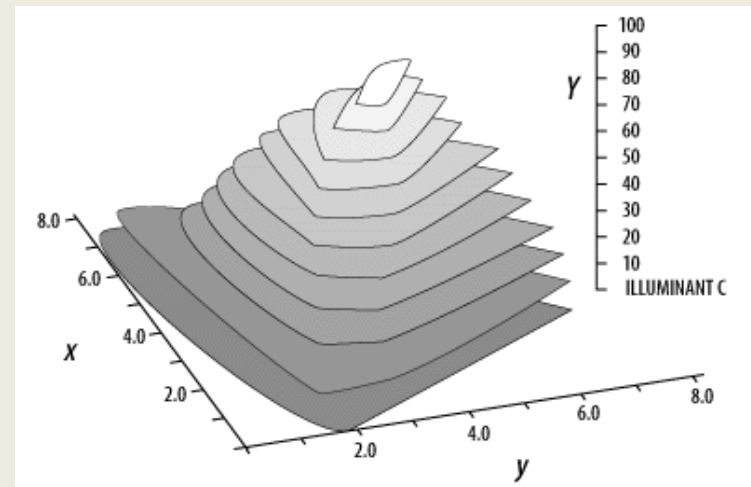
- Το 1931 η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (Commission Internationale de l'Éclairage - CIE) ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης που στηρίχθηκε στην **τριχρωματική** θεωρία, σύμφωνα με την οποία όλα τα χρώματα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μίγμα καθορισμένων και σχετικών ποσοτήτων των τριών πρωτογενών φωτισμών: του κόκκινου (Red) ή (X), του πράσινου (Green) ή (Y) και του μπλε (Blue) ή (Z).
- Αυτές οι ποσότητες ονομάζονται **τριχρωματικές τιμές**, συμβολίζονται με τα γράμματα **X, Y, Z** και για τον αριθμητικό προσδιορισμό τους είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της καμπύλης ανακλαστικότητας του μετρούμενου αντικειμένου.

# Χρωματικό σύστημα XYZ CIE 1931

- Συχνά είναι επιθυμητό να γίνεται απεικόνιση των χρωμάτων σε ένα δισδιάστατο χρωματικό χώρο (2D color space).
- Αυτό γίνεται εφικτό προβάλλοντας το τρισδιάστατο (3D) χρωματικό χώρο του μοντέλου CIE-XYZ στο επίπεδο  $x+y+z=1$ . Η τομή του κώνου CIE-XYZ με το επίπεδο  $x+y+z=1$  ονομάζεται **χρωματικό διάγραμμα xy CIE 1931** (chromaticity diagram)

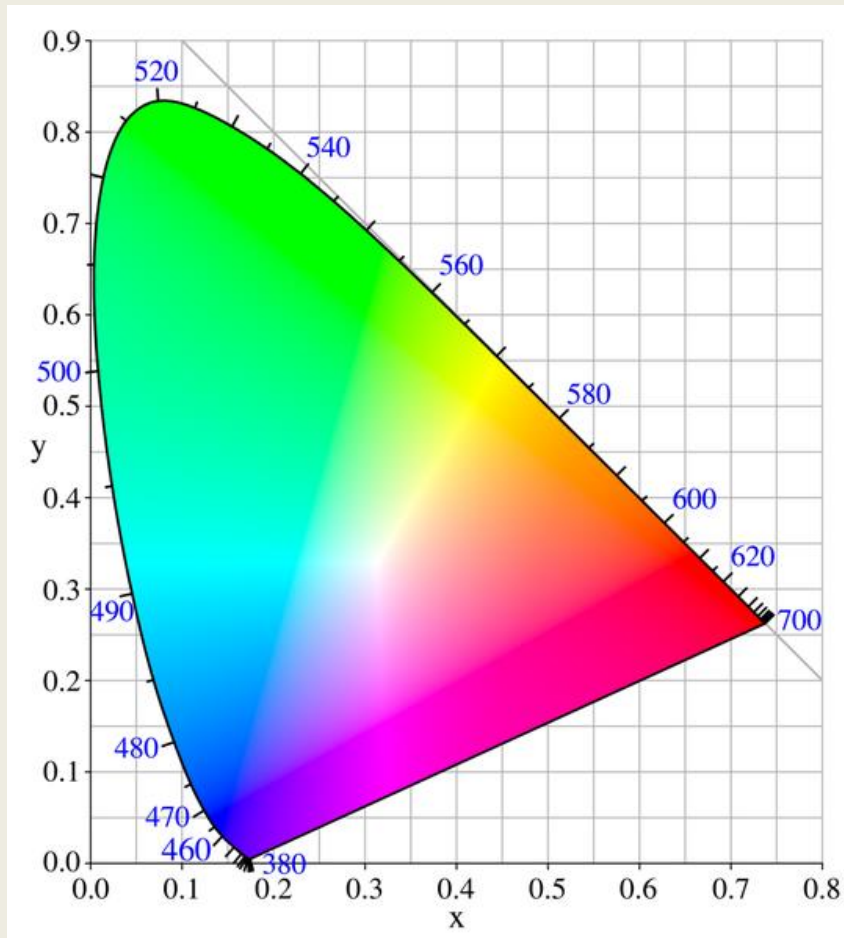


Χρωματικό διάγραμμα xy CIE 1931



Τρισδιάστατο χρωματικό διάγραμμα x, y, Y

# Χρωματικό σύστημα XYZ CIE 1931



Χρωματικό διάγραμμα xy CIE 1931

Στηρίχθηκε στην **τριχρωματική θεωρία**.

- $x=R, y=G, z=B$ , **Τριχρωματικές τιμές**
- Κάθε σημείο στο περίγραμμα του διαγράμματος είναι απόλυτα καθαρό χρώμα. Προς το σημείο της ίσης ενέργειας (λευκό), η καθαρότητα μειώνεται.
- Ένα οποιοδήποτε ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει δύο σημεία του διαγράμματος ορίζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που προκύπτουν από τη μίξη των δύο χρωμάτων που βρίσκονται στα άκρα του.
- Χρώματα με την ίδια απόχρωση απεικονίζονται στο ίδιο σημείο, ανεξαρτήτως φωτεινότητας.

# Χρωματικό σύστημα XYZ CIE 1931

- Ο τελικός στόχος της CIE ήταν να αναπτύξει ένα συνεπές/σταθερό σύστημα προτύπων επικοινωνίας για τους κατασκευαστές των χρωμάτων, των μελανιών και άλλων χρωστικών ουσιών.
- Ωστόσο, με το XYZ διάστημα, επιτυγχάνεται η αριθμητική μέτρηση του χρώματος χωρίς να δίνονται καθόλου πληροφορίες για την πραγματική οπτική του εμφάνιση, δηλαδή στο κατά πόσο η μέτρηση αυτή ανταποκρίνεται με ακρίβεια στην οπτική αντίληψη.
- Το γεγονός αυτό οδήγησε τον οργανισμό CIE στη σύσταση των ομοιόμορφων χρωματικών χώρων CIE 1976  $L^*a^*b^*$  (CIELAB) και CIE 1976  $L^*u^*v^*$  (CIEUUV) στους οποίους οι διαφορές μεταξύ των χρωμάτων αντιστοιχούν στις **χρωματικές διαφορές όπως τις αντιλαμβάνεται άνθρωπος.**

Σημ: Οι τρισδιάστατες τιμές XYZ σημειώνονται πάντα με κεφαλαία γράμματα, ενώ οι συντεταγμένες χρωματικότητας xy σημειώνονται με πεζά.

# Χρωματικό σύστημα XYZ CIE 1931

Για να είναι εφικτή η χρήση των μετρούμενων τιμών, η CIE καθιέρωσε τη χρήση :

- **Τυπικών φωτισμών** που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατανομές ισχύος

Δηλαδή, καθορίζεται σταθερός φωτισμός ορισμένου φάσματος και πηγής κάτω από τον οποίο γίνονται οι χρωματικές συγκρίσεις

Δημοφιλέστεροι φωτισμοί: **D50 (Γραφικές Τέχνες)**

**D55 (Φωτογραφία)**

- **Τυπικού παρατηρητή**, που αντιστοιχεί στη μέση χρωματική ευαισθησία του οφθαλμού, κάτω από συγκεκριμένη γωνία παρατήρησης, που ποικίλλει μεταξύ  $2^{\circ}$  (1931) και  $10^{\circ}$  (1964)

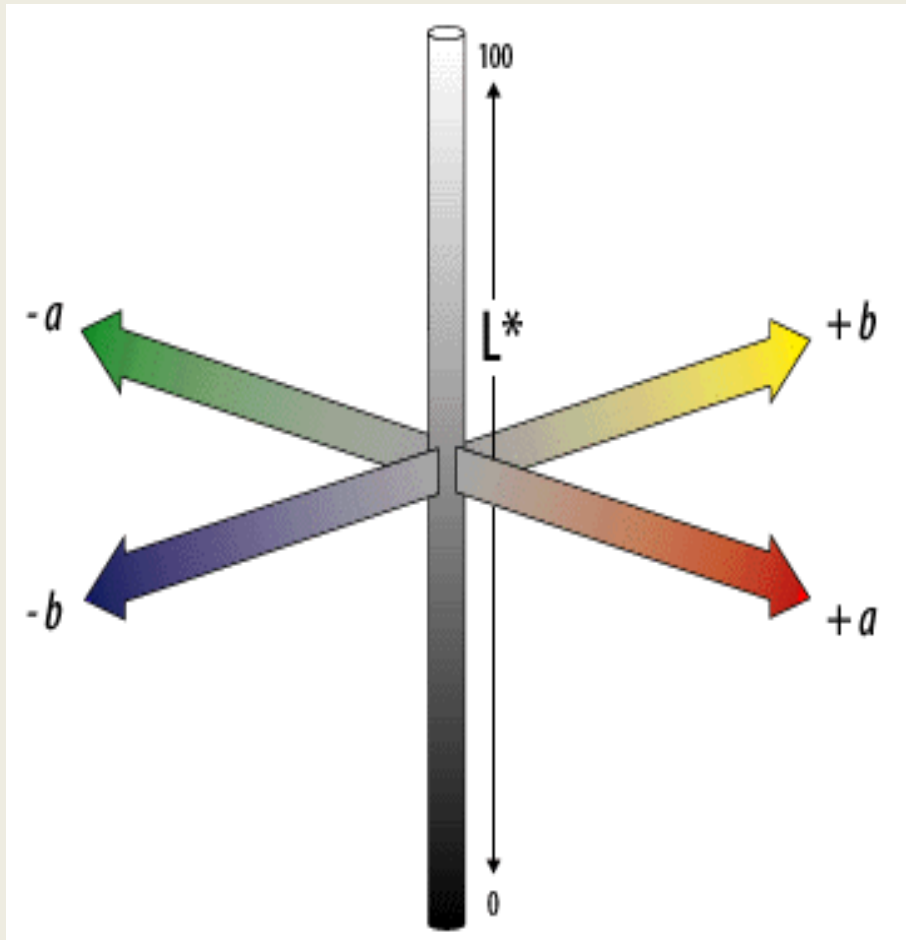
Η γωνία των  **$10^{\circ}$**  αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη περιοχή παρατήρησης και ανταποκρίνεται καλύτερα στις συνθήκες εκτίμησης μιας απόχρωσης από έναν τυπικό παρατηρητή



# Ο χρωματικός χώρος CIE LAB

- Το **CIE LAB** έχει τυποποιηθεί, από το 1976, ως το χρωματικό μοντέλο με τη μεγαλύτερη ομοιομορφία και σταθερότητα στην κατανομή του χρώματος.
- Χρησιμοποιεί τις παραμέτρους **L\***, **a\*** και **b\*** για να προσδιορίσει ποσοτικά ένα χρώμα και βασίζεται στην θεωρία των **ανταγωνιστικών χρωμάτων**, ότι δηλαδή ένα χρώμα δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα και κόκκινο και πράσινο ή κίτρινο και μπλε. Το κάθε χρώμα περιγράφεται με τρεις συντεταγμένες και απεικονίζεται σε καρτεσιανό σύστημα όπου υπάρχει ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρωματικότητας.

# Ο χρωματικός χώρος CIELAB



Χρωματικό μοντέλο CIELAB ή  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$

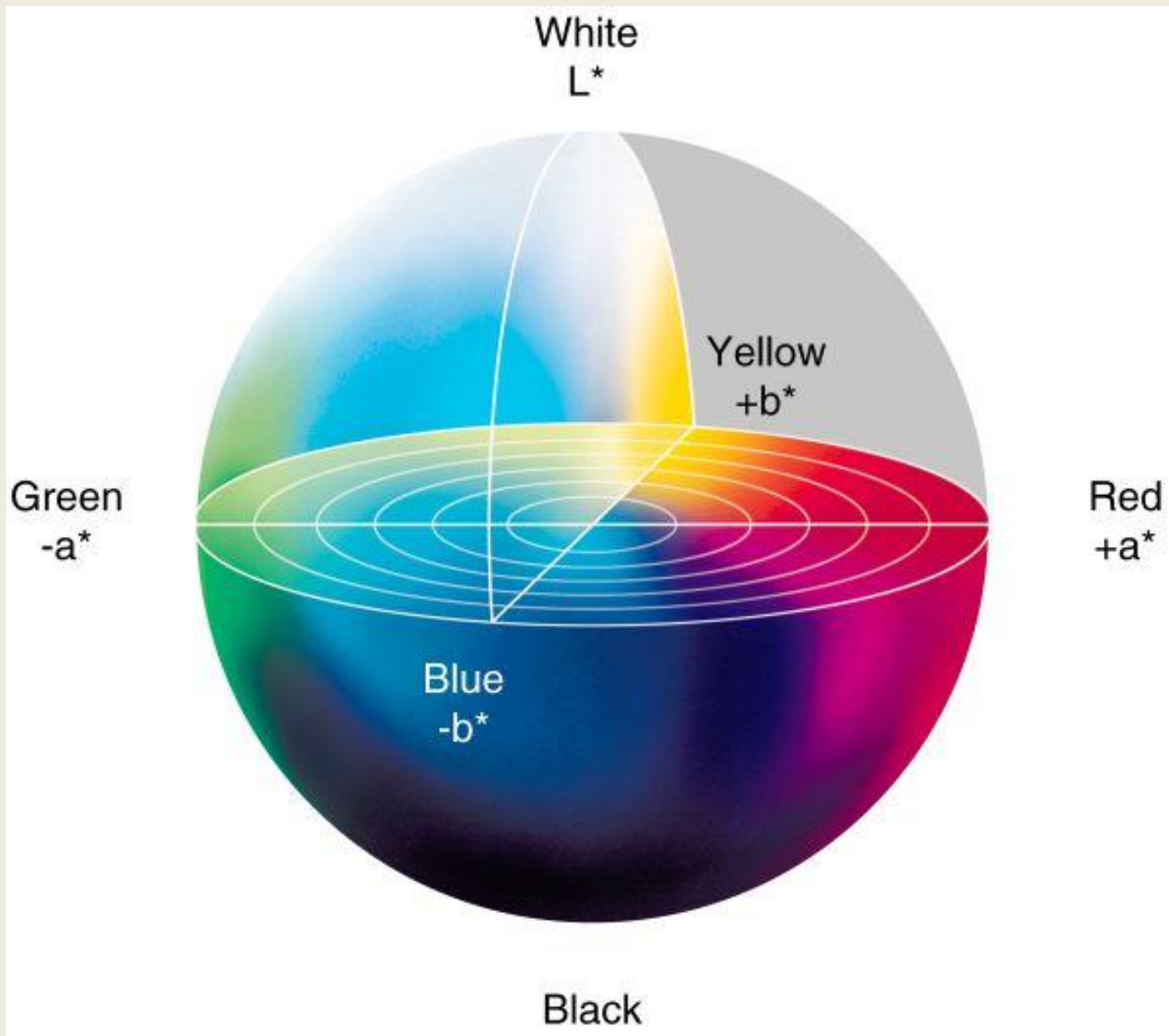
Βασίζεται στη θεωρία των ανταγωνιστικών χρωμάτων.

- Τρεις συνιστώσες:

- $L^*$  είναι φωτεινότητα
- $L^* = 100$  (λευκό) -  $L^* = 0$  (μαύρο)
- $a^*$  είναι ο άξονας κόκκινο / πράσινο
- $b^*$  είναι ο άξονας κίτρινο / μπλε

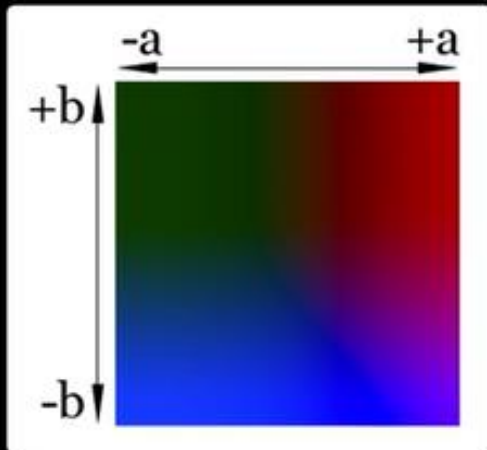
- Μαθηματικά περιγράφει αντιληπτικά ομοιόμορφο χώρο
- Ανεξάρτητος της συσκευής απεικόνισης (**device independent**)

