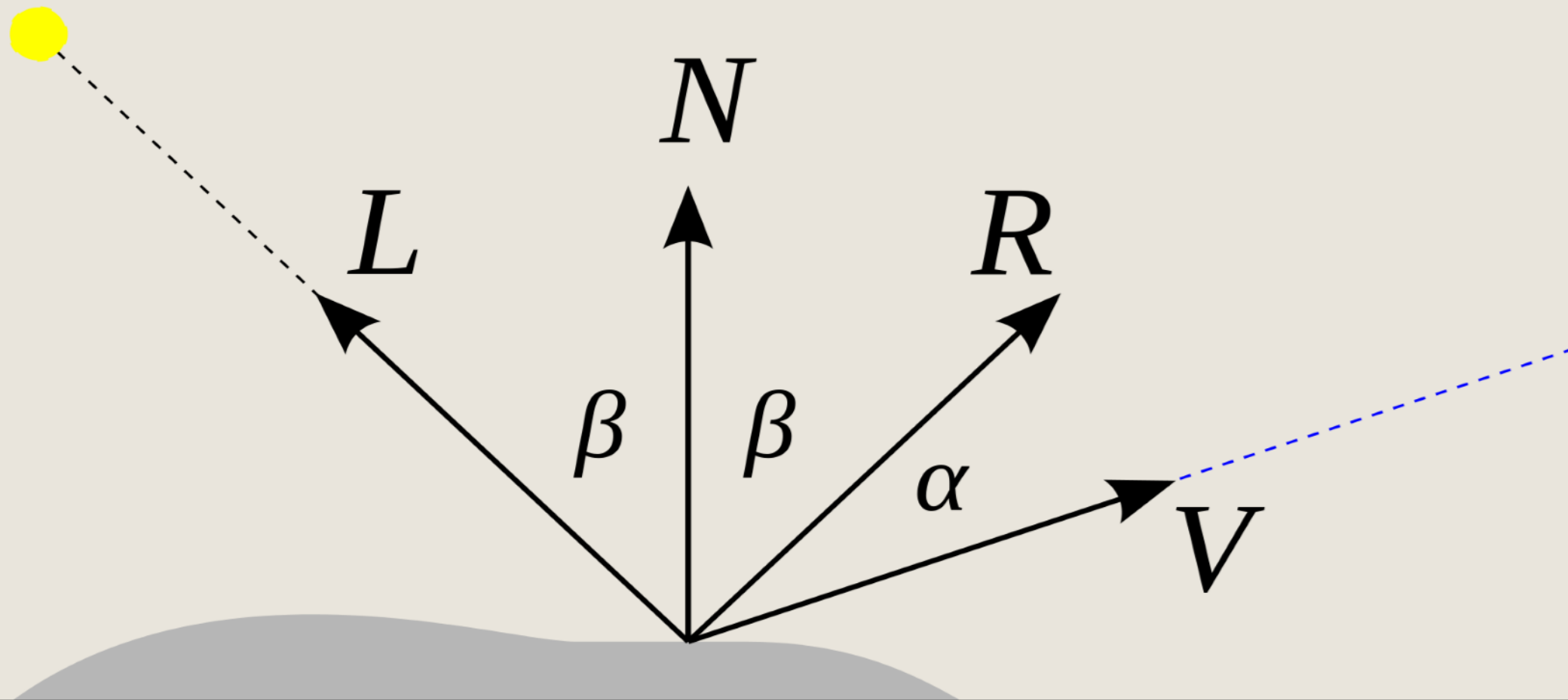
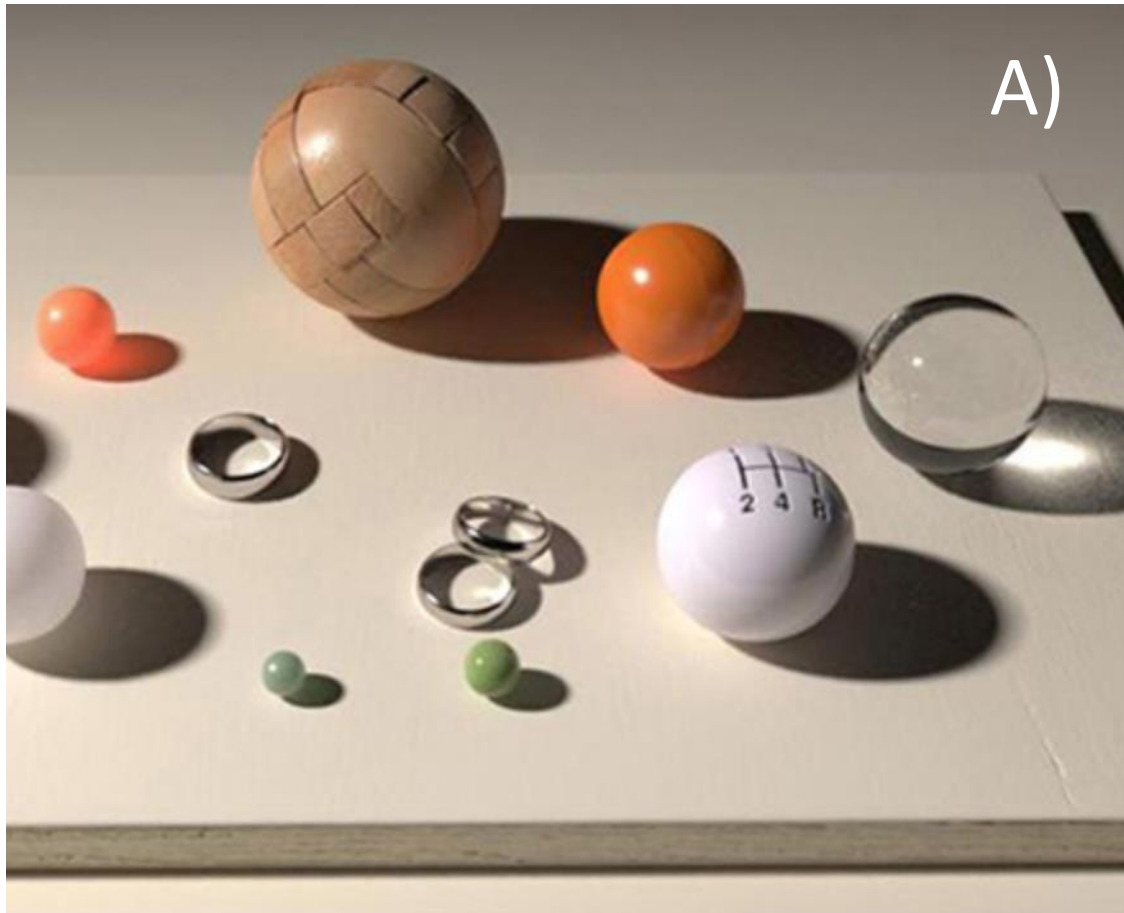




Γραφικά Υπολογιστών

Τοπικός φωτισμός

Clicker Question 1: *Which image is real?*



Source: Hyperion Renderer

Στοιχεία για υπολογισμό του φωτισμού



*Scene rendered using
photon mapping*

Photo credit: UCSD

Στοιχεία για υπολογισμό του φωτισμού

1. Φωτεινές πηγές (Light Sources)

- σε πιο φάσμα εκπέμπουν (χρώμα)
- γεωμετρία (σχήμα, θέση, κατεύθυνση)
- γωνιακή εξασθένιση (falloff)

