

ΧΡΩΜΑ

Δημιουργία Χρώματος

Χρωματικό Διάγραμμα

Οπτική αντίληψη χρώματος

- Το χρώμα είναι η υποκειμενική αντίληψη που αναπτύσσουμε στα διάφορα μήκη κύματος του φωτός, στην ορατή περιοχή του Η.Μ. φάσματος (από 380 μέχρι 780 nm περίπου)
- Η αίσθησή μας για το χρώμα είναι μια αυτοματοποιημένη ερμηνευτική αντίδραση του ανθρώπινου εγκεφάλου στο μήκος κύματος της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Οπτική αντίληψη χρώματος

- Το χρώμα είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας περιγραφής, που συχνά απλουστεύει κατά πολύ την διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων αλλά και τον επί μέρους προσδιορισμό επιφανειακών περιοχών τους
- Οι άνθρωποι μπορούν να διακρίνουν χιλιάδες διαφορετικές αποχρώσεις αλλά και εντάσεις χρωμάτων

Οπτική αντίληψη χρώματος

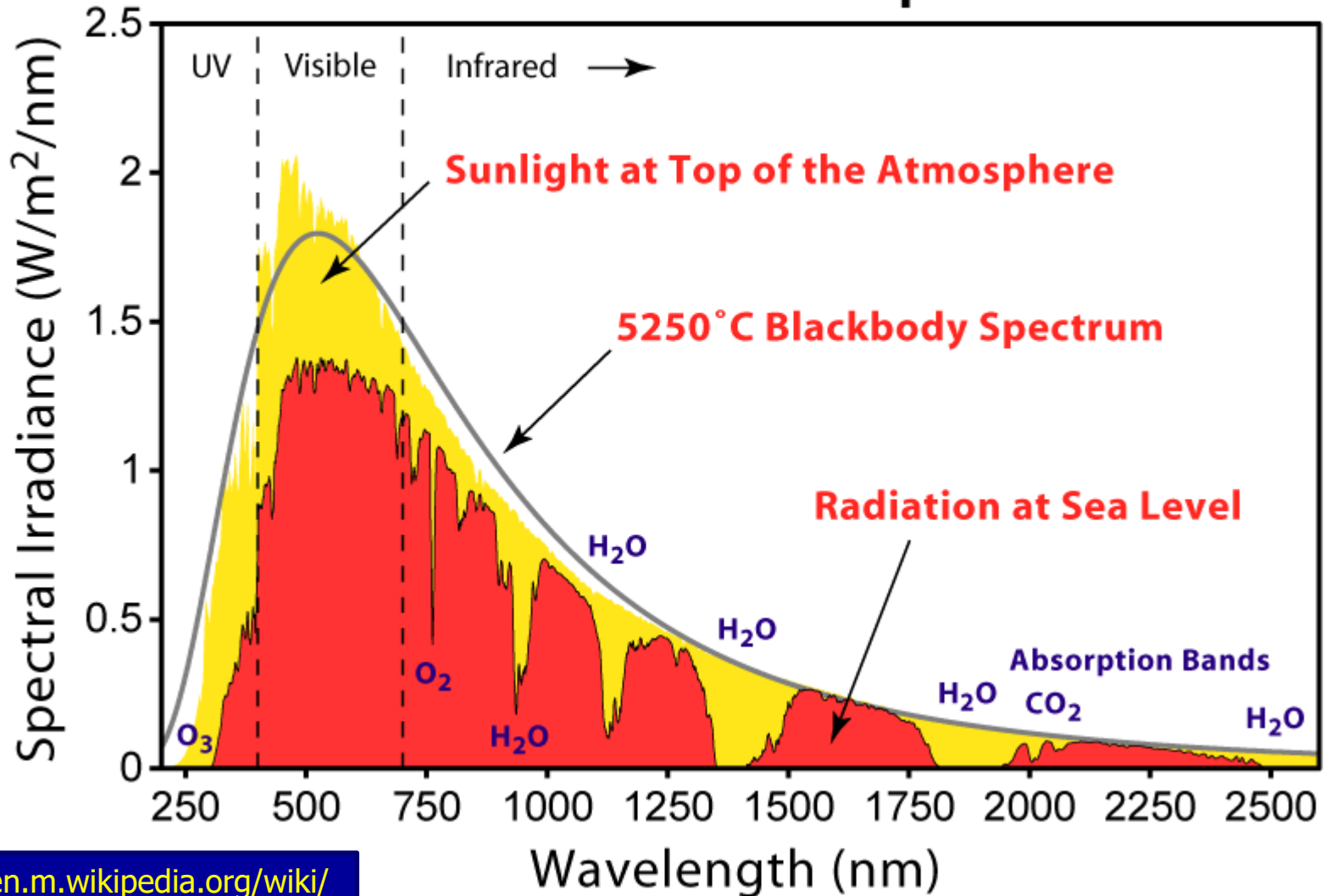
ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ...

- Της φωτεινής πηγής
- Της επιφάνειας που φωτίζεται και
- Του δέκτη που ανιχνεύει το φως

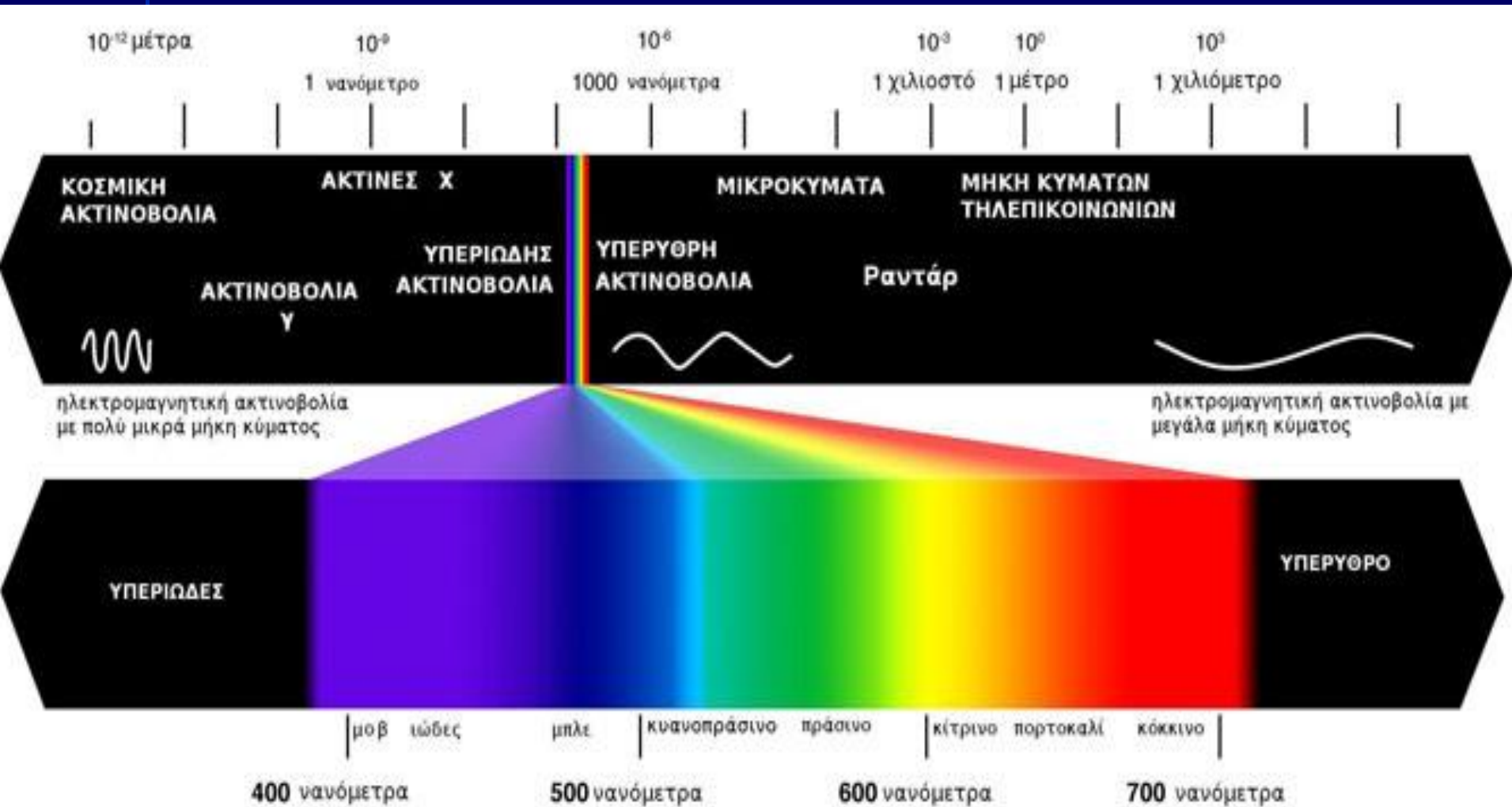
Τελικό αποτέλεσμα είναι το «γινόμενο»
των παραπάνω παραγόντων

Φάσμα ηλιακού φωτός, κατανομή

Solar Radiation Spectrum



Ηλιακό Φάσμα (ανάλυση)