# Ο χρωματικός χώρος CIELAB

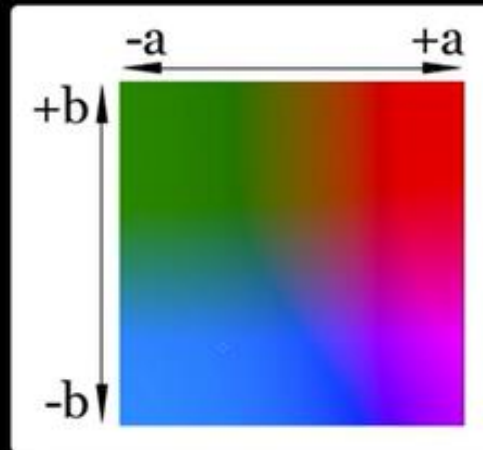


# Ο χρωματικός χώρος CIELAB

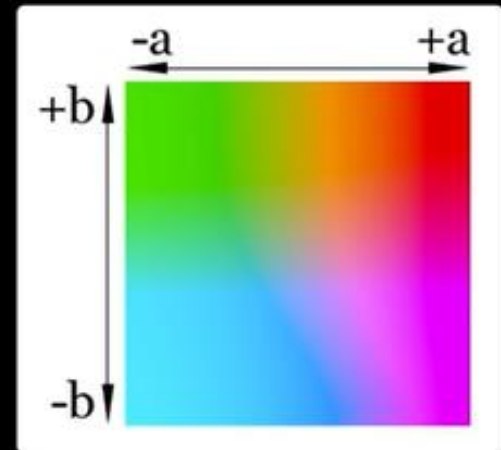
CIE  $L^*a^*b^*$  color space



$L = 25\%$

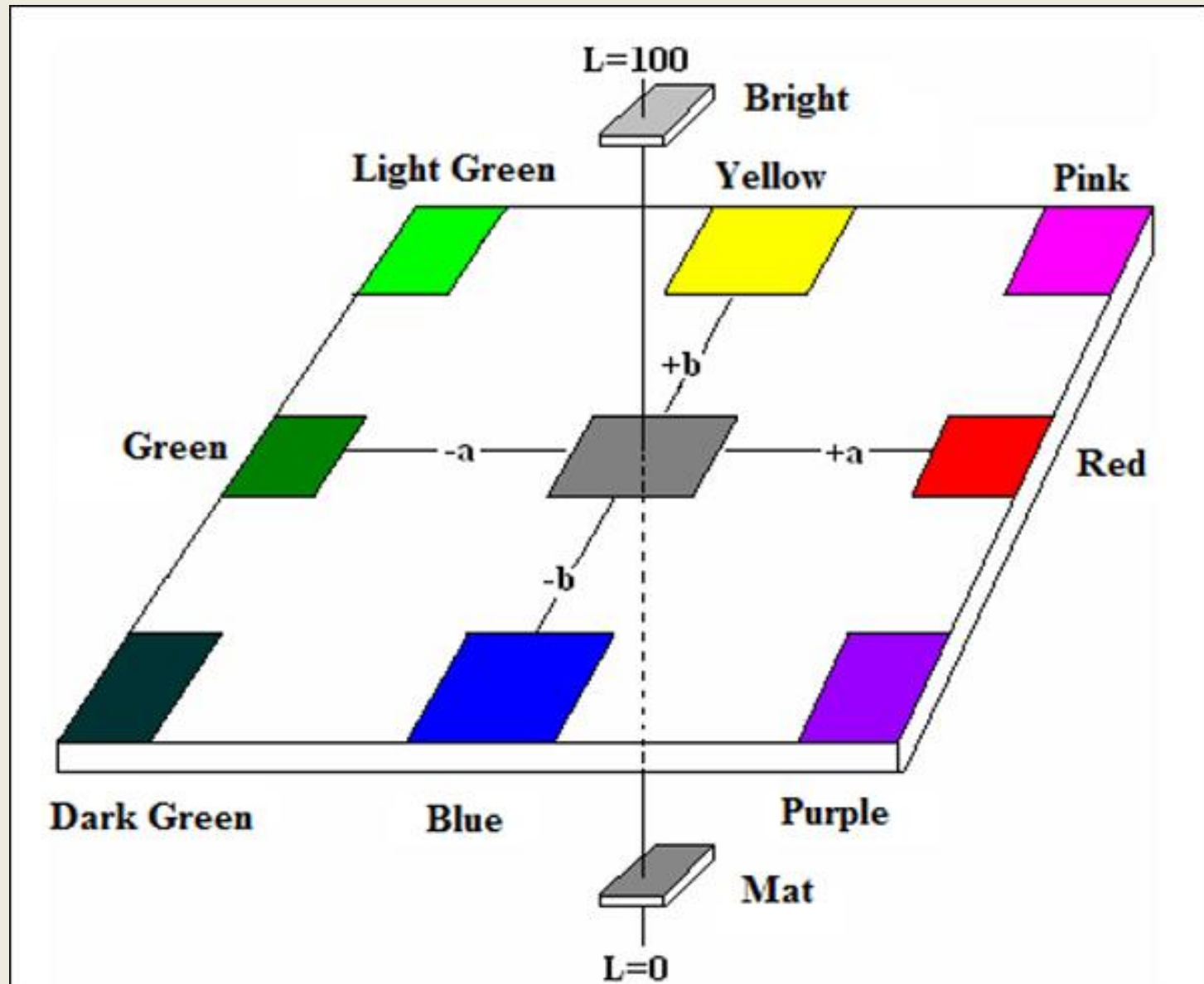


$L = 50\%$

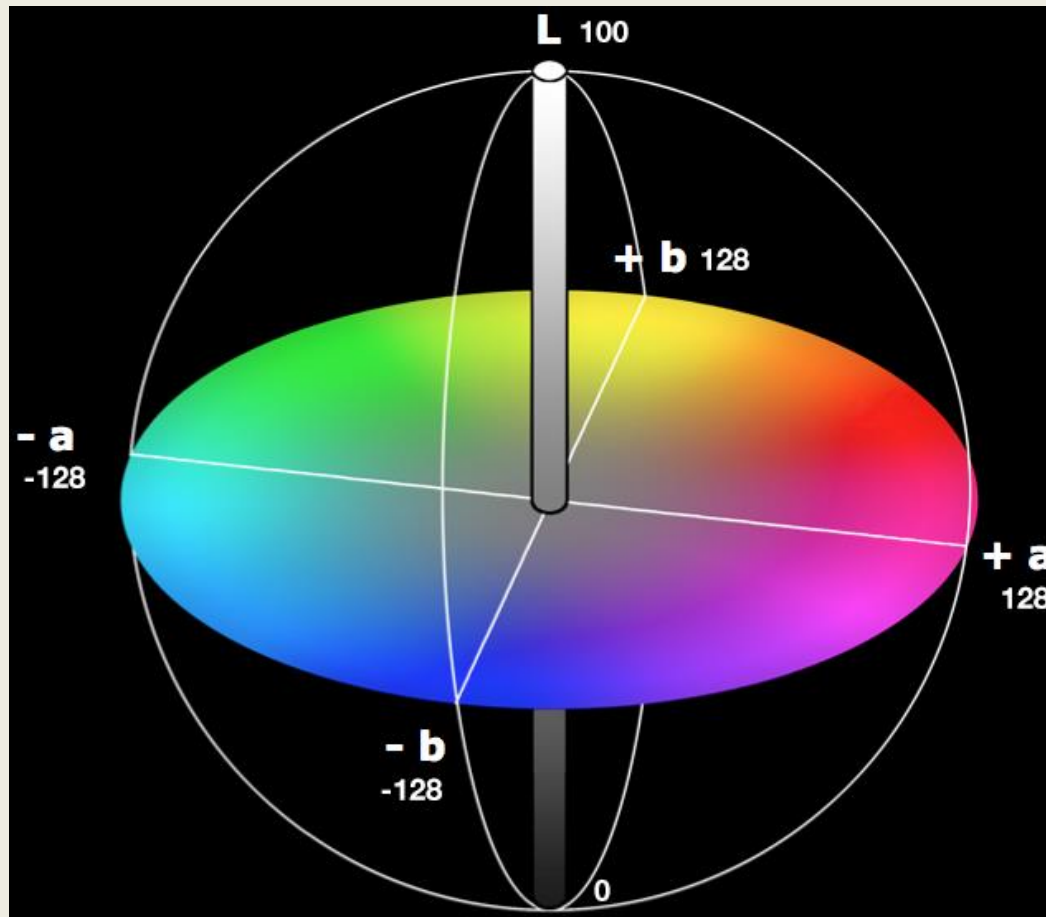


$L = 75\%$

# Ο χρωματικός χώρος CIELAB



# Ο χρωματικός χώρος CIELAB

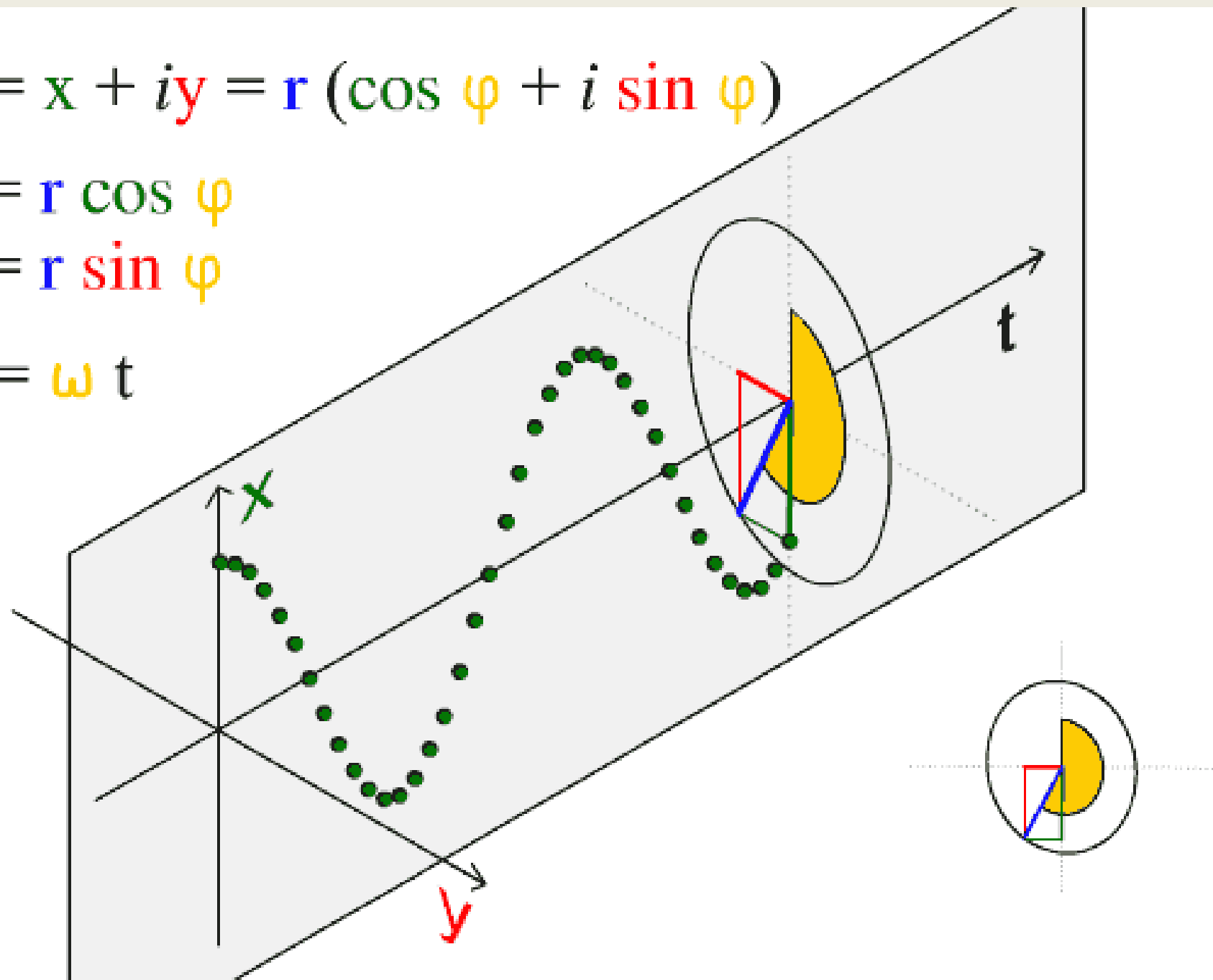


$$z = x + iy = r (\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

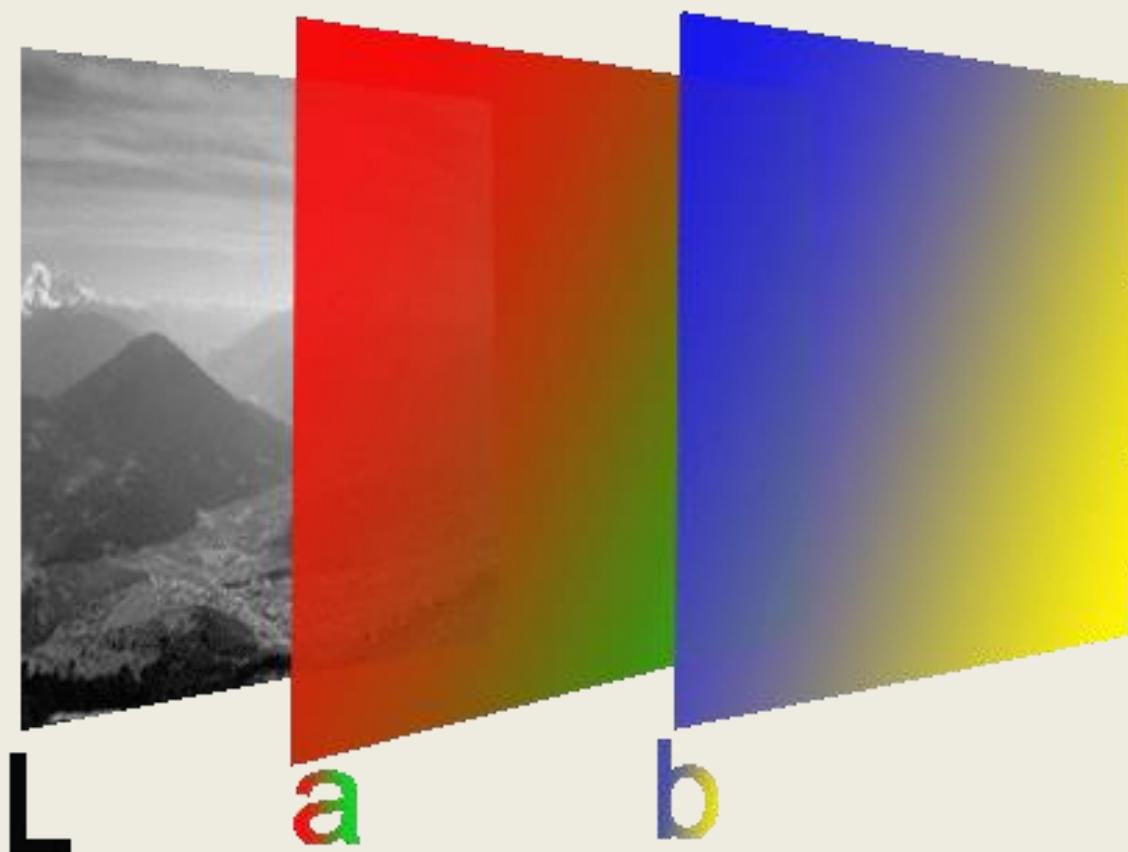
$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$

$$\varphi = \omega t$$



# Ο χρωματικός χώρος CIELAB





## Ο χρωματικός χώρος CIELAB

- Υπολογίζεται παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι συνιστώσες  $a$ ,  $b$  φέρουν αποκλειστικά χρωματική πληροφορία χωρίς να υπάρχουν για αυτές κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του  $a^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου. Αρνητικές τιμές του  $a^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου. Αρνητικές τιμές  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε.

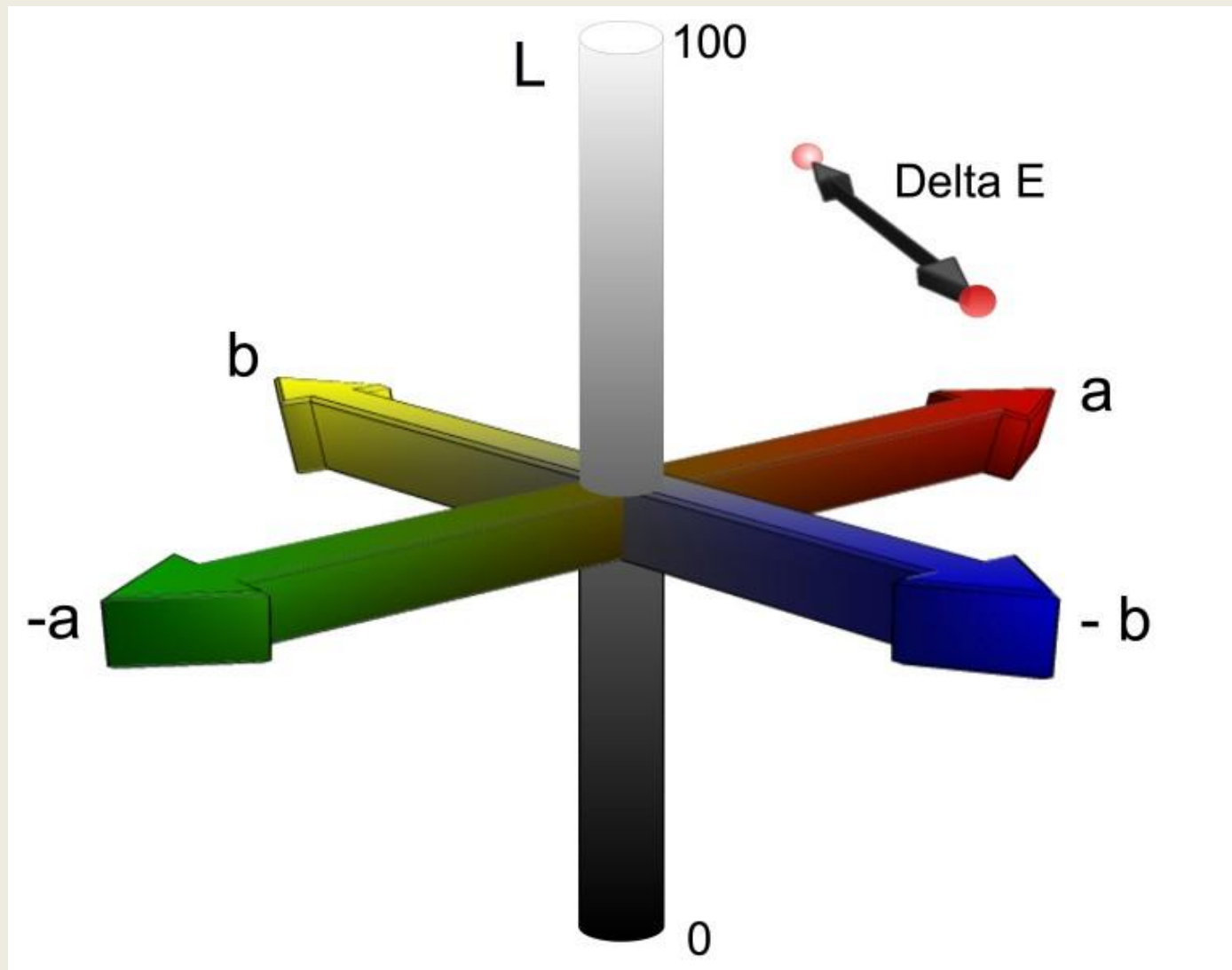
## Χρωματική Διαφορά (ΔΕ)

Η **χρωματική διαφορά (ΔΕ)** (color difference) μεταξύ δύο δειγμάτων είναι μια τυποποιημένη μέθοδος εκτίμησης της ακρίβειας των συστημάτων μέτρησης δοκιμίου. Ορίζεται ως η γεωμετρική απόσταση των σημείων που ορίζονται από τις συντεταγμένες των δειγμάτων, σε έναν οπτικά ομοιόμορφο χρωματικά χώρο. Στο σύστημα μέτρησης CIELAB, οι υπολογιζόμενες χρωματικές διαφορές συνδέονται με τη χρωματική μας αντίληψη, εκφράζονται σε μονάδες (units) και προκύπτουν με βάση την παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

$$\Delta E^* = \sqrt{[\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}]}$$

Όπου  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  και  $\Delta b^*$  είναι οι διαφορές των αντίστοιχων χρωματικών παραμέτρων  $L^*$  (φωτεινότητα),  $a^*$  και  $b^*$  (παράμετροι χρωματικότητας) μεταξύ δύο μετρήσεων.

