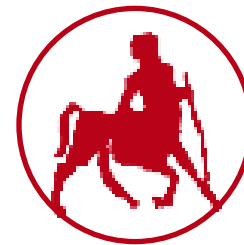


# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

**Α. Τσαγκρασούλης**  
**Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**



## **ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**



**Το σύστημα όρασης του ανθρώπου αποτελεί συνδετήριο κρίκο με τον εξωτερικό κόσμο μέσω της μεταφοράς εικόνων στον εγκέφαλο . Η ανάλυση / επεξεργασία και επιλεκτική αποθήκευση των εικόνων –πληροφοριών καθορίζει τη μαθησιακή διαδικασία**



**η ερμηνεία εξαρτάται απο τις ατομικές εμπειρίες και γνώσεις, τη διάθεση της στιγμής και τη ιδιοσυγκρασία**



**Η λειτουργία του οργανισμού συντονίζεται με την ρυθμική εναλλαγή ημέρας-νύχτας με τον φυσικό φωτισμό να έχει ρυθμιστικό ρόλο σε αυτόν τον κίρκαδιανό ρυθμό (βιολογικός ρυθμός με περίπου 24ωρη περίοδο).**

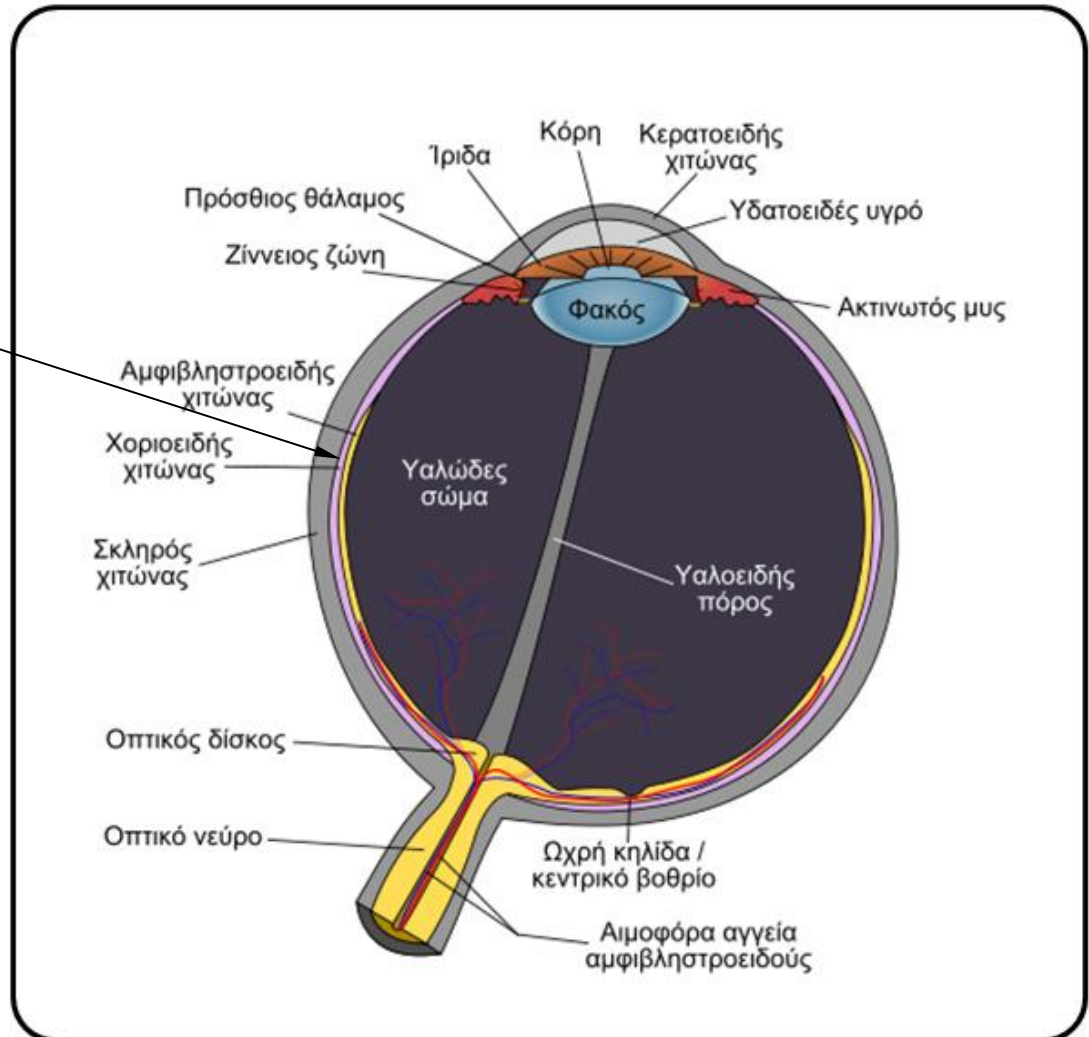
# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

**Το κύριο όργανο στην προαναφερθείσα διαδικασία είναι το μάτι**

**Στον αμφιβληστροειδή φτάνει ακτινοβολία με μήκη κύματος απο 380-950 nm**

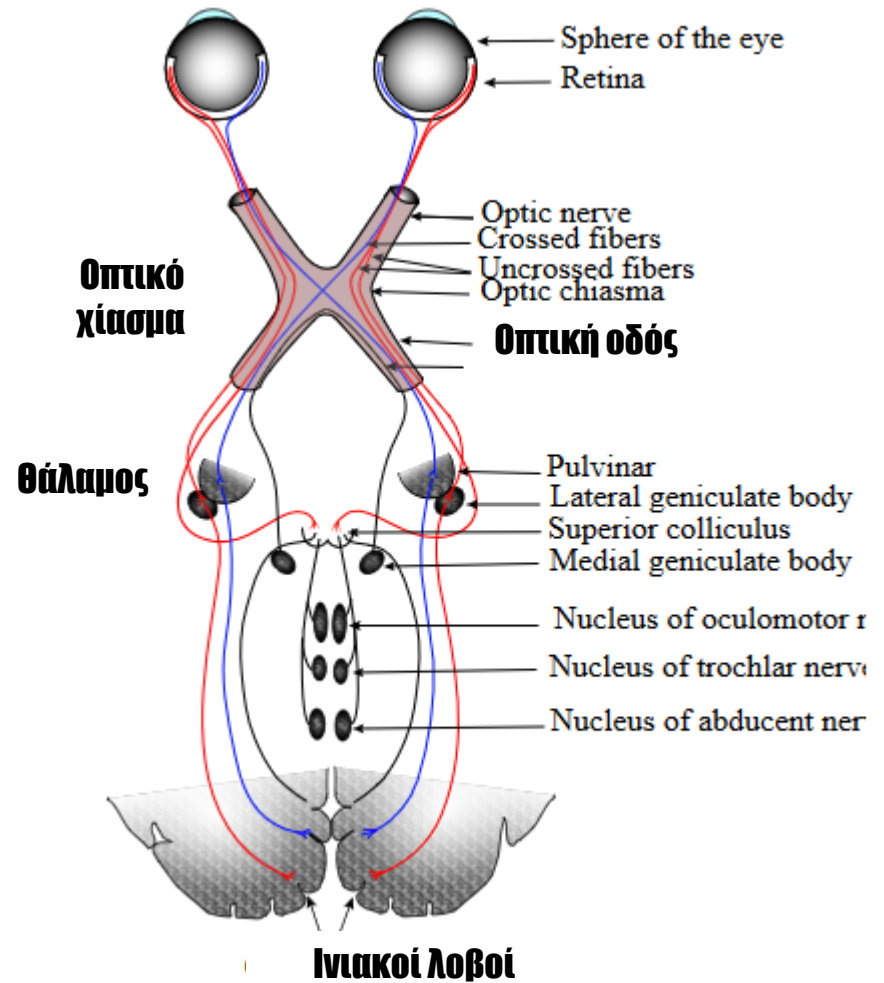
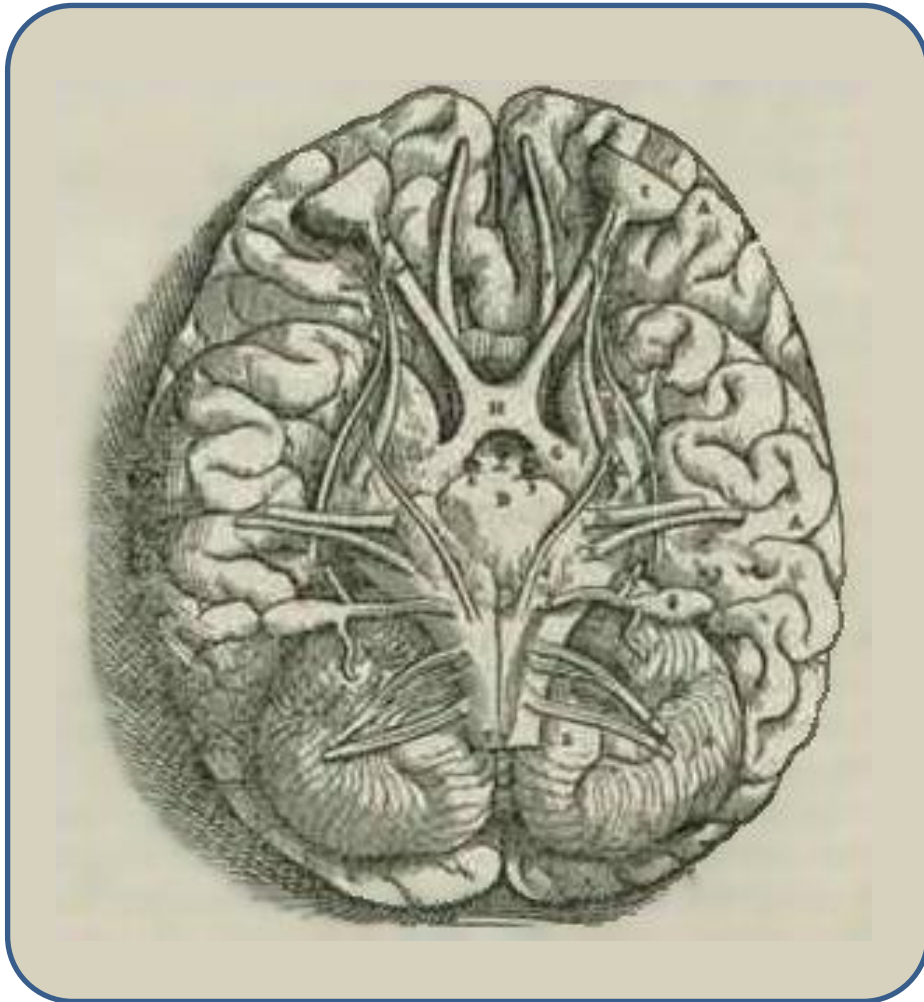
**Στο ορατό φάσμα η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος με την συνολική τιμή να κυμαίνεται μεταξύ 70-85%**

**Σε μεγάλες ηλικίες ο φακός κιτρινίζει, γεγονός που οδηγεί σε ελάτωση της διαπερατότητας σε όλα τα μήκη κύματος (ιδιαίτερα στα μικρά)**



# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η σύνδεση των ματιών με τον εγκέφαλο πραγματοποιείται σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα

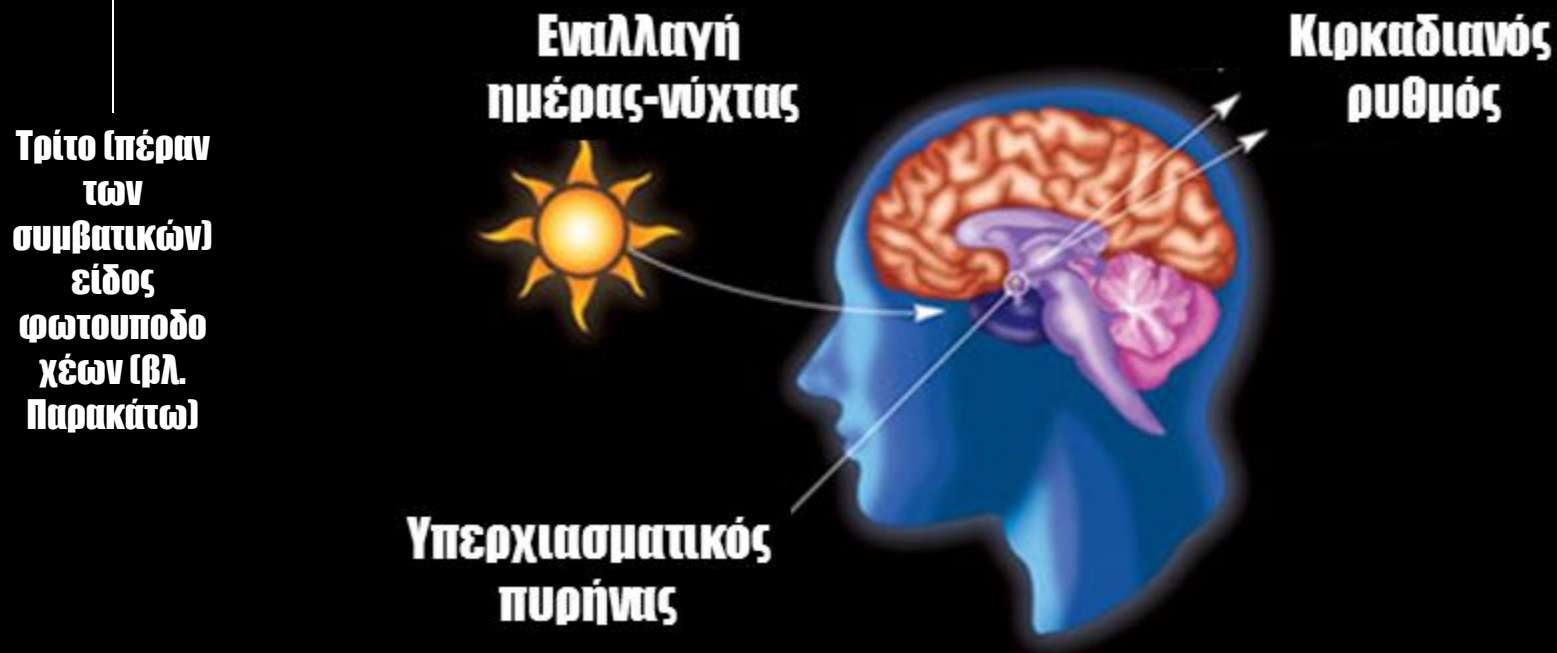


# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

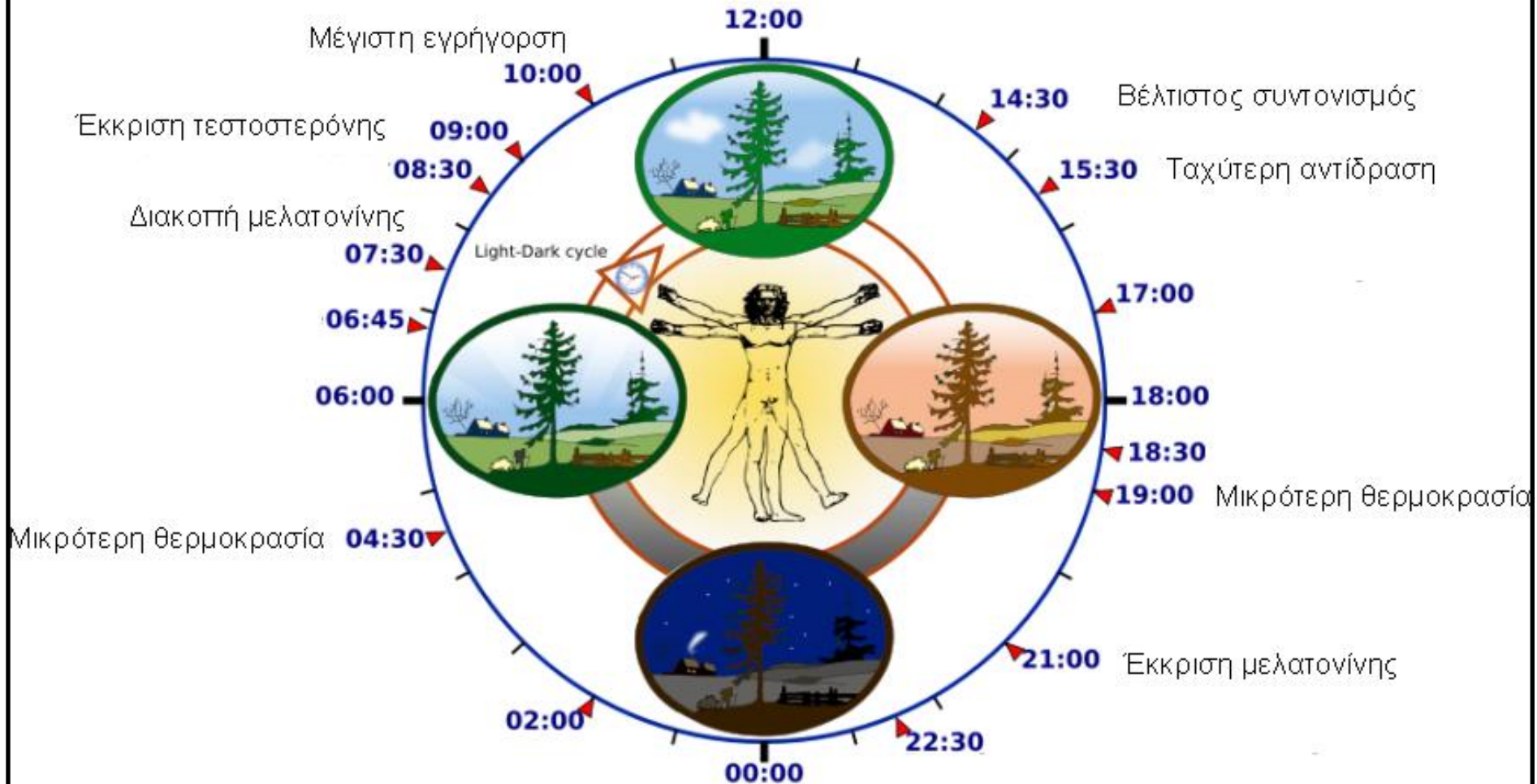
Τα μάτια επικοινωνούν με τον εγκέφαλο μέσω δύο οδών :

Α) Κωνία/ραδβία → οπτική οδός → Ινιακός λοβός (έγχρωμη όραση, καθορίζει την οπτική απόδοση, αντίληψη κίνησης ) και

Β) ipRGC → αμφιβλιστοειδουποθαλαμική οδός → υπερχιασματικός πυρήνας (επίσης με διαγωνατώδη σύνδεσμο, κοιλιακό πλάγιο προοπτικό πυρήνα, προτετραδυμική περιοχή ) → Βιολογικοί ρυθμοί, έκκριση ορμονών, κεντρικές λειτουργίες συγχρονισμού κλπ



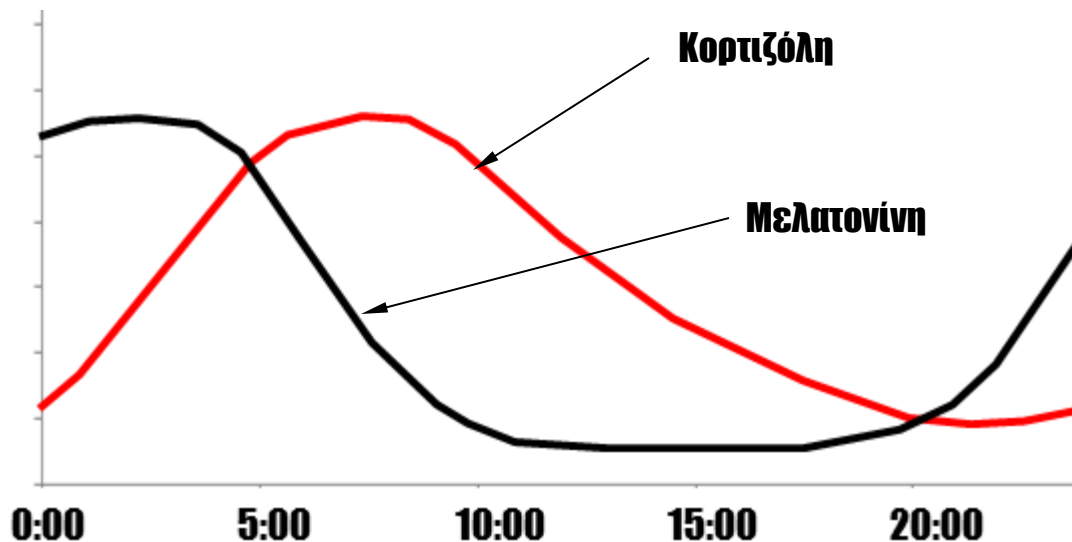
# ΚΙΡΚΑΔΙΑΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ



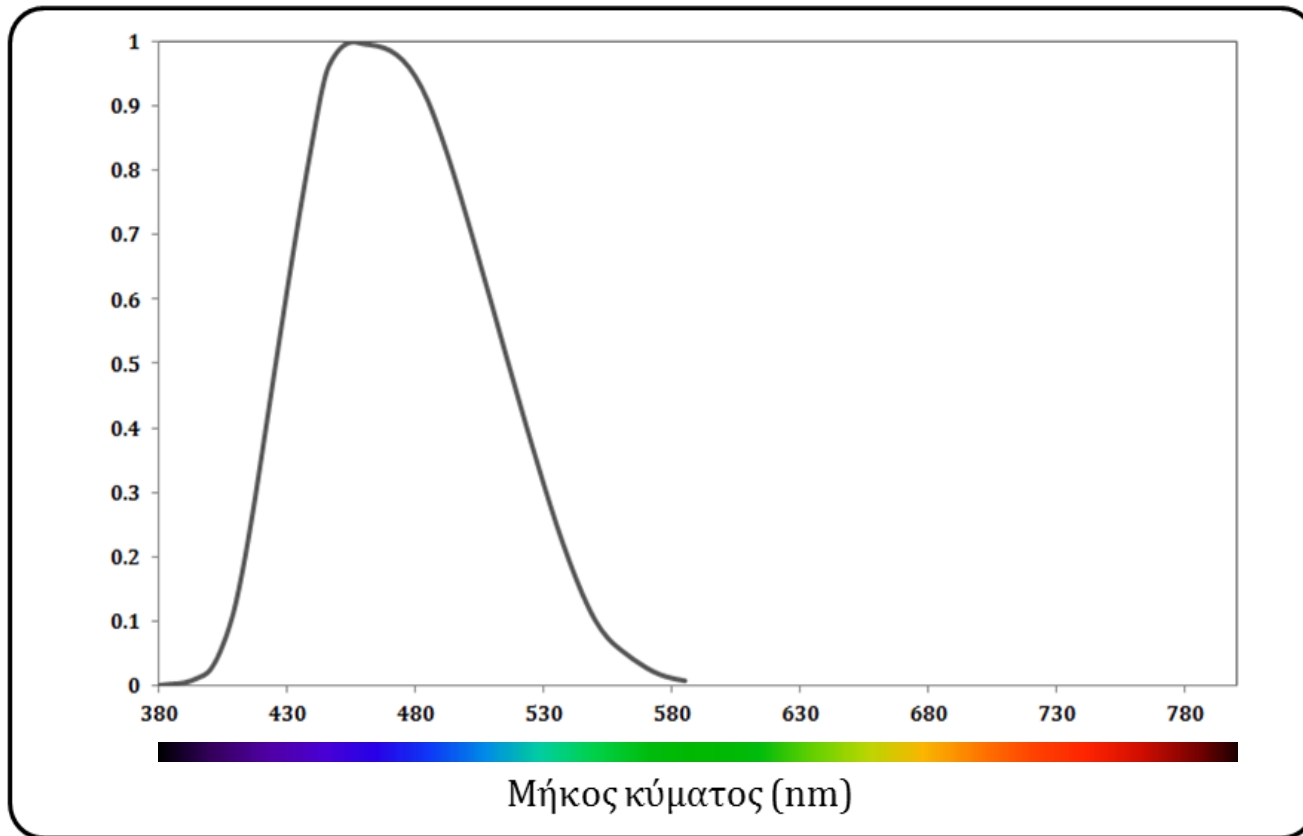
**ΕΤΣΙ....**

**Υπάρχουν επιδράσεις του φωτισμού στον ανθρώπινο οργανισμό που σχετίζονται τόσο με την οπτικό ερέθισμα (Per se) όπως η αντίληψη και εξαρτάται απο παραμέτρους όπως τα επίπεδα φωτισμού, οι αντιθέσεις κλπ**

