

# ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ

## Το ΧΡΩΜΑ στις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις



**Δρ Αναστάσιος Ε. Πολίτης**  
**Καθηγητής**

## 1. Εισαγωγή

Οι σημειώσεις αυτές ξεκίνησαν με την προοπτική να εκδοθούν σε ένα άρτο και πλήρες σύγγραμμα σετόσο σε βιβλίο όσο και σε ψηφιακή μορφή. Ωστόσο οι έκτακτες συνθήκες που προέκυψαν απο το 2013 και έως το 2019 (με την κατάργηση του τμήματος Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών αλλά και με την απουσία μου στις ΗΠΑ για μεταδιδακτορική έρευνα και διδασκαλία στο Graphic Communication Department, California Polytechnic State University δεν μου επέτρεψε να ολοκληρώσω τη συγγραφή του συγγράμματος στην έκταση και στο περιεχόμενο που θα ήθελα.

Συνεπώς, οι σημειώσεις, αν και αναθεωρήθηκαν σε μικρή έκταση στο τέλος του 2019, καλύπτουν μόνο ένα μικρό μέρος της θεωρίας και της πρακτικής του χρώματος που αφορά τις γραφικές τέχνες και τις εκτυπώσεις.

Το περιεχόμενο των σημειώσεων αυτών, έχει έναν συγκεκριμένο προσανατολισμό που δεν είναι άλλος από την παρουσίαση των βασικών αρχών που αφορούν στο χρώμα των γραφικών τεχνών και ειδικότερα στην αντίληψη και την πρόσληψη των χρωμάτων, στην συστηματική κατάταξή τους και στην επεξεργασία την διαχείριση στο πλαίσιο του σχεδιασμού και της παραγωγής κάθε είδους εντύπων που εκτυπώνονται με χρώμα.

Η συγγραφή του κειμένου, η επιλογή και η παράθεση των εικόνων και των διαγραμμάτων πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε είναι δυνατή η ανάγνωση από τις φοιτήτριες και τους φοιτητές της Επιστήμης και Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών με σκοπό να κατανοήσουν τις βασικές έννοιες της θεωρίας των χρωμάτων και τις εφαρμογές στον σχεδιασμό, την προεκτύπωση και την εκτύπωση των εντύπων με χρώμα.

Δρ. Αναστάσιος Ε. Πολίτης

Ωρωπός, 2019

### 1.1 Βασικές έννοιες - λέξεις - κλειδιά:

Ορατό φάσμα, ανθρώπινος οφθαλμός, ακτινοβολία, φωτεινή πηγή, κωνία, πρόσληψη χρωμάτων, απόχρωση, βαθμός κόρου / κορεσμός, φωτεινότητα / λαμπρότητα, προσθετική ανάμιξη των χρωμάτων, αφαιρετική ανάμιξη των χρωμάτων, RGB, CMY, CMYK, CIE, CIELAB, χρωματική διαχείριση.

## **2. Χρώμα και άνθρωπος**

Το χρώμα βρίσκεται παντού, σε κάθε δραστηριότητα, επηρεάζοντας άμεσα και ουσιαστικά την ανθρώπινη συμπεριφορά. Κάτω από το φως του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας, ή κάτω από ένα τεχνητό φως σε ένα εσωτερικό χώρο, τα αντικείμενα που παρατηρούνται στον περιβάλλοντα χώρο από τον άνθρωπο – παρατηρητή και δέκτη του χρωματικού ερεθίσματος μέσω της όρασης και του ανθρώπινου οφθαλμού, προσδιορίζονται με ονόματα που αντιστοιχούν στο κάθε χρώμα – απόχρωση. Για παράδειγμα, οι βασικές κατηγορίες των χρωμάτων, αφορούν σε κόκκινα, μπλε, πορτοκαλί, πράσινα, μοβ, θαλασσί, ροζ, κίτρινα κ.ά.

Η έγχρωμη όραση βασίζεται στην φυσική διαδικασία της οπτικής αντίληψης του χρώματος η οποία εκφράζεται για τον άνθρωπο, με την αυτόματη κατάταξη του χρώματος σε μία από τις αποχρώσεις που ο άνθρωπος από εμπειρία γνωρίζει. Ωστόσο, για να γίνει κατανοητό το πώς βλέπουμε και κατατάσσουμε ένα χρώμα είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στο πώς αντιλαμβάνεται το χρώμα ο άνθρωπος μέσω του οργάνου της αίσθησης της όρασης, δηλαδή του ανθρώπινου οφθαλμού.

Ο παρατηρητής είναι ο οπτικός δέκτης και λήπτης των ακτινοβολιών που φθάνουν στο όργανο της όρασης, δηλαδή τον ανθρώπινο οφθαλμό. Το αντικείμενο παρεμβάλλεται μεταξύ της φωτεινής πηγής και του παρατηρητή, δέχεται την προσπίπτουσα και ανακλά την ακτινοβολία, διαμορφώνοντας τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει η φωτεινή πηγή.

**Άρα, το χρώμα είναι η αίσθηση που δημιουργείται όταν το φως (η ακτινοβολία) είτε ανακλάται από ένα αντικείμενο, είτε δημιουργείται σε μία οθόνη και προσλαμβάνεται από τον οφθαλμό του παρατηρητή.**

### **2.1 Τι είναι Χρώμα;**

Δεν υπάρχει μόνο ένας ορισμός που να προσδιορίζει πλήρως το τι είναι χρώμα. Από τη στιγμή που η αντίληψη του χρώματος γίνεται από τον άνθρωπο μέσω του οφθαλμού του, τότε μία πρώτη ερμηνεία είναι ότι το χρώμα είναι ένα υποκειμενικό συναίσθημα που δημιουργείται μέσω της αίσθησης της όρασης.

Ωστόσο, η αντίληψη του χρώματος δημιουργείται μέσω μιας σειράς φυσικών φαινομένων και φυσιολογικών διαδικασιών στον άνθρωπο με την ύπαρξη ακτινοβολιών και την παρατήρηση αντικειμένων. Συνεπώς το χρώμα – η αίσθηση και η αντίληψη του χρώματος στον άνθρωπο - προκύπτει από τον συνδυασμό ακτινοβολιών, χρωματισμένων αντικειμένων και των συνθηκών παρατήρησης που τελικά οδηγούν τον άνθρωπο - παρατηρητή να προσδιορίσει ένα χρώμα.

Με βάση τα ανωτέρω, το χρώμα μπορεί να προσδιοριστεί με διαφορετικούς ορισμούς όπως κατωτέρω:

- **Το Χρώμα ως Ερέθισμα – Ένα εξωτερικό ερέθισμα στον οφθαλμό**
- **Το Χρώμα ως Αίσθημα – Η δημιουργία χρωματικού αισθήματος**
- **Το Χρώμα ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ορατό φάσμα**

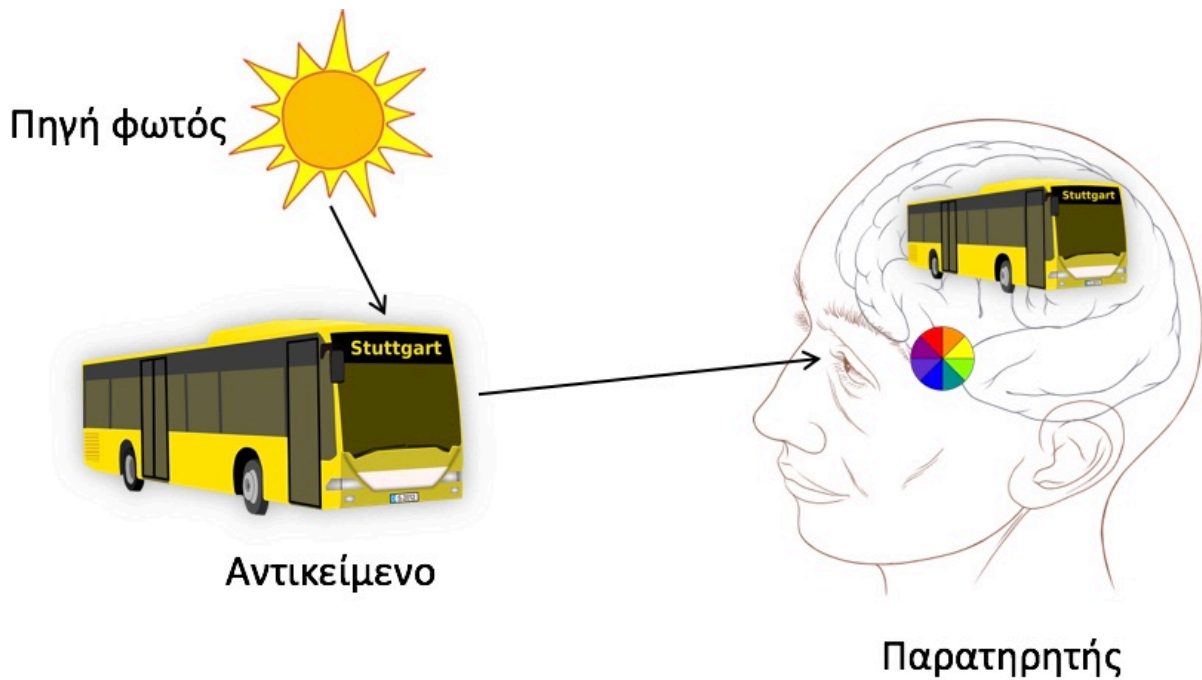
Ένας περισσότερο πλήρης ορισμός του χρώματος δίδεται στο πρότυπο DIN 5033: Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό «Χρώμα είναι η οπτική εντύπωση μιας περιοχής του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δημιουργείται χωρίς κάποια δομή στο μάτι»

## **2.2 Χρωματική εντύπωση**

Για να υπάρξει ή να δημιουργηθεί η χρωματική εντύπωση και να προσδιορισθεί ένα χρώμα – ενός αντικειμένου που παρατηρείται από τον άνθρωπο, απαιτείται η ύπαρξη τριών βασικών προϋποθέσεων:

- Η ύπαρξη μιας φωτεινής πηγής – μιάς πηγής φωτός από την οποία εκπέμπεται μία ακτινοβολία. Για παράδειγμα το φως του ηλίου - η ηλιακή ακτινοβολία, ο λαμπτήρας πυρακτώσεως, ή γενικότερα το φυσικό ή τεχνητό φως που δημιουργείται με διάφορα μέσα. Η φωτεινή πηγή εκπέμπει την ακτινοβολία σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής (ανάκλαση, διαφάνεια, απορρόφηση, σκέδαση).
- Το αντικείμενο το οποίο παρατηρούμε και το οποίο είναι χρωματισμένο με κάποιο χρώμα.
- Ο ανθρώπινος οφθαλμός, ο οποίος λειτουργεί ως δέκτης - λήπτης της ακτινοβολίας.

Στην εικόνα 1 απεικονίζεται η σχέση της φωτεινής πηγής, του αντικειμένου και του παρατηρητή για την πρόσληψη και αντίληψη μιας εικόνας από τον άνθρωπο.



Πηγή φωτός : [Sun01](#) by [Kamalakanta Jena](#) , available under [CC BY-SA 3.0](#) , Αντικείμενο : Bus by [OpenClips](#), available under Public Domain, Παρατηρητής : [Human head and brain diagram](#) by [Beao](#) , available under [CC BY 2.5](#) , [Eight-colour-wheel-2D](#) by [Benjah-bmm27](#) , available under Public Domain

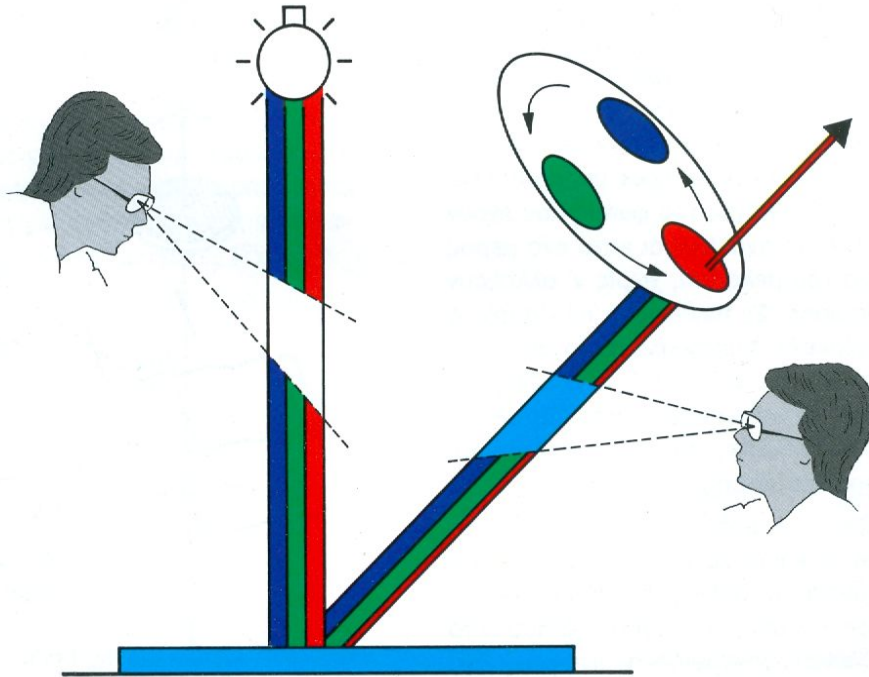
Εικόνα 1: Η Διαδικασία της πρόσληψης και αντίληψης ενός έγχρωμου αντικειμένου από τον άνθρωπο

Πηγή: [Sun01](#) by [Kamalakanta Jena](#) , available under [CC BY-SA 3.0](#) , Αντικείμενο : Bus by [OpenClips](#), available under Public Domain, Παρατηρητής : [Human head and brain diagram](#) by [Beao](#) , available under [CC BY 2.5](#) , [Eight-colour-wheel-2D](#) by [Benjah-bmm27](#) , available under Public Domain

Κατά συνέπεια, το χρώμα παρατηρείται ως φως - ακτινοβολία το οποίο προκύπτει από την ανάκλαση της ακτινοβολίας σε κάποιο αντικείμενο, και την λήψη από τον οφθαλμό (στην περίπτωση της παρατήρησης ενός χρωματισμένου/τυπωμένου αντικειμένου/εντύπου), ή την απ' ευθείας πρόσληψη της ακτινοβολίας από τον οφθαλμό (στην περίπτωση της παρατήρησης εικόνας στην τηλεόραση ή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή).

Στην εικόνα 2 απεικονίζεται σχηματικά η παρατήρηση και η αντίληψη του χρώματος – του χρωματικού αισθήματος στον άνθρωπο, μέσω του οργάνου της όρασης – τον ανθρώπινο οφθαλμό. Όπως προκύπτει από την εικόνα, το λευκό φως (η ακτινοβολία λευκού φωτός που προσπίπτει σε ένα αντικείμενο), παρατηρείται ως λευκό σε ότι αφορά την φωτεινή πηγή (αριστερά στην εικόνα 2).

Κατά την πρόσπτωση και ανάκλαση στο έγχρωμο αντικείμενο, μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται και μέρος αυτής ανακλάται και να φθάνει στον ανθρώπινο οφθαλμό, ώστε τελικά ο άνθρωπος – παρατηρητής, να βλέπει το χρώμα του αντικειμένου.