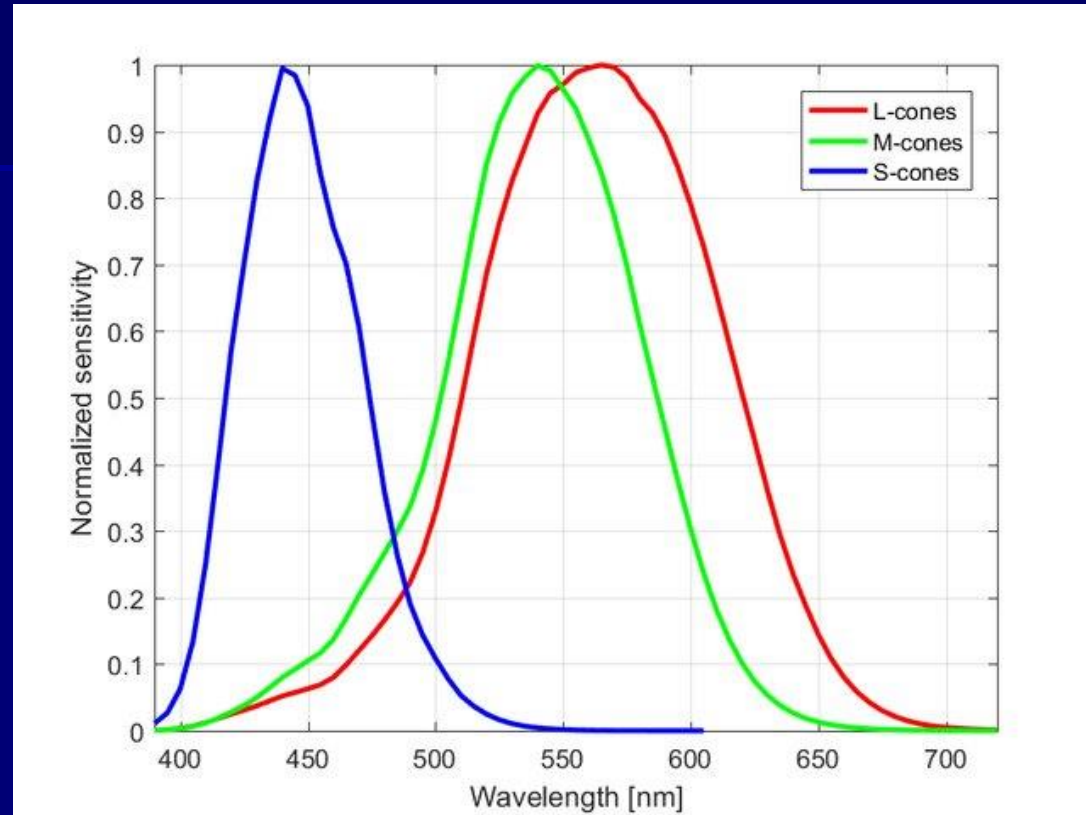
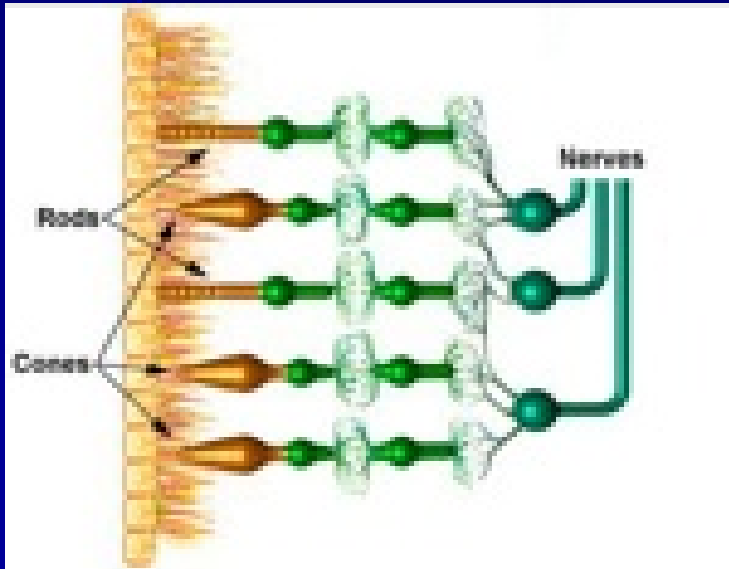


Χρώμα – Μήκος Κύματος

- Μπλε – ιώδες : 360 – 430 nm
- Μπλε : 430 – 480 nm
- Πράσινο – μπλε : 480 – 510 nm
- Πράσινο : 510 – 530 nm
- Κίτρινο – πράσινο : 530 – 570 nm
- Κίτρινο : 570 – 580 nm
- Πορτοκαλί : 580 – 600 nm
- Κόκκινο : 600 – 720 nm
- Κόκκινο – μωβ : 720 – 830 nm

Τα μήκη κύματος είναι μετρημένα στο κενό (ή αέρα)

Ανθρώπινος αμφιβληστροειδής



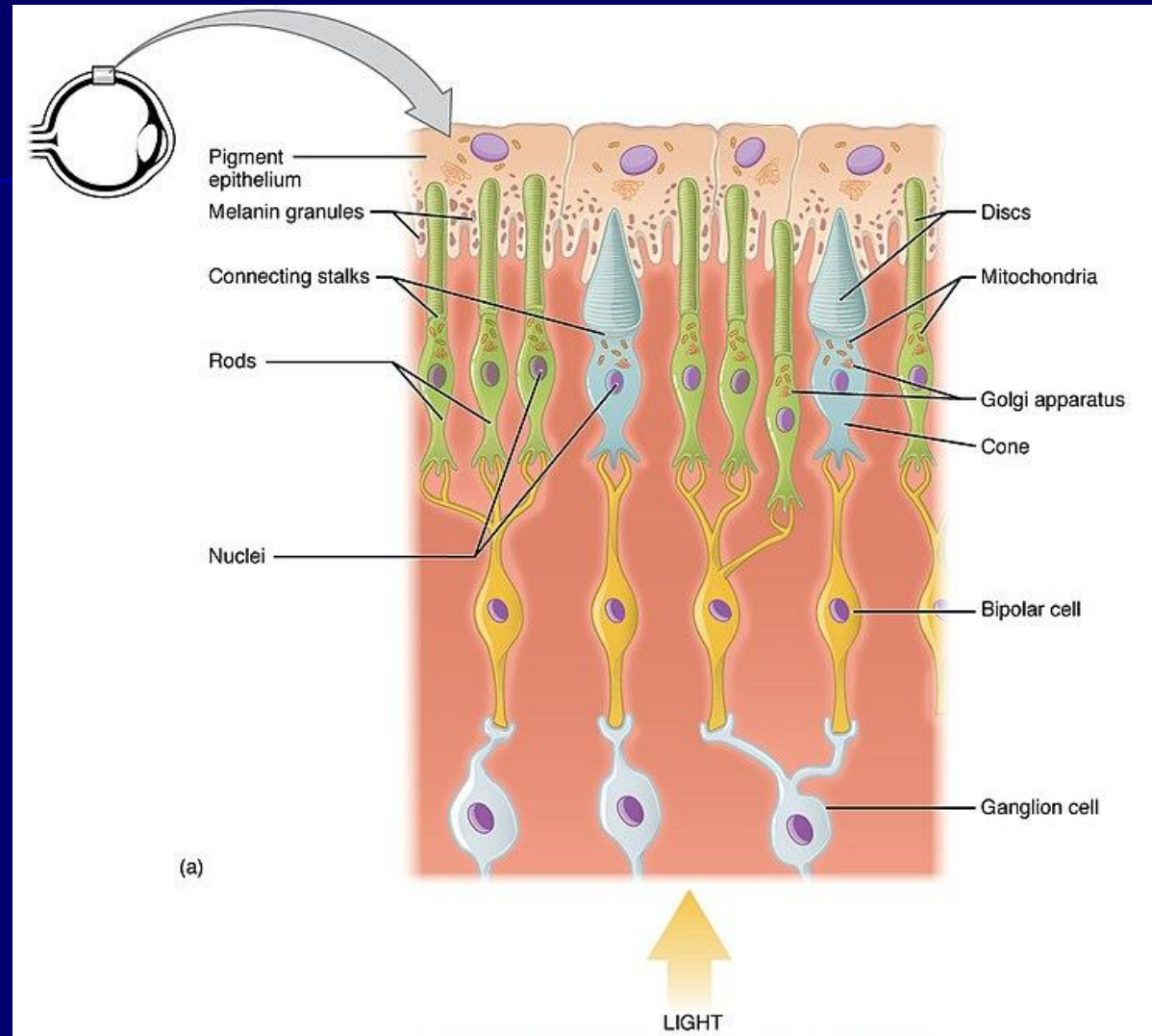
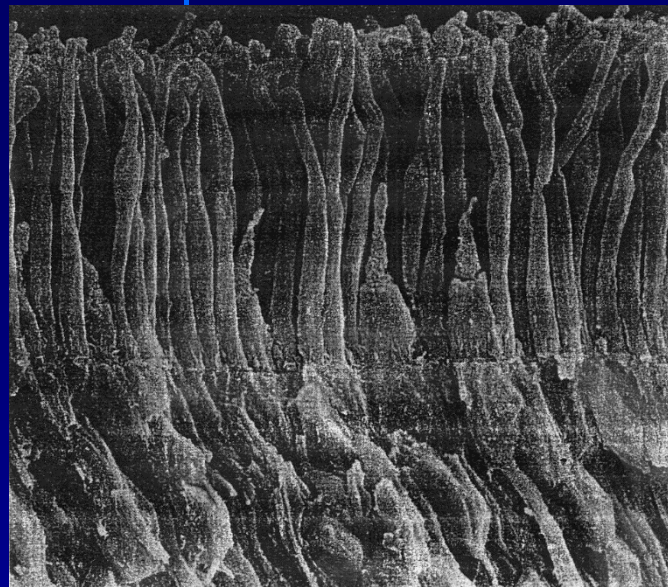
Remote Sens. 2020, 12, 2479; doi:10.3390/rs12152479