# Χρωματική Διαφορά ( $\Delta E$ )



# Χρωματική Διαφορά ( $\Delta E$ )

Apple 1



$L^* = 43.31$   
 $a^* = 47.63$   
 $b^* = 14.12$

Apple 2



$L^* = 47.34$   
 $a^* = 44.58$   
 $b^* = 15.16$

## $L^*a^*b^*$ Color Difference

$$\Delta L^* = +4.03$$

$$\Delta a^* = -3.05$$

$$\Delta b^* = +1.04$$

$$\Delta E^* = 5.16$$

## Χρωματική Διαφορά (ΔΕ)

	Dmin	Dmax
C	1,40	1,60
M	1,35	1,58
Y	1,05	1,20
K	1,60	1,95

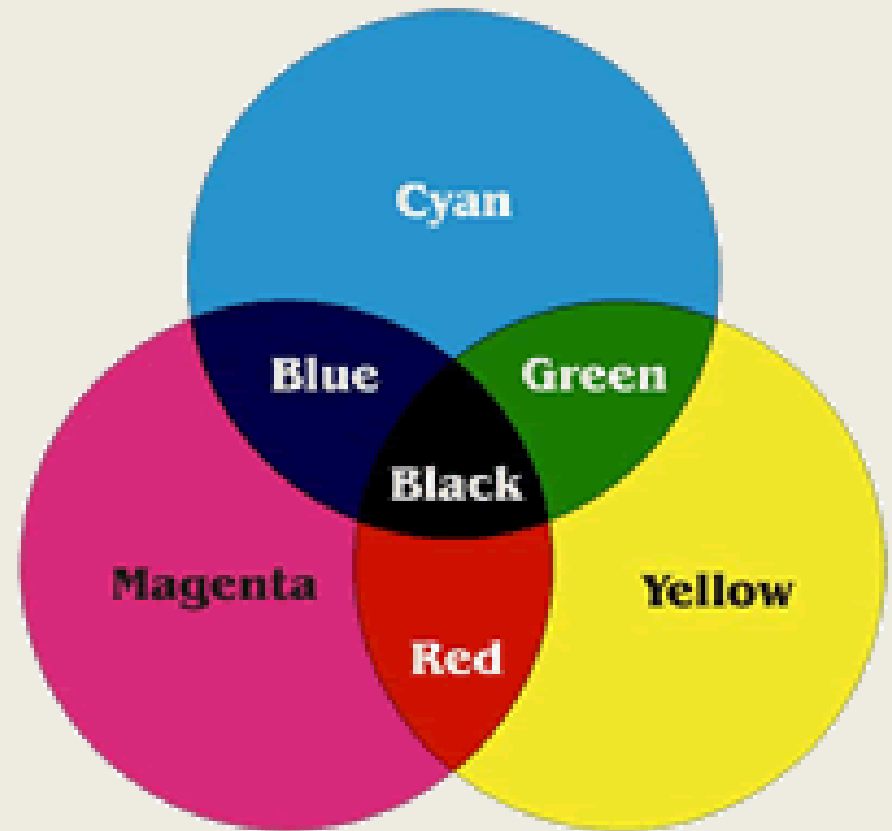
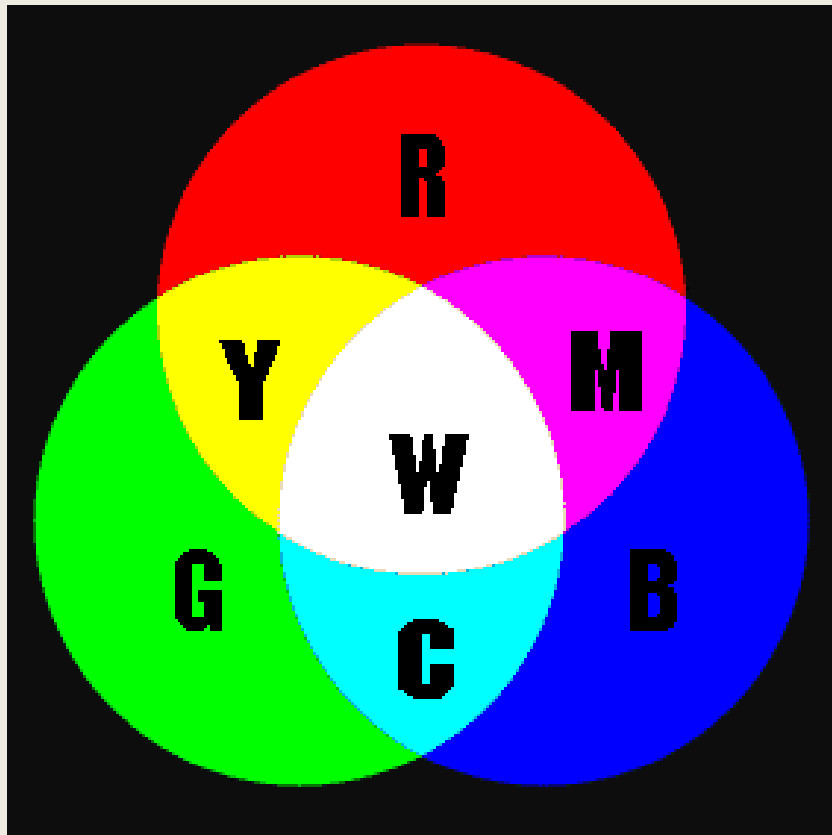
## Χρωματική Διαφορά (ΔΕ)

ΔΕ	Χαρακτηρισμός
0 – 0,2	Ανύπαρκτες
0,2 – 0,5	Αμελητέες
0,5 – 1,5	Μικρές
1,5 – 3,0	Μέτριες
3,0 – 5,0	Σημαντικές
> 5,0	Μεγάλες

Ένας μέσος θεατής μπορεί συνήθως να αντιληφθεί διαφορές πάνω από 5 ή 6 ΔΕ. Το ανθρώπινο μάτι είναι περισσότερο ευαίσθητο σε αλλαγές των γκριζων και μεσαίων τόνων



# Χρωματικά μοντέλα





# Το χρωματικό μοντέλο RGB

**Πρωτογενή χρώματα** (*primary colors*):

Red- Green – Blue

**Δευτερογενή χρώματα ή Συμπληρωματικά:**

**Magenta** (*ματζέντα*) = Red + Blue

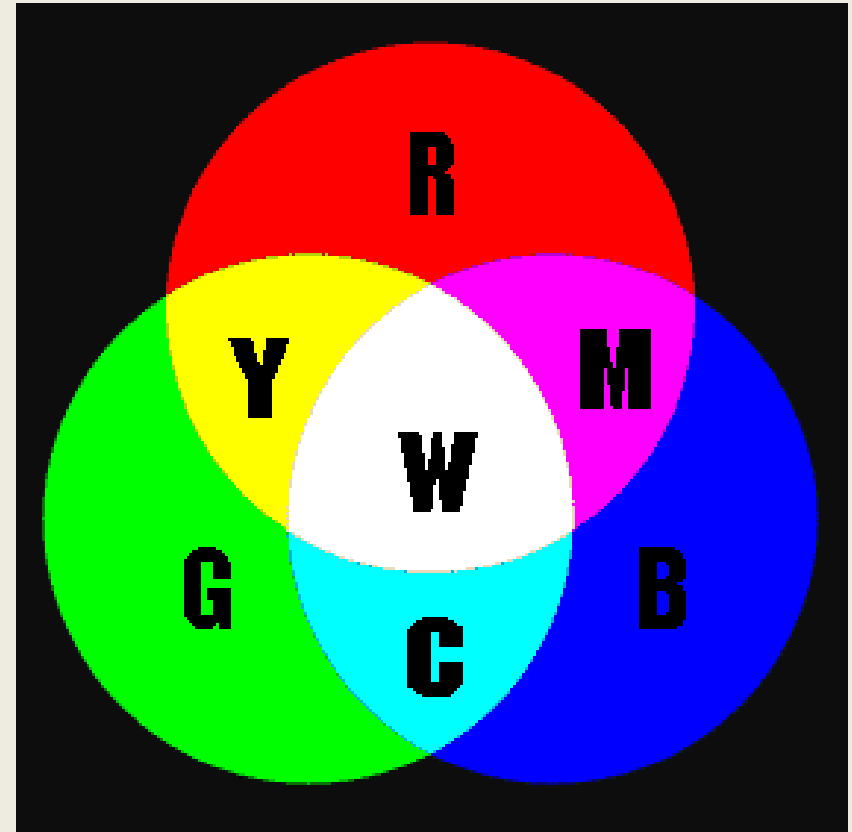
**Yellow** (*κίτρινο*) = Green + Red

**Cyan** (*κυανό*) = Blue + Green

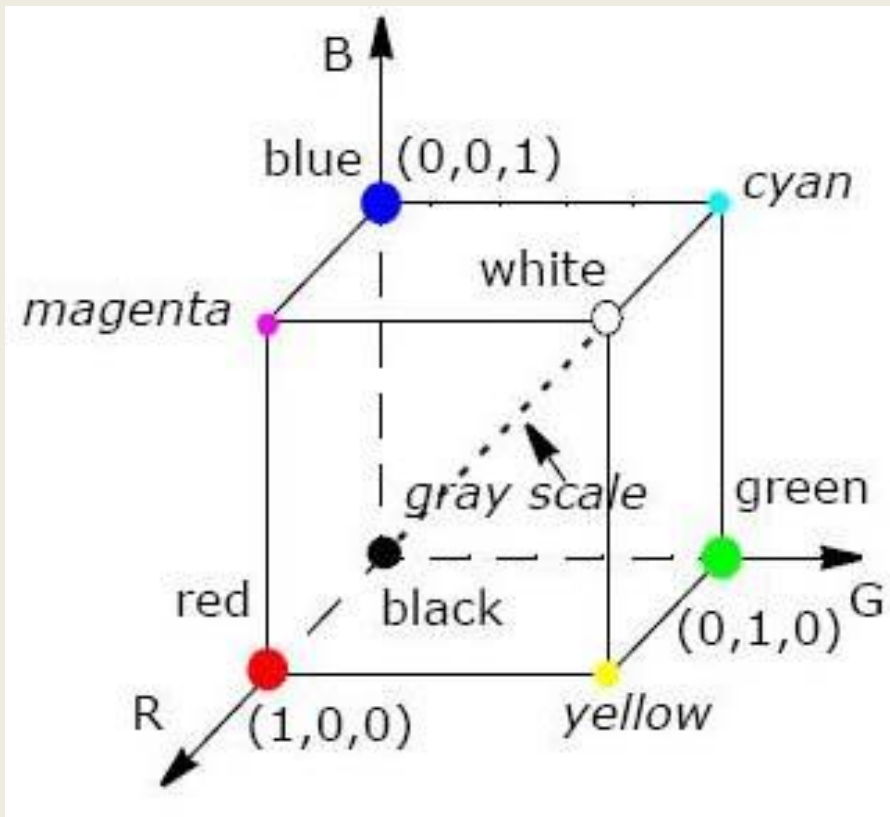
Τα τρία πρωτογενή χρώματα όταν συνδυαστούν δίνουν το λευκό.

**White** (*λευκό*) = Red + Blue + Green

Λευκό επίσης δίνουν και οι συνδυασμοί ενός πρωτογενούς και του αντίθετού του δευτερογενούς (συμπληρωματικά χρώματα).



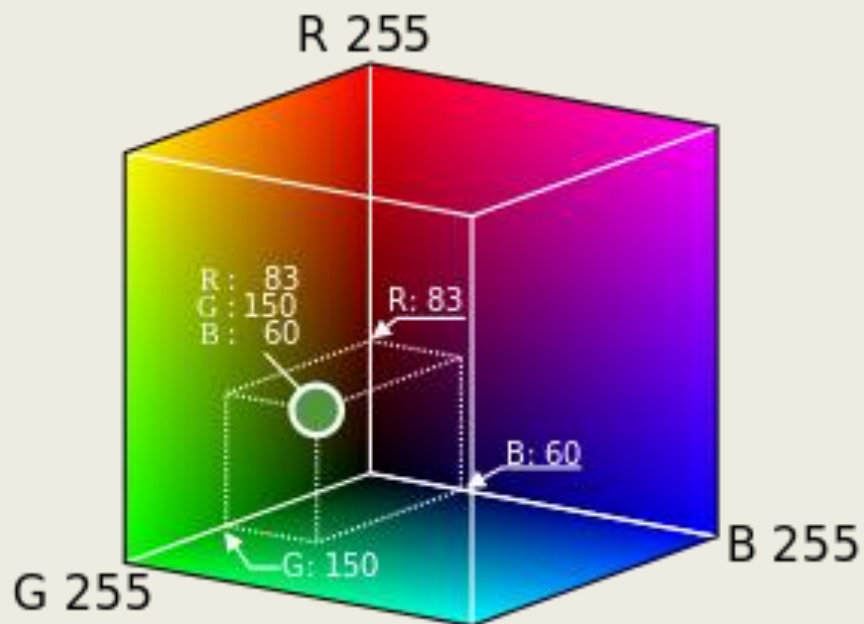
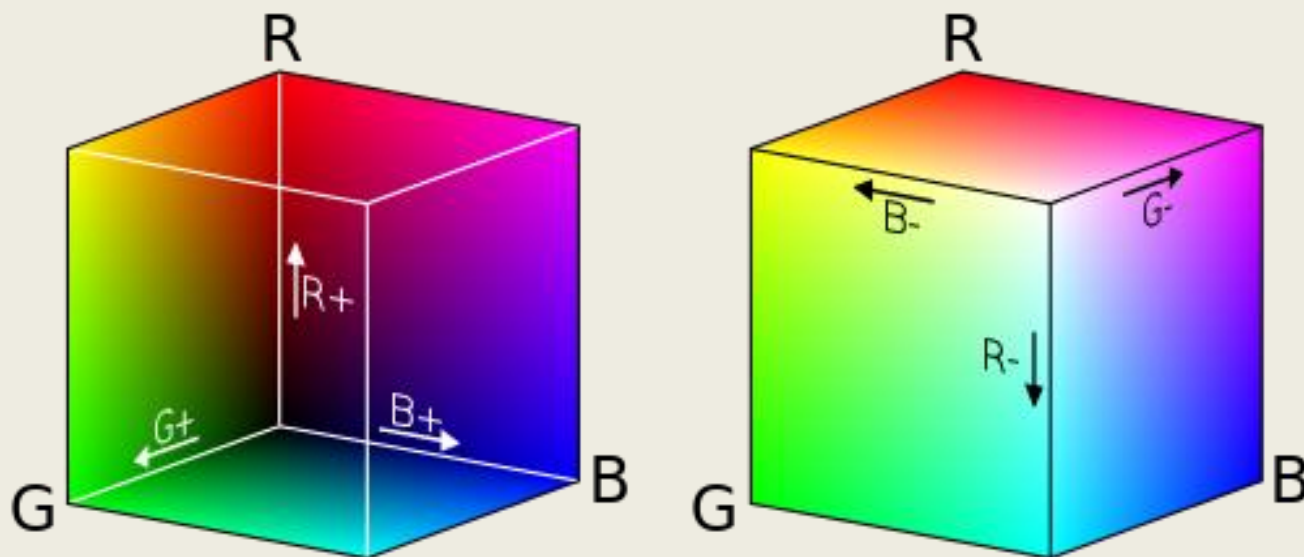
# Το χρωματικό μοντέλο RGB



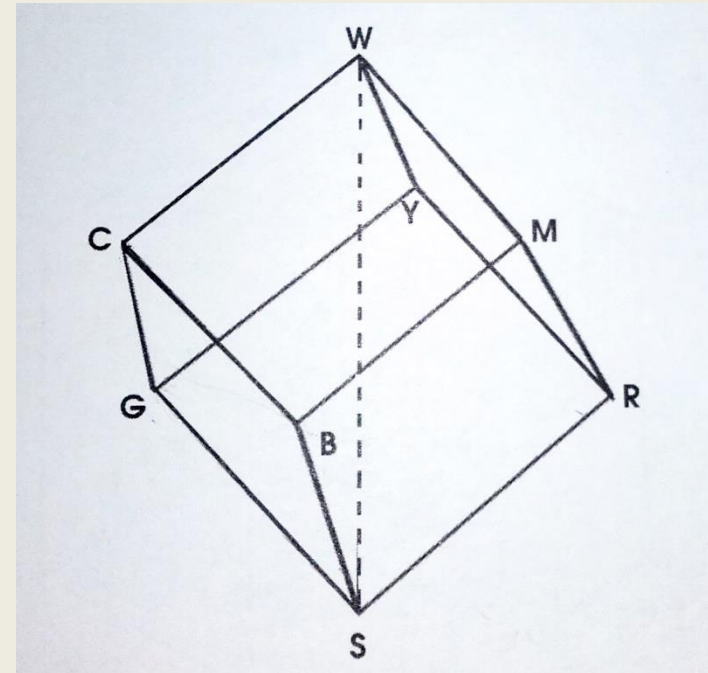
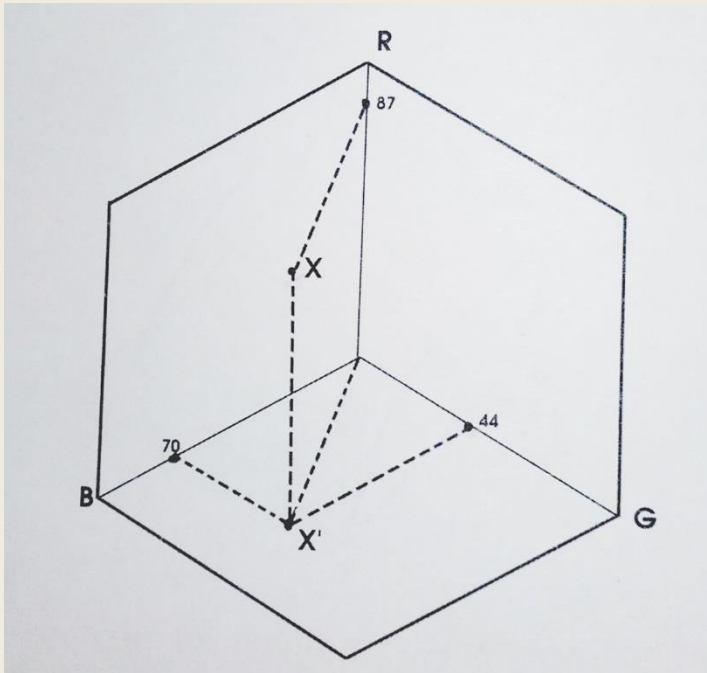
Το καρτεσιανό σύστημα του χρωματικού μοντέλου RGB

- Στο RGB μοντέλο, τα χρώματα θεωρούνται προσμίξεις των βασικών χρωμάτων **Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε**.
- Το μοντέλο βασίζεται στο **καρτεσιανό σύστημα** και αναπαριστάται με τον RGB κύβο.
- Χρησιμοποιείται στην **απεικόνιση χρωμάτων στις οθόνες** και γενικά στα συστήματα απεικόνισης.
- **Εξαρτάται από τη συσκευή** απεικόνισης (**device dependent**) ίδιες συντεταγμένες δίνουν διαφορετικά χρώματα σε διαφορετικές συσκευές