2. Ιδιότητες επιφανειών (Material Properties)

- Σε πιο φάσμα εκπέμπουν και αντανακλούν
- γεωμετρία (θέση, κατεύθυνση, μικρο-δομή)
- απορρόφηση

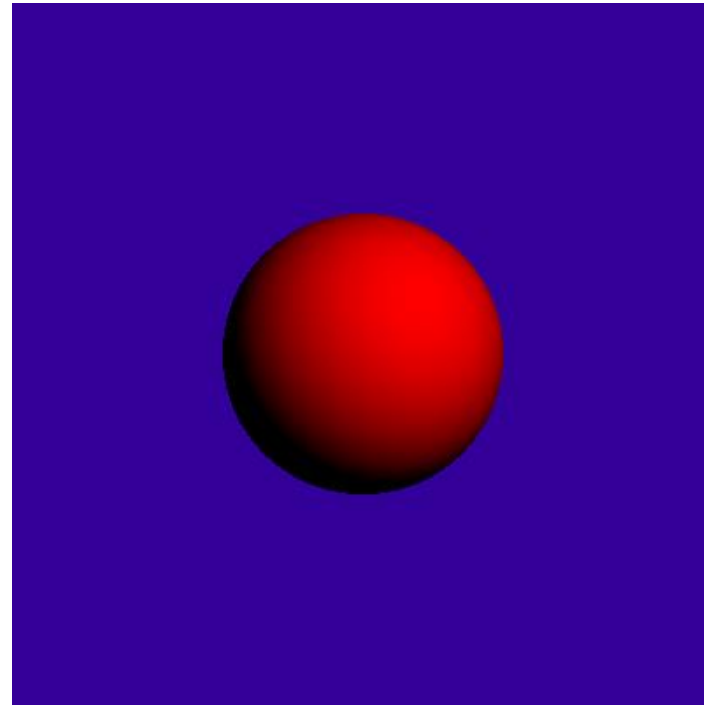
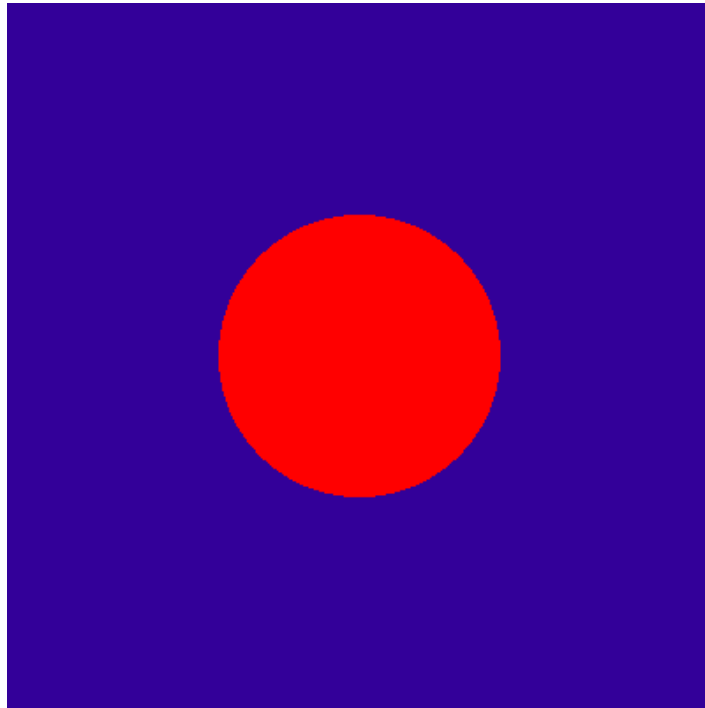
3. Μοντέλο φωτισμού (Illumination Model)



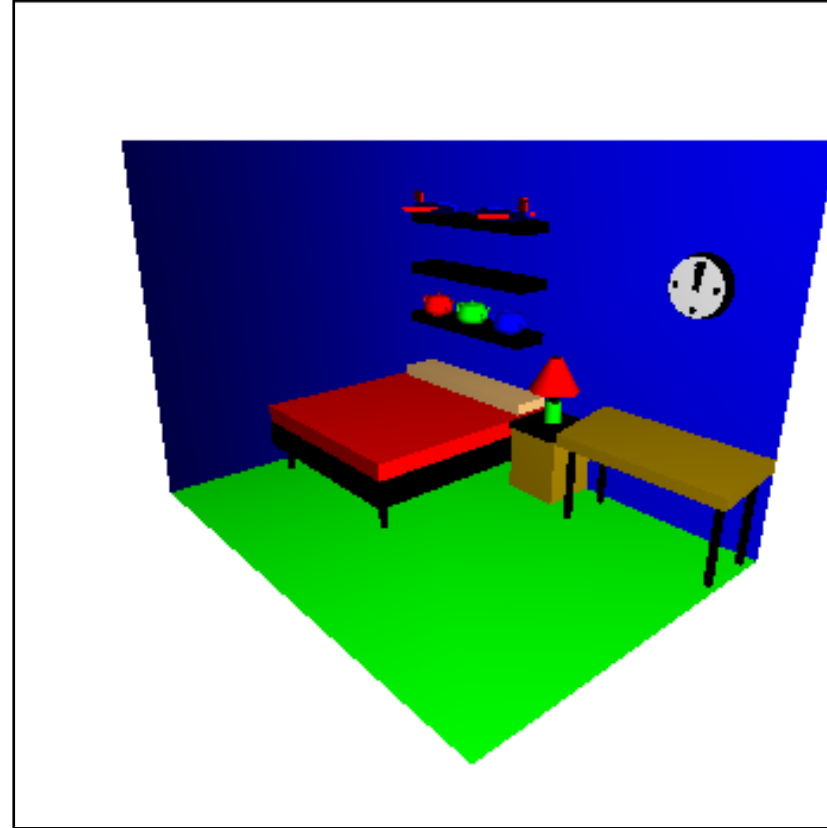
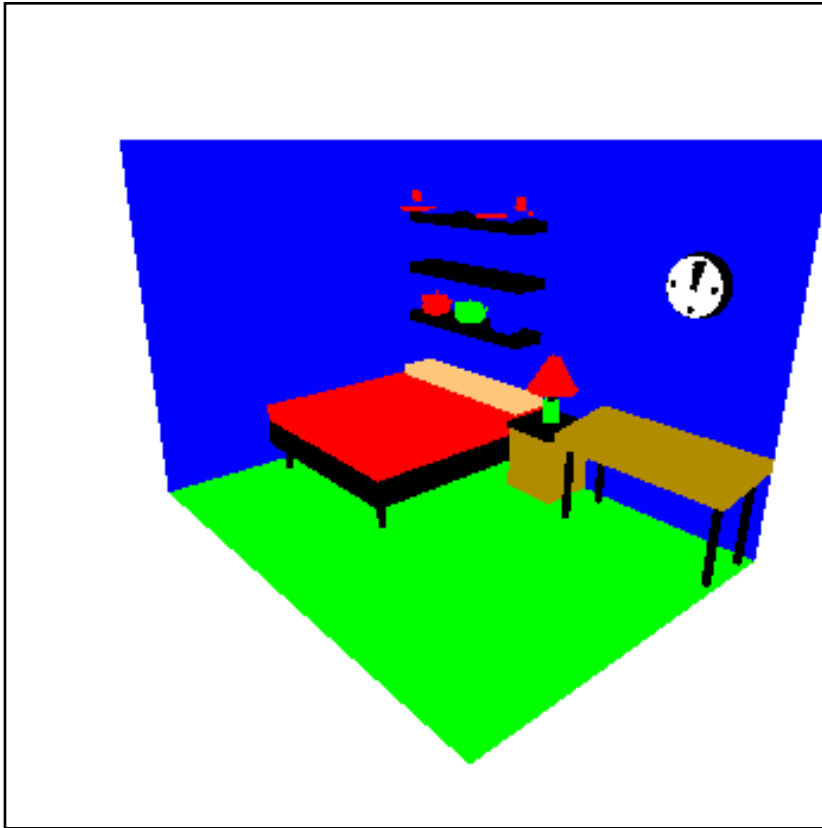
Photo source : <https://www.overclock.net/forum/234-art-graphics/251218-kerkythea-shaded-lightsource-test.html>

