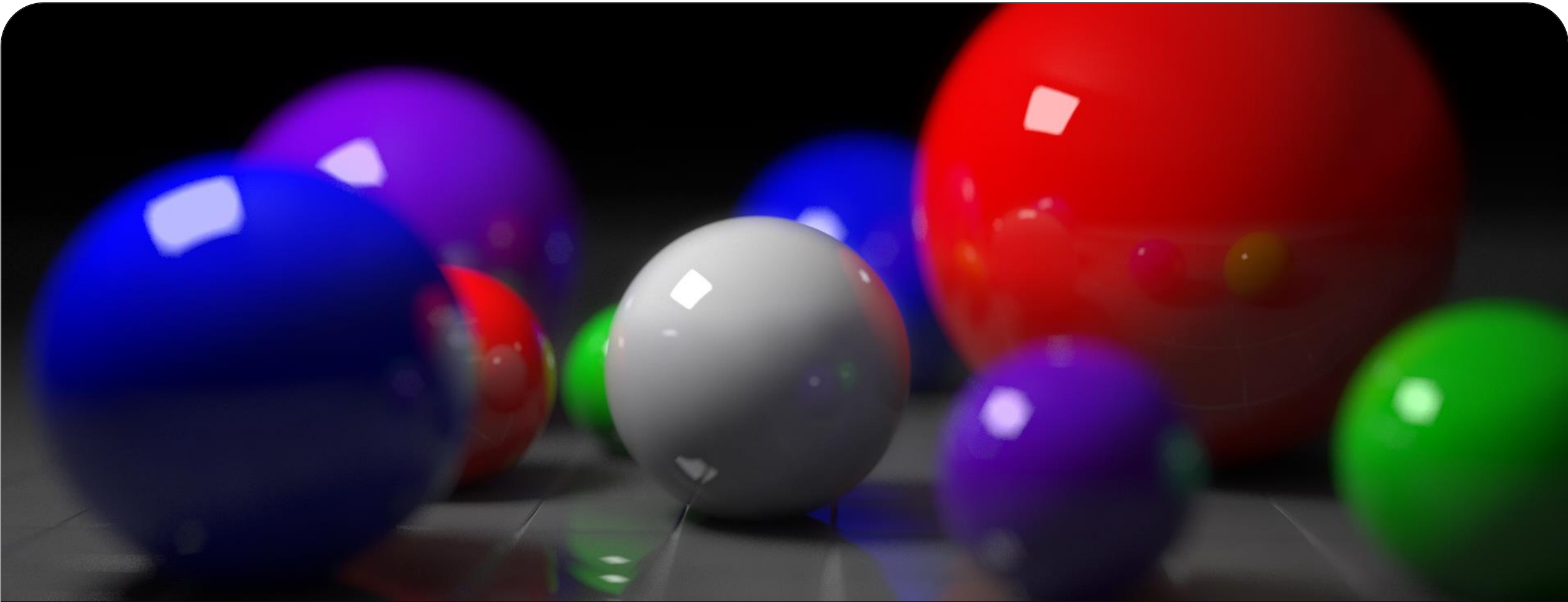




Γραφικά Υπολογιστών

Παρακολούθηση ακτίνας - Χρώματα

Andreas Aristidou

andarist@ucy.ac.cy

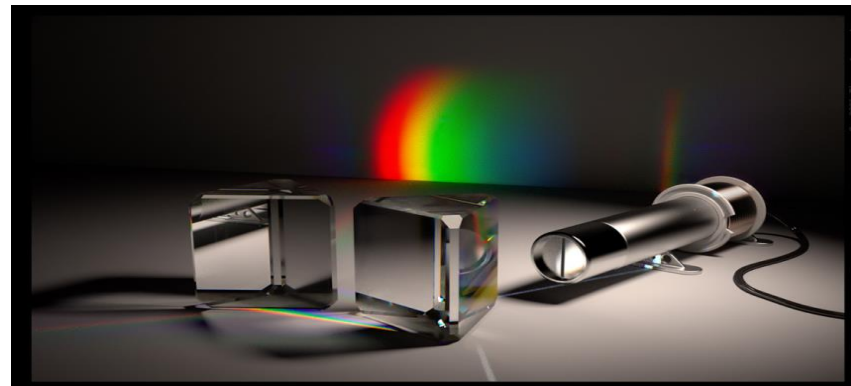
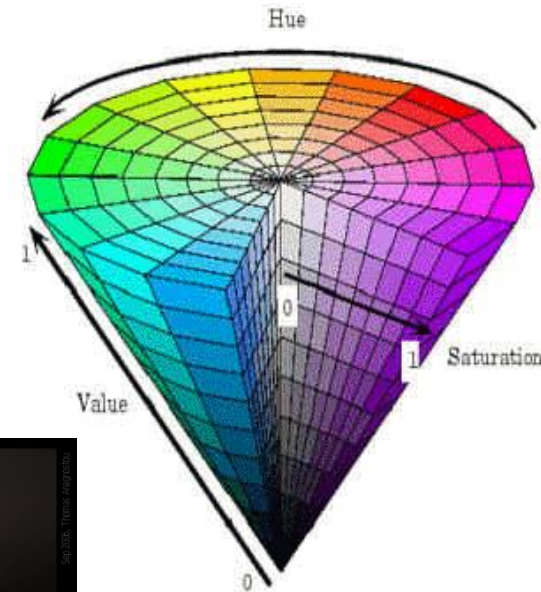
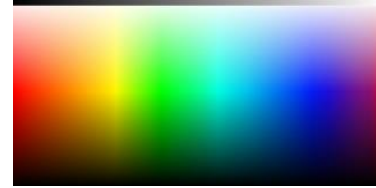
<http://www.andreasaristidou.com>



Χρώμα

Περίληψη μαθήματος

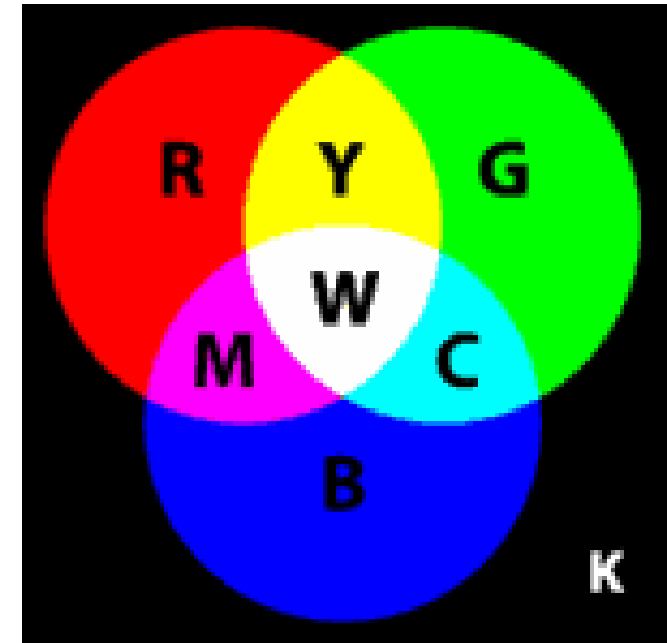
- Κίνητρο
- Αχρωματικό φως
- Χρωματικό φως (Chromatic color)
- Χρωματικά μοντέλα για γραφικά ράστερ
- Αναπαραγωγή χρώματος
- Χρήση χρώματος σε γραφικά υπολογιστή



(rendered with
[Maxwell](#))

Γιατί μελετάμε το χρώμα στα γραφικά υπολογιστών;

- Για ρεαλισμό - τι σημαίνει η κωδικοποίηση ενός τριπλού RGB;
- Αισθητική για την επιλογή κατάλληλων χρωμάτων διεπαφής χρήστη
 - Πώς να ταιριάξω το παντελόνι και το πουκάμισο μου το πρωί
- Ποιες είναι οι αντιληπτικές/φυσικές δυνάμεις που οδηγούν στο γούστο για κάποιο χρώμα;
- Κατανόηση των μοντέλων χρωμάτων για την παροχή εύκολης επιλογής χρωμάτων στους χρήστες
 - συστήματα για την ονομασία και την περιγραφή χρωμάτων
- Χρωματικά μοντέλα, μετρήσεις και γκάμες χρωμάτων για τη μετατροπή χρωμάτων μεταξύ μέσων
- Γιατί τα χρώματα στην οθόνη σας ενδέχεται να μην είναι εκτυπώσιμα και αντίστροφα
 - Διαχείριση χρωμάτων σε συστήματα που διασυνδέουν υπολογιστές, οθόνες, σαρωτές και εκτυπωτές μαζί



Όραση

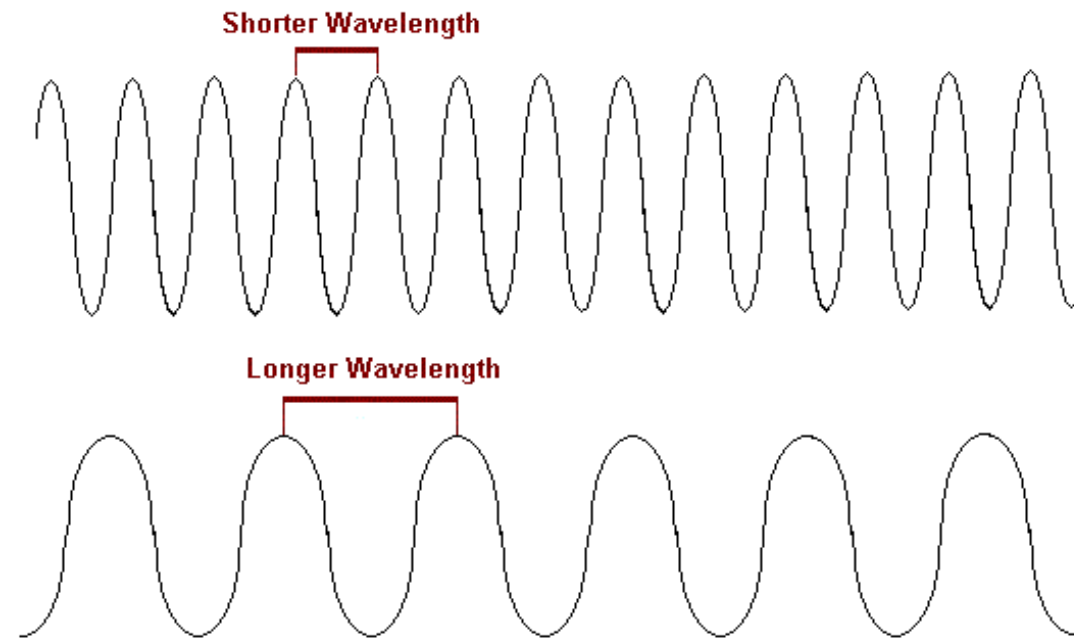
- **Μάτι:** είναι ένας αισθητήρας που μπορεί να ανιχνεύσει ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προέρχονται από ένα αντικείμενο
- Άνω του 70% της πληροφορίας που συλλέγουμε προέρχεται από την όραση
- Η όραση είναι η σημαντικότερη αίσθηση (σε σχέση με άλλες: ακοή, γεύση, όσφρηση, αφή), του ανθρώπου
- Το κύριο τμήμα ενός συστήματος πολυμέσων είναι οπτικό (εικόνες, video, animation, μοντέλα 3D, κείμενο)
 - Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το **ανθρώπινο οπτικό σύστημα (HVS)**
 - μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε αποδοτικά την τεχνολογία των πολυμέσων

Τι είναι το χρώμα;

- Το χρώμα είναι μια ιδιότητα των αντικειμένων που δημιουργούν τα μυαλά μας - μια ερμηνεία του κόσμου γύρω μας
- Η ικανότητα διαφοροποίησης μεταξύ των χρωμάτων ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών ζωικών ειδών
- Η αντίληψη των χρωμάτων προέρχεται από δύο κύρια συστατικά:
 - **Φυσικές ιδιότητες του κόσμου γύρω μας**
 - ηλεκτρομαγνητικά κύματα αλληλεπιδρούν με υλικά στον κόσμο και τελικά φτάνουν στα μάτια μας
 - το ορατό φως περιλαμβάνει το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που μπορούν να ανιχνεύσουν τα μάτια μας (380nm/**violet** – 740nm/**red**)
 - φωτοϋποδοχείς στο μάτι (ράβδοι και **κώνοι**) μετατρέπουν το φως (φωτόνια) σε ηλεκτροχημικά σήματα και στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία από τον εγκέφαλο
 - **Φυσιολογική ερμηνεία σημάτων** (“raw data”) που επιστρέφεται από τους υποδοχείς
 - λιγότερο καλά κατανοητή και απίστευτα πολύπλοκη επεξεργασία υψηλότερου επιπέδου - καταλαβαίνουμε το μάτι, αλλά ο εγκέφαλος πολύ λιγότερο!
 - είναι πολύ εξαρτώμενος από την προηγούμενη εμπειρία και τις συσχετίσεις αντικειμένων
- Και τα δύο είναι σημαντικά για την κατανόηση της αίσθησης / αντίληψης του χρώματος
 - Ο Νεύτωνας (“Optics”, 1704) επικεντρώθηκε στη φυσική/ αντικειμενική μέτρηση, ενώ ο Goethe (“Zur Farbenlehre”, 1810) αμφισβήτησε αυτή τη μειωτική άποψη και πρόσθεσε αντιληπτικά και καλλιτεχνικά στοιχεία στη θεωρία του: “Colour is a degree of darkness”

Εισαγωγή στο χρώμα

- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (EM) μπορεί να έχουν διαφορετικά μήκη κύματος
 - Μεγάλα μήκη κύματος (π.χ. dc/power band)
 - Μικρά μήκη κύματος (π.χ. gamma rays)

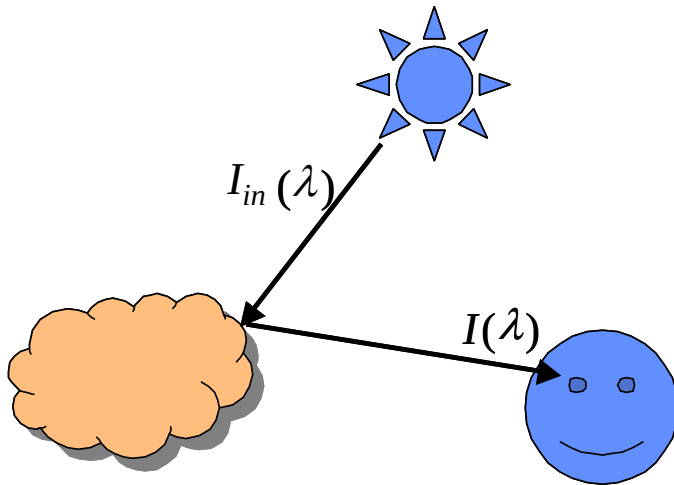


Εισαγωγή

- Το μάτι μπορεί να εντοπίσει κύματα σε ένα στενό φάσμα
 - 400nm–700nm (nm:nanometer $1\text{nm}=1\times10^{-9}\text{m}$)
 - Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι η περιοχή με όλες τις πιθανές συχνότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
 - Διαφορετικά χρώματα έχουν διαφορετικά μήκη κύματος
 - Π.χ. κόκκινο = 700nm, μπλέ = 400nm
- Ηλιακό φως:
 - Το φάσμα του είναι εντός αυτού του μήκος κύματος
 - Είναι η κύρια πηγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της γης
 - Πιστεύεται πως η εξέλιξη του HVS έχει επηρεαστεί από την ακτινοβολία του ήλιου

Εισαγωγή

- Πως βλέπουμε τα αντικείμενα



$$I(\lambda) = \rho(\lambda) \times I_{in}(\lambda)$$

$I_{in}(\lambda)$: η κατανομή ενέργειας που προέρχεται από τη πηγή φωτός

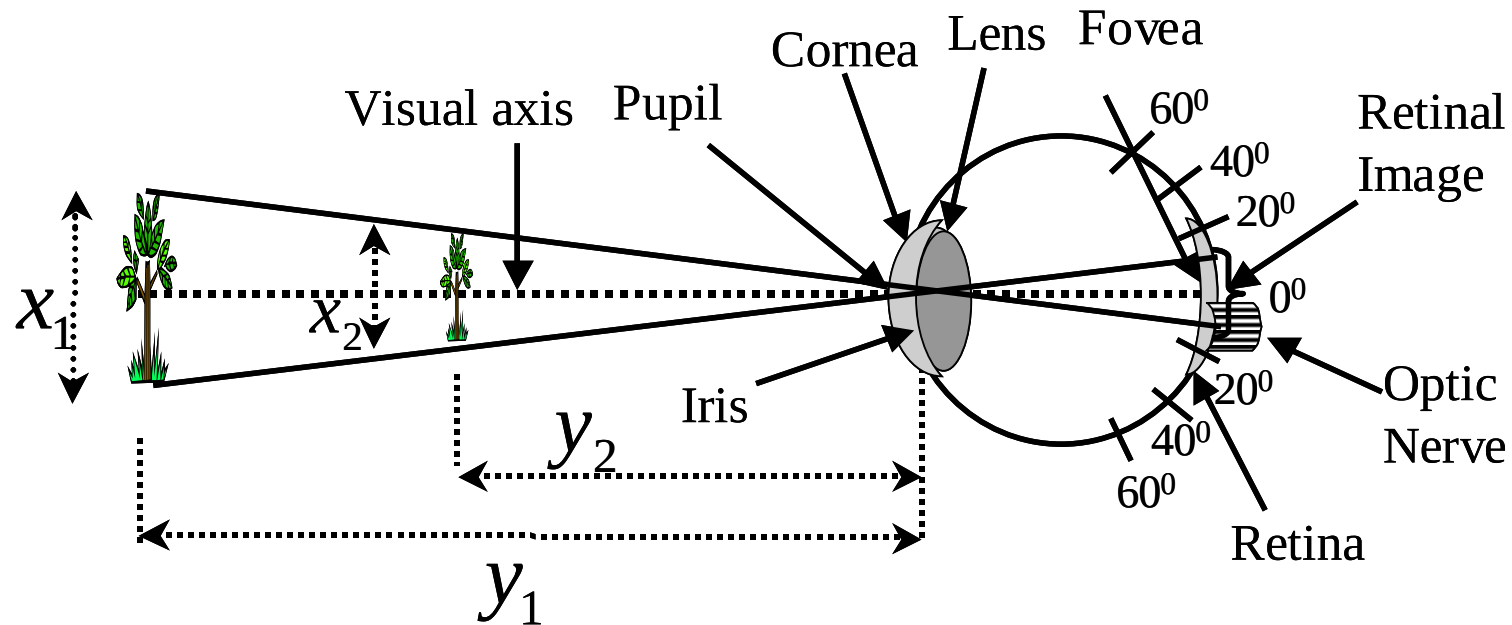
$I(\lambda)$: το φως που λαμβάνει ο παρατηρητής

$\rho(\lambda)$: Ανακλαστικότητα ή διαθλαστικότητα του αντικειμένου

λ : μήκος κύματος

Ανθρώπινο Οπτικό Σύστημα (Human Visual System)

- Το ανθρώπινο οπτικό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα οπτικό σύστημα



Ανθρώπινο Οπτικό Σύστημα (Human Visual System)

- Οπτικό σύστημα
 - Το φως ενός αντικειμένου πέφτει στο μάτι
 - Η κόρη του ματιού λειτουργεί σαν άνοιγμα (aperture)
 - Μια εικόνα δημιουργείται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα
 - Ο παρατηρητής βλέπει την εικόνα
- Το αντιλαμβανόμενο μέγεθος ενός αντικειμένου εξαρτάται από τη γωνία που δημιουργείται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα
- Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας μπορεί να δει καλύτερα τις λεπτομέρειες, όταν η εικόνα που δημιουργεί είναι μεγαλύτερη και πάνω της έχει περισσότερες φως

Ανθρώπινο Οπτικό Σύστημα (Human Visual System)

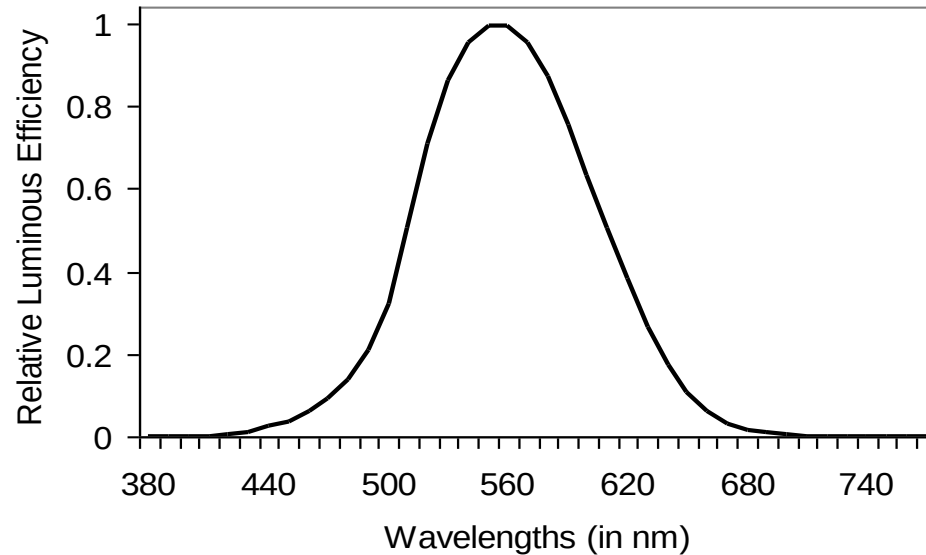
- Η κόρη του ματιού ελέγχει το μέγεθος του φωτός που εισέρχονται στο μάτι
 - Συνήθη φωτισμό: η κόρη είναι περίπου 2 mm
 - Χαμηλό φωτισμό: το μέγεθος μεγαλώνει επιτρέποντας περισσότερο φως
 - Υψηλό φωτισμό: το μέγεθος μικραίνει περιορίζοντας την είσοδο του φωτόςlight
- Ο Αμφιβληστροειδής χιτώνας περιέχει δύο τύπους δεκτών φωτεινού σήματος (photoreceptors):
 - Ράβδοι (rods)
 - Κώνους (cones)

Ανθρώπινο Οπτικό Σύστημα (Human Visual System)

- Mesopic vision (ο φωτισμός είναι χαμηλός, αλλά δεν είναι αρκετά σκοτεινό): μέσος φωτισμός
 - Οι rods και οι cones είναι ενεργοί
- Έγχρωμη όραση: Δίνεται από τους cones
 - Οι Cones δεν είναι ενεργοί σε χαμηλό φωτισμό → το χρώμα ενός αντικειμένου μπορεί να μην εντοπιστεί σωστά σε χαμηλό φωτισμό

Σχετική φωτεινή αποδοτικότητα (Relative Luminous Efficiency)

- Όταν μια κατανομή ενέργειας ακτινοβολίας $I(\lambda)$ ληφθεί, τα διαφορετικά μήκη κύματος **δεν έχουν την ίδια επίδραση** στο HVS



Η γραφική αναπαράσταση της σχετική φωτεινή απόδοση (Relative Luminous Efficiency) του HVS