L : 564–580 nm

M : 534–545 nm

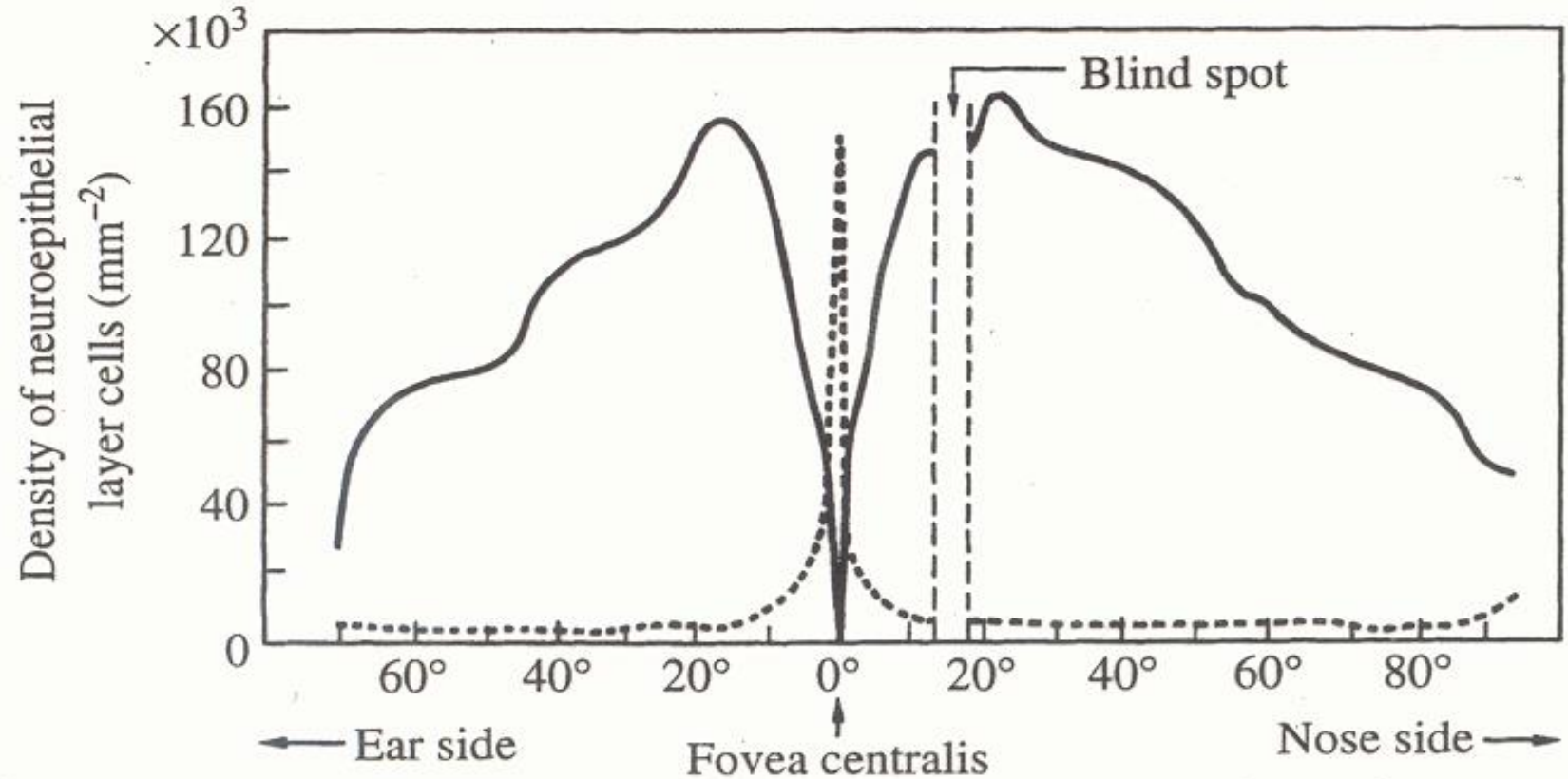
S : 420–440 nm

Ραβδία - Κωνία



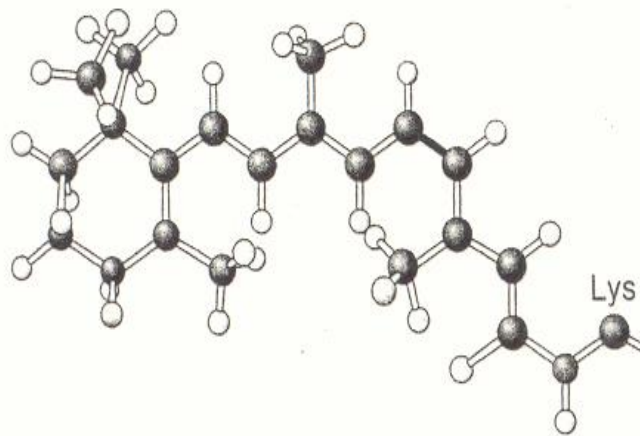
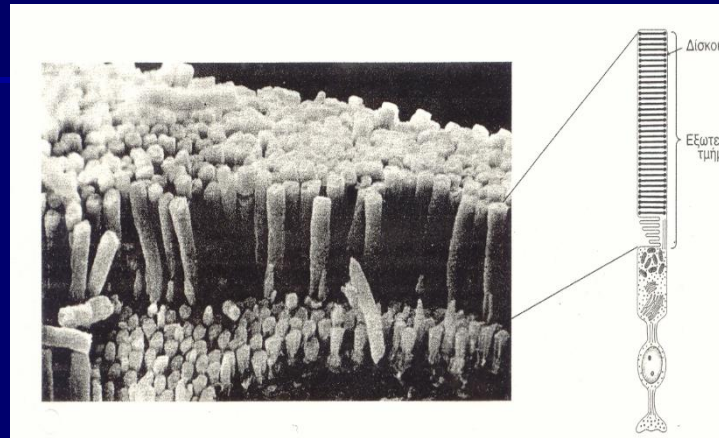
By OpenStax College - Anatomy & Physiology, Connexions Web site.
<http://cnx.org/content/col11496/1.6/>, Jun 19, 2013., CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30148002>

Κατανομή Ραβδίων - Κωνίων

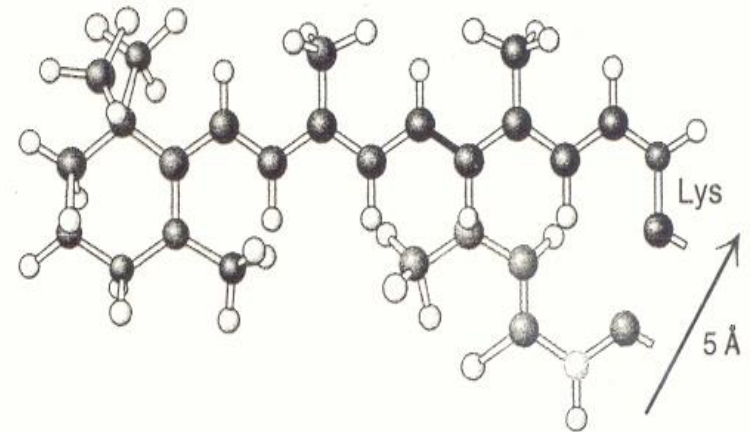
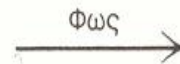


Ροδοψίνη

Οπτικό Ερέθισμα (0.5nm)