Εικόνα 2: Φωτεινή πηγή, αντικείμενο, παρατηρητής - προϋποθέσεις για την πρόσληψη του χρώματος από τον ανθρώπινο οφθαλμό και τη δημιουργία του χρωματικού αισθήματος

Πηγή: Βασικές αρχές του ελέγχου ποιότητας, Heidelberg Druckmaschinen AG, Χαϊδελβέργη, Έκδοση ΣΛΕ, 1993

### 2.3 Η πρόσληψη και αντίληψη του χρώματος από τον ανθρώπινο οφθαλμό

Για να δει ο παρατηρητής – άνθρωπος χρώμα, είναι αναγκαίο να υπάρχει μια φωτεινή πηγή (π.χ. ο ήλιος) από όπου εκπέμπεται μία ακτινοβολία (π.χ. το λευκό φως της ημέρας) ή οποία προσπίπτει στο χρωματισμένο αντικείμενο. Το αντικείμενο, ανάλογα με τη σύστασή του, απορροφά (αφαιρεί) τμήμα της ακτινοβολίας του ορατού φάσματος και αντανακλά αυτό που δεν απορροφήθηκε, το οποίο τελικά δημιουργεί το χρωματικό αίσθημα του συγκεκριμένου χρώματος στον ανθρώπινο οφθαλμό.

Με βάση αυτή τη διαδικασία είναι φανερό ότι:

- εάν ανακλαστεί ολόκληρη η ακτινοβολία (του λευκού φυσικού ή τεχνητού φωτός) τότε το αντικείμενο παρουσιάζεται λευκό.

- εάν απορροφηθεί ολόκληρη η ακτινοβολία, τότε δε θα παρατηρηθεί κανένα χρώμα, δηλαδή το αντικείμενο παρουσιάζεται μαύρο.

Συνεπώς, προκύπτει η ακόλουθη σχέση που παρατίθεται στον πίνακα 1:

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ (ΓΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟ ΛΕΥΚΟ ΦΩΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ</b>                     | <b>ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ (ΓΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟ ΛΕΥΚΟ ΦΩΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ</b>                              | <b>ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ (ΓΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟ ΛΕΥΚΟ ΦΩΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ</b>                         |
| <b>ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΛΕΥΚΟΥ ΦΩΤΟΣ</b>  | <b>ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΛΕΥΚΟΥ ΦΩΤΟΣ</b>   | <b>ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΛΕΥΚΟΥ ΦΩΤΟΣ</b>  |
| <b>ΛΕΥΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ</b>   | <b>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ</b>  | <b>ΜΑΥΡΟ</b>   |
| <b>ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ – ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ</b> | <b>ΜΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ – ΕΝΑ ΜΕΡΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΚΑΙ ΕΝΑ ΜΕΡΟΣ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ</b> | <b>ΠΛΗΡΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ – ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ</b> |
| <b>ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΦΘΑΛΜΟ</b>            | <b>ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΦΘΑΛΜΟ</b>                     | <b>ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΦΘΑΛΜΟ</b>                |
| <b>ΛΕΥΚΟ ΧΡΩΜΑ</b>   | <b>ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ</b>  | <b>ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ</b>   |
|  |   |  |

*Πίνακας 1: Η σχέση της φωτεινής πηγής, της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και προσπίπτουσας σε ένα αντικείμενο, η ανάκλαση ή η απορρόφηση της ακτινοβολίας, η πρόσληψη του χρώματος από τον ανθρώπινο οφθαλμό και η δημιουργία του χρωματικού αισθήματος.*

## 2.4 Φως και Χρώμα

Το χρώμα είναι φως. Χωρίς φως **δεν** υπάρχει χρώμα. Αυτό προκύπτει από την δομή, και την φυσιολογία του ανθρώπινου οφθαλμού, με την δυνατότητα του οφθαλμού (δηλαδή του οπτικού κέντρου) να αντιλαμβάνεται τα χρώματα και να μπορεί να βλέπει στο σκοτάδι και γενικότερα να λειτουργεί η αίσθηση της όραση σε συνθήκες απουσίας φωτισμού.

Τα αντικείμενα που παρατηρούνται από τον άνθρωπο στο φως της ημέρας ή κάτω από κάποιο τεχνητό φωτισμό είναι χρωματιστά και το χρώμα που φέρουν έχει παραχθεί από χρωστικές, φυσικές ή τεχνητές (βαφές, μελάνες, χρωστικές). Ωστόσο, όταν ο άνθρωπος παρατηρεί τα ίδια αντικείμενα στο σκοτάδι τότε αυτά δεν του δημιουργούν το ίδιο οπτικό αίσθημα.

Όσο μειώνεται το φως, παραμένει διακριτό το σχήμα των αντικειμένων αλλά τα αντικείμενα φαίνονται σκούρα ή/και μαύρα. Για παράδειγμα, ένα αντικείμενο κόκκινου χρώματος φαίνεται κόκκινο στο φως της ημέρας, ενώ τη νύχτα είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το χρώμα του και γενικότερα φαίνεται σκούρο ή μαύρο.

Ουσιαστικά, η απουσία φωτός, δηλαδή η απουσία φωτεινής πηγής και της αντίστοιχης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από αυτήν, οδηγεί στην απώλεια της αίσθησης του χρώματος. Συνεπώς, ισχύει το αξίωμα ότι **χωρίς φως δεν υπάρχει χρώμα**.

Εκτενέστερη ανάλυση για τον ανθρώπινο οφθαλμό, το ορατό φάσμα και την αντίληψη και πρόσληψη του χρώματος απο τον άνθρωπο παρατίθεται στο επόμενο κεφάλαιο, μετά την συνοπτική ιστορική αναδρομή.



### 3. Συνοπτική ιστορική αναδρομή στο Χρώμα

#### 3.1 Το χρώμα στην αρχαιότητα

Όπως και στις περισσότερες επιστήμες, οι αρχαίοι Έλληνες ήσαν εκείνοι οι οποίοι διατύπωσαν τις πρώτες θεωρίες για το χρώμα. Προσεγγίζοντας το χρώμα από την φιλοσοφική του θεώρηση, αλλά και βασισμένος σε δικές του παρατηρήσεις, ο Αριστοτέλης (384 – 322 π.Χ.) θεωρείται ως ο ιδρυτής της θεωρίας του χρώματος.

Η θεωρία του Αριστοτέλη διατυπώθηκε βάσει της αντίληψης ότι ανάμεσα στον ανθρώπινο οφθαλμό και το χρωματισμένο αντικείμενο υπάρχει “διαφάνεια”, δηλαδή ότι το φως είναι μία “ιδιότητα” της διαφάνειας. Όταν η “διαφάνεια” είναι φωτεινή, είναι δυνατή η λειτουργία της όρασης. Δηλαδή, με άλλα λόγια διατυπώθηκε για πρώτη φορά το αξίωμα ότι το φως είναι χρώμα ή ότι χωρίς φως (δηλαδή την ύπαρξη μιας φωτεινής πηγής και της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από αυτήν), δεν υπάρχει χρώμα.

Με βάση την θεωρία του Αριστοτέλη, τα χρώματα κατατάσσονται σε μία γραμμική διάταξη από το λευκό προς το μαύρο με ενδιάμεσα τα χρώματα κίτρινο, κόκκινο και μπλε. Η κατάταξη αυτή των χρωμάτων από τον Αριστοτέλη βασίστηκε στην παρατήρηση της αλλαγής των χρωμάτων του ορίζοντα κατά την δύση του ηλίου, δηλαδή, σύμφωνα με τον σπουδαίο Έλληνα φιλόσοφο, στην αλλαγή χρώματος της “διαφάνειας” σε ένα ηλιοβασίλεμα. Στην θεωρία του Αριστοτέλη βασίστηκαν οι σχετικές με το χρώμα θεωρίες, μέχρι τον Μεσαίωνα.

| Λευκό | Κίτρινο | Κόκκινο | Μπλε | Μαύρο |
|-------|---------|---------|------|-------|
|       |         |         |      |       |

Εικόνα 3: Η κατάταξη των χρωμάτων κατά τον Αριστοτέλη: Λευκό-Κίτρινο-Κόκκινο-Μπλε-Μαύρο.

Στη συνέχεια, ο Ευκλείδης (320-260), διατύπωσε τη θεωρία ότι η παρατήρηση των χρωμάτων και γενικότερα η αίσθηση της όρασης λαμβάνει χώρα όταν “ακτινοβολίες” (κατ’ άλλους σωματίδια) που προέρχονται από τα χρωματισμένα αντικείμενα συναντούν ακτινοβολίες που προέρχονται – δημιουργούνται από τον ανθρώπινο οφθαλμό.

### **3.2 Από την αρχαιότητα στον Μεσαίωνα και την Αναγέννηση**

Η παρατήρηση μέσω της όρασης, η πρόσληψη και η αντίληψη των χρωμάτων, οι ακτινοβολίες, το ουράνιο τόξο και τα χρώματα της ίριδας αποτέλεσαν επί αιώνες θέματα έρευνας, στη συνέχεια από τους Ρωμαίους, τους Άραβες και ερευνητές στην Κίνα και την Ιαπωνία. Ωστόσο, η θεωρία των χρωμάτων και ευρύτερα της διαδικασίας της όρασης και της παρατήρησης παρέμεινε στο επίπεδο των παρατηρήσεων του Αριστοτέλη έως και τον Μεσαίωνα. Για παράδειγμα, ακόμη και ο Γκαίτε βασίστηκε στη θεωρία του Αριστοτέλη για να αναπτύξει την δική του θεωρία των χρωμάτων.

Ιδιαίτερα σημαντική συμβολή είχαν στην εξέλιξη της γνώσης στην χρωματική θεωρία πλήθος ερευνητών. Ενδεικτικά, Άραβες επιστήμονες μετέφεραν την αρχαία ελληνική επιστημονική παράδοση, τις παρατηρήσεις και τις ανακαλύψεις στην Μέση Ανατολή.

Ο Alhazen για παράδειγμα (965-1039), μαθηματικός, φυσικός και αστρονόμος, ανέπτυξε αναγνωρισμένες θεωρίες για την οπτική και την χρωματική αίσθηση που συνοψίστηκαν στο βιβλίο του "Book of Optics". Ο Roger Bacon (Αγγλία 1214-1294), ανέπτυξε περαιτέρω την θεωρία του Alhazen και με το έργο του "Opus Majus", έθεσε τις βάσεις της επιστήμης της οπτικής στην Ευρώπη.

Περαιτέρω, στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στον 12ο και τον 14ο αιώνα, μεταφράστηκαν ο Αριστοτέλης, η γεωμετρία του Ευκλείδη και η αστρονομία του Πτολεμαίου στα Λατινικά, δίνοντας σημαντική ώθηση στους επιστήμονες και ερευνητές της Αναγέννησης στην ανάπτυξη των επιστημών και σε νέες ανακαλύψεις, μεταξύ αυτών και του χρώματος.

Ιδιαίτερα σημαντικές επίσης ήταν οι αστρονομικές ανακαλύψεις και η μελέτη του φαινομένου του ουράνιου τόξου από πλειάδα ερευνητών οι οποίοι διατύπωσαν θεωρίες για την δημιουργία του φαινομένου. Μεταξύ άλλων ο Κέπλερ και ο Κοπέρνικος.

Η μεγάλη έκρηξη στην ανάπτυξη των θεωριών της παρατήρησης, της αντίληψης του χρώματος και της δημιουργίας του χρωματικού αισθήματος παρατηρήθηκε στη χρυσή κατά πολλούς εποχή της αναγέννησης. Λαμβάνει χώρα έκτοτε, με την ταυτόχρονη εξέλιξη των επιστημών και των τεχνολογικών και λοιπών εξελίξεων στην Ευρώπη μετά το Μεσαίωνα η έρευνα στους τομείς του φωτός, των ακτινοβολιών, της διαδικασίας της όρασης και της παρατήρησης των χρωμάτων.

Ερευνητές, επιστήμονες, φιλόσοφοι, καλλιτέχνες, αστρονόμοι και φυσικοί άρχισαν να αναπτύσσουν θεωρίες και να πειραματίζονται με τα σύνθετα αντικείμενα του φωτός, των ακτινοβολιών και της παρατήρησης των χρωμάτων.

### 3.3 Σημαντικοί ερευνητές στην εξέλιξη της βασικής γνώσης στο χρώμα

Μεταξύ πολλών, αναφέρονται τηλεγραφικά:

Ο Grosseteste, ο οποίος πρώτος τεκμηρίωσε τη διάκριση ανάμεσα στην απόχρωση και στον κορεσμό – βαθμό κόρου των χρωμάτων.

Ο Leonardo DaVinci (1510) έθεσε φιλοσοφικά ερωτήματα μεταξύ άλλων, στο αν το πράσινο είναι ένα πρωτεύον χρώμα και εάν το λευκό αντιπροσωπεύει ένα χρώμα ή όχι.

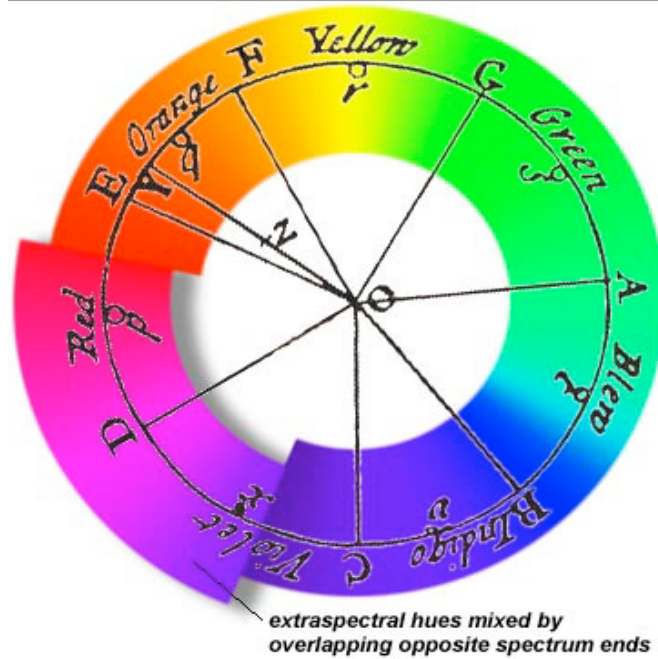
Το 1613 εμφανίστηκαν οι πρώτες έρευνες στην θεωρία ανάμειξης των χρωμάτων, όπως για παράδειγμα από τον d' Aguilon, ο οποίος ωστόσο απέτυχε να αποδείξει λόγω έλλειψης της σχετικής γνώσης στην εποχή του, ότι η προσθετική και αφαιρετική ανάμειξη των χρωμάτων είναι δύο διαφορετικές διαδικασίες και προσεγγίσεις στην ανάμειξη των χρωμάτων.

Το 1760, ο Lambert προσπάθησε να δημιουργήσει όλα τα χρώματα με την ανάμειξη των βασικών θεωρούμενων τότε χρωμάτων κυρίως της ζωγραφικής, δηλαδή το κόκκινο, το μπλε και το κίτρινο. Απέτυχε επειδή ακριβώς δεν μπορούν να παραχθούν όλα τα χρώματα εφόσον τα βασικά χρώματα (χρωστικές, πικμέντα) δεν είναι αυτά της αφαιρετικής ανάμειξης των χρωμάτων όπως την γνωρίζουμε σήμερα, δηλαδή το κυανό, η ματζέντα και το κίτρινο.

Ο Friedrich J. Kepler (1571-1630), περιέγραψε την πορεία των ακτινοβολιών στον ανθρώπινο οφθαλμό και την δημιουργία της αντίστροφης εικόνας στον αμφιβληστροειδή χιτώνα το 1611 και έθεσε τις βάσεις για την γεωμετρική οπτική.

Ο Ισαάκ Νεύτων (1643-1727), βασισμένος στις προϋπάρχουσες παρατηρήσεις και ανακαλύψεις προηγούμενων ερευνητών στο φαινόμενο του ουράνιου τόξου, στην οπτική και στην παρατήρηση των χρωμάτων, εξέλιξε την αρχική αυτή γνώση πειραματιζόμενος με ένα πρίσμα. Το 1672 ο Νεύτων παρατήρησε ότι όταν το φως περνά μέσα από ένα πρίσμα, αναλύεται σε διάφορα χρώματα (δηλαδή πρώτος παρατήρησε την ανάλυση του λευκού φωτός στα χρώματα που συνθέτουν το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας).