**Όσο και με την επίπτωση στους βιολογικούς ρυθμούς, την εγρήγορση κλπ. Η συγκεκριμένη δεν οφείλεται μόνο στην ένταση του φωτισμού αλλά και στην φασματική του σύσταση (και στον σωστό χρονοισμό!). Τα τελευταία χρόνια πέραν των στρατηγικών για εξοικονόμηση ενέργειας προτείνονται συστήματα τα οποία μπορούν να μεταβάλλουν ταυτόχρονα την ένταση και την θερμοκρασία χρώματος των πηγών κατα τη διάρκεια της ημέρας (δυναμικός φωτισμός).**



**Πέραν των προαναφερθέντων φωτουποδοχέων (κλασικών κατά μια έννοια !) το 2002 οι Berson et al ανακάλυψαν ένα νέο τύπο γαγγλιακών κυττάρων (ipRGC) τα οποία αντιπροσωπεύουν 1-3% του συνόλου των γαγγλιακών κυττάρων και λειτουργούν λαμβάνοντας σήματα απο τα κωνία/ραβδία αλλά και αυτόνομα όταν το οπτικό σύστημα πάψει να λειτουργεί. Μέσω της αμφιβλιστοειδουποθαλαμικής οδού εικονιώνουν με τον υπεχιασματικό πυρήνα ο οποίος με τη σειρά του με την επίφυση με συνέπεια έκκριση μελατονίνης**



**Επίδραση στην έκκριση μελατονίνης, ακτινοβολία με συγκεκριμένο μήκος κύματος**



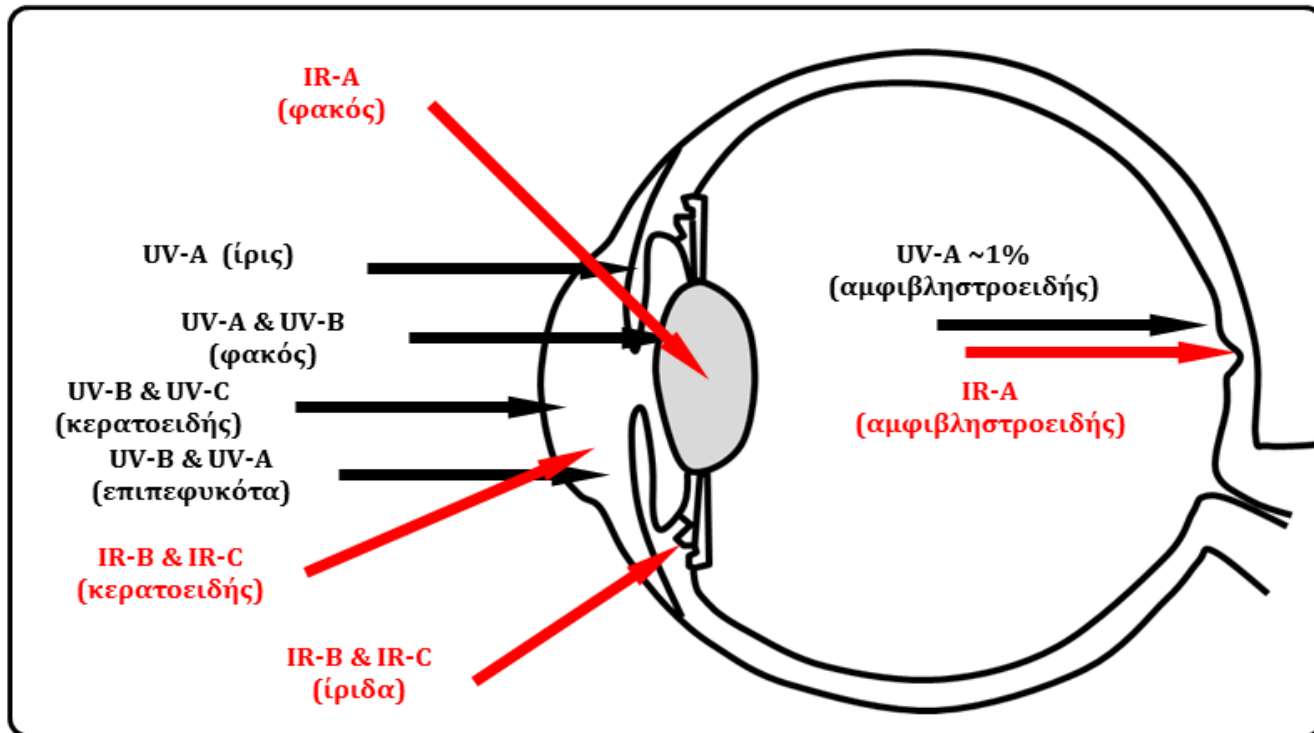


Προφανώς ο φυσικός φωτισμός (τόσο σε ένταση όσο και σε φασματικό περιεχόμενο) ταιριάζει στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Στις μέρες μας όμως η επέκταση των ωραρίων λειτουργίας και ο περιορισμός της «επαφής» με το εξωτερικό περιβάλλον αρχίζει να συμβάλλει σε ένα είδος βιολογικής απορύθμισης.

Μερικά συστήματα φωτισμού (έχει ήδη αναφερθεί ο όρος δυναμικός φωτισμός) μπορούν να παρέχουν αυξημένη ένταση και μεγάλη περιεκτικότητα σε μικρά μήκη κύματος (μπλε ) το πρωί μέχρι νωρίς το απόγευμα και μετά το φάσμα να αλλάζει με αύξηση των μεγάλων μηκών κύματος (κόκκινο). Αυτό γενικά οφείλεται στην ευρεία χρήση των LEDs

# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

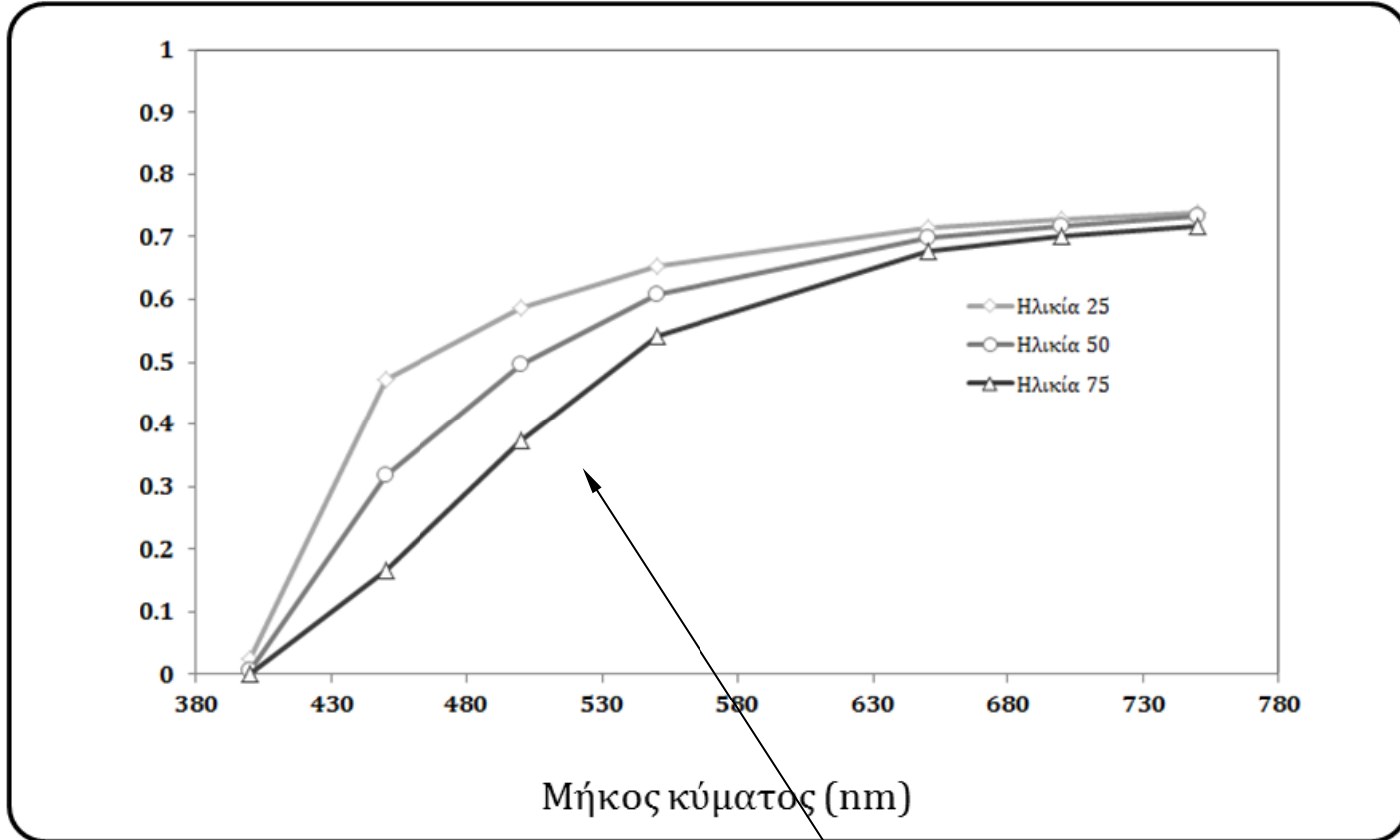
**Οι πηγές φωτισμού εκπέμπουν ταυτόχρονα υπεριώδη και υπέρυθρη ακτινοβολία πέραν του ορατού τμήματος του φάσματος. Φυσικά υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση ανα πηγή. Οι περιοχές απορρόφησης των UV & IR στο οπτικό σύστημα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.**



**Το πρότυπο EN 62471:2008, «Photobiological safety of lamps and lamp systems» σχετίζεται με την ασφάλεια στη χρήση διάφορων φωτεινών πηγών**

# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

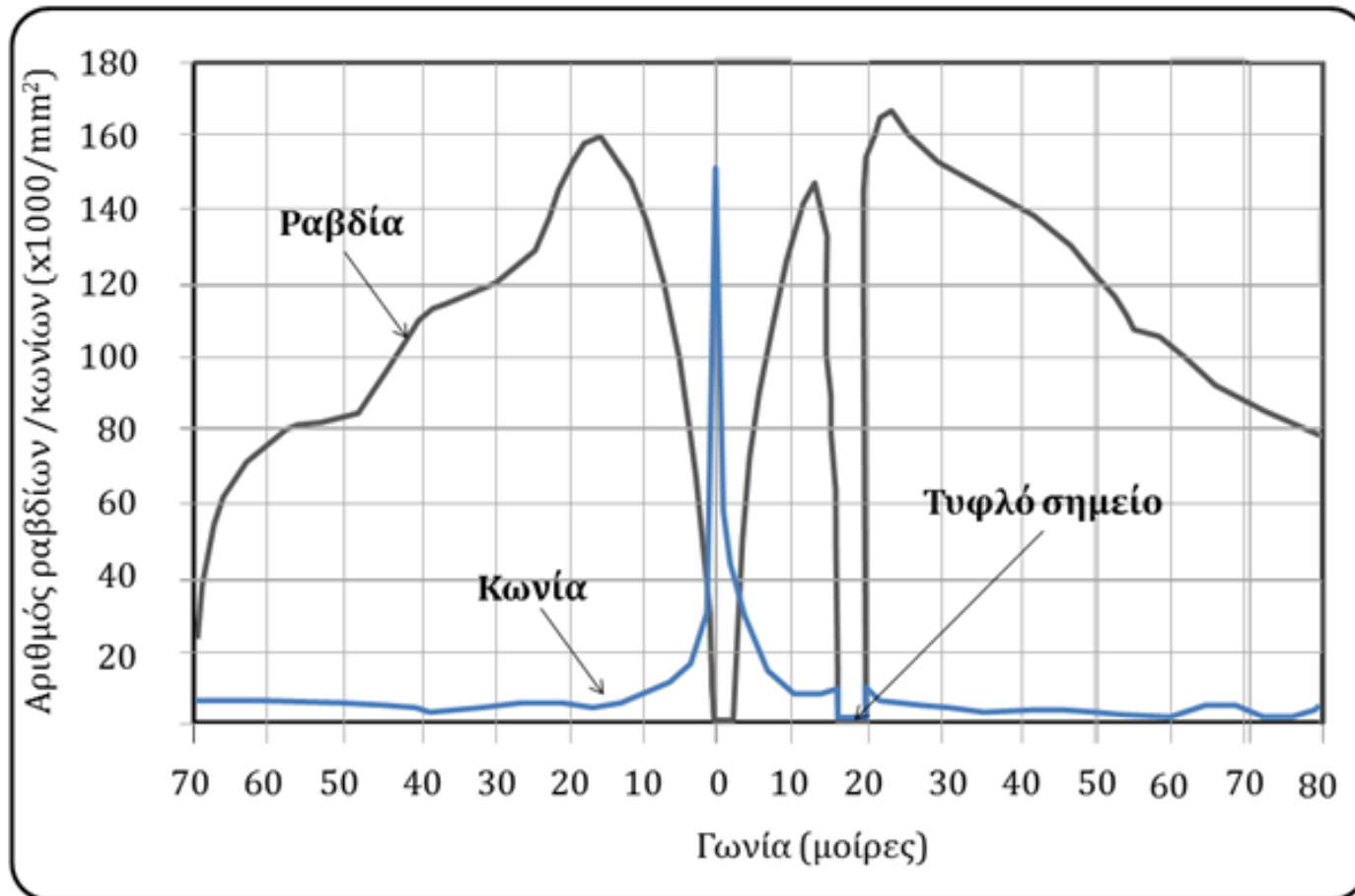
Η διαπερότητα του ματιού μειώνεται με τον χρόνο



**Μείωση διαπερατότητα στα μικρά μήκη κύματος (λόγω «κιτρινίσματος»)**

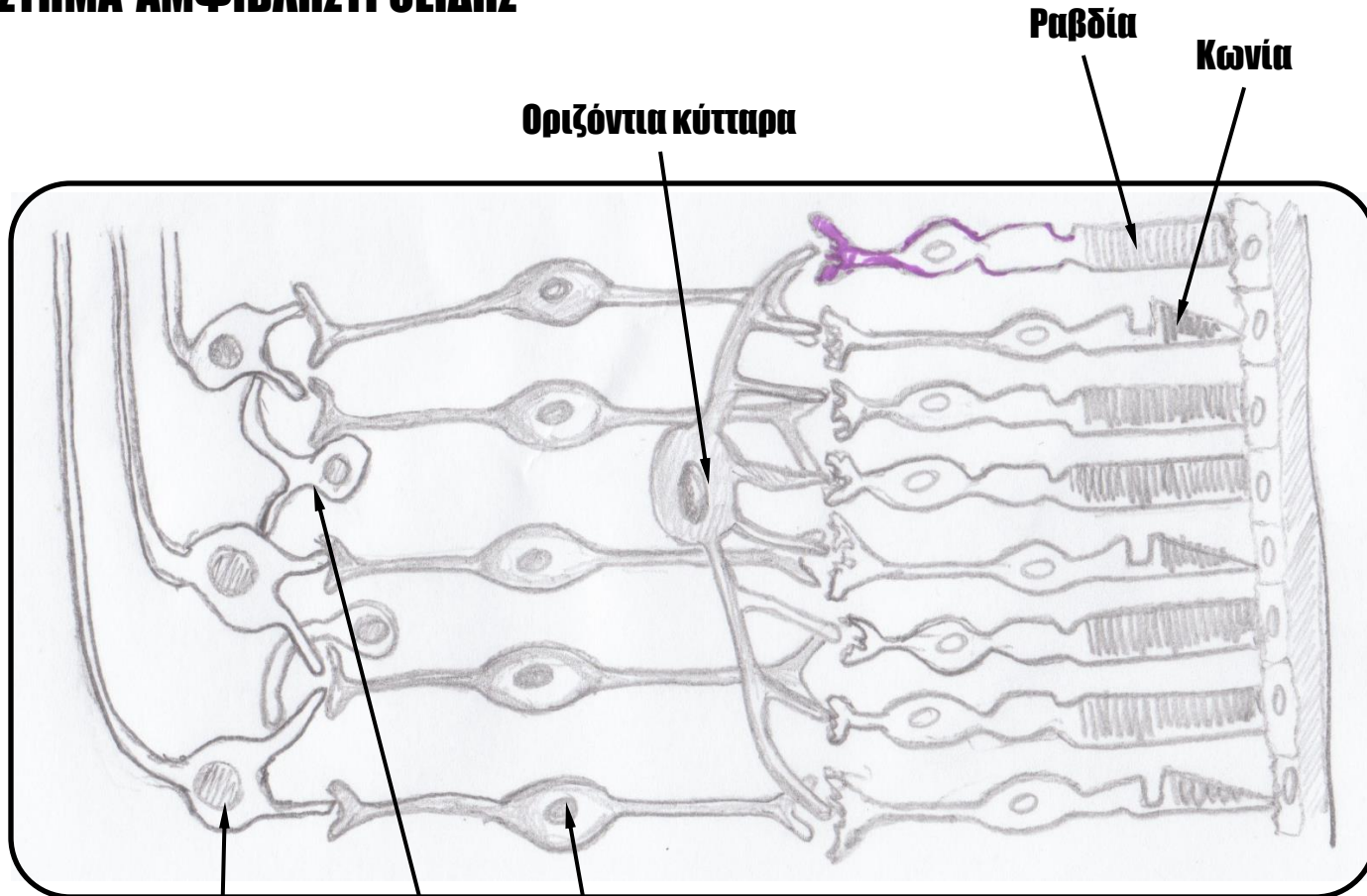
# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

**Ο αμφιβληστροειδής περιέχει δύο τύπους φωτουποδοχέων , τα κωνία (6-7 εκατομμύρια) και τα ραβδία ( ~110-125 εκατομμύρια). Η λειτουργία τους βασίζεται στη μετατροπή των φωτονίων που προσπίπτουν πάνω τους σε νευρικό ερέθισμα.**



**Κατανομή κωνίων και ραβδίων στον αμφιβληστροειδή**

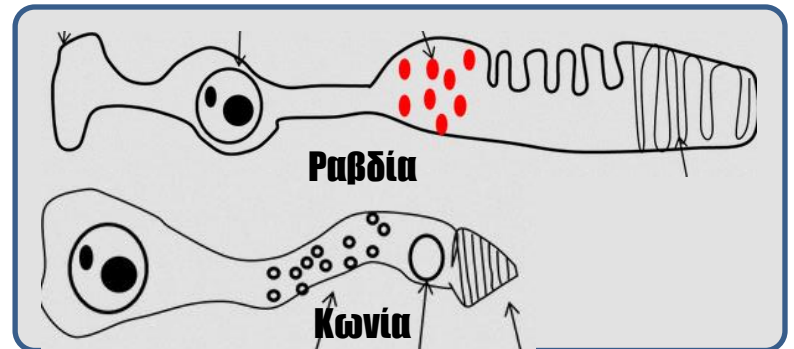
# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ-ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΗΣ



Αμακρινικά κύτταρα

Γαγγλιακά κύτταρα

Διπολικά κύτταρα



## ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ποιά είναι η ανάλυση του ματιού;



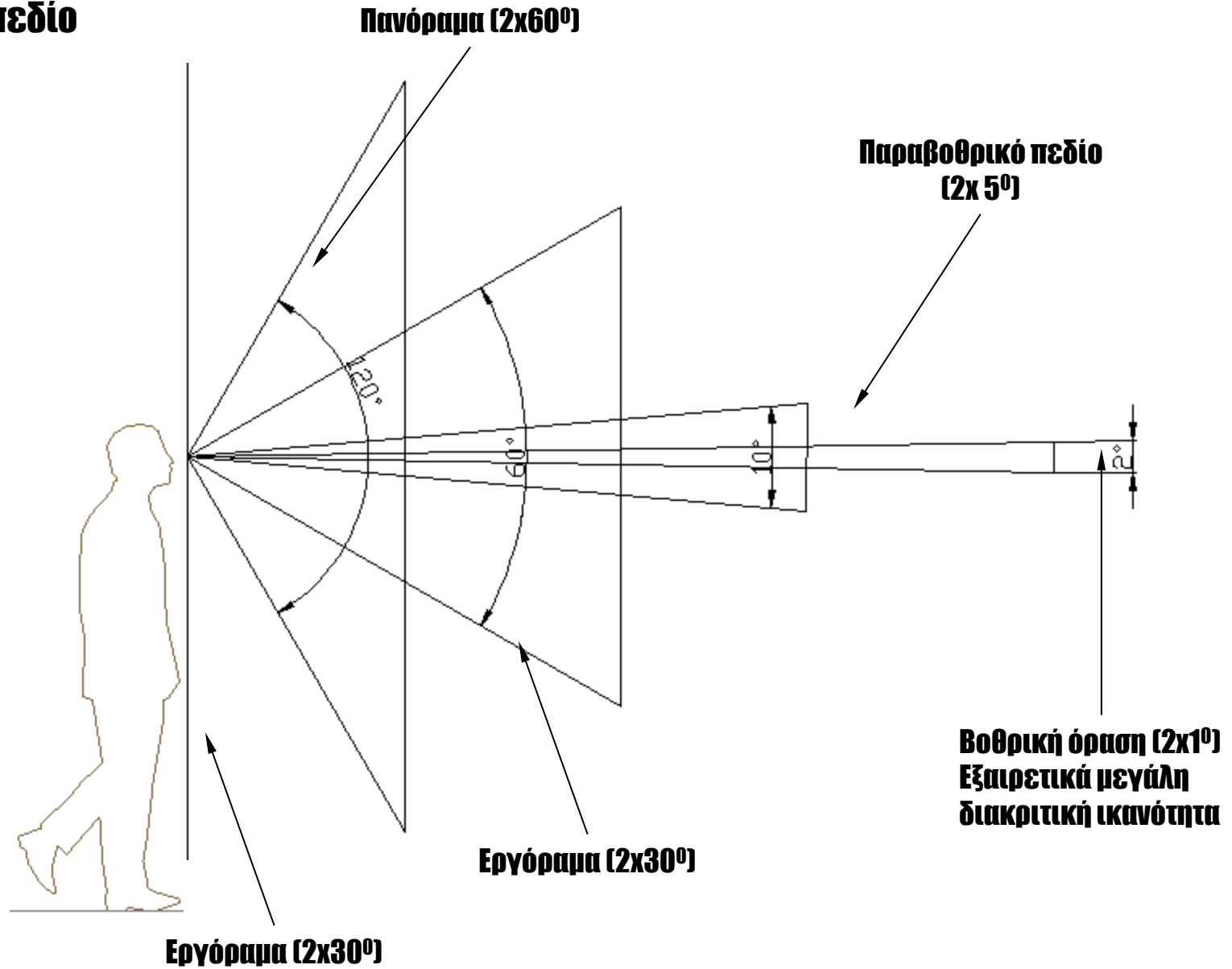
Με οπτικό πεδίο ( $120^{\circ} \times 120^{\circ}$  συντηρητική εκτίμηση) η ανάλυση είναι περίπου