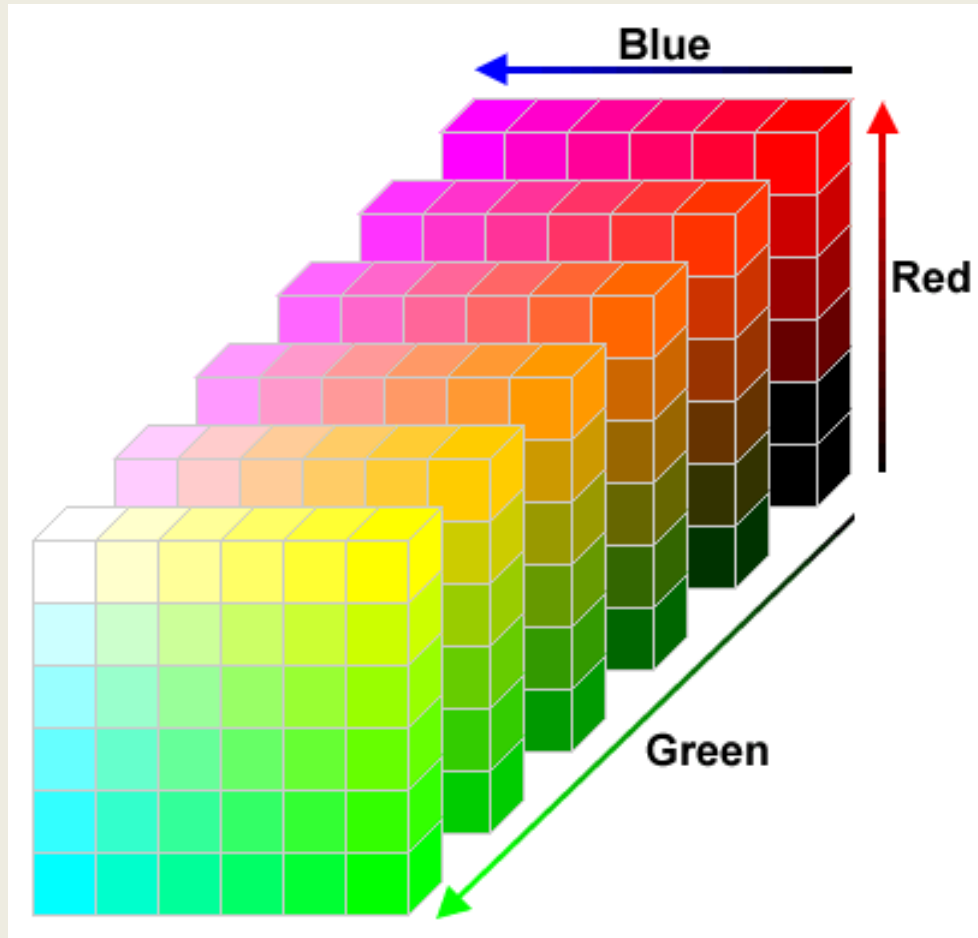
# Το χρωματικό μοντέλο RGB



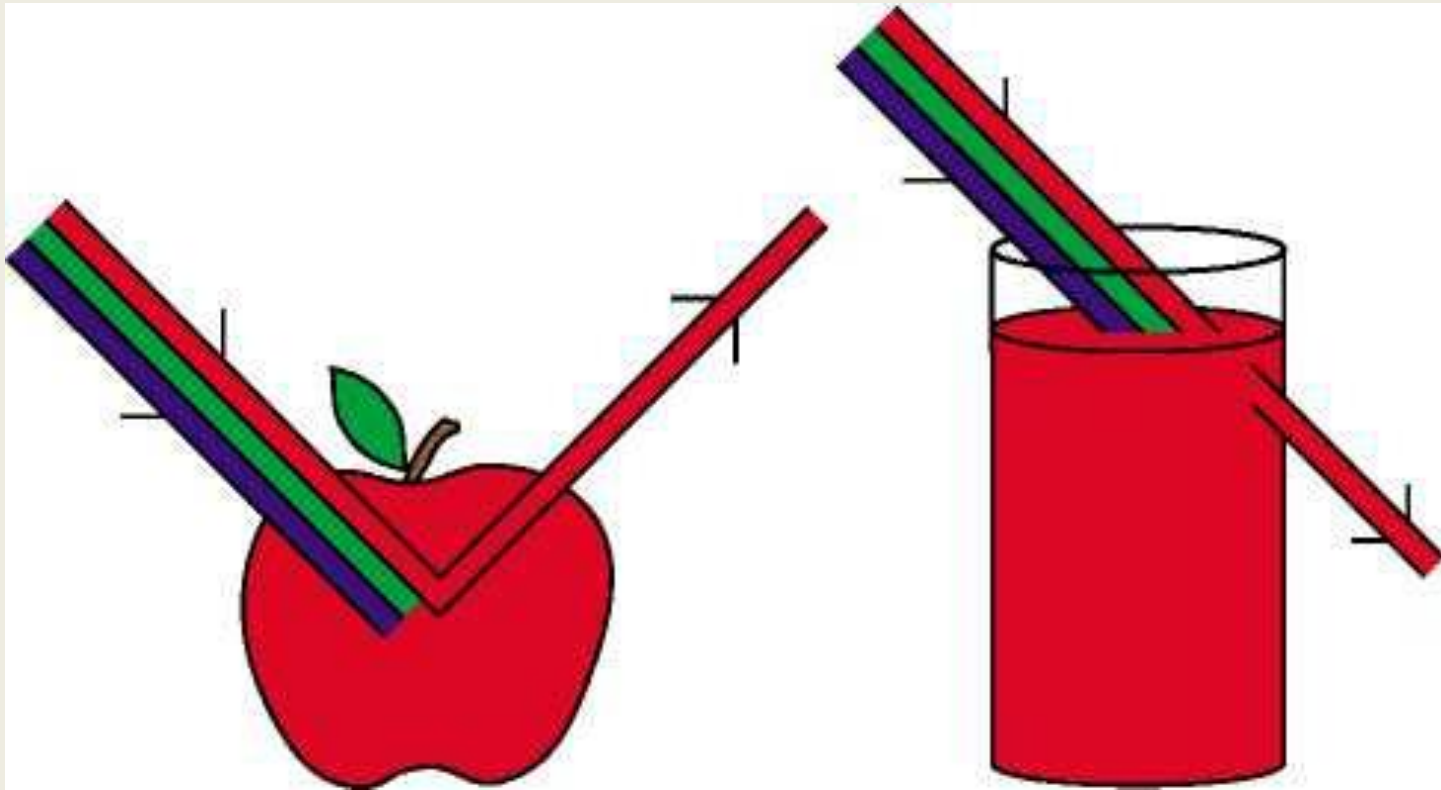
# Το χρωματικό μοντέλο RGB



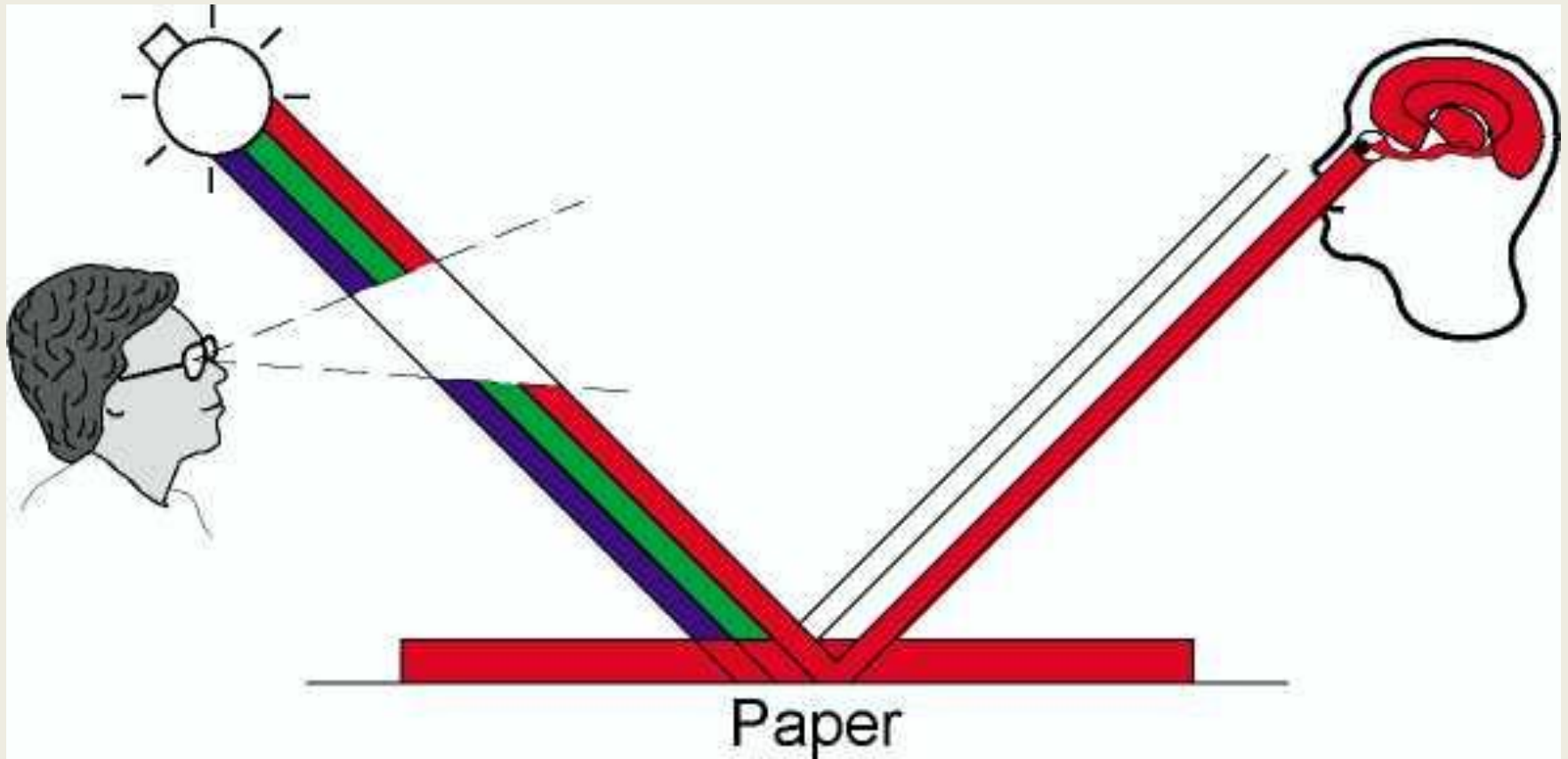
# Το χρωματικό μοντέλο RGB



# Προσθετική ανάμειξη των χρωμάτων



# Προσθετική ανάμειξη των χρωμάτων



# Το χρωματικό μοντέλο CMYK

Πρωτογενή χρώματα (*primary colors*):

Cyan - Magenta – Yellow.

Δευτερογενή χρώματα ή

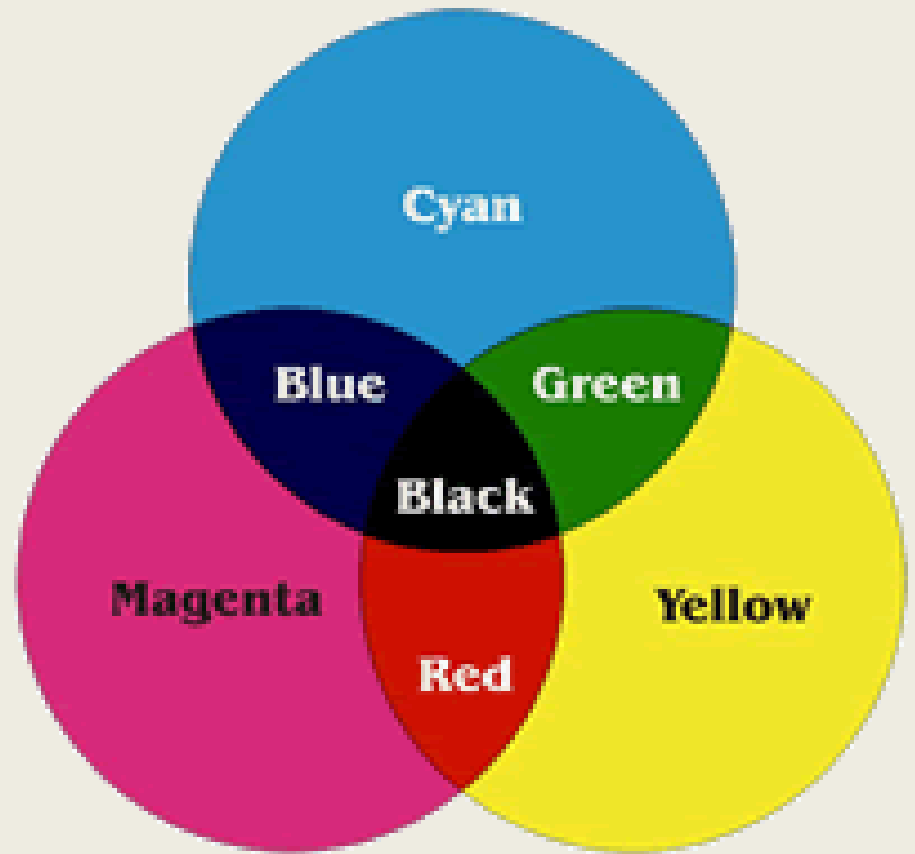
Συμπληρωματικά:

Red = Yellow + Magenta (ματζέντα)

Green = Cyan + Yellow (κίτρινο)

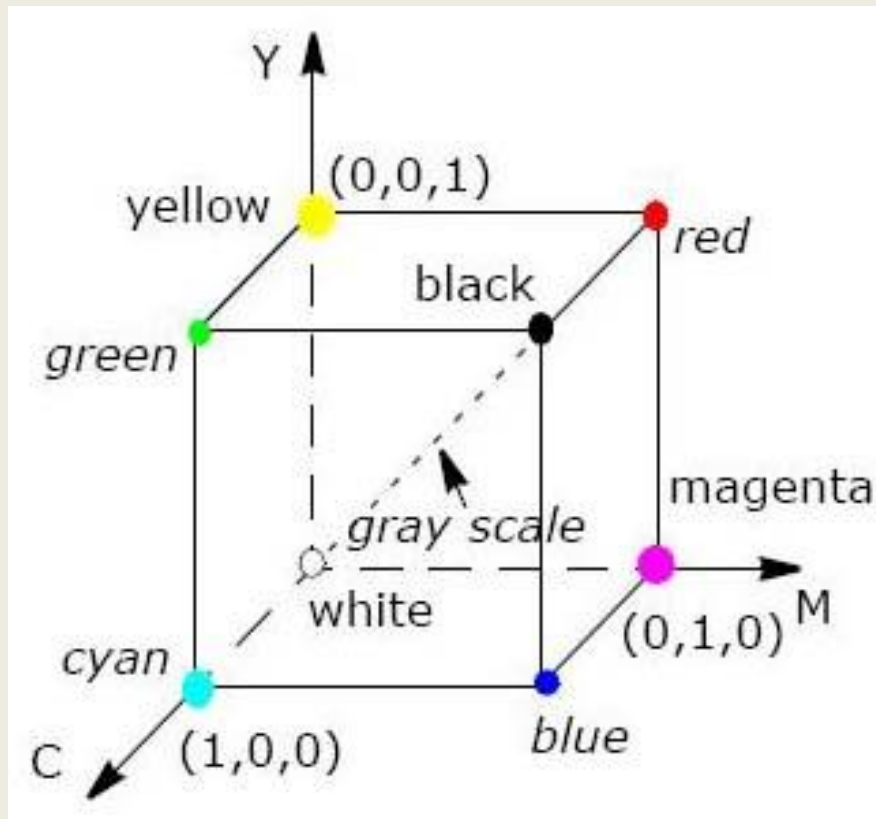
Blue = Magenta + Cyan (κυανό)

Μαύρο = Cyan + Magenta + Yellow





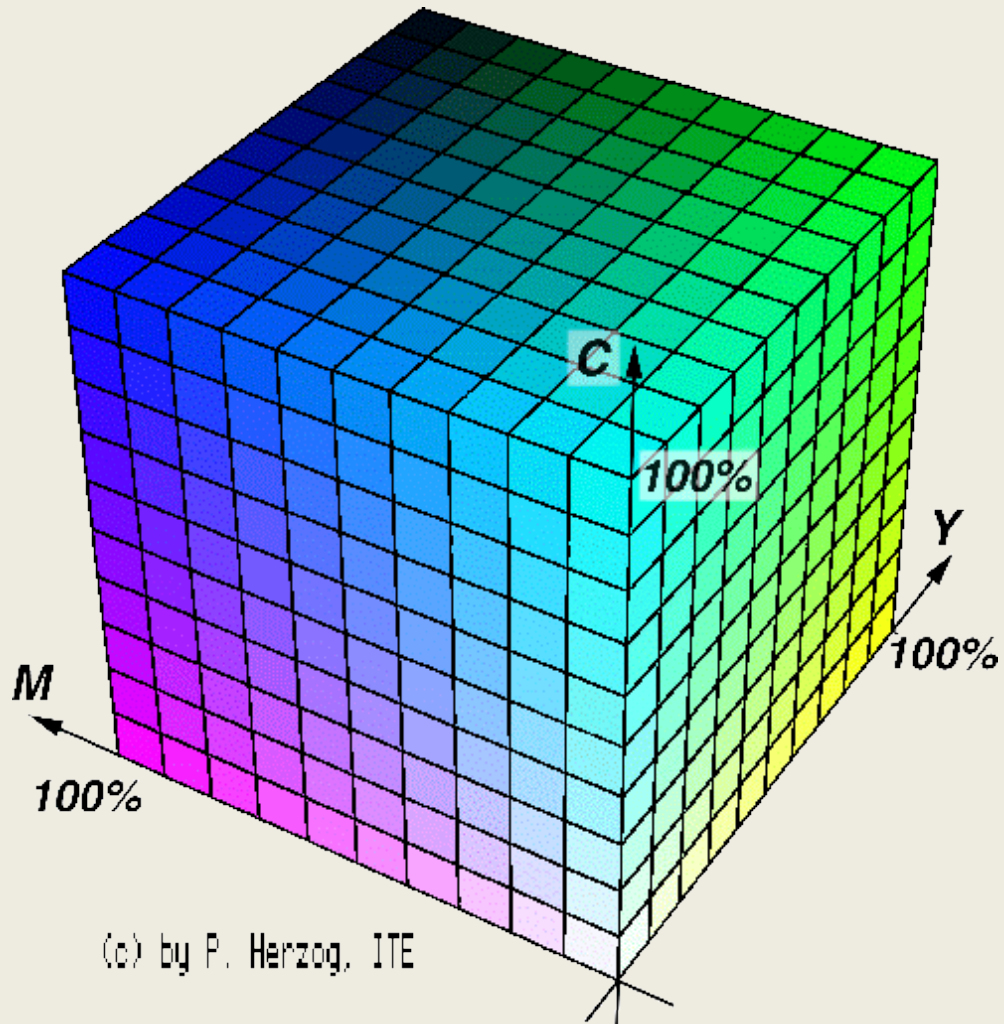
# Το χρωματικό μοντέλο CMYK



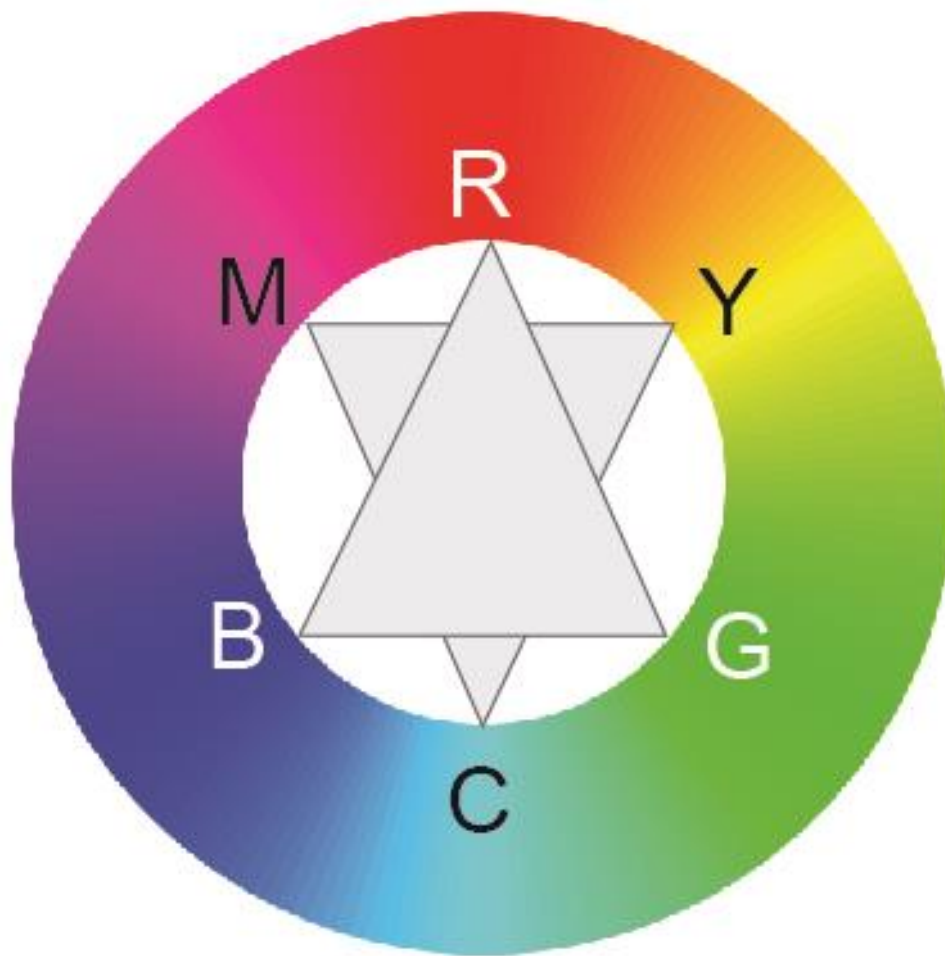
Το καρτεσιανό σύστημα του χρωματικού μοντέλου CMYK

- Στο CMYK μοντέλο, τα χρώματα θεωρούνται **προσμίξεις των συμπληρωματικών χρωμάτων Κυανό, Ματζέντα, Κίτρινο**.
- Χρησιμοποιείται στην **έγχρωμη εκτύπωση**. Στην πράξη προστίθεται επιπλέον το **μαύρο** χρώμα (K – Key color) για καλύτερα οπτικά αποτελέσματα.