Γιατί ο φωτισμός είναι σημαντικός

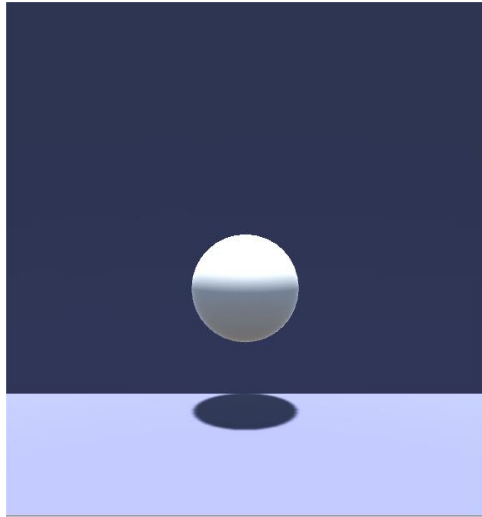
- Αν δεν έχουμε φωτισμό, τίποτα δεν φαίνεται τρισδιάστατο!



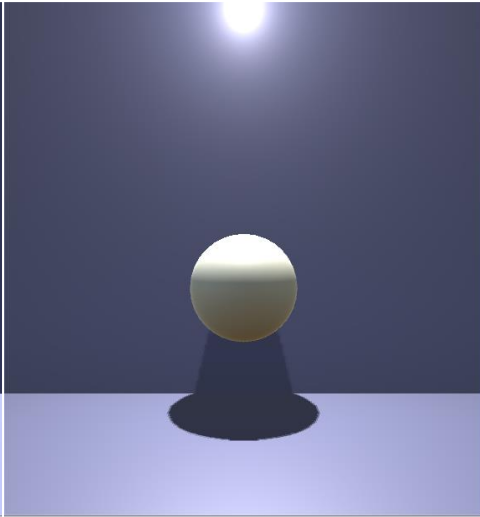
Γιατί ο φωτισμός είναι σημαντικός



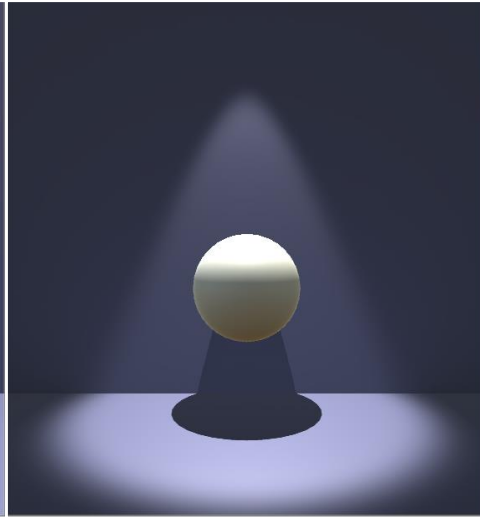
Πηγές φωτισμού (Light Sources)