# 576 Megapixels

(στο μάτι έχουμε 1 pixel ανα 0.3')

# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

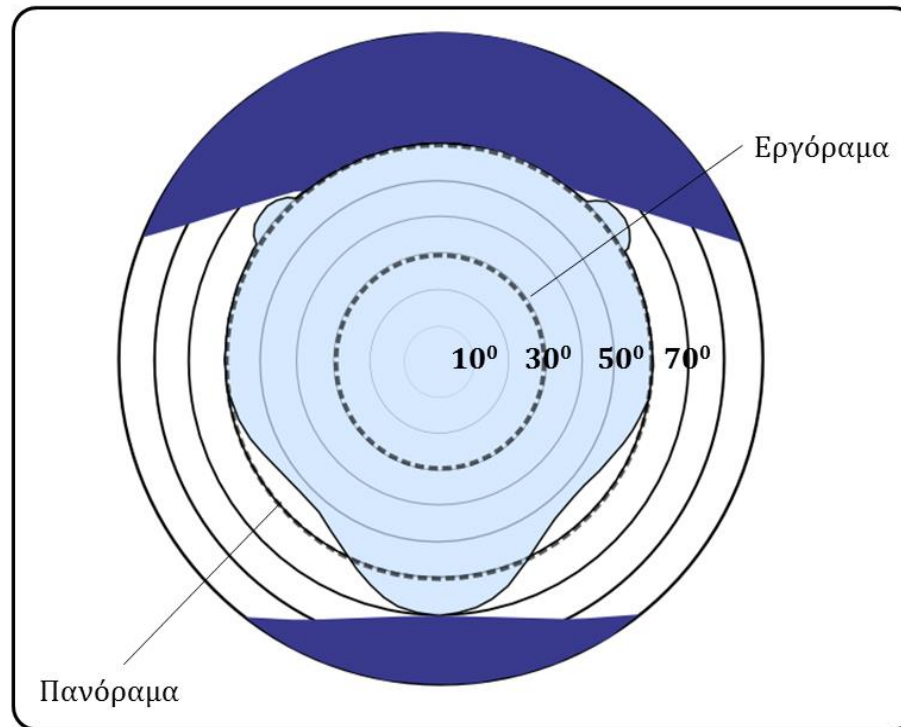
## Οπτικό πεδίο



# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

## Οπτικό πεδίο

Οι περιοχές του αντικείμενου εργασίας (κεντρική/βοθρική foveal vision) , του εγγύος περιβάλλοντος (κώνος  $60^\circ$  (ergorama)) και του υπόβαθρου (κώνος  $120^\circ$  (panorama)) παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα

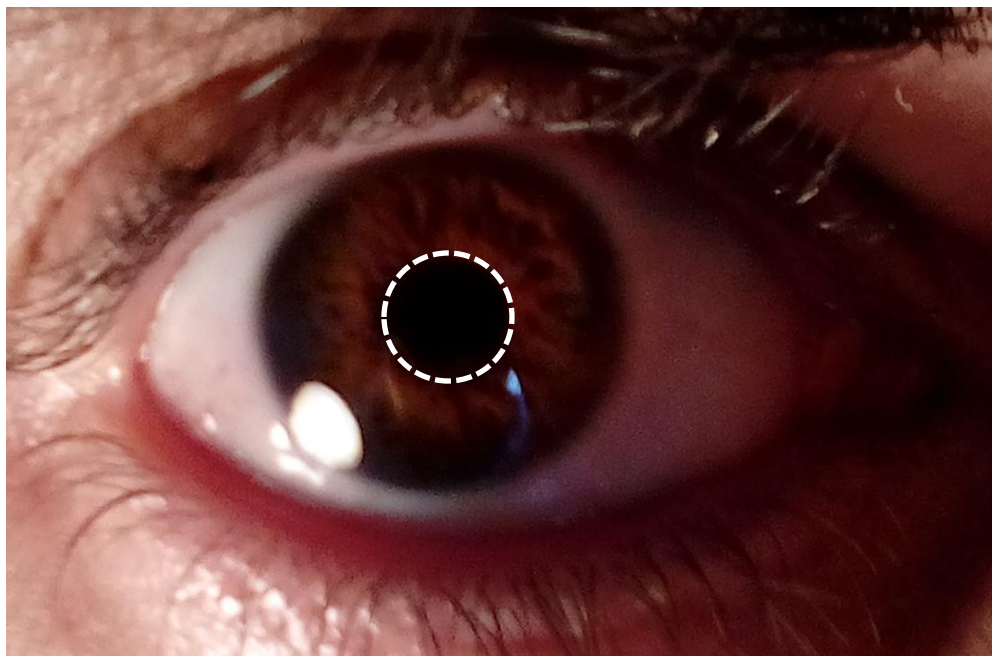


Για την αποφυγή δημιουργίας δύο εικόνων ο εγκέφαλος συνενώνει τις δύο εικόνες σε μία. Η διόφθαλμη όραση διευρύνει το οπτικό πεδίο κατά την οριζόντια διεύθυνση και δημιουργεί την αίσθηση του βάθους (στερεοσκοπική όραση).



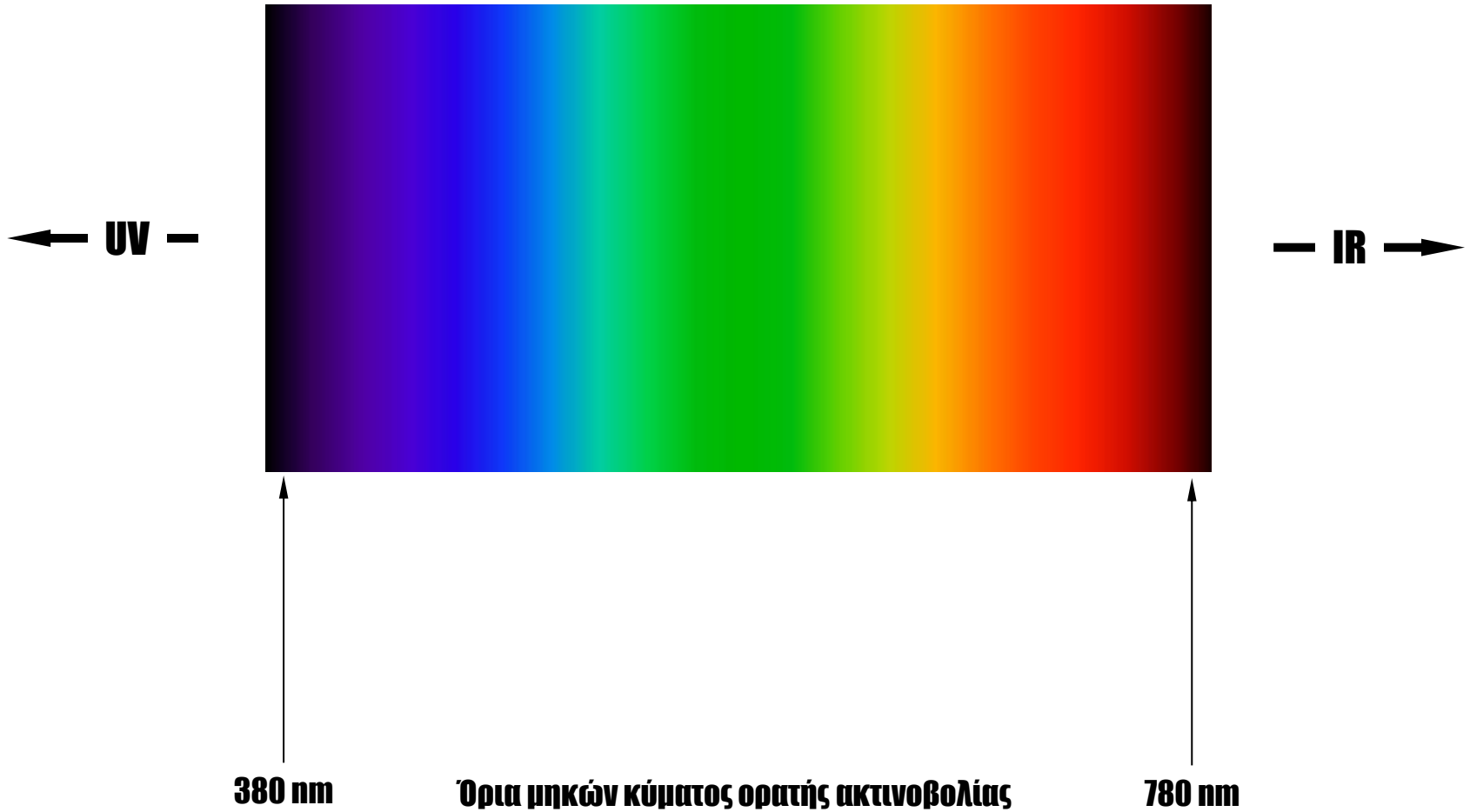
# ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

## Λειτουργία

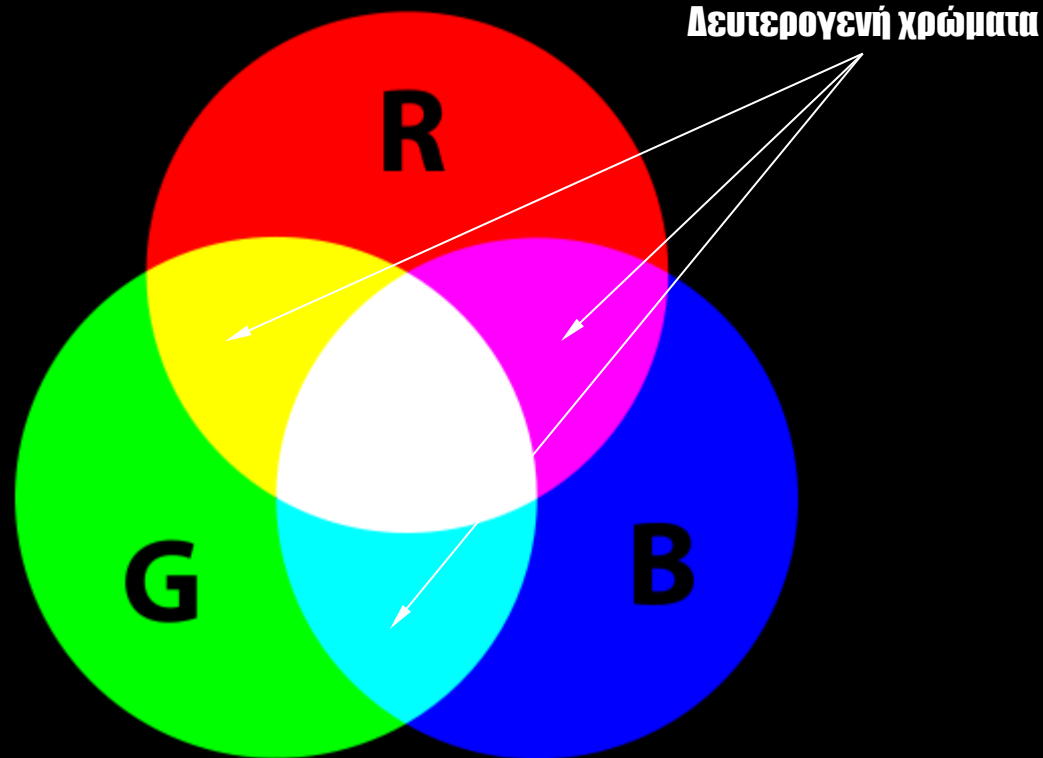


Η διάμετρος της κόρης μεταβάλλεται μεταξύ 2-8 μμ. Με δεδομένη τη συγκεκριμένη μεταβολή θα έπρεπε θεωρητικά η φωτεινή ροή που περνά από την ίριδα να παρουσιάζει εύρος τιμών  $\sim 16/1$ . Επειδή η ευαισθησία του ματιού μεταβάλλεται με τη γωνία πρόσπτωσης ο προαναφερθείς λόγος τροποποιείται  $10/1$ . Στην πράξη όμως το εύρος τιμών είναι  $\sim 1000/1$  (με ακραία τιμή την  $10000/1$ ) σε κάποια κατάσταση προσαρμογής. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μόνο με τη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης δεν μπορεί να εξηγηθεί η προσαρμογή του ματιού στις επικρατούσες κάθε φορά.

**Η ιδιότητα που «δίνει» στο φως χρώμα δεν είναι άλλη απο τη φασματική κατανομή της ισχύος του.**

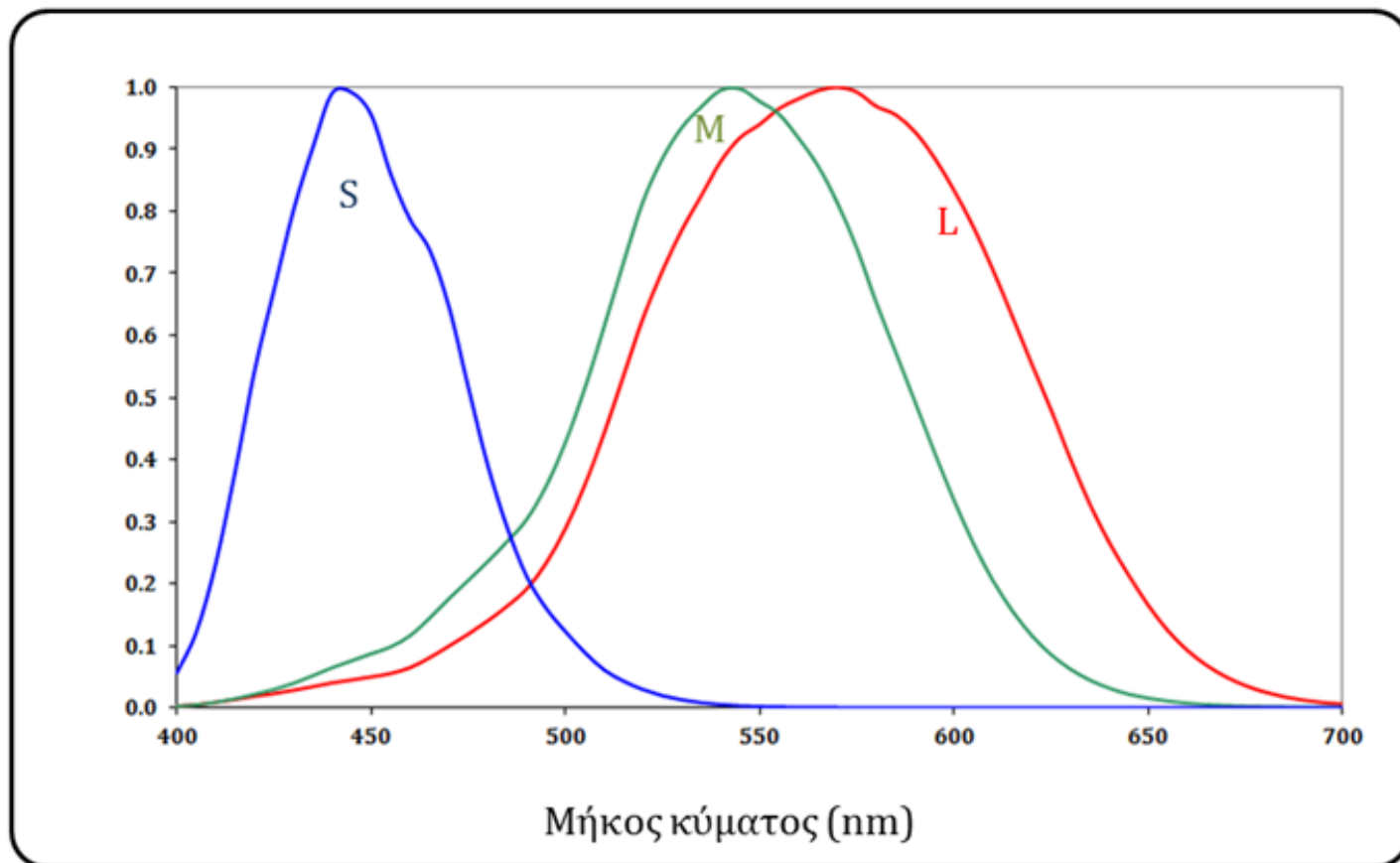


Η ανάμιξη μονοχρωματικού φωτός διαφορετικών μηκών κύματος μπορεί να παράξει λευκό φως (additive mixing). Τα πρωταρχικά χρώματα είναι τα **ΚΟΚΚΙΝΟ** **πράσινο** **μπλε** ενώ η ανάμιξη αυτών δημιουργεί δευτερογενή χρώματα.



Τα πρωταρχικά χρώματα δεν είναι γνώρισμα/ιδιότητα του φωτός αλλά σχετίζονται με την απόκριση του ματιού στην ορατή ακτινοβολία (βλ. παρακάτω)

**Ενώ τα ραβδία αποτελούνται από μόνο ένα είδος, τα κωνία ανάλογα με την χρωστική που χρησιμοποιούν εμφανίζουν μέγιστη απορρόφηση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Διαχωρίζονται στις υποκατηγορίες S, M και L ανάλογα με το μήκος κύματος που εμφανίζεται η μέγιστη απορρόφηση (Short, Medium, Long wavelength)**

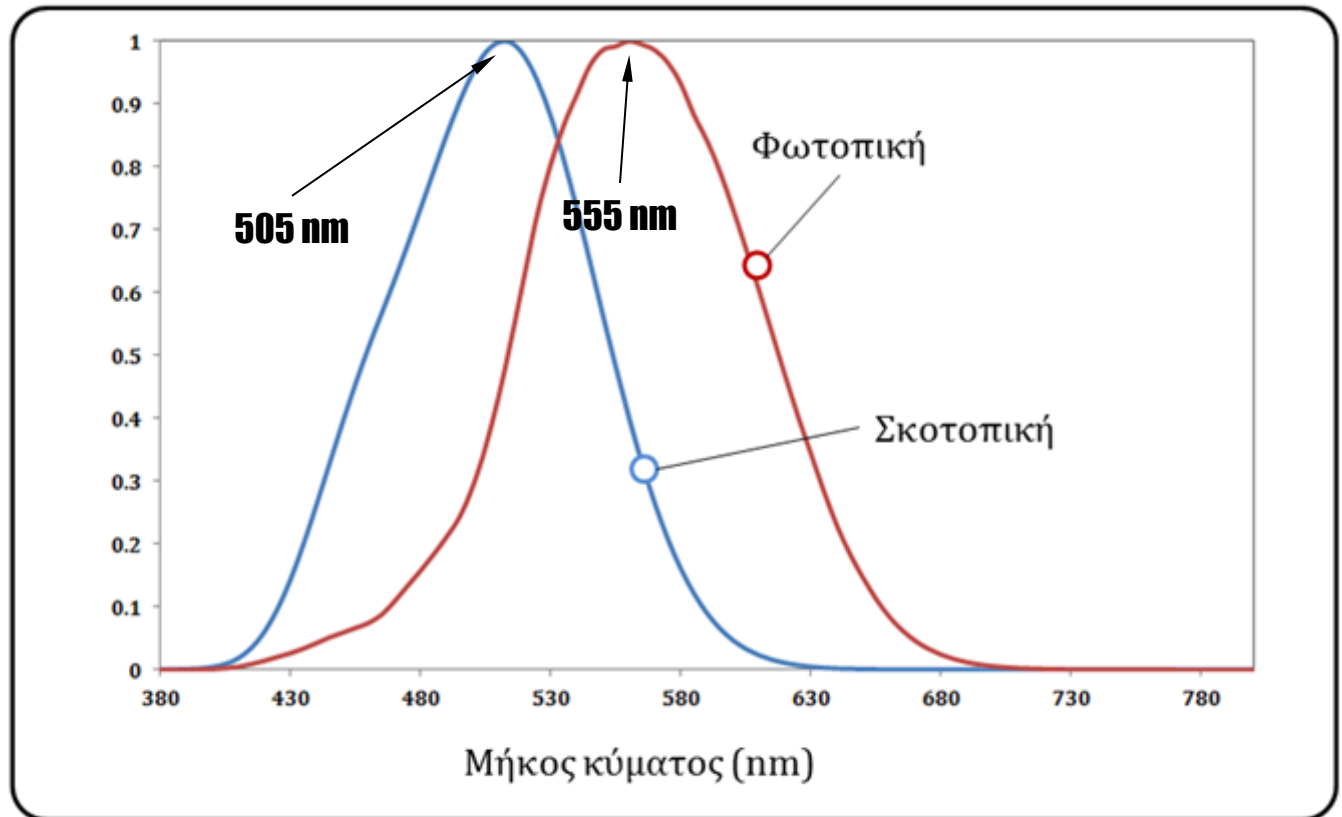


**Καμπύλες φασματικής ευαισθησίας των υποδοχέων S,M και L**

**Ο αριθμός των L κωνίων υπερτερεί με τον λόγο L/M/S να κυμαίνεται μεταξύ 12/6/1 και 40/20/1**

**Το ανθρώπινο σύστημα όρασης δεν εμφανίζει την ίδια ευαισθησία σε όλα τα μήκη κύματος. Όταν δύο φωτεινές πηγές εκπέμπουν φως στο ίδιο μήκος κύματος αλλά εμφανίζουν διαφορετική λαμπρότητα (αντικειμενικό μέγεθος) τότε εμφανίζουν διαφορετική φωτεινότητα (υποκειμενικό μέγεθος).**