Με βάση τις παρατηρήσεις του, ο Νεύτων δημιούργησε την δική του χρωματική θεωρία η οποία εδράζεται στο ότι το χρώμα μπορεί να αναλυθεί ως θεωρία, μόνο μέσα από τους φυσικούς νόμους. Ο Νεύτων ήταν ο πρώτος ο οποίος σχημάτισε ένα χρωματικό διάγραμμα, κατατάσσοντας τα χρώματα στη δισδιάστατη επιφάνεια με τρόπο ώστε να συνδυαστούν η κόκκινη-μωβ και η μπλε – ιώδης χρωματικές περιοχές, κάτι που αποτέλεσε τη βάση για την διαγραμματική απεικόνιση του χρωματικού διαγράμματος του CIE-1931, με τον συνδυασμό της απεικόνισης των χρωματικών περιοχών των δύο άκρων του ορατού φάσματος που παρατηρείται στον χρωματικό κύκλο του Νευτωνα.

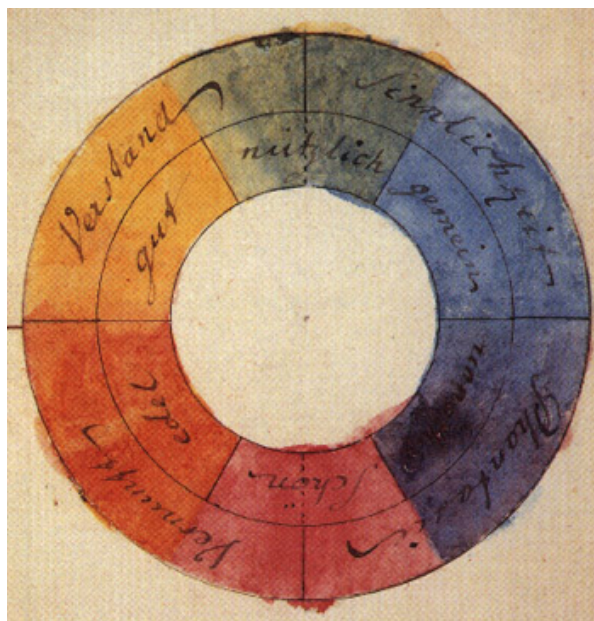


Εικόνα 4: Ο χρωματικός κύκλος του Νεύτωνα

Πηγή: *Geschichte der Farbmedien* IDD - Technische Universitaet Darmstadt

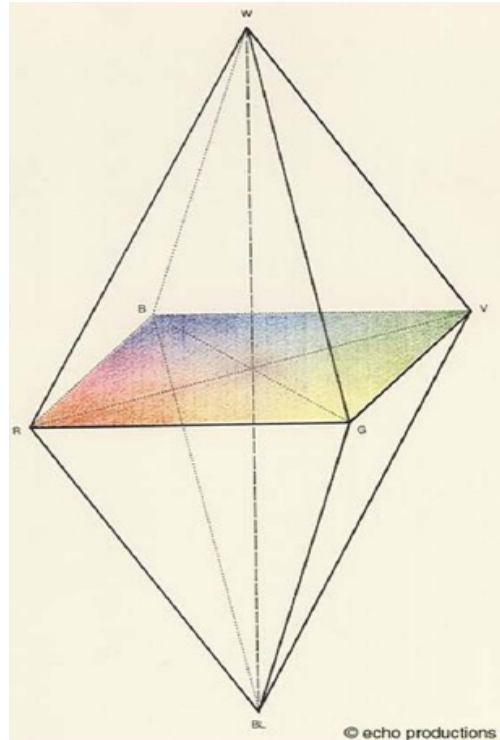
Σε αντίθεση με τον Νεύτωνα, ο Γκαίτε (Johann Wolfgang von Goethe, 1749 – 1835), βάσισε την θεωρία του με το έργο του των 2000 σελίδων **“Περί της θεωρίας των Χρωμάτων - Zur Farbenlehre”** στο ότι το χρώμα είναι μια υποκειμενική αίσθηση, και επομένως ο άνθρωπος είναι ο πρωταρχικός παράγοντας της ανάλυσής του. Το 1793 ο Γκαίτε σχεδίασε έναν χρωματικό κύκλο, κατατάσσοντας τα χρώματα σε μία δισδιάστατη απεικόνιση.

Το 1809 διεύρυνε τον χρωματικό του κύκλο με χαρακτηριστικά και ιδιότητες των χρωμάτων από τον άνθρωπο – παρατηρητή. Στο έργο του “Zur Farbenlehre”, στους χρωματικούς κύκλους που σχεδίασε και ανέπτυξε, ο Γκαίτε περιέλαβε την αισθητική διάσταση (φαντασία, λόγος, διάνοηση, ευαισθησία)



Εικόνα 5: Ο χρωματικός κύκλος του Γκαίτε Πηγή: [anthroposophie.net](http://anthroposophie.net)

Πολύ νωρίτερα, ήδη από το 1435, ο Ιταλός Leon Battista Alberti (1404-1472) περιέγραψε το πρώτο τρισδιάστατο σύστημα ανάμειξης των χρωμάτων. Ο Alberti βασίστηκε στην παρατήρηση της ανάμειξης των βασικών χρωμάτων από τους ζωγράφους (κόκκινο, κίτρινο, μπλε) ώστε να δημιουργηθούν περισσότερα χρώματα. Ο Alberti προσέθεσε την τρίτη διάσταση της φωτεινότητας στον χρωματικό του χώρο.



Εικόνα 6: Το πρώτο τρισδιάστατο σύστημα ανάμειξης των χρωμάτων του Alberti

Πηγή:

[http://www.cg.tuwien.ac.at/courses/Farbe/Textblaetter\\_WS11/07%20Geschichte%20der%20Farbe.pdf](http://www.cg.tuwien.ac.at/courses/Farbe/Textblaetter_WS11/07%20Geschichte%20der%20Farbe.pdf)

Η έρευνα και η μελέτη **μόνο** για την ιστορική εξέλιξη των χρωματικών θεωριών θα μπορούσε να γεμίσει ένα βιβλίο της τάξης των 1000 σελίδων. Στο πλαίσιο όμως του περιορισμένου περιεχομένου των σημειώσεων, περιλήφθηκαν ενδεικτικές και μόνο παραθέσεις επιλεγμένων εξελίξεων και ανακαλύψεων που είναι σημαντικές για την συνέχεια της μελέτης της του χρώματος στις γραφικές τέχνες. Σε κάθε περίπτωση όμως, υπάρχει μεγάλο πεδίο μελέτης στην ιστορία του χρώματος και την εξέλιξη των σχετικών θεωριών.

### 3.4 Λοιπές βασικές ανακαλύψεις στην εξέλιξη της θεωρίας και της πρακτικής του Χρώματος

Ένα ίσως από τα πλέον πιά σημαντικά ευρήματα για την περαιτέρω ανάπτυξη του χρώματος ήταν η θεωρία που διατύπωσε ο Thomas Young (1773 - 1829). Το 1807 ο Young, βασισμένος στις προηγούμενες ανακαλύψεις της φυσιολογίας του ανθρώπινου οφθαλμού και της οπτικής, κατέληξε στο λογικό (όπως αποδείχθηκε) συμπέρασμα ότι δεν θα μπορούσε να υπάρχει ένας φωτοευαίσθητος υποδοχέας στον ανθρώπινο οφθαλμό για το κάθε χρώμα που παρατηρεί και αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος.

Στη συνέχεια, διατύπωσε τον συλλογισμό ότι υπάρχουν τρεις υποδοχείς υπεύθυνοι για την αντίληψη των χρωμάτων και τους προσδιόρισε ότι έχουν ευαισθησία στα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μωβ (red, green, violet).

Η θεωρία του Young αποδείχτηκε σωστή και επιβεβαιώθηκε αργότερα με την ανακάλυψη ότι ο ανθρώπινος οφθαλμός αντιλαμβάνεται το χρώμα με τα τρία είδη των κωνίων που είναι ευαίσθητα στην κόκκινη, μπλε και πράσινη ακτινοβολία αντίστοιχα.

Με βάση τη θεωρία του Young, αναπτύχθηκαν δύο αντικρουόμενες θεωρίες για την πρόσληψη και αντίληψη των χρωμάτων από τον ανθρώπινο οφθαλμό:

- Η τριχρωματική θεωρία των Young-Helmholtz και η
- Η θεωρία των αντιπάλων διεργασιών (opponent-process) του Ewald Hering.

Πριν περιγραφεί το περιεχόμενο των δύο αυτών θεωριών, είναι απαραίτητο να αναλυθεί συνοπτικά η δομή και η φυσιολογία του ανθρώπινου οφθαλμού και η διαδικασία της όρασης.

## 4. Φως, ορατό φάσμα, οφθαλμός και όραση

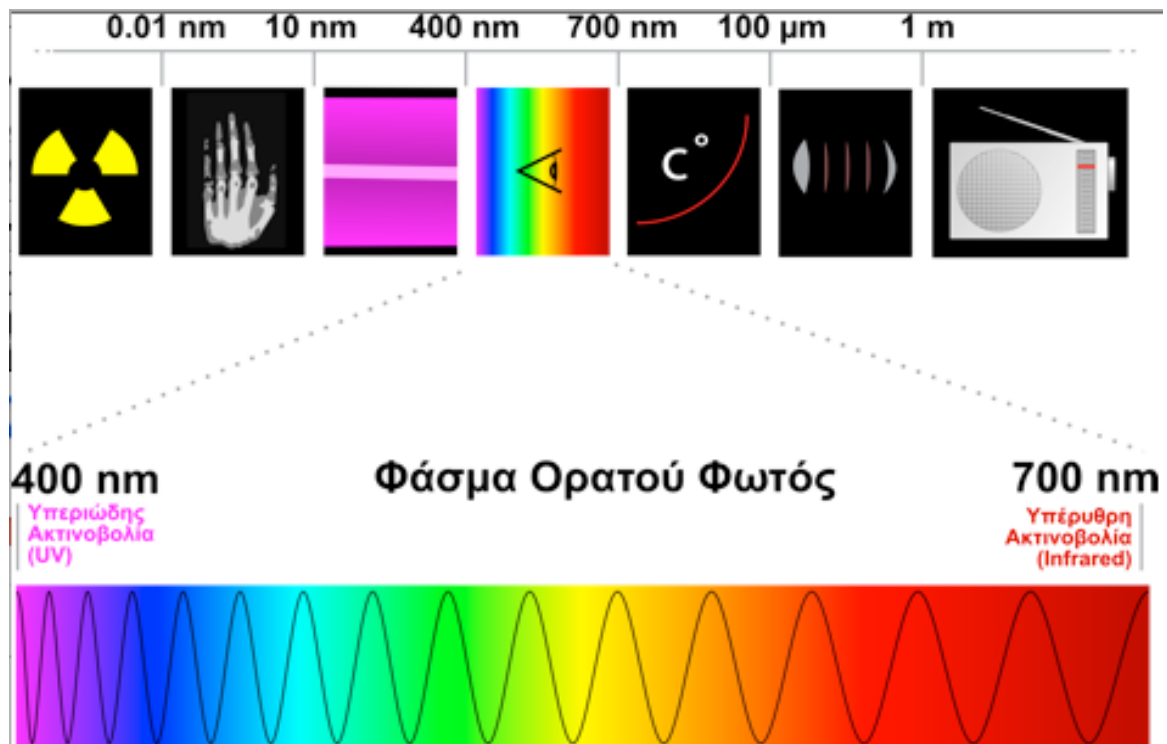
Είναι όμως καιρός να προσδιορίσουμε την έννοια του φωτός και ακριβέστερα της φωτεινής πηγής. Θα πρέπει αρχικά να απαντήσουμε στο ερώτημα:

Τι είναι φως;

### 4.1 Φως και ορατό φάσμα

Το φως δεν είναι τίποτε άλλο από εκείνο το μικρό μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το οποίο αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος μέσω του οργάνου λήψης της ακτινοβολίας, δηλαδή του οφθαλμού. Συνεπώς το φως μπορεί να οριστεί ως η ακτινοβολία του ορατού μέρους του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο μέσω της όρασης. Το φως με την ιδιότητά του αυτή (μέρους του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας), είναι μια μορφή ενέργειας που εκπέμπεται σε κύματα παρόμοια με αυτά που δημιουργούνται στην επιφάνεια μιας λίμνης όταν πέσει μέσα μία πέτρα.

Στην εικόνα 6 παρουσιάζεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το μέρος του φάσματος που είναι αντιληπτό από τον άνθρωπο δηλαδή το ορατό φάσμα.



Εικόνα 6: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (επάνω μέρος) και το ορατό φάσμα, σε προβολή, στο κάτω μέρος της εικόνας.

Πηγή: [Spectre visible light el.svg](#): \*[Spectre visible light.svg](#): \*[Spectre.svg](#): [Tatoute](#), μέσω του [//el.wikipedia.org/wiki/Αρχείο:Spectre\\_visible\\_light\\_el.png](https://el.wikipedia.org/wiki/Αρχείο:Spectre_visible_light_el.png)

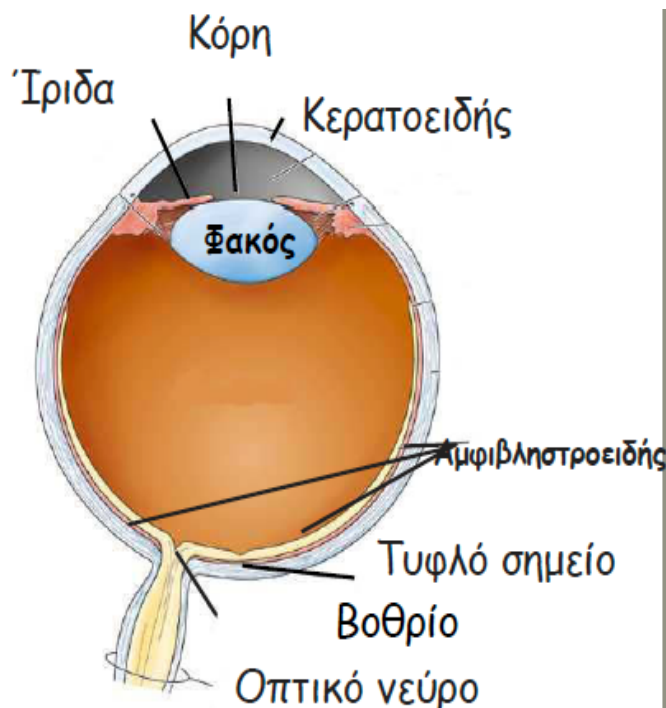
Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας βρίσκεται στην περιοχή ανάμεσα στα 380 και στα 780 νανόμετρα (nm) περίπου (ένα nm - ένα νανόμετρο ισούται με ένα εκατομμυριοστό του μέτρου).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 6, το ορατό φάσμα αναλύεται στα χρώματα που το συνθέτουν και μεταβαίνουν με σχετικά διακριτά πεδία από την υπεριώδη ακτινοβολία προς στην ιώδη, στην μπλε, κυανή, πράσινη, κίτρινη και κόκκινη περιοχή για να ακολουθήσει κατόπιν η υπέρυθη ακτινοβολία. Ουσιαστικά, το φως μιάς φωτεινής πηγής λευκού φωτός αναλύεται στα χρώματα της ίριδας όπως φαίνονται από την ανάλυση του λευκού φωτός με τη χρήση ενός πρίσματος.

#### 4.2 Ο ανθρώπινος οφθαλμός και η διαδικασία της όρασης

Ο ανθρώπινος οφθαλμός είναι το όργανο της αίσθησης της όρασης. Με τους οφθαλμούς, το ανθρώπινο μάτι, γίνεται αντιληπτό το περιβάλλον στο οποίο ζούμε και κινούμαστε μέσω μιας από τις αισθήσεις του ανθρώπου: **της όρασης**.