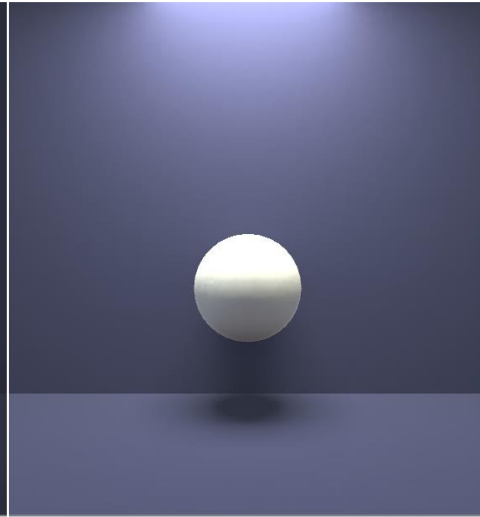
Directional



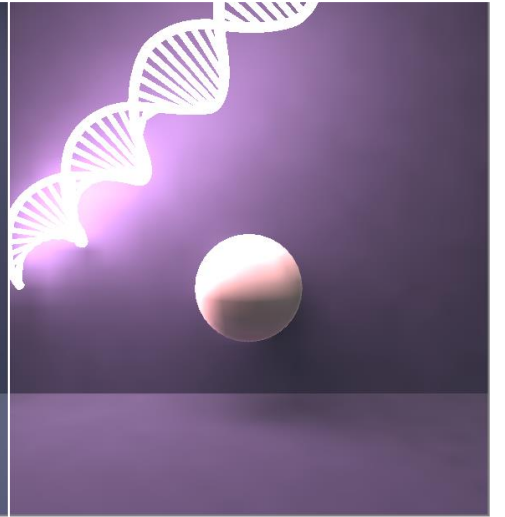
Point Light



Spotlight



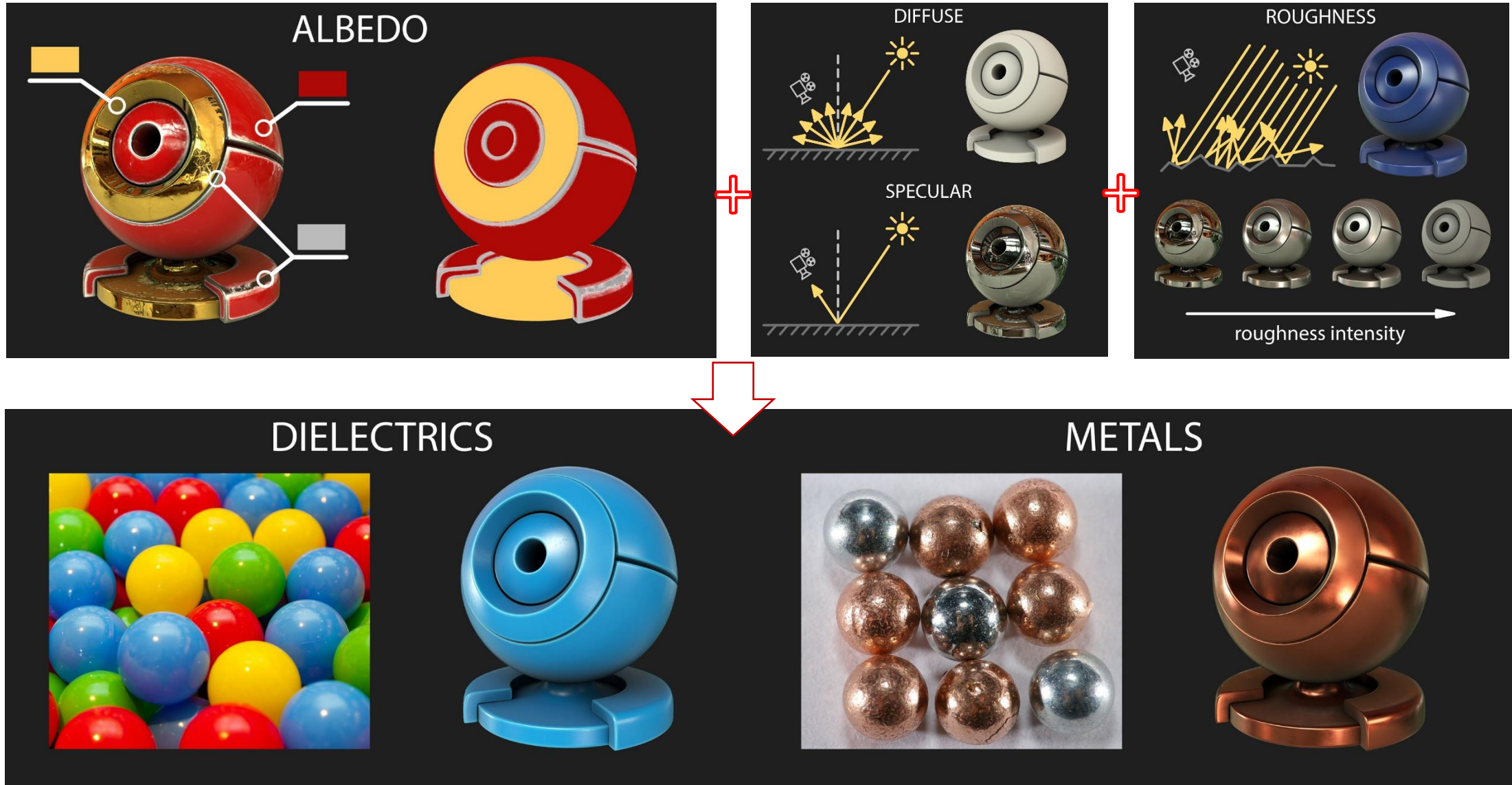
Area Light



Mesh Light

Υλικά (Materials)

BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function



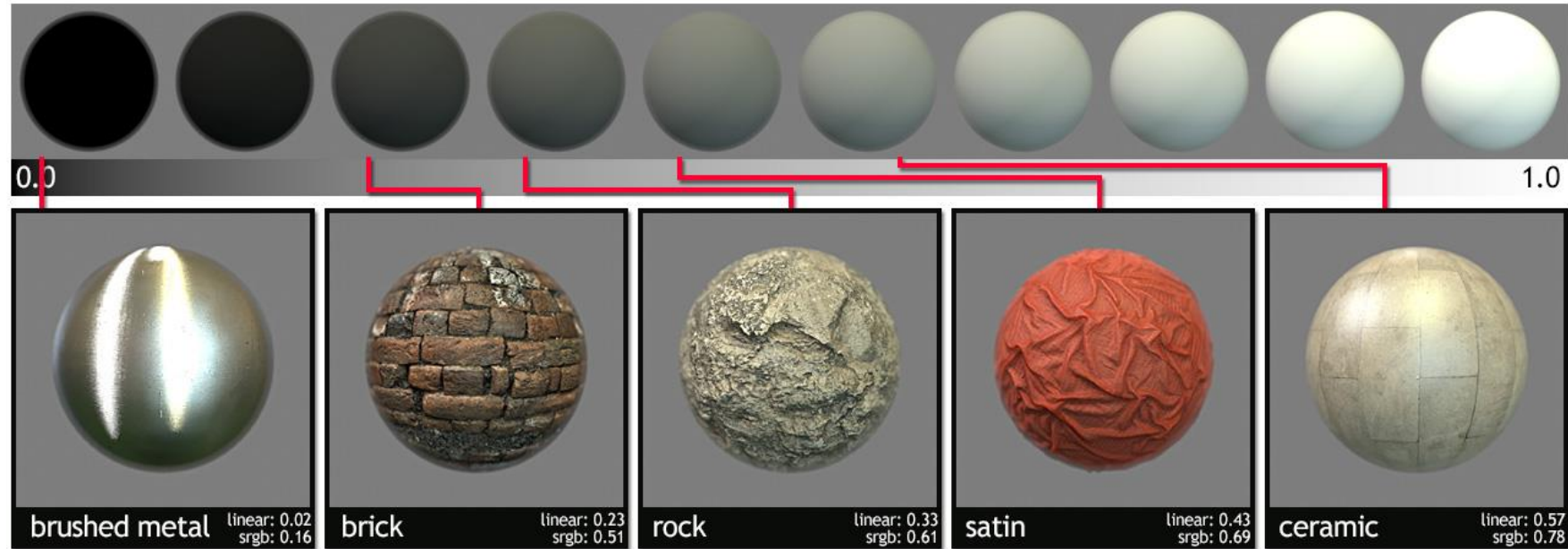
Υλικά (Materials)

Your imagination is the limit

albedo

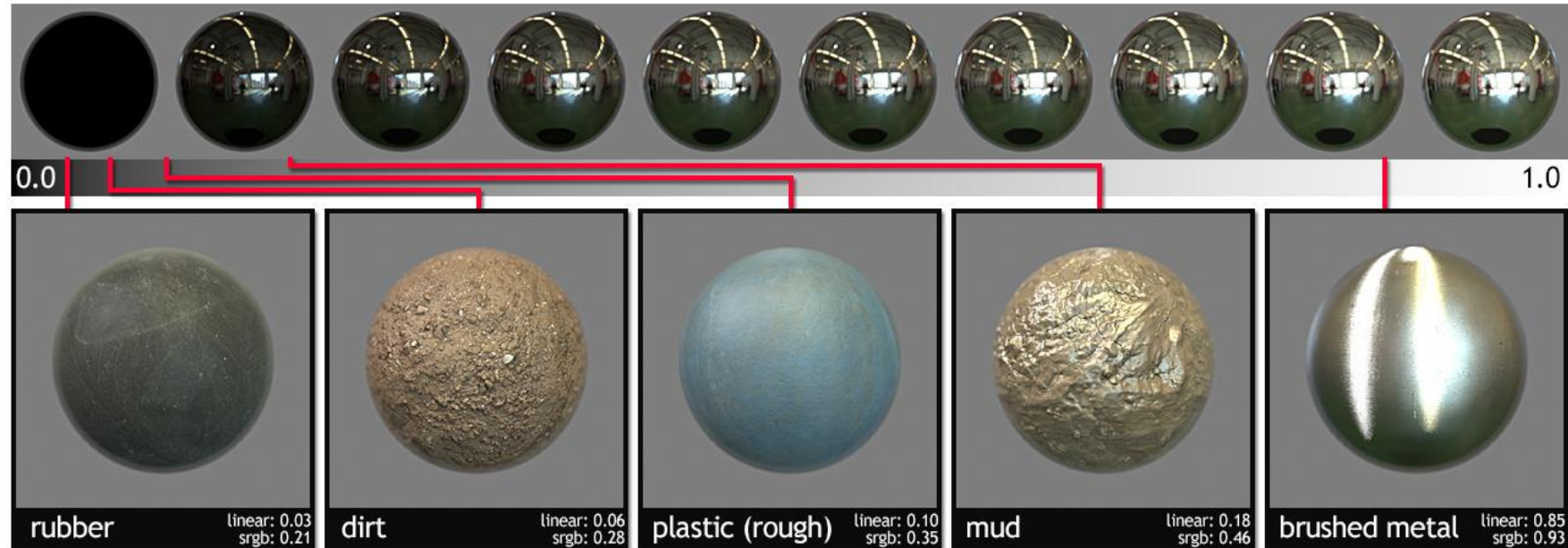
Albedo is a measure of how much light that hits a surface is reflected without being absorbed.