**Μελετώντας την ισοδύναμη φωτεινότητα για διάφορα ζεύγη μηκών κύματος είναι δυνατόν να εκφραστεί η ευαισθησία του οπτικού μας συστήματος σε κάθε μήκος κύματος σε σχέση με το μήκος κύματος που παρουσιάζεται η μέγιστη ευαισθησία**



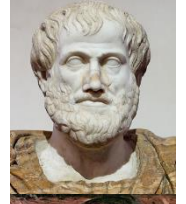
**Υπάρχει και μια ενδιαμέση κατάσταση που ονομάζεται μεσοπική**

**Φωτοπική και σκοτοπική φασματική καμπύλη ευαισθησίας (κανονικοποιημένες δηλ. με μέγιστο 1)**

# ΟΡΑΣΗ

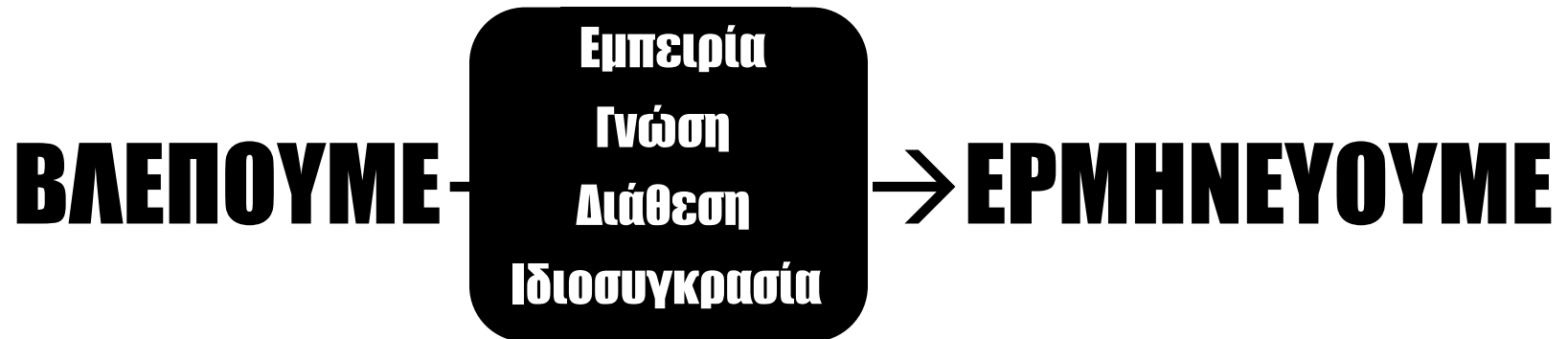
**Έχουν προταθεί αρκετές θεωρίες για την όραση.**

- 1. Κατα τον Πλάτωνα (Τιμαίος) η όραση οφειλόταν στην ένωση «φωτιάς» που εκπέμπεται από τα μάτια και σε αυτή που υπάρχει στον εξωτερικό κόσμο (ήλιος). Ο Πλάτωνας θεωρούσε ότι ο φως προέρχεται μεν από τον ήλιο, τα χρώματα όμως αποτελούν ιδιότητα των αντικειμένων**
- 2. Επειδή δεν μπορούμε να δούμε το βράδυ, ο Αριστοτέλης εισάγει την ιδέα ότι η όραση οφείλεται σε κάποιου είδους κίνησης του μέσου που διαχωρίζει το μάτι από το αντικείμενο.**
- 3. Εκπομπή ακτίνων από το μάτι (Ευκλείδης)**
- 4. Ο Ibn al-Haytham (965-1040) ενοποίησε τις παρατηρήσεις του Αριστοτέλη (μαζί με το φιλοσοφικό υπόβαθρο), τη μαθηματική μεθοδολογία του Ευκλείδη (ακτίνες) και τις ανατομικές γνώσεις του Γαληνού.**
- 5. Η ιδέα ότι «φως» εκπέμποταν από τα μάτια άντεξε ~ 2000 χρόνια μέχρι το 1604, όταν ο Kepler παρουσίασε τον σχηματισμό εικόνας στον αμφιβληστροειδή.**



# ΑΝΤΙΛΗΨΗ

Τα προαναφερθέντα σχετίζονται με το βιολογικό υπόβαθρο της όρασης χωρίς να αναφερθούν στην διαδικασία επεξεργασίας των οπτικών πληροφοριών η οποία οδηγεί και στην ερμηνεία του ορατού περιβάλλοντος (οπτική αντίληψη). Συνεπώς η διαδρομή από το εξωτερικό ερέθισμα, στην αποτύπωση, στην μεταβίβαση, στην καταγραφή και στο τέλος στην ανάλυση αποτελεί ένα μηχανισμό στατικής λειτουργίας της αντίληψης, παραστατικό όμως όσον αφορά τα στάδια που τον απαρτίζουν.



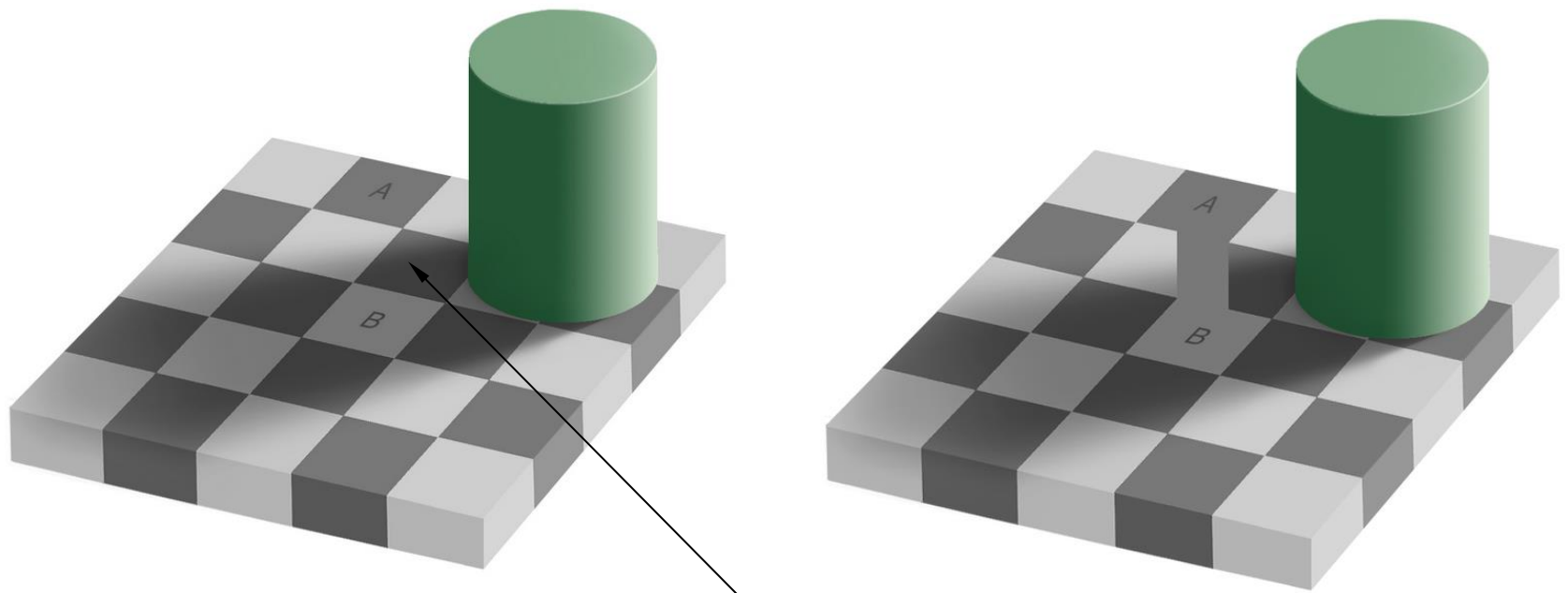
# **ΑΝΤΙΛΗΨΗ**

**Σύμφωνα με τον von Helmholtz λόγω της περιορισμένης απόδοσης του ματιού (οπτικά) θα πρέπει η όραση να βασίζεται σε υποθέσεις που κάνουμε με χρήση αποσπασματικής πληροφορίας και προηγούμενες εμπειρίες.**

**Π.χ. Ο φωτισμός έχει κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω και έτσι ερμηνεύεται ο διαχωρισμός σε πάνω-κάτω μέρος των αντικειμένων.**

**Η εξέταση οπτικών ψευδαισθήσεων μπορεί να φανερώσει τις προαναφερθείσες υποθέσεις.**





**Η ύπαρξη της σκιάς  
είναι καθοριστική για  
την ερμηνεία  
(λανθασμένη !)**

**Αν και τα τετράγωνα A & B φαίνονται διαφορετικά , είναι ίδια  
(Ψευδαίσθηση Adelsson)**

# **ΑΝΤΙΛΗΨΗ**

**Απο τις πλέον γνωστές θεωρίες για την οπτική αντίληψη είναι η θεωρία Gestalt.**

**Ήταν κίνημα πειραματικής ψυχολογίας, 1920 , απο τους E. Mach, J. W. von Goethe, M. Wertheimer, K. Koffka , K. Lewin κα) θεωρεί οτι η αντίληψη των οπτικών πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω οργανωμένων μορφών/δομών και οχι σαν άθροισμα επιμέρους συστατικών**

**Η θεωρία εστιάζεται στην ομαδοποίηση τους περιγράφοντας νόμους και αρχές που τη διέπουν (συμμετρίας, ομοιότητας, συμπλήρωσης , γειτνίασης, συνέχειας).**

**Άλλες θεωρίες για την οπτική αντίληψη είναι :**

- η στρουκτουραλιστική προσέγγιση που βασίζεται στην μελέτη των αισθητηριακών εμπειριών μέσω της ενδοσκόπησης.**
- Η υπολογιστική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων για την διεργασιών που σχετίζονται με την όραση. Δηλ. δεν περιγράφει απλώς (Gestalt)**

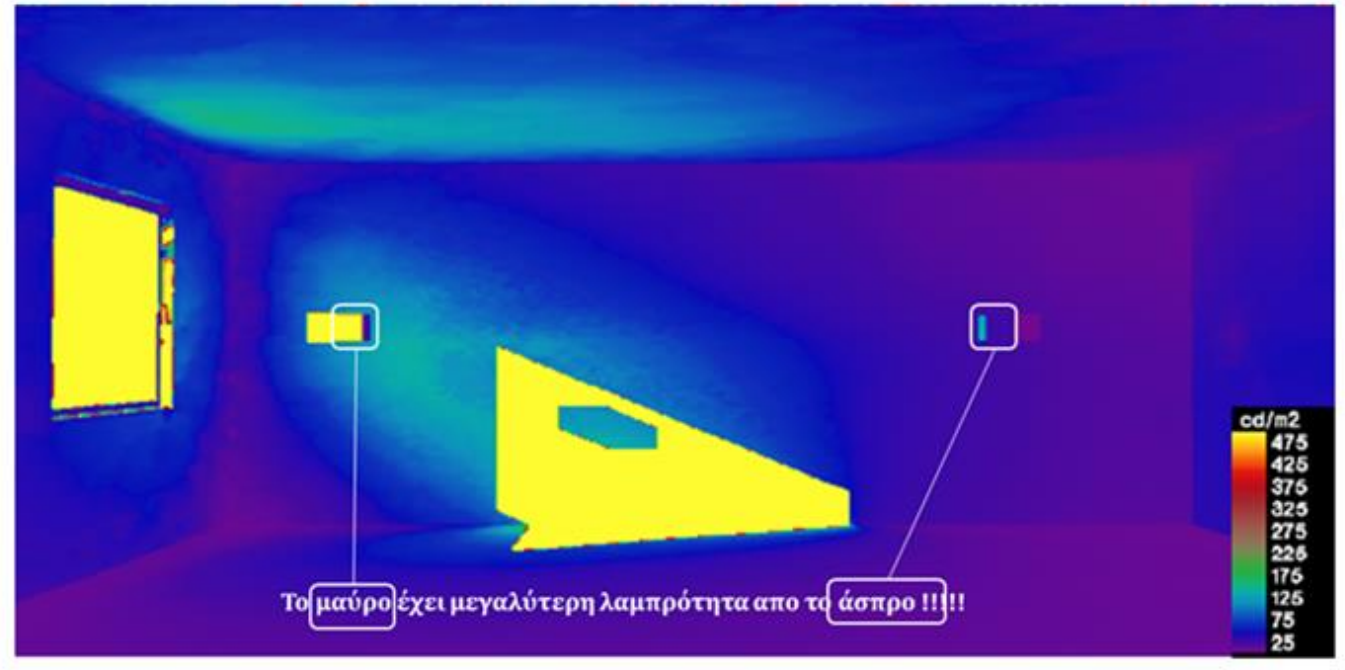
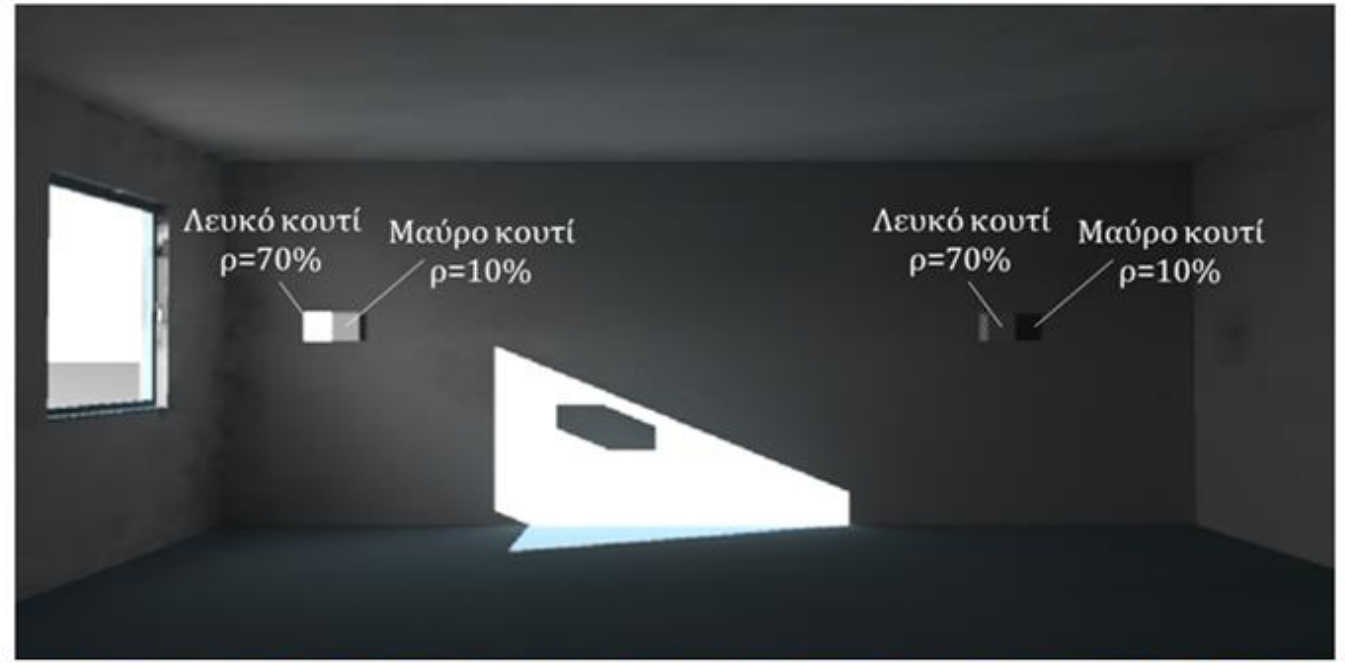
# ΑΝΤΙΛΗΨΗ

**Με βάση τα προαναφερθέντα και το γεγονός ότι ζούμε σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον (τουλάχιστον οπτικά) είναι απορίας άξιο πως ο αντιληπτός κόσμος είναι τόσο «σταθερός». Η ύπαρξη αυτής της σταθερότητας είναι εξαιρετικά χρήσιμη στις καθημερινές μας δραστηριότητες. Ειδικά για τον φωτισμό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει :**

- **η σταθερότητα που αφορά την αντίληψη της ανακλαστικότητας (lightness constancy) και**
- **Η σταθερότητα του χρώματος (color constancy).**

# ΑΝΤΙΛΗΨΗ

Παρά το γεγονός ότι η λαμπρότητα της μαύρης επιφάνειας που εκτίθεται στο ηλιακό φως είναι μεγαλύτερη από αυτή τη λευκής που βρίσκεται στη σκιά, όταν συγκρίνονται μεταξύ τους διατηρείται η αίσθηση ότι η λευκή επιφάνεια έχει μεγαλύτερη ανακλαστικότητα.



# ΑΝΤΙΛΗΨΗ

**Η ικανότητα να αντιλαμβανόμαστε σαν σχεδόν ίδια την απόχρωση δύο όμοιων χρωματικά επιφανειών που φωτίζονται όμως από διαφορετική πηγή φωτισμού (δηλ. διαφορετικής φασματικής σύστασης) λέγεται χρωματική σταθερότητα. Αν και η εκτίμηση της απόχρωσης διατηρείται, μια αλλαγή στην αντίληψη της ανακλαστικότητας (lightness) υπάρχει. Δηλ. χρώματα που είναι κοντύτερα στο χρώμα της πηγής αντιλαμβάνονται ως πιο «ανοιχτά».**



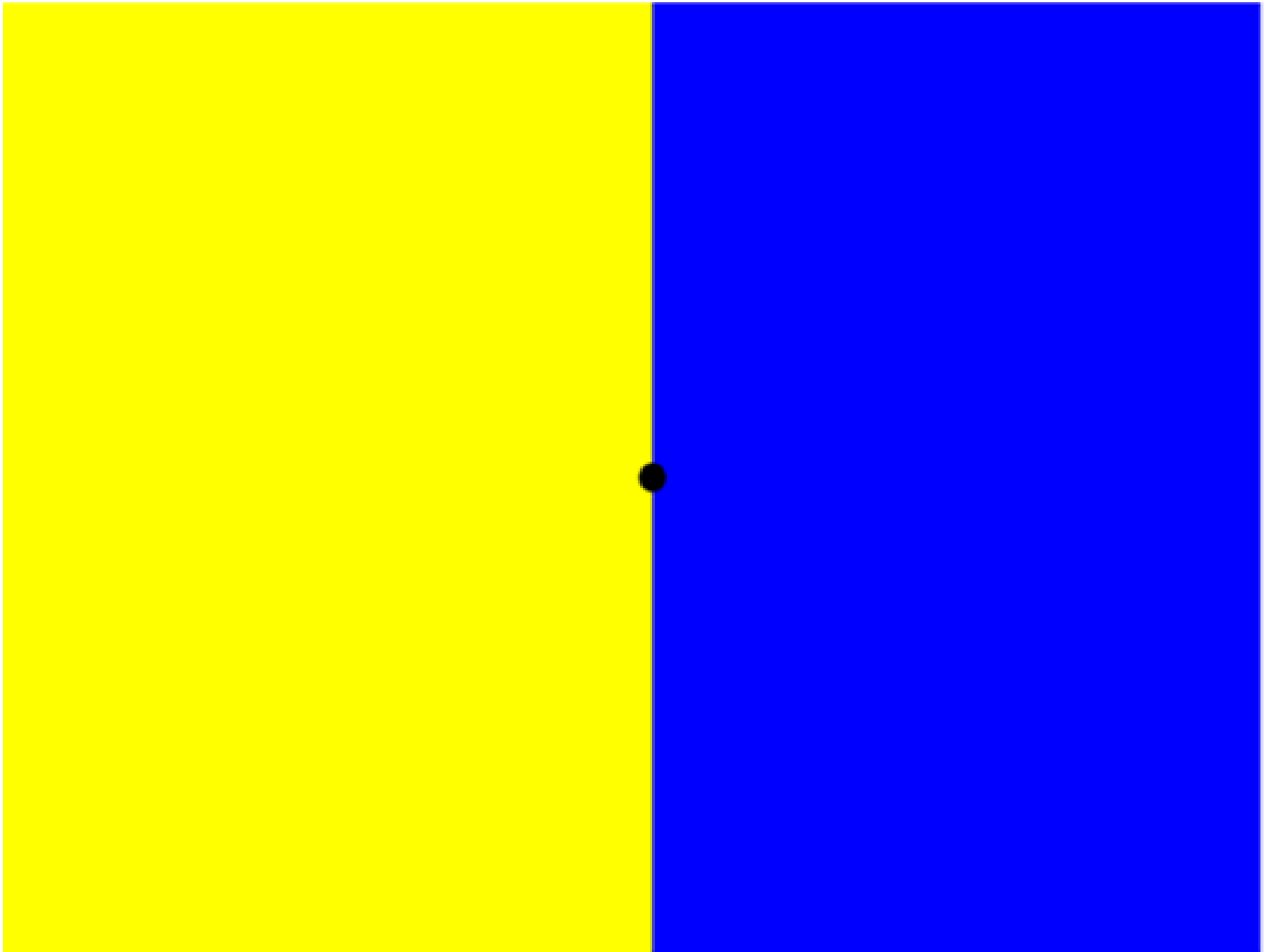
# **ΑΝΤΙΛΗΨΗ**

**Η χρωματική προσαρμογή διευκολύνει/υποβοηθά την χρωματική σταθερότητα. Με την χρωματική προσαρμογή το οπτικό σύστημα αντισταθμίζει το χρώμα που επικρατεί στο πεδίο παρατήρησης (μειώνοντας την ευαισθησία στα κωνία που σχετίζονται με αυτό το χρώμα). Κλασσικό παράδειγμα της μείωσης αυτής είναι το παρακάτω παράδειγμα**

**Κοιτάξτε πρώτα το κέντρο της μεθεπόμενης εικόνας για 30 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια το κέντρο της επόμενης. Θα αντιληφθείτε ότι η διαφορετικότητα στο χρώμα της αριστερής εικόνας εξαφανίζεται (για λίγο!).**



# ΑΝΤΙΛΗΨΗ





## **Χρωματικές θεωρίες**

**Η θεωρία Young- Helmholtz άρχισε με την πρόταση του Young ότι η χρωματική αντίληψη οφείλεται σε τρία είδη φωτουποδοχέων και αργότερα ο Helmholtz παρατήρησε ότι χρειάζονται μόνο τρία μήκη κύματος για να δημιουργηθούν διάφορα χρώματα. Αν και η πρόταση για τα τρία είδη φωτουποδοχέων είναι σωστή, η πρόταση της μετάδοσης απο το οπτικό σύστημα στον εγκέφαλο τριών –διαφορετικών χρωματικά- εικόνων απεδείχθη ανεπαρκής. Εξηγεί τον διαχωρισμό των χρωμάτων στον αμφιβληστροειδή .**