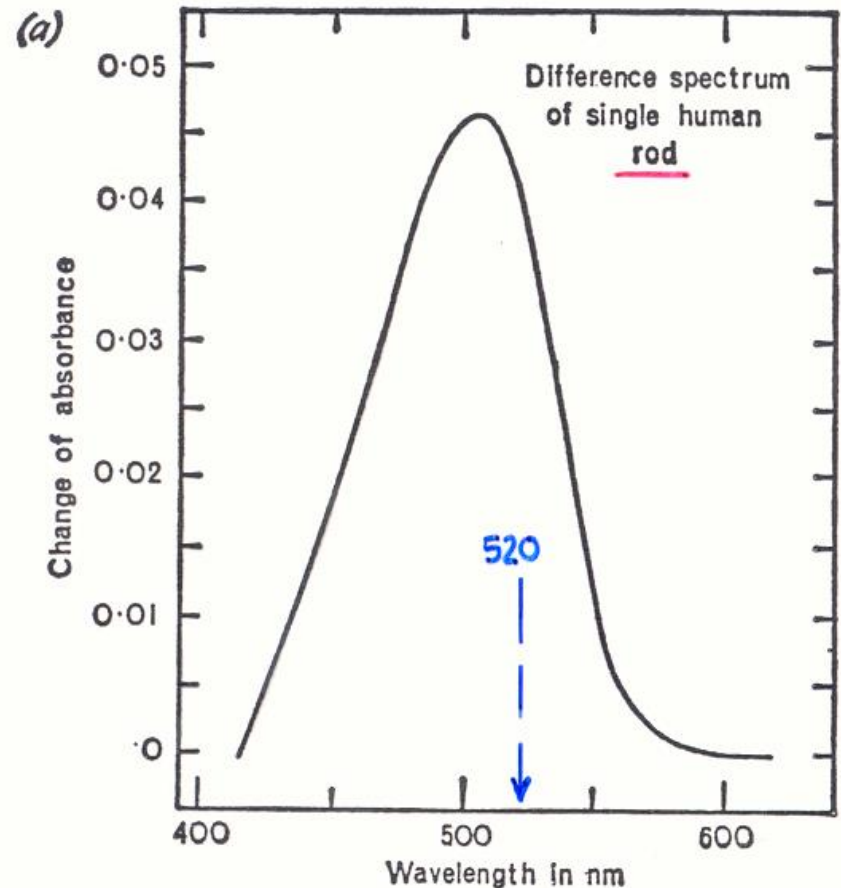
11-*cis*-ρετινάλη



Όλο-*trans*-ρετινάλη

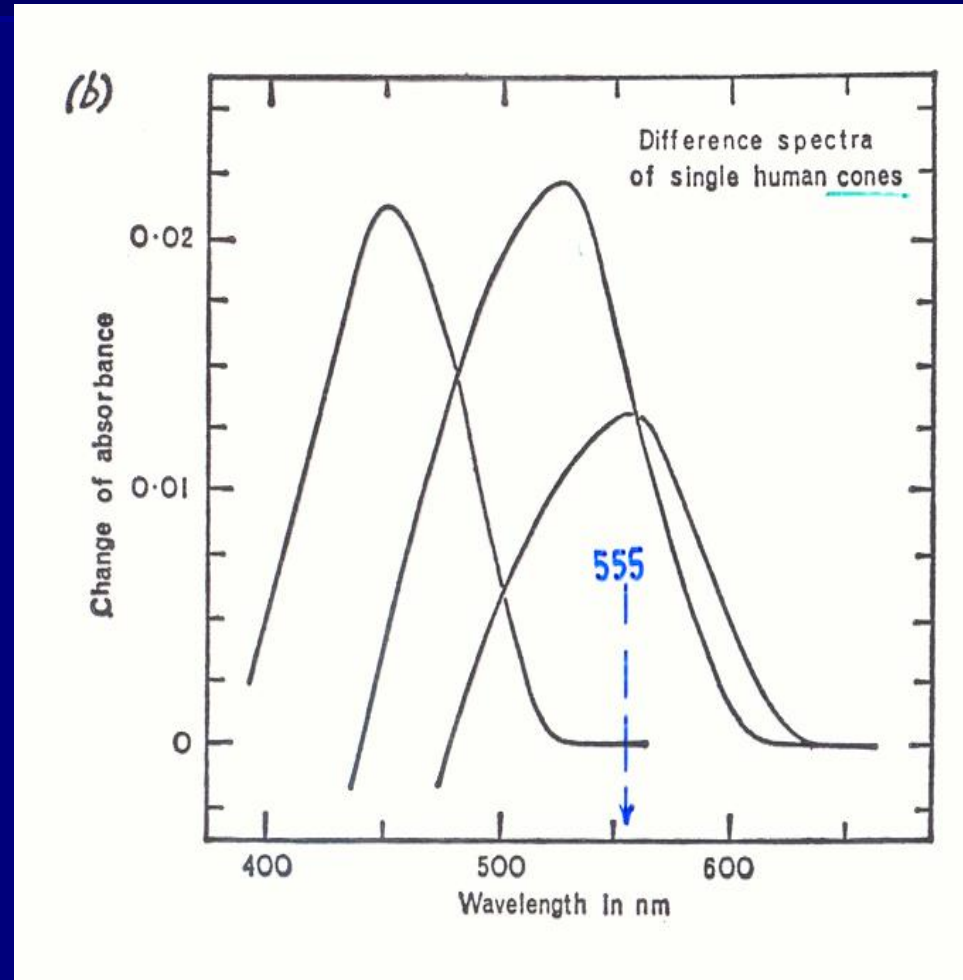
Ραβδία (Rods) Ανθρώπινου αμφιβληστροειδή

- Πλήθος : 1.2×10^8
Εκτεταμένη κατανομή
- Ελάχιστη Ένταση
Ερεθισμού: 0.05 Cd/m^2
- Συνδέονται κατά
ομάδες με οπτικό
νεύρο



Κωνία (Cones) Ανθρώπινου αμφιβληστροειδή

- Πλήθος : 6×10^6
Εντοπισμένη
κατανομή
- Ελάχιστη Ένταση
Ερεθισμού : 3 Cd/m^2
- Συνδέονται
μεμονωμένα με
οπτικό νεύρο

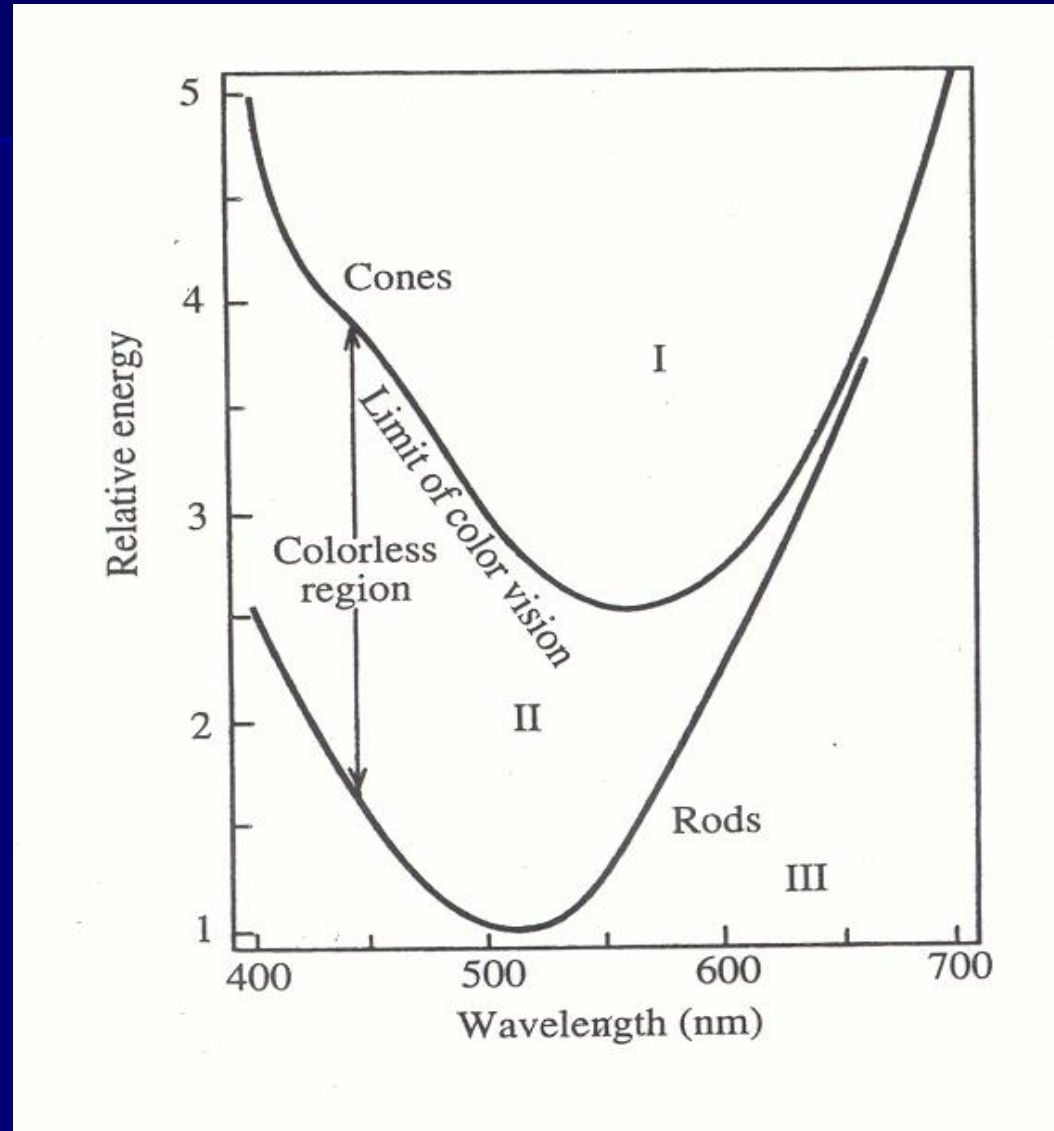


Περιοχές Όρασης

I : Έγχρωμη όραση

II : Ασπρόμαυρη
όραση (απουσία
χρώματος)

III : Απουσία όρασης



Χαρακτηριστικά Ανθρώπινης όρασης

- **Χρωματική προσαρμογή:** η χρωματική αντίληψη δε μεταβάλλεται αν μεταβληθούν οι συνθήκες φωτισμού
- **Μεταμερισμός:** Δύο Φ.Π. Ίδιου φαινόμενου χρώματος αλλά με διαφορετική κατανομή SPD
- **Purkinje effect** : Αντιστροφή της σχετικής λαμπρότητας δύο ξεχωριστών χρωματικών ερεθισμάτων αν αλλάξουν τα επίπεδα φωτισμού
Π.χ. Κίτρινα πέταλλα και πράσινα φύλλα λουλουδιού στο φωσχέση λαμπρότητας σε φως ημέρας και σε χαμηλό βραδινό φωτισμό

Χαρακτηριστικά Χρώματος Φωτεινής Πηγής

- ⇒ Φωτεινή Ροή Πηγής (Φ , Luminous flux) είναι το ποσό ενέργειας (ανά sec) που εκπέμπεται από την πηγή. Μετράται σε Lumen (Lm).
- ⇒ Φωτοβολία Πηγής (I , Luminous Intensity) είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπει η πηγή (ανά στερεά γωνία). Μετράται σε Candelas (Cd).
- ⇒ Λαμπρότητα Πηγής (Luminance) χαρακτηρίζει την Φωτοβολία της πηγής ανά μονάδα επιφάνειας. Μετράται σε Cd/m^2

Χαρακτηριστικά Χρώματος

- ⇒ Απόχρωση (χροιά) (Hue)
αντιπροσωπεύει το επικρατέστερο χρώμα έτσι όπως το αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής.
- ⇒ Καθαρότητα (κορεσμός) (Saturation)
αναφέρεται στην καθαρότητα του χρώματος, σε σχέση με το ποσό άσπρου φωτός με το οποίο αναμειγνύεται.