chart shown in linear space



reflectivity

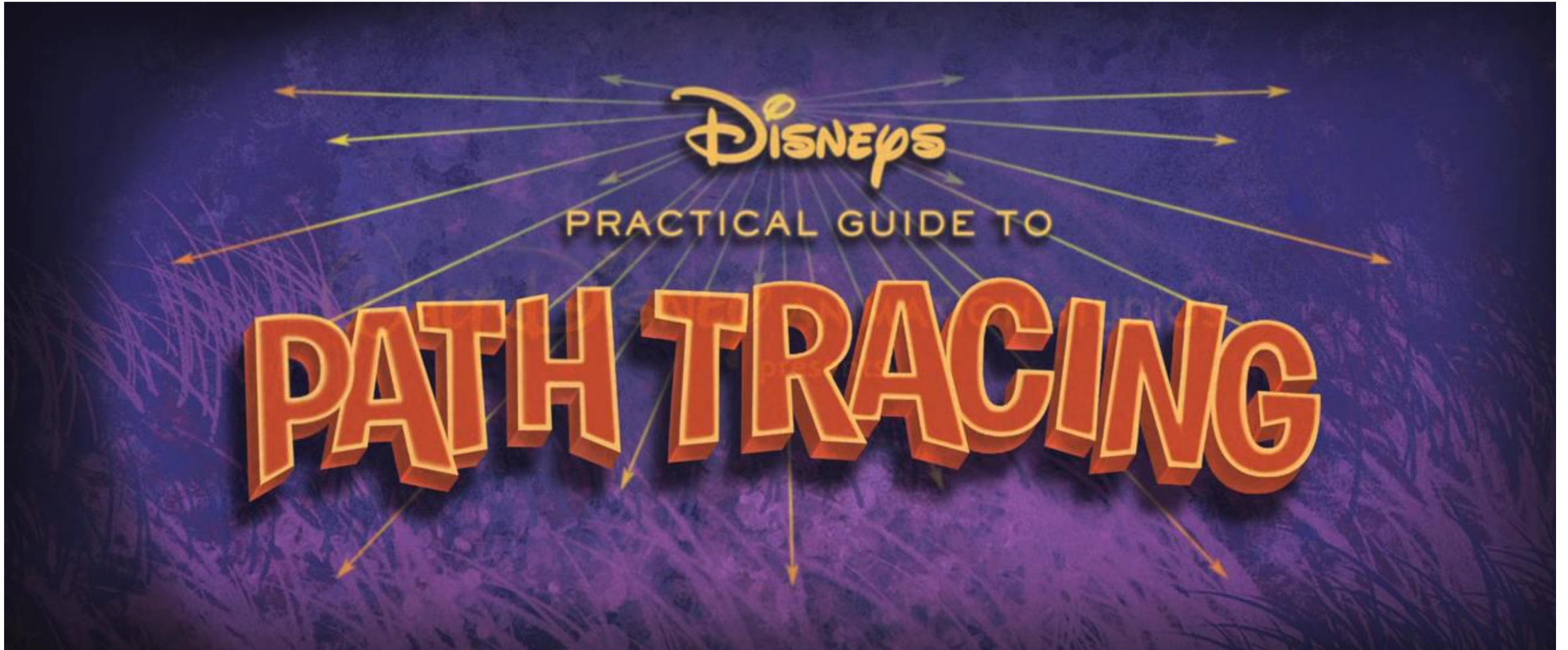
chart shown in linear space



Μοντέλα φωτισμού (Illumination models)

- Στον πραγματικό κόσμο το φως **ξεκινά από την φωτεινή** πηγή αναπηδά στις διάφορες επιφάνειες του περιβάλλοντος, απορροφάται ή διασκορπίζεται από τυχόν σωματίδια στην ατμόσφαιρα, αντανακλάται κτλ. μέχρις ότου να φτάσει στο μάτι μας
- Στα γραφικά υπολογιστών το **προσεγγίζουμε**
- Κάνουμε χρήση **απλοποιημένων μοντέλων** το οποία καλούμε μοντέλα φωτισμού

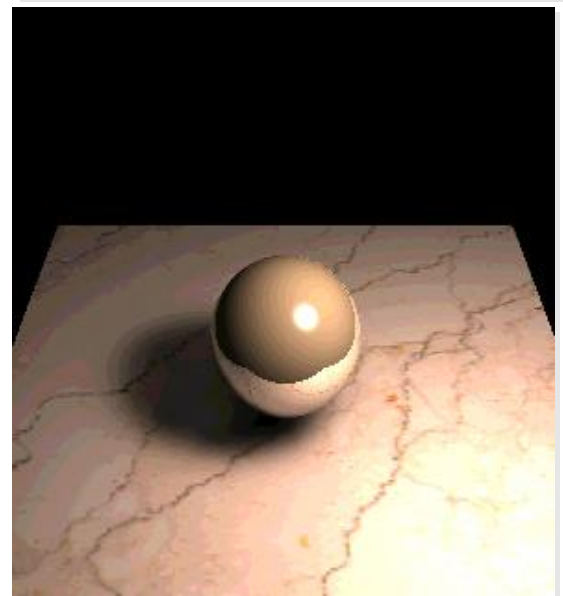
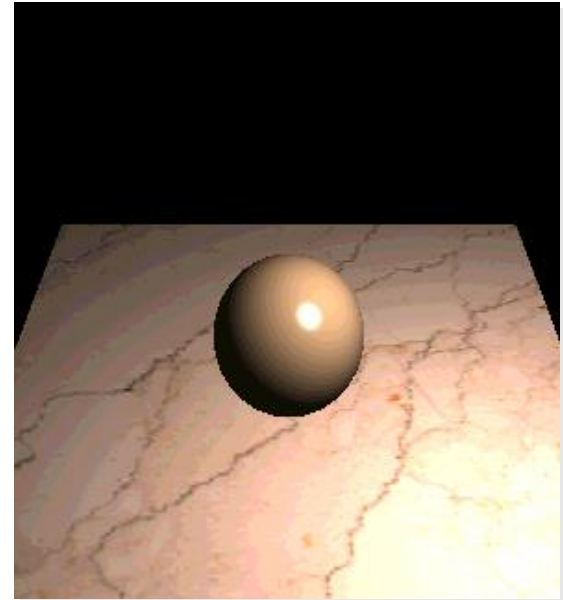
Πως δουλεύει το φως



https://youtu.be/frLwRLS_ZR0

Μοντέλα φωτισμού – 2 γενικές κατηγορίες

- Τοπικός φωτισμός (local illumination)
 - Το φως έρχεται στα αντικείμενα **κατευθείαν από τις φωτεινές πηγές** και ανακλάται στο μάτι
- Γενικός φωτισμός (global illumination)
 - λαμβάνεται υπόψη **και το φως που αναπηδά από άλλες επιφάνειες** πριν ανακλαστεί από το αντικείμενο στο μάτι μας