Στην εικόνα 7 απεικονίζεται σχηματικά ο ανθρώπινος οφθαλμός με τα επιμέρους στοιχεία - μέρη που τον αποτελούν.



Εικόνα 7: Ο ανθρώπινος οφθαλμός

Πηγή: FoxitSoftware.com

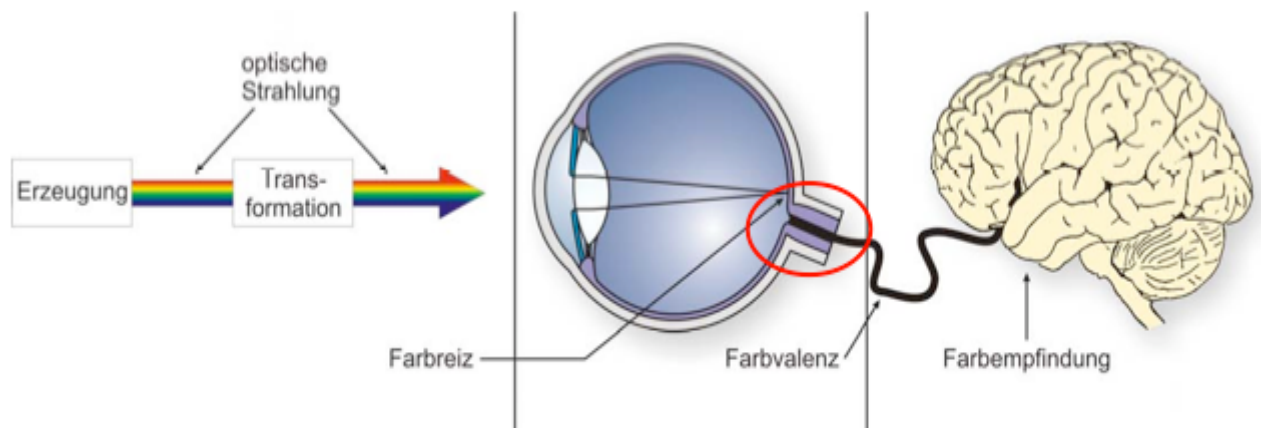


### 4.3 Η πρόσληψη του χρώματος από τον άνθρωπο

Η πρόσληψη ενός χρώματος δημιουργείται από την ύπαρξη του φωτός, το οποίο φθάνει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ανθρώπινου οφθαλμού όπου σχηματίζεται μία εικόνα ή ένα είδωλο του αντικειμένου το οποίο παρατηρούμε.

Η πρόσληψη του χρώματος πραγματοποιείται από 125 εκατομμύρια περίπου φωτοευαίσθητους δείκτες – τα κωνία. Τα κωνία (cones) είναι εκείνοι οι αισθητήρες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την έγχρωμη όραση, ενώ τα ραβδία (rods), είναι οι αισθητήρες που επιτρέπουν την όραση στο σκοτάδι, δηλαδή σε συνθήκες απουσίας ή ελλιπούς φωτός / φωτισμού.

Τα κωνία διεγείρονται από το φως που προσπίπτει στον οφθαλμό και ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας/του φωτός που φθάνει σε αυτά, διαμορφώνουν την χρωματική πληροφορία στο σύνολο ή το μέρος του ορατού φάσματος. Κατόπιν, η χρωματική πληροφορία μετασχηματίζεται σε ηλεκτρικά σήματα και μέσω του οπτικού νεύρου μεταφέρεται στον τελικό παραλήπτη του συστήματος όρασης του ανθρώπου, δηλαδή στο οπτικό κέντρο του εγκεφάλου. Εκεί πλέον προσδιορίζεται και κατατάσσεται το χρώμα το οποίο έχει το αντικείμενο το οποίο παρατηρούμε.



Εικόνα 8: Η διαδικασία της όρασης – Η πρόσληψη, η αντίληψη και ο προσδιορισμός της χρωματικής πληροφορίας από τον άνθρωπο.

Πηγή: *Farbmessung - Farbwiedergabe in den Medien*, IDD - Technische Universität Darmstadt

Όπως προκύπτει από την εικόνα 8, η όραση υπόκειται σε διαδικασίες μετατροπών στα ακόλουθα πεδία:

- Πεδίο της **φυσικής** (φωτεινή πηγή, ακτινοβολία, μετατροπές μέσω των φυσικών φαινομένων όπως για παράδειγμα ανάκλαση, διάθλαση, σκέδαση κλπ.).

- Πεδίο της **φυσιολογίας** του ανθρώπινου οφθαλμού (με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία της όρασης) και τέλος,
- Πεδίο της **ψυχολογίας** όπου δηλαδή προσδιορίζεται το χρώμα από τον άνθρωπο, δίνοντας την πρώτη βασική απάντηση στο ερώτημα: **Τι χρώμα είναι αυτό;**

Συνεπώς, η πορεία της αντίληψης του χρώματος – της χρωματικής πληροφορίας από την φωτεινή πηγή μπορεί να απεικονιστεί στον πίνακα 2 που ακολουθεί:

|  |
|--|
| <b>ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ</b>  |
| <b>ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ</b>              |
| <b>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ</b>   |
| <b>ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</b>                                      |
| <b>ΟΦΘΑΛΜΟΣ – ΚΩΝΙΑ - ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ</b>                |
| <b>ΟΠΤΙΚΟ ΝΕΥΡΟ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ</b>          |
| <b>ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ - ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ</b>             |
| <b>ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ - ΑΝΘΡΩΠΟΣ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΜΑΤΟΣ</b> |
| <b>ΑΝΘΡΩΠΟΣ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ</b>          |

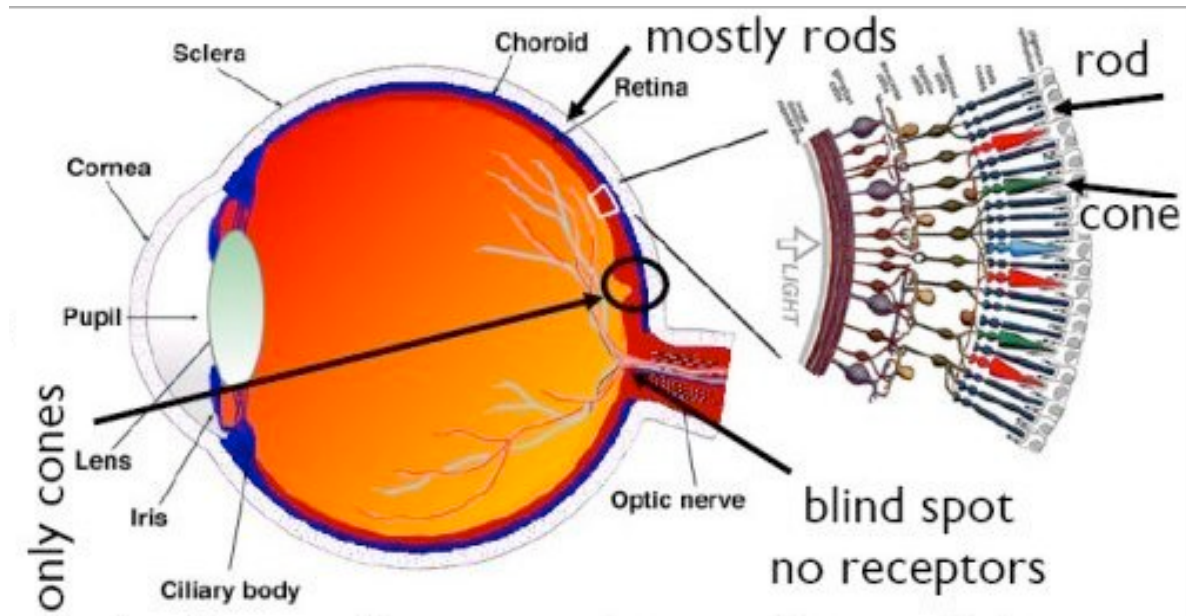
Πίνακας 2: Ταξινόμηση των διαδικασιών της όρασης σε φυσικές, φυσιολογικές και ψυχολογικές διεργασίες

Το χρώμα ενός αντικειμένου που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός εξαρτάται από την ένταση της φασματικής ακτινοβολίας που απορροφάται από τους φωτοϋποδοχείς της όρασης και από μια σειρά νευρο-φυσιολογικών αντιδράσεων στον ανθρώπινο οφθαλμό και στον εγκέφαλο.

Οι φωτοϋποδοχείς της όρασης είναι κύτταρα στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ανθρώπινου οφθαλμού και διακρίνονται σε δύο τύπους: τα κωνία και τα ραβδία. Τα ραβδία βρίσκονται περιμετρικά του χιτώνα και είναι περίπου 120 εκατομμύρια. Ορίζουν την ένταση του φωτός και είναι υπεύθυνα για την όραση σε χαμηλό φωτισμό.

Τα κωνία είναι λιγότερα, περίπου 6 με 7 εκατομμύρια, και είναι υπεύθυνα για την αντίληψη των χρωμάτων. Το φως εισέρχεται στον οφθαλμό με τη μορφή ακτινοβολιών διαφορετικού μήκους κύματος φθάνει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα στο πίσω μέρος του οφθαλμού και απορροφάται από τα κωνία.

Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται μία σχηματική απεικόνιση του ανθρώπινου οφθαλμού με την θέση των φωτοϋποδοχέων, δηλαδή των κωνίων (που είναι υπεύθυνα για την έγχρωμη όραση) και των ραβδίων που επιτρέπουν την όραση στο σκοτάδι.

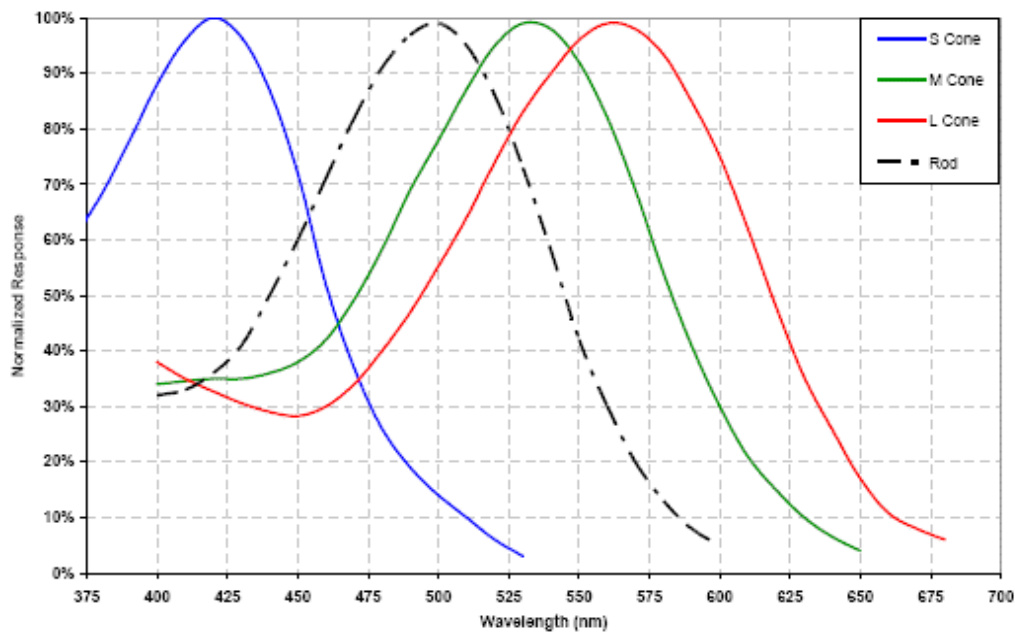


Εικόνα 9: Η θέση των κωνίων και των ραβδίων στον ανθρώπινο οφθαλμό

Ο ανθρώπινος οφθαλμός διαθέτει τρεις τύπους κωνίων, οι οποίοι αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος: κωνία μεγάλου (Large), μεσαίου (Medium) και μικρού (Small) μήκους κύματος ή κωνία που ευαισθητοποιούνται από την ακτινοβολία που έχει μεγαλύτερη ένταση στην κόκκινη (Red) πράσινη (Green) και μπλε (Blue) περιοχή του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (RGB). Ειδικότερα:

- Τα S κωνία που παρουσιάζουν μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος 445 nm και συνεπώς είναι ευαίσθητα στην μπλε ακτινοβολία.
- Τα M κωνία που παρουσιάζουν μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος περίπου 540 nm στην πράσινη ακτινοβολία.
- Τα L κωνία που παρουσιάζουν μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος περίπου 577 nm και συνεπώς είναι ευαίσθητα στην κόκκινη ακτινοβολία.

Στην εικόνα 10 απεικονίζεται η φασματική ευαισθησία των τριών κατηγοριών των κωνίων στην κόκκινη, πράσινη και μπλε περιοχή του ορατού φάσματος.



Εικόνα 10: Η φασματική ευαισθησία των τριών κατηγοριών των κωνίων στην κόκκινη, πράσινη και μπλε περιοχή του ορατού φάσματος

Η διάταξη των κωνίων είναι ανομοιόμορφη. Αριθμητικά εκείνα που επηρεάζονται από την κόκκινη ακτινοβολία είναι πολύ περισσότερα (64% του συνόλου) από εκείνα που επηρεάζονται από την πράσινη (32% του συνόλου) και εκείνα με τη σειρά τους περισσότερα από εκείνα που επηρεάζονται από την μπλε ακτινοβολία (2% του συνόλου).

Ωστόσο, ανεξάρτητα με τον αριθμό τους, τα τρία είδη των κωνίων βάσει της ευαισθησίας τους, συνεισφέρουν ισότιμα στην αντίληψη του λευκού και των αχρωματικών περιοχών.

Κάθε κωνίο, αφού διεγερθεί από το φως, απορροφά το ποσοστό της ακτινοβολίας που του αντιστοιχεί, σύμφωνα με την ευαισθησία σε μία από τις τρεις χρωματικές περιοχές. Κατόπιν στέλνει ένα σήμα μέσω του οπτικού νεύρου το οποίο δηλώνει τη συνολική ποσότητα της ενέργειας του φωτός που διεγείρει το κωνίο. Το σήμα αποκωδικοποιείται στο οπτικό κέντρο του εγκεφάλου και δημιουργείται έτσι η χρωματική αίσθηση.

Η ύπαρξη των κωνίων ευαίσθητων στα τρία διαφορετικά μήκη κύματος, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1956 από τον Gunnar Svaetichin. Το 1983 επικυρώθηκε τελικά σε ένα πείραμα από τους Dartnall, Bowmaker και Mollon, με την “μικροφασματοφωτοπική” (microspectrophotopic) ανάγνωση μεμονωμένων κωνίων.

## 5. Οι θεωρίες της τριχρωματικής όρασης

Ιδιαίτερα σημαντική στην διαμόρφωση της σχετικής γνώσης είναι η αντικειμενική - φυσιολογική διαδικασία της ευαισθησίας των κωνίων – του οφθαλμού - στις τρεις χρωματικές περιοχές του κόκκινου, πράσινου και μπλε και οι θεωρίες των **Young/Helmholtz** και **Hering**, που οδήγησαν στην ανάπτυξη των σύγχρονων συστημάτων κατάταξης, προσδιορισμού, μέτρησης και πιστοποίησης που των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στις γραφικές τέχνες.

### 5.1 Η τριχρωμία ως θεωρία

Η έγχρωμη πληροφορία που φθάνει στον ανθρώπινο οφθαλμό κωδικοποιείται μέσω σημάτων σήματα που συχνά ονομάζονται κανάλια (δίαυλοι, αγωγοί). Η έννοια των «**καναλιών - channels**» είναι κεφαλαϊώδους σημασίας στην εξήγηση του τρόπου με τον οποίο η λειτουργία του εγκεφάλου θεωρείται ως ένα σύστημα επεξεργασίας δεδομένων ή επεξεργασίας σημάτων.