**Η θεωρία των ανταγωνιστικών χρωματικών διεργασιών (Hering's Opponent-Colors Theory) προέκυψε μετά απο την παρατήρηση ότι δεν είναι δυνατή η αντίληψη του συνδυασμού των χρωμάτων κόκκινο-πράσινο και κίτρινο-μπλέ.**

**Ετσι προτείνονται τρία «κανάλια»/μηχανισμοί μετάδοσης της χρωματικής πληροφορίας**

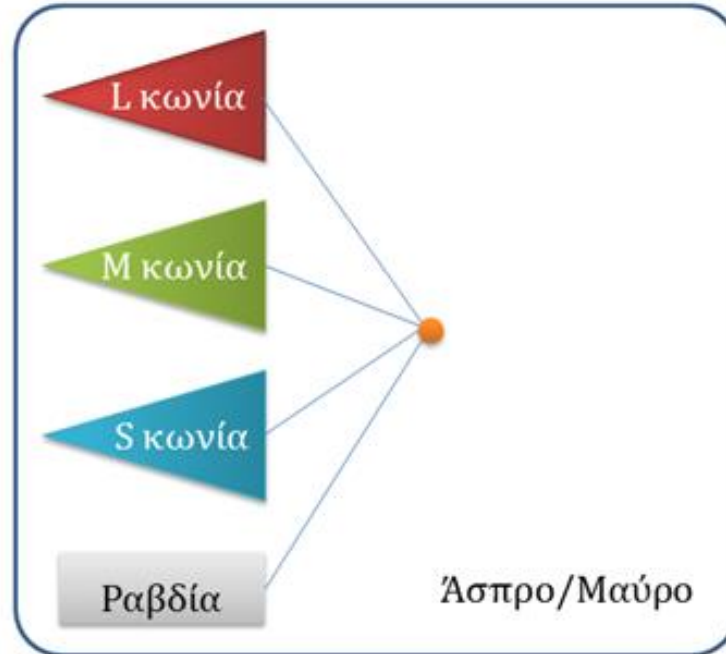
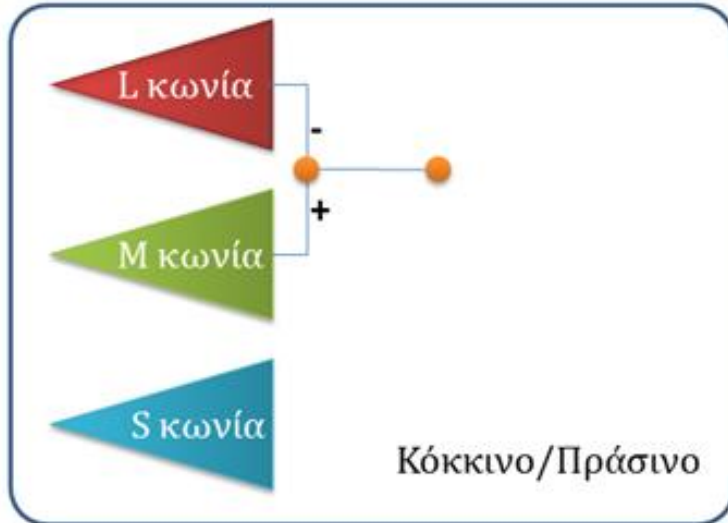
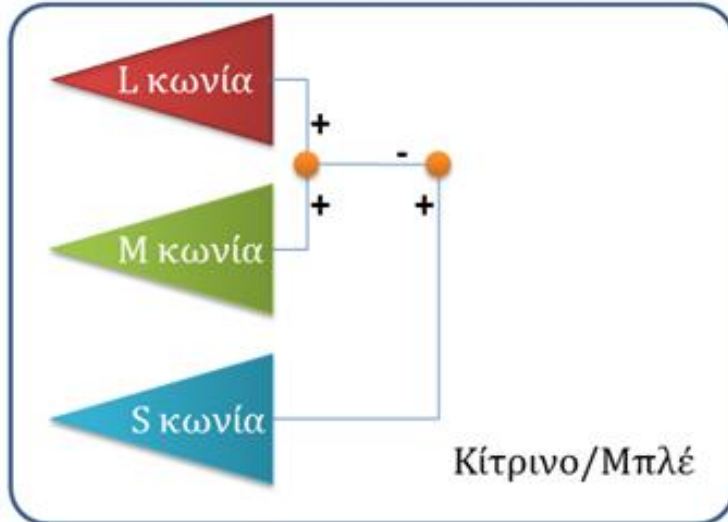
**α)Κίτρινο-μπλέ**

**β)Πράσινο – κόκκινο και**

**γ) Μαύρο –Άσπρο**

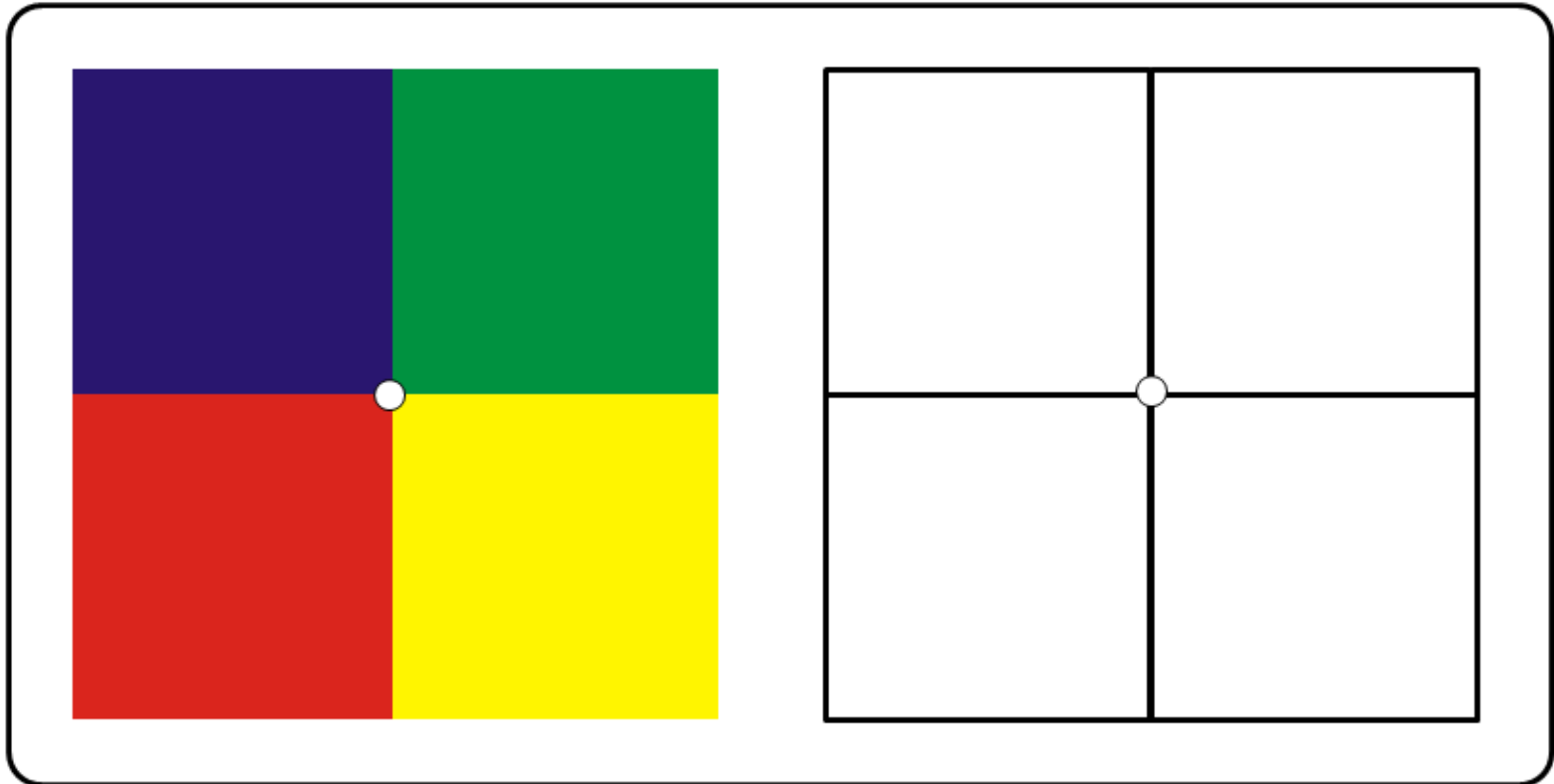
**Εξηγεί την επεξεργασία των σημάτων απο τα κωνία.**

# Hering's Opponent-Colors Theory



**Σχηματική αναπαράσταση της θεωρίας των ανταγωνιστικών χρωματικών διεργασιών**

## Hering's Opponent-Colors Theory



**Εστιάστε το βέμμα στο κεντρο της αριστερής εικόνας για τριάντα περίπου δευτερόλεπτα και κατόπιν στην δεξιά. Τα χρώματα των μετειασμάτων θα αντιστραφούν (το κόκκινο γίνεται πράσινο και το ίδιο συμβαίνει για τον συνδυασμό μπλέ-κίτρινο).**

**Πόσα χρώματα βλέπουμε ;**

**2.4 - >10 εκατομμύρια**

## **ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**Οι αρχικές μελέτες οφείλονται στον Νεύτωνα , ο οποίος στα μέσα της δεκαετίας του 1660 πραγματοποιώντας σειρά πειραμάτων , επινόησε μια ταξινόμηση για τα επτά βασικά ή κύρια χρώματα του φάσματος. Μετα την εφεύρεση του χρωματικού δίσκου απο τον Νεύτωνα επινοήθηκαν πολλοί τρόποι για τον καθορισμό και την ταξινόμηση των χρωμάτων**

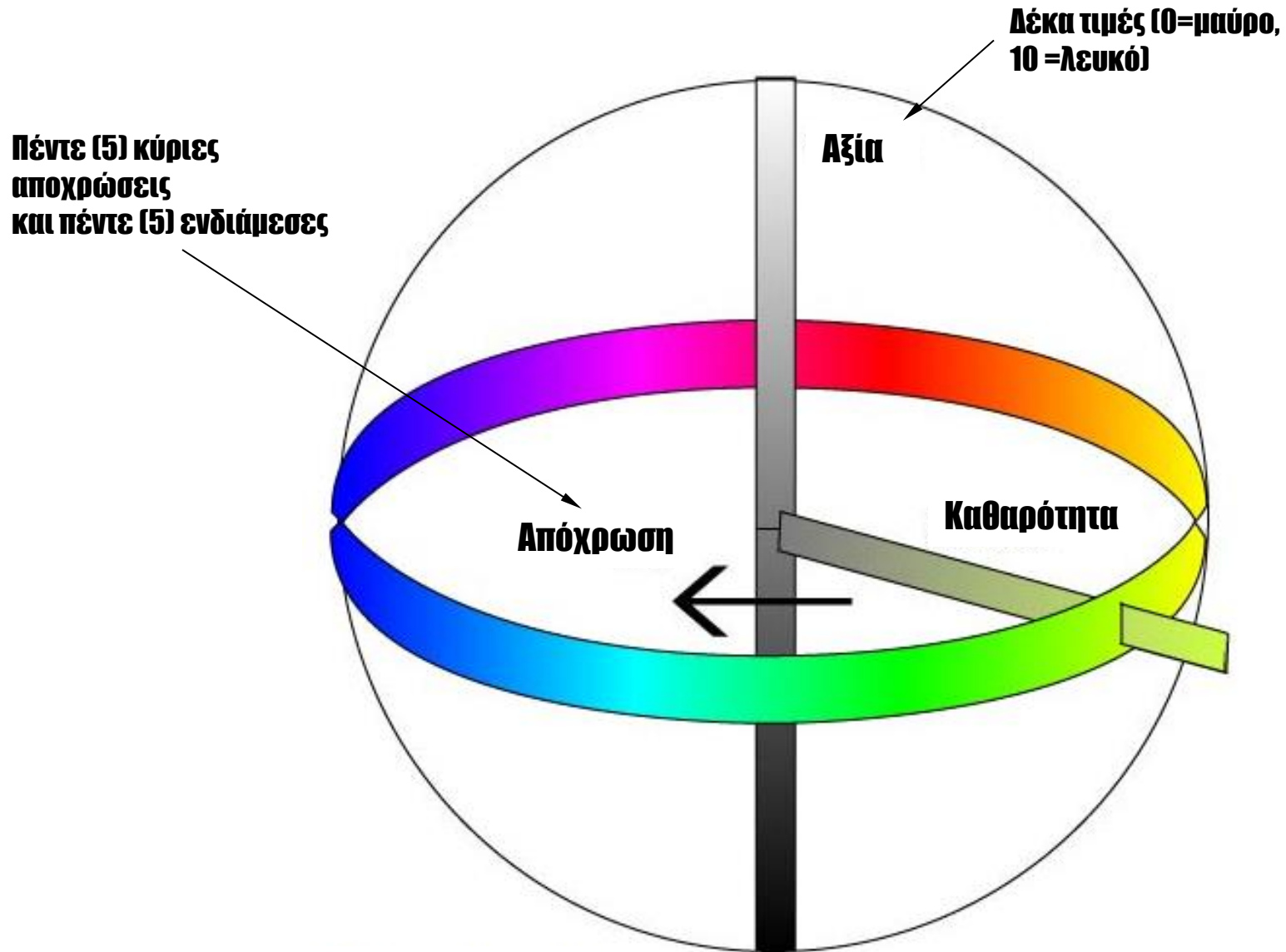
**Μεταξύ των σημαντικότερων είναι το σύστημα Munshell (Atlas of the Munsell Color System, 1915) . Το σύστημα αυτό κατατάσσει τα χρώματα με βάση**

- **την απόχρωση (Hue) ,**
- **την αξία (value ,lightness) και**
- **την καθαρότητα (χρωματική καθαρότητα δηλ. κορεσμός , chroma).**

**Υπάρχουν δέκα κύριες αποχρώσεις**

**R- κόκκινο, YR-Κίτρινο-κόκκινο, Y-Κίτρινο, GY-Πράσινο-κίτρινο, G-Πράσινο, BG-Μπλέ-πράσινο, B-Μπλέ, PB-Μωβ –μπλέ, P-Μωβ, PR-Μωβ-κόκκινο**

# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Munsell System)



## ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Το πλέον χρησιμοποιημένο σύστημα χρωματομετρίας είναι αυτό που υιοθετήθηκε το 1931 (οπτικό πεδίο παρατηρητή 2<sup>ο</sup>) από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού. Το σύστημα αυτό (το 1964 προστέθηκαν και δεδομένα για οπτικό πεδίο παρατηρητή 10<sup>ο</sup>) προκύπτει ως εξής:

Ένα χρώμα (C) περιγράφεται με τη βοήθεια αντιστοιχών χρωματικών ερεθισμάτων (R, G, B, δηλ. Red, Green, Blue):

$$C(C) = R(R) + G(G) + B(B)$$

Όπου R, G, B είναι οι αντίστοιχες «ποσότητες» από κάθε χρώμα (μαθηματικά θα ονομαζόταν συναρτήσεις βάρους (tristimulus values)). Άρα:

$$C = R + G + B$$

Διαιρώντας τις παραπάνω:

$$1(C) = r(R) + g(G) + b(B)$$

Με:

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B}$$

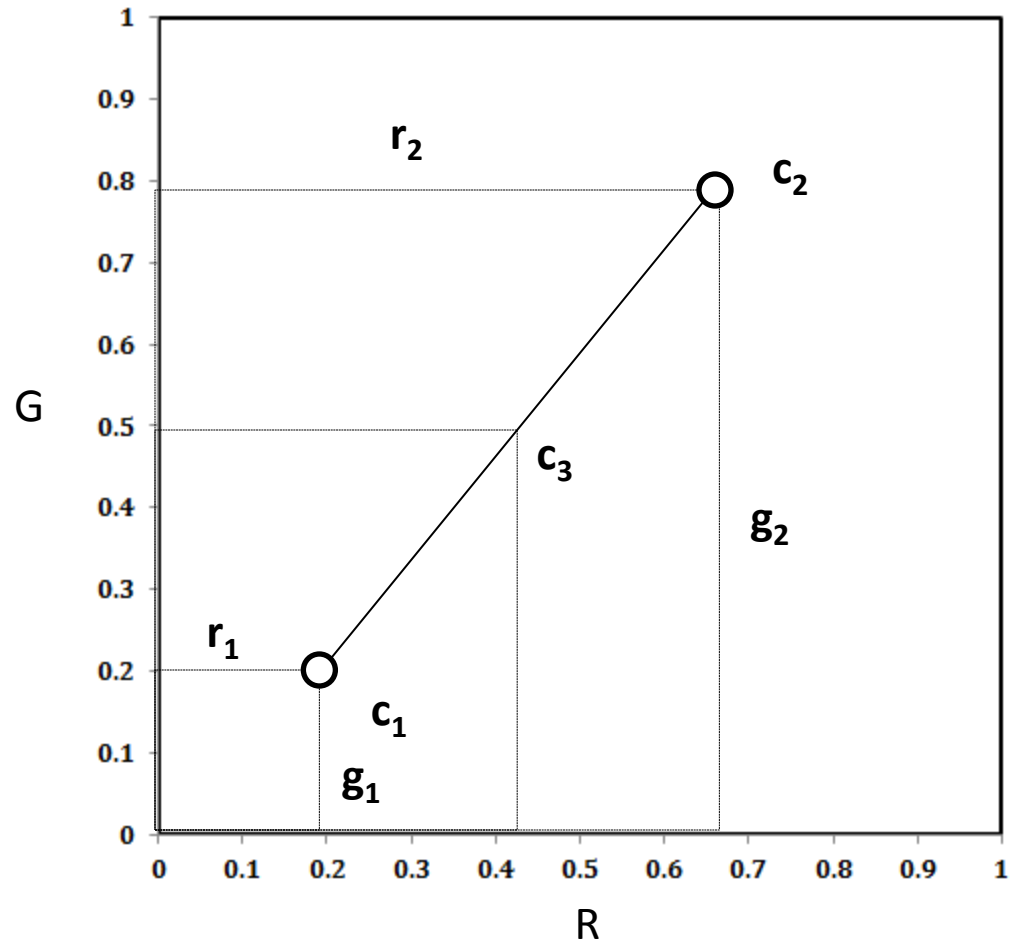
# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα  $r, g, b$  λέγονται χρωματικές συντεταγμένες του (C) και ισχύει :

$$r+g+b=1$$

Προφανώς αν οι δύο συντεταγμένες είναι γωνιστές, η Τρίτη ορίζεται αυτόματα. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία χρωματικών διαγραμάτων 2 αξόνων (R και G)

Έτσι η ανάμιξη δύο χρωμάτων  $c_1$  και  $c_2$  (με ίσες συνεισφορές) δίνει ένα τρίτο χρώμα  $c_3$  του οποίου οι χρωματικές συντεταγμένες υπολογίζονται εύκολα.





## **ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

**Τα προαναφεθέντα παρουσιάζουν ένα πρόβλημα. Λογικά οι συναρτήσεις βάρους έχουν θετικές τιμές συνεπώς όλα τα χρώματα μπορούν να προέλθουν από τον κατάλληλο συνδυασμό των αρχικών, προσθετικά. Όμως όταν αναμιγνύονται δύο χρώματα, το αποτέλεσμα είναι χρώμα με μικρότερο βαθμό κορεσμού. Συνεπώς είναι αδύνατο να παράγουμε χρώμα με υψηλό βαθμό κορεσμού με απλή ανάμειξη των τριών βασικών χρωμάτων.**

**Μαθηματικά βέβαια, αυτό το πρόβλημα ξεπερνάται αν οι συναρτήσεις βάρους έχουν αρνητικές τιμές. Έτσι για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αντι των αρχικών χρωμάτων R,G,B χρησιμοποιούνται ιδεατά αρχικά χρώματα X,Y,Z τα οποία όταν προστίθενται μπορούν να δώσουν χρώματα σε όλους τους βαθμούς κορεσμού με τις συναρτήσεις βάρους θετικές.**

**Σύμφωνα με το σύστημα αυτό (CIE, 1931) :**

- Η παράμετρος Y είναι μέτρο της λαμπρότητας (άρα X,Z έχουν μηδενική λαμπρότητα).**
- Το λευκό χρώμα τοποθετείται περίπου στο κέντρο του X,Y διαγράμματος**
- Τα X,Y και Z δεν συσχετίζονται με χαρακτηριστικά που αντιλαμβανόμαστε, συσχετίζονται όμως οι παρακάτω :**

$$x=X/(X+Y+Z)$$

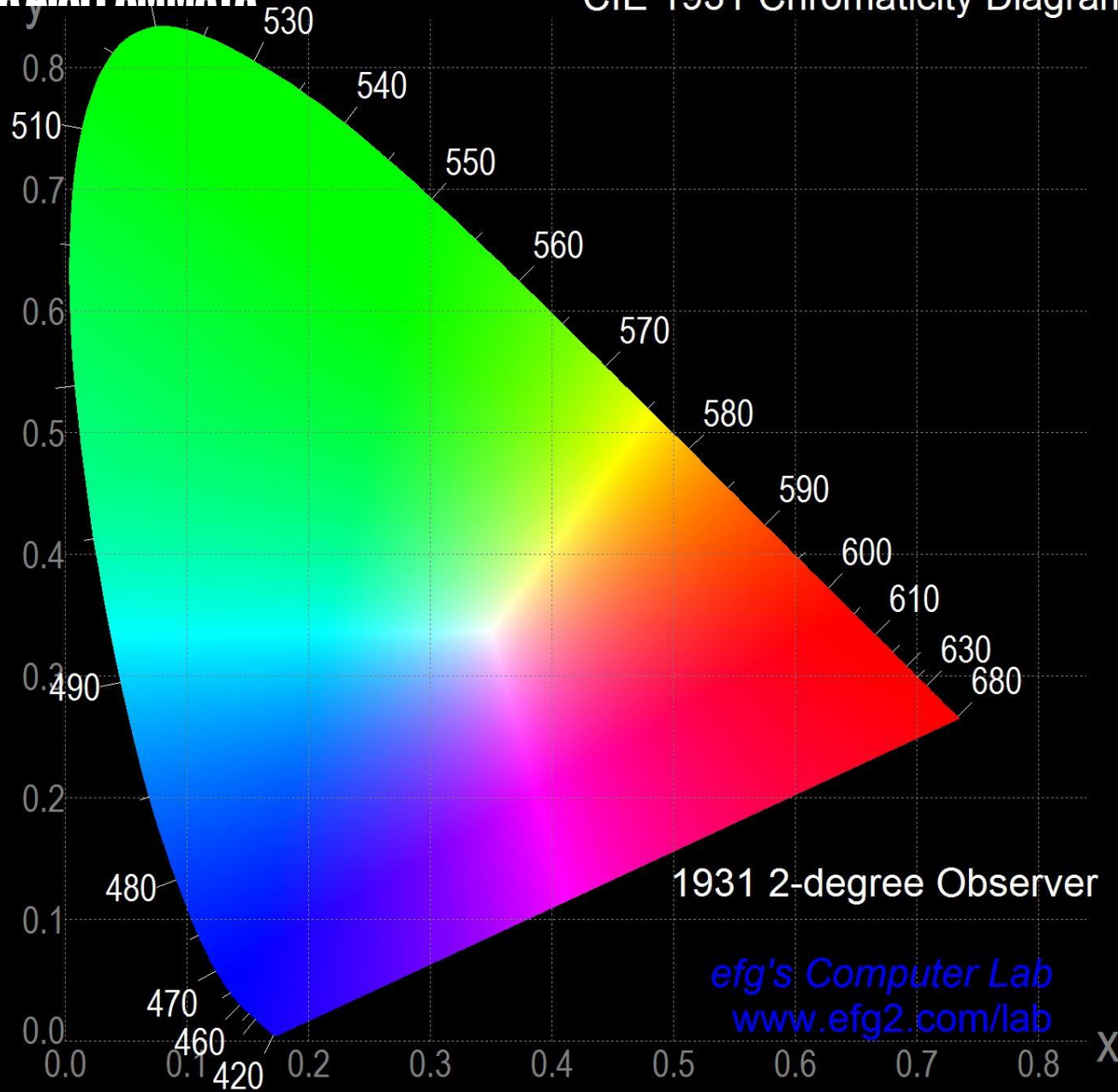
$$y=Y/(X+Y+Z)$$

$$z=Z/(X+Y+Z)$$

**Τα μεγέθη x,y ονομάζονται χρωματικές συντεταγμένες. Σχεδιάζοντας για κάθε ορατό χρώμα τα ζεύγη (x,y) σε ένα διάγραμμα x-y δημιουργούμε ένα δισδιάστατο χρωματικό χώρο γνωστό και ως χρωματικό διάγραμμα CIE**

# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

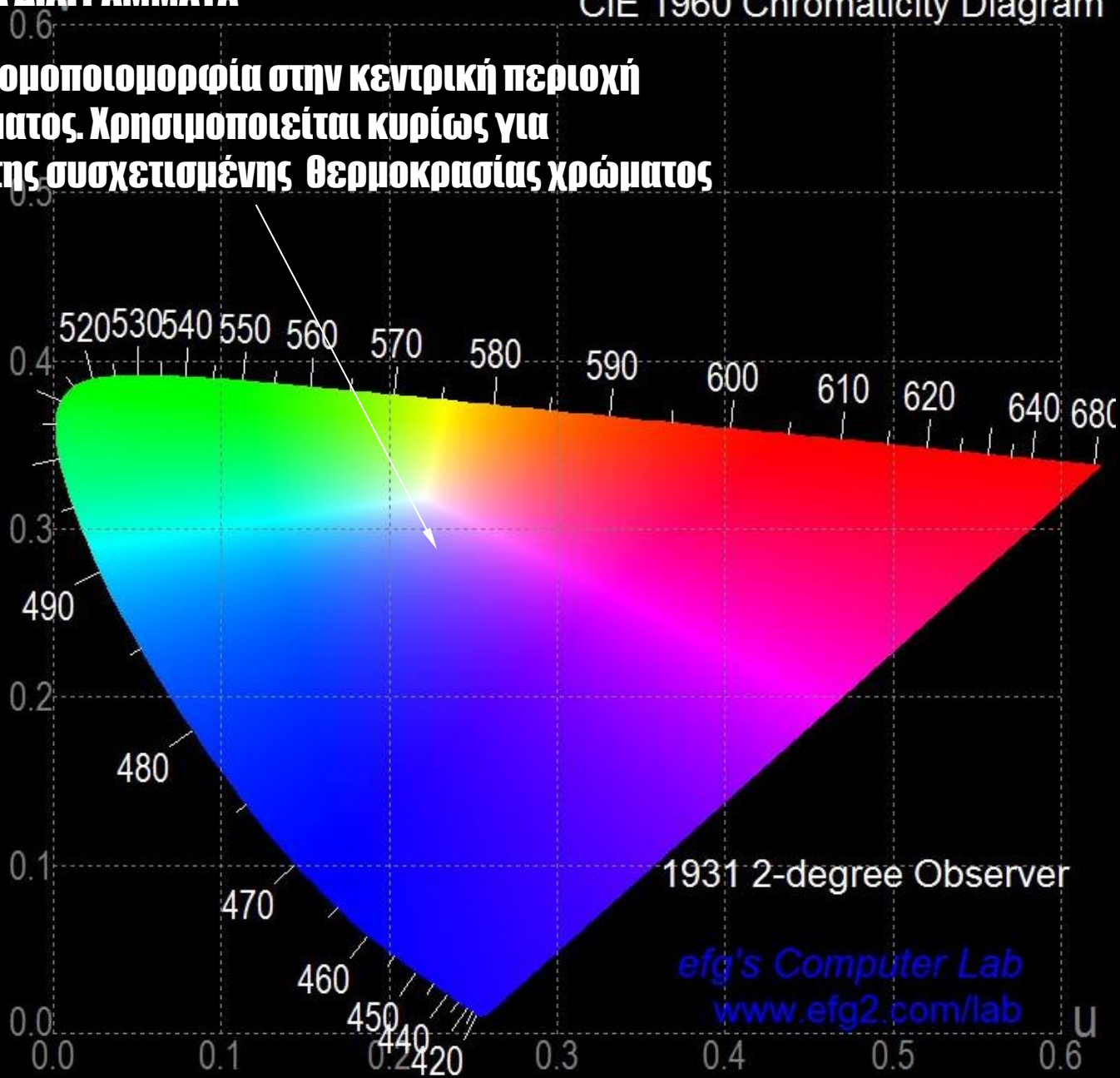
## CIE 1931 Chromaticity Diagram



# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

CIE 1960 Chromaticity Diagram

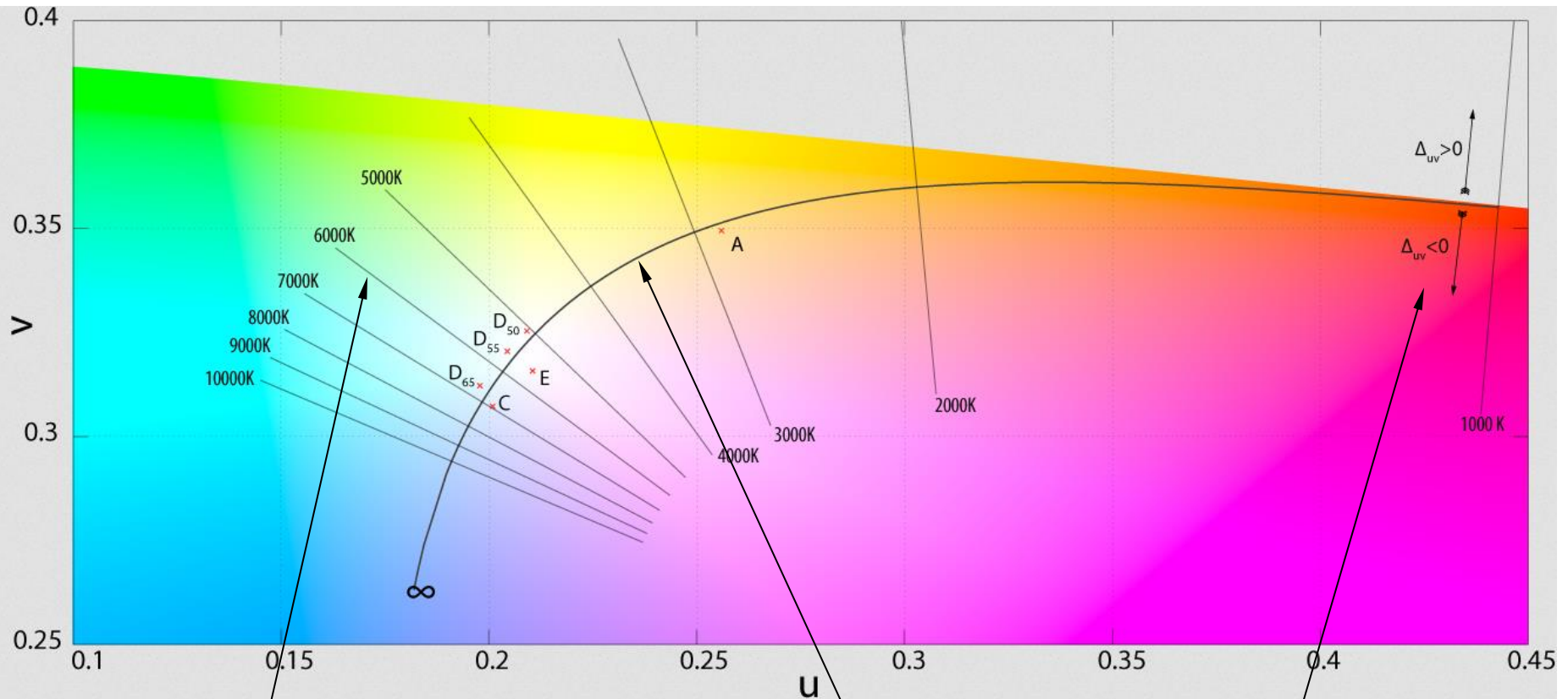
Μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κεντρική περιοχή του διαγράμματος. Χρησιμοποιείται κυρίως για απεικόνιση της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος



CIE 1960 UCS

# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

## Μεγένθυση περιοχής του προηγούμενου διαγράμματος CIE 1960



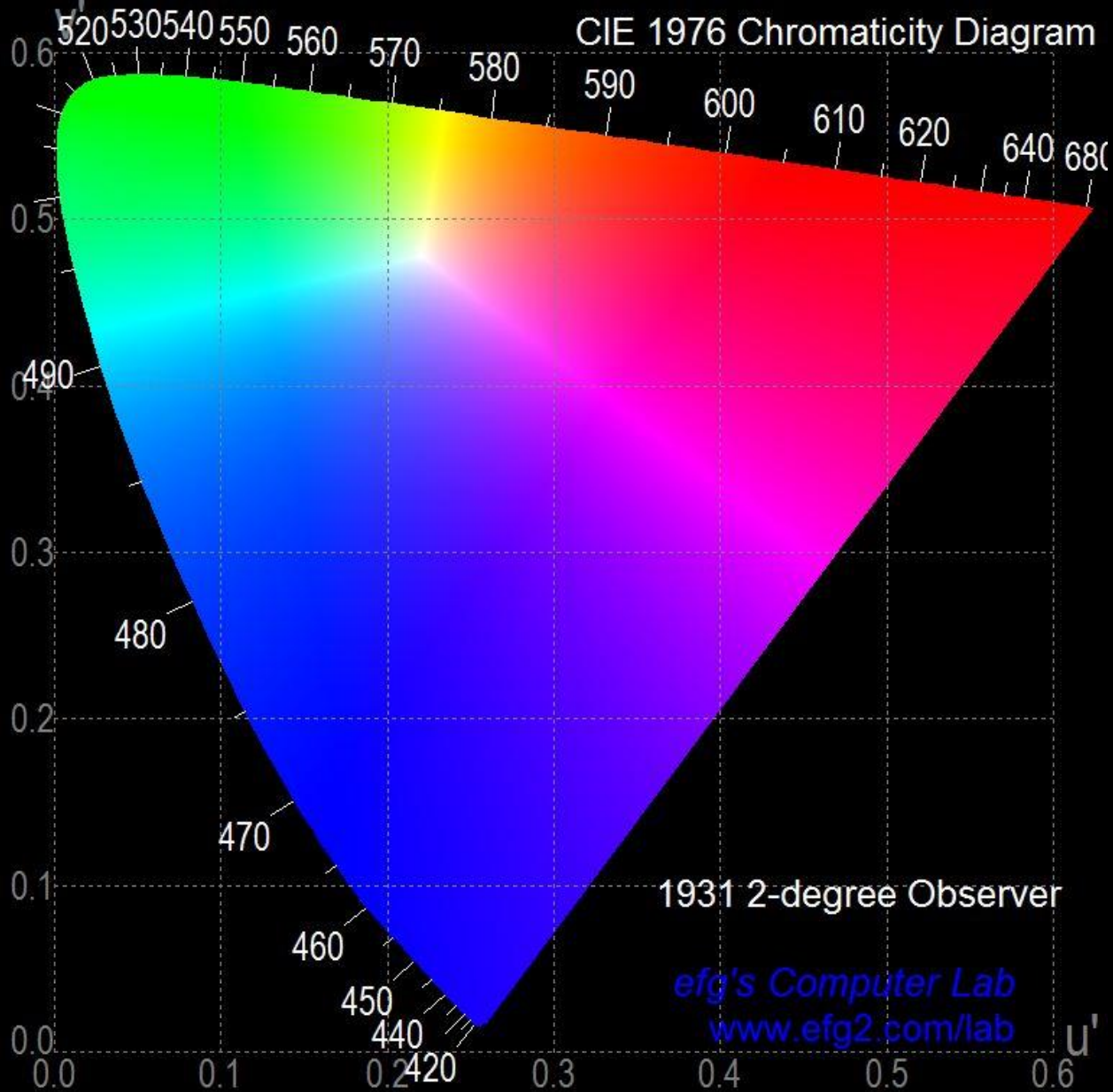
Όλες οι πηγές που βρίσκονται σε αυτή τη γραμμή έχουν την ίδια CCT

Χρωματική καμπύλη μέλανος σώματος

Για να εφαρμοσθεί η εκτίμηση της CCT για μια πηγή θα πρέπει η διαφορά  $\Delta_{uv}$  από την χρωματική καμπύλη του μέλανος σώματος να είναι  $< 5 \cdot 10^{-2}$

**CIE 1960 UCS**

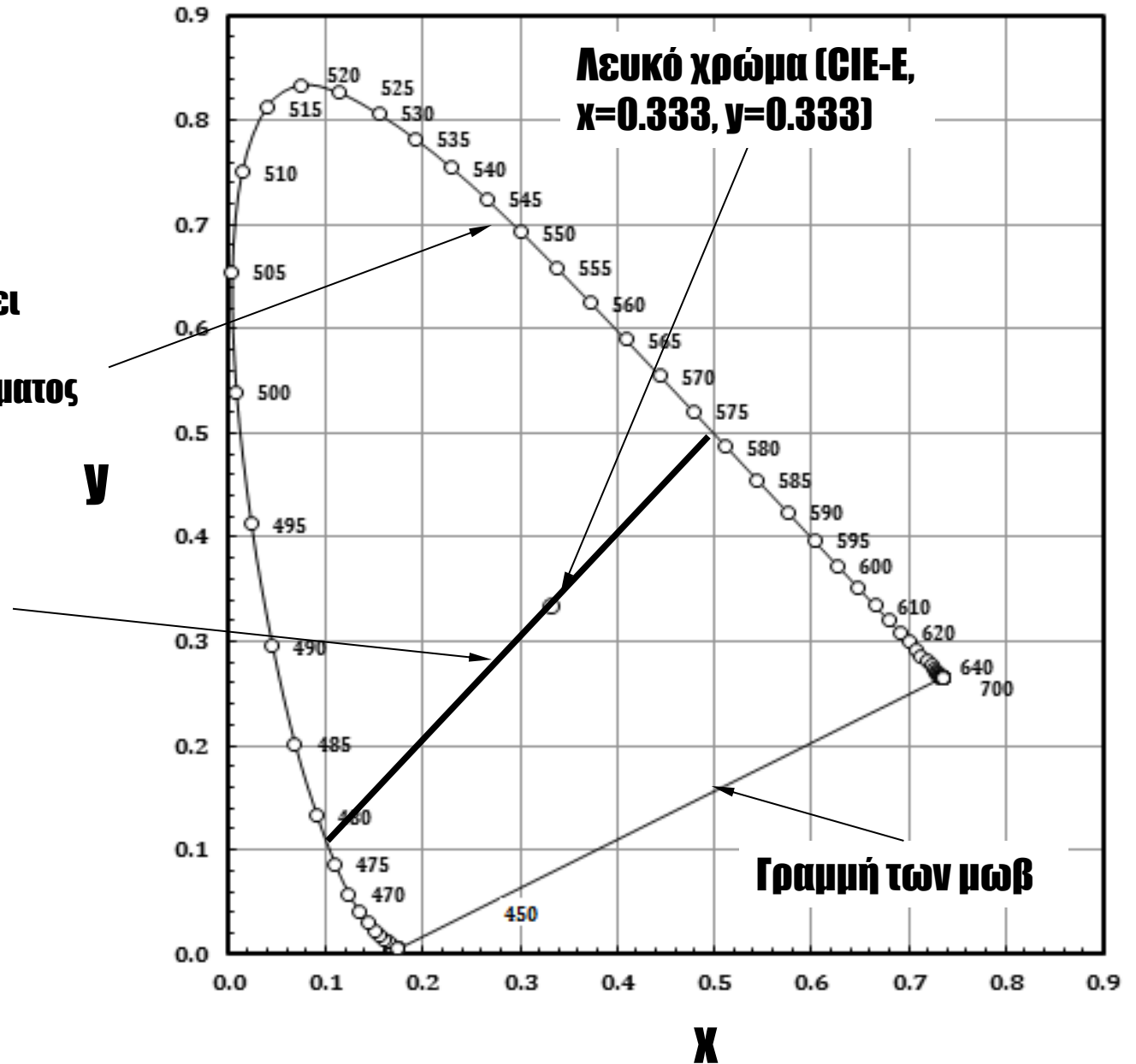
# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η περίμετρος αντιπροσωπεύει όλα τα χρώματα που αντιλαμβανόμαστε (μήκος κύματος (nm)).

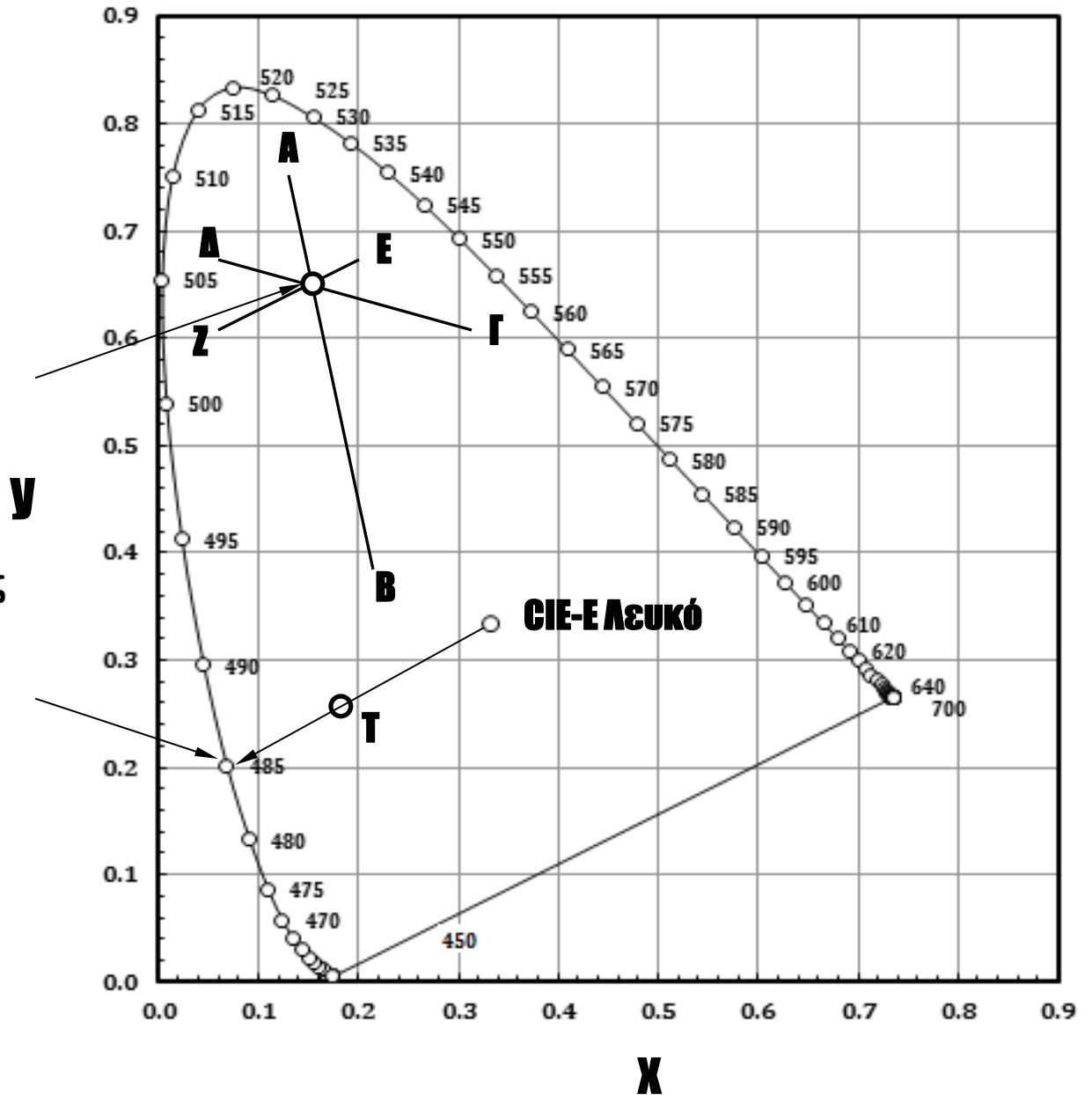
Οι άκρες της γραμμής που περνάει από το λευκό αντιπροσωπεύουν συμπληρωματικά χρώματα



# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Τα ζευγάρια χρωμάτων AB, ΓΔ και EZ μπορούν να «παράξουν» το ίδιο χρώμα (με ανάμειξη σωστών αναλογιών)

Η τομή της προέκτασης της ευθείας που ενώνει το λευκό με το σημείο κάποιου χρώματος (T) με την περίμετρο του διαγράμματος, ορίζει το κυρίαρχο μήκος κύματος του χρώματος T.