- Το μάτι είναι πιο ευαίσθητο στο φως με μήκος κύματος 555 nm

Σχετική φωτεινή αποδοτικότητα

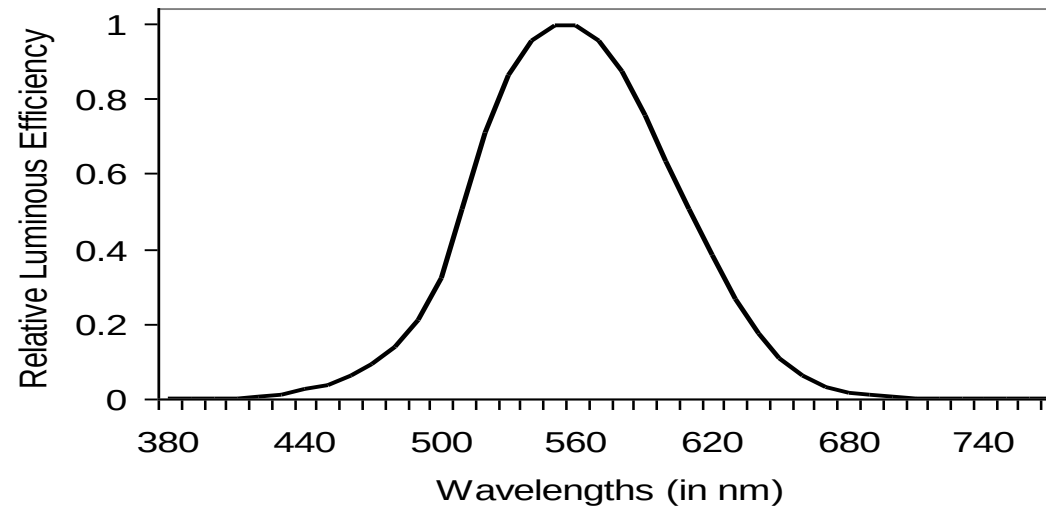
- Η φωτεινότητα (Luminance) ή ένταση (Intensity) ενός αντικειμένου με εισερχόμενη ενέργεια $I(\lambda)$, μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$L = I(\lambda) \times V(\lambda), \quad \text{where: } I(\lambda) = \rho(\lambda) \times I_{in}(\lambda)$$

- $V(\lambda)$: relative luminous efficiency
- Η φωτεινότητα μετριέται σε cd/m^2 όπου cd (candela) είναι η μονάδα της ανακλώμενης φωτεινής έντασης
 - Π.χ. Συνήθως, οι υπολογιστές έχουν φωτεινότητα 50 - 300 cd/m^2
 - Ηλιακό φως: 100 000 cd/m^2
- Η φωτεινότητα L είναι πιο σημαντική από το $I(\lambda)$ κατά τη διαδικασία σχηματισμού της εικόνας
 - Γιατί? Επειδή είναι αυτό που θα δει ο παρατηρητής

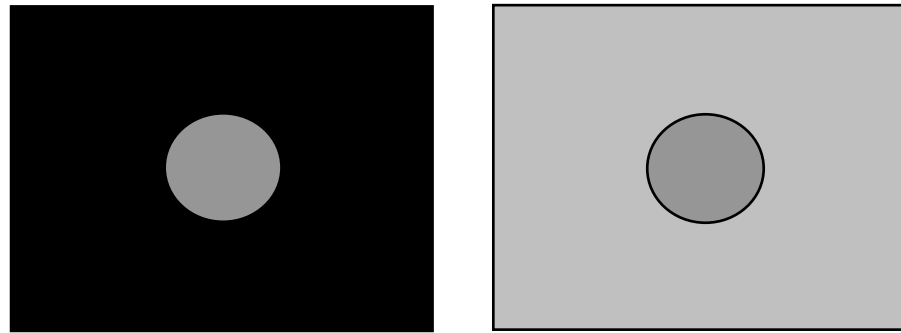
Σχετική φωτεινή αποδοτικότητα

- Το Φως με **υψηλή** φωτεινότητα L εμφανίζεται πάντα **λαμπρό** σε ένα ανθρώπινο παρατηρητή
- Το Φως με **χαμηλή** φωτεινότητα L εμφανίζεται πάντα **σκοτεινό** σε ένα ανθρώπινο παρατηρητή
- Η υψηλή $I(\lambda)$ (Ενέργεια ακτινοβολίας) ίσως να εμφανίζεται σκούρο (εάν η ενέργεια βρίσκεται κοντά στα δύο άκρα του σχήματος της καμπύλης)



Relative Luminous Efficiency

- Φωτεινότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για να καθοριστεί εάν μια περιοχή της εικόνας θα είναι σκούρα ή φωτεινή
- **Η Φωτεινότητα των γύρω περιοχών** διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση μιας συγκεκριμένης εικόνας



Οι κύκλοι στο κέντρο έχουν την ίδια φωτεινότητα και στις δύο περιπτώσεις

- Ο κύκλος στο σκούρο φόντο φαίνεται να είναι φωτεινότερος

Luminous – Brightness - Contrast

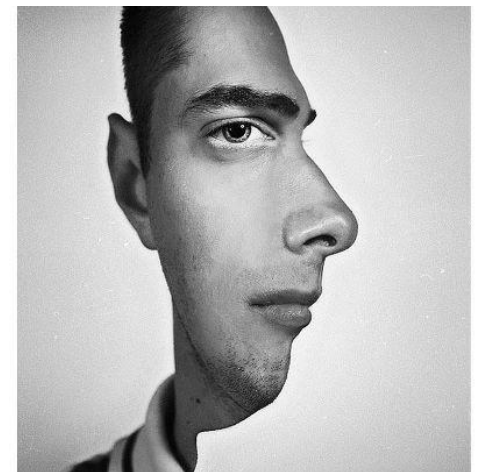
- Η αντιλαμβανόμενη λαμπρότητα ενός αντικειμένου, ονομάζεται **brightness**
- Το **Brightness** εξαρτάται από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος

Γιατί;

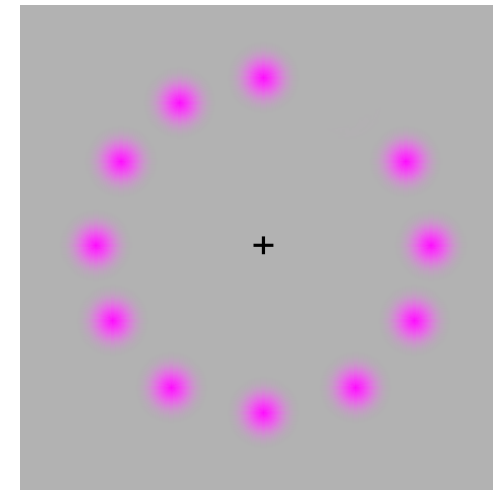
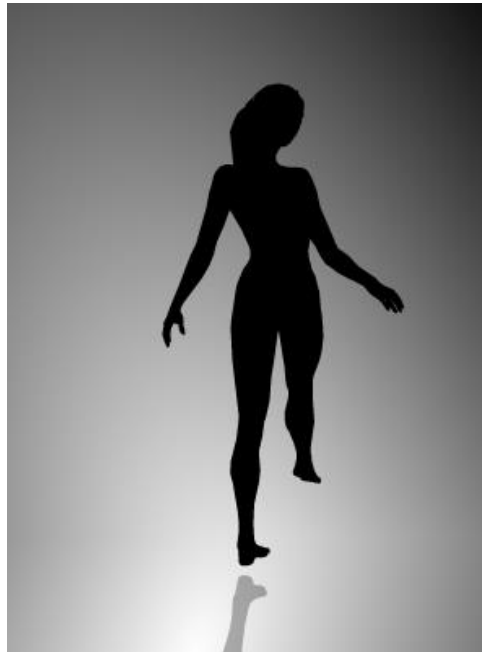
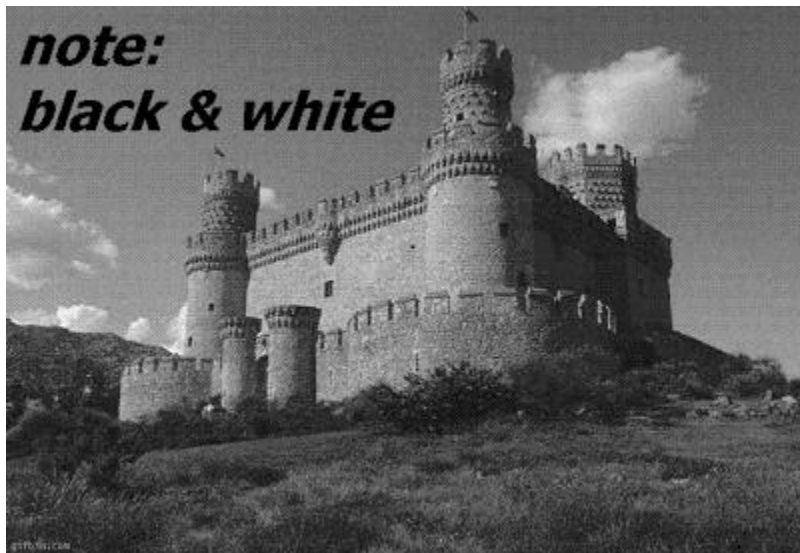
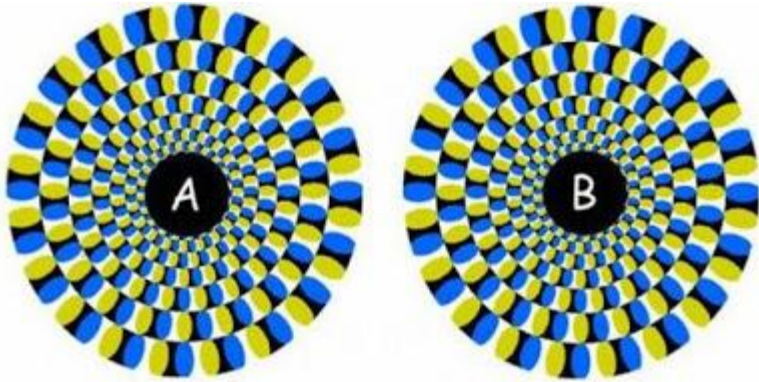
- Η αντίληψη μας είναι ευαίσθητη σε **αντιθέσεις της φωτεινότητας**
- Η **Αντίθεση (contrast)** είναι ένας όρος που συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει διαφορές στις τιμές φωτεινότητας δύο γειτονικών περιοχών εικόνας

Οπτική επεξεργασία της αντίληψης

- Οπτική επεξεργασία της αντίληψης (όπως αντανακλαστικές ενέργειες) είναι γενικά ταχύτερη από τη γνωστική επεξεργασία υψηλότερου επιπέδου
 - Οι δρόμοι χρησιμοποιούν σύμβολα αντί για λέξεις για πινακίδες (αλλά η "διπλή κωδικοποίηση" είναι πάντα καλύτερη)
 - Μπορεί να έχει πιο συναισθηματικό αντίκτυπο
 - Συχνά "μια εικόνα αξίζει χίλιες λέξεις..."
 - Το οπτικό μας σύστημα κατασκευάζει την πραγματικότητά μας
 - Οι αντιληπτικοί αδένες (**invariants**) είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση (ο εγκέφαλός μας μπορεί να κατανοήσει και να γεμίσει τις πληροφορίες που λείπουν)
 - Οπτικές ψευδαισθήσεις



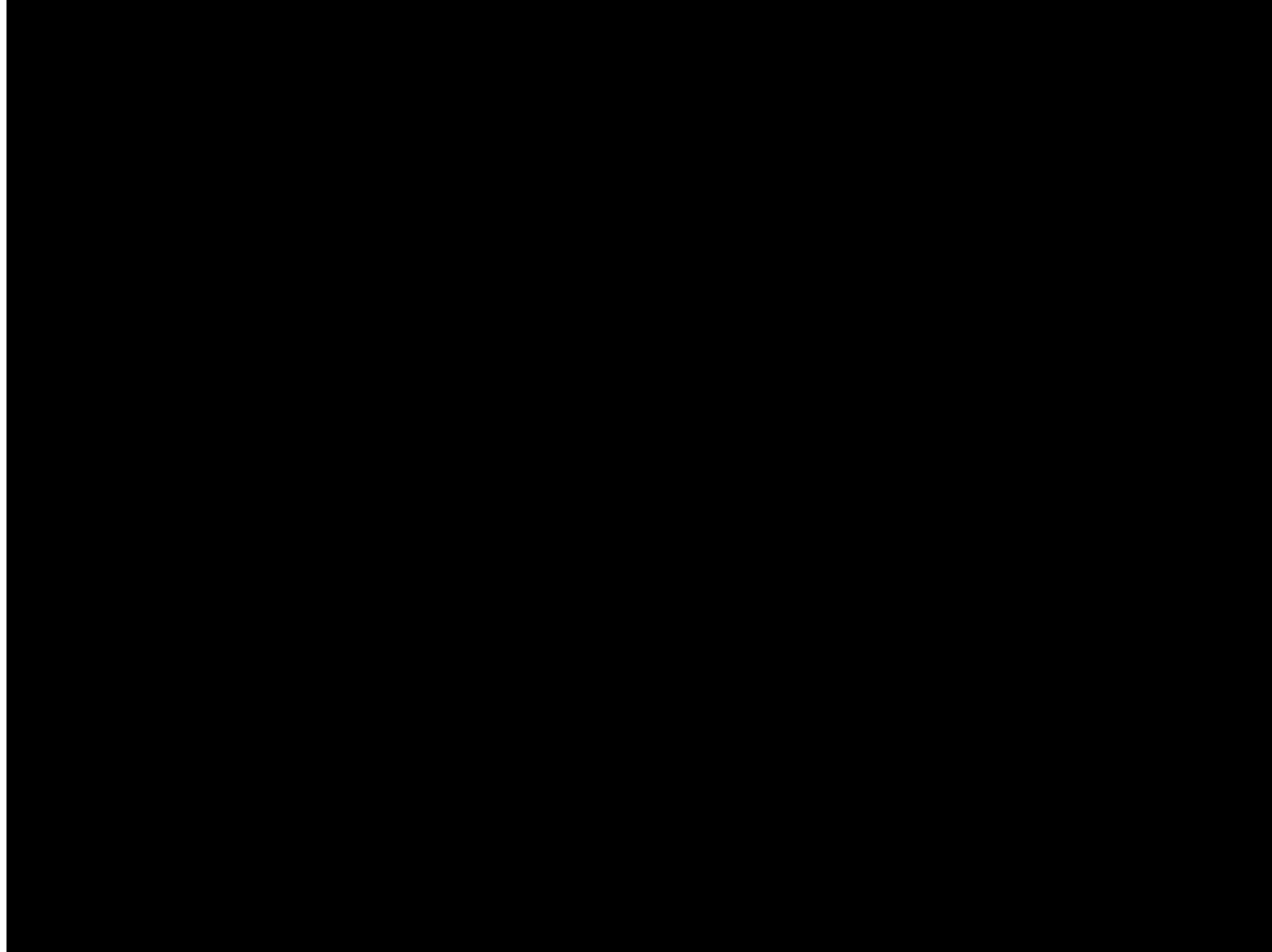
Οπτικές ψευδαισθήσεις



Μερικά ακόμη

- Vection
- Forced Perspective

Οπτική επεξεργασία της αντίληψης



“The Dress”

- Φωτογραφία που έγινε viral επειδή οι άνθρωποι δεν μπορούσαν να συμφωνήσουν αν το φόρεμα ήταν μαύρο και μπλε ή λευκό και χρυσό
- Προκάλεσε ενδιαφέρον για το πώς ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται το χρώμα για τα άτομα
- Παρόμοια κατάσταση συμβαίνει και στον ήχο
 - [Yanny or Laurel?](#)



Αχρωματικό φως

- Αχρωματικό φως: "χωρίς χρώμα", ποσότητα φωτός μόνο
 - Ονομάζεται ένταση, φωτεινότητα ή μέτρηση της ενέργειας / φωτεινότητας του φωτός
 - Η ψυχοφυσική αίσθηση της αντιληπτής έντασης
 - Επίπεδα γκριζου (π.χ. από 0,0 έως 1,0)
 - We can distinguish approximately 128 gray levels
 - Εμφανίζεται σε ασπρόμαυρες οθόνες
 - Mach banding



Αχρωματικό φως

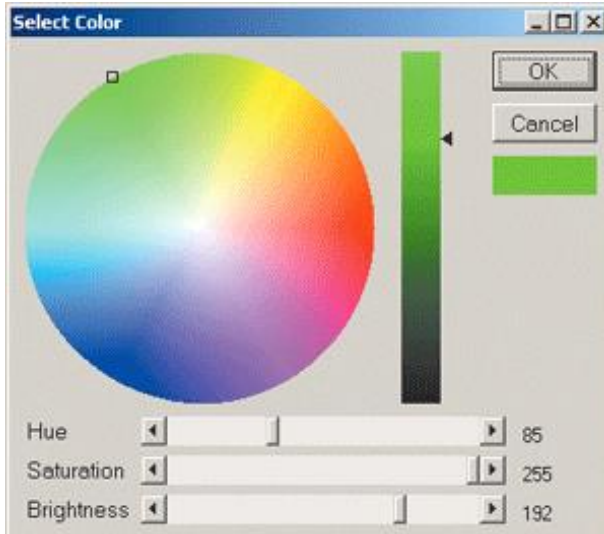
- Το μάτι είναι πολύ πιο ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στη φωτεινότητα (ένταση) του φωτός από τις μικρές αλλαγές στο χρώμα (απόχρωση)
- «Τα χρώματα είναι μόνο σύμβολα. Η πραγματικότητα βρίσκεται μόνο στη φωτεινότητα... Όταν ξεμείνω από μπλε, χρησιμοποιώ κόκκινο.» (Πάμπλο Πικάσο)
- «Οι φτωχοί άνθρωποι» του Πικάσο στην ακτή χρησιμοποιούν διάφορες αποχρώσεις του μπλε που διαφέρουν μεταξύ τους σε φωτεινότητα αλλά σχεδόν καθόλου σε χρώμα (απόχρωση). Το μελαγχολικό μπλε χρώμα εξυπηρετεί έναν συναισθηματικό ρόλο, αλλά δεν επηρεάζει την αναγνώριση της σκηνής. Επίσης, σκεφτείτε πόσο ρεαλιστικές φαίνονται οι ασπρόμαυρες εικόνες / ταινίες! **Εν ολίγοις, φωτεινότητα για αναγνώριση, χρώμα για διάθεση**
- «Η βιολογική βάση για το γεγονός ότι το χρώμα και η φωτεινότητα μπορούν να διαδραματίσουν διακριτούς ρόλους στην αντίληψή μας για την τέχνη, ή την πραγματική ζωή, είναι ότι το χρώμα και η φωτεινότητα αναλύονται από διαφορετικές υποδιαιρέσεις του οπτικού μας συστήματος και αυτές οι δύο υποδιαιρέσεις είναι υπεύθυνες για διαφορετικές πτυχές της οπτικής αντίληψης. Τα μέρη του εγκεφάλου μας που επεξεργάζονται πληροφορίες σχετικά με το χρώμα βρίσκονται αρκετές ίντσες μακριά από τα μέρη που αναλύουν τη φωτεινότητα - τόσο ανατομικά διακριτά όσο η όραση είναι από την ακοή » (πηγή παρακάτω)
 - Πηγή: Includes in-depth explanations of many interesting natural phenomena relating to color (including several interactive applications) <http://www.webexhibits.org/causesofcolor/>



Χρωματική αναπαράσταση

- Η μελέτη των χρωμάτων είναι πολύ σημαντική στα γραφικά υπολογιστών
- Χρώμα:
 - Δίνει μια ευχάριστη αίσθηση
 - Μας επιτρέπει να συλλάβουμε γρήγορα περισσότερες πληροφορίες
- Επιστημονικά πειράματα έχουν δείξει ότι άνθρωπος:
 - Μπορεί να διακρίνει μικρές διαφορές στο χρώμα
 - Εκτιμάται ότι ο αριθμός των χρωμάτων που μπορούμε να αντιληφθούμε είναι σχεδόν 10 εκατομμύρια

Χρωματικό φως (Chromatic Light)



Example of an HSV color picker



Ingredients of a Rainbow

- Παράγοντες χρωματικής αίσθησης – ένας χώρος σε 3 διαστάσεις σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητων αντιληπτικών παραμέτρων
- **Brightness** / intensity (αυτός ο κυκλικός επιλογέας χρώματος εμφανίζει μία φωτεινότητα)
 - Χρωματικότητα / χρώμα:
 - **Hue** / θέση στο φάσμα (κόκκινος, πράσινος, ...) - γωνία στις πολικές συντεταγμένες (κυκλικός επιλογέας χρώματος)
 - **Saturation** / ζωντάνια – ακτίνα σε πολικές συντεταγμένες (κυκλικός επιλογέας χρώματος)
 - Ενδιαφέρον : οι πρώτοι πολιτισμοί δεν αναγνώρισαν το μπλε ως ένα μοναδικό χρώμα με το δικό του όνομα, π.χ. η Οδύσσεια
 - <https://www.sciencealert.com/humans-didn-t-see-the-colour-blue-until-modern-times-evidence-science>

Χρωματική αναπαράσταση

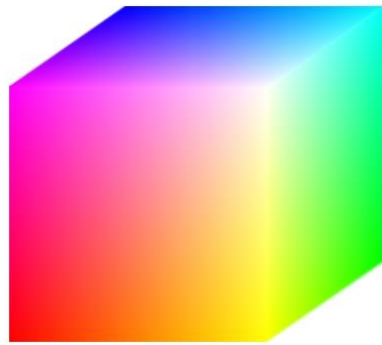
- Η θεωρία της τριχρωματικής αναπαράστασης σημαίνει ότι οποιοδήποτε χρώμα μπορεί να παραχθεί από ανάμειξη κατάλληλων ποσοτήτων τριών προσθετικών κύριων χρωμάτων.