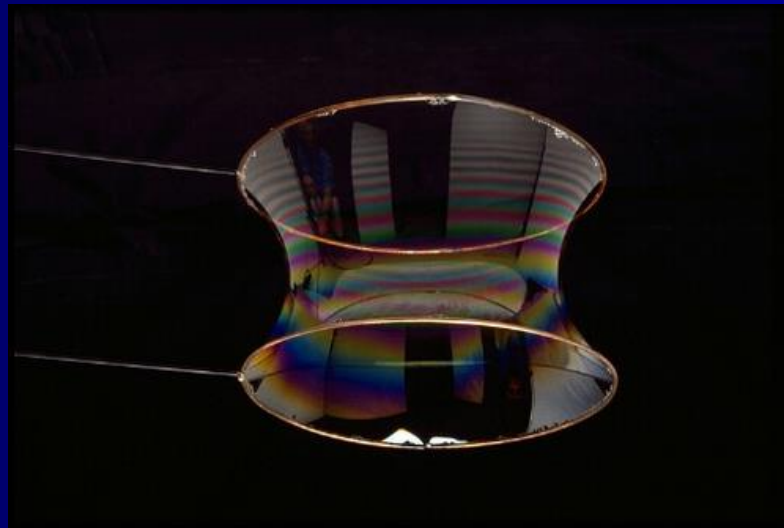
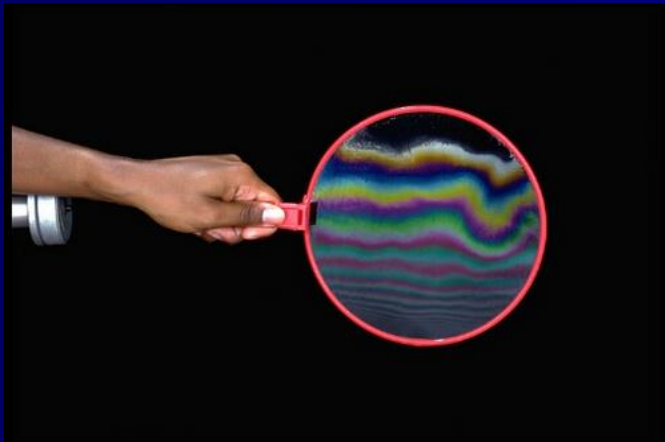
Γεωμετρική – Κυματική Οπτική

- Διάθλαση
- Διάχυση
- Συμβολή
- Περίθλαση
- Ουράνιο Τόξο, Χρωματική εκτροπή
- Μπλε ουρανού, Κόκκινο δύσης
- Λεπτά υμένα, Αντιρεφλέξ κρύσταλλα
- Χρώματα σε έντομα, υγροί κρύσταλλοι, οπάλιο

Ουράνιο Τόξο



Λεπτά Υμένια, χρώματα από συμβολή



Μεταπτώσεις σε στερεά υλικά

- Μέταλλα
 - Χαλκός, ασήμι, χρυσός, σίδηρος
- Ημιαγωγοί (καθαροί)
 - Πυρίτιο, διαμάντι, γαληνίτης
- Ημιαγωγοί (προσμίξεις)
 - Διαμάντι (μπλέ, κίτρινο), δίοδοι, φωσφόροι, laser ημιαγωγών

Κίτρινο, μπλε διαμάντι



Χρώματα σε κρυσταλλικά πεδία

- Μέταλλα μετάβασης
- Ατέλειες μετάλλων μετάβασης
- Κέντρα χρώματος
- Τυρκουάζ, χρωστικές, μερικά laser
- Ρουμπίνι, σμαράγδι, χαλαζίτης, φθορισμός
- Αμέθυστος, σκοτεινό γαλάζιο

Σμαράγδι - Ρουμπίνι

ΣΜΑΡΑΓΔΙ



η απορρόφηση που προκαλεί το κρυσταλλικό πλέγμα του σμαραγδιού

ΡΟΥΜΠΙΝΙ



η απορρόφηση που προκαλεί το κρυσταλλικό πλέγμα του ρουμπινιού



Φάσμα λευκού φωτός χωρίς απορρόφηση

Κάτω αριστερά έχουμε το λευκό φως χωρίς να έχει υποστεί καθόλου απορρόφηση.

Πάνω αριστερά φαίνεται ποια τμήματα του λευκού φωτός απορροφούνται μέσα στον κρύσταλλο του σμαραγδιού. Μερικά μήκη κύματος του κόκκινου, όλα τα μήκη κύματος του πορτοκαλί χρώματος και εν μέρει του κίτρινου και ολική απορρόφηση του μοβ και του ιώδους. Αυτή η απορρόφηση έχει ως αποτέλεσμα τα μήκη κύματος που "περισσεύουν" να δίνουν το υπέροχο πράσινο του σμαραγδιού.

Δεξιά βλέπουμε την απορρόφηση εντός του κρυσταλλικού πλέγματος του ρουμπινιού, η οποία έχει μεγάλες διαφορές από αυτήν του σμαραγδιού. Στο ρουμπίνι δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου απορρόφηση στο κόκκινο, ενώ απορροφούνται όλα τα μήκη κύματος από το πορτοκαλί μέχρι και το κίτρινο και σχεδόν όλο το πράσινο. Τέλος απορροφάται όλο το μοβ και το ιώδες, ενώ μόνο ένα μικρό τμήμα του μπλε παραμένει χωρίς απορρόφηση. Τα μήκη κύματος που "γλυτώνουν" από την απορρόφηση του κρυστάλλου του ρουμπινιού, δίνουν αυτό το μοναδικά υπέροχο κόκκινο χρώμα στο ρουμπίνι.

Πολύτιμοι λίθοι



Μεταπτώσεις από μοριακά τροχιακά

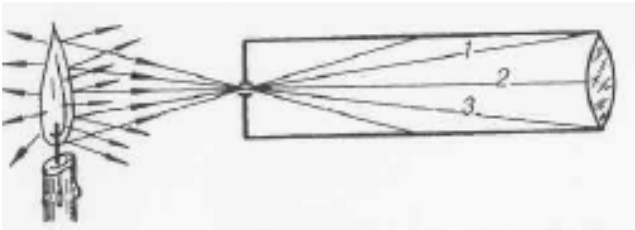
- Μετάπτωση φορτίου
- Μπλε ζαφείρι, μαγνητίτης
- Συζευγμένοι δεσμοί σε οργανικά μόρια
- Οργανικά χρωστικά, φυτικά & ζωικά χρώματα, πυγολαμπίδα, λαζουρίτης

Μεταπτώσεις σε άτομα, μόρια, ιόντα, φλόγα

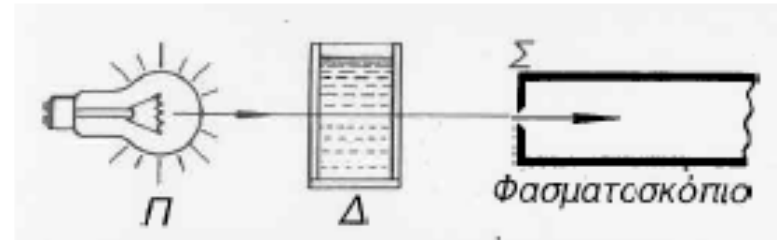
- Πυράκτωση
- Αποδιεγέρσεις αερίων, ατμών, εκκενώσεις
- Μοριακές δονήσεις ταλαντώσεις, περιστροφικές κινήσεις)
- Μέλαν σώμα, φλόγα, σπινθήρας
- Κεραυνός, εκρήξεις αερίων
- Πρασινογάλαζο χρώμα νερού, χρώμα πάγου

ΦΑΣΜΑΤΑ

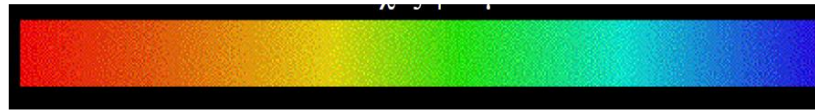
ΕΚΠΟΜΠΗΣ



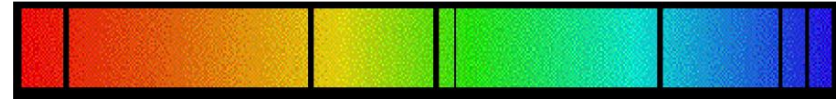
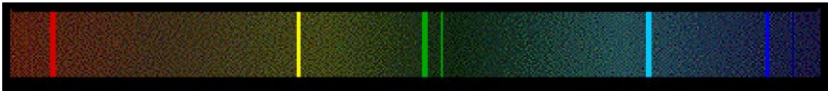
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ



- ΣΥΝΕΧΗ



- ΓΡΑΜΜΙΚΑ

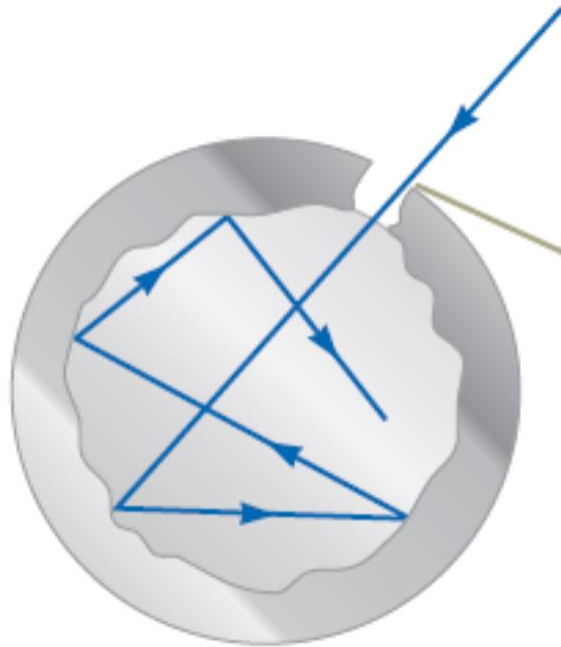


ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ

ιδανικό σύστημα, απορροφά όλα τα μήκη κύματος (λ) της Η/Μ ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνειά του