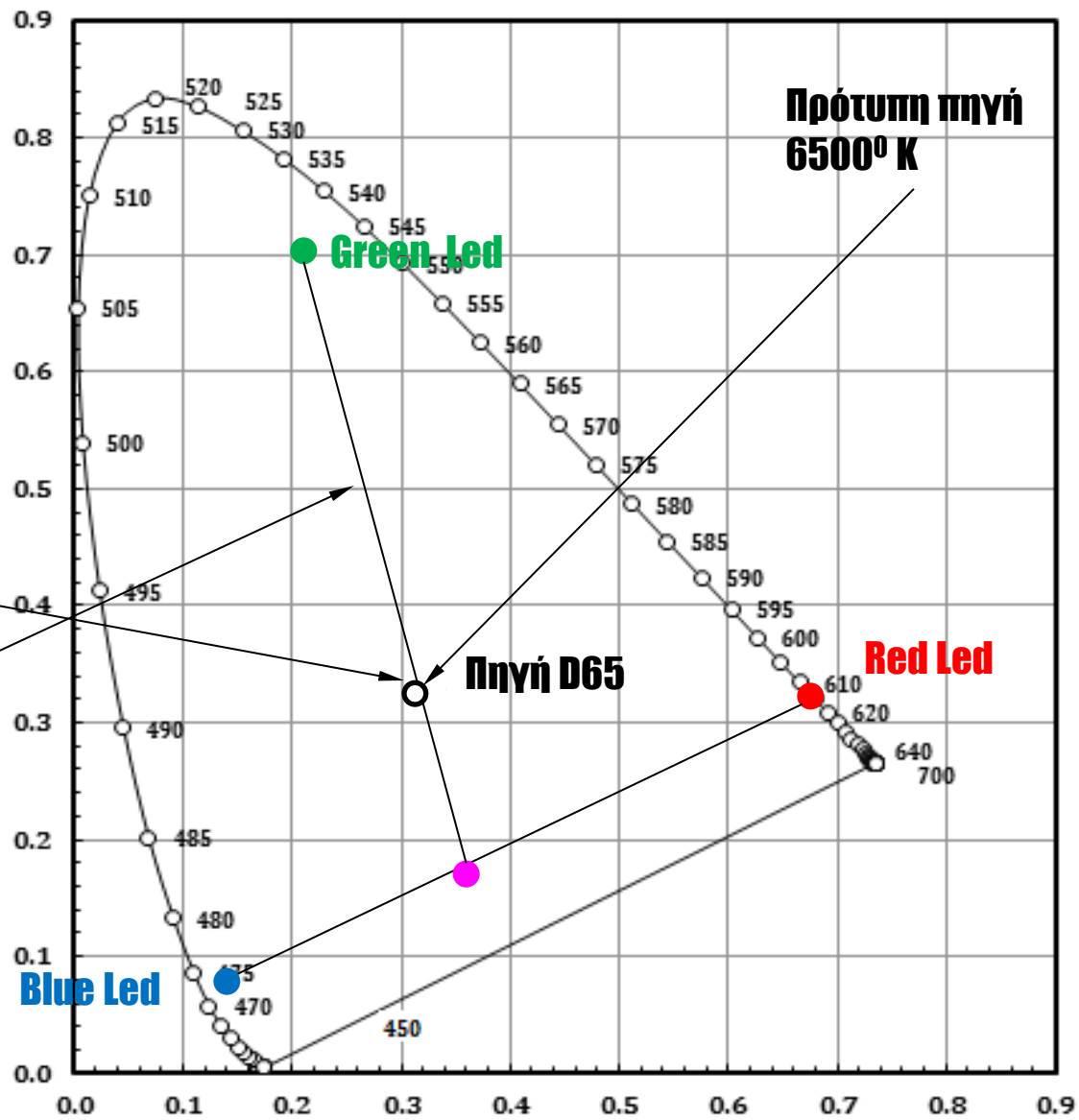
# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Συνήθως οθόνες (TV) χρησιμοποιούν μια αναλογία ενάσεων στα τρία πρωταρχικά χρώμα R/G/B  $\rightarrow 3/6/1$ . Πως γίνεται να εκτιμηθεί το ποσοστό ανάμειξης τριών R/G/B leds ώστε να παραχθεί λευκό φως;

A) Υπολογίζεται η γραμμή απο R-B

B) Υπολογίζεται η γραμμή G-D65 και

Γ) προεκτείνεται μέχρι να τμήσει την γραμμή R-B.



Πρότυπη πηγή 6500° K

Green Led

Blue Led

Red Led

Πηγή D65

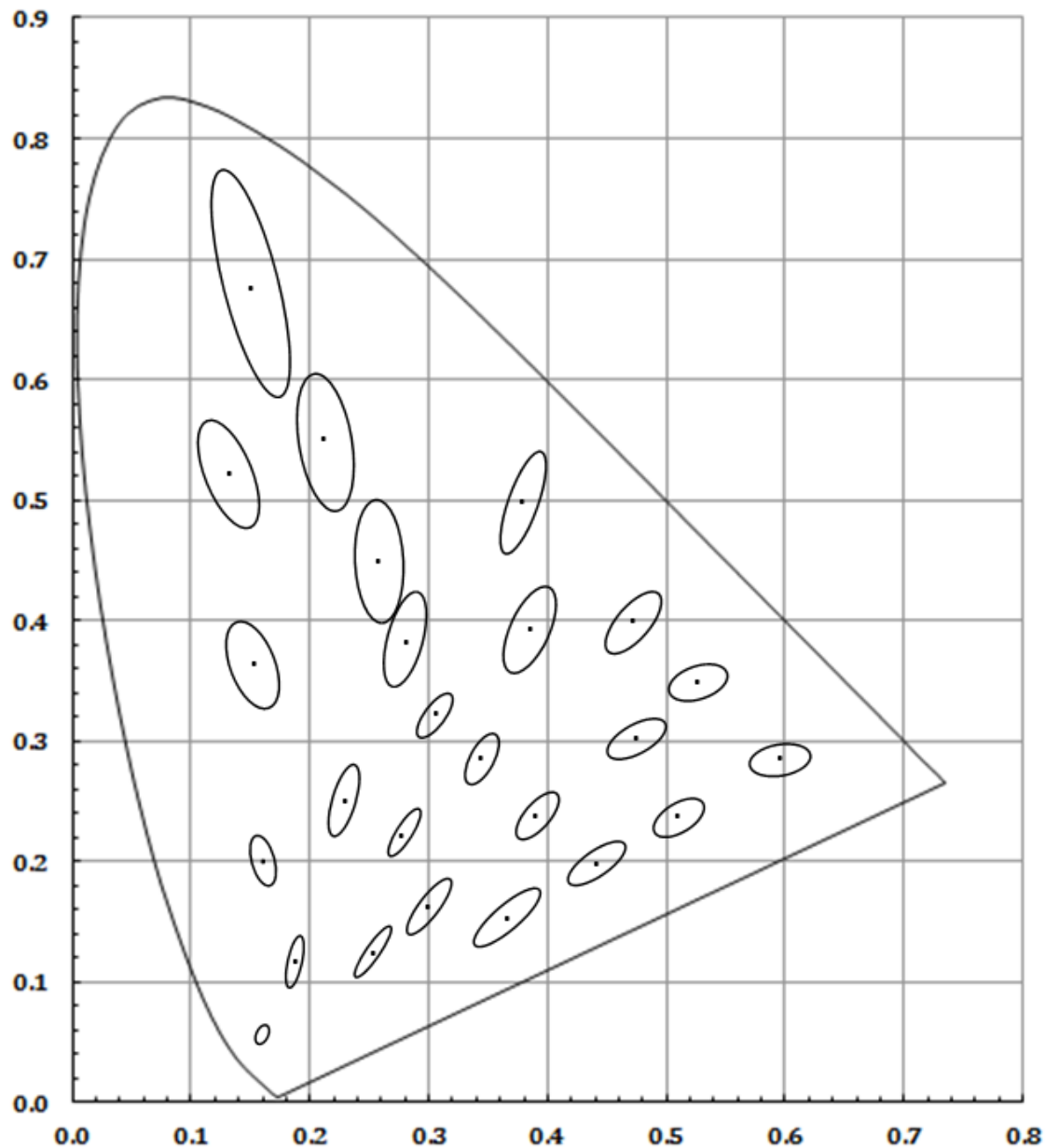


# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

**Κάθε έλλειψη περιλαμβάνει μια περιοχή στην οποία τα χρώματα δεν μπορούν να διαχωριστούν απο το χρώμα του κέντρου τους (εφόσον έχουν την ίδια λαμπρότητα).**

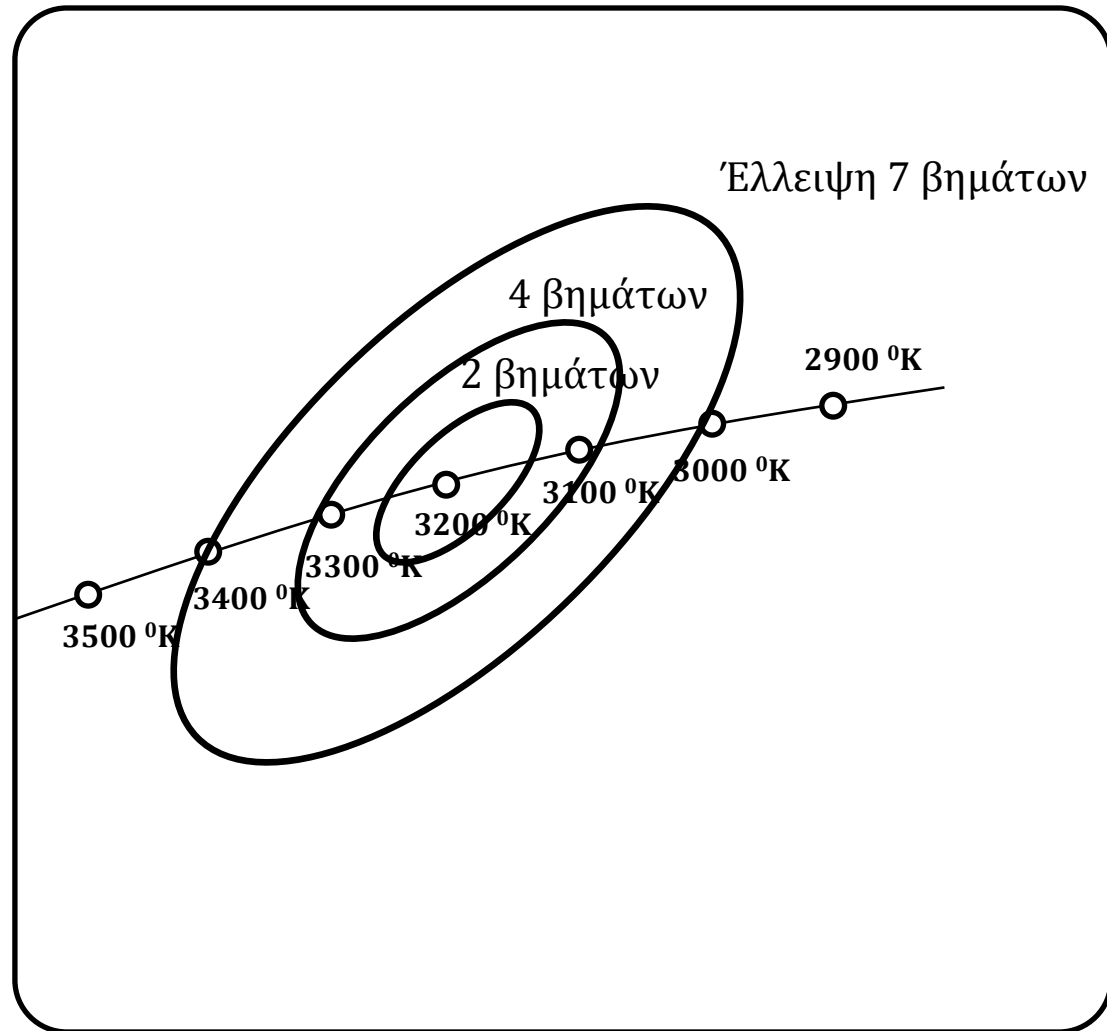
**Λέγονται MacAdam. Στο διπλανό σχήμα παρουσιάζονται σε μέγεθος δέκα (10) βημάτων.**

**Προφανώς αν είχαν σχεδιαστεί σε μέγεθος ενός (1) βήματος τα μεγέθη τους θα ήταν πολύ μικρά.**



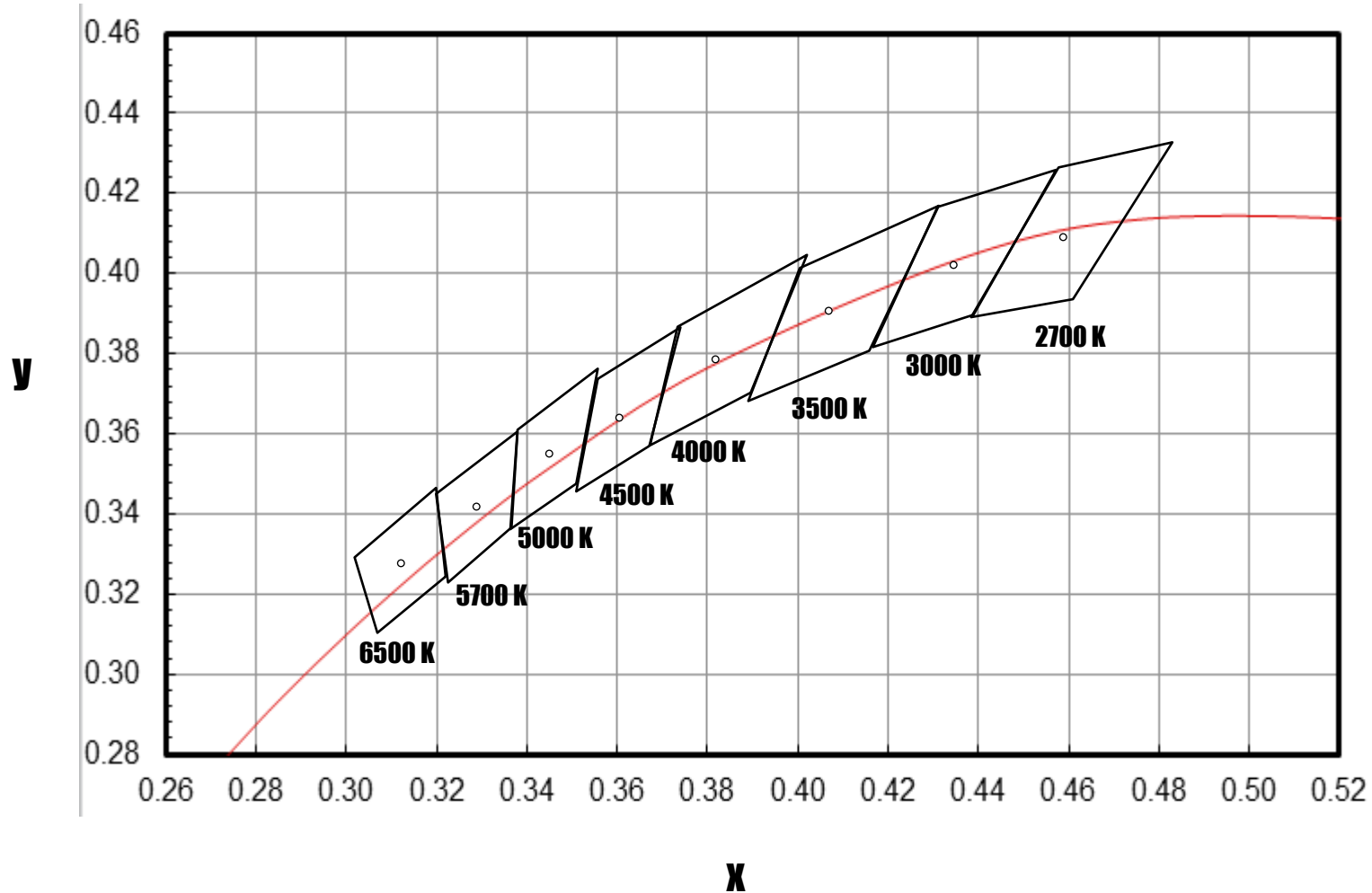
# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Έλλειψη MacAdam με κέντρο 3200 K. Παρατηρείστε την διεύρυνση του μεγεθούς όσο αυξάνεται ο αριθμός των βημάτων. Κατα την παραγωγή λαμπτήρων θα πρέπει στο σύνολο αυτών η διαφορά να μην είναι μεγαλύτερη από ένα αριθμό βημάτων (π.χ. 4). Αυτό εξηγεί και μια πολύ μικρή χρωματική διαφοροποίηση αν και οι λαμπτήρες έχουν την ίδια θερμοκρασία χρώματος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η έλλειψη των 7 βημάτων σημαίνει μια διαφοροποίηση 500 K (από 2950 – 3450 K).

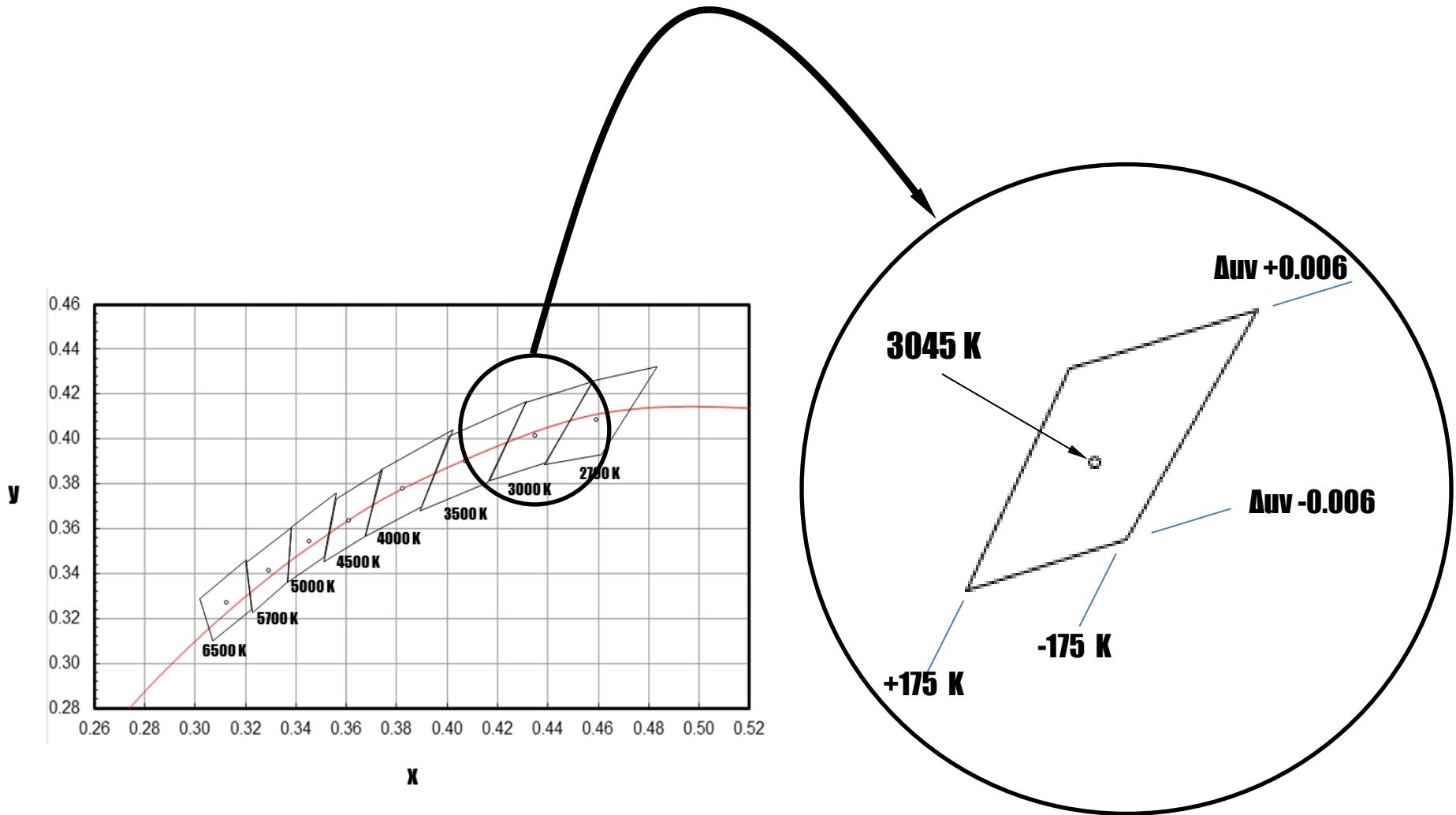


# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Μεγένθυση περιοχής του διαγράμματος CIE 1931 με τα τετράπλευρα που καθορίζουν περιοχές ίδιας θερμοκρασίας χρώματος.