3-receptor model

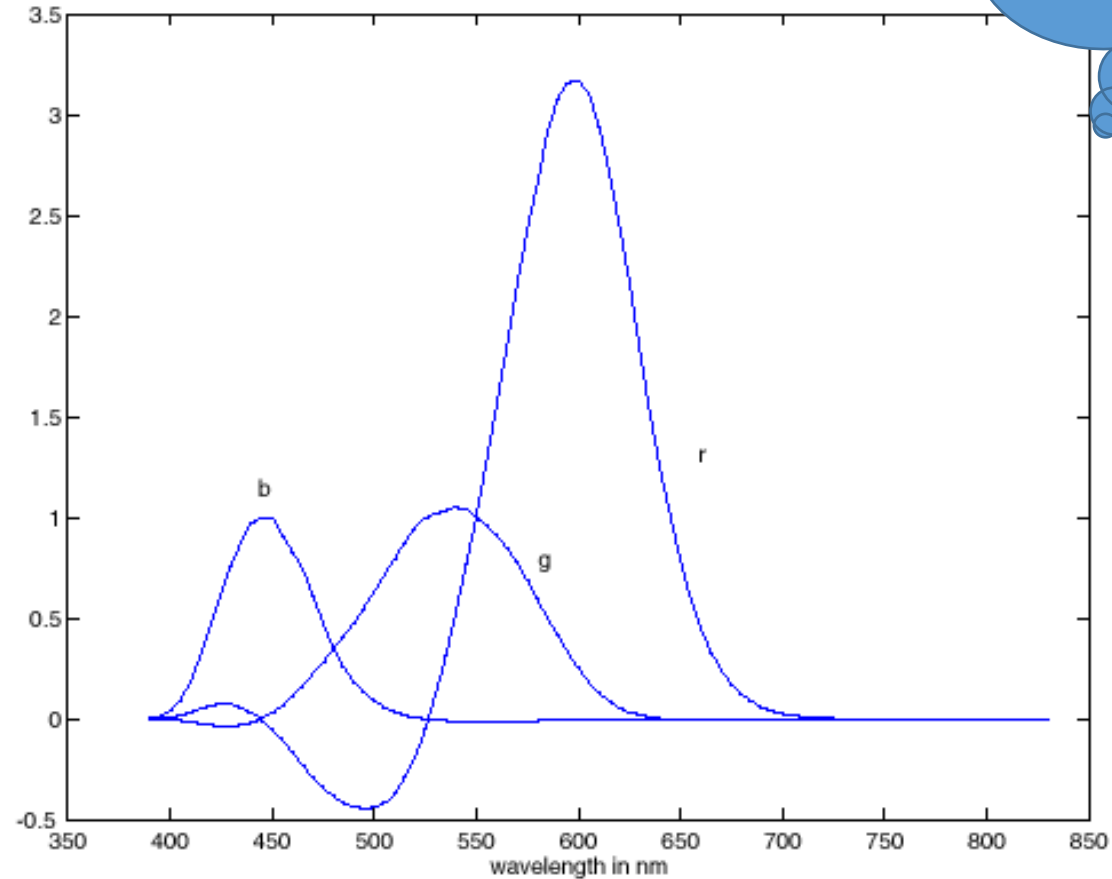
- Έχει ανακαλυφθεί πως υπάρχουν **τρεις** διαφορετικοί **τύποι κώνων** στον ανθρώπινο αμφιβληστροειδής χιτώνας
 - “**Κόκκινος**” cones
 - “**Πράσινος**” cones
 - “**Μπλε**” cones
- Η **διέγερση των διαφόρων τύπων** των κώνων καθορίζει **το χρώμα που θα δει ο παρατηρητής**

3-receptor model

Τα Φάσματα απορρόφησης των τριών τύπων κώνων



$p_1 = 645.2 \text{ nm}$
 $p_2 = 525.3 \text{ nm}$
 $p_3 = 444.4 \text{ nm}$



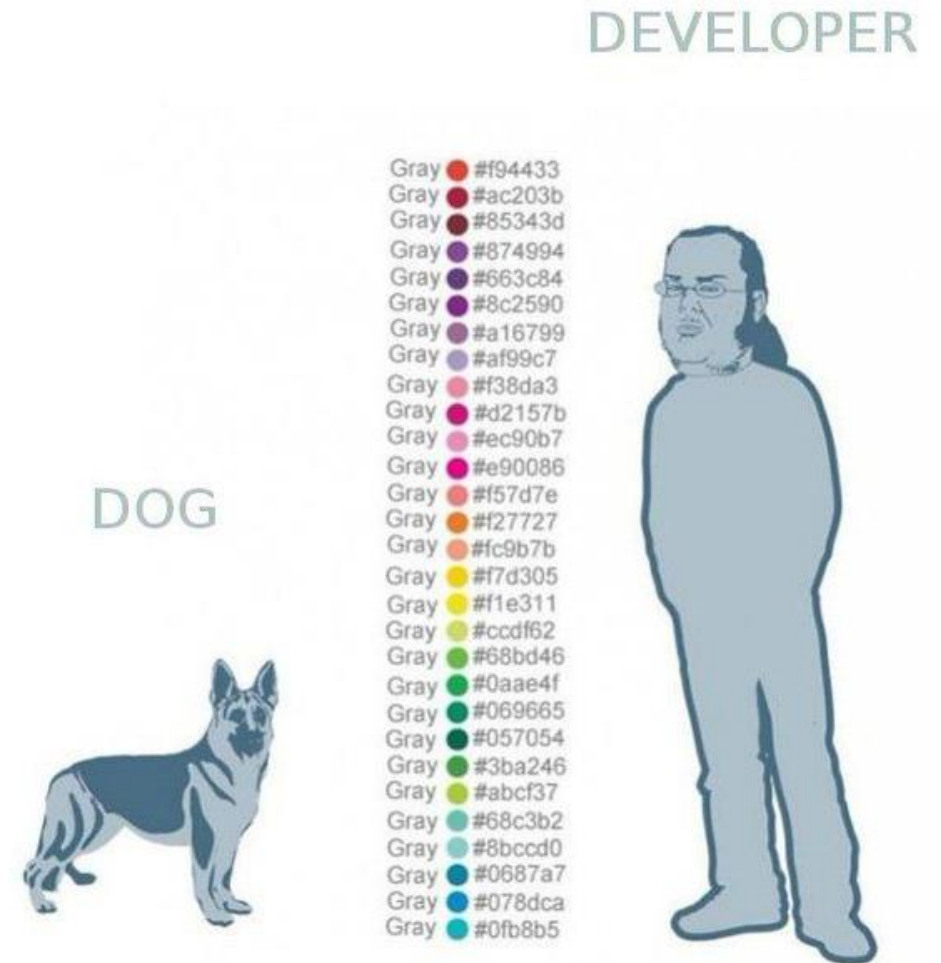
Χρώματα στις
ιστοσελίδες, φανάρια,
κίνδυνος, κτλ.

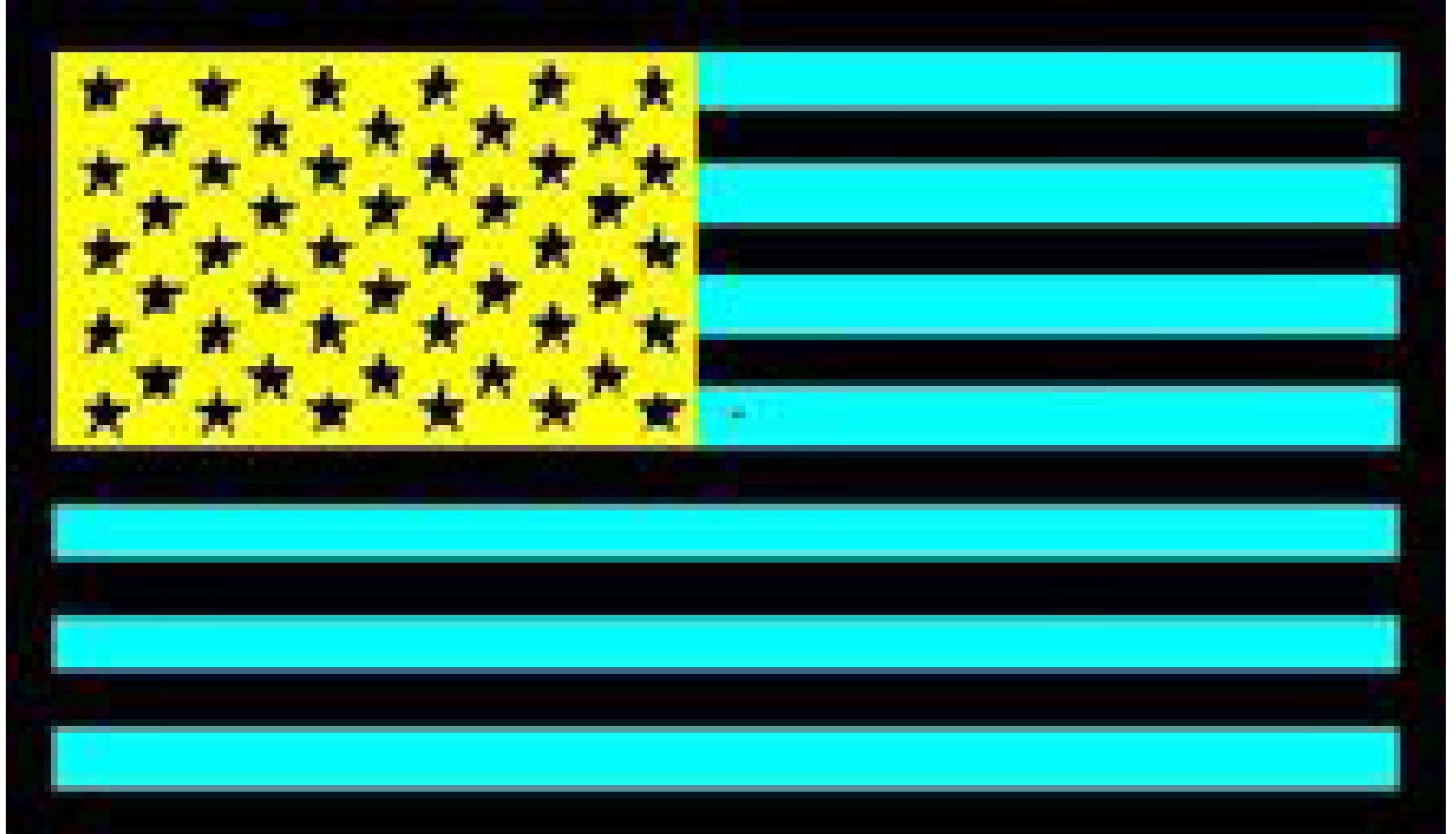
3-receptor model

- Χρωματική τύφλωση
- Οι **μονοχρωματικοί** άνθρωποι έχουν μόνο μια rod και μόνο ένα τύπο κώνου
- Οι **Διχρωματικοί** οι άνθρωποι έχουν μόνο δύο τύπους κώνων (απουσιάζει ένας τύπος κώνου)
 - Μπορούν να δουν κάποια χρώματα τέλεια
 - Παραγνωρίζουν άλλα χρώματα

3-receptor model

- Αρκετές χιλιάδες φυσικά χρώματα μπορεί να διακριθούν από τον άνθρωπο
- → δύσκολο να σχεδιαστεί ένα σύστημα που θα είναι σε θέση να εμφανίσει ένα τόσο μεγάλο αριθμό χρωμάτων
- Ειδικές ιδιότητες του HVS καθιστούν δυνατή τη χρήση μηχανισμών για σχεδίαση ενός συστήματος απλουστευμένης εμφάνισης του χρώματος
- Οποιοδήποτε χρώμα μπορεί να παραχθεί από κατάλληλη ανάμειξη των τριών κύριων χρωμάτων





Χρωματική αντιστοίχιση

- Τα περισσότερα συστήματα αναπαραγωγής χρωμάτων χρησιμοποιούν το μοντέλο με τους 3-υποδοχείς
- Για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να γνωρίζουμε το ποσοστό των κύριων χρωμάτων που πρέπει να αναμειγνύονται για την αναπαραγωγή ενός συγκεκριμένου χρώματος
- Η επιστήμη της μέτρησης του χρώματος είναι γνωστή ως **colourimetry**

Χρωματική αντιστοίχιση

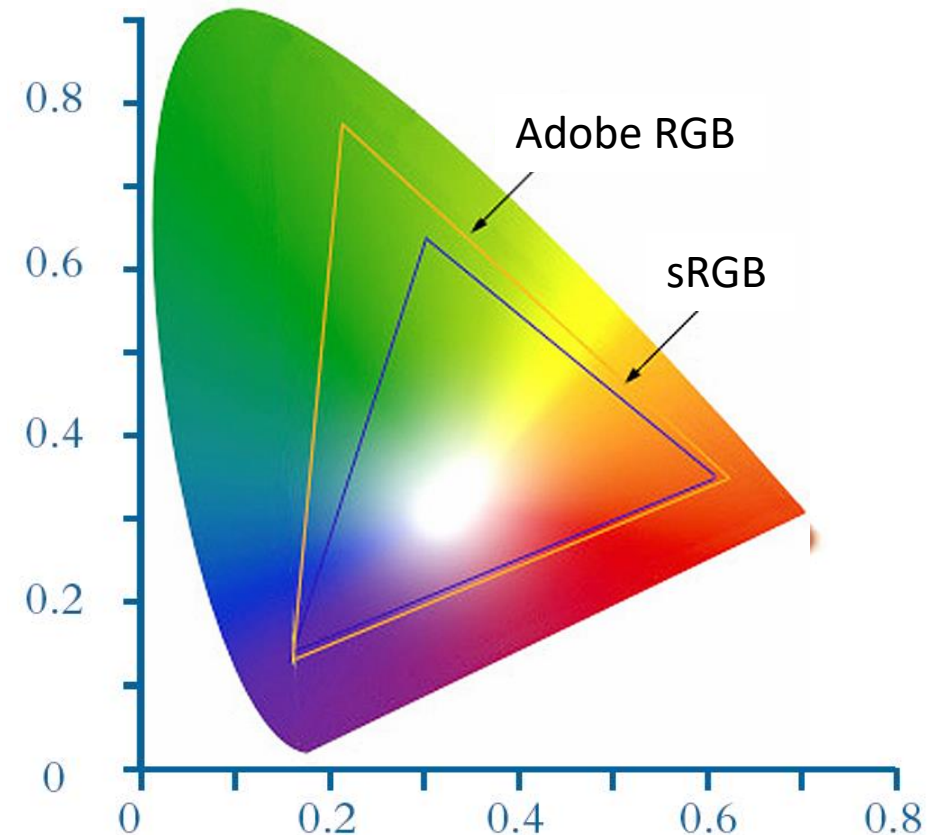
- Νόμοι που πρέπει να εφαρμόζονται κατά την χρωματική αντιστοίχιση:
 1. Οποιοδήποτε χρώμα μπορεί να αναπαρασταθεί με ανάμειξη το πολύ τριών χρωμάτων
 2. Η φωτεινότητα ενός χρώματος είναι ίση με το άθροισμα της φωτεινής ροής (illuminance) των στοιχείων της
 3. Χρωματική πρόσθεση
 4. Χρωματική αφαίρεση

Χρωματική αναπαράσταση

Ο χρωματικός χώρος RGB

Ο χρωματικός χώρος RGB

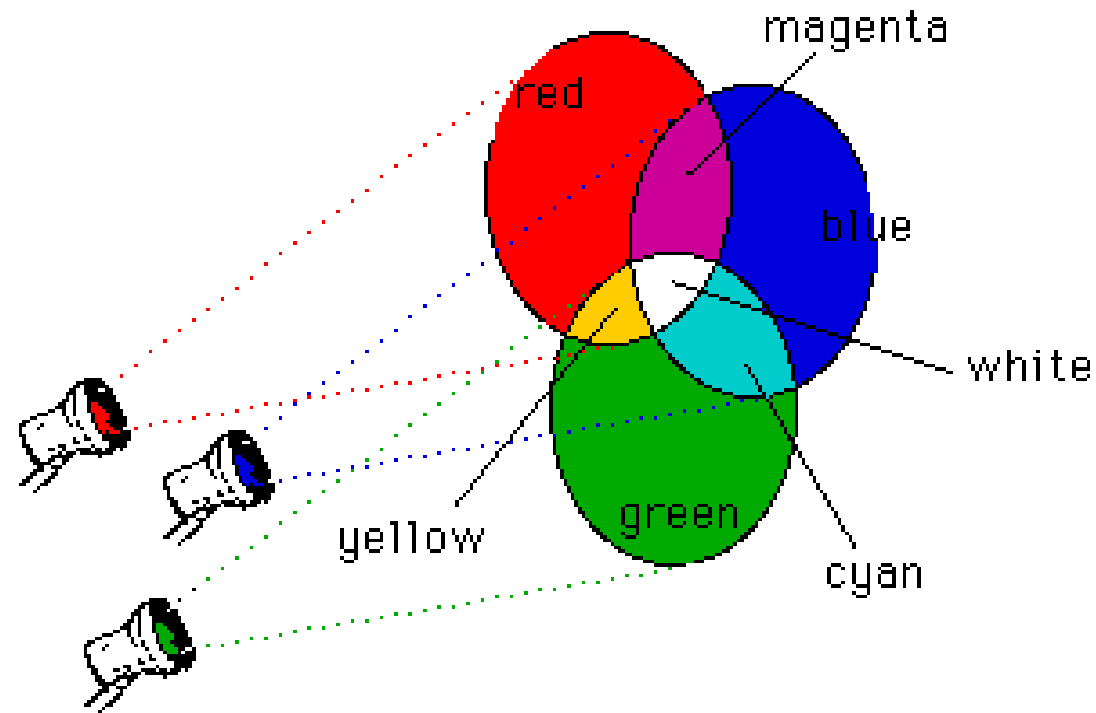
- Στο χρωματικό χώρο RGB, τα τρία βασικά χρώματα είναι το κόκκινο, πράσινο και μπλε.
- Είναι επίσης σημαντικό να γνωρίζετε ότι – ανεξάρτητα από τη ποσότητα του κόκκινου, πράσινου ή μπλε– δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί κάθε χρώμα ως συνδυασμός του κόκκινου, πράσινου και μπλε στοιχεία.
- Μόνο τα χρώματα στο **RGB gamut** μπορούν να αναπαρασταθούν με αυτό τον τρόπο



The RGB colour gamut

Ο χρωματικός χώρος RGB

Οι τρεις προβολείς— του **red**, **blue**, και **green** φωτός



RGB: Πρόσθεση χρωμάτων

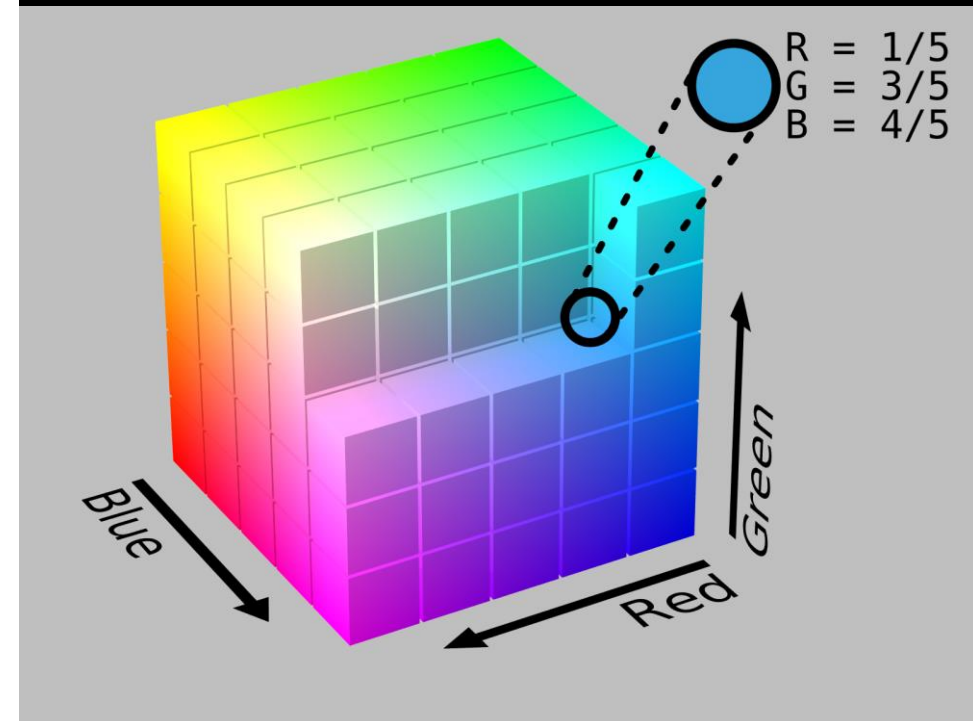
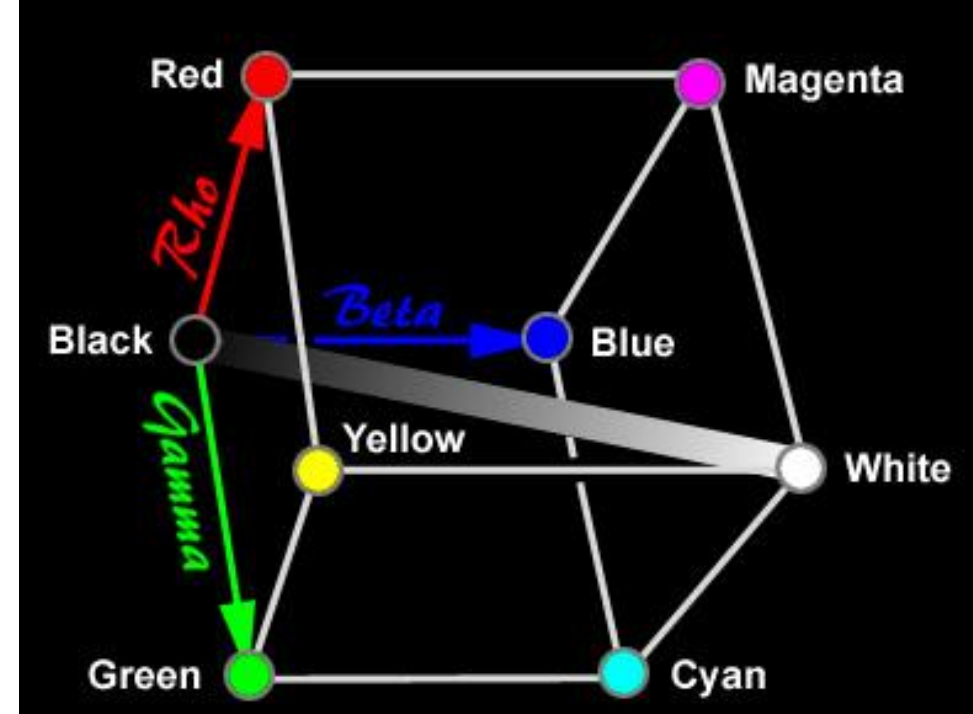
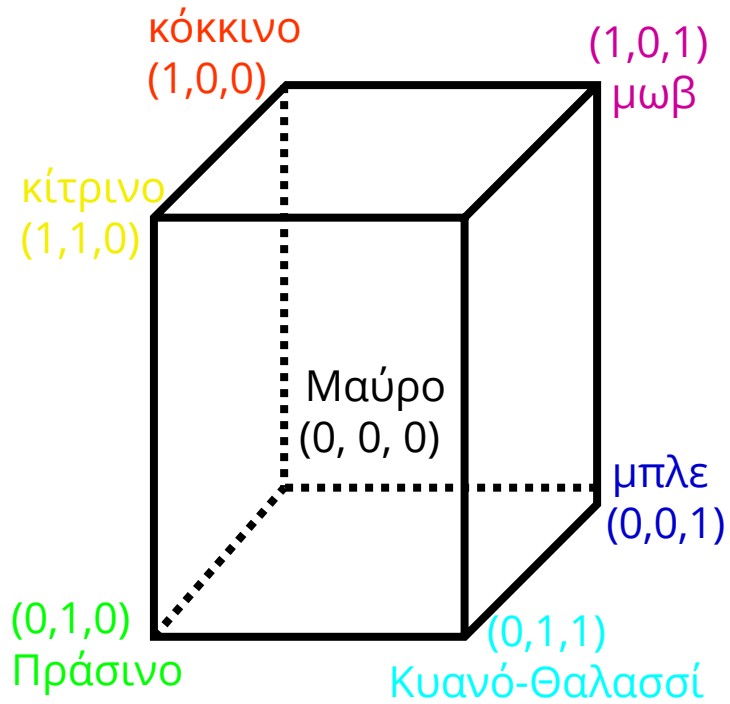
Red + Blue = Magenta