# Το χρωματικό μοντέλο CMYK



# Ο Χρωματικός Κύκλος



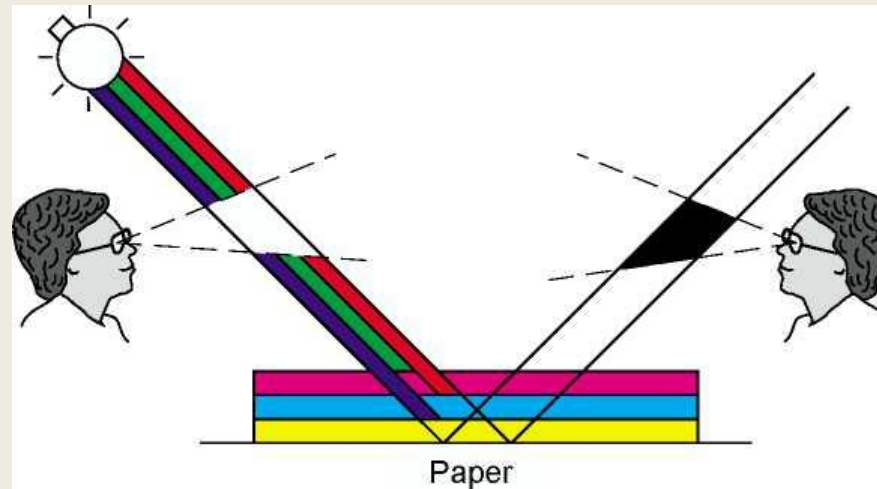
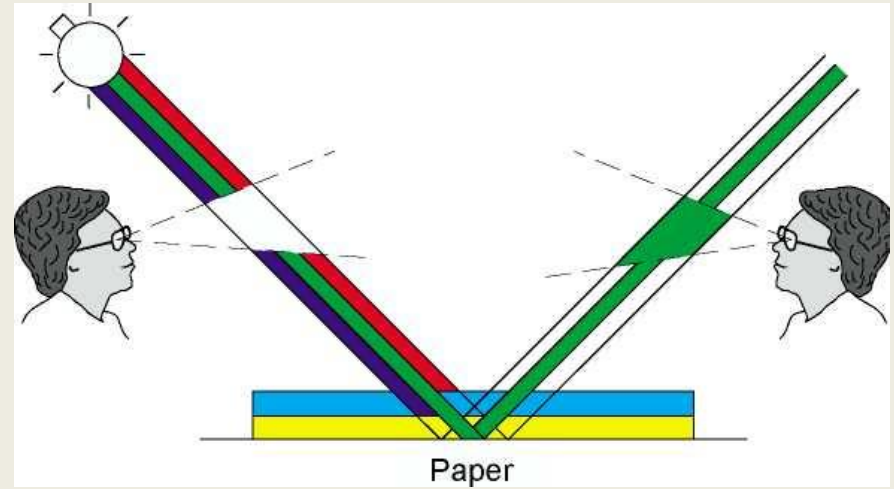
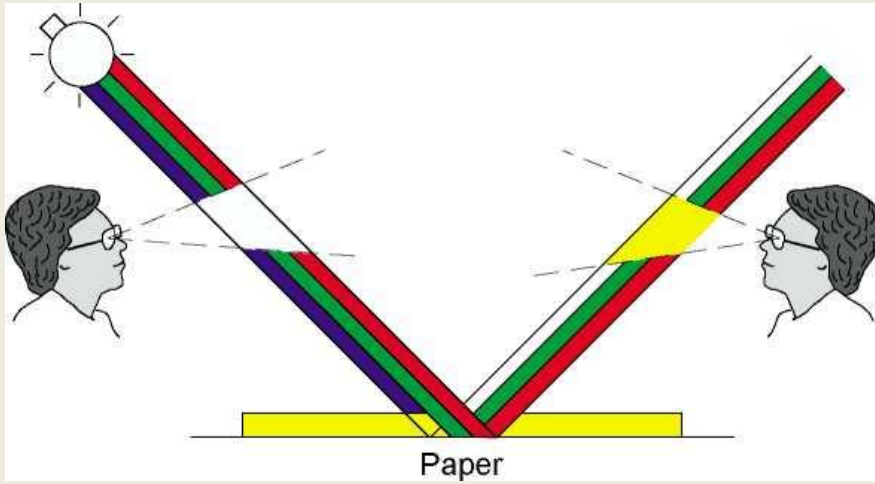
- Ο χρωματικός κύκλος φανερώνει τις σχέσεις των βασικών και συμπληρωματικών χρωμάτων.
- Στο επάνω τμήμα του κύκλου βρίσκονται τα θερμά χρώματα και στο κάτω τα ψυχρά.
- Κάθε χρώμα προκύπτει από τον συνδυασμό του προηγούμενου και του επόμενου από αυτό.
- Το συμπληρωματικό κάθε χρώματος είναι αυτό που βρίσκεται σε θέση  $180^\circ$  από αυτό (ακριβώς απέναντί του).

# Το χρωματικό μοντέλο CMYK

Κάθε στρώση μελανιού λειτουργεί ως φίλτρο που συγκρατεί συγκεκριμένες περιοχές του ορατού φάσματος. Σύμφωνα με το σχήμα, έχουμε:

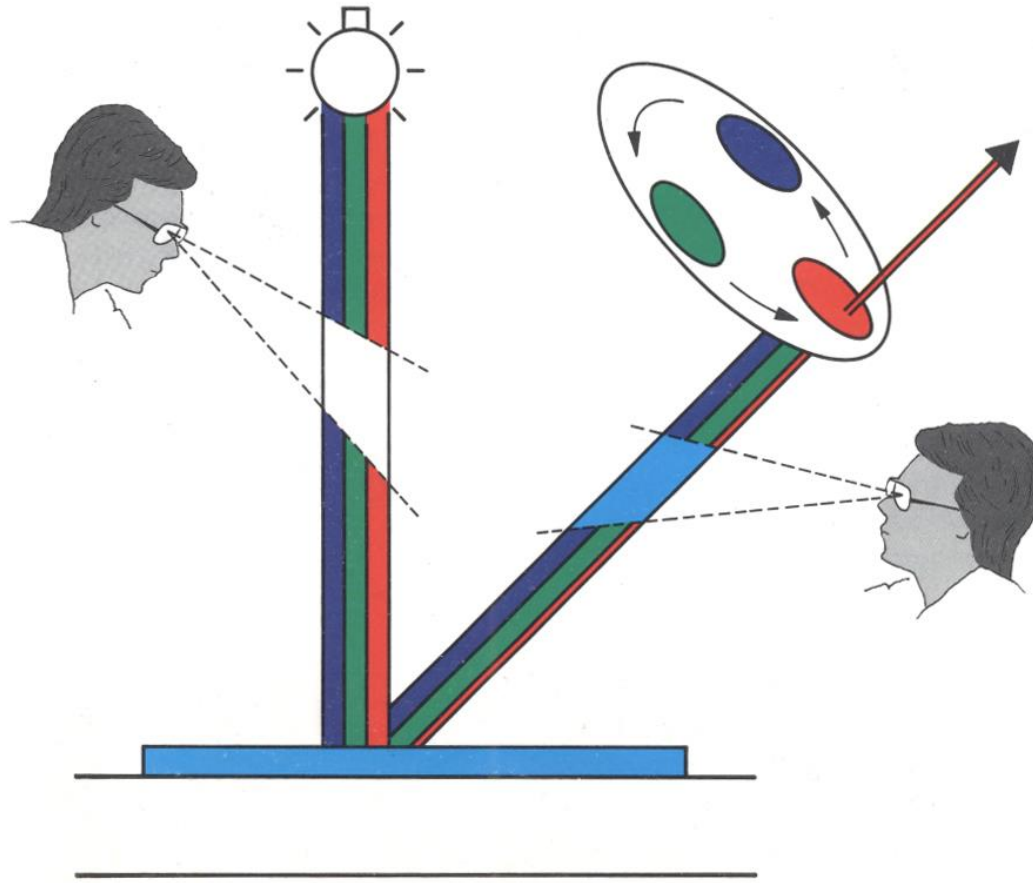
- το κυανό: αφαιρέτης του κόκκινου, αφήνει να περάσουν ή να ανακλαστούν μόνο το πράσινο και το μπλε.
- το ματζέντα: αφαιρέτης του πράσινου, αφήνει να περάσουν ή να ανακλαστούν μόνο το κόκκινο και το μπλε.
- το κίτρινο: αφαιρέτης του μπλε, αφήνει να περάσουν ή να ανακλαστούν μόνο το πράσινο και το κόκκινο.

# Αφαιρετική ανάμειξη των χρωμάτων

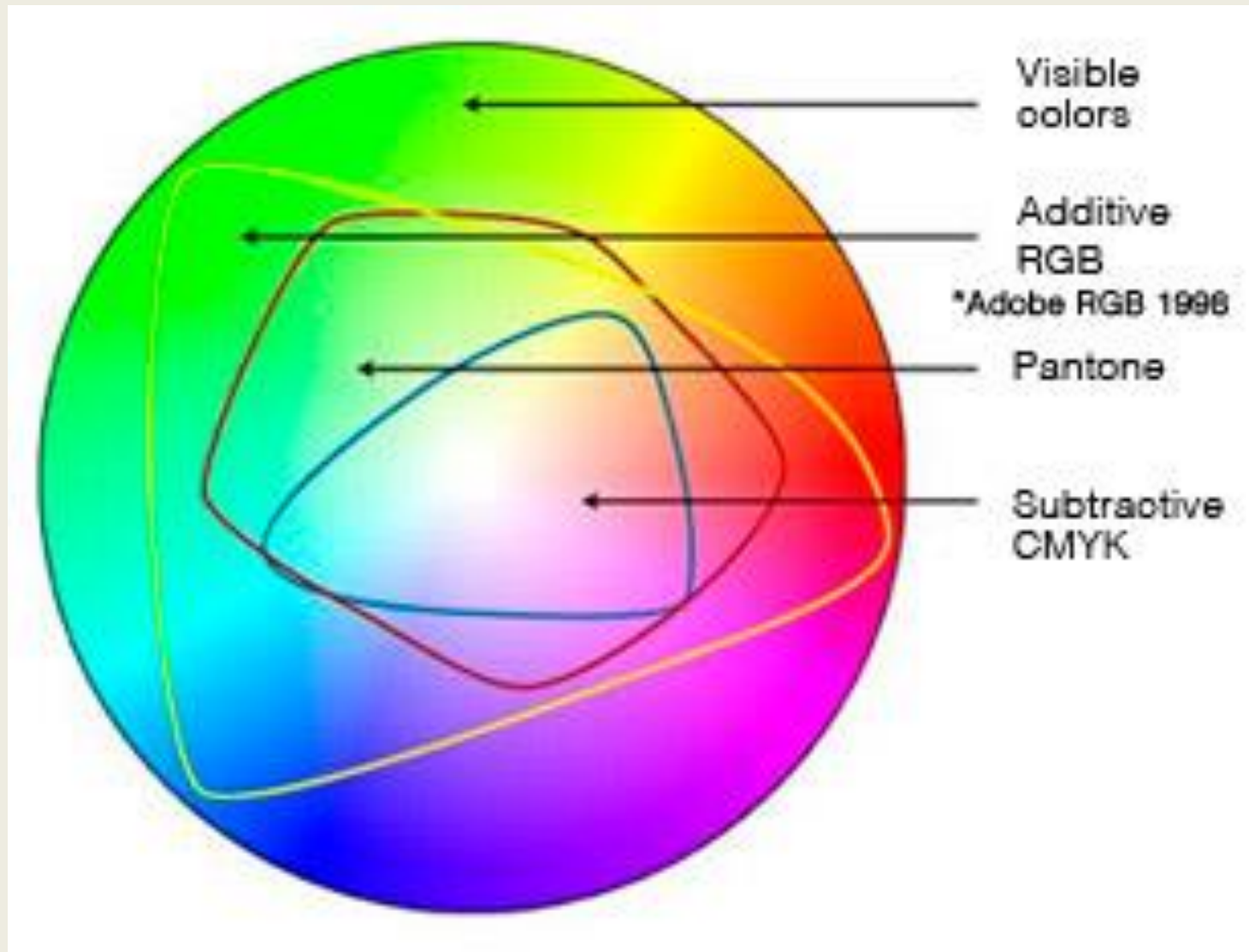


# Αφαιρετική ανάμειξη των χρωμάτων

Πορεία ακτίνων μέσα στο πικνόμετρο



# Χρωματικά μοντέλα



# Εκτύπωση Offset

## Web Press





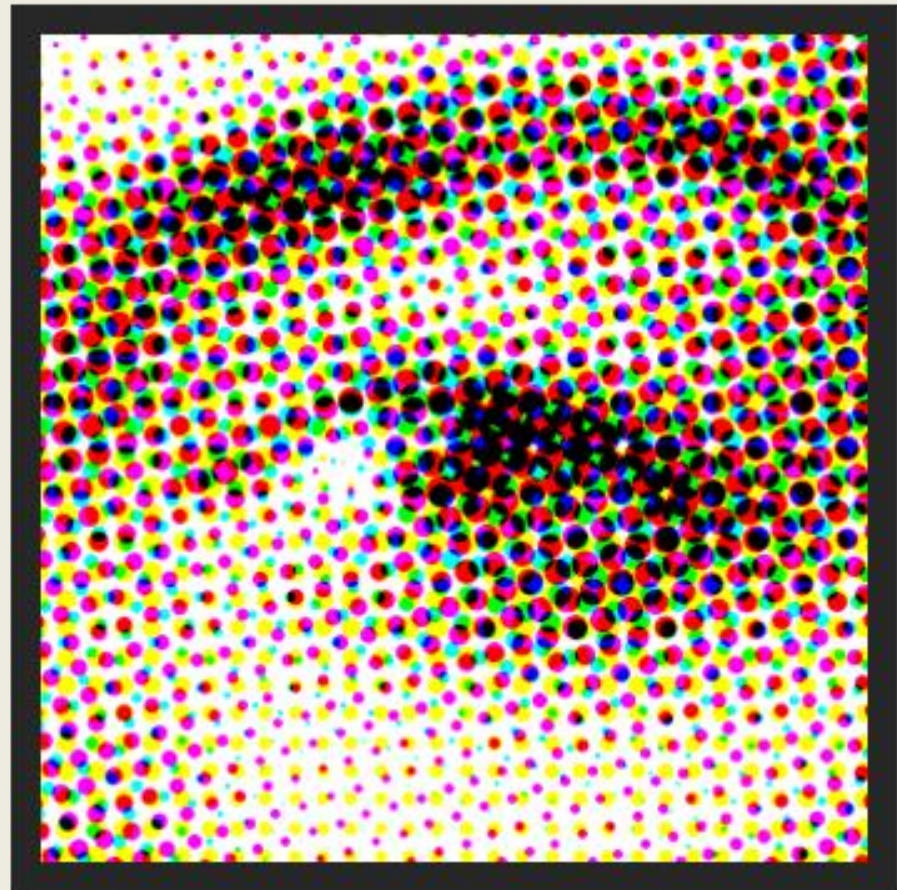
## Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- **Raster:** δημιουργήθηκε για να λύσει το πρόβλημα της απόδοσης των τονικών αξιών μιας εικόνας στην εκτύπωση.
- Η ποσότητα της μελάνης που τυπώνεται πάνω στο χαρτί είναι πάντα σταθερή ανά μονάδα επιφάνειας, επομένως η διαφορετική τονικότητα στα διαφορετικά σημεία του θέματος θα πρέπει να αποδοθεί με διαφορετικό τρόπο.
- Το raster αναλύει τις τονικές αξίες μιας εικόνας σε σειρά από πολλές μικρές κουκίδες, των οποίων η επιφάνεια στο αναπαραγόμενο είναι ανάλογη της αντίστοιχης φωτογραφικής πυκνότητας του πρωτοτύπου.

## Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- **Κουκίδες ράστερ:** έχουν ένα νοητό κέντρο, ίσες αποστάσεις μεταξύ τους, συμμετρική διάταξη και ανάλογα με το μέγεθος τους δημιουργούν πυκνότερα ή πιο αραιά μικρά σύνολα, τα οποία στη συνεχή διαδοχή τους, δίνουν την οπτική εντύπωση της εικόνας.
- Η τεχνική της ραστεροποίησης στηρίζεται στο γεγονός ότι η απόσταση των κουκίδων είναι μικρότερη της διακριτικής ικανότητας του ανθρώπινου ματιού, με αποτέλεσμα, η οπτική ανάμειξή τους σε μια στοιχειώδη επιφάνεια να δημιουργεί χρωματικό αίσθημα.

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



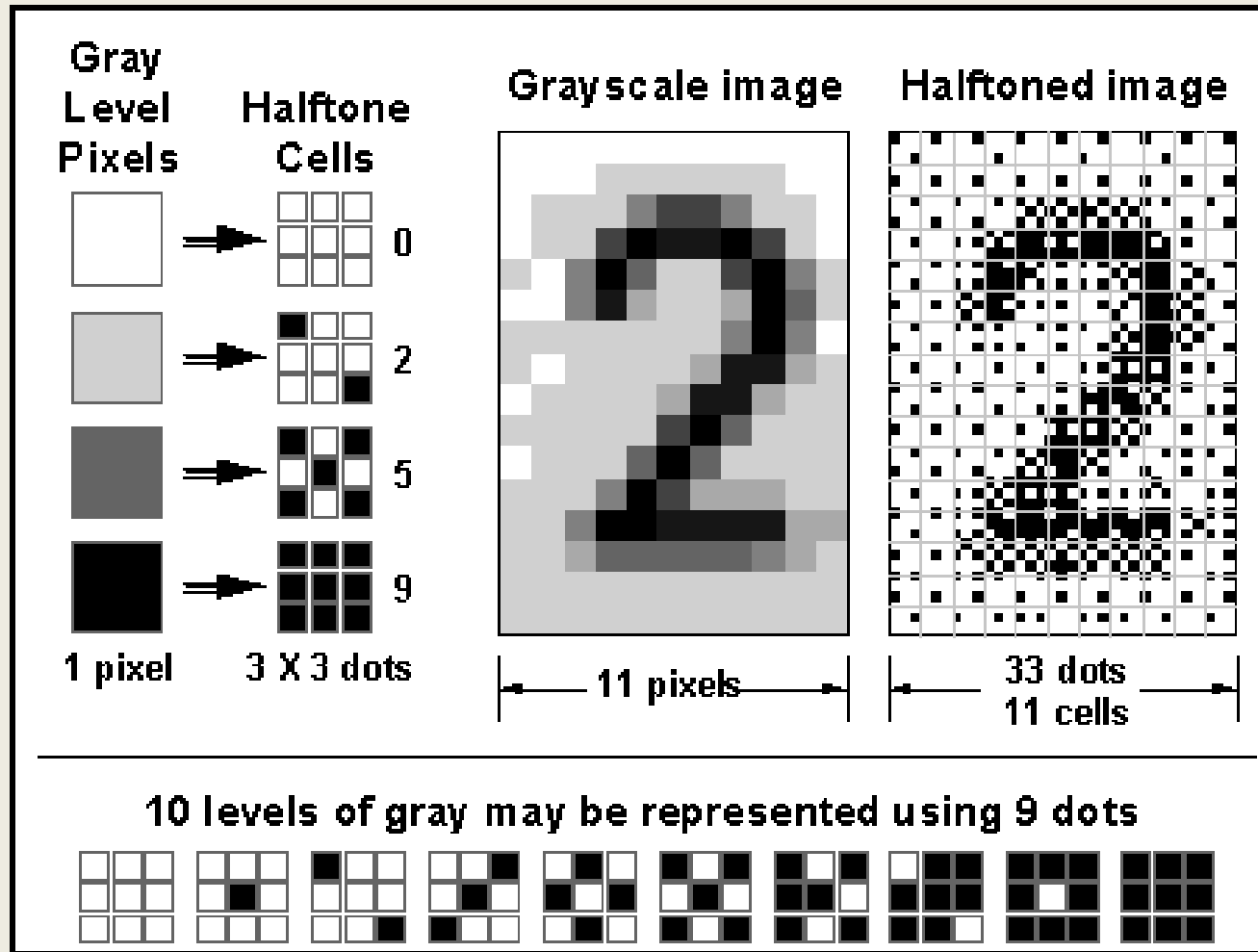
## Η δημιουργία του ράστερ

- Τα ράστερς δημιουργούνται, στο στάδιο της προεκτύπωσης, κατά την παραγωγή των films.
- Τα ψηφιακά δεδομένα μιας σελίδας εγγράφονται σε ενιαία μορφή μέσω της γλώσσας περιγραφής σελίδας Postscript.
- Στο Postscript αρχείο αποθηκεύονται όλα τα ποσοστά χρώματος CMYK που έχουν οριστεί για κάθε στοιχείο της σελίδας.
- Η μετατροπή του αρχείου Postscript σε αρχείο εικόνας Bitmap επιτυγχάνεται με τη χρήση του **Raster Image Processor (RIP)**
- Ο μετατροπέας Raster Image Processor, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα σε μορφή κουκίδων ενός ηλεκτρονικού πλέγματος, δηλαδή τα δεδομένα υφίστανται μια διαδικασία ραστεροποίησης.

## Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- Μετά τη μετατροπή του αρχείου Postscript σε Bitmap από τον RIP, ακολουθεί η διαδικασία εγγραφής των δεδομένων στο υλικό που έχει επιλεγεί, μέσω του **εικονοθέτη**.
- Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους οι εικονοθέτες φωτίζουν φιλμ γραφικών τεχνών, ή εκτυπωτικές πλάκες.
- Οι εικονοθέτες βασίζονται στα ημιτονικά raster (halftone rasters) όταν παράγουν μία εκτύπωση. Τα raster αυτά μετρούνται σε **γραμμές ανά ίντσα (lines per inch – συχνότητα raster)**, και η ανάλυση ή η ποιότητα ενός εικονοθέτη ή ενός εκτυπωτή, σε **dpi (κουκίδες ανά ίντσα)**.

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



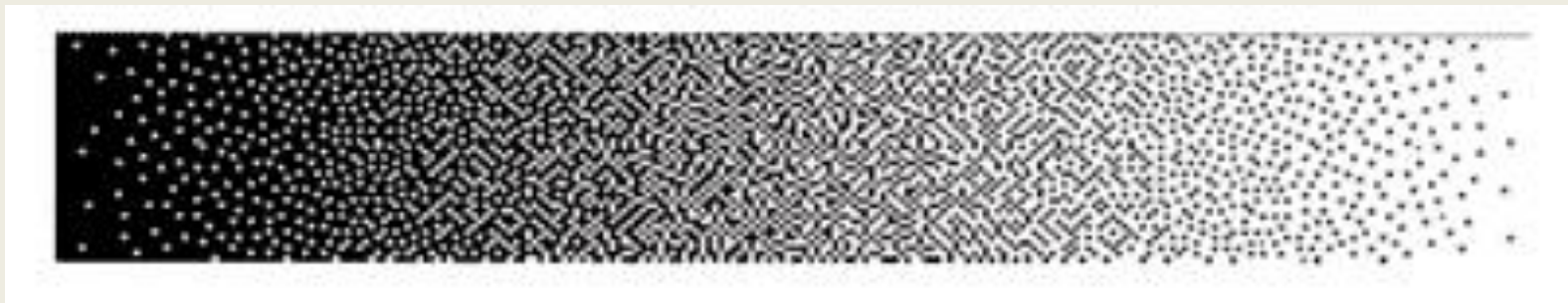
# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- **Είδη ράστερ**
- **ΑΜ ραστεροποίηση (Amplitude Modulation – Διαμόρφωση κατά πλάτος):**
  - Κουκίδες σε σειρές
  - Διαφορετική διάσταση κουκίδων
  - Σταθερή απόσταση μεταξύ των κέντρων των κουκίδων
- **FM ραστεροποίηση – Στοχαστικό ράστερ (Frequency Modulation - Διαμόρφωση κατά συχνότητα):**
  - Κουκίδες σε τυχαία θέση
  - Σταθερή διάσταση κουκίδων
  - Διαφορετική απόσταση μεταξύ των κέντρων των κουκίδων  
(ανάλογα με το πόσο σκούρα ή φωτεινά είναι τα σημεία της εικόνας)

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



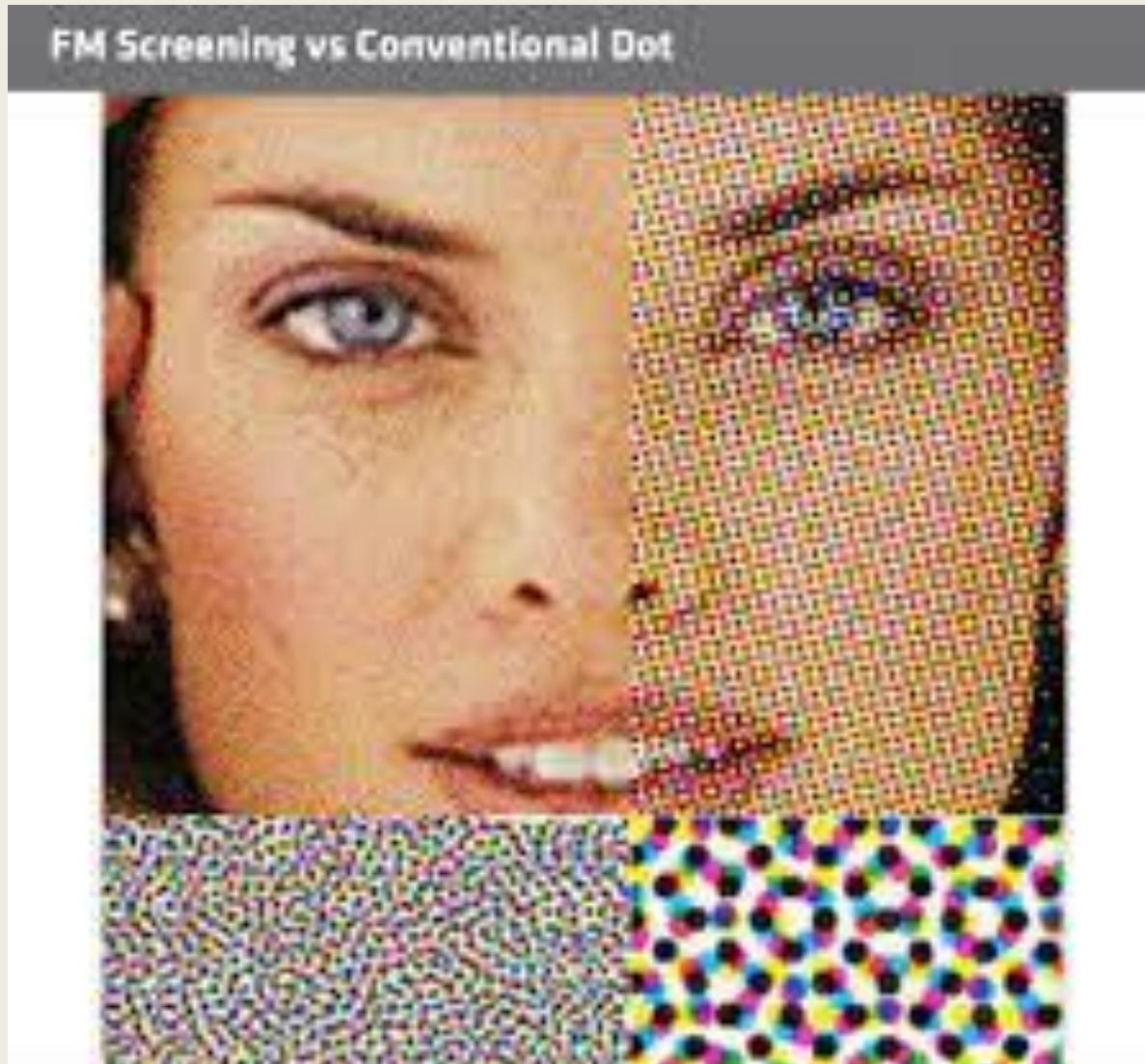
AM Ράστερ



FM Ράστερ – Στοχαστικό ράστερ (Stochastic Screening)



# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

## Πλεονεκτήματα FM ράστερ:

- Απόδοση μεγαλύτερης λεπτομέρειας (πολύ μικρά μεγέθη των ημιτονικών κουκίδων, περίπου 10μ).
- Εξάλειψη του φαινομένου μουαρέ.
- Συνεχής τόνος στην φωτογραφική αναπαραγωγή.
- Περισσότερη συχνότητα στο χρώμα.
- Ομαλότερες διαβαθμίσεις μεταξύ σκούρων και ανοιχτών περιοχών του θέματος.
- Μεγαλύτερο φάσμα χρωμάτων CMYK στο έντυπο

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

Βασικές παράμετροι που καθορίζουν την παραγωγή ενός ημιτονικού AM

- Συχνότητα ή Βάθος Ράστερ
- Γωνία Ράστερ
- Σχήμα Κουκκίδας

## Συχνότητα – Βαθμός Ράστερ

Ο βαθμός ράστερ - γραμμές ανά ίντσα (LPI) είναι μια μέτρηση της ανάλυσης εκτύπωσης. Το υψηλό LPI υποδηλώνει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια.

Ο βαθμός ράστερ εξαρτάται από το είδος της εικόνας που προορίζεται για αναπαραγωγή και την ανάλυση της εικόνας στο στάδιο επεξεργασίας.

Μία μεγάλη βαθμού ραστεροποίηση προσφέρει καλή εκτυπωτική ποιότητα.

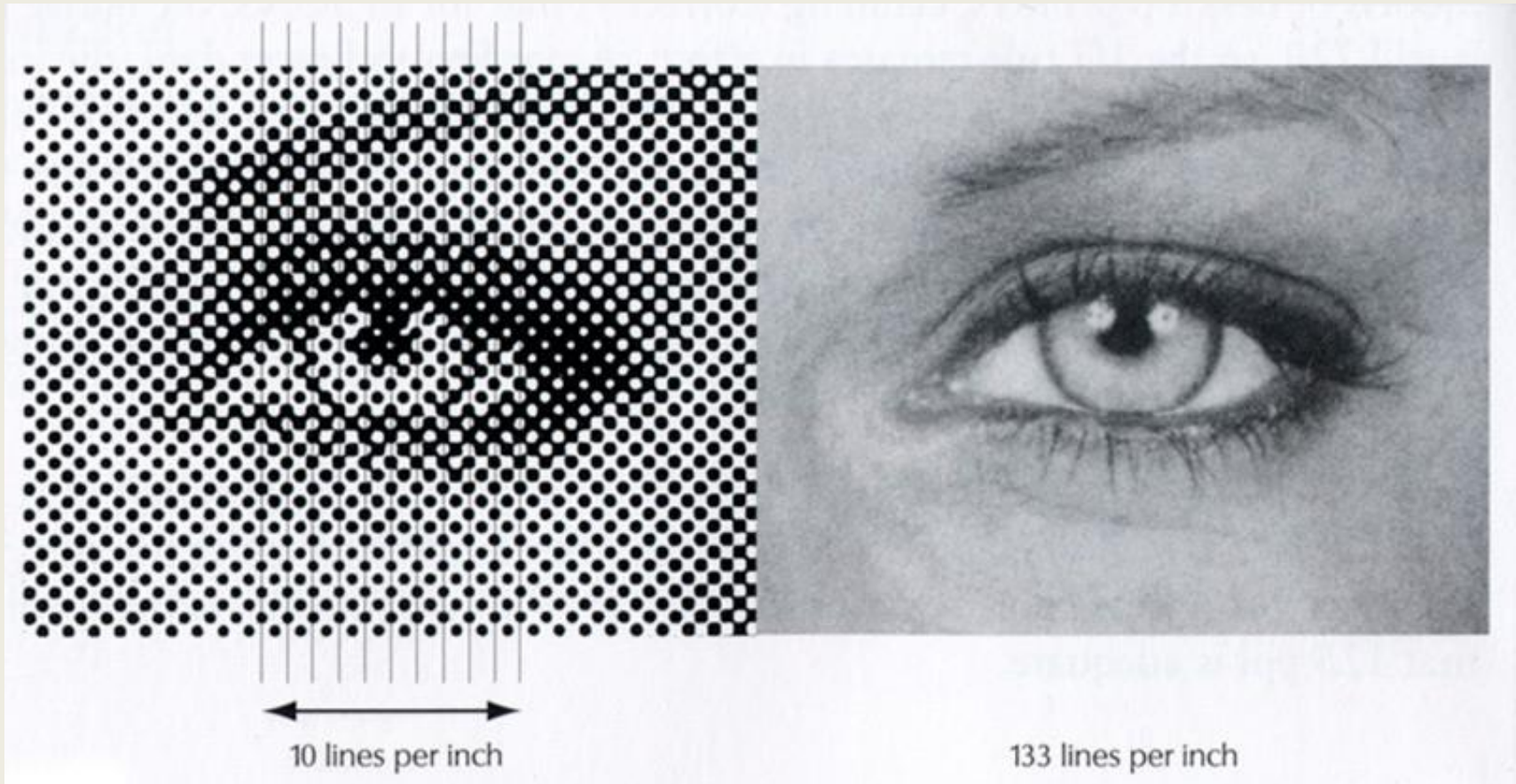
**Η τιμή των Lpi**, που θα επιλέξουμε για την έξοδο, εξαρτάται από:

- την ποιότητα των αρχικών εικόνων,
- την ποιότητα του χαρτιού και από
- την εκτιμώμενη απόσταση παρατήρησης της εκτύπωσης.

Δημοσιογραφικό χαρτί (υψηλό dot gain): περίπου 85 LPI

Γυαλιστερό (επικαλυμμένο) χαρτί (μικρότερο dot gain) : μπορεί να κυμαίνεται έως και 300 LPI.

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



AM Raster με αναπαράσταση Ιρι

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- **AM raster**

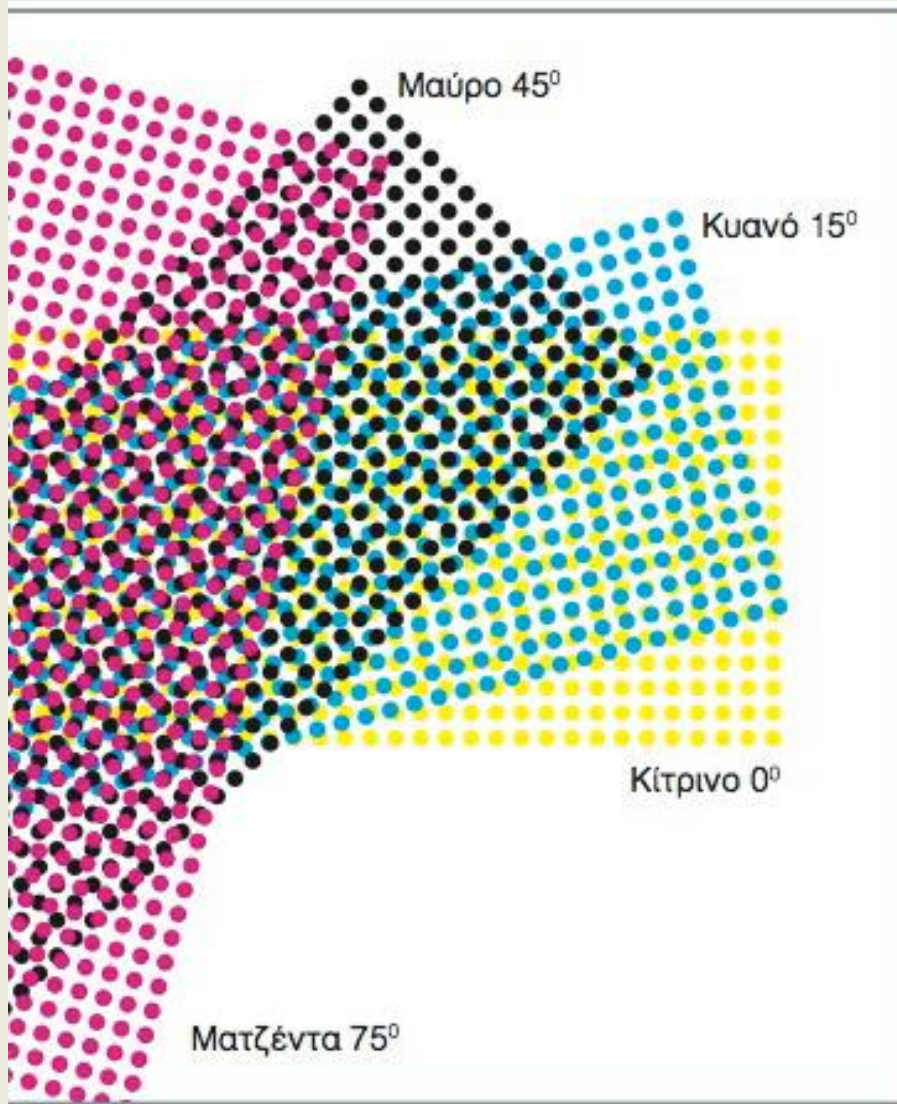
## **Γωνίες raster και moiré**

- Η αναπαραγωγή του χρώματος στην εκτύπωση επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό των τεσσάρων βασικών χρωμάτων CMYK (κυανό, ματζέντα, κίτρινο και μαύρο).
- Οι έγχρωμες εικόνες διαχωρίζονται σε τέσσερα κανάλια και δίνουν τέσσερα πλέγματα ημιτονικού ράστερ. Για να αποδώσει, όμως, το ράστερ τις τονικές διαβαθμίσεις, οι κουκίδες του κάθε χρώματος δεν πρέπει να συμπίπτουν στο ίδιο σημείο του χαρτιού.
- Έτσι αλλάζοντας τις γωνίες επιραστέρωσης για κάθε ένα κανάλι χρώματος έχουμε ένα ομαλότερο οπτικά εκτυπωτικό αποτέλεσμα, όπου το χρώμα των εικονοστοιχείων γίνεται αντιληπτό μέσω οπτικής μίξης.

## Ημιτονική απόδοση – Ράστερ

- Οι γωνίες για τα διαφορετικά χρώματα πρέπει να έχουν διαφορά τουλάχιστον  $30^\circ$  και προκύπτουν από τον οριζόντιο άξονα και τη νοητή ευθεία που σχηματίζουν οι κουκίδες.
- Ματζέντα:  $75^\circ$  ή  $15^\circ$
- Κίτρινο:  $0^\circ$  ή  $90^\circ$
- Κυανό:  $75^\circ$  ή  $15^\circ$  και
- Μαύρο:  $45^\circ$  ή  $15^\circ$
  
- Η λανθασμένη χρήση της γωνίας του ράστερ δημιουργεί το φαινόμενο **moiré** (φαινόμενο συμβολής).

# Ημιτονική απόδοση – Ράστερ



Οι γωνίες του πλέγματος του ράστερ  
στην τετράχρωμη εκτύπωση



# Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)

- **Dot gain/TVI**

Το μέγεθος της κουκίδας ράστερ αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ποιότητα της εκτύπωσης.

Η απαιτούμενη απόχρωση προκύπτει:

- από την κάλυψη (πάχος στρώματος μελανιού)
- το μέγεθος της κουκίδας ράστερ και
- από την ανάμειξη με τις κουκίδες ράστερ των άλλων βασικών χρωμάτων.

Το μέγεθος της κουκίδας ράστερ στην αναπαραγωγή καθορίζεται σύμφωνα με τις τιμές των τόνων της εκάστοτε εικόνας.

Η σχέση επιφάνειας κουκίδων ράστερ και λευκού χαρτιού δηλώνεται ποσοστιαία με την τιμή φόντου κουκίδας ράστερ F (%).