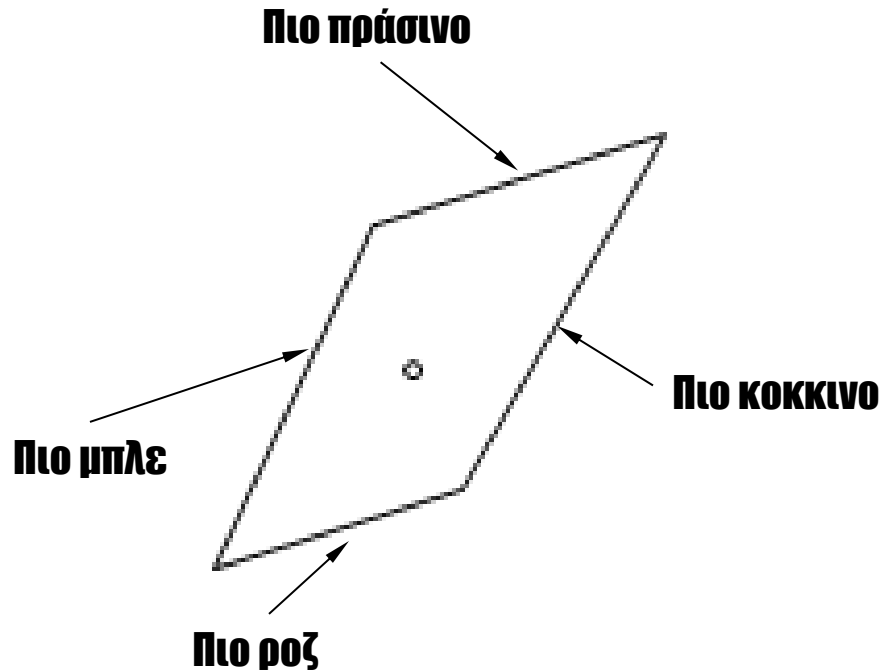
# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



**Ορισμός τετράπλευρου. Δηλ. αν η ονομαστική θερμοκρασία χρώματος κάποιας πηγής είναι 3000 K  
Οι πηγές μπορεί να διαφέρουν π.χ. κατά +/- 175 K**

# ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

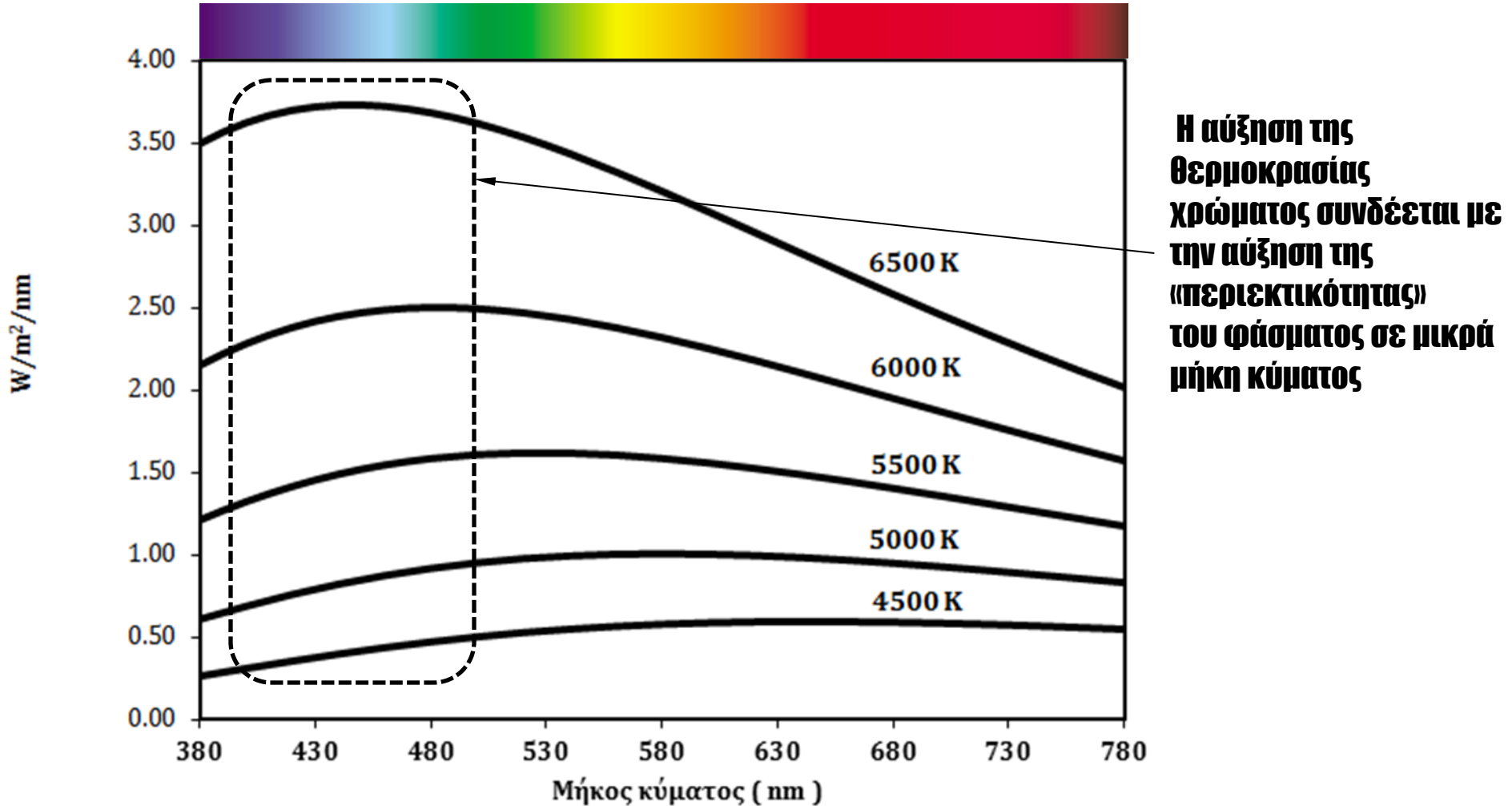
**Ακόμη και μέσα στο ίδιο τετράπλευρο παρόλο που η ονομαστική CCT είναι η ίδια το χρώμα διαφέρει**



**Πολλοί κατασκευαστές LED ορίζουν μικρότερα τετράπλευρα εντός των κυρίων ώστε να εξασφαλίσουν ότι οι πηγές θα έχουν την ίδια χρωματική απόδοση**

## ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (CCT)

Είναι η θερμοκρασία μέλανος στην οποία εκπέμπει φως «όμοιο» με αυτό που εκπέμπεται από την πηγή που εξετάζεται.



Η αύξηση της θερμοκρασίας χρώματος συνδέεται με την αύξηση της «περιεκτικότητας» του φάσματος σε μικρά μήκη κύματος

Φασματική κατανομή μέλανος σώματος στο ορατό τμήμα, για διαφορετικές θερμοκρασίες.

# ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (CCT)

## CCT

Αντιλαμβανόμαστε το χρώμα σαν\* :

<b>Θερμό λευκό</b>	<b>&lt;3300 °K</b>
<b>Ουδέτερα/ενδιάμεσα</b>	<b>3300 – 5300 °K</b>
<b>Ψυχρό</b>	<b>&gt; 5300 °K</b>

**\* Πάντα σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία του μελανοσώματος**

## ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (CCT)

~2700 K

60 W Incandescent

3500 K

13 W Fluorescent

5500 K

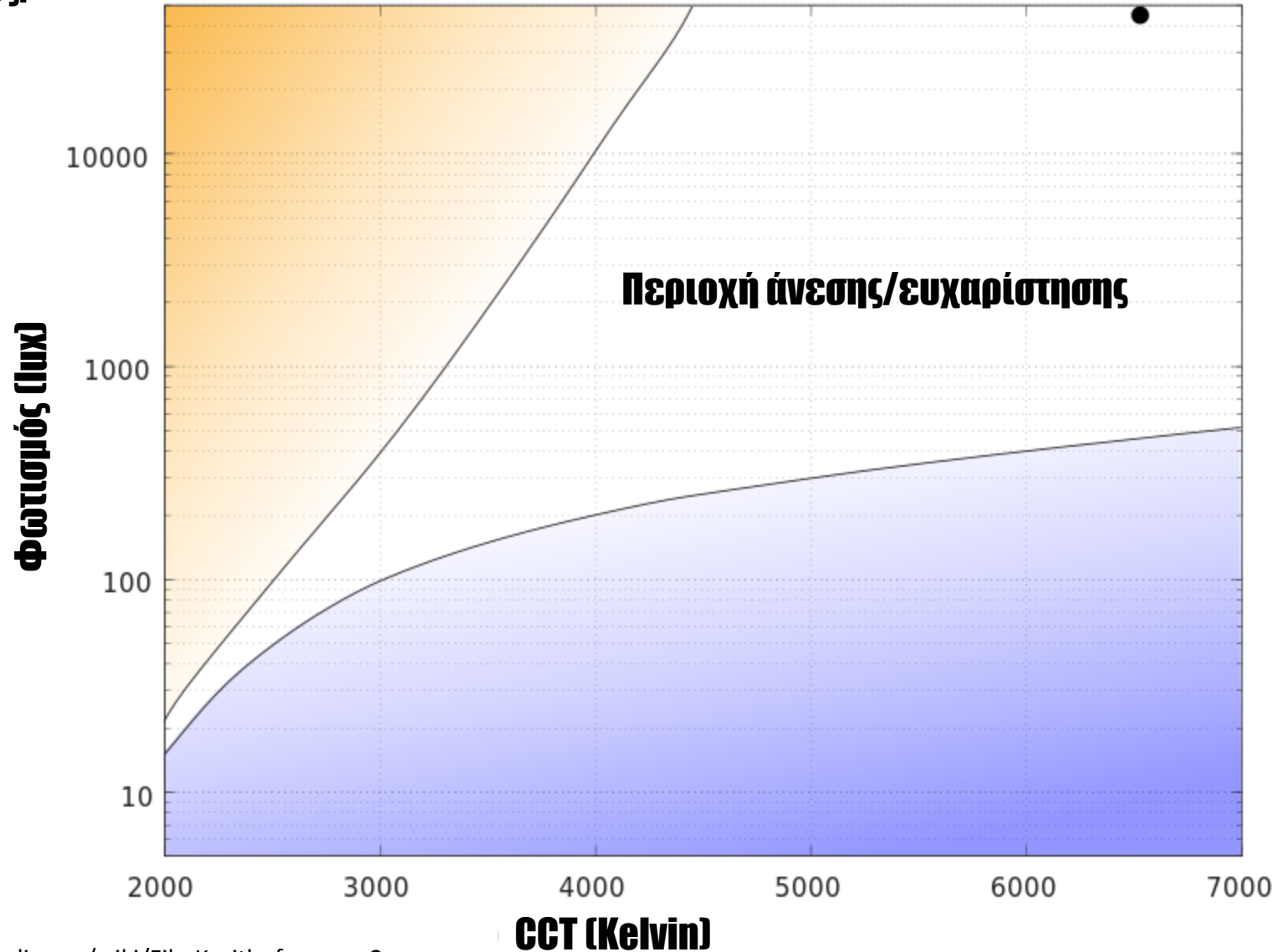
13 W Fluorescent





# Η ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΡΟΥΙΤΗΦ

Παρουσιάζει μια συσχέτιση επιπέδων φωτισμού και θερμοκρασίας χρώματος πηγών σε μια προσπάθεια να οριοθετηθεί μια περιοχή η στην οποία ο παραπάνω συνδυασμός είναι ευχάριστος.

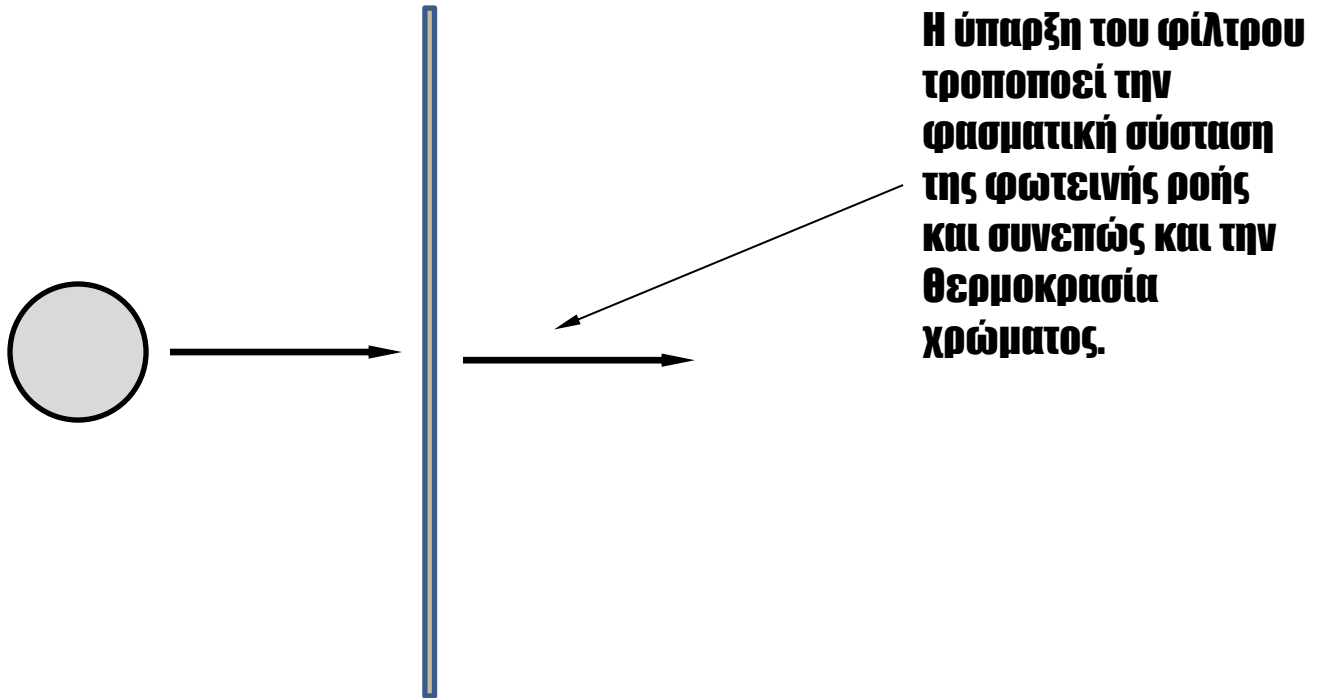


[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kruithof\\_curve\\_2.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kruithof_curve_2.svg)

## ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (CCT)

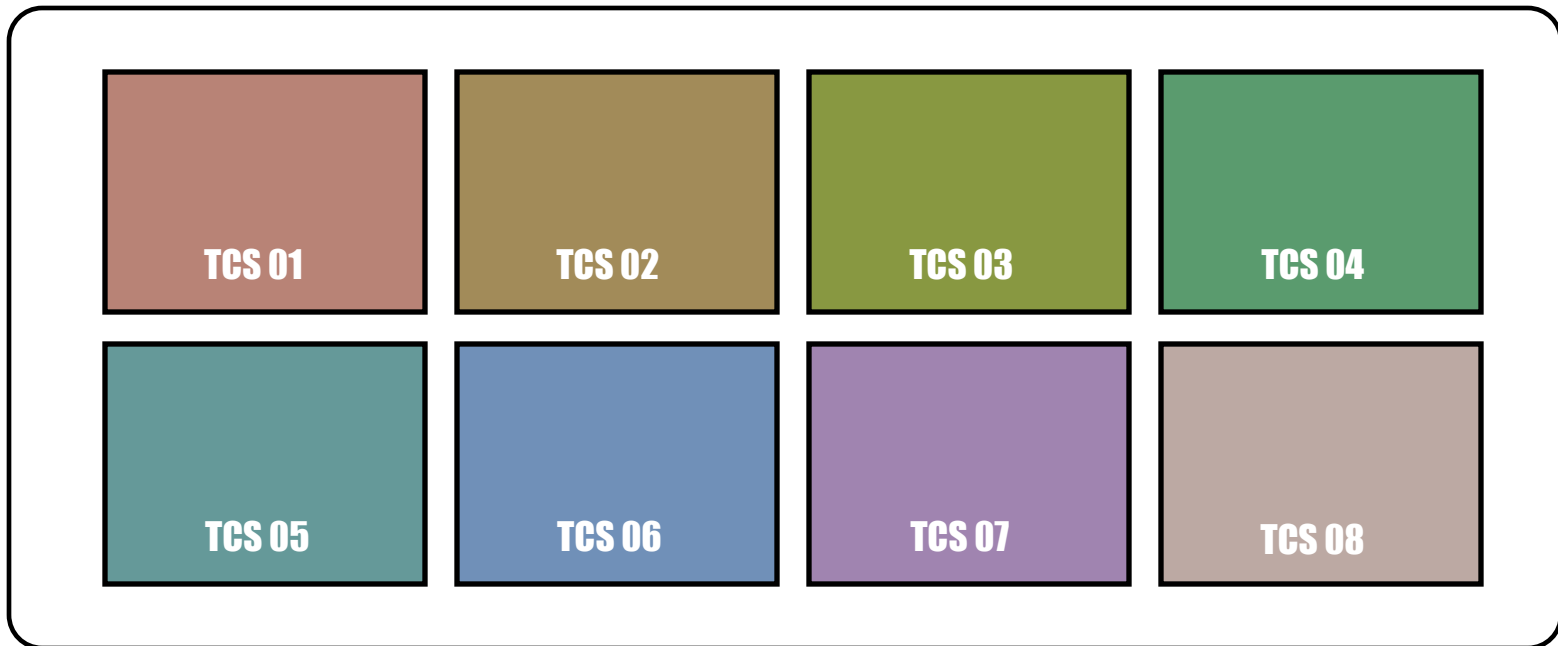
Είναι προφανές ότι η CCT εξαρτάται από τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια πηγή φωτισμού και δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική θερμοκρασία της πηγής (εκτός από αυτές που βασίζονται στην εκπομπή φωτός στην πυράκτωση).

Άρα η τροποποίηση της CCT μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ενός φίλτρου.



## ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (CRI 0-100)

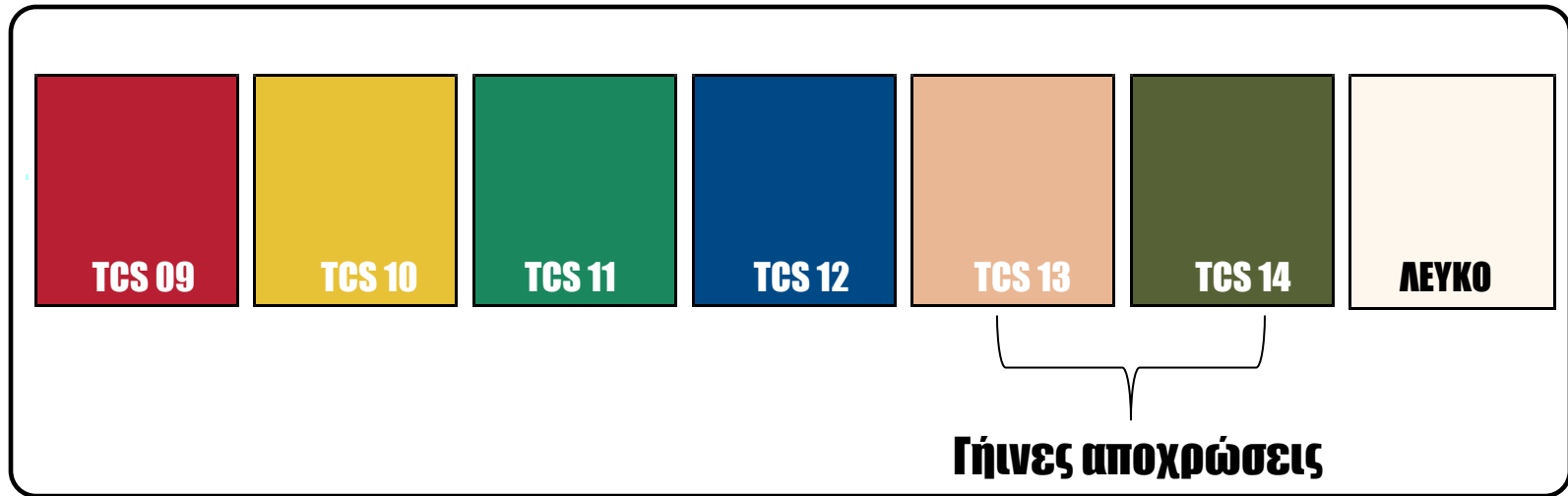
Με τη βοήθεια του δείκτη γίνεται εκτίμηση της χρωματικής πιστότητας. Ο υπολογισμός του πραγματοποιείται με τη διαφορά που εμφανίζουν οκτώ (8) χρώματα όταν φωτίζονται με την υπο εξέταση πηγή και μια πηγή αναφοράς. Κατά προσέγγιση τα χρώματα είναι τα :



Για φωτεινές πηγές με CCT <math>< 5000 \text{ }^\circ\text{K}</math> η πηγή σύγκρισης είναι πυράκτωσης , για μεγαλύτερες θερμοκρασίες η αναφορά είναι ένα συγκεκριμένο φάσμα που αντιστοιχεί σε φυσικό φως. Παρατηρήστε ότι τα χρώματα είναι παστέλ και όχι κορεσμένα. Χρησιμοποιείται για πάνω απο 40 χρόνια σε πηγές φθορισμού και μεταλλικών αλογονιδίων. Σήμερα όμως με την αύξηση χρήσης των LED υπάρχει μια ιδιαιτερότητα.

## ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (CRI 0-100)

Η ικανότητα να αποδοθεί το κόκκινο πιστά επηρεάζει σημαντικά την συνολική πιστότητα των χρωμάτων. Συνεπώς όταν υπάρχουν πηγές με φασματική κατανομή που ενισχύει την Αντίληψη κορεσμένων χρωμάτων θα πρέπει τέτοιου είδους χρώματα να υπεισέρχονται στην εκτίμηση της χρωματικής πιστότητας. Αυτά είναι τα παρακάτω:



Συνεπώς πέραν του δείκτη CRI ο οποίος και μετράται με τη βοήθεια οκτώ παστέλ αποχρώσεων χρειάζεται (ειδικά για μερικές πηγές) να υπάρχει και μια εκτίμηση για την πιστότητα απόδοσης κορεσμένων αποχρώσεων και ιδίως του κόκκινου (R9). Αρνητικές τιμές του R9 είναι δυνατές (κακή ποιότητα).

## ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Αυστηρά μιλώντας ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) στην ουσία παρουσιάζει την ικανότητα μιας πηγής να αποδίδει τα χρώματα ομοίως με την πρότυπη πηγή που χρησιμοποιήθηκε. Εξαιτίας των περιορισμών που εμφανίζει (π.χ. χρήση περιορισμένου αριθμού χρωμάτων (8)) εμφανίζει προβλήματα όταν αξιολογούνται πηγές LED.

Μια προσπάθεια να ξεπεραστούν οι δυσκολίες του CRI είναι η πρόταση για ένα νέο δείκτη CQS (Color Quality Scale) από το National Institute of Standards & Technology. Τα χρώματα που ο νέος δείκτης χρησιμοποιεί είναι τα :



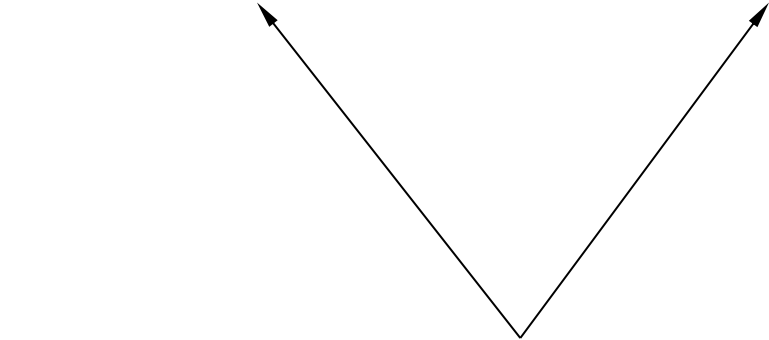
Μια πηγή πυράκτωσης έχει CQS 98 και όχι 100 λόγω του ότι δεν είναι τέλειο μέλαν σώμα.

# **ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ**

**ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ**  
(Εδώ χρησιμοποιείται  
ο δείκτης χρωματικής  
Απόδοσης)

**ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΧΡΩΜΑΤΩΝ**

**ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΙΣ**



**Η εισαγωγή ενός νέου  
δείκτη θα πρέπει να  
συμβάλλει στην  
καλύτερη περιγραφή  
αυτών των  
χαρακτηριστικών.**

## ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



Οι πηγές συγκρίνονται όσον αφορά τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) έχοντας την ίδια θερμοκρασία χρώματος.



Δύο πηγές με την ίδια CCT αλλά διαφορετική φασματική κατανομή αλλάζουν την αντίληψη των χρωμάτων.

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ

Ο πρώτος αριθμός (8) δείχνει τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (δηλ. 80 ή καλύτερο μέχρι τον επόμενο ακέραιο) . Ο δεύτερος αριθμός (40) δείχνει τη θερμοκρασία χρώματος (δηλ. 4000 K)





Γενικά χρησιμοποιούμε στο εσωτερικό των κτηρίων πηγές με καλό CRI (δηλ. >80 ).

## Ενδεικτικές τιμές

<b>Πυράκτωσης</b>	<b>→ 100</b>
<b>Φθορισμός (tri-phosphor)</b>	<b>→ ~85</b>
<b>Φθορισμός (broadband phosphors)</b>	<b>→ 90</b>
<b>Υψηλής πίεσης νατρίου</b>	<b>→ 24-82</b>
<b>Μεταλλικών αλογονιδίων</b>	<b>→ &gt;90</b>
<b>Χαμηλής πίεσης νατρίου</b>	<b>→ &lt;0</b>