Blue + Green = Cyan

Red + Green = Yellow

Red + Green + Blue = White

Το μοντέλο RGB

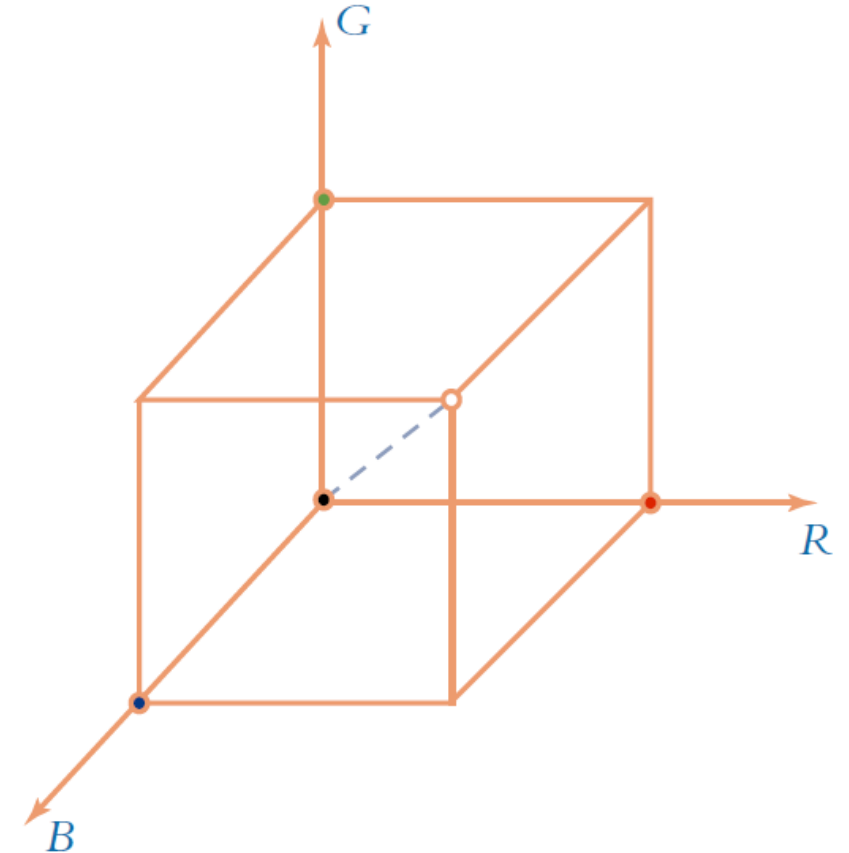


RGB: Πρόσθεση χρωμάτων

- Αυτό το χαρακτηριστικό της ανθρώπινης όρασης είναι πολύ χρήσιμο στη φωτογραφία, την εκτύπωση, στην τέχνη και την τηλεόραση.
- Το χρώμα μιας οθόνης της τηλεόρασης ή μιας έγχρωμη οθόνης υπολογιστής αποτελείται από χιλιάδες μικρές κουκκίδες --ονομάζονται phosphors-- οι οποίες φωτίζονται με κόκκινο, πράσινο ή μπλε από μια δέσμη ηλεκτρονίων.
- Όλα τα **χρώματα** που βλέπουμε σε μια τηλεοπτική οθόνη δημιουργούνται από διαφορετικές εντάσεις και συνδυασμούς του **κόκκινου**, **πράσινου** και **μπλε**

Ο χρωματικός χώρος RGB

- Κάθε χρώμα καθορίζεται από τρεις τιμές (R, G, B) δίνοντας τις σχετικές αναλογίες των τριών βασικών χρωμάτων.
- Συνήθως έχουμε ένα byte (8-bits) για κάθε ένα από τα 3 στοιχεία χρώματος
 - Οπότε έχουμε 256 πιθανές τιμές για το κάθε στοιχείο
 - Που μας δίνει 2^{24} πιθανά χρώματα (24 bit display, *true-color*, *Πραγματικό χρώμα*)
- Αυτό συχνά γράφεται ως 6-ψήφιος δεκαεξαδικός αριθμός, με R, G και B να είναι μεταξύ του 0 και 255 (FF),
 - Μια τιμή χρώματος να καταλαμβάνει 24 bit.

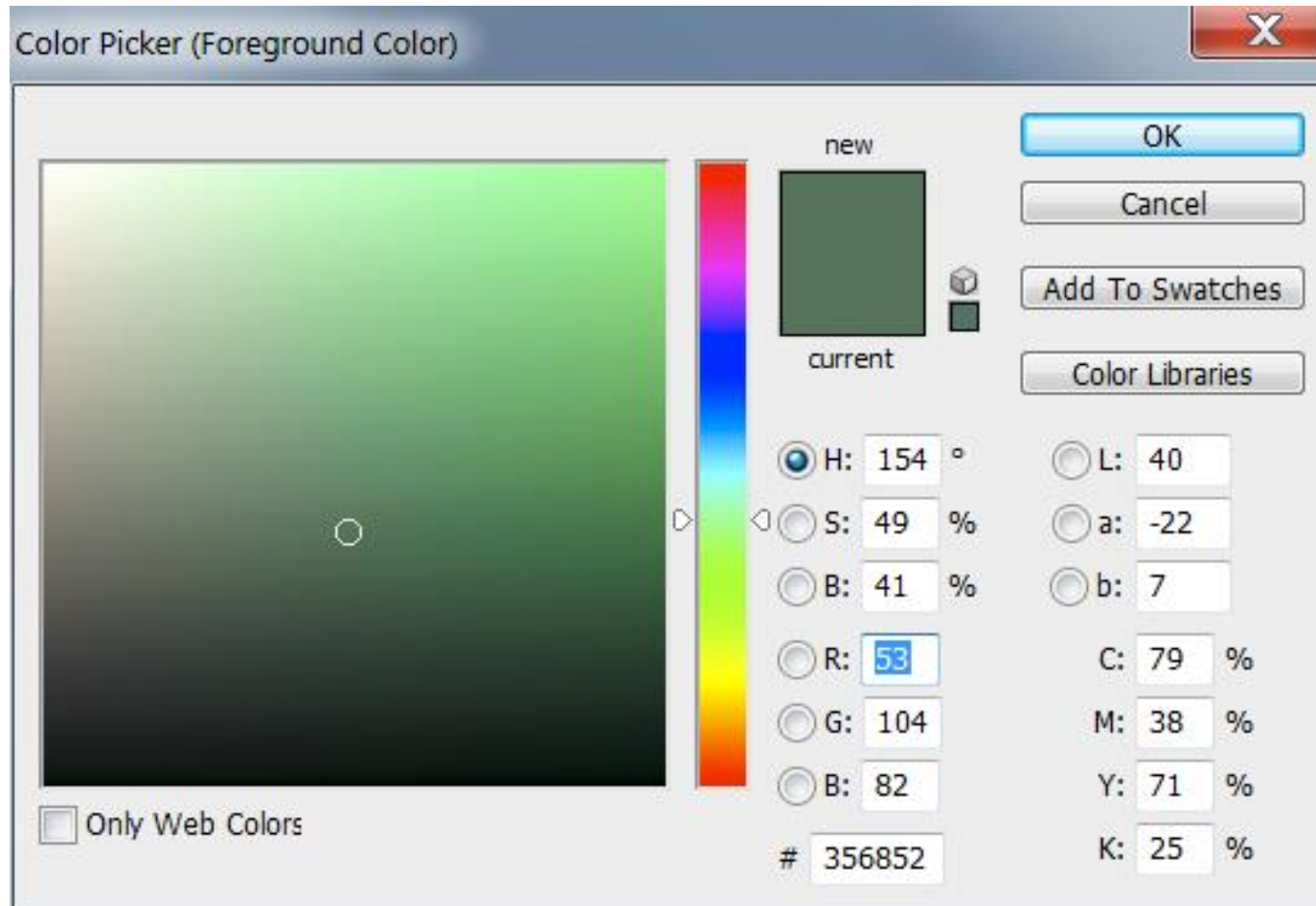


The RGB colour space

Ο χρωματικός χώρος RGB

- Το Λευκό φως παράγεται από την ανάμιξη με ίσες αναλογίες φως από όλα τα βασικά χρώματα, έτσι ώστε η τιμή χρώματος RGB του λευκού να είναι (100, 100, 100).
- Όταν τα ποσά του κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτός ισούνται, το αποτέλεσμα είναι μια απόχρωση του γκρι, έτσι ώστε κάθε τιμή της φόρμας (x, x, x) να αντιπροσωπεύει ένα γκρι χρώμα:
 - όσο υψηλή είναι η τιμή του x , τόσο πιο ελαφρύ θα είναι το γκρι.

Ο χρωματικός χώρος RGB



Ο χρωματικός χώρος RGB

- Ο αριθμός των bits που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση μιας τιμής χρώματος – το βάθος χρώματος – καθορίζει πόσα διαφορετικά χρώματα μπορούν να αναπαρασταθούν. Η χρήση του χαμηλού βάθους χρώματος οδηγεί σε posterization και απώλεια λεπτομερειών της εικόνας, αλλά μειώνει το μέγεθος του αρχείου.
- Οι περισσότεροι υπολογιστές αποθηκεύουν και αναπαράγουν χρώματα 24-bit,
 - Τα κινητά τηλέφωνα παλαιότερα χρησιμοποιούσαν λιγότερα (8,12,16 bits), πλέον όμως χρησιμοποιούν 24 ή 32 bits.
 - Τι σημαίνει όταν λέμε 32 bit display? (alpha)

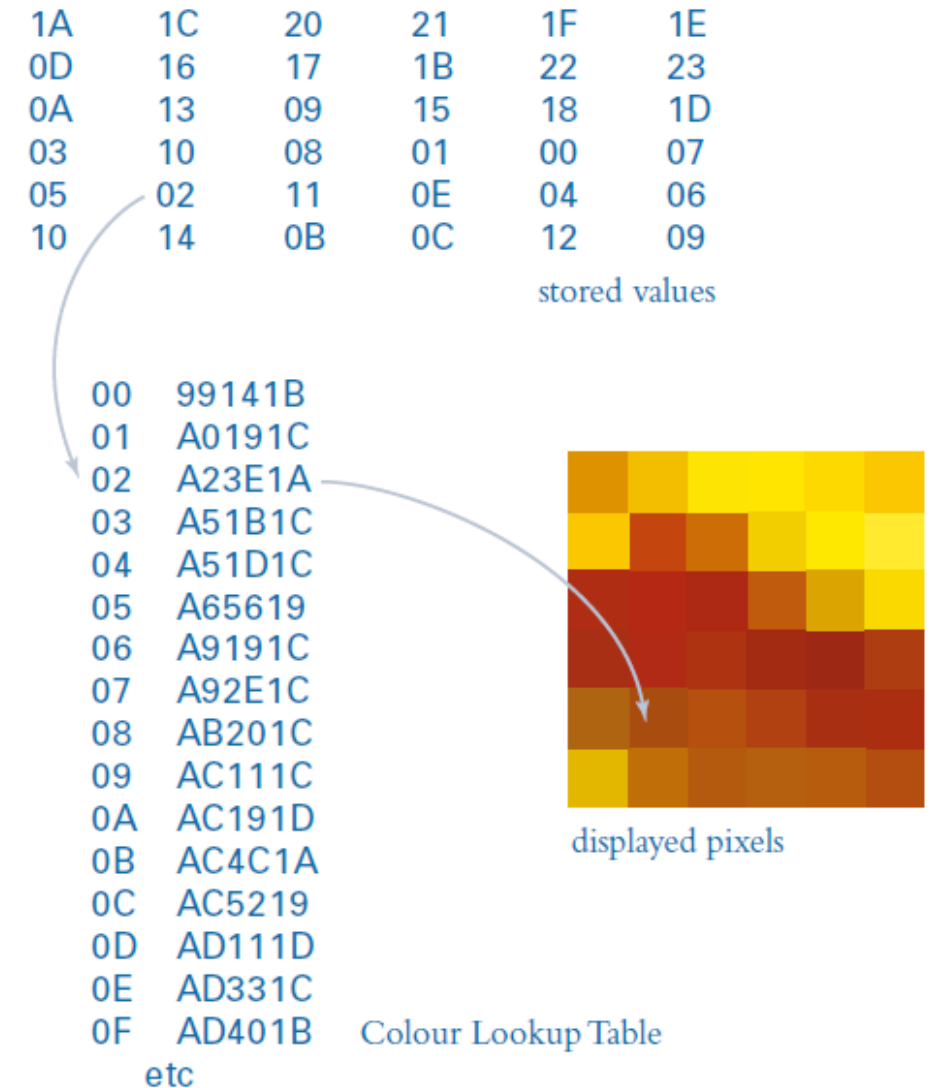
Ο χρωματικός χώρος RGB



A photograph in 24, 8 (top), 4 and 1 (bottom) bit colour

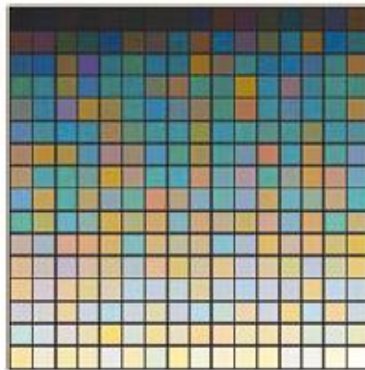
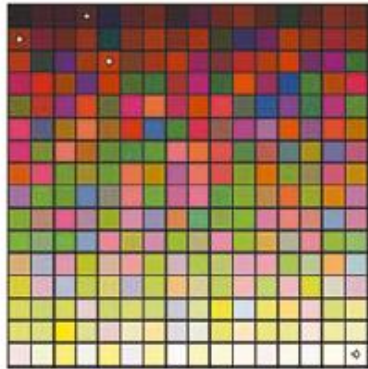
Ο χρωματικός χώρος RGB

- Τα χρωματικά μοντέλα με ευρετήριο, αντί να αποθηκεύουν χρώματα 24-bit για κάθε pixel, χρησιμοποιούν τιμές 8-bit που είναι στη ουσία δείκτες σε ένα χρωματικό πίνακα. Ο χρωματικός πίνακας είναι μια παλέτα χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην εικόνα.
- Χρησιμοποιώντας το ευρετήριο, η τιμή χρώματος δεν δίνει το χρώμα, αλλά ένα δείκτη με μια παλέτα.



Using a colour table

Ο χρωματικός χώρος RGB



Images and their palettes

Χρώμα



- Τι γίνεται αν έχουμε 8 bits σύνολο (R, G, B)?
- Και τι αν έχουμε 16 bit για όλο το χρώμα?
- Graphics memory (on graphics card)
- Η μνήμη οθόνης χρησιμοποιείται για να φρεσκάρει την οθόνη.
 - Δεν χρειάζεται να υπολογίζουμε την εικόνα 76Hz (76 φορές το δευτερόλεπτο)

Χρωματική αναπαράσταση

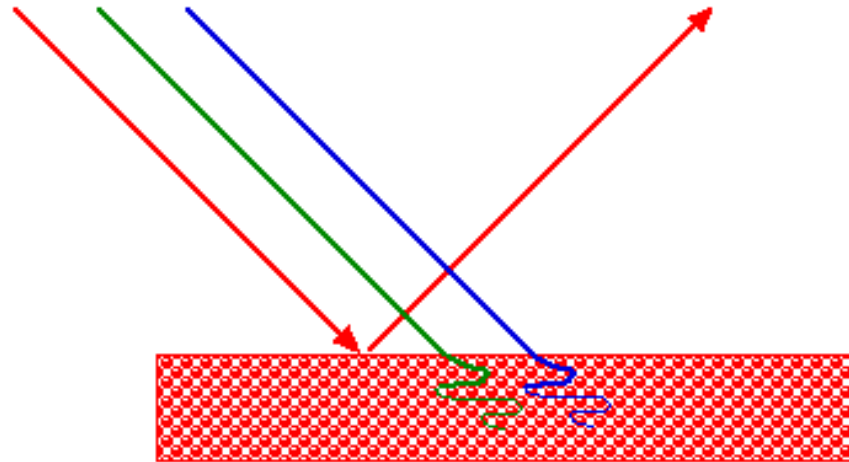
Ο χρωματικός χώρος CMYK

CMYK: Colour subtraction

- Όταν τα κόκκινο, πράσινο και μπλε φώτα αναμιγνύονται παράγουν άσπρο φως.
- Αλλά ήδη γνωρίζετε ήδη ότι η ανάμειξη του κόκκινου, πράσινου και μπλε χρώματος δεν παράγει λευκό--παράγει ένα γκρι σκούρο.
- Ποια η διαφορά;
Μπορούμε να δούμε τι δεν απορροφάται από τις χρωστικές ουσίες, δηλαδή τι αντανακλάται και έρχεται πίσω σε μας
- Λευκή μπογιά αντανακλά όλες τις χρωστικές ουσίες

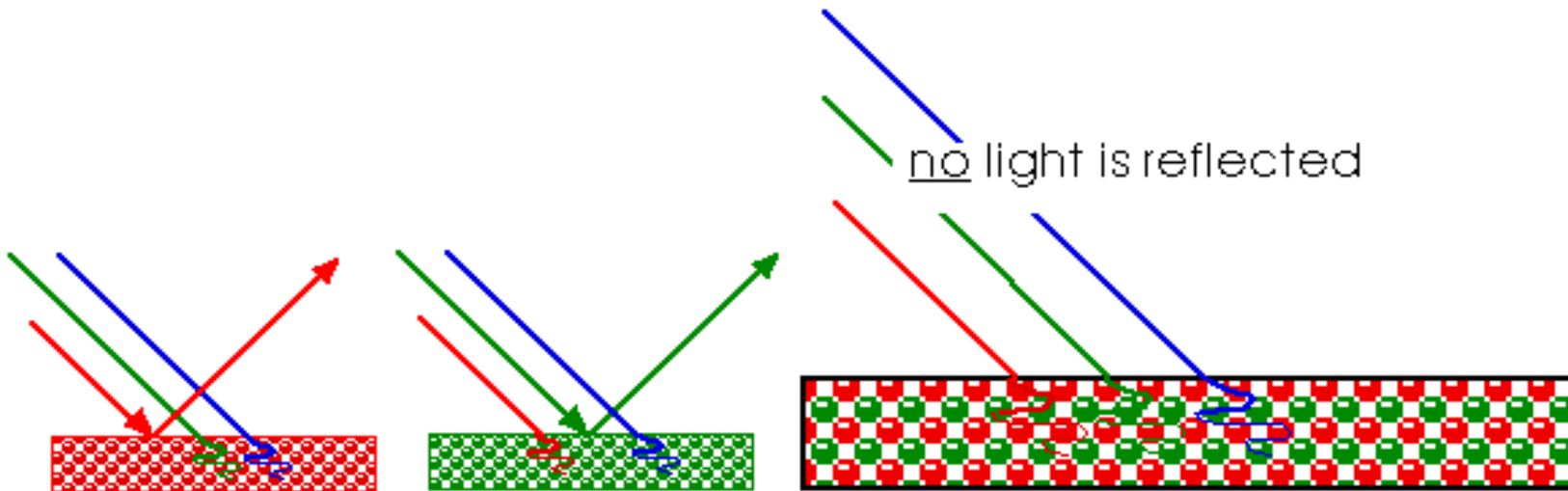
Χρωματική αφαίρεση

- Για να την δημιουργία **red**:
 - μικρά σωματίδια αντανακλούν το κόκκινο φως
 - **Απορρίπτουν** τα άλλα χρώματα



Χρωματική αφαίρεση

- Ένωση red και green pigment για δημιουργία λευκού:
 - Το red pigment θα απορρίψει το green και blue φως
 - Το green pigment θα απορρίψει το red και blue φως.
 - Στο τέλος δεν θα αντανακλασθεί κανένα χρώμα

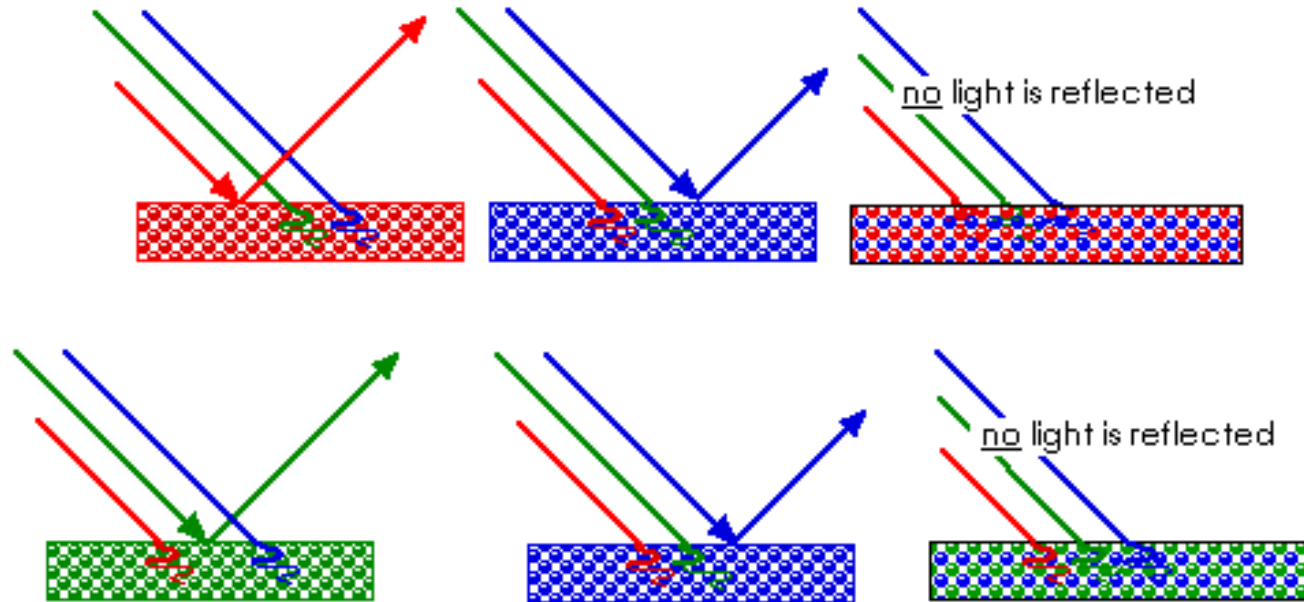


Χρωματική αφαίρεση

- Πρακτικά, τα περισσότερα pigments δεν απορρίπτουν όλο το χρώμα, οπότε το τελικό αποτέλεσμα θα είναι ένα σκούρο γκρι, αντί μαύρο
- Ο κύριος ρόλος των Pigment είναι να αντανακλούν ότι δεν απορροφάτε.
- Όταν οι μπογιές ενώνονται το αποτέλεσμα θα είναι το σύνολο των απορριμμένων χαρακτηριστικών.
- Γι αυτό το λόγο αυτό είναι γνωστό ως **colour subtraction (χρωματική αφαίρεση)**

Χρωματική αφαίρεση

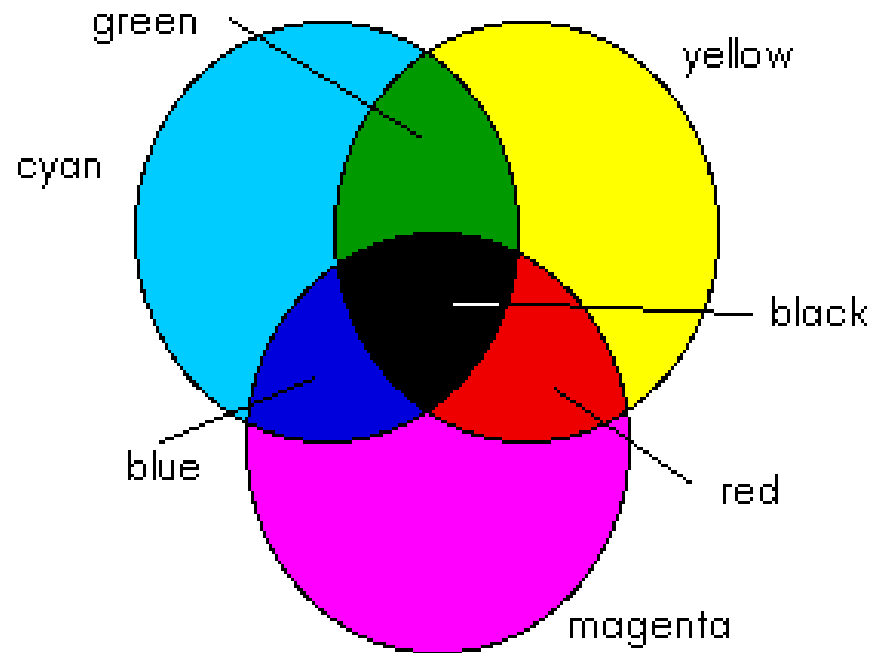
- Θα πάρουμε μαύρο – ή σκούρο γκρίζο
 - Εάν ενώσουμε **red** (το οποίο απορροφά το green και blue) με **blue** (που απορροφά το red και green)
 - Εάν ενώσουμε **green** (το οποίο απορροφά το red και blue) με **blue** (που απορροφά το red και green)



Ο χρωματικός χώρος CMYK

- Cyan, magenta και yellow είναι τα κύρια χρώματα της αφαιρετικής μεθόδου CMYK. Αυτά είναι τα συμπληρωματικά χρώματα του κόκκινου, πράσινου και μπλε, αντίστοιχα.
- Λεπτές στρώσεις μελανιού απορροφούν ορισμένα στοιχεία του περιστατικού φωτός, και χρησιμοποιείται σαν μέθοδος εκτύπωσης.