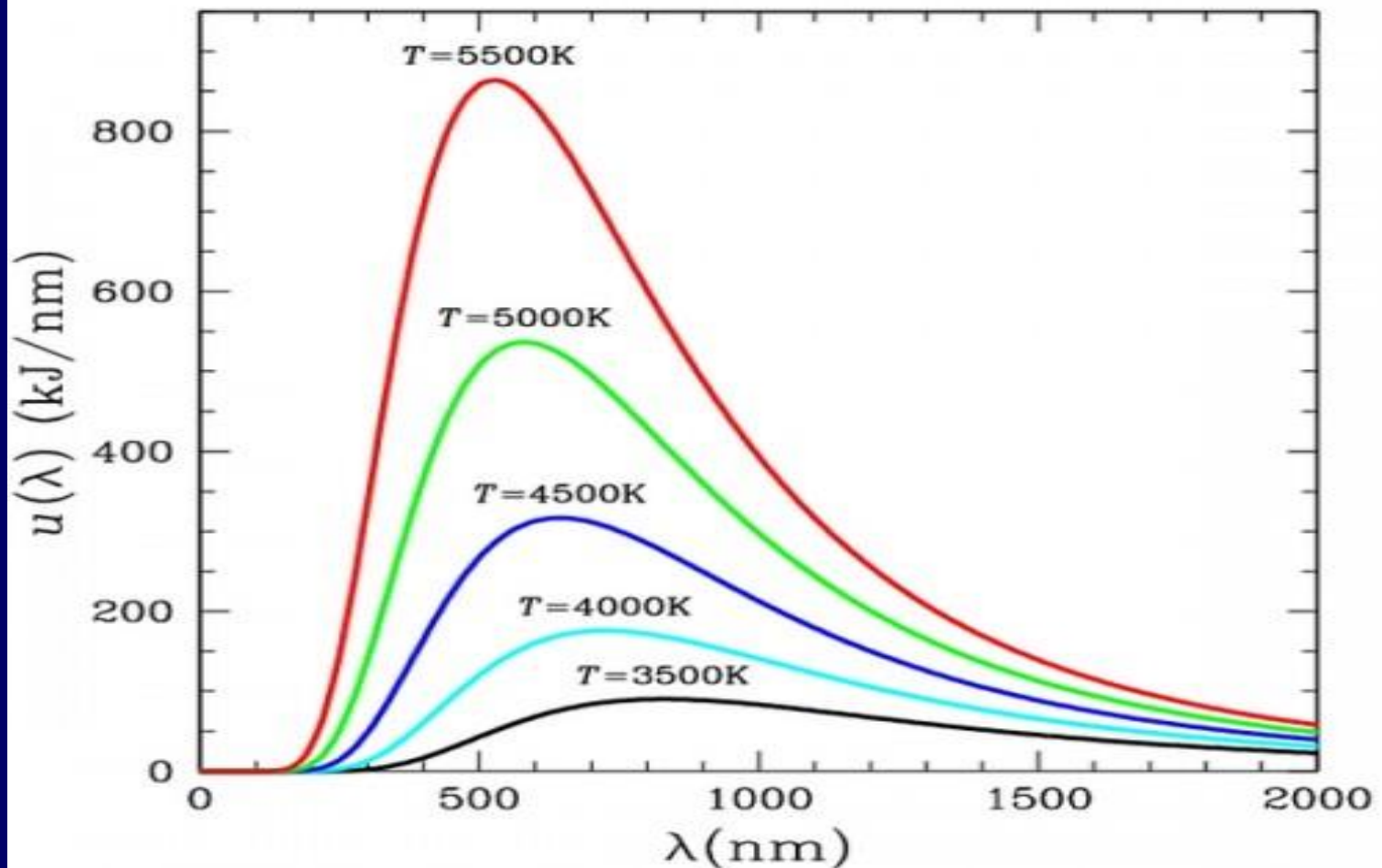
ιδανικός εκπομπός Η/Μ ακτινοβολίας σε κάθε μήκος κύματος



The opening to a cavity inside a hollow object is a good approximation of a black body: the hole acts as a perfect absorber.

Serway, R. A. & Jewett, J. W. *Physics for scientists and engineers with modern physics*. (Brooks/Cole, Cengage Learning, 2010).

Φάσμα Εκπομπής μέλανος σώματος



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- ν. Stefan – Boltzmann: $I = \sigma \cdot T^4$

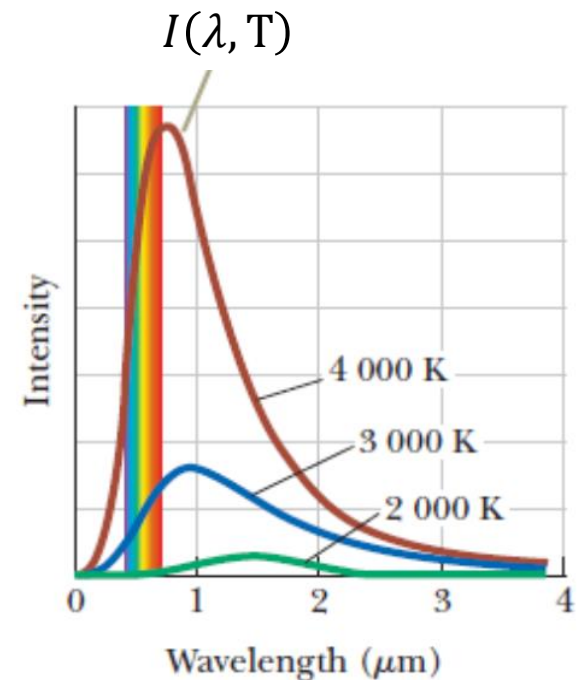
$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \quad : \text{σταθερά Stefan – Boltzmann}$$

- ν. μετατόπισης Wien: $\lambda_{peak} \cdot T = 2.9 \times 10^{-3} m \cdot K$

- ν. Planck:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot s \quad : \text{σταθερά Planck}$$



- **Θερμοκρασία χρώματος – Color temperature (CT):**
Η θερμοκρασία μέλανος σώματος το χρώμα του οποίου «ταυτίζεται» με το χρώμα της φωτεινής ακτινοβολίας
- **Σχετιζόμενη θερμοκρασία χρώματος – Correlated CT (CCT):** φαινόμενο χρώμα φωτεινής πηγής
- **CRI (color rendering index):** δείκτης επίδρασης φωτιστικού σώματος στη χρωματική εμφάνιση ενός αντικειμένου συγκριτικά με τη χρωματική του εμφάνιση υπό πρότυπο φωτισμό (standard illuminant).
Πιστή απόδοση χρώματος: $CRI > 80$

Φλόγα από κερι

Θερμοκρασίες
περιοχών με χρώμα

- Γαλάζια : 1400 °C
- Κίτρινη : 1200 °C
- Κόκκινη : 700 °C



Έγχρωμες Φλόγες



Θεωρία Χρώματος

Βασικά (primary) χρώματα (RGB)

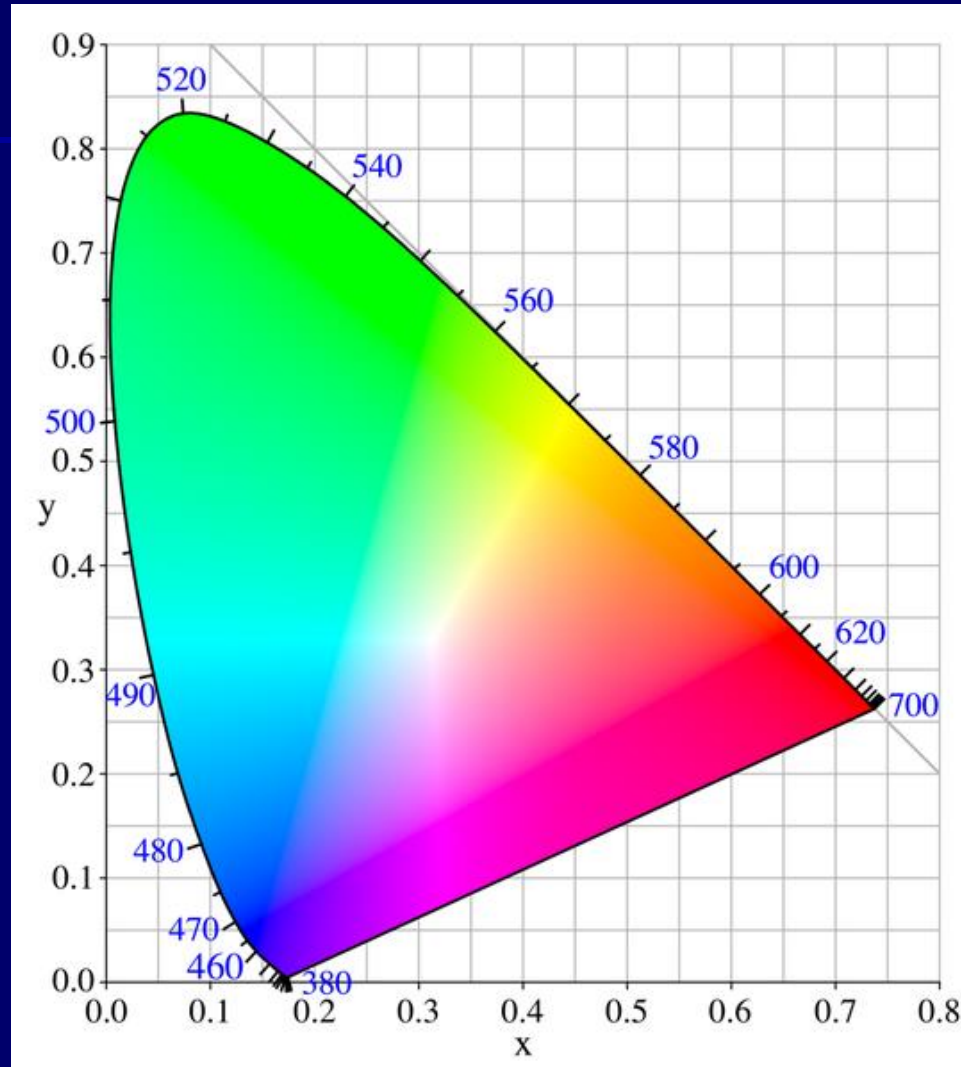
- Κόκκινο (Red)
- Πράσινο (Green)
- Μπλε (Blue)

Συμπληρωματικά (secondary) χρώματα (CMYK)