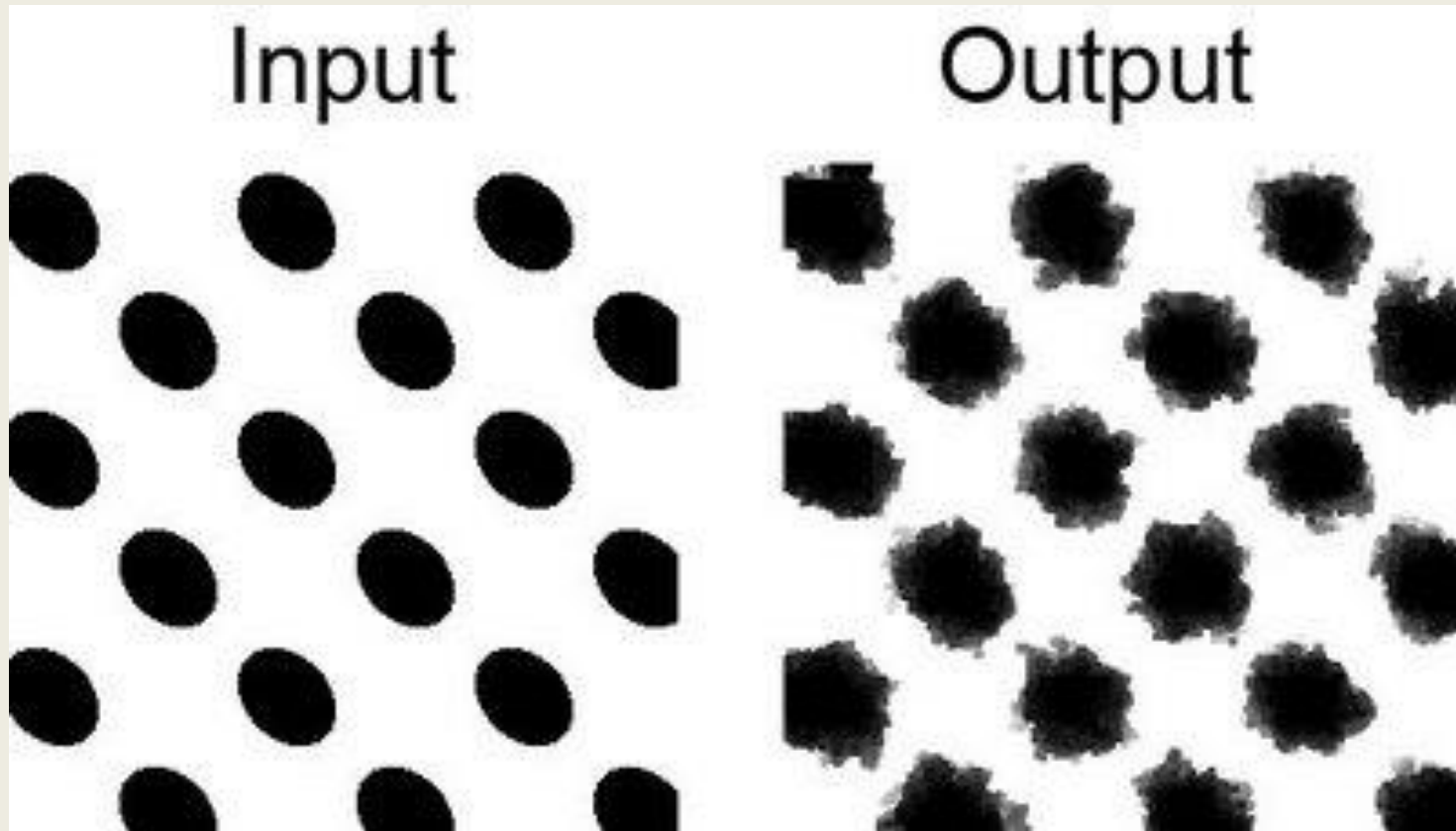
## Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)

- Οι μεταβολές της κουκίδας ράστερ, όπως διόγκωση, όξυνση, μετατόπιση, κ.ά., επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα της εκτύπωσης και μπορούν να προκαλέσουν μετατοπίσεις της τιμής φόντου.
- **Dot gain (διόγκωση κουκίδας):** η αύξηση της διαμέτρου της ημιτονικής κουκίδας στο τυπωμένο φύλλο.

Το φαινόμενο σχετίζεται με τους παράγοντες:

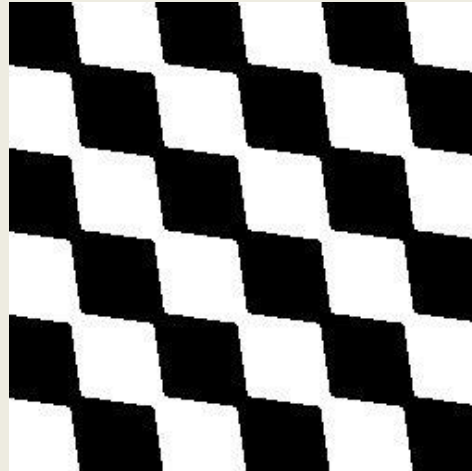
- **εκτυπωτικό υπόστρωμα** (η ποιότητά και η απορροφητικότητά του),
- **συνθήκες πίεσης της εκτύπωσης,**
- **ιξώδες της μελάνης (ρευστότητα),** σε συνδυασμό με τις **συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.**

# Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)

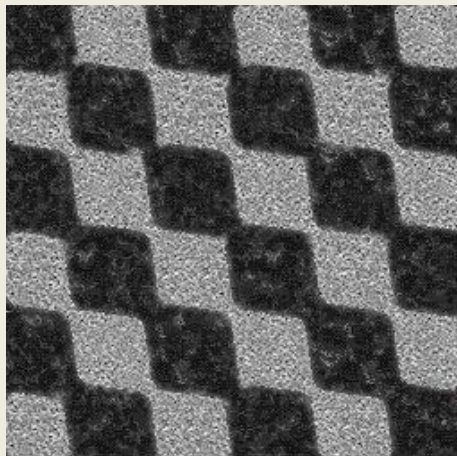


Dot gain

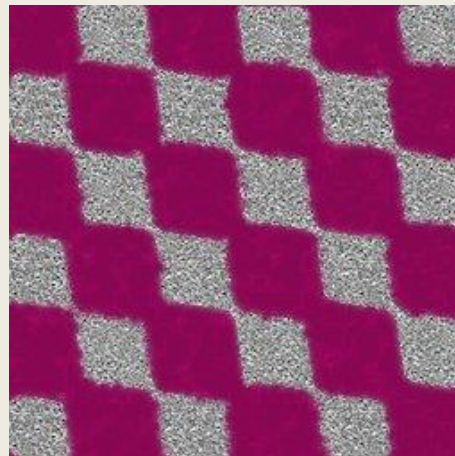
# Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)



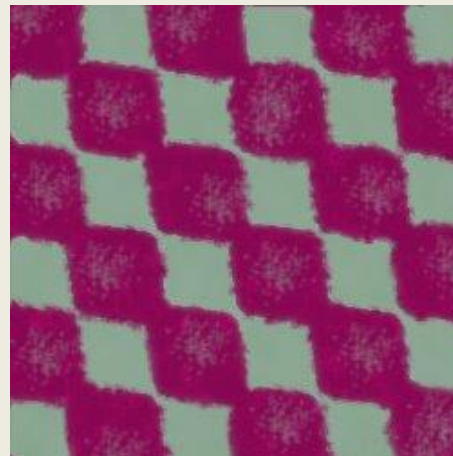
Μια τιμή τόνου αντιπροσωπεύεται από ένα μοτίβο κουκκίδων (**dots**) που παράγεται σε prepress από τη ροή εργασίας RIP (Raster Image Processor)



Εκτυπωτική πλάκα



Inked



Καουτσούκ- Offset  
(μεταφορά υπό πίεση)

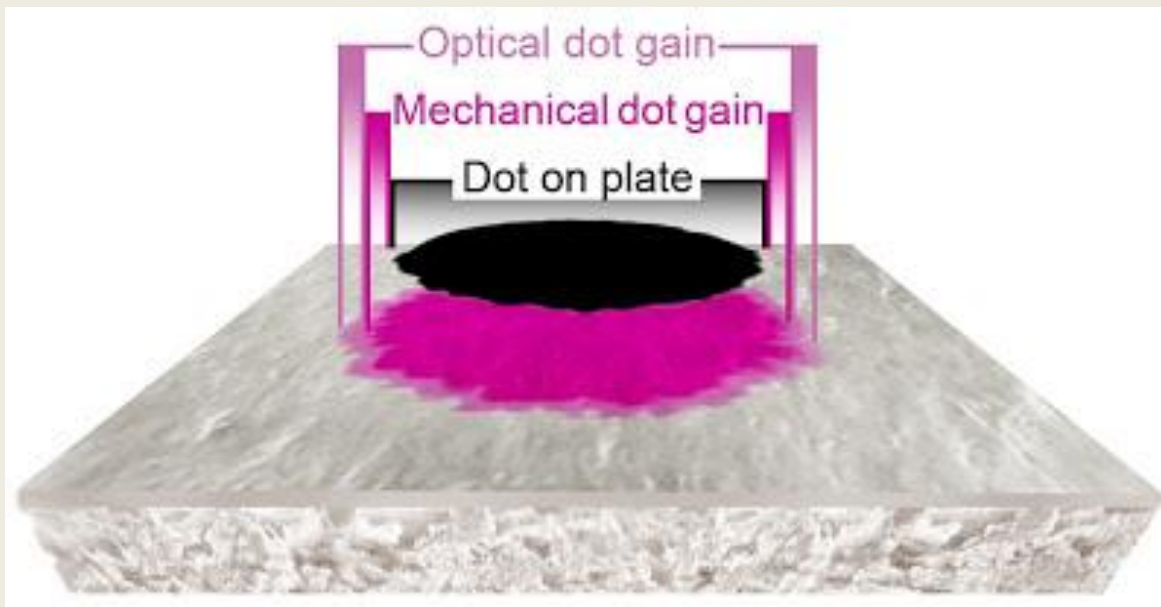


Υπόστρωμα -Offset  
(μεταφορά υπό πίεση)

# Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)

Υπάρχουν δύο είδη dot gain

- **μηχανική** (φυσική εξάπλωση της μελάνης υπό πίεση)
- **οπτική** (η επίδραση της σκέδασης φωτός μέσα στο υπόστρωμα γύρω από την περίμετρο της κουκκίδας) - αποτελεσματικά η σκιά της κουκκίδας μέσα στο υπόστρωμα.



## Dot Gain / TVI (Αύξηση Τιμής Τόνου)

Ο όρος dot gain επαναδιατυπώθηκε το 2006 από την επιτροπή **SWOP (Specifications for Web Offset Publications)** σε **TVI (Tonal Value Increase)** για τους εξής λόγους:

- Ένα πυκνόμετρο (ή φασματοφωτόμετρο που λειτουργεί ως πυκνόμετρο) δεν μετράει πραγματικά κουκίδες.
- Ορισμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση (συστήματα δοκιμίων – proof systems) οδηγούν σε εικόνες συνεχούς τόνου χωρίς κουκίδες.

Όταν ένα patch 50% ενός χρώματος αυξάνεται σε 65% αυτού του χρώματος, η τιμή του τόνου έχει πράγματι αυξηθεί ανεξάρτητα από το αν το patch αποτελείται από κουκκίδες ή όχι.

## Ισορροπία του γκρι – Gray Balance

- Ως ισορροπία του γκρι ορίζεται ένα σύνολο τονικών αξιών των C, M, και Y που παράγουν όταν εκτυπωθούν, σύμφωνα με προκαθορισμένες συνθήκες εκτύπωσης, ένα αχρωματικό χρώμα.
- Αποτελεί βασική προϋπόθεση για την χρωματική ισορροπία στην αναπαραγωγή.
- Το λευκό φως αποτελείται από ίσες αναλογίες των R,G,B
- Το μαύρο επιτυγχάνεται με την απορρόφηση και των τριών ακτινοβολιών
- Επομένως το εύρος των τιμών του γκρι που βρίσκονται ανάμεσα στο λευκό και το μαύρο μπορεί να επιτευχθεί όταν απορροφώνται σε ίσα επίπεδα καθένα από τα τρία βασικά χρώματα του φωτός.

## Ισορροπία του γκρι – Gray Balance

- Η ισορροπία του γκρι αναφέρεται στην ικανότητα των μελανών της εκτυπωτικής διαδικασίας C,M,Y να απορροφήσουν ίσες ποσότητες R,G,B ακτινοβολίες σε όλο το εύρος από το λευκό έως το μαύρο.
- Αυτό σημαίνει ότι μια τιμή κουκίδας 5% σε κάθε μελάνη C,M,Y θα παράγει ένα πολύ ανοικτό γκρι, μια τιμή 50% θα παράγει μια μέση τιμή του γκρι κλπ.
- Καθώς τα C,M,Y δεν απορροφούν ίσες ποσότητες από τα βασικά χρώματα (ακτινοβολίες), δεν μπορούν να παράγουν μια σειρά από ουδέτερες τονικές αξίες του γκρι χωρίς διόρθωση.



# Ισορροπία του γκρι – Gray Balance

Grey Balanced Original

Red Cast

Green Cast

Blue Cast

Yellow Cast



Notice the sweaters. They match the G7 gray balance color wedge. Grey balance is the objective.

# Ισορροπία του γκρι – Gray Balance

**Film Dot Percentage**  
All Print Segments

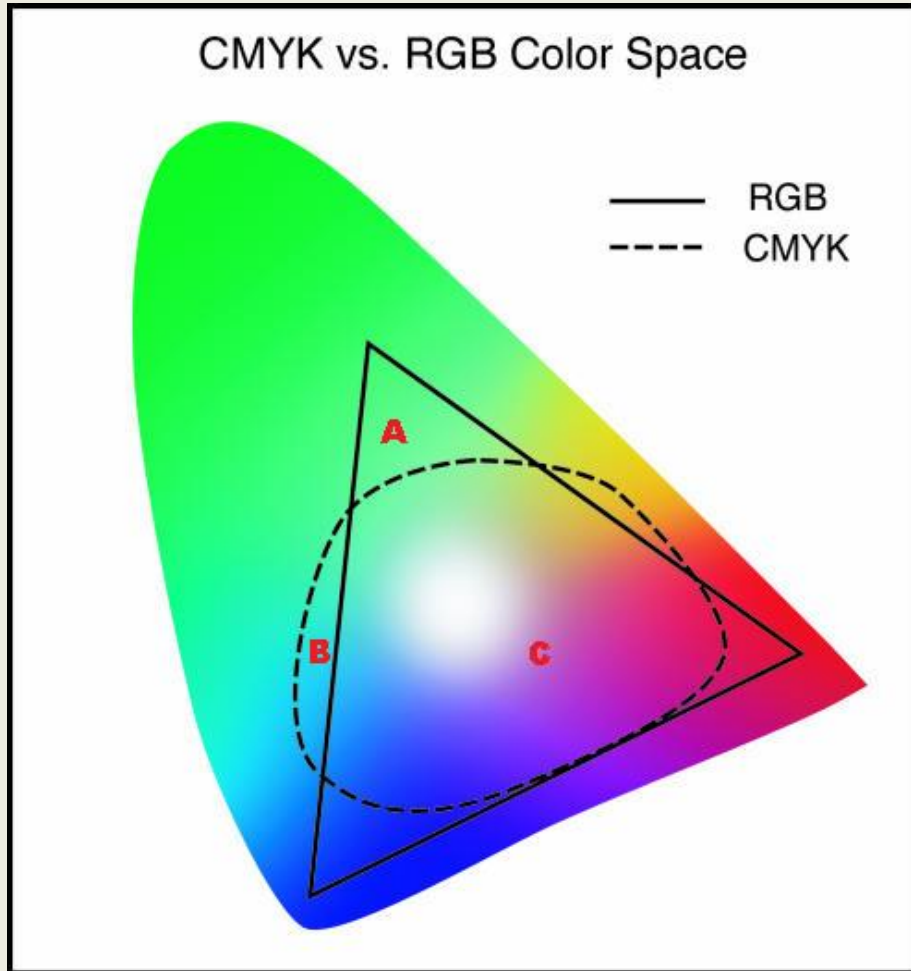
Cyan	Magenta	Yellow	Black Equivalent
5%	3%	3%	8%
10%	7%	7%	14%
30%	24%	24%	35%
70%	58%	58%	76%
90%	78%	78%	98%



# Διεύρυνση του χρωματικού χώρου μέσω χρωμάτων ανάμιξης

- Ένας τρόπος να μεγαλώσει η γκάμα των χρωμάτων που είναι διαθέσιμη στο χρωματικό σύστημα CMYK, ιδιαίτερα ελλιπής στα πορτοκαλί-κόκκινα, πράσινα και μπλε-βιολέ, είναι η χρήση προσθετικών πλακάτων (spot) χρωμάτων στα βασικά αφαιρετικά πρωτεύοντα CMY και K.
- Τα spot μελάνια είναι **ειδικά χρώματα** τα οποία είτε δεν είναι δυνατό να εκτυπωθούν με τα μελάνια της τετραχρωμίας, με την προσαρμογή αυτών σε διαφορετικά ποσοστά, είτε χρησιμοποιούνται για να μειώσουν το αριθμό των χρωμάτων στην εκτύπωση.
- Τα ειδικά χρώματα ονομάζονται **χρώματα ανάμιξης**, προσαρμοσμένα χρώματα, φτιαχτά χρώματα ή χρώματα που προσδιορίζονται με την χρήση των τυποποιημένων δειγματολογίων ή **βιβλιοθηκών μελανών**

# Διεύρυνση του χρωματικού χώρου μέσω χρωμάτων ανάμειξης



Οι χρωματικοί χώροι RGB και CMYK

Τα σχήματα στο εσωτερικό του διαγράμματος, αναπαριστούν τον θεωρητικό χώρο RGB και τον θεωρητικό χώρο CMYK. Από το διάγραμμα μπορούμε να διαπιστώσουμε τα εξής:

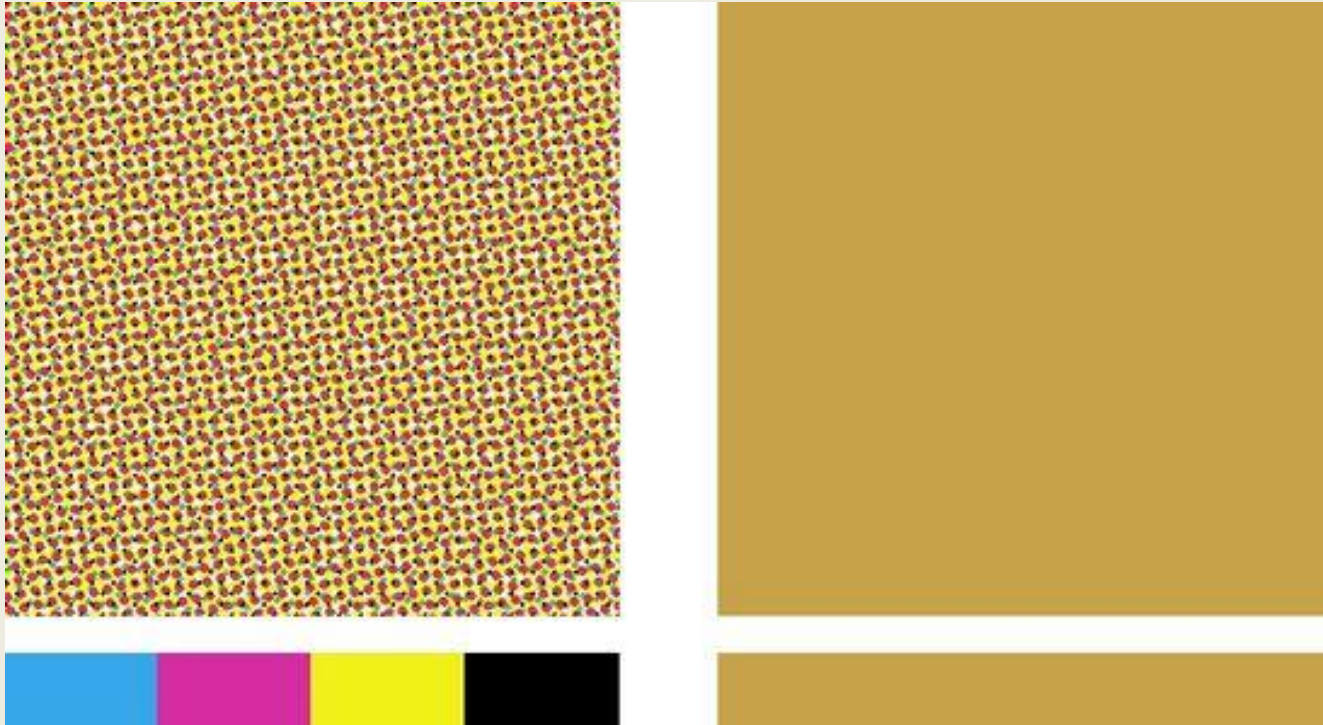
α) και οι δυο χώροι είναι κατά πολύ μικρότεροι από το ορατό χρωματικό φάσμα, άρα, υπάρχει εκ των πραγμάτων περιορισμός στη μέγιστη γκάμα των χρωμάτων κάτι που περιορίζεται ακόμη περισσότερο με μια μέτρια ποιότητα χαρτιού ή μελανιού.

β) υπάρχουν περιοχές στο μοντέλο CMYK που δεν μπορεί να αποδώσει το RGB και το αντίστροφο.