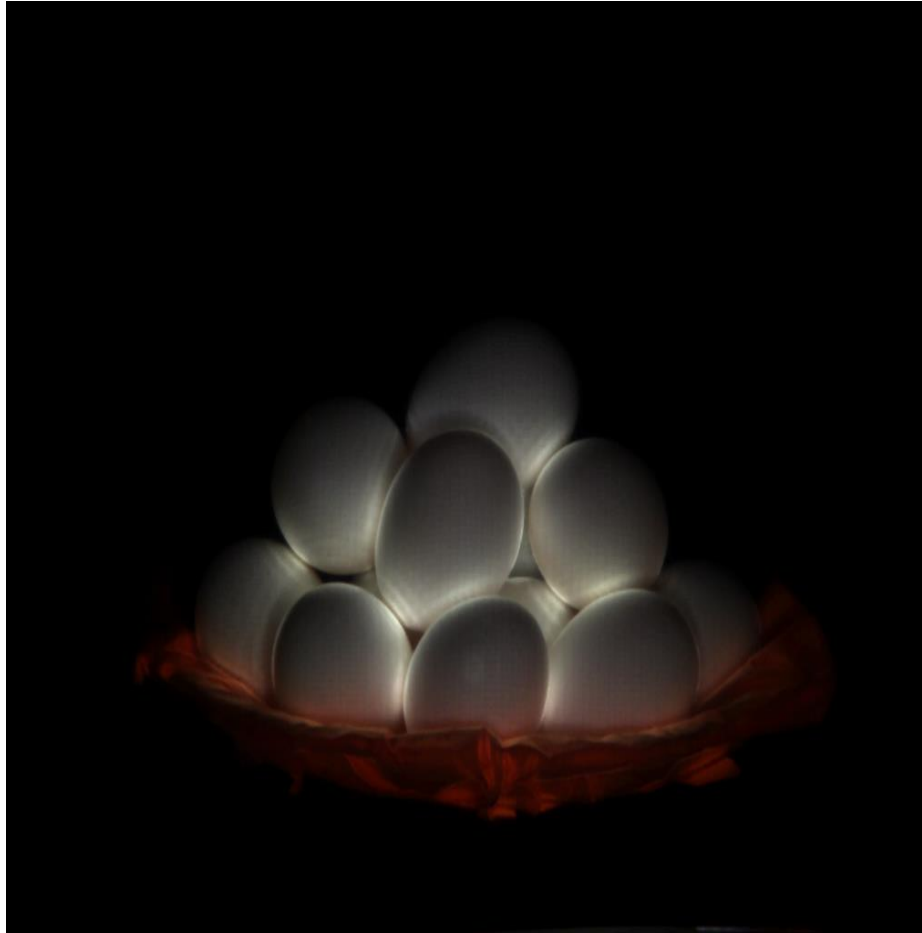


Γενικός Φωτισμός



Direct illumination

Γενικός Φωτισμός



Indirect illumination
(diffuse interreflection)

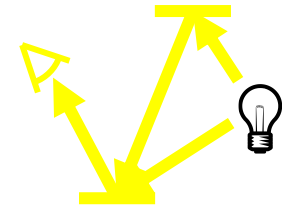
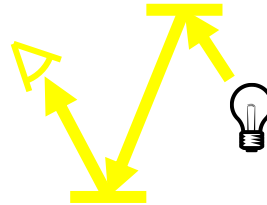
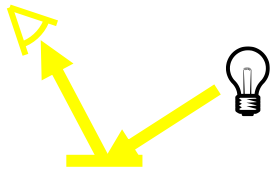
Γενικός Φωτισμός



Total illumination
(normal image)