Χρωματική αφαίρεση



- Η **χρωματική αφαίρεση** είναι η βάση για χρωματισμό στη εκτύπωση. Γιατί;

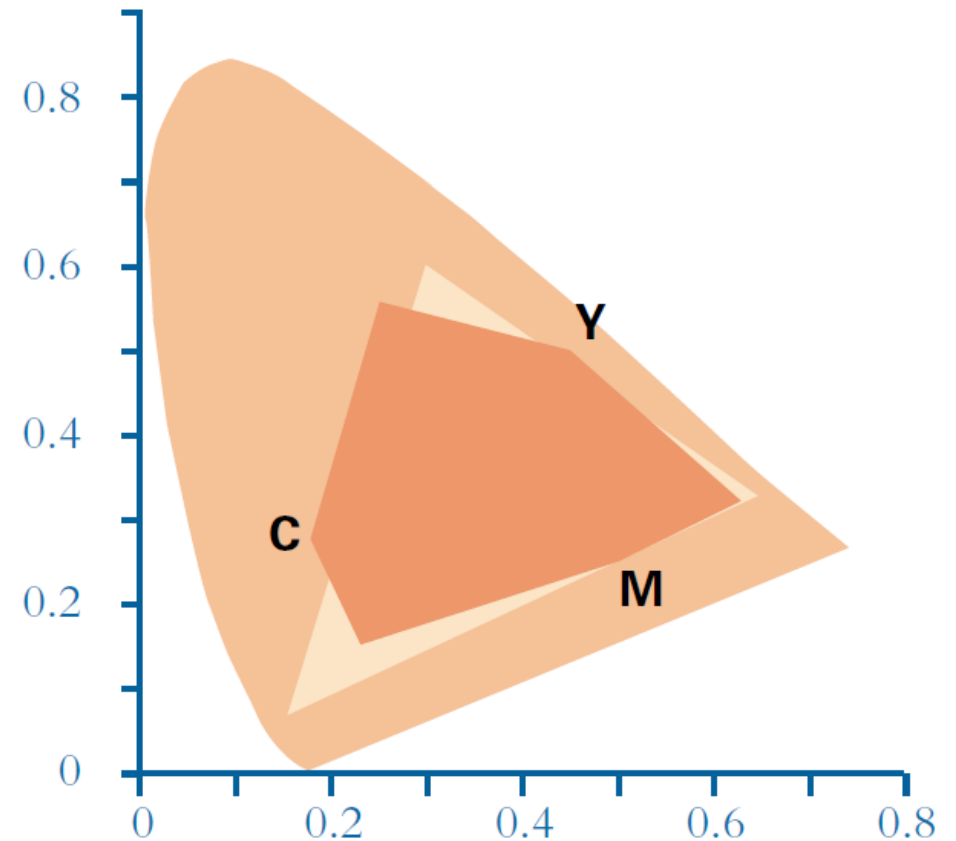
Χρωματική αφαίρεση

- Τα Pigments του cyan, yellow, και magenta χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία άπειρων χρωμάτων.
- Το **black** χρησιμοποιείται για να κάνει εντονότερες τις σκιές



Ο χρωματικός χώρος CMYK

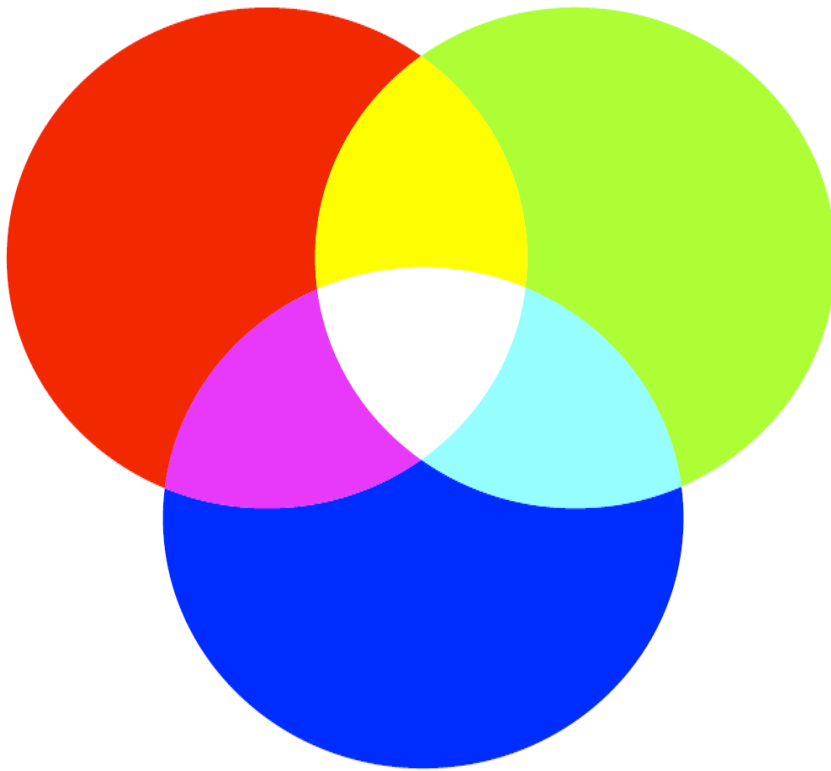
- Το CMYK colour gamut, αντιπροσωπεύει εύκολα εκτυπώσιμα χρώματα, είναι μικρότερο από το RGB gamut, αλλά κάποια χρώματα του CMYK είναι έξω από το RGB gamut.



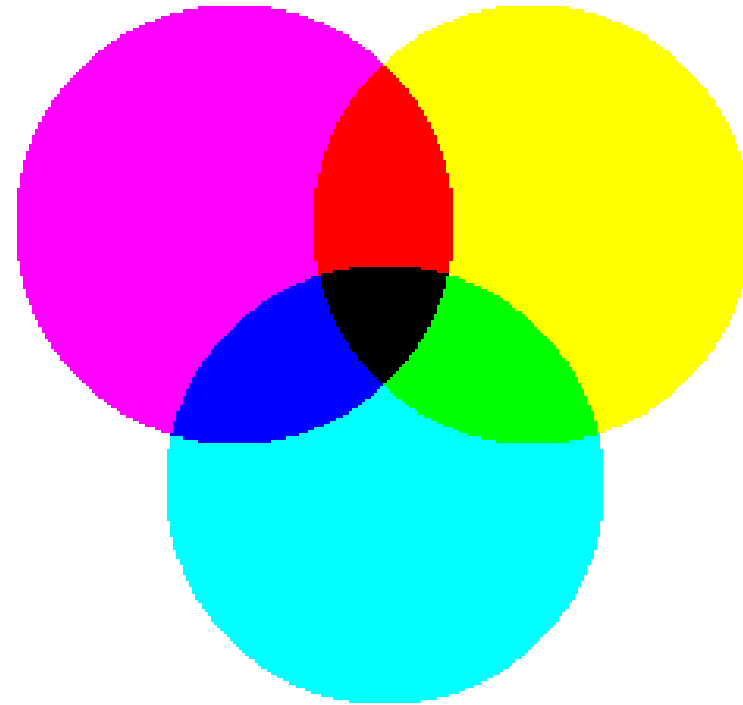
The CMYK gamut

Colour Matching

- Χρωματική πρόσθεση



- Χρωματική αφαίρεση

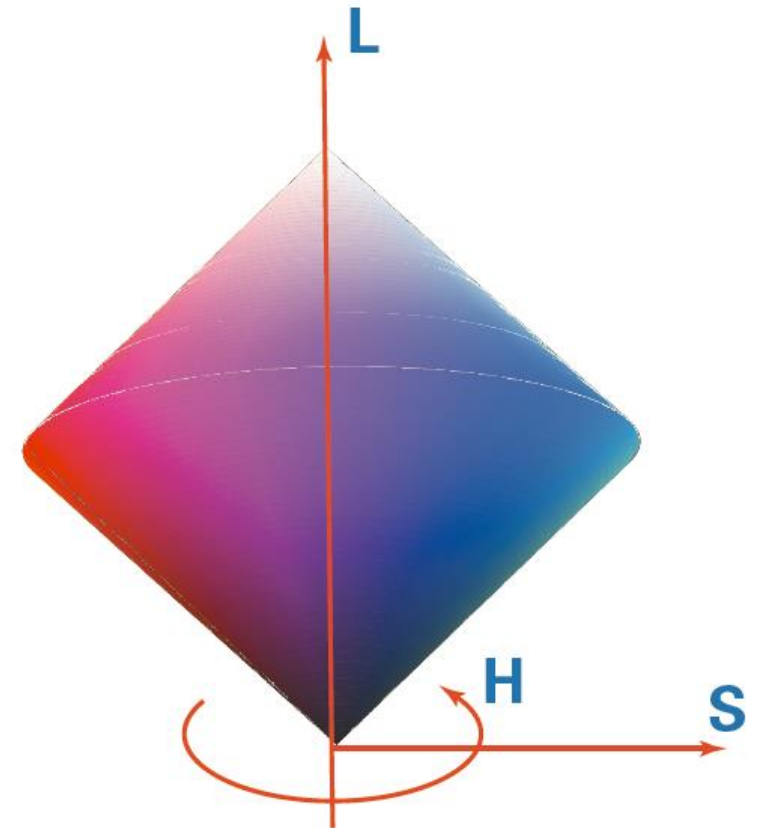


Χρωματική αναπαράσταση

Ο χρωματικός χώρος HSL

Ο χρωματικός χώρος HSL

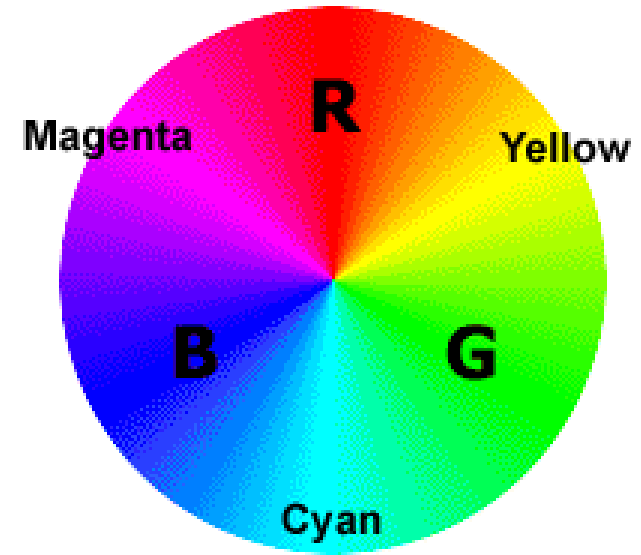
- Η Απόχρωση (hue), ο κορεσμός (saturation) και η φωτεινότητα (lightness) μπορούν να συνδυαστούν σε ένα τρισδιάστατο double-cone. Οποιοδήποτε χρώμα μπορεί να καθοριστεί από τα H, S και L στοιχεία του.



The HSL colour solid

Ο χρωματικός χώρος HSL

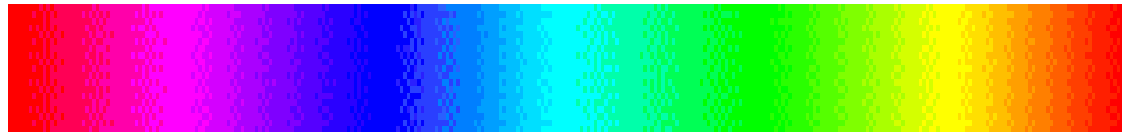
- 3 κύρια χαρακτηριστικά χρώματος
 - Hue
 - Saturation
 - Brightness
 - Lightness
 - HSL
- Τροχός των χρωμάτων
 - Τα κύρια χρώματα **R**, **G** και **B** βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις μέσα στον τροχό
 - τα άλλα χρώματα του φάσματος μπορούν να δημιουργηθούν από μείγματα μεταξύ τα δύο από τα κύρια χρώματα



Ο χρωματικός χώρος HSL

- Hue

- *κάθε συγκεκριμένο σημείο μέσα στον τροχό, από 0 σε 360 μοίρες, αναφέρεται ως **hue***
- Καθορίζει το συγκεκριμένο ύφος του χρώματος.
- "Hue" διαφέρει από το «χρώμα» επειδή το χρώμα καθορίζεται και από τον κορεσμό ή τη φωτεινότητα, μαζί με την απόχρωσή του



Ο χρωματικός χώρος HSL

- Saturation
 - η ένταση του hue:
 - από γκρι τόνο (no saturation)
 - Σε βαθύ χρώμα (high saturation).



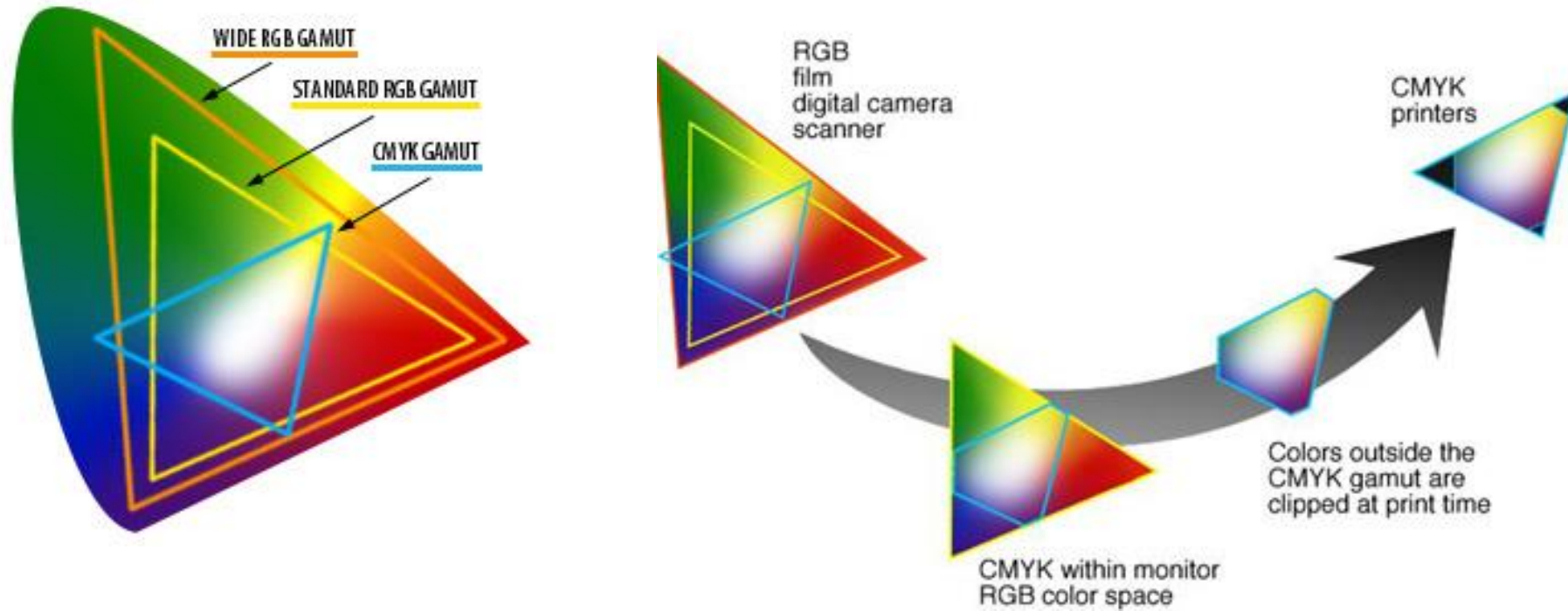
Ο χρωματικός χώρος HSL

- Brightness:
 - είναι η σχετική φωτεινότητα ή σκουρότητα ενός χρώματος
 - Από μαύρο (no brightness)
 - Σε άσπρο (full brightness)



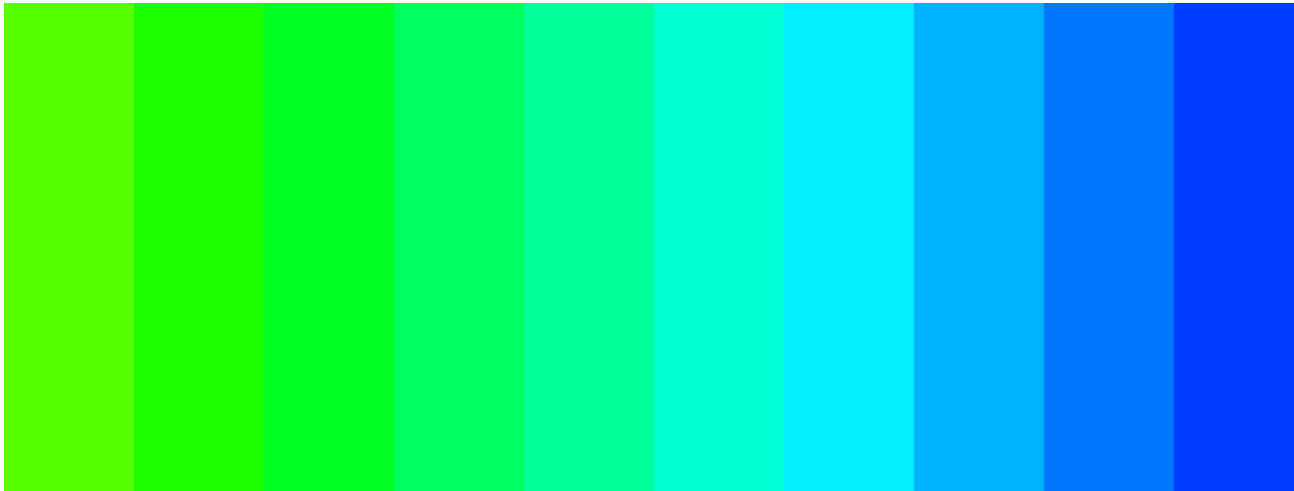
Color Mixing/Color Gamuts

- Μικρό μέγεθος της γκάμας εκτύπωσης



Γιατί αντιληπτική ομοιομορφία;

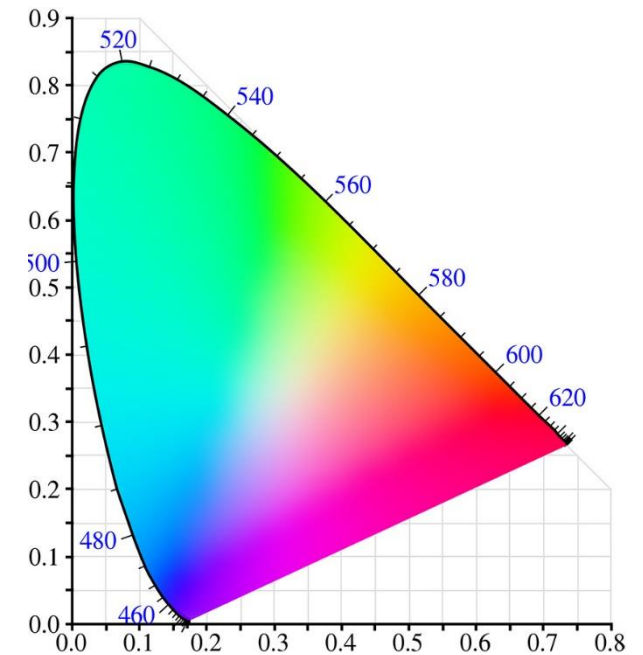
- Φανταστείτε την κωδικοποίηση μιας διαβάθμισης από πράσινο σε μπλε σε 10 βήματα
- Αλλαγή απόχρωσης σε ίσες προσαυξήσεις απόστασης σε χώρο x-y



- Τι πήγε στραβά;

Γιατί αντιληπτική ομοιομορφία;

- Κοιτάξτε πίσω στο διάγραμμα χρωματικότητας CIE
 - 520nm σε 560nm: όλα φαίνονται πράσινα
 - 460nm σε 500nm: πολύ ευρύτερο φάσμα των χρωμάτων
 - Εξηγεί γιατί η διαβάθμιση φαινόταν ως επί το πλείστον πράσινη με μια ξαφνική στροφή στο μπλε στο τέλος
- Χρησιμοποιήστε έναν αντιληπτικά ομοιόμορφο χρωματικό χώρο



- <https://programmingdesignsystems.com/color/perceptually-uniform-color-spaces/>

Ενδιάμεση Εξέταση

- Ημερομηνία: 08/03/2022
- Ώρα: 10:30 – 12:00
- Αίθουσα: 147
- **Σημείωση:** Απαγορεύεται αυστηρώς η μεταφορά φαγητού και ποτού εντός των αιθουσών διδασκαλίας.
- Δεν επιτρέπεται να έχετε μαζί σας σημειώσεις, κασεντίνα, κινητό, έξυπνο ρολόι, tablet. Μπορείτε να έχετε ΜΟΝΟ στυλό/μολύβι (προτρέπεται να έχετε 4 χρώματα από στυλό), χάρακα, απλή υπολογιστική μηχανή (cos/sin/tan).