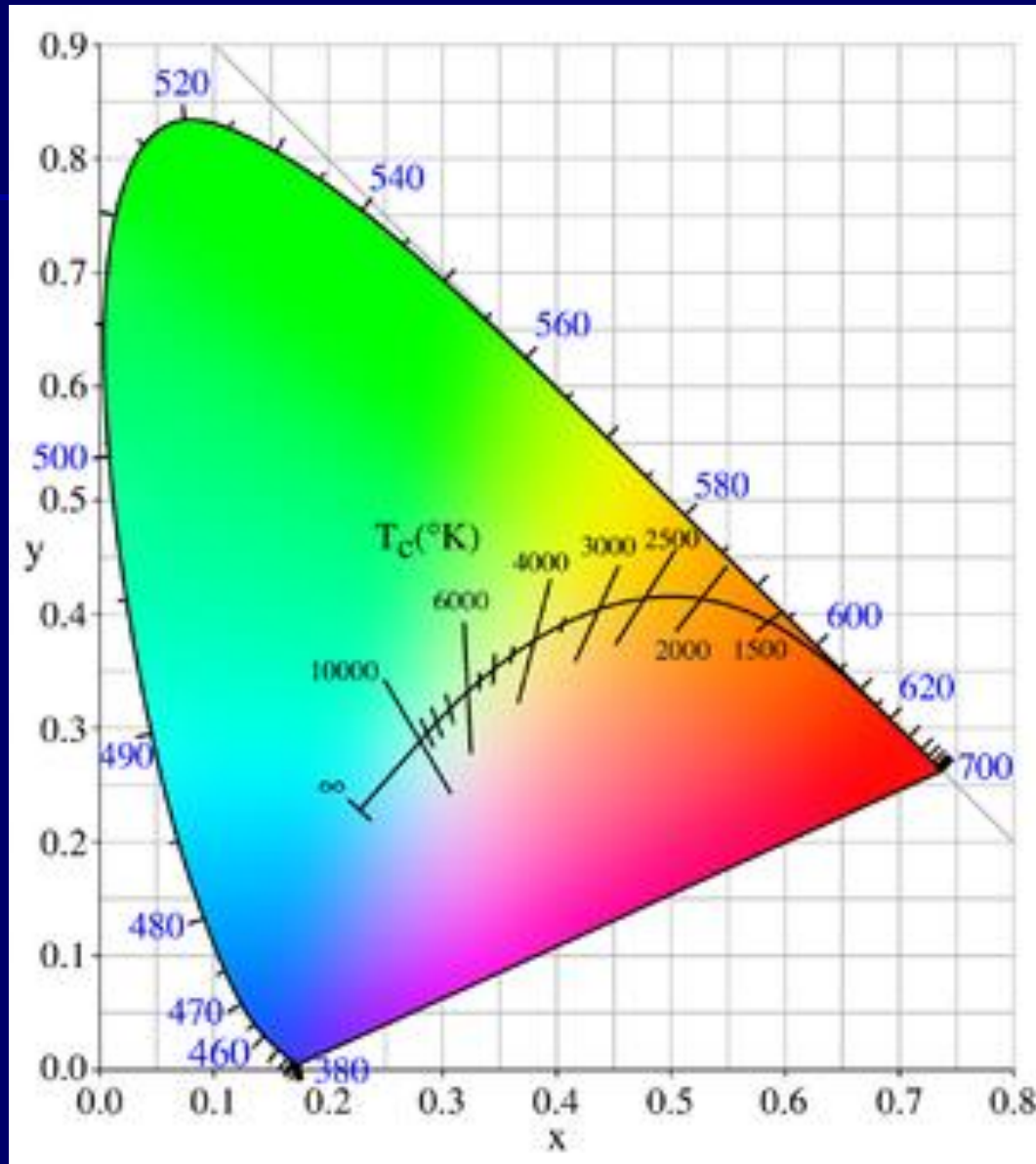
- Κυανό (Cyan)
- Μωβ (Magenta)
- Κίτρινο (Yellow)

- CIE: Διεθνής Επιτροπή για το Φωτισμό
- Χρωματικοί Χώροι: ποσοτική συσχέτιση φασματικής κατανομής & χρωματικής αντίληψης
- Π.χ. CIE 1931, CIE RGB, CIE XYZ, sRGB (HP-Microsoft)
- Προσδιορισμός χρώματος: 3 παράμετροι \leftrightarrow επίπεδα διεγέρσεις S-, M- & L- κωνίων
- Τυπικός χρωματομετρικός παρατηρητής CIE: αριθμητική περιγραφή της χρωματικής απόκρισης μέσου ανθρώπινου οφθαλμού (FOV 2° ή 10°)

Χρωματικό Διάγραμμα (CIE)



Χρωματικό Διάγραμμα (CIE)



Χρωματικό Διάγραμμα (CIE)

- Απλά Χρώματα : Κάθε σημείο επάνω στη κλειστή καμπύλη
- Σύνθετα Χρώματα : Κάθε σημείο εσωτερικό της καμπύλης. Η περιοχή του «λευκού» W αντιστοιχεί σε : $x = y = 0.33$
- Κάθε ευθύγραμμο τμήμα που όμως διέρχεται από το W προσδιορίζει τα ζευγάρια των συμπληρωματικών χρωμάτων

Χρωματικό Διάγραμμα (CIE)

- Στο ευθύγραμμο τμήμα στο κάτω μέρος του διαγράμματος αντιστοιχούν τα πορφυρά χρώματα, πρόκειται για χρώματα από την κατάλληλη μίξη ιώδους και ερυθρού.
- Στην εσωτερική περιοχή έχει χαραχθεί η καμπύλη μέλανος σώματος σε κάθε σημείο της οποίας υπάρχει και η τιμή της απόλυτης θερμοκρασίας T .

Χρωματικό Διάγραμμα (CIE)

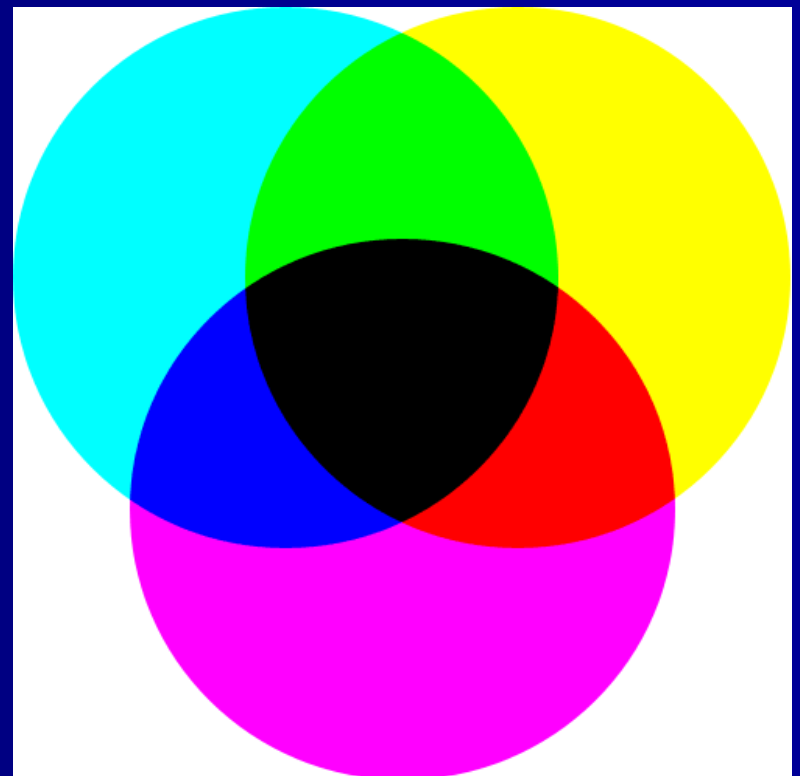
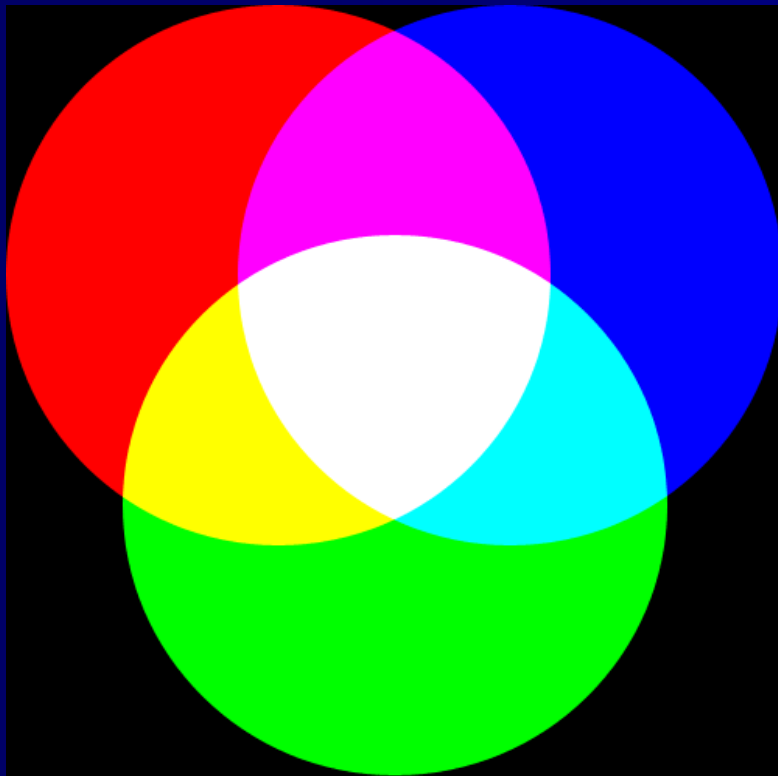
- Έστω περιοχή σημείου X με συντεταγμένες $(0.19, 0.21)$ το σύνθετο χρώμα στο οποίο αντιστοιχεί μπορεί να αναπαραχθεί ως εξής :

Ιώδες (400nm) + Πράσινο (565nm) ή
Βαθύ Κυανό (480nm) + Κίτρινο (580nm)

Μάλιστα, στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για δυο συμπληρωματικά χρώματα.