Γενικός Φωτισμός

Οι αλγόριθμοι απεικόνισης χωρίζουν τον φωτισμό σε διάφορα μέρη



Direct Illumination

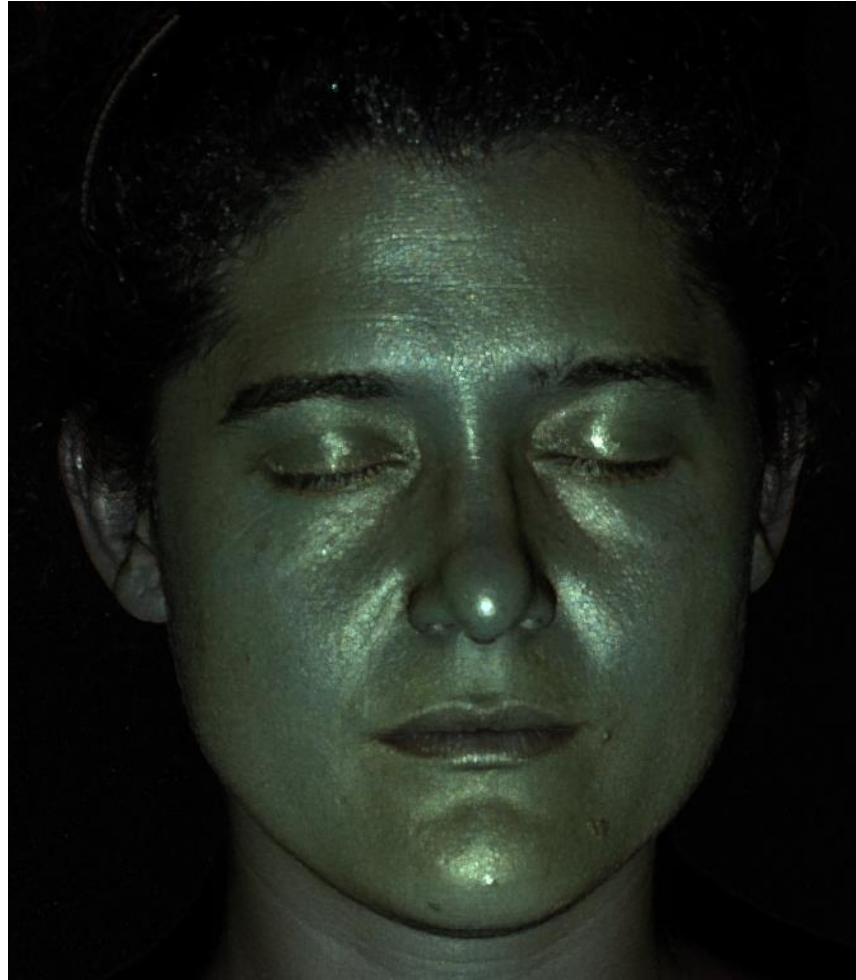


Indirect Illumination



Full Illumination

Human face



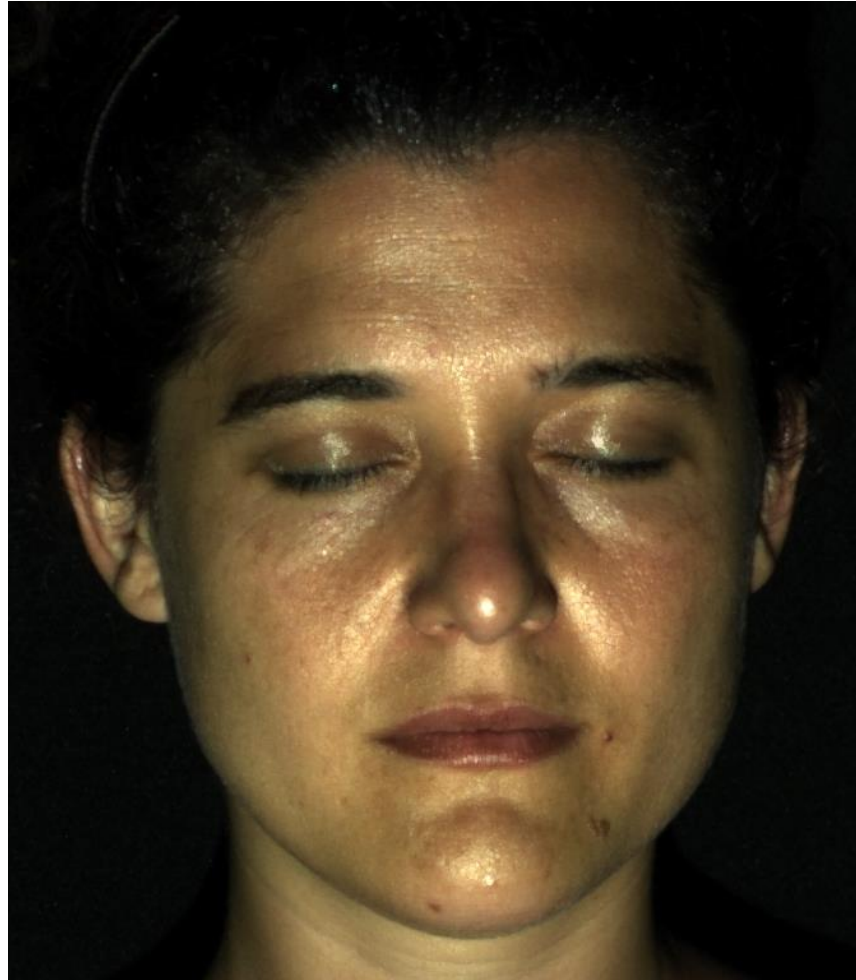
Direct illumination

Human face



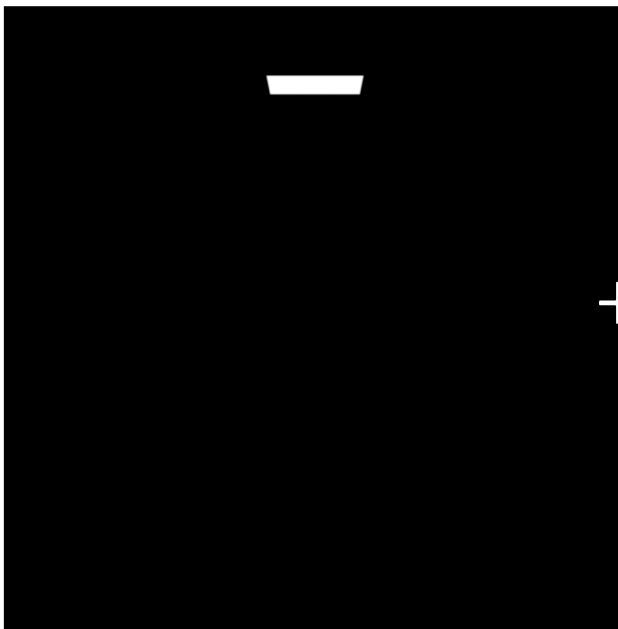
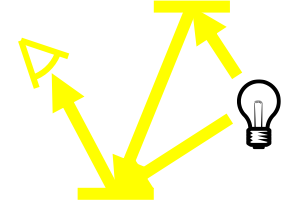
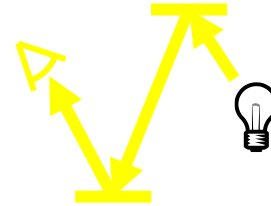
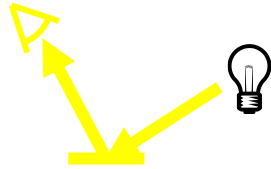
Indirect illumination

Human face

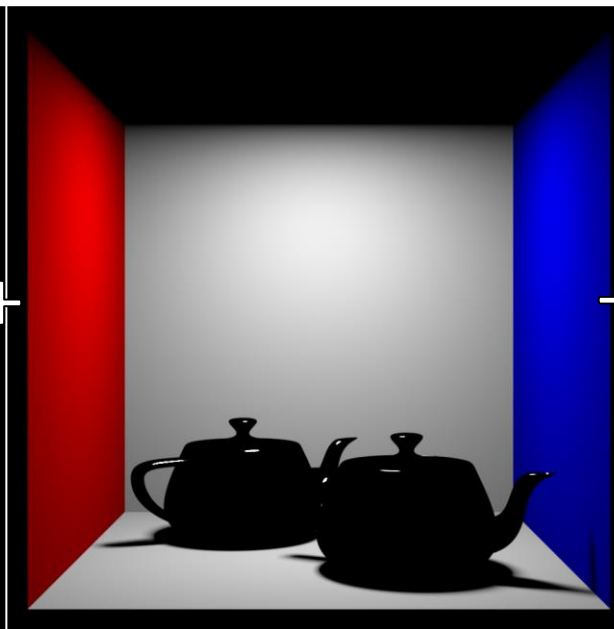


Total illumination
(normal image)

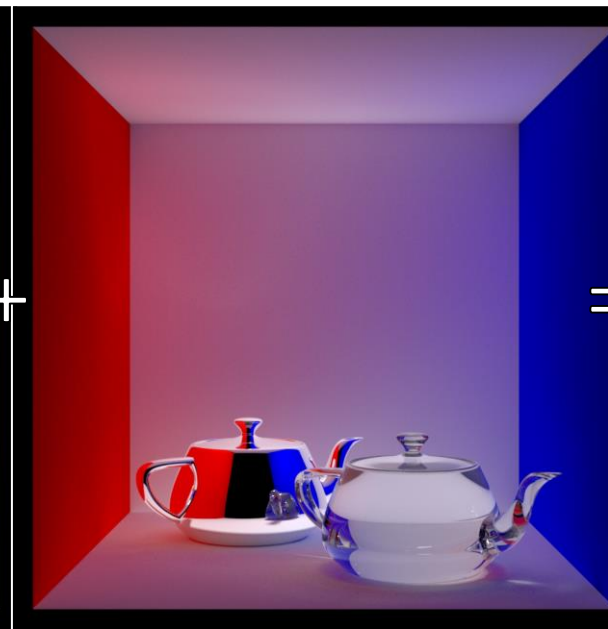
Γενικός Φωτισμός



Light Source



Direct Illumination



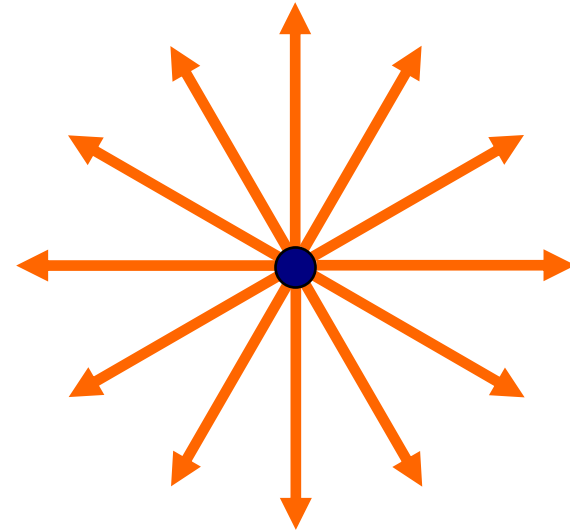
Indirect Illumination



Full Illumination

Σημειακές πηγές φωτός

- Μια πηγή σημείου είναι το απλούστερο μοντέλο που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για μια φωτεινή πηγή
- Απλά ορίζουμε:
 - Η θέση του φωτός
 - Τις τιμές RGB για το χρώμα του φωτός
- Το φως εκπέμπεται σε όλες τις κατευθύνσεις
- Χρήσιμο για μικρές πηγές φωτός