Ενδιάμεση Εξέταση

Ενημερώνεστε ότι σε σχέση με τη διαδικασία ελέγχου των φοιτητών/τριών που παρακάθονται σε εξετάσεις με φυσική παρουσία, για SARS-CoV2, το Υπουργείο Παιδείας συστήνει τη διενέργεια rapid test κατ' αναλογία με το τι εφαρμόζεται και στους εργαζόμενους του ΠΚ. Ενόψει τούτου, το ΠΚ έχει εξασφαλίσει από το Υπουργείο Υγείας επιπρόσθετα τεστ για τους φοιτητές/τριες του.

Το Κέντρο Υγείας της Πανεπιστημιούπολης θα διενεργεί rapid test στους φοιτητές/τριες ως ακολούθως:

PANTEBOY

- Ο Διδάσκοντας θα αποστέλλει τουλάχιστον μία εβδομάδα πριν την εξέταση, email στο covid-19@ucy.ac.cy όπου θα αναγράφει τον Κωδικό του μαθήματος και την ημερομηνία της εξέτασης με φυσική παρουσία.
- Στη συνέχεια ο φοιτητής/τρια, μέσω της πλατφόρμας: <http://www.ucy.ac.cy/healthcenter> θα κλείνει ραντεβού για τεστ. Σημειώνεται ότι ανάλογα με τον αριθμό των φοιτητών/τριών κάθε ακροατηρίου, θα δίδεται πρόσβαση για ραντεβού ΜΟΝΟ στο 20%. Η πλατφόρμα θα κλείνει αυτόματα όταν συμπληρωθεί το 20% του ακροατηρίου.
- Θα αποστέλλεται με η-μήνυμα επιβεβαίωση του ραντεβού.

ΜΕΡΑ και ΩΡΕΣ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ των ΤΕΣΤ

- Τα rapid test για τους φοιτητές/τριες θα διενεργούνται κάθε Τετάρτη μεταξύ των ωρών 09:00-12:00πμ στο Κέντρο Δειγματοληψίας (ΚΟΔ 07, Αίθουσα 07) στην Πανεπιστημιούπολη. Τηλέφωνο επικοινωνίας με το Κέντρο Υγείας 22895270.

ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΧΡΗΣΗ

- Τα αποτελέσματα θα αποστέλλονται με η-μήνυμα στους φοιτητές/τριες και θα δίδεται εντός 20 λεπτών από την ώρα διενέργειας του τεστ αποδεικτικό της εξέτασης. Το αποτέλεσμα θα έχει ισχύ για μία(1) βδομάδα και θα παρουσιάζεται στο διδάσκοντα πριν την εξέταση. Το Κέντρο Υγείας του ΠΚ θα αναλάβει την αποστολή των δεδομένων/αποτελεσμάτων στο ΥΥ. Σε περίπτωση Θετικού αποτελέσματος θα τεθεί σε εφαρμογή το Σχέδιο Δράσης που έχει εκπονήσει ο Τομέας Ασφάλειας, Υγείας και Περιβάλλοντος και θα ενημερωθούν αμέσως τα άτομα που επηρεάζονται.

Ray Shooting / Casting

Βολή Ακτίνας

The first humbling steps

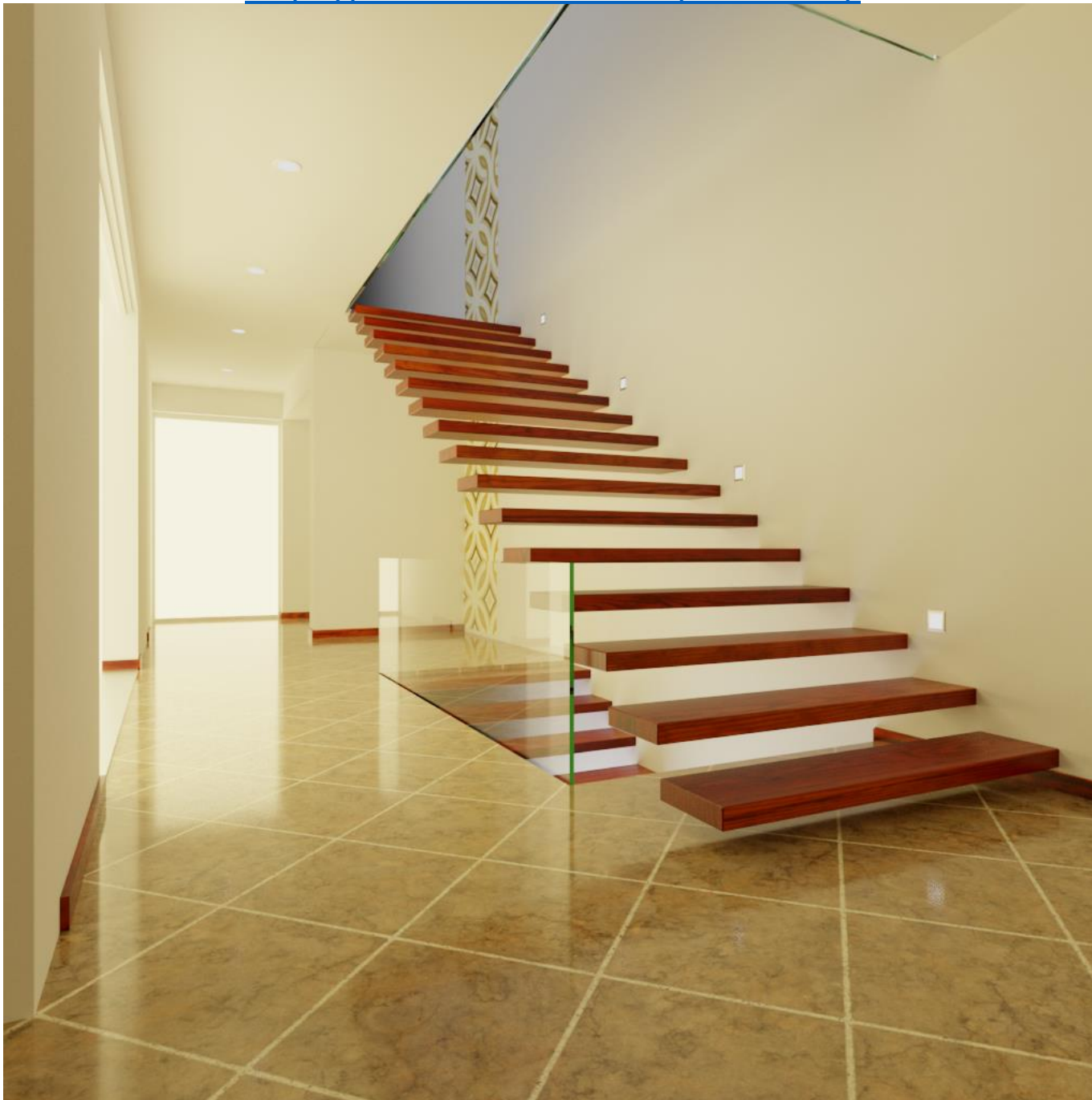
Why Raytracing?

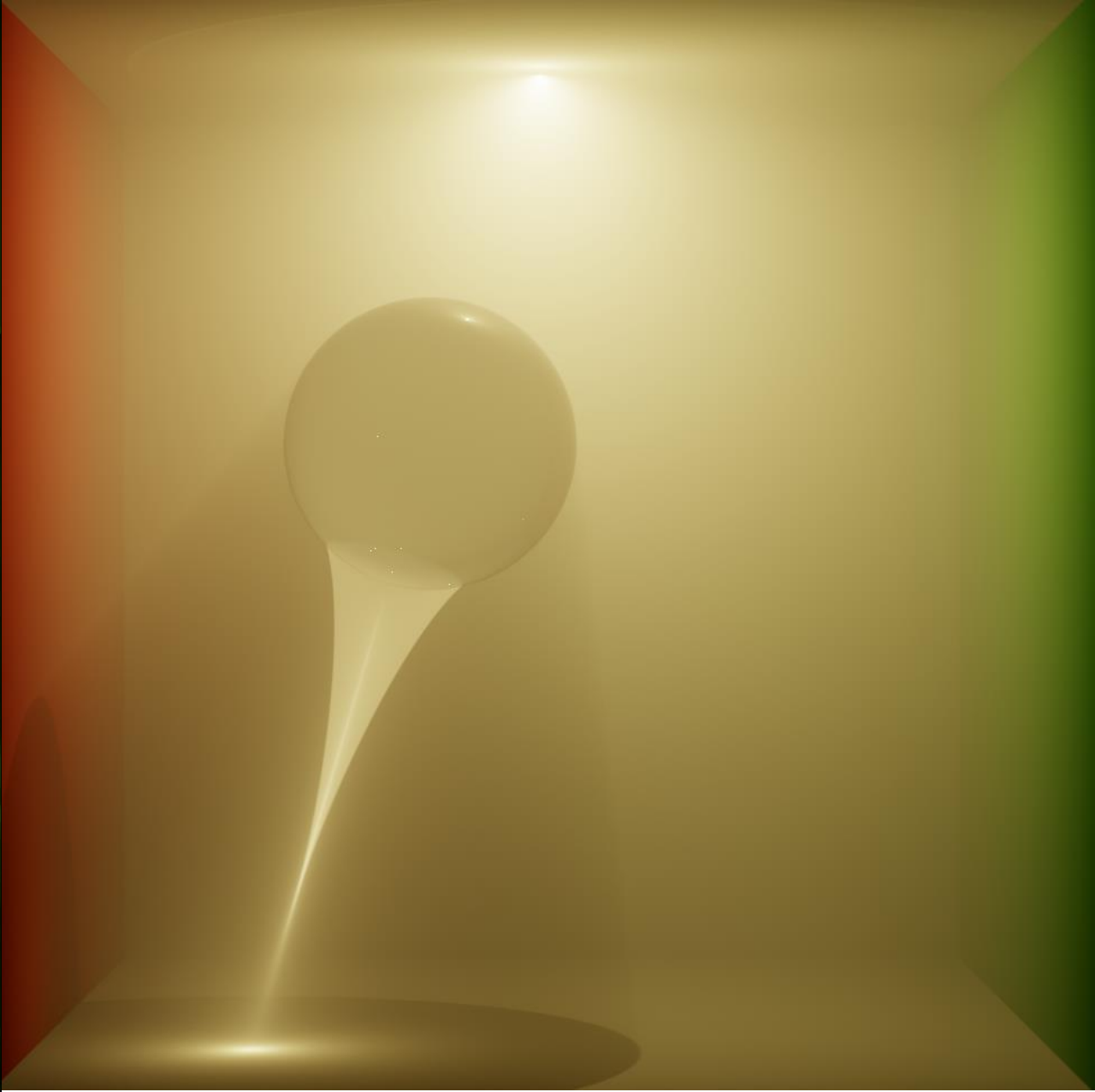
- Η παρακολούθηση ακτίνας είναι η **βάση** πολλών αλγορίθμων που στόχο έχουν **ρεαλιστική** απεικόνιση!

Physically Based Rendering Algorithms = f (Ray Tracing)

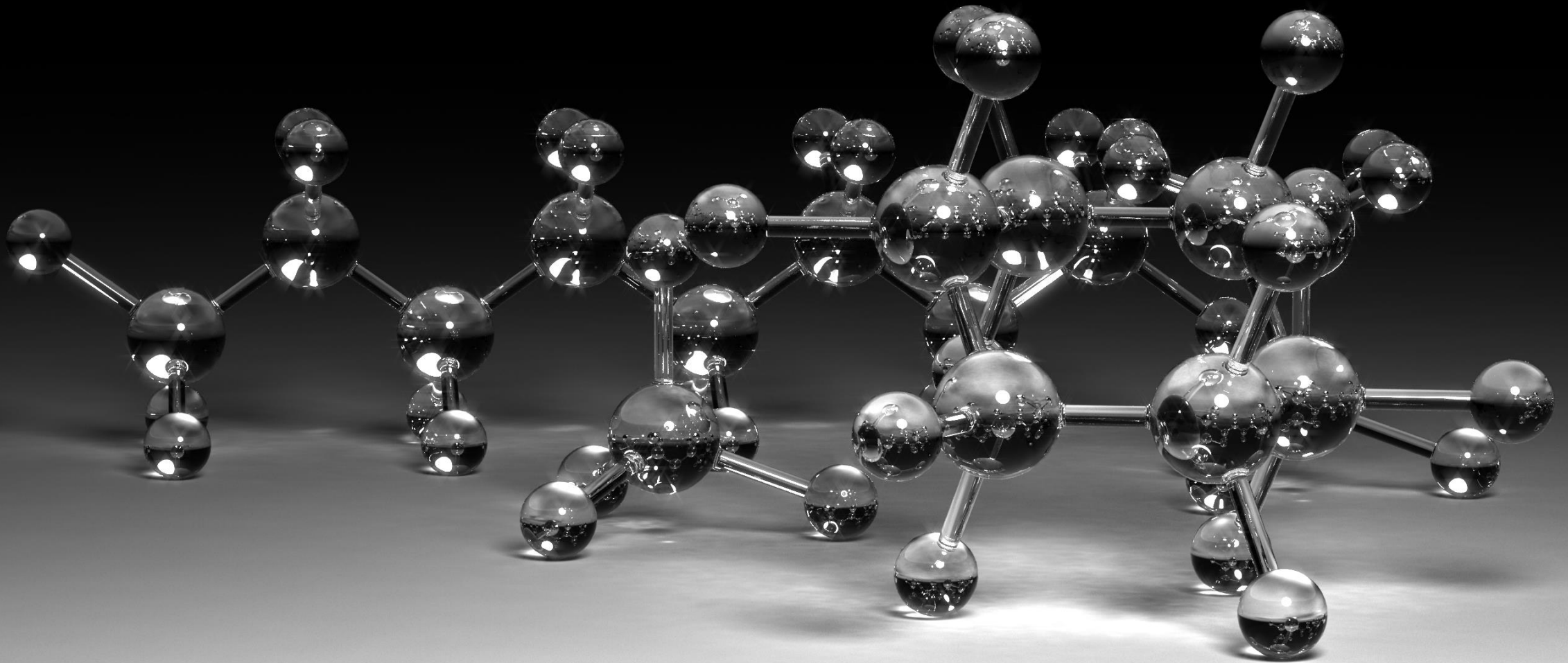








<https://benedikt-bitterli.me/resources/>





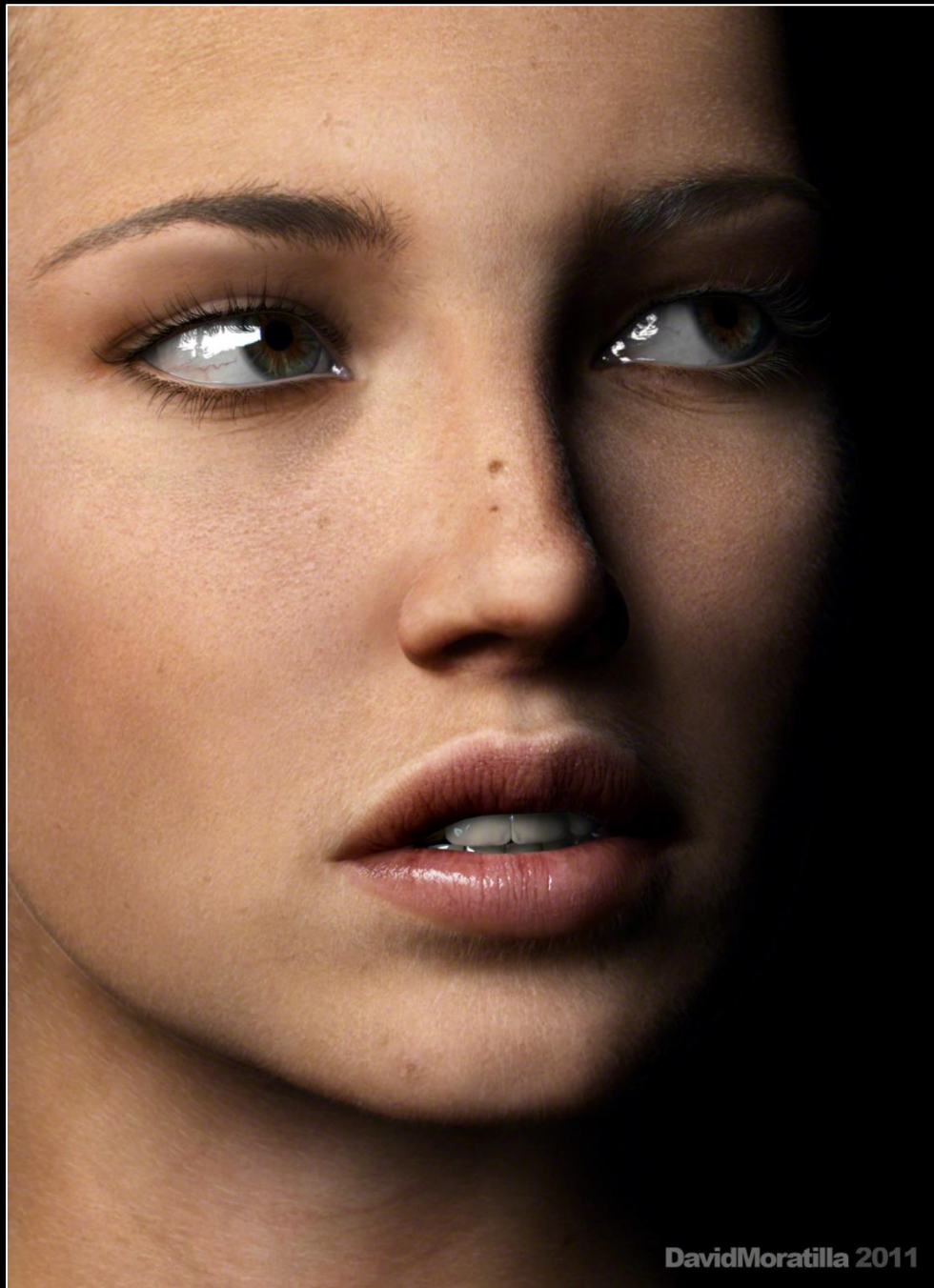


The Art of Justin Holt
<http://justinmichaelholt.com/tank-girl/>



The Art of David Moratilla
<http://www.davidmoratilla.com/>
(With Post-Processing)

SNOWBALL VFX
David Moratilla



DavidMoratilla 2011

The Art of David Moratilla
<http://www.davidmoratilla.com/>
(With Post-Processing)