Θεωρία χρώματος

Βασικά - Συμπληρωματικά

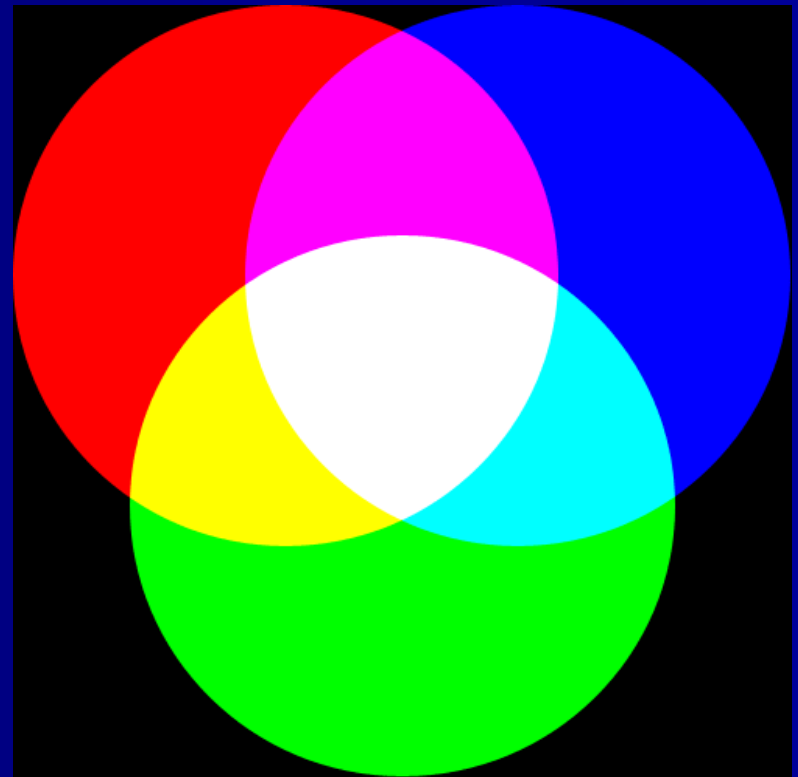


Αίσθημα Χρώματος από σύνθεση RGB, Additive Colors

Ισχύουν οι ισότητες :

- $Y = R+G$
- $M = R+B$
- $C = B+G$
- $W = R+B+G$ ή και
- $W = M+C+Y$

Εφαρμογές σε
monitors, TV.



Συμπληρωματικά χρώματα

(RGB colors)

- Yellow, Blue
- Magenta, Green
- Cyan, Red

Η πρόσθεση δυο απλών χρωμάτων δημιουργεί νέο χρώμα που είναι συμπληρωματικό του τρίτου.

Παράδειγμα RGB

- Χιόνι (λευκό) έντονα τα R,G,B
- Σπίτι (καφέ) έντονα τα R,G
- Γρασίδι (πράσινο) έντονο το G
- Ουρανός (μπλε) έντονο το B



Η πρώτη έγχρωμη φωτογραφία (1861) :
Thomas Sutton & James Clerk Maxwell
Μέθοδος 3 χρωματικών φίλτρων

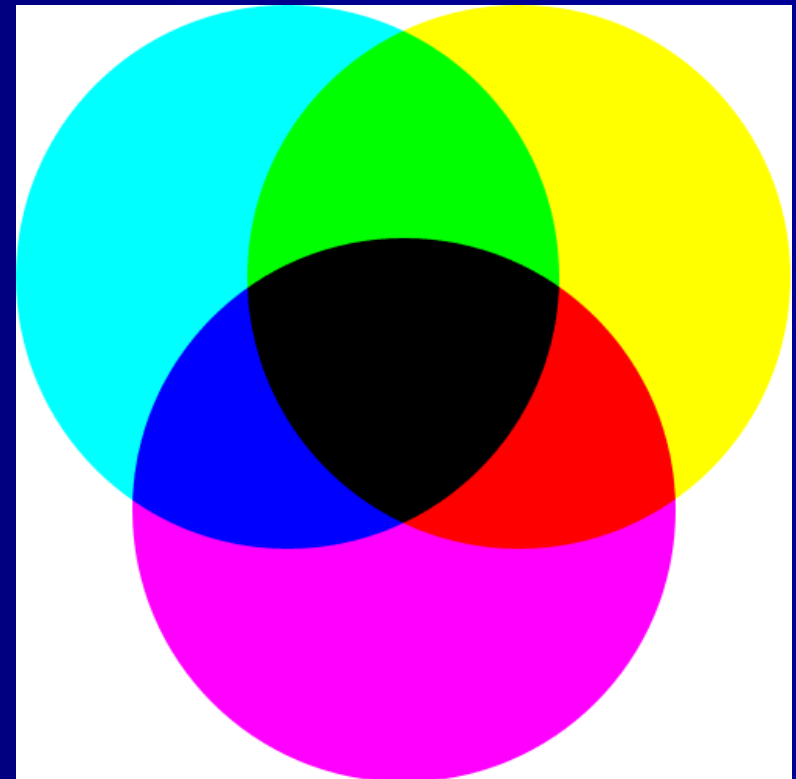


By James Clerk Maxwell - Scanned from The Illustrated History of Colour Photography, Jack H. Coote, 1993. ISBN 0-86343-380-4., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1007375>

Αίσθημα Χρώματος από αφαίρεση CMYK, Subtractive Colors

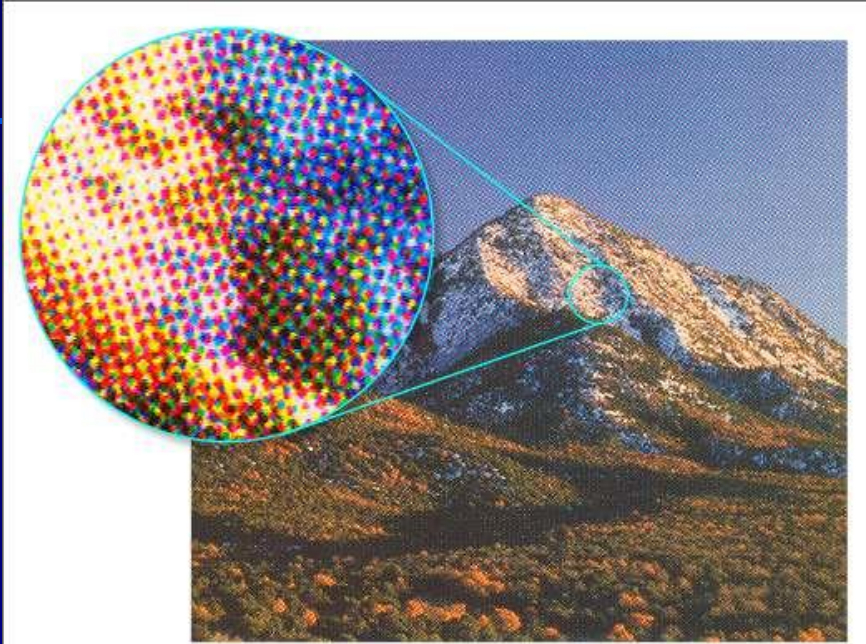
Ισχύουν οι ισότητες :

- $Y = W - B$
- $M = W - G$
- $C = W - R$
- $W - B - R = G$
- $W - R - G = B$
- $W - B - G = R$
- $W - B - R - G = \text{black}$



Εφαρμογές σε printers.

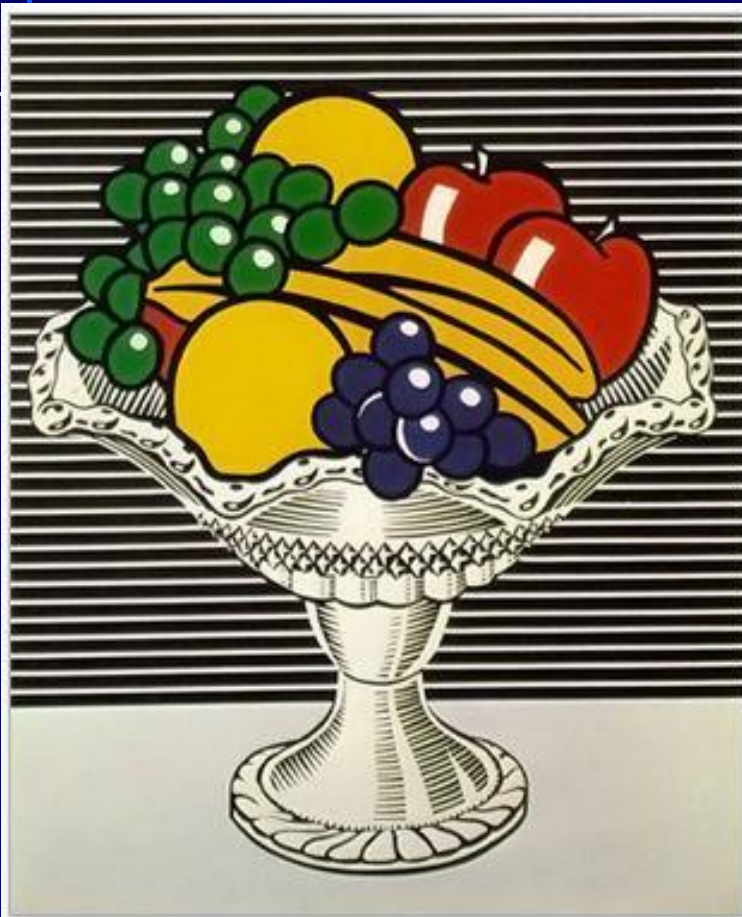
Παραδείγματα CMYK



Magazine photograph printed in CMYK



Παράδειγμα CMYK



Original painting



C
Cyan



m
Magenta



Y
Yellow



K
Black

CMYK Components

Τρόποι αναπαραγωγής σύνθετου χρώματος

- Πρόσθεση τριών απλών χρωμάτων αναφοράς με κατάλληλες αναλογίες
- Πρόσθεση δυο απλών χρωμάτων υπό συγκεκριμένη αναλογία. Το ζευγάρι των απλών χρωμάτων δεν μπορεί να επιλεγεί αυθαίρετα
- Πρόσθεση (σε λευκό φως) ενός απλού χρώματος ίδιας απόχρωσης με το σύνθετο