Εξασθένιση έντασης

- Καθώς το φως απομακρύνεται από μια φωτεινή πηγή, η έντασή του μειώνεται
- Σε κάθε απόσταση d_l από την πηγή του φωτός, η εξασθένιση μειώνεται κατά έναν παράγοντα $\frac{1}{d_l^2}$
- Ωστόσο, το $\frac{1}{d_l^2}$ δεν παράγει πολύ καλά αποτελέσματα, οπότε πρέπει να χρησιμοποιούμε κάτι διαφορετικό

Εξασθένιση έντασης

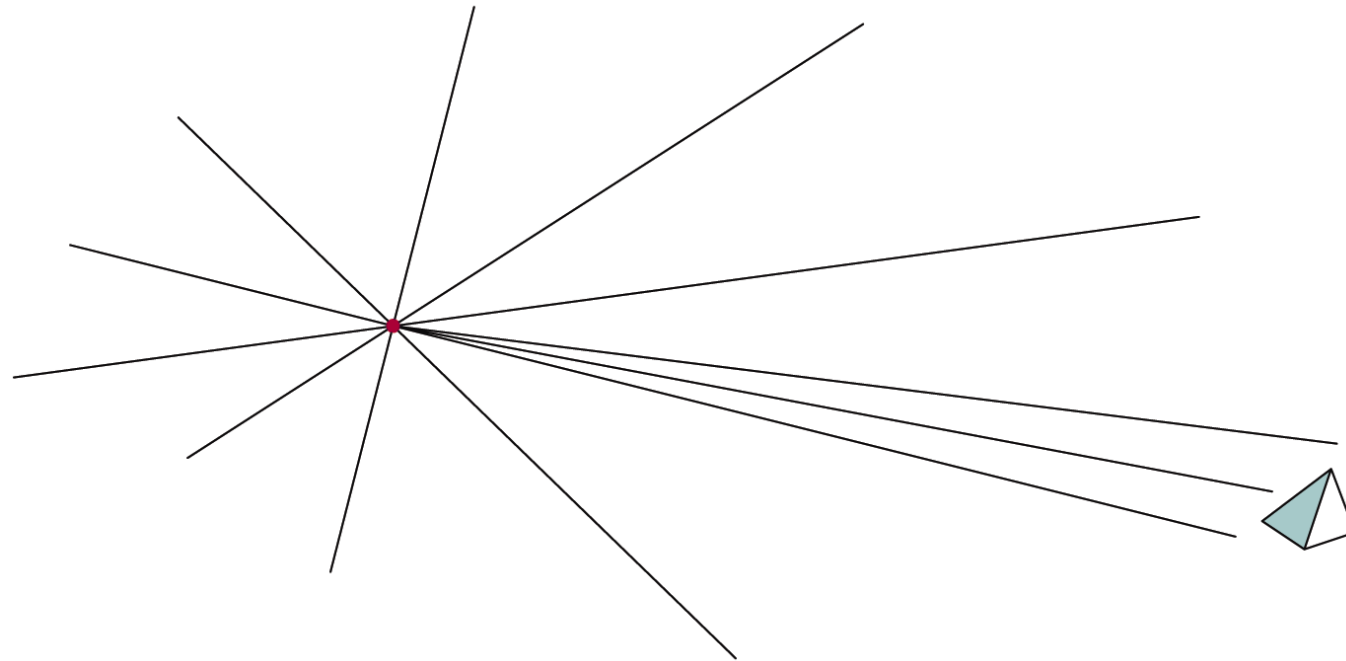
- Χρησιμοποιούμε αντ ' αυτού το αντίστροφο τετράγωνο:

$$f_{radatten}(d_l) = \frac{1}{a_0 + a_1 d_l + a_2 d_l^2}$$

- Όταν οι συντελεστές a_0 , a_1 , και a_2 μπορούν να προσαρμοστούν για να παραχθούν βέλτιστα αποτελέσματα

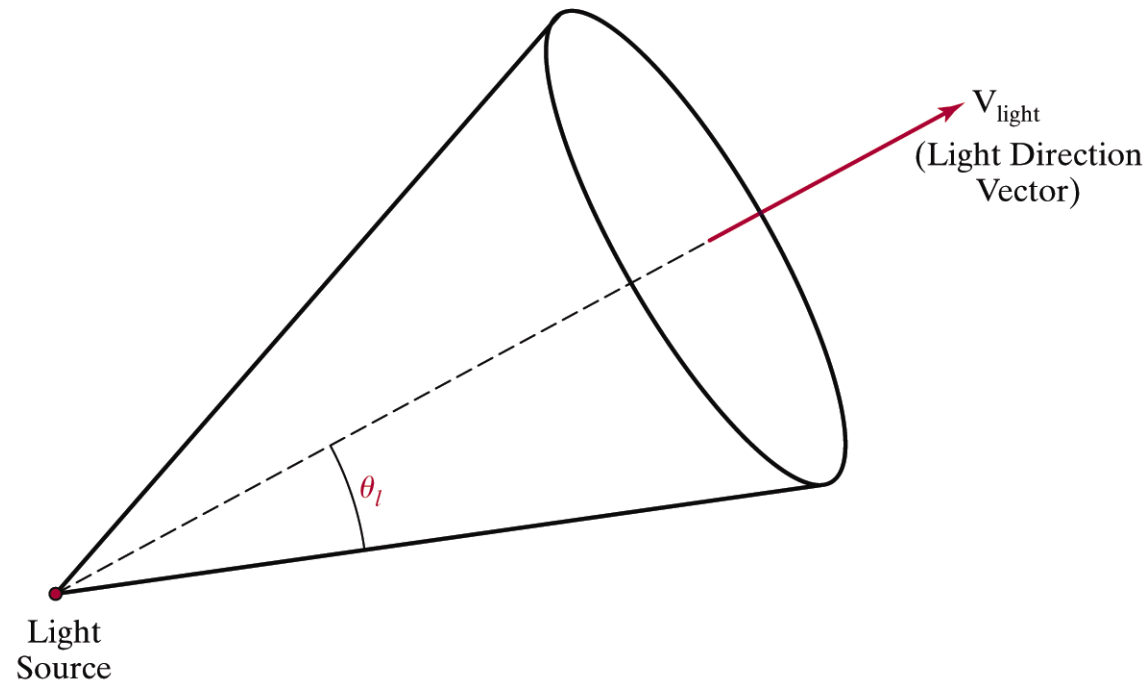
Απείρως μακρινές πηγές φωτός

- Μια μεγάλη πηγή φωτός, όπως ο ήλιος, μπορεί να διαμορφωθεί ως πηγή φωτός σημείου
- Εντούτοις, θα έχει πολύ μικρή επίδραση προοπτικής
- Για τον ήλιο, δεν χρησιμοποιούμε εξασθένιση έντασης!



Κατευθυνόμενες φωτεινές πηγές & Spotlights

- Για να μετατρέψετε μια φωτεινή πηγή σημείου σε κατευθυνόμενη πηγή, προσθέτουμε απλά μια διανυσματική κατεύθυνση και ένα γωνιακό όριο θ_l