DavidMoratilla 2011

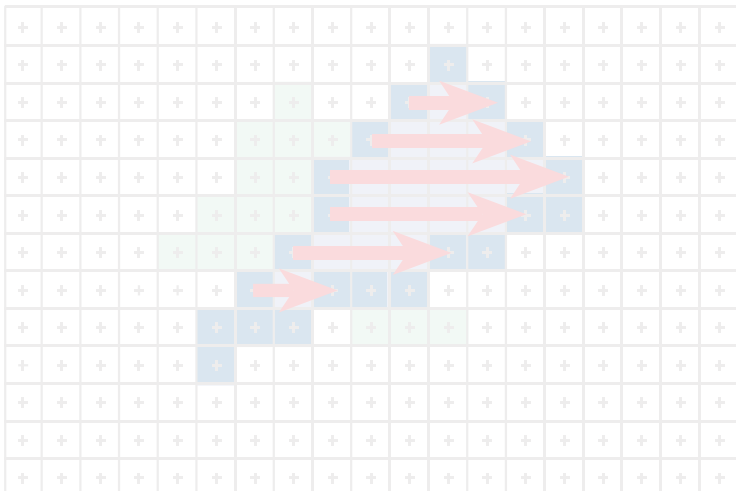


Δύο γενικές προσεγγίσεις για δημιουργία εικόνων

A. Rendering Pipeline

- For each triangle
 - For each projected pixel

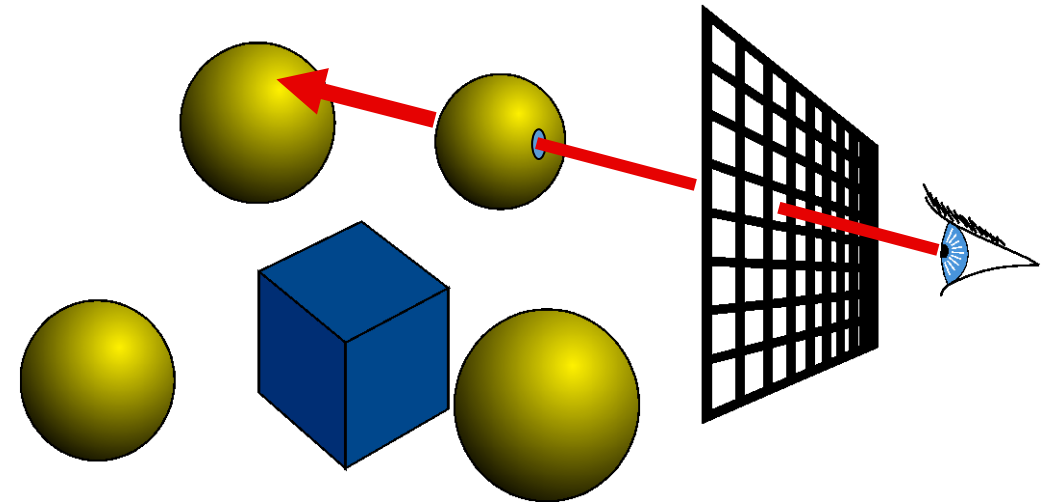
Project scene to the pixels



B. Ray Casting

- For each pixel
 - For each object

Send pixels to the scene



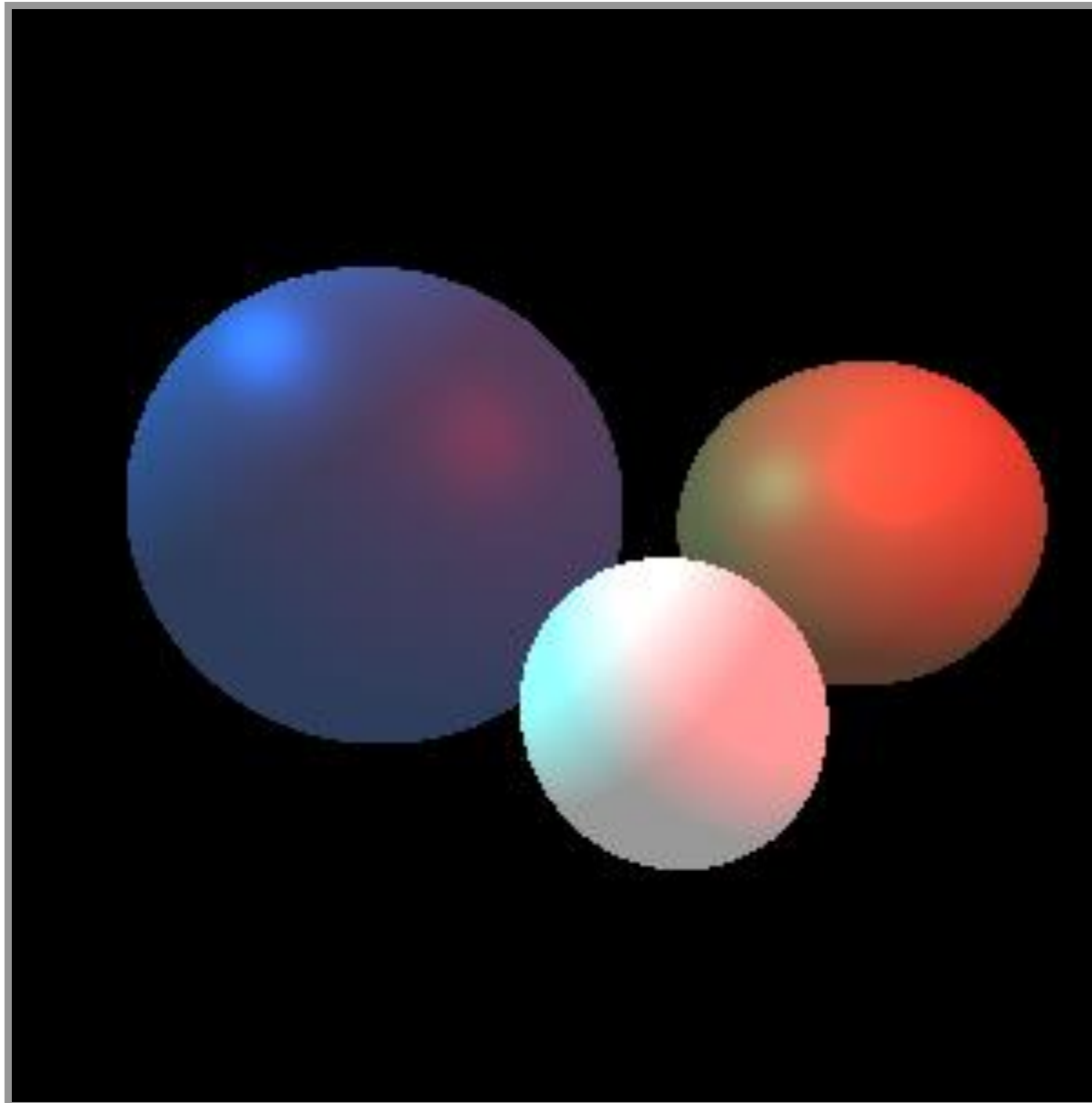
Μια αλληγορία με τη ζωγραφική

Albrecht Durer 1525

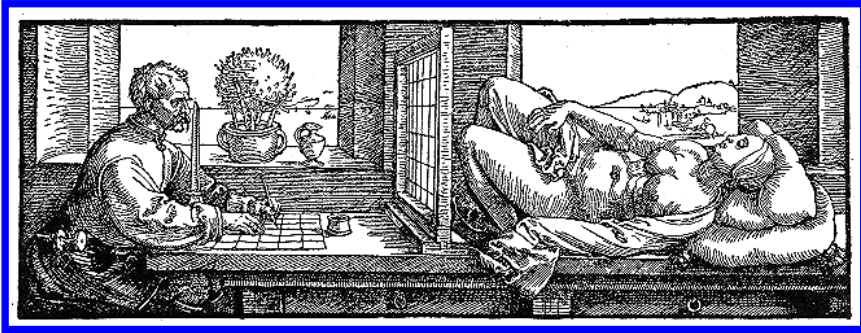


Image from Hitachi's Viewseum at <http://www.viewseum.com/>

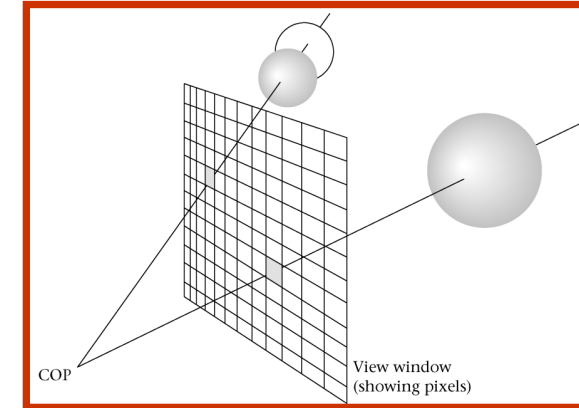
- Έχουμε ένα καλλιτέχνη που κοιτάζει μέσα από ένα πλαίσιο και μεταφέρει αυτά που βλέπει στον καμβά
- Το πλαίσιο αποτελείται από ένα πλέγμα (grid) με τετραγωνάκια, και ο καμβάς το ίδιο
 - ίσα σε αριθμό αλλά όχι κατ' ανάγκη και μέγεθος
 - (*scene pixels, screen pixels*)
- Προϋποθέσεις/προβλήματα
 - Ανάλυση, κίνηση του κεφαλιού, διαδικασία είναι στιγμιαία



Τα 3 Στοιχεία της Παραβολής



- A. Η σκηνή (the scene)
η κοπέλα
- B. Η άποψη (the view) - η όλη διαρρύθμιση
το μάτι & το τιλάρο
- C. Η διαδικασία απόδοσης (the rendering process)
ζωγραφική
 - i. προσδιορισμός του χρώματος του pixel
 - ii. χρωματισμός του pixel στην οθόνη



οι σφαίρες

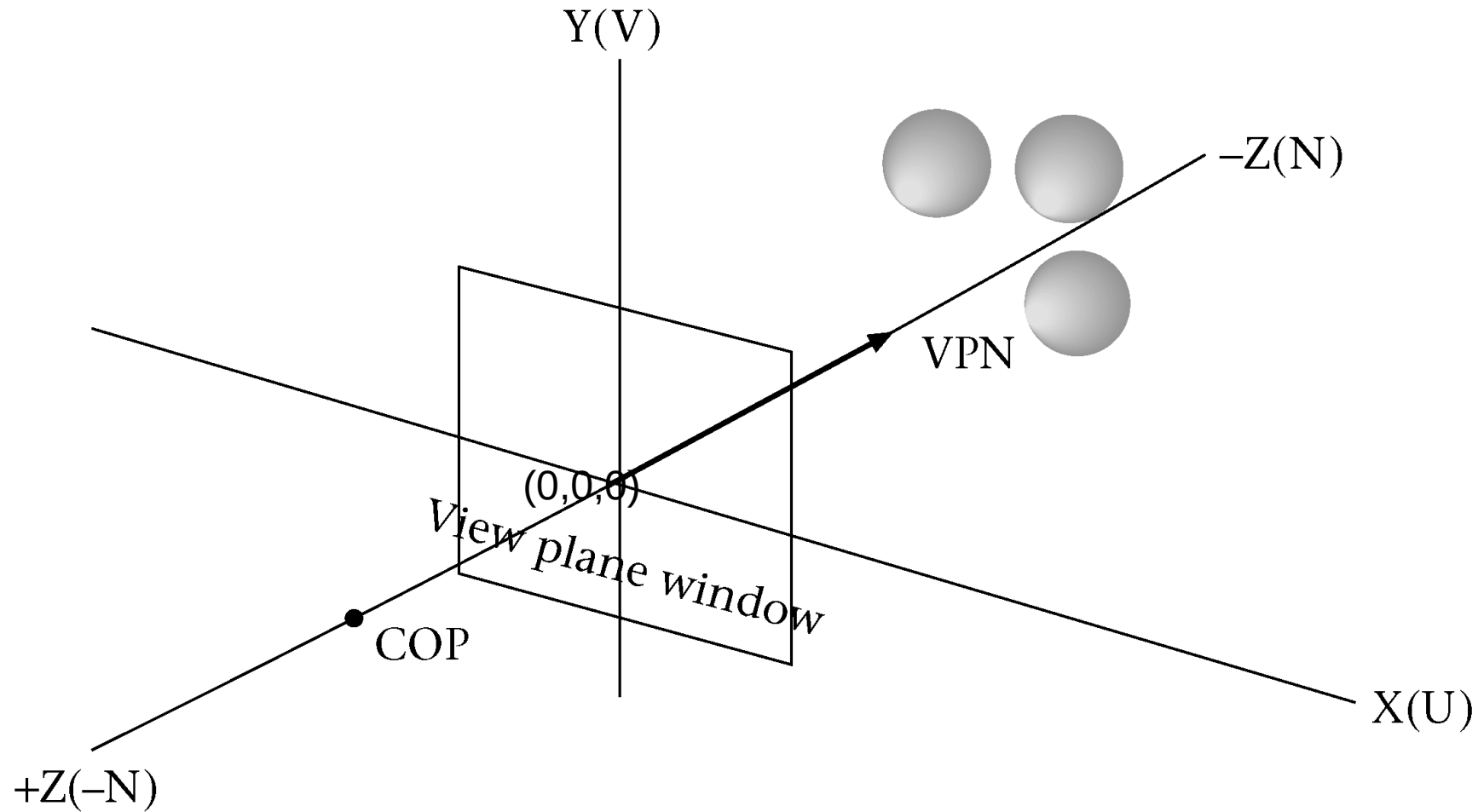
μια απλή κάμερα

βολή ακτίνας (ray casting)

A. Η Σκηνή

- Μια ομάδα από αντικείμενα (objects)
- Κάθε αντικείμενο έχει:
 - γεωμετρικές ιδιότητες => το σχήμα
 - υλικές ιδιότητες => πως ανακλά το φως, πως και αν εκπέμπει φως
- Γενικές (ή παγκόσμιες) συντεταγμένες (World coordinates)
 - δεξιό-χειρο σύστημα
- Θα χρησιμοποιήσουμε μόνο σφαίρες προς το παρόν

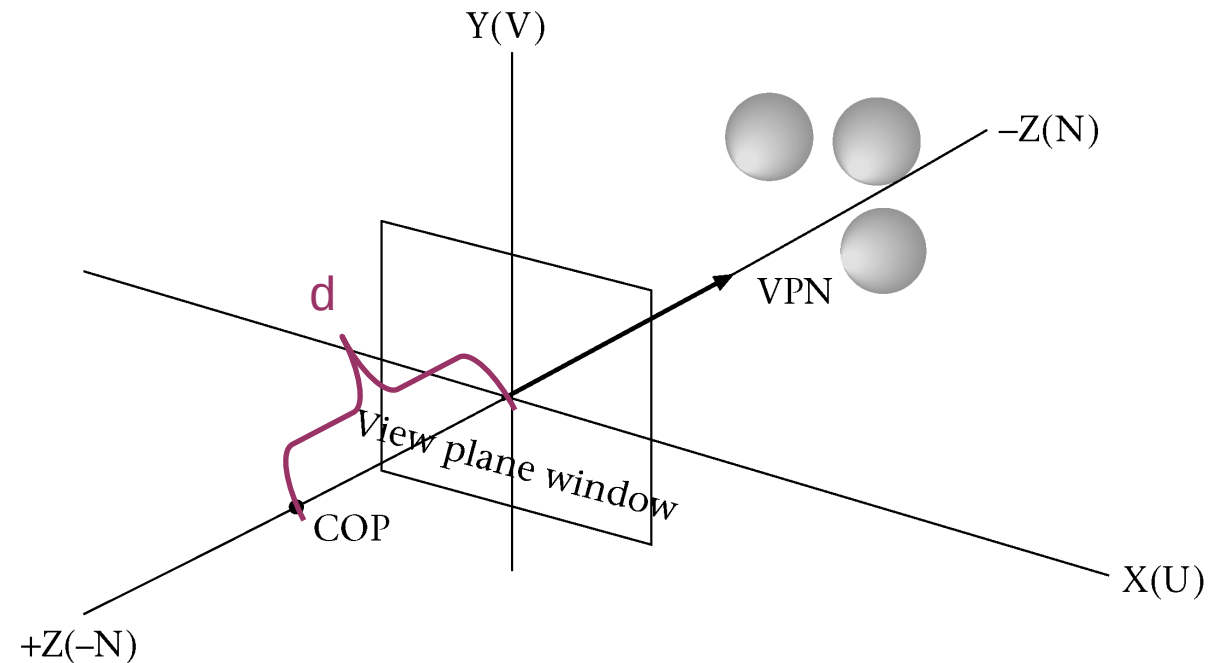
Β. Η άποψη (the view) - Απλοποιημένη Κάμερα



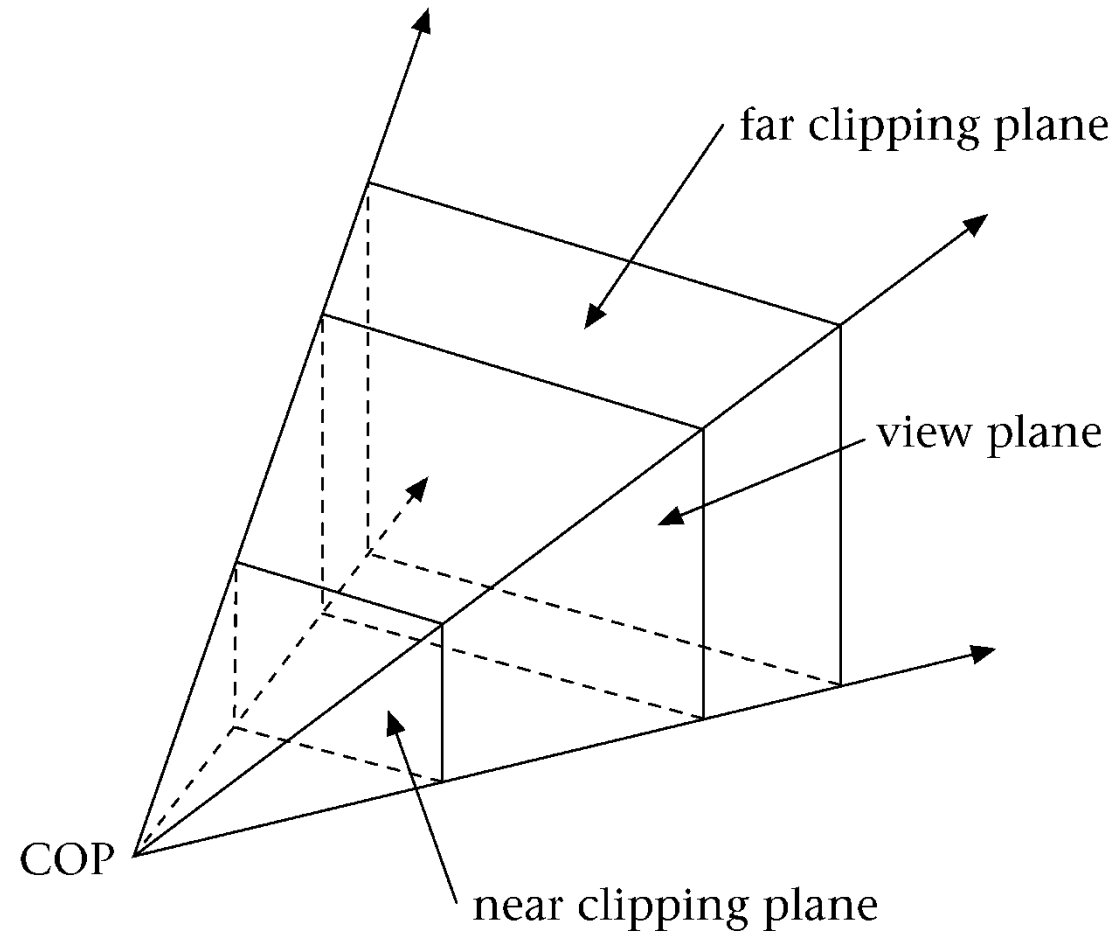
B. Απλοποιημένη κάμερα

- Κέντρο προβολής (center of projection, COP or viewpoint, vp)
- Απόσταση επιπέδου προβολής (view plane distance, d)
- Επίπεδο προβολής (view plane)
- Κάθετος επιπέδου προβολής (view plane normal, VPN)
- Παράθυρο επιπέδου προβολής (view plane window)

- Σύστημα συντεταγμένων παρατηρητή (viewing coordinate system) **uvn**
 - Βάζουμε τον u-άξονα στον θετικό x- άξονα, τον v- άξονα στον θετικό y-άξονα και τον n- άξονα στον αρνητικό z
 - Είναι αριστερό-χειρο σύστημα



Οπτικό πεδίο (view volume)



Γ. Διαδικασία Απόδοσης (Rendering Process)

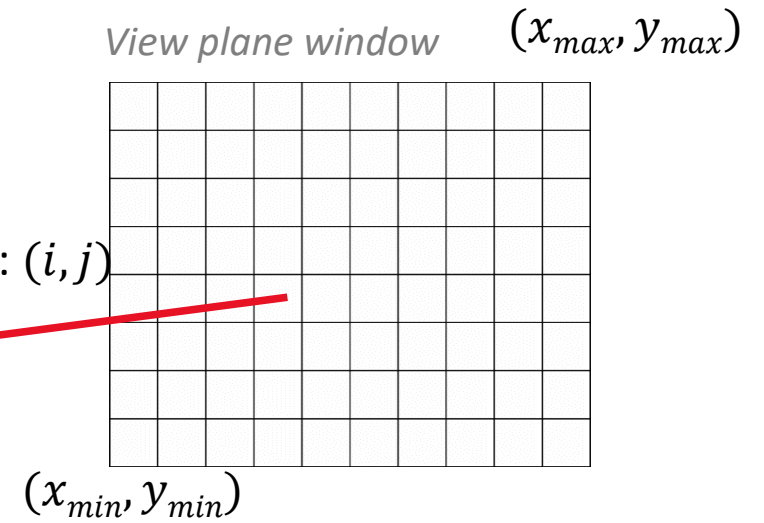
- Στέλνουμε μια ακτίνα από το κέντρο κάθε pixel (εικονοστοιχείο)
 - 'Backwards' ray-casting
- Για τον ορισμό κάθε ακτίνας χρειαζόμαστε 2 σημεία: το COP, και το κέντρο του pixel
- Κοιτάζουμε για την πιο κοντινή τομή της ακτίνας με την σκηνή και παίρνουμε το χρώμα του αντικειμένου στο σημείο αυτό
- Αν δεν υπάρχει τομή επιστρέφουμε μαύρο (η όποιο χρώμα ορίσουμε ως φόντο-background)

C. Ορισμός της ακτίνας

- Αντιστοιχούμε εικόνα $M \times N$ pixels στο view plane window
- Έστω ότι έχουμε ένα pixel i, j
- Αντιστοιχεί στο ορθογώνιο
 - πλάτος $W = (x_{max} - x_{min})/M$
 - ύψος $H = (y_{max} - y_{min})/N$
- Η ακτίνα μας περνά από το κέντρο του πίξελ
- Επομένως η ακτίνα περνά από το σημείο

$$(x_{min} + W \times (i + 0.5), y_{min} + H \times (j + 0.5), 0.0)$$

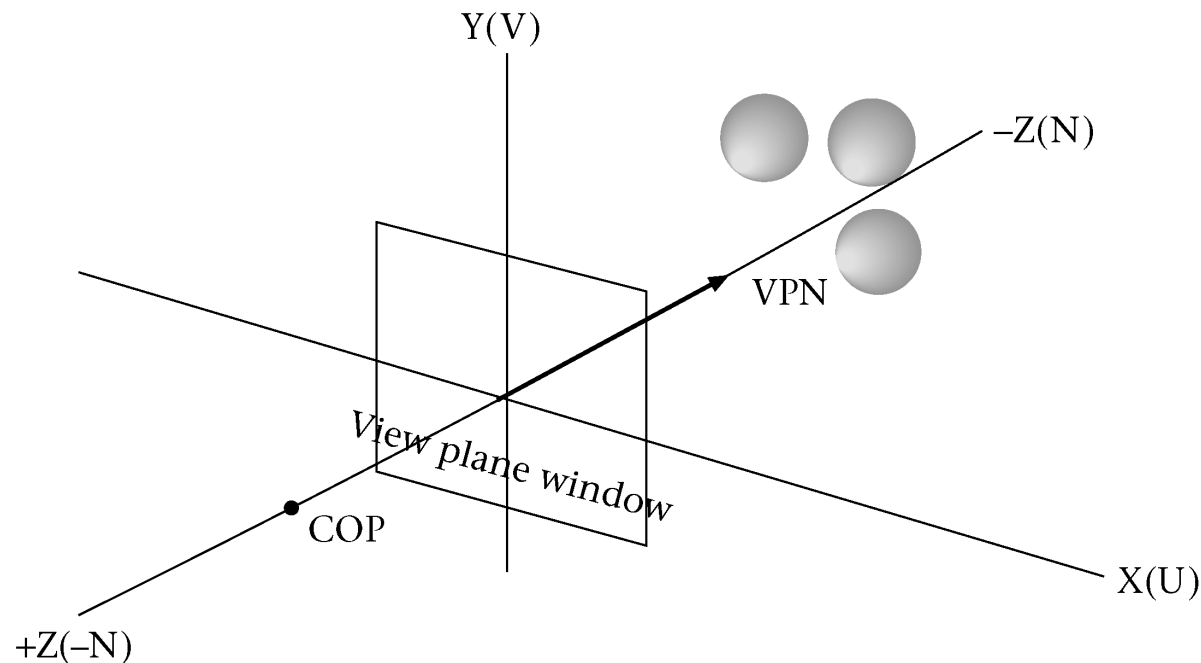
Center of Pixel: (i, j)



Σ. Ορισμός της ακτίνας

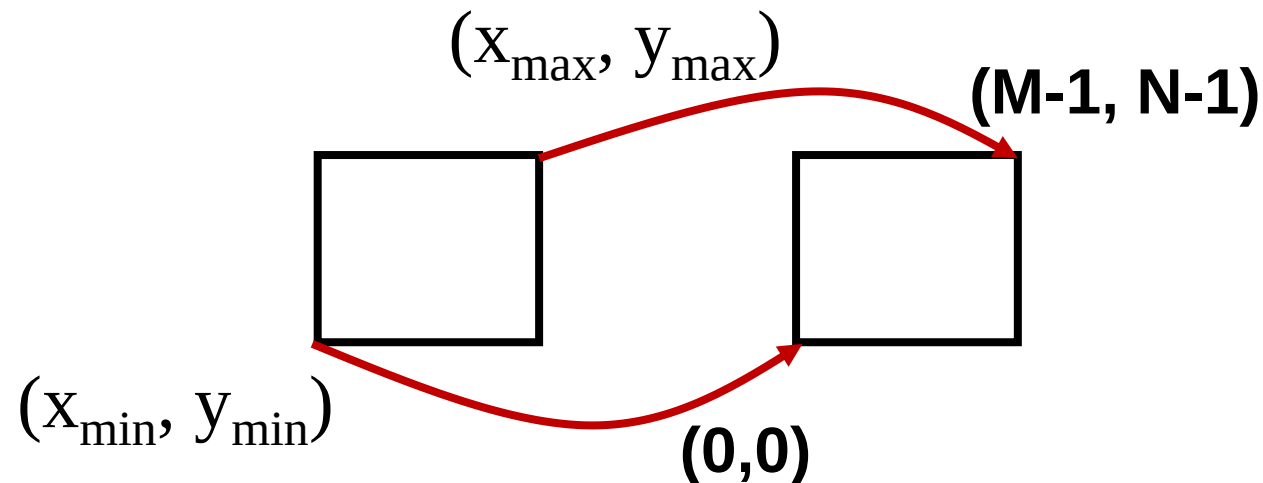
- Οπότε, μια ακτίνα που ξεκινά από το COP και περνά από το pixel (i, j) , ορίζεται ως:

$$\begin{aligned} p(t) &= (x(t), y(t), z(t)) = \\ &= (t \times (x_{min} + W \times (i + 0.5)), t \times (y_{min} + H \times (j + 0.5)), d - t \times d) \end{aligned}$$