Συνεπώς, το οπτικό σύστημα θεωρήθηκε ότι είναι ένα κανάλι ή αγωγός το οποίο μεταφέρει πληροφορίες στον εγκέφαλο με τα τρία διαφορετικά κανάλια – αυτά των κωνίων. Επιπρόσθετα υπάρχει και το τέταρτο κανάλι, αυτό των ραβδίων. Ωστόσο, η τελική αντίληψη του χρώματος – της χρωματικής πληροφορίας – από τον άνθρωπο, υπόκειται και σε άλλες σύνθετες επεξεργασίας από το κέντρο – τον εγκέφαλο.

Με βάση αυτή τη θεώρηση, διατυπώθηκε η υπόθεση σύμφωνα με τη οποία, υπάρχουν και άλλα κανάλια που μεταφέρουν επιπρόσθετες πληροφορίες για τις συνθήκες παρατήρησης του χρώματος όπως για παράδειγμα η μορφή, η κίνηση και η απόσταση.

Εν κατακλείδι, το σημαντικό είναι ότι η θεωρία της ύπαρξης των καναλιών για την επεξεργασία των χρωματικών πληροφοριών συνέβαλε στον να κατανοηθούν οι δύο αντικρουόμενες θεωρίες της έγχρωμης όρασης που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, δηλαδή:

- η **τριχρωματική θεωρία των Young/Helmholz** και η
- η **θεωρία των αντίθετων χρωμάτων του Hering**

Ας ρίξουμε μία πιο κοντινή ματιά στις σημαντικές αυτές θεωρίες:

### 5.2 Η τριχρωματική θεωρία των Young/Helmholz

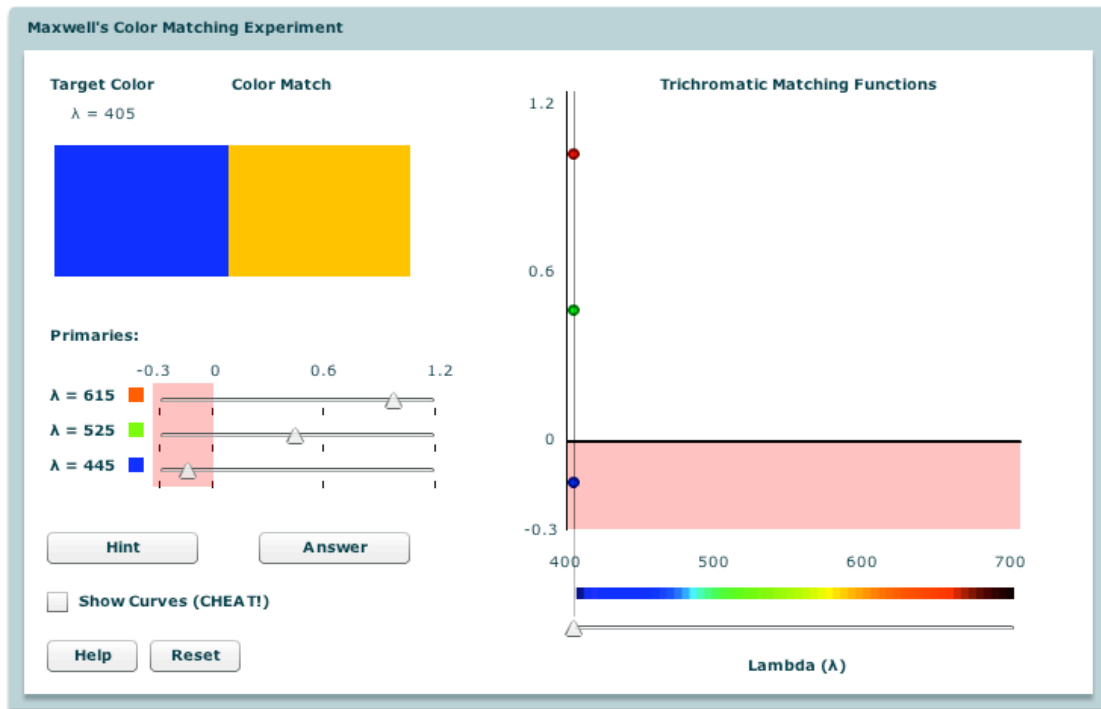
Η τριχρωματική θεωρία της έγχρωμης όρασης προτάθηκε από τον Thomas Young το 1802, ο οποίος υποστήριζε ότι για την επίτευξη οποιασδήποτε απόχρωσης απαιτείται η προσθετική ανάμιξη των τριών βασικών χρωμάτων - κόκκινο, πράσινο και μπλε.

## Το Χρώμα στις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις

Δρ. Αναστάσιος Ε. Πολίτης - Καθηγητής Επιστήμης και Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων

Η θεωρία του Young εξελίχθηκε αργότερα από τον **Helmholtz**, ο οποίος βασίστηκε στα πειράματα του Maxwell. Ο Maxwell απέδειξε ότι τα περισσότερα χρώματα του ορατού φάσματος προκύπτουν όταν συνδυαστούν τρεις χωριστές ακτινοβολίες βασικών – πρωτευόντων χρωμάτων. Από το πείραμα του Maxwell προέκυψε η διαδικασία της προσθετικής ανάμειξης των χρωμάτων.

Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται το πείραμα του Maxwell για την δημιουργία χρωμάτων μέσω της προσθετικής ανάμειξης ακτινοβολιών.



Εικόνα 11: Το πείραμα του Maxwell για την δημιουργία των χρωμάτων μέσω της προσθετικής ανάμειξης ακτινοβολιών.

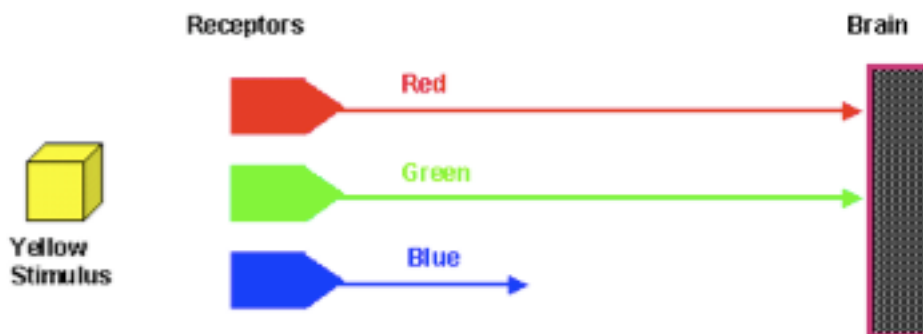
Πηγή: <http://graphics.stanford.edu/courses/cs178-10/applets/colormatching.html>

Ο **Helmholtz** διατύπωσε την θεωρία (1850), ότι υπάρχουν τρεις τύποι φυσιολογικών «μηχανισμών» υπεύθυνοι για την αντίληψη όλων των χρωμάτων, δηλαδή οι τρεις τύποι κωνίων, ανάλογα με την ανταπόκριση τους στα διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας του ορατού φάσματος και με την κατάταξή τους στις περιοχές ευαισθησίας S (Μπλε), M (Πράσινο) και L (Κόκκινο), όπως επαληθεύτηκε αργότερα. Η πρόσληψη της διαφορετικής φασματικής περιοχής των σημάτων που ανιχνεύονται από τους τρεις τύπους των κωνίων, ερμηνεύεται τελικά από τον εγκέφαλο ως ένα **χρώμα**.

Στην εικόνα 12 παρουσιάζεται η διαδικασία της τριχρωματικής θεωρίας των Young/Helmholz. Τα σήματα από την ευαισθητοποίηση – διέγερση των φωτοϋποδοχέων – κωνίων φθάνουν στον εγκέφαλο μέσω του καναλιού – οπτικού νεύρου όπου δημιουργείται το χρωματικό αίσθημα.

Βάσει της θεωρίας των Young/Helmholz, η δημιουργία για παράδειγμα του χρωματικού αισθήματος του κίτρινου, δεν είναι το κίτρινο μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας αλλά προκύπτει από την ανάμειξη πράσινης και κόκκινης ακτινοβολίας και είναι ένα διαφορετικό χρώμα από το μονοχρωματικό κίτρινο. Συνεπώς, η τριχρωματική θεωρία της έγχρωμης όρασης και της δημιουργίας χρωματικού αισθήματος ήταν πολύ σημαντική για τη ανάπτυξη συστημάτων της αναπαραγωγής του χρώματος, όπως της φωτογραφίας, της τρίχρωμης εκτύπωσης και της τηλεόρασης.

## Trichromatic theory of vision Young-Helmholtz



Εικόνα 12: Η δημιουργία χρωματικού αισθήματος βάει της τριχρωματικής θεωρίας των Young/Helmholz

Πηγή: <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:YoungHelm.jpg>

### 5.3. Η θεωρία των αντίθετων χρωμάτων του Hering

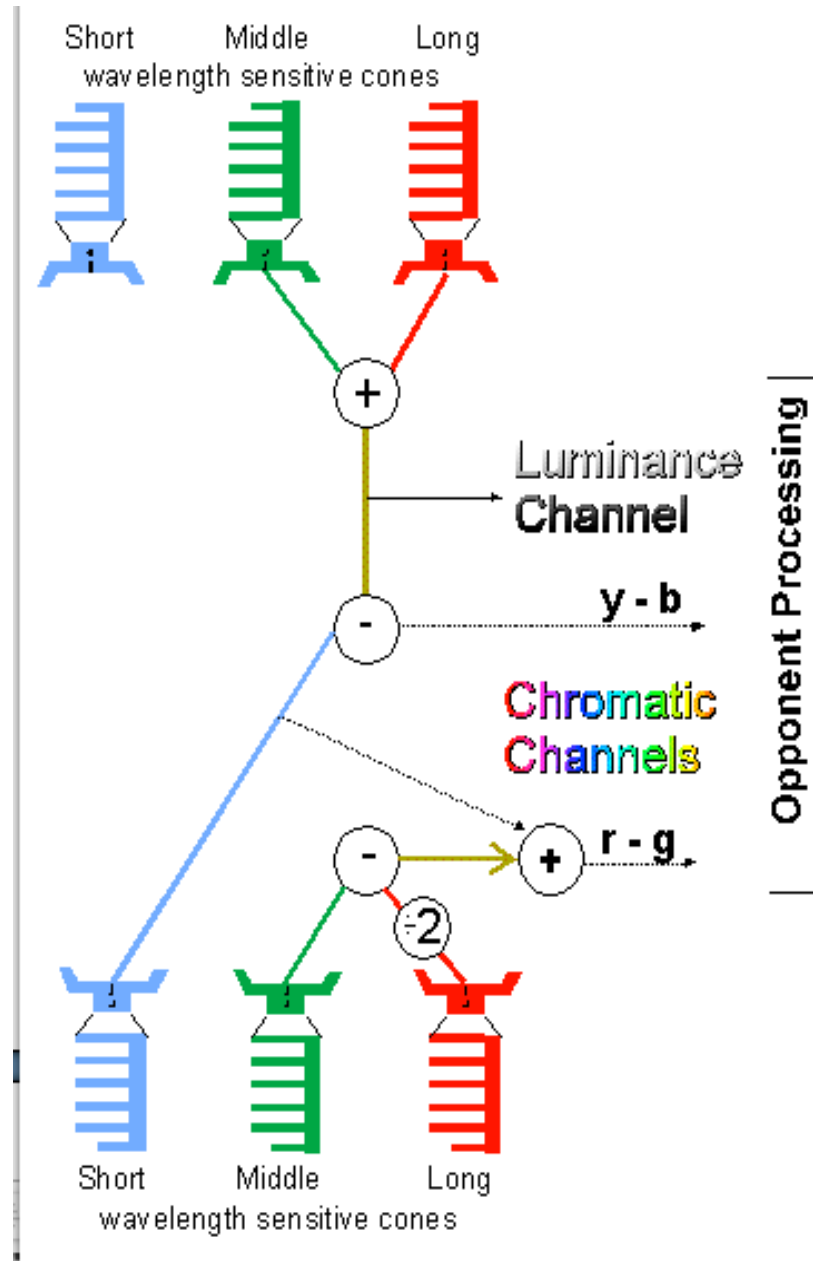
Η θεωρία των αντίθετων χρωμάτων της έγχρωμης όρασης αναπτύχθηκε από τον Ewald Hering ο οποίος προσπάθησε να εξηγήσει ορισμένα φαινόμενα της έγχρωμης όρασης στα οποία δεν υπήρχαν επαρκείς εξηγήσεις από την τριχρωματική θεωρία των Young/Helmholz.

Ο Hering σημείωσε ότι υπάρχουν ορισμένοι συνδυασμοί χρωμάτων που ποτέ δεν βλέπουμε, όπως ένα “πράσινο που κοκκινίζει - reddish-green” ή ένα “μπλε που κιτρινίζει - yellowish-blue”, τα οποία συμπερασματικά δεν μπορούν να εξηγηθούν από την τριχρωματική θεωρία.

Στη συνέχεια, ο Hering με την θεωρία του των αντίθετων χρωμάτων, πρότεινε ότι η αντίληψη του χρώματος προκύπτει από την ύπαρξη δύο χρωματικών καναλιών – μηχανισμών που δημιουργούν το χρωματικό αίσθημα: Τον μηχανισμό των χρωμάτων μπλε-κίτρινου και τον μηχανισμό των κόκκινου-πράσινου.

Περαιτέρω ο Hering πρότεινε την ύπαρξη ενός τρίτου καναλιού - μηχανισμού που αφορά τον άξονα λευκού-μαύρου, δηλαδή των “αχρωματικών” χρωμάτων, ωστόσο, η θεωρία της ύπαρξης του τρίτου καναλιού του λευκού-μαύρου εγκαταλείφθηκε σε πιο σύγχρονες εκδόσεις της θεωρίας του Hering.

Στην εικόνα 13 παρουσιάζεται η δομή της θεωρίας του Hering, με τα κανάλια μπλε-κίτρινου, κόκκινου-πράσινου και λευκού-μαύρου.



Εικόνα 13: Η θεωρία των αντίθετων χρωμάτων του Hering

Πηγή: <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:YoungHelm.jpg>



Και οι δύο θεωρίες συνέβαλαν στο να εξηγηθεί πως λειτουργεί ως σύστημα η έγχρωμη όραση. Η τριχρωματική θεωρία λειτουργεί στο επίπεδο της υποδοχής της ακτινοβολίας από τους φωτοϋποδοχείς, ενώ η θεωρία των αντίθετων χρωμάτων έχει εφαρμογή στο δεύτερο επίπεδο που ακολουθεί, αυτό της επεξεργασίας των χρωματικών πληροφοριών στον εγκέφαλο.

Οι δύο θεωρίες της έγχρωμης όρασης συνδυάζονται για να περιγράψουν τα βασικά χαρακτηριστικά της έγχρωμης όρασης. Σε ότι αφορά το χρώμα στις γραφικές τέχνες, οι θεωρίες αυτές αποτέλεσαν τους προδρόμους της ανάπτυξης των συστημάτων κατάταξης των χρωμάτων που χρησιμοποιούμε σήμερα στην αντίληψη, μέτρηση, πιστοποίηση, σύγκριση, επεξεργασία και διαχείριση του χρώματος στα έντυπα και στα ηλεκτρονικά μέσα της οπτικής επικοινωνίας.

### **6. Η υποκειμενικότητα στην δημιουργία του χρωματικού αισθήματος στον άνθρωπο - παρατηρητή**

Ο άνθρωπος είναι ο τελικός παρατηρητής και αξιολογητής ενός χρώματος. Ωστόσο, η παρατήρηση του χρώματος είναι απόλυτα υποκειμενική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Διαφορετικοί άνθρωποι, μπορεί να παρατηρήσουν το ίδιο χρώμα και να το ονομάσουν ή/και να το κατατάξουν διαφορετικά, ακόμη και αν συντρέχουν οι ίδιες συνθήκες παρατήρησης.

Επιπρόσθετοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την παρατήρηση και την αντίληψη ενός χρώματος είναι η μορφή και το είδος της φωτεινής πηγής και της εκπεμπόμενης από αυτήν ακτινοβολίας, η ύπαρξη του περιβάλλοντος χώρου με διαφορετικά χρώματα, η ηλικία των ανθρώπων αλλά και η χώρα στην οποία ζει ένας άνθρωπος (π.χ. Σκανδιναβικές χώρες ή Μεσόγειος).

Επίσης, **ψυχολογικά αίτια** και **χρωματικές μνήμες** εμπλέκονται στην χρωματική αίσθηση. Έτσι, παρατηρείται ευκολότερος εντοπισμός στην απόκλιση της απόχρωσης – χροιάς (hue) ενός χρώματος παρά του βαθμού κόρου (saturation). Ακόμη χρώματα του ουρανού, του δέρματος, του δάσους και της θάλασσας που είναι βαθιά εντυπωμένα στην ανθρώπινη μνήμη γίνονται πιο εύκολα αντιληπτά από άλλα χρώματα.

## **6.1 Πως αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος το χρώμα - τα κύρια χαρακτηριστικά του φωτός**

Κύρια χαρακτηριστικά του φωτός είναι η **χροιά ή απόχρωση (hue)**, ο βαθμός κόρου ή **κορεσμός (saturation)** και η **φωτεινότητα ή λαμπρότητα ή ένταση (lightness ή brightness ή value)**.

Η **χροιά ή απόχρωση (hue)** καθορίζει το όνομα του χρώματος και ορίζει το κυρίαρχο μήκος κύματος που επικρατεί στη σύστασή του. Για παράδειγμα, αν ένα χρώμα περιγράφεται ως μπλε, τότε διακρίνεται από το κίτρινο, το κόκκινο, το πράσινο ή άλλα χρώματα. Ο προσδιορισμός ενός χρώματος με βάση τη μία από τις τρεις ιδιότητες – τιμές οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα χρώμα σε ένα χρωματικό χώρο (συνήθως την τρίτη στην σειρά των μαθηματικών προσδιορισμών των τιμών με περιγραφές όπως για παράδειγμα στον χρωματικό χώρο HSV όπου H = φωτεινότητα ή λαμπρότητα, S = κορεσμός ή βαθμός κόρου και V = απόχρωση ή χροιά και σε ορισμένους χρωματικούς χώρους αξία ή Value).

Η Χροιά η οποία αναφέρεται και ως Απόχρωση προσδιορίζει το **“τι χρώμα είναι αυτό”** δηλαδή αν είναι χρώμα είναι κόκκινο, μπλε, κίτρινο, πορτοκαλί. Αποδίδει ουσιαστικά την υποκειμενική ιδιότητα που προσδίδει ο παρατηρητής σε ένα χρώμα. Η χροιά ή απόχρωση καθορίζει το όνομα του χρώματος και ορίζει το κυρίαρχο μήκος κύματος που επικρατεί στη σύστασή του. Στον χρωματικό χώρο, η Χροιά ή Απόχρωση προσδιορίζεται στην περιφέρεια του τρισδιάστατου χρωματικού χώρου, στην μέγιστη τιμή του βαθμού κόρου ή κορεσμού (Saturation).

**Ο βαθμός κόρου ή κορεσμός (saturation)** περιγράφει την καθαρότητα του κυρίαρχου χρώματος στο πλαίσιο προσδιορισμού των χρωμάτων σε ένα τριασδιάστατο χρωματικό χώρο. Αναφέρεται στο βαθμό της έντασης σε ένα χρώμα ή στη δύναμη ενός χρώματος – γενικότερα προσδιορίζει την ένταση ή το πόσο “δυνατό” χρώμα” είναι αυτό.

Ο κορεσμός ή βαθμός κόρου αποτελεί τη μία από τις τρεις ιδιότητες – τιμές οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα χρώμα σε ένα χρωματικό χώρο για παράδειγμα στον χρωματικό χώρο HSV (όπου H = φωτεινότητα ή λαμπρότητα, S = κορεσμός ή βαθμός κόρου και V = απόχρωση ή χροιά και σε ορισμένους χρωματικούς χώρους αξία ή Value).

Ουσιαστικά προσδιορίζει **το πόσο έντονο ή δυνατό είναι το χρώμα**, στον άξονα που ορίζεται από την ελάχιστη - μηδενική τιμή στο αχρωματικό σημείο στο κέντρο του χρωματικού χώρου και στη μέγιστη τιμή στην περιφέρεια του χρωματικού χώρου (για παράδειγμα στον χρωματικό χώρο CIELAB). Για παράδειγμα ένα γκρι θεωρείται ότι έχει μηδενικό κορεσμό ενώ ένα έντονο πορτοκαλί θεωρείται ότι έχει μεγάλο βαθμό κόρου ή κορεσμό.

Η **φωτεινότητα ή λαμπρότητα ή ένταση (brightness, lightness, value)** σχετίζεται με τις ιδιότητες της φωτεινής πηγής. Η Λαμπρότητα ή Φωτεινότητα προσδιορίζει ένα χρώμα με βάση τη μία από τις τρεις ιδιότητες – τιμές οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα χρώμα σε ένα χρωματικό χώρο (συνήθως την πρώτη στην σειρά των μαθηματικών προσδιορισμών των τιμών όπως για παράδειγμα στον χρωματικό χώρο LCH (όπου L = λαμπρότητα / φωτεινότητα, C = κορεσμός ή βαθμός κόρου και H = απόχρωση ή χροιά).

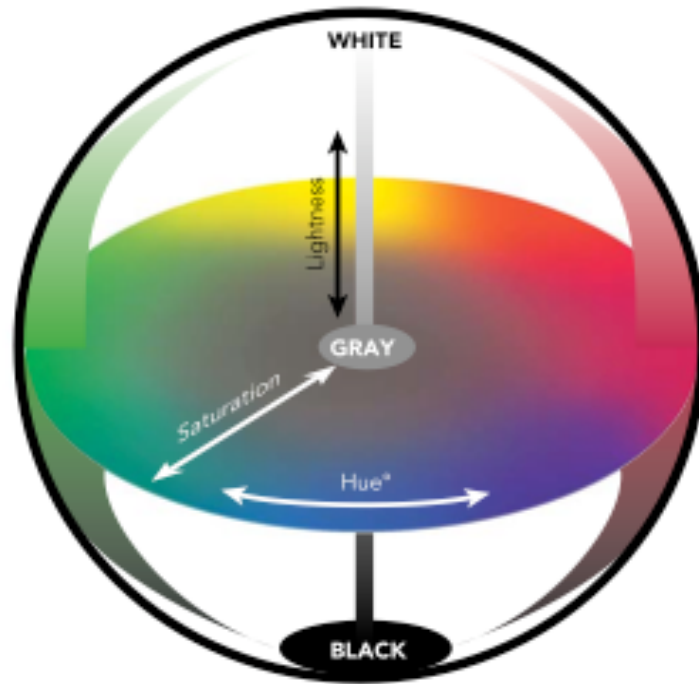
Ουσιαστικά προσδιορίζει το **πόσο φωτεινό ή σκούρο είναι ένα συγκεκριμένο χρώμα** σε μία απόχρωση. Η Φωτεινότητα ή Λαμπρότητα μετράται με τιμές από το 0 = Μαύρο έως το 100 = Λευκό με τις ενδιάμεσες τιμές των γκρι. Στον τρισδιάστατο χρωματικό χώρο βρίσκεται στον άξονα που τοποθετείται κάθετα στις άλλες δύο τιμές (βαθμό κόρου ή κορεσμό και απόχρωση ή χροιά).

Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται σχηματικά ένας χρωματικός χώρος με την απεικόνιση των τριών τιμών με τις οποίες προσδιορίζεται ένα χρώμα από τον άνθρωπο – παρατηρητή με τις ακόλουθες υποκειμενικές με τις οποίες δίδονται απαντήσεις στα ερωτήματα:

**Τι χρώμα είναι αυτό;** (Προσδιορισμός της απόχρωσης)

**Πόσο δυνατό, έντονο - κορεσμένο είναι το χρώμα;** (Προσδιορισμός του βαθμού κόρου ή κορεσμού του χρώματος)

**Πόσο σκούρο ή φωτεινό είναι το χρώμα;** (Προσδιορισμός της φωτεινότητας ή λαμπρότητας του χρώματος).



Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση των τριών εννοιών που ασυναίσθητα προσδιορίζει ο άνθρωπος για να κατατάξει (υποκειμενικά ένα χρώμα). Στην εικόνα 14 απεικονίζεται ο χρωματικός χώρος του Munsell με την θέση των τριών προσδιορισμών με τους οποίους χαρακτηρίζεται ένα χρώμα από τον άνθρωπο: την απόχρωση στην περιφέρεια του χώρου, τον βαθμό κόρου στον άξονα από το κέντρο του χώρου προς την περιφέρεια και την φωτεινότητα-λαμπρότητα στον κάθετο άξονα ανάμεσα στο λευκό – μαύρο.

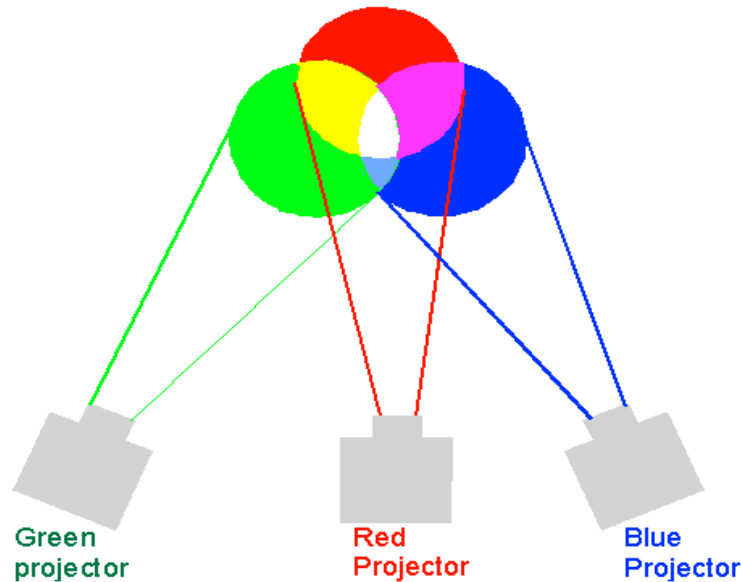
## 7. Χρωματικά μοντέλα και συστήματα

Για την περιγραφή και χρήση των χρωμάτων έχουν αναπτυχθεί χρωματικά μοντέλα και συστήματα ώστε να γίνει δυνατή η περιγραφή τους με μαθηματική μορφή. Από τα πιο σημαντικά χρωματικά μοντέλα στις Γραφικές Τέχνες είναι το **μοντέλο RGB** και το **μοντέλο CMY(K)**. Η τριχρωμία αποτελεί τη βάση για τα δύο αυτά μοντέλα και για τις αντίστοιχες μεθόδους ανάμειξης των χρωμάτων, δηλαδή την προσθετική και την αφαιρετική.

### 7.1 Το χρωματικό μοντέλο της προσθετικής ανάμειξης των χρωμάτων

Το πρώτο μοντέλο της συστηματικής κατάταξης των χρωμάτων προέκυψε από την αντικειμενική διαδικασία της έγχρωμης όρασης και την ευαισθησία του οφθαλμού στις τρεις χρωματικές περιοχές του ορατού φάσματος δηλαδή την κόκκινη, πράσινη και μπλε περιοχές της ακτινοβολίας του ορατού φάσματος και είναι το χρωματικό μοντέλο / σύστημα της προσθετικής ανάμειξης των χρωμάτων αφορά την υπερέκθεση ακτινοβολιών Κόκκινου, Πράσινου και Μπλε (Red, Green, Blue – **RGB**).

Η προσθήκη των ακτινοβολιών στην πλήρη τους ένταση δημιουργεί λευκό. Το χρωματικό μοντέλο **RGB** εφαρμόζεται στις οθόνες κάθε είδους και στις τηλεοράσεις. Στην εικόνα 15 απεικονίζεται το χρωματικό μοντέλο της προσθετικής ανάμειξης των χρωμάτων.



Εικόνα 15: RGB - Το χρωματικό μοντέλο της προσθετικής ανάμειξης των χρωμάτων

### 7.2 Το χρωματικό μοντέλο της αφαιρετικής ανάμειξης των χρωμάτων

Εαν συνδυαστούν ανά δύο οι ακτινοβολίες του Κόκκινου, Πράσινου και Μπλε προκύπτουν τα χρώματα Κυανό, Ματζέντα και Κίτρινο, δηλαδή ισχύει:

Πράσινο + Μπλε = Κυανό (Cyan – C)

Κόκκινο + Μπλε = Ματζέντα (Magenta – M)

Πράσινο + Κόκκινο = Κίτρινο (Yellow – Y)

Τα τρία χρώματα Κυανό, Ματζέντα και Κίτρινο (Cyan, Magenta, Yellow), είναι τα συμπληρωματικά των τριών χρωμάτων της προσθετικής μεθόδου ανάμειξης των χρωμάτων δηλαδή των Κόκκινου, Πράσινου και Μπλε. Το χρωματικό μοντέλο που αποτελείται από τα χρώματα Κυανό, Ματζέντα και Κίτρινο συγκροτεί την αφαιρετική μέθοδο ανάμειξης των χρωμάτων (Cyan, Magenta, Yellow - CMY).

Τα χρώματα Κυανό, Ματζέντα και Κίτρινο είναι τα βασικά χρώματα της αφαιρετικής μεθόδου ανάμειξης των χρωμάτων. Αφορούν την διαδικασία των εκτυπώσεων και είναι τα χρώματα (μελάνες, πικμέντα, χρωστικές) που χρησιμοποιούνται στις εκτυπώσεις με κάθε εκτυπωτική διαδικασία και μέθοδο.

Κατά την αφαιρετική μέθοδο ανάμειξης των χρωμάτων, τα χρώματα CMY που εκτυπώνονται το ένα επάνω στο άλλο, αφαιρούν την ακτινοβολία του λευκού φωτός που προσπίπτει σε ένα χρωματιστό - εκτυπωμένο αντικείμενο.



Εικόνα 16: CMY - Το χρωματικό μοντέλο της αφαιρετικής ανάμειξης των χρωμάτων

### 7.3 Το χρωματικό μοντέλο CMYK

Για να αποδοθεί καλύτερα το σύνολο των αποχρώσεων σε μία έγχρωμη εκτύπωση – στην εκτύπωση μιας έγχρωμης εικόνας, είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν οι τρεις μελάνες C, M, Y με το Μαύρο χρώμα. Η Μαύρη μελάνη προϋπήρξε της τετραχρωμίας, μιας και ήταν - και είναι - το μελάνι που χρησιμοποιείται στην εκτύπωση από την εποχή του Γουτεμβέργιου, διότι εξασφαλίζεται η μέγιστη αντίθεση ανάμεσα στο λευκό υπόστρωμα και στο μαύρο χρώμα των γραμμάτων και των κειμένων για καλύτερη ανάγνωση. Το μαύρο μελάνι συμβολίζεται με το γράμμα **K** (Key color για τους αγγλοσάξωνες και Kontrollfarbe για τους Γερμανόφωνους). Προκύπτει κατά συνέπεια το χρωματικό μοντέλο CMYK ή η τετραχρωμία.