# Διεύρυνση του χρωματικού χώρου μέσω χρωμάτων ανάμιξης

- Υπάρχουν διάφορες βιβλιοθήκες μελανών οι οποίες περιλαμβάνουν χρώματα που υποστηρίζονται από συγκεκριμένες εταιρίες όπως: PANTONE, HKS, Trumatch, FOCOLTONE, DIC, TOYO.
- Στην ουσία οι βιβλιοθήκες μελανών είναι ένα σύστημα διαχείρισης χρώματος, αφού ανεξάρτητα από τις συσκευές μπορούν να ορίσουν ένα χρώμα με το όνομά του. Επίσης, περιλαμβάνουν και ένα μεγάλο αριθμό μελανών για την **απόδοση μεταλλικών και φωσφορούχων** χρωμάτων τα οποία δεν μπορούν να αποδοθούν με τις μελάνες CMYK.
- Τα προσαρμοσμένα χρώματα προσδιορίζονται συνήθως με ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα:
  - δειγματολόγια (swatchbook),
  - μια αριθμητική τιμή που αναφέρεται σε ένα δείγμα χρώματος,
  - τα ποσοστά ανάμιξης των βασικών χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει το κάθε χρώμα ανάμιξης,
  - μια αριθμητική τιμή που να αναφέρεται σε ένα χρωματικό χώρο, όπως CIE L\* a\* b\*

# Διεύρυνση του χρωματικού χώρου μέσω χρωμάτων ανάμειξης



**Το ίδιο χρώμα με τετραχρωμία και με προσαρμοσμένο χρώμα,  
αριστερά 4 μελάνια, δεξιά 1 μελάνι.**

## Διαδικασία εκτύπωσης 6 και 8 χρωμάτων

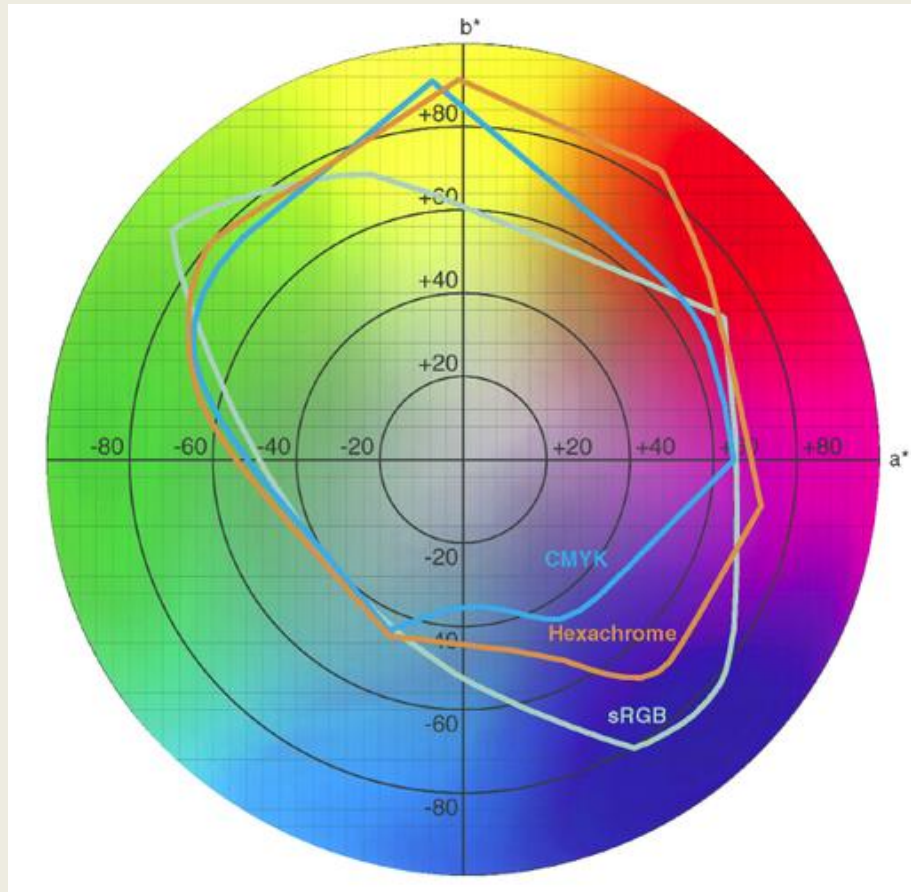
- Η διαδικασία 6 χρωμάτων **6C**, είναι η διαδικασία εκτύπωσης με χρήση των 4 βασικών dark χρωμάτων CMYK με την προσθήκη δύο light «εξασθενημένων» χρωμάτων, μιας απόχρωσης Cyan (Lc) και Magenta (Lm), οπότε προκύπτει η βασική **6C: CMYK + Lc + Lm**.
- Στην διαδικασία **8C Dark/Light**, εκτός από τα CMYK, LC, LM προστίθεται ένα αραιωμένο κίτρινο (LY) και μαύρο (LK) για ακόμα περισσότερο φωτο-ρεαλισμό, μείωση του κόκκου και ομαλότερες διαβαθμίσεις  
**8C: CMYK+ Lc + Lm + Ly +Lk**.
- Η χρήση της 6χρωμίας και της 8χρωμίας οδήγησε την διαδικασία εκτύπωσης σε υψηλότερα ποιοτικά standards απεικόνισης και αποτελέσματος.

## Διαδικασία 6 χρωμάτων - Hexachrome

- Η διαδικασία **Hexachrome** είναι ένα σύστημα εκτύπωσης που αναπτύχθηκε από την Pantone Inc. και εισήχθη στην αγορά το 1995 με στόχο να επεκτείνει την γκάμα των χρωμάτων, για την καλύτερη αναπαραγωγή τους.
- Χρησιμοποιεί τα τέσσερα βασικά χρώματα κυανό, ματζέντα, κίτρινο και μαύρο και επιπλέον τα δύο συμπληρωματικά, πορτοκαλί και πράσινο. Το σύστημα Pantone's Hexachrome είναι γνωστό και ως **CMYKOG** διαδικασία (**Cyan, Magenta, Yellow, Black, Orange, Green**).
- Η Hexachrome χρωματική κλίμακα υπερβαίνει εκείνη της CMYK, αποδίδοντας στην εκτύπωση τα ίδια φωτεινά, ζωντανά χρώματα τα οποία απεικονίζονται στην οθόνη του υπολογιστή.



# Διαδικασία 6 χρωμάτων - Hexachrome



Οι χρωματικοί χώροι CMYK, sRGB και Hexachrome

# Συστήματα εκτύπωσης

Σύστημα εκτύπωσης	Αριθμός χρωμάτων	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
4χρωμία	4: CMYK	Εκτύπωση με τους περιορισμούς των 4 μελανιών	Χαμηλή κατανάλωση μελανιού, υψηλή ταχύτητα εκτύπωσης	Φαινόμενο κόκκου, χαμηλό επίπεδο χρωματικού φάσματος
Offset / Μεταξοτυπία	4: CMYK + Spot χρώματα	Με τα spot χρώματα επιτυγχάνουμε ειδικά χρώματα που δεν βρίσκονται στο χρωματικό φάσμα	Spot χρώματα	Μεγάλη κατανάλωση χρόνου προετοιμασίας (prepress & hardware) για την χρήση των spot χρωμάτων
6χρωμος Dark/Light	6: CMYK + Lc, Lm	Παραγωγή καλύτερων και απαλότερων τόνων από την 4χρωμία, εξάλειψη του φαινομένου του κόκκου	Ενδυνάμωση της εικόνας, περισσότερο ρεαλιστικό αποτέλεσμα.	Χαμηλή ταχύτητα, κατανάλωση μελανιού.
8χρωμος Dark/Light	8: CMYK+ Lc,Lm,Ly,Lk	Παραγωγή καλύτερων και απαλότερων τόνων από την 4χρωμία, εξάλειψη του φαινομένου του κόκκου	Ενδυνάμωση της εικόνας σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα	Χαμηλή ταχύτητα, μεγάλη κατανάλωση μελανιού.
Hexachrome Pantone	6: CMYK + Orange, Green	Παραγωγή καλύτερων και απαλότερων τόνων από την 4χρωμία	Μεγαλύτερο χρωματικό φάσμα	Χαμηλή ταχύτητας παραγωγής, δυσκολία προσαρμογής της χρωματικής διαχείρισης

# Χρωματικό σύστημα Pantone

- Το 1963, ο Lawrence Herbert, ο ιδρυτής της Pantone, δημιούργησε ένα καινοτόμο χρωματικό σύστημα επικοινωνίας και προσδιορισμού του χρώματος, βασισμένο όχι σε μια αφηρημένη και υποκειμενική έννοια όπως είναι η ονομασία του χρώματος, αλλά σε ένα σαφές χρωματικό δείγμα.
- Όπως αναφέρθηκε, στις Γραφικές Τέχνες, χρησιμοποιούμε μια σειρά από χρωματικούς χώρους, μαθηματικά μοντέλα δηλαδή περιγραφής του χρώματος. Τα μοντέλα CMYK και RGB χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή του χρώματος.
- Το μοντέλο Lab (Lightness  $a^*$   $b^*$ ) αναφέρεται στην μαθηματική περιγραφή του χρώματος.
- Αυτό, σε αντίθεση με τα χρωματικά μοντέλα CMYK και RGB, τα οποία είναι εξαρτώμενα των συσκευών απεικόνισης και αναπαραγωγής, καθιστά το μοντέλο Lab ανεξάρτητο από τις συσκευές αναπαραγωγής χρώματος με την δυνατότητα αναπαραγωγής των χρωμάτων όπως ακριβώς τα βλέπουμε στην πραγματικότητα και όχι όπως θεωρητικά θα έπρεπε να τυπωθούν ή να προβληθούν σε μια οθόνη.
- **Η επιτυχία των χρωμάτων Pantone οφείλεται στο ότι τα χρώματά της περιγράφονται και αναπαράγονται με μετατροπές από πραγματικές δυνάμεις Lab σε CMYK και RGB. Με αποτέλεσμα η χρωματική πληροφορία να παραμένει σταθερή μεταξύ των διαφορετικών συσκευών.**

# Pantone Color Matching System

Τυποποιημένο **σύστημα αναπαραγωγής χρωμάτων**. Με την αντιστοίχιση και τυποποίηση των χρωμάτων, οι διαφορετικοί κατασκευαστές, σε διαφορετικές τοποθεσίες μπορούν να αναφέρονται στο σύστημα Pantone με την βεβαιότητα ότι τα χρώματα ταυτίζονται χωρίς να υπάρχει απευθείας επαφή του δοκιμίου με το προϊόν.

- Επιτρέπει την αναπαραγωγή πολλών **ειδικών χρωμάτων**, όπως **μεταλλικά** και **φωσφορίζοντα**.
- **Brand names** έχουν θεσμοθετήσει αποχρώσεις οι οποίες προσδιορίζονται από το όνομα του προϊόντος.
- **Pantone Matching System (PMS)**
- **Pantone Goe System**

# Pantone Color Matching System



Pantone formula guide (PMS)

# Pantone GOE vs Pantone PMS

- 2.058 **χρωστικές βάσης (GOE)** έναντι 1.114 (**PMS**)
- Αύξηση της χρωματικής κλίμακας. Περισσότερα χρώματα στα πράσινα και μπλε.
- **Pantone PMS**: Αυθαίρετο σύστημα αρίθμησης  
**Pantone GOE**: Λογική κυριαρχία με συγκεκριμένη και συνεπή έννοια
- **Pantone GOE**: Τα χρώματα διοργανώνονται με περισσότερους χρωματικούς τρόπους. Εύκολη αναζήτηση παρόμοιων και συμπληρωματικών χρωμάτων
- Τεχνικές αλλαγές στον τρόπο ανάμιξης στις χρωστικές βάσης. Ταύτιση των πλακάτων χρωμάτων στην εκτύπωση
- Pantone **GOE δειγματολόγιο**: Εύχρηστο και λειτουργικό: αυτοκόλλητα δείγματα, παλέτα επιμερισμού καρτών, παλέτα “Playground”
- Νέο **λογισμικό Pantone** προσθέτει περισσότερους τρόπους για τον καθορισμό των χρωμάτων σε εφαρμογές, δημιουργία και αποθήκευση στις χρωματικές παλέτες
- Η χορηγία **“My Palettes” στο Web**, προσφέρει στους σχεδιαστές τη δυνατότητα να μοιράζονται τις χρωματικές παλέτες δημοσίως ή απλά μεταξύ των πελατών ή συναδέλφων

# Pantone GOE System



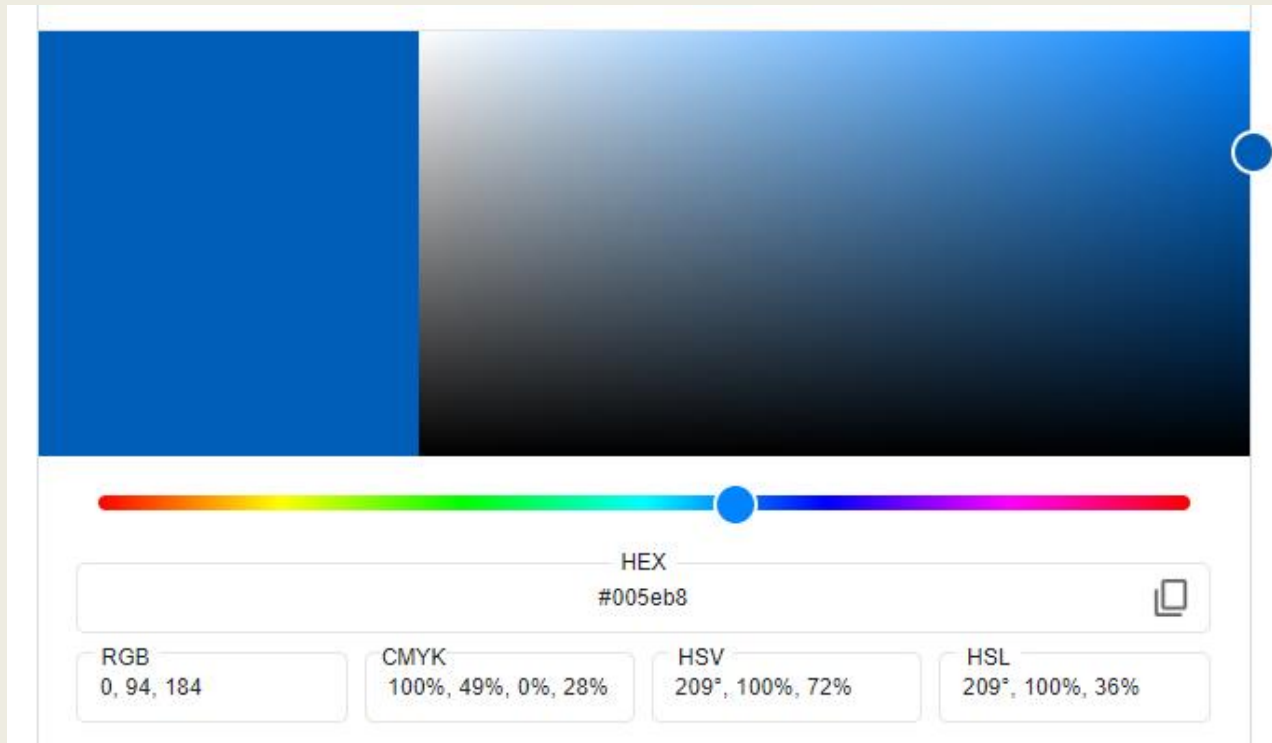
**Pantone Goe  
(goe guide, goe sticks, software)**

# Pantone LIVE

- Τον Μάρτιο 2012 οι δύο εταιρείες X-Rite, Incorporated και Pantone LLC δημοσίευσαν το **PantoneLIVE**, μια cloud-based υπηρεσία που ελαχιστοποιεί τη χρωματική απόκλιση διάφορων εφαρμογών ενός brand, προσφέροντας άμεση πρόσβαση στα ποιοτικά χρώματα που πρέπει να χρησιμοποιήσει ένας γραφίστας κατά τον σχεδιασμό, ένας τυπογράφος κατά την εκτύπωση ή οποιοσδήποτε άλλος συνδέεται με την διαδικασία παραγωγής από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.
- Προσφέρει σταθερότητα και χρωματική συνέπεια στη διάρκεια της ροής εργασίας στη συσκευασία, από την ιδέα του σχεδιασμού μέχρι την λιανική πώληση στα ράφια των καταστημάτων.



# Pantone Color Matching System



Τα χρώματα PMS σχεδόν πάντα χρησιμοποιούνται στο branding και έχουν κατοχυρωθεί στην κυβερνητική νομοθεσία και τα στρατιωτικά πρότυπα (για να περιγράψουν τα χρώματα των σημαιών). Τον Ιανουάριο του 2003, το Κοινοβούλιο της Σκωτίας συζήτησε μια αναφορά (αναφορά PE512) που προσδιορίζει το μπλε της σημαίας της Σκωτίας ως "Pantone 300".

# Pantone Brand colors



PMS 1837



PantoneLIVE



Pantone 2685C



Pantone 17-1463

# Pantone colors



Dimensions: 880 Lx1000 Wx75.00 D x 130.00 mm Front Panel (LxH) = 22940.00 mm <sup>2</sup> Back Panel (LxH) = 22940.00 mm <sup>2</sup> Side Panel (WxD) = 13425.00 mm <sup>2</sup> Frame/Wall: 3.00 mm				Required Area: 16.11% = 2290.00 mm <sup>2</sup> Required Area: 16.11% = 2290.00 mm <sup>2</sup> Required Area: 9% = 1300.00 mm <sup>2</sup> In/Excluded: <input checked="" type="checkbox"/> In/cluded <input type="checkbox"/> Ex/cluded				Actual Area: 3000.00 mm <sup>2</sup> Actual Area: 3000.00 mm <sup>2</sup> Actual Area: 2000.00 mm <sup>2</sup> Actual Area: 2000.00 mm <sup>2</sup>				L: 150.00 x D: 70.00 mm L: 150.00 x D: 20.00 mm L: 100.00 x D: 90.00 mm L: 100.00 x D: 90.00 mm			
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

COLOR SPECIFICATION		PANTONE 181		PANTONE 300		BLACK	
CREAM PANTONE 3508 MATCH TO PANTONE	GOLD PANTONE 808 MATCH TO PANTONE	GREY PANTONE 420 MATCH TO PANTONE	PANTONE MATCH TO PANTONE	LIGHT BLUE PANTONE 65 MATCH TO PANTONE	BLUE PANTONE 280 MATCH TO PANTONE	BLACK	

- FRONT 1: Το κάπνισμα μπορεί να σκοτώσει
- FRONT 2: Το κάπνισμα βλάπτει σοβαρά το σώμα και τους γύρω σας
- FRONT 3: Οι καπνιστές πεθαίνουν πρόωρα
- BACK A: Το κάπνισμα απορροφάει τις σπυριές και προκαλεί έμφραγμα και εγκεφαλική παρωδία
- BACK B: Το κάπνισμα προκαλεί θρομβοφόρο καρπικό των πνευμόνων
- BACK C: Το κάπνισμα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να βλάψει την υγεία του παιδιού σας
- BACK D: Προσπαθήστε να παύσει την κατανάλωση να σταματήσει τον καπνισμό σας
- BACK E: Ο νιπτός σας ή ο φορητός σας μπορεί να σας βοηθήσουν να κόψετε το κάπνισμα
- BACK F: Ο νιπτός σας ή ο φορητός σας μπορεί να σας βοηθήσουν να κόψετε το κάπνισμα
- BACK G: Το κάπνισμα είναι εξαιρετικά εθιστικό, μην το αρχίσετε
- BACK H: Το κάπνισμα μπορεί να προκαλέσει αρθρίτιδα
- BACK I: Ζητήστε βοήθεια για να σταματήσετε το κάπνισμα: συμβουλευτείτε το γιατρό σας
- BACK J: Το κάπνισμα μπορεί να μειώσει τη ροή του αίματος και να προκαλέσει ανικανότητα
- BACK K: Το κάπνισμα μπορεί να βλάψει το στήθος και βλάβει τη γονιμότητα
- BACK L: Ο καπνός περιέχει βλαβερή νιτροζαμίνη, φορμαλδεΐδη και υδροκυάνιο

Η συσκευασία της κασετίνας ΚΑΡΕΛΙΑ, τυπώνεται στην Ελλάδα με τη μέθοδο της Offset, και στην Ολλανδία με τη μέθοδο της βαθυτυπίας με 7 χρώματα Pantone.

# Pantone colors



Η εταιρεία Korres άλλαξε τα τελευταία χρόνια την εκτύπωση της συσκευασίας των προϊόντων από 4-χρωμη σε 5-χρωμη (CMYK + 1 χρώμα Pantone)