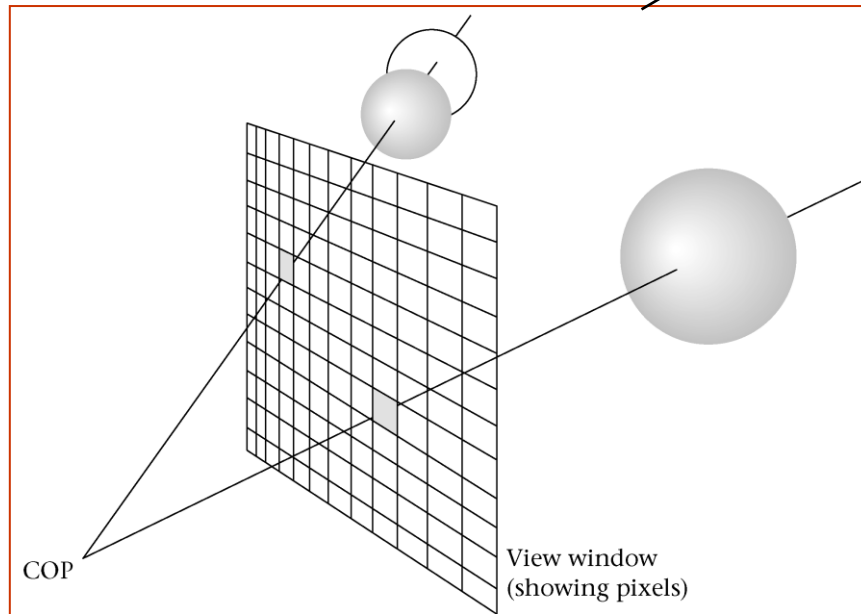


Σ. Διαδικασία Απόδοσης, δημιουργία της τελικής εικόνας

- Αντιστοίχιση (Mapping) από το παράθυρο προβολής (viewplane window) στο viewport (π.χ. οθόνη)
 - window, viewport
 - linear mapping
- Map screen pixels (M by N window) to points in camera view plane



Painting metaphor



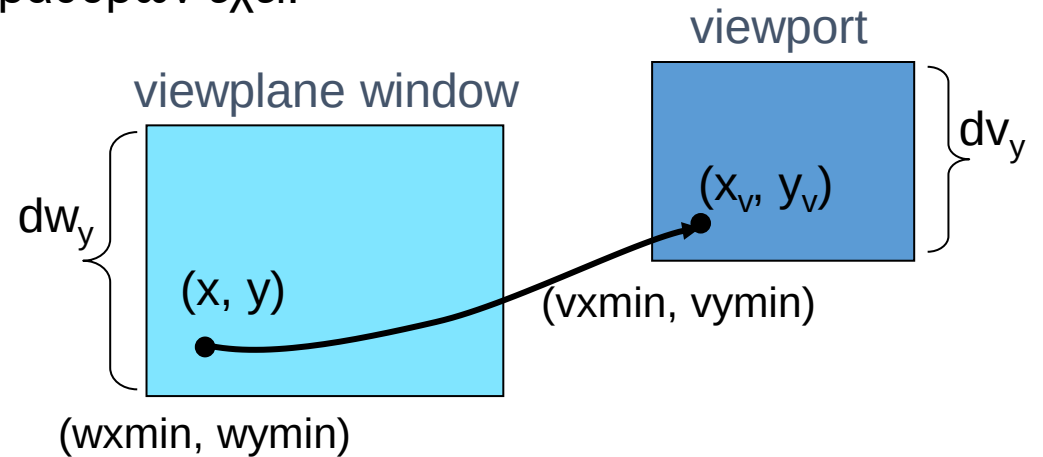
C. Αντιστοίχιση (Mapping)

από το παράθυρο προβολής (viewplane window) στο viewport

Στην γενική περίπτωση η αντιστοίχιση μεταξύ των δύο παραθύρων έχει:

$$x_v = vx \min + \frac{dv_x}{dw_x} (x - wx \min)$$

$$y_v = vy \min + \frac{dv_y}{dw_y} (y - wy \min)$$



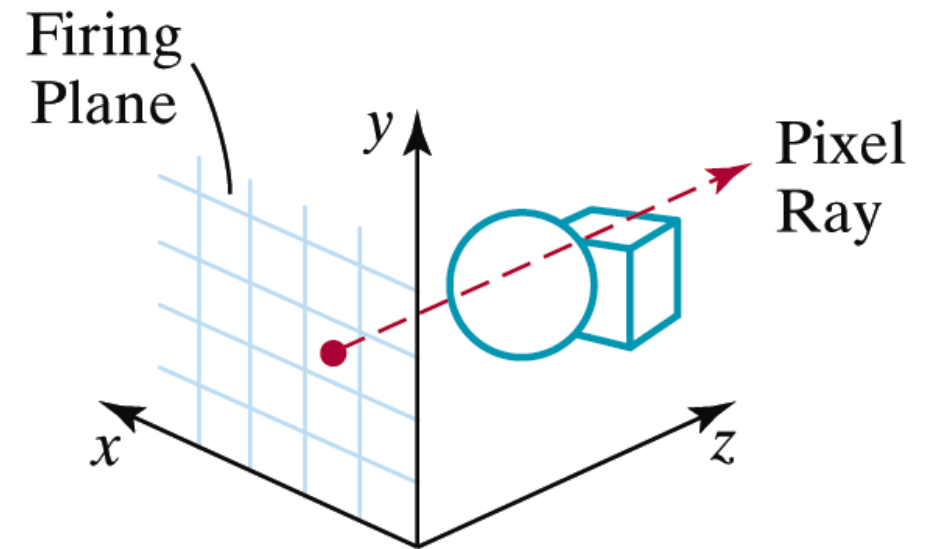
Στην περίπτωση μας πάμε από το κέντρο του pixel σε (ακέραιο) pixel στην οθόνη

$$\left(wx \min + \frac{width}{2}, wy \min + \frac{height}{2} \right) \rightarrow (0,0)$$

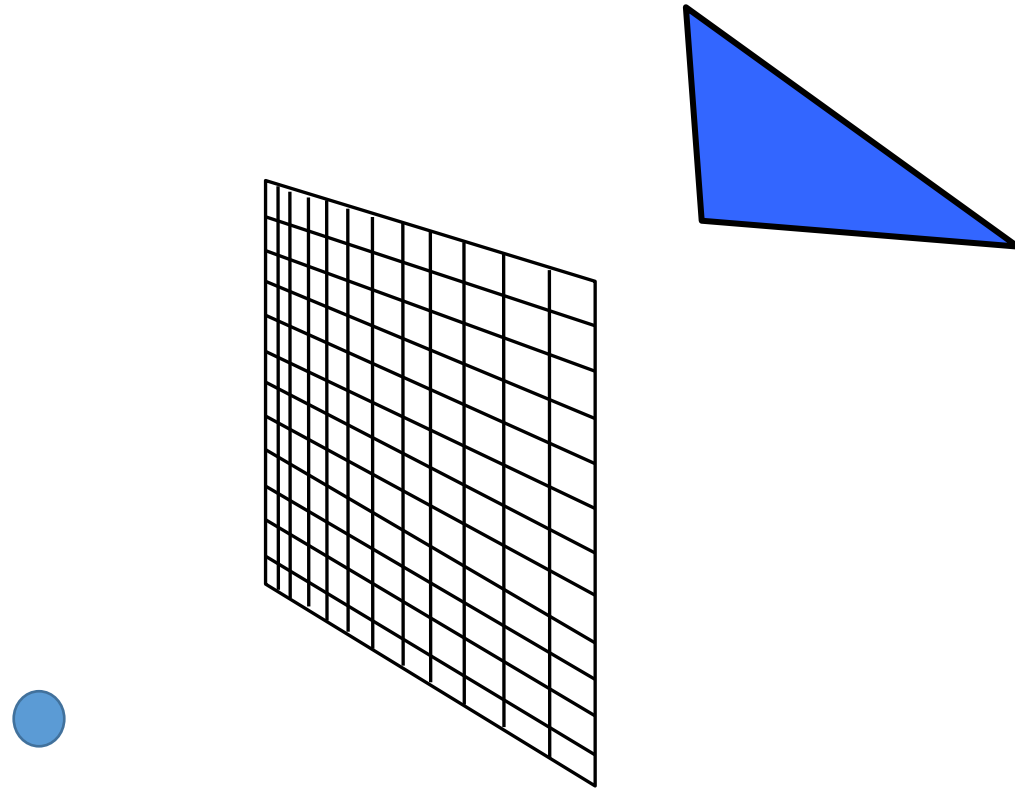
(left bottom corner)

Ray-Casting

- **Ray-casting** χρησιμοποιείται συνήθως για την περιγραφή αντικειμένων CSG όταν τα αντικείμενα περιγράφονται με κάποια όρια
- Το ray casting εφαρμόζεται με τον καθορισμό των αντικειμένων που τέμνονται από ένα σύνολο παράλληλων γραμμών που προέρχονται από το XY επίπεδο κατά μήκος του Z άξονα
- Το XY επίπεδο είναι γνωστό σαν το **firing plane**

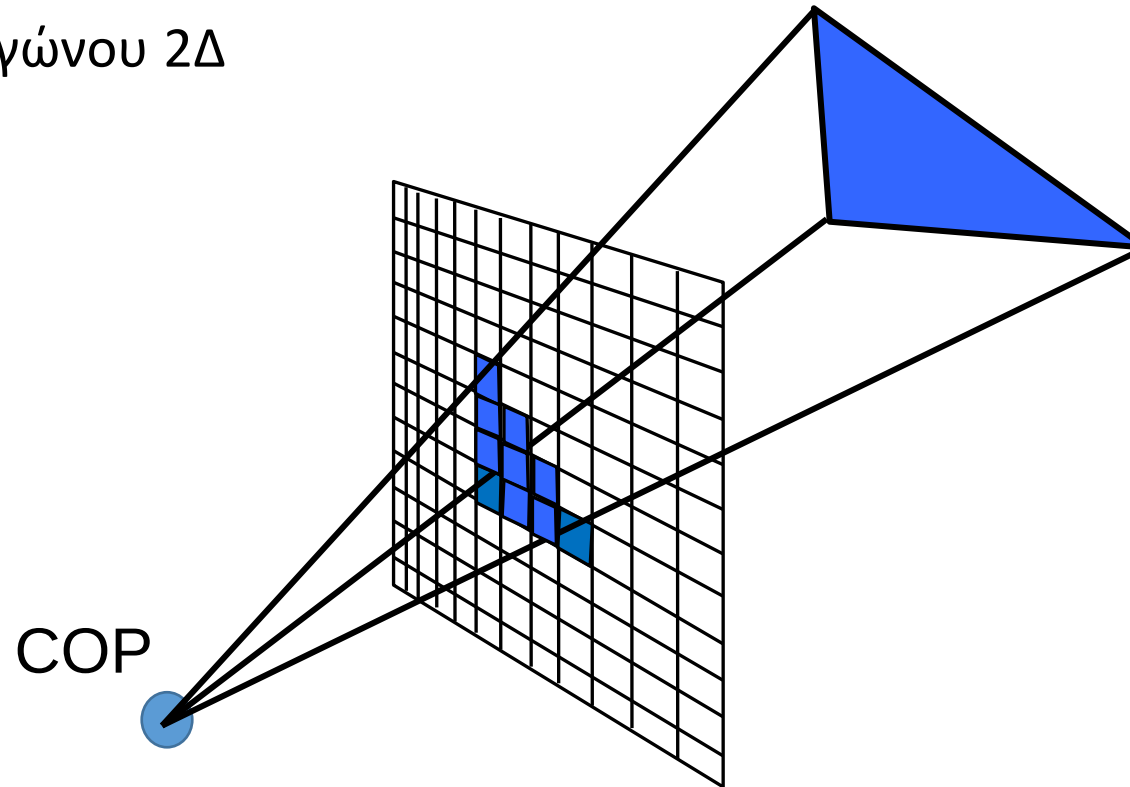


Παρακολούθηση Ακτίνας



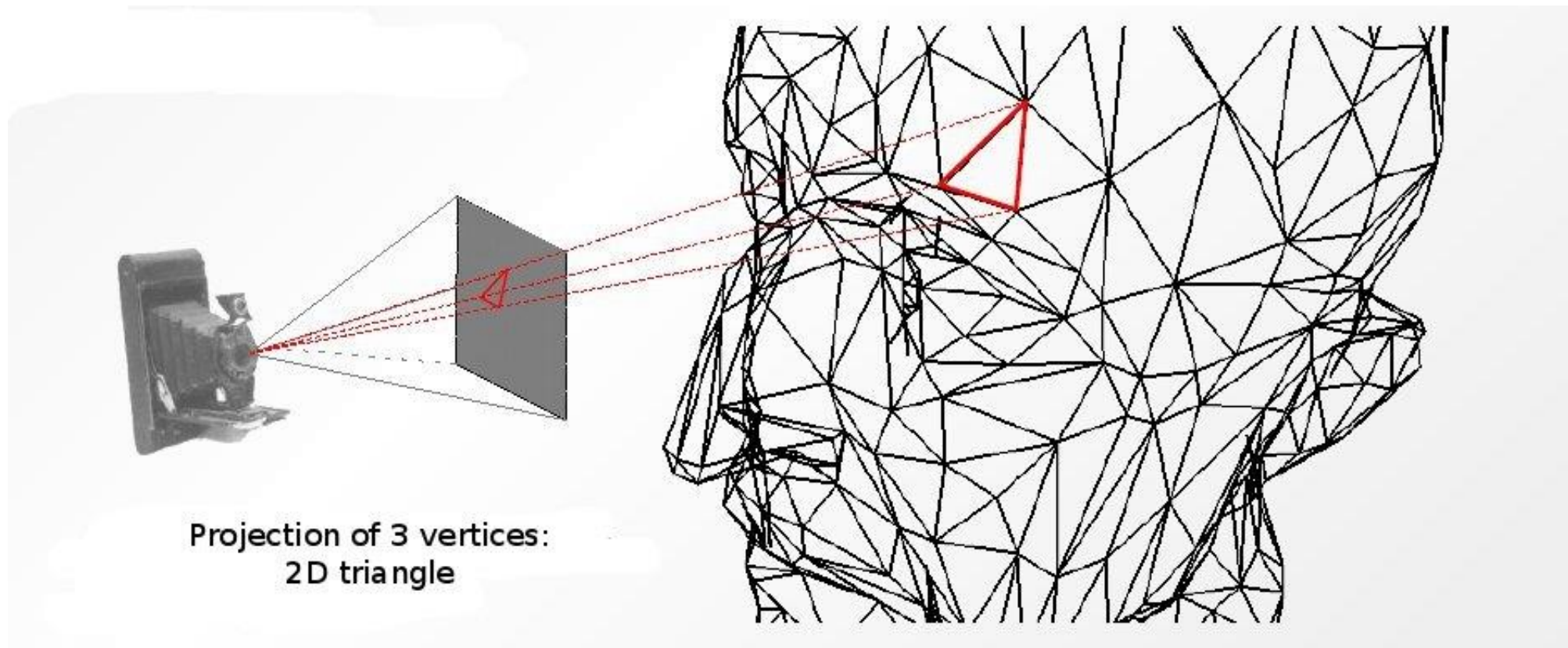
Παρακολούθηση Ακτίνας: *Ray Casting*

- Βρείτε ποιες ακτίνες θα χτυπήσουν τις κορυφές του τριγώνου
- Αυτές οι ακτίνες ορίζονται από ένα τρίγωνο 2Δ στο επίπεδο εικόνας
- Σάρωση αυτού του τριγώνου 2Δ



- **Αντί να ανιχνεύσετε τις κορυφές, προβάλετέ τις**

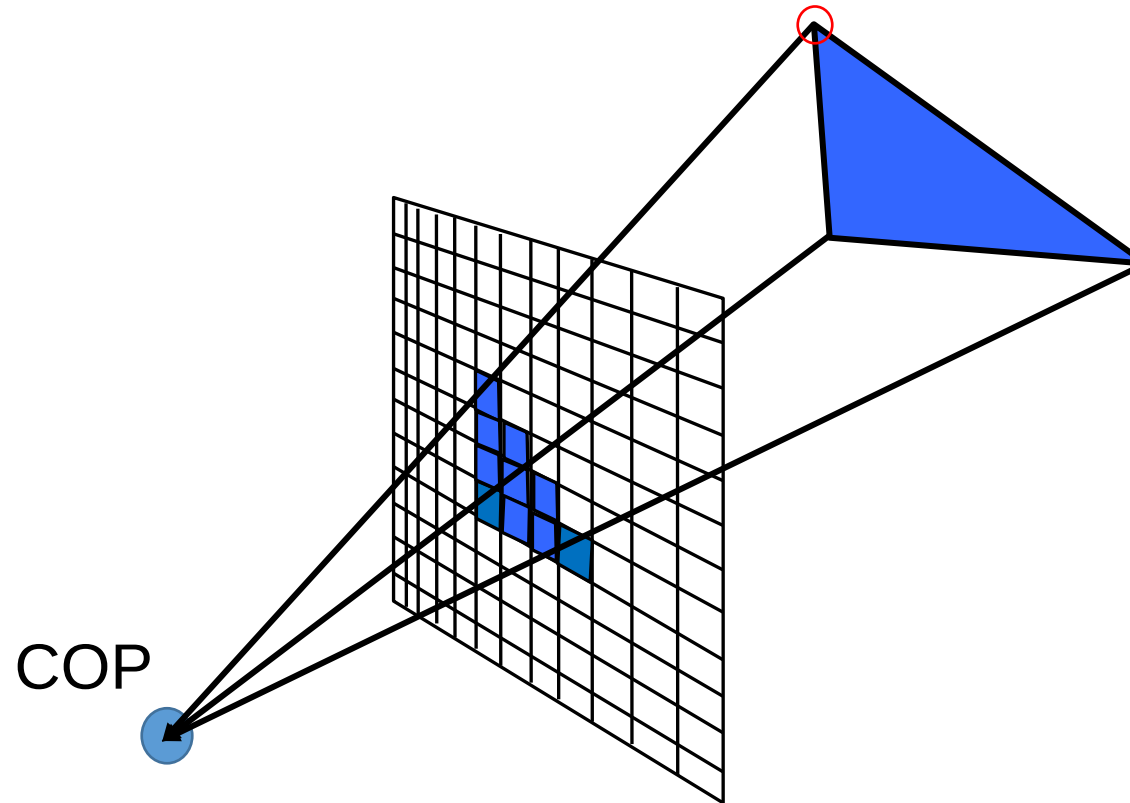
Rasterization



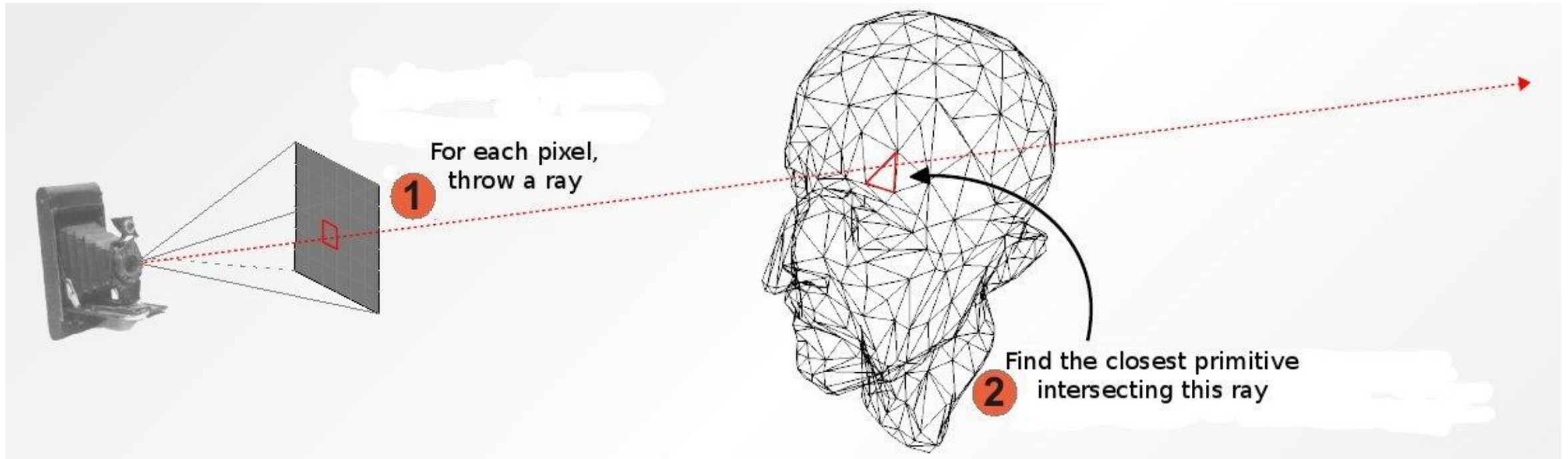
Projecting the vertices

- Ξεκινήστε από τις κορυφές και το προβάλετε για να βρείτε το εικονοστοιχείο που καλύπτουν

■



Παρακολούθηση Ακτίνας: *Ray Tracing*



Μπορούμε να επιταχύνουμε απλοποιώντας

- Η διαδικασία βολής ακτίνας είναι πολύ αργή
 - Π.χ. για μια αγελάδα έχουμε 10.000 τρίγωνα, αλλά για να δημιουργήσουμε μια εικόνα 1000 x 1000 pixels πρέπει να ρίξουμε 1.000.000 πρωτογενείς ακτίνες, όπου η κάθε μια θα πρέπει να διασταυρώσει τα 10.000 τρίγωνα (και στη συνέχεια να προσθέσουμε αντανakλάσεις, σκιές, κλπ.)
- Μείωση του καθολικού φωτισμού (δηλαδή χωρίς αναδρομή)
- Μείωση του φωτισμού, άφησε μόνο το φωτισμό από το περιβάλλον
- Θεωρούμε πως υπάρχουν μόνο πολύγωνα
- Αντί να ανιχνεύουμε ακτίνες σε κάθε pixel, απλώς εντοπίζουμε τις στις κορυφές και γεμίζουμε το ενδιάμεσο διάστημα
 - Περισσότερα σε επόμενες διαλέξεις