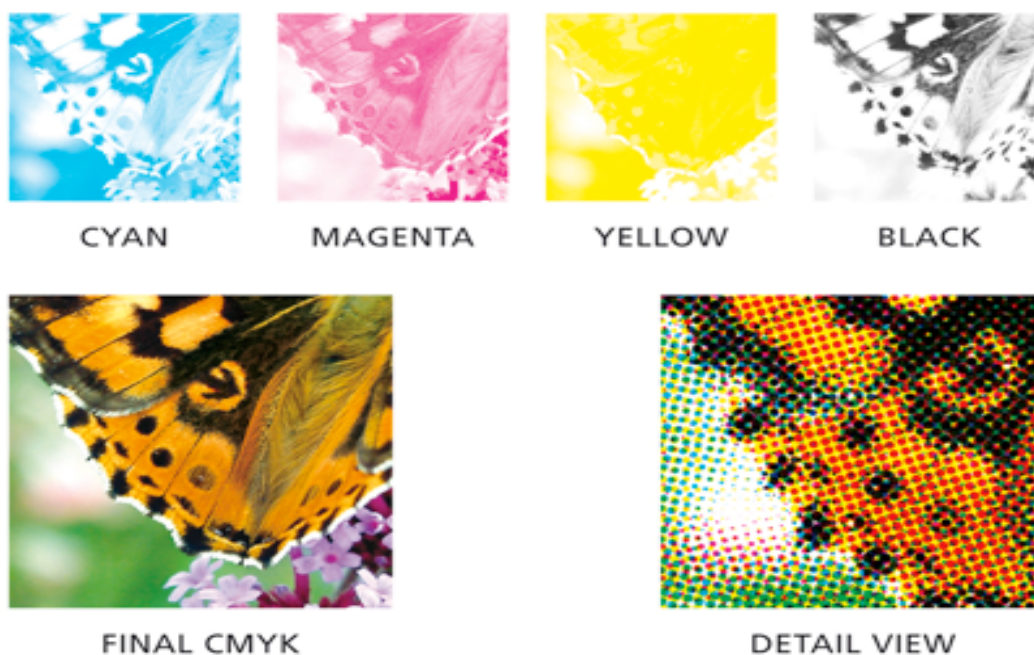
### 7.4 Η έγχρωμη εκτύπωση και η τετραχρωμία

Στο χρωματικό μοντέλο CMYK τα τέσσερα χρώματα των μελανών (κυανό, ματζέντα, κίτρινο και μαύρο) είναι αρκετά ώστε να αποδοθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πιστότητα ένα έγχρωμο τονικό θέμα, μια έγχρωμη εικόνα. Η έγχρωμη εκτύπωση, πραγματοποιείται με τις μελάνες Cyan, Magenta και Yellow.

## Το Χρώμα στις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις

Δρ. Αναστάσιος Ε. Πολίτης - Καθηγητής Επιστήμης και Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων

Το Μαύρο χρώμα, προστίθεται για να καλυφθούν οι ατέλειες των χρωστικών C, M, Y, για να δημιουργηθεί πραγματικό τελικό μαύρο χρώμα στα σκούρα σημεία των εικόνων και για να εκτυπωθεί κείμενο και γραμμικά θέματα. Το λευκό εκτυπωτικό υπόστρωμα (για παράδειγμα λευκό χαρτί ή χαρτόνι) που χρησιμοποιείται στην εκτύπωση ανακλά ολόκληρη την προσπίπτουσα ακτινοβολία του ορατού φάσματος. Επειδή οι μελάνες είναι διαφανείς, η ακτινοβολία τις διαπερνά, φθάνει στο χαρτί και ανακλάται, οδηγώντας στην δημιουργία του χρωματικού αισθήματος το οποίο προκύπτει από την ανακλώμενη ακτινοβολία που περνάει και απορροφάται από την εκτυπωμένη επιφάνεια. Στην εικόνα 17 παρουσιάζεται η τετράχρωμη εκτύπωση (CMYK) μιας έγχρωμης εικόνας.



Εικόνα 2: Χρωματικό Μοντέλο CMYK (πηγή <http://unisa.edu.au>)

Εικόνα 17: Η τετράχρωμη εκτύπωση (CMYK) μιας έγχρωμης εικόνας με την χρήση του **ράστερ**

Τα χρωματικά μοντέλα RGB και CMYK έχουν πλήρη εφαρμογή στην βιομηχανία των γραφικών τεχνών με την είσοδο, επεξεργασία και έξοδο έγχρωμων δεδομένων των εντύπων σε οθόνες, σε εκτυπωτές δοκίμια και εκτυπωτικές μηχανές κάθε είδους.

## **8. Μέτρηση και πιστοποίηση των χρωμάτων**

Η εξέλιξη στις εφαρμογές του χρώματος σε συνδυασμό με πλήθος άλλων επεξεργασιών, όπως για παράδειγμα η έγχρωμη φωτογραφία, η έγχρωμη εκτύπωση η αναγκαιότητα του χρωματισμού αντικειμένων που άρχισαν να παράγονται στην κατά την βιομηχανική επανάσταση, οδήγησαν στην αναγκαιότητα της συστηματικής κατάταξης των χρωμάτων. Παράλληλα, η υποκειμενικότητα στην παρατήρηση και στην πρόσληψη των χρωμάτων δημιούργησε την αναγκαιότητα της ανάπτυξης συστημάτων και μεθόδων αντικειμενικού προσδιορισμού των χρωμάτων. Ιδιαίτερα μεγάλη ανάγκη υπήρξε στις βιομηχανίες των υφασμάτων και της τυποβαφικής, στα χρώματα - βαφές για διάφορα βιομηχανικά προϊόντα και βέβαια στην κατάταξη των χρωμάτων στις εκτυπώσεις και στις γραφικές τέχνες.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε σε συστηματική έρευνα για την ταξινόμηση και κατάταξη των χρωμάτων έτσι ώστε να είναι δυνατός ο αντικειμενικός προσδιορισμός ενός χρώματος, η αναπαραγωγή του με ακρίβεια και η σύγκριση με βάση μετρήσιμες τιμές.

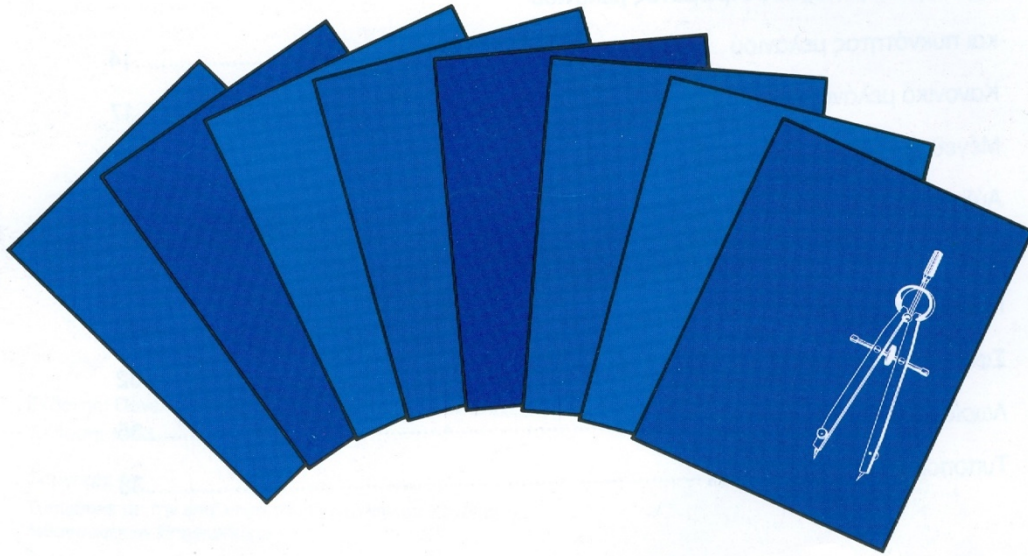
### **8.1 Η υποκειμενική παρατήρηση των χρωμάτων**

Είναι αρκετή η παρατήρηση ενός χρώματος από τον άνθρωπο για να προσδιοριστεί με ακρίβεια; Σαφώς όχι.

Αν και ο άνθρωπος είναι ο τελικός παρατηρητής και αξιολογητής ενός χρώματος και κατ' επέκταση των εντύπων, ωστόσο, η παρατήρηση ενός χρώματος από τον άνθρωπο είναι ένα κατ' εξοχήν υποκειμενικό συναίσθημα. Διαφορετικοί άνθρωποι, μπορεί να παρατηρήσουν το ίδιο χρώμα και να το ονομάσουν (και να το κατατάξουν διαφορετικά), Επιπρόσθετα, η διαφοροποίηση παραγόντων όπως η μορφή και το είδος της φωτεινής πηγής και της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, η ύπαρξη περιβάλλοντος χώρου με διαφορετικά χρώματα, η ηλικία των ανθρώπων αλλά και η χώρα στην οποία ζει ένας άνθρωπος (πχ. Σκανδιναβικές χώρες ή Μεσόγειος) επηρεάζουν την παρατήρηση και την αντίληψη ενός χρώματος.

Στην εικόνα 18 φαίνεται ένα μπλε χρώμα τυπωμένο σε διαφορετικά εκτυπωτικά υποστρώματα. Ο άνθρωπος – υποκειμενικός παρατηρητής θα ονομάσει αυτά τα χρώματα με εμπειρικό τρόπο χρησιμοποιώντας όρους όπως μπλε, σκούρο μπλε, θαλασσί, κλπ. Ωστόσο, η υποκειμενική αυτή κατάταξη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ακριβή προσδιορισμό του χρώματος.





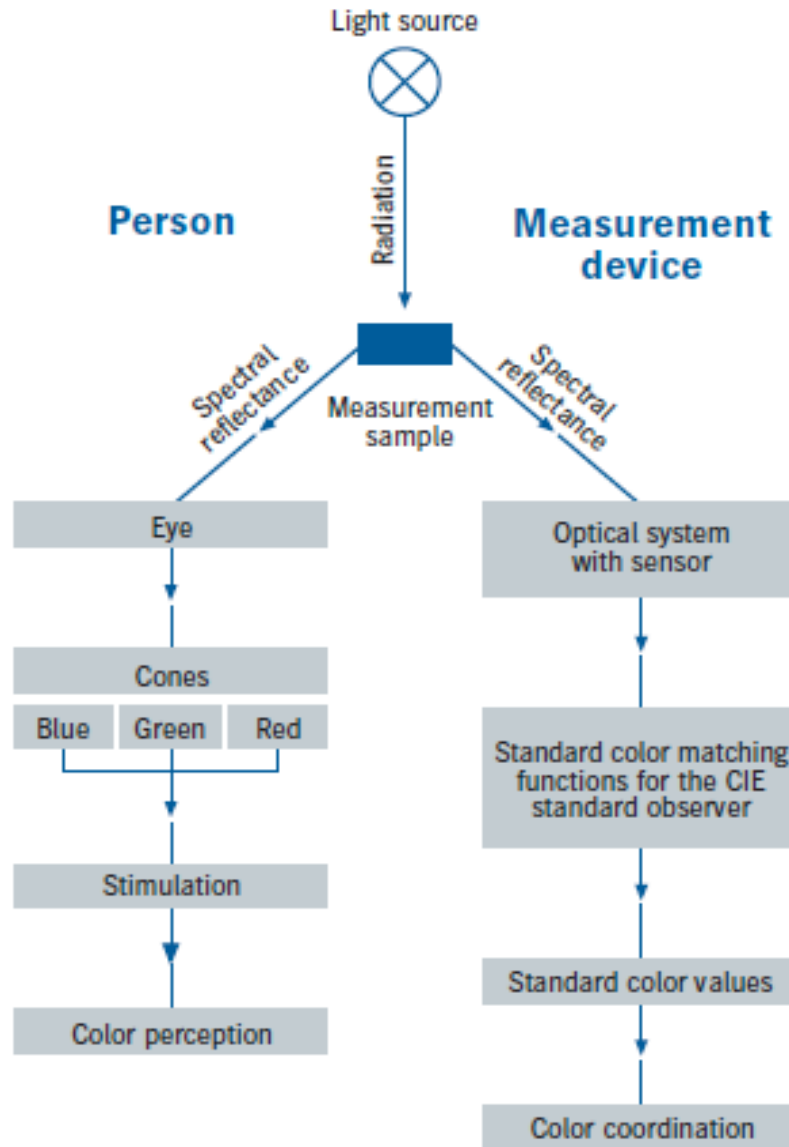
*Εικόνα 18: Τι χρώμα είναι αυτό; Όλα είναι μπλε αλλά διαφέρουν μεταξύ τους. Δεν υπάρχει δυνατότητα αντικειμενικού προσδιορισμού και διαφοράς ανάμεσά τους απο τον άνθρωπο.*

*Πηγή: Βασικές αρχές του ελέγχου ποιότητας, Heidelberg Druckmaschinen AG, Χαϊδελβέργη, Έκδοση ΣΛΕ, 1993*

Από τα παραπάνω προκύπτει πως **ο ανθρώπινος οφθαλμός δεν επαρκεί για την πιστοποίηση ενός χρώματος**. Γι' αυτό έπρεπε να υπάρξει ένας μηχανισμός με τον οποίο να είναι δυνατή η εφαρμογή μιας διαδικασίας με την οποία θα μπορεί να μετρηθεί, να πιστοποιηθεί και να προσδιορισθεί ένα χρώμα το οποίο πρέπει να εκτυπωθεί και να έχει μία συγκεκριμένη απόχρωση με βάση τις προδιαγραφές που έχουν ορισθεί.

Με βάση αυτή την ανάγκη, αναπτύχθηκαν συστήματα μέτρησης των χρωμάτων στην δομή του ανθρώπινου οφθαλμού, με την αντιστοίχιση ενός οπτικού συστήματος με τον ανθρώπινο οφθαλμό, και ένα υπολογιστικό σύστημα στην θέση του εγκεφάλου. Ο μηχανισμός αυτός δεν ήταν άλλος από την προσομοίωση της λειτουργίας του ανθρώπινου οφθαλμού, της διαδικασίας της όρασης και της δημιουργία τους χρωματικού αισθήματος στον εγκέφαλο με μία συσκευή που θα περιέχει όλα τα ανωτέρω.

Στην εικόνα 19, απεικονίζεται αυτή η αντιστοίχιση:



Εικόνα 19: Η δημιουργία ενός συστήματος μέτρησης και αντικειμενικού προσδιορισμού των χρωμάτων σε αντιστοιχία με τον ανθρώπινο οφθαλμό

Πηγή: Βασικές αρχές του ελέγχου ποιότητας, Heidelberg Druckmaschinen AG, Χαϊδελβέργη, Έκδοση ΣΛΕ, 1993

Επιπρόσθετα, ακόμη κι αν συντρέχουν οι ίδιες προϋποθέσεις παρατήρησης ενός χρώματος υπάρχουν παράγοντες που διαφοροποιούν τον ακριβή και αντικειμενικό προσδιορισμό του χρώματος από τον άνθρωπο. Στην παραγωγική διαδικασία των γραφικών τεχνών το χρώμα παρατηρείται σε πρωτότυπα και δοκίμια, σε οθόνες και δοκίμια, σε ίδια ή διαφορετικά εκτυπωτικά υποστρώματα ή/και σε διαφορετικές οθόνες.

Συνεπώς, το χρώμα στα έντυπα και ηλεκτρονικά μέσα της οπτικής επικοινωνίας, πρέπει να παρατηρηθεί με βάση αντικειμενικές συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές συνοπτικά είναι:

- Η παρατήρηση κάτω από την ίδια φωτεινή πηγή
- Η παρατήρηση σε ρυθμισμένες - καλιμπραρισμένες οθόνες, μηχανές εκτύπωσης και συσκευές δοκιμών
- Η παρατήρηση, μέτρηση και αξιολόγηση στο ίδιο εκτυπωτικό υπόστρωμα

Στο πλαίσιο αυτό, ο προσδιορισμός, η αξιολόγηση και η σύγκριση διαφορετικών χρωμάτων στην παραγωγική διαδικασία των γραφικών τεχνών αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας και της ροής των εργασιών στην επεξεργασία των εντύπων.

Γι' αυτό, αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται η διαδικασία της χρωματικής διαχείρισης και η μέτρηση, πιστοποίηση και ο αντικειμενικός προσδιορισμός ενός χρώματος με την ευρεία πλέον εφαρμογή του χρωματικού χώρου CIELAB στις γραφικές τέχνες.

Πριν όμως να αναλυθούν τα χρωματικά συστήματα και χώροι που εφαρμόζονται κατά κόρον στις γραφικές τέχνες είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν ορισμένες βασικές παράμετροι στην παρατήρηση και αξιολόγηση των χρωμάτων, όπως οι φωτεινές πηγές και το φαινόμενο του μεταμερισμού.

### 8.2 Φωτεινές πηγές

**Φωτεινές πηγές** χαρακτηρίζονται τα σώματα που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος της περιοχής του ορατού φάσματος μεταξύ 400nm και 700nm.

Το κύριο χαρακτηριστικό μίας φωτεινής πηγής λευκού φωτός είναι η **θερμοκρασία χρώματος**. Ως θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής λευκού φωτός ορίζεται η θερμοκρασία του μαύρου σώματος που εκπέμπει ακτινοβολία με φασματική κατανομή όμοια με εκείνη της ακτινοβολίας που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Η θερμοκρασία χρώματος μετράται σε βαθμούς Kelvin και δεν σχετίζεται με την καθαυτό θερμοκρασία της συγκεκριμένης φωτεινής πηγής.

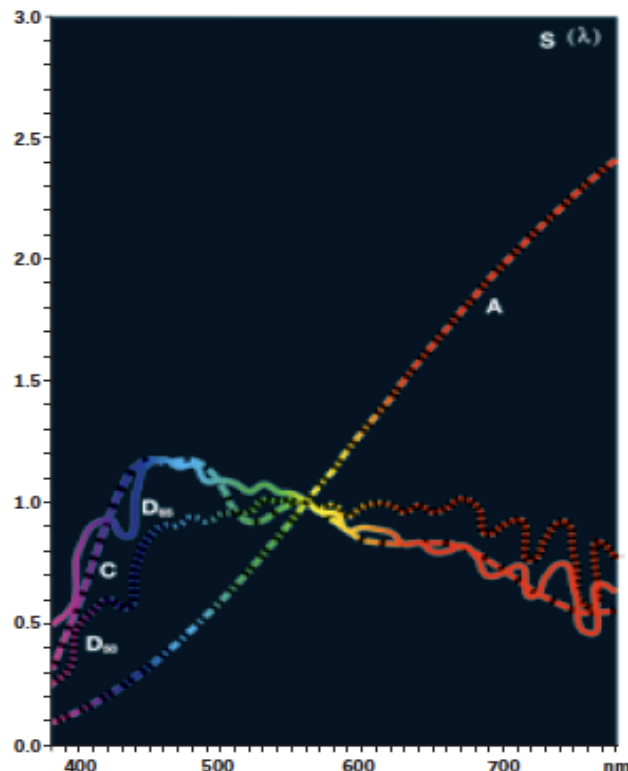
Οι φωτεινές πηγές λευκού φωτός έχουν ένταση της ακτινοβολίας σε ολόκληρο το ορατό φάσμα της ακτινοβολίας. Ωστόσο, ανάλογα με το μέρος του φάσματος όπου η ένταση της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη για μία φωτεινή πηγή λευκού φωτός η φωτεινή αυτή πηγή φαίνεται χρωματισμένη. Για παράδειγμα, ο λαμπτήρας τύπου tungsten έχει μεγαλύτερη ένταση της ακτινοβολίας στην κόκκινη περιοχή του ορατού φάσματος.

### 8.3 Τα είδη των φωτεινών πηγών

Οι συνηθέστεροι τύποι φωτεινών πηγών (illuminants κατά CIE) των οποίων οι τιμές χρησιμοποιούνται για την μαθηματική επεξεργασία δεδομένων χρώματος είναι οι παρακάτω:

- A – λαμπτήρας τύπου tungsten
- C – φώς ημέρας βόρειου ουρανού ή μέσο φώς ημέρας
- D65 – η συχνότερα χρησιμοποιούμενη πηγή φωτός ημέρας, (η μέση τιμή του μεσημβρινού φωτός παγκοσμίως)
- D50 – Το φώς του ορίζοντα (το φώς του ήλιου το σούρουπο ή την αυγή) Επίσης το φως ημέρας – το φυσικό φως που παραμένει μετά την αφαίρεση της υπεριώδους ακτινοβολίας
- F2, Fcw, CWF, F – ψυχρό λευκό φώς λαμπτήρα φθορισμού

Στην εικόνα 20 παρουσιάζονται ορισμένες φωτεινές πηγές. Ας προσεχθεί η διαφορετική ένταση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες περιοχές του ορατού φάσματος, πράγμα που καθορίζει και το χρώμα της φωτεινής πηγής. Η ακτινοβολία εξακολουθεί να είναι βεβαίως λευκού φωτός.



Εικόνα 20: Η απεικόνιση ορισμένων σημαντικών φωτεινών πηγών

Πηγή: Βασικές αρχές του ελέγχου ποιότητας, Heidelberg Druckmaschinen AG, Χαϊδελβέργη, Έκδοση ΣΛΕ, 1993

### 8.3 Μεταμερισμός

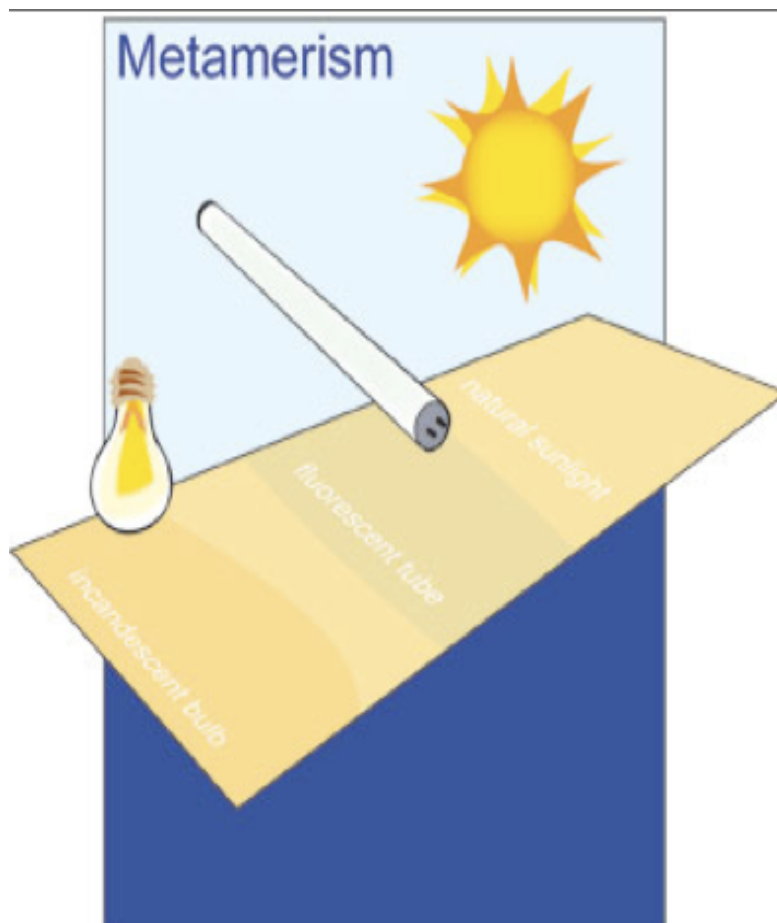
Στους παράγοντες που επηρεάζουν το χρώμα εντάσσεται και η διαφορά ευαισθησίας των συστημάτων όρασης δύο παρατηρητών. Σημαντικός παράγοντας που αφορά στην πρόσληψη του χρώματος είναι το **φαινόμενο του μεταμερισμού** το οποίο είναι μια ιδιαιτερότητα του ανθρώπινου ματιού σε σχέση με τη φωτεινή πηγή. Διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις:

A. Όταν δύο διαφορετικά δείγματα χρωμάτων παράγουν στον ίδιο παρατηρητή την ίδια χρωματική αίσθηση κάτω από ορισμένο φωτισμό.

B. Όταν δύο διαφορετικά δείγματα χρωμάτων παράγουν στον ίδιο παρατηρητή διαφορετικές χρωματικές αισθήσεις κάτω από ορισμένο φωτισμό.

Ακόμη και όταν τα δύο διαφορετικά δείγματα έχουν την ίδια φασματική κατανομή, η εμφάνισή τους εξαρτάται από τη φωτεινή πηγή και από τον παρατηρητή.

Στην εικόνα 21 απεικονίζεται το φαινόμενο του μεταμερισμού.



Εικόνα 21: Το φαινόμενο του μεταμερισμού

<http://www.evic.com.au/images/guidetocolour/metamerism.jpg>

## **9. Η συστηματική κατάταξη των χρωμάτων – Χρωματικά διαγράμματα – χρωματικοί χώροι**

Οι σημειώσεις αυτές είναι ελλιπείς, διότι δεν περιλαμβάνουν τα πεδία της συστηματικής κατάταξης των χρωμάτων, που έχουν - μέσω συγκεκριμένων χρωματικών χώρων όπως τον χρωματικό χώρο CIELAB - εξαιρετικά σημαντική εφαρμογή στις σύγχρονες επεξεργασίες και στην παραγωγή των εκτυπώσεων – γραφικών τεχνών.

Μέσω των παρουσιάσεων των θεωριών του μαθήματος, αναλύθηκαν τα πεδία αυτά. Σε κάθε περίπτωση όμως, όσοι και όσες επιθυμούν να ασχοληθούν με το χρώμα πρέπει να διαβάσουν και να κατανοήσουν τις έννοιες των συστημάτων κατάταξης των χρωμάτων και τις εφαρμογές των χρωματικών χώρων στη σύγχρονη βιομηχανία των γραφικών τεχνών.

Ενδεικτικά αναφέρονται το χρωματικό διάγραμμα του CIE 1931 και οι χρωματικοί χώροι CIELAB και CIE Lch που είναι απαραίτητο να αποτελέσουν πεδίο ενδελεχούς μελέτης. Αναπόσπαστο μέρος της μελέτης αυτής αποτελούν τα ακόλουθα πεδία:

- Το χρωματικό διάγραμμα CIE 1931
- χρωματικός χώρος CIELAB
- Η χρωματική διαφορά ΔΕ
- Η διαχείριση χρώματος και τα χρωματικά προφίλ
- Οι διαδικασίες μέτρησης, προσδιορισμού και πιστοποίησης χρωμάτων με μαθηματικές τιμές στον χρωματικό χώρο
- Εφαρμογή στον ποιοτικό έλεγχο της εκτύπωσης
- Εφαρμογές στην έκδοση συνταγής μελανών για την εκτύπωση
- Το ράστερ και η ανάλυσή του για τις εκτυπώσεις
- Το χρωματικό εύρος και η ισορροπία των γκρι
- Οι συσκευές και το λογισμικό μέτρησης των χρωμάτων (πυκνόμετρα, χρωματομέτρα, φασματοφωτόμετρα)
- Η ψηφιακή προεκτύπωση και η επεξεργασία του χρώματος

## 10. Ενδεικτική Βιβλιογραφία

- Βρυωνάκης, Ν. (2008). *Διαχείριση χρώματος στις γραφικές τέχνες (color management in print media and graphic arts)*. (Μεταπτυχιακή Εργασία). Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Λεοντόπουλος Ν., Πολίτης Α & Σταθάκης Κ. (2002). *Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών, Προεκτύπωση*. Πάτρα: Εκδόσεις ΕΑΠ.
- Abhay, S. (2005). *Understanding Color Management*. IPA Bulletin. Ανακτήθηκε 2.1.2012 από <http://www.ipa.org/files/Abhay-color-mgmt.pdf>
- Adobe (n.d.). *Adobe Color Management Module (CMM)*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από <http://www.adobe.com/support/downloads/detail.jsp?ftpID=3618>
- Adobe (n.d.). *Technical Guides: The Color Management Module (CMM)*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από [http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe\\_tg/manage/cmm.html](http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/manage/cmm.html)
- Adobe (n.d.). *Illustrator CS4, Πληροφορίες για το χρώμα*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από [http://help.adobe.com/el\\_GR/Illustrator/14.0/WS714a382cdf7d304e7e07d0100196cbc5f-6295a.html](http://help.adobe.com/el_GR/Illustrator/14.0/WS714a382cdf7d304e7e07d0100196cbc5f-6295a.html)
- Apple Computers (2003). *Managing Colors With ColorSync in Mac OS9, Legacy Document*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από <http://developer.apple.com/legacy/mac/library/documentation/GraphicsImaging/Conceptual/ManagingColorSync/ColorSync.pdf>
- Berns, R. (2000). *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. 3rd edn. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Billmeyer, F. & Saltzman, M. (1981). *Principles of Color Technology*. 2nd edn. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Bloy, C.H. (1967). *History of Printing Ink, Balls and Rollers, 1440–1850*. London: Evelyn Adams and Mackay Ltd.
- Cmykmag (2011). *Raster – Prepress*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από [http://www.cmykmag.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=39&Itemid=24](http://www.cmykmag.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=24)
- Dondis, A. (2002). *Βασικές Αρχές Οπτικής Παιδείας*. Πάτρα: Εκδόσεις ΕΑΠ.
- Febvre, L. and Martin, H.-J. (1984). *The Coming of the Book*. London: Verso Editions.
- Inkline (n.d.). *Color Management Systems (CMS)*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από <http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/color/cms.html>
- Kipphan, H. (2001). *Handbook of Print Media*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Munsell Color Science Laboratory (n.d.). *Measurement*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από <http://www.cis.rit.edu/research/mcsl2/outreach/faq.php?catnum=2#918>
- OPI (n.d.). *Colorimetry*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από [http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI\\_ang\\_M07\\_C02/co/Contenu\\_02.html](http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M07_C02/co/Contenu_02.html)
- Pierce, R. J., Hickman, E. P., Mackenzie, M. J. Smith, H. G. (2008). *The Printing Ink Manual*. Dordrecht: Springer.

## Το Χρώμα στις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις

Δρ. Αναστάσιος Ε. Πολίτης - Καθηγητής Επιστήμης και Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων

Willis, P. (2007). *Representing Colour*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από <http://www.cs.bath.ac.uk/%7Epjw/NOTES/75-ACG/ch7-colour.pdf>

Wyszecki G., Stiles, W. S. (1982). *Color Science*. Wiley classics Library.

Xrite (2005). *Complete Guide to Color Management*. Ανακτήθηκε 23.2.2012 από [http://www.xrite.com/documents/literature/en/L11-176\\_Guide\\_to\\_CM\\_en.pdf](http://www.xrite.com/documents/literature/en/L11-176_Guide_to_CM_en.pdf)

International Color Consortium <http://www.color.org>

Colorwiki <http://www.colorwiki.com>

Jiscdigitalmedia <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/>

Adobe <http://www.adobe.com>

European Color Initiative <http://www.eci.org/en/start>

Fogra Graphic Technology Research Association <http://www.fogra.org>

Xrite <http://www.xrite.com>

The Print Guide <http://the-print-guide.blogspot.com/>

Το Βιβλίο των Γραφικών Τεχνών <http://www.graphicarts.gr>

GA online <http://gaonline.gr/>

Εφημερίδα Η Τυπογραφία <http://www.e-typographia.gr/index.asp>

Περιοδική έκδοση CMYK <http://www.cmykmag.gr>

Drupa <http://www.drupa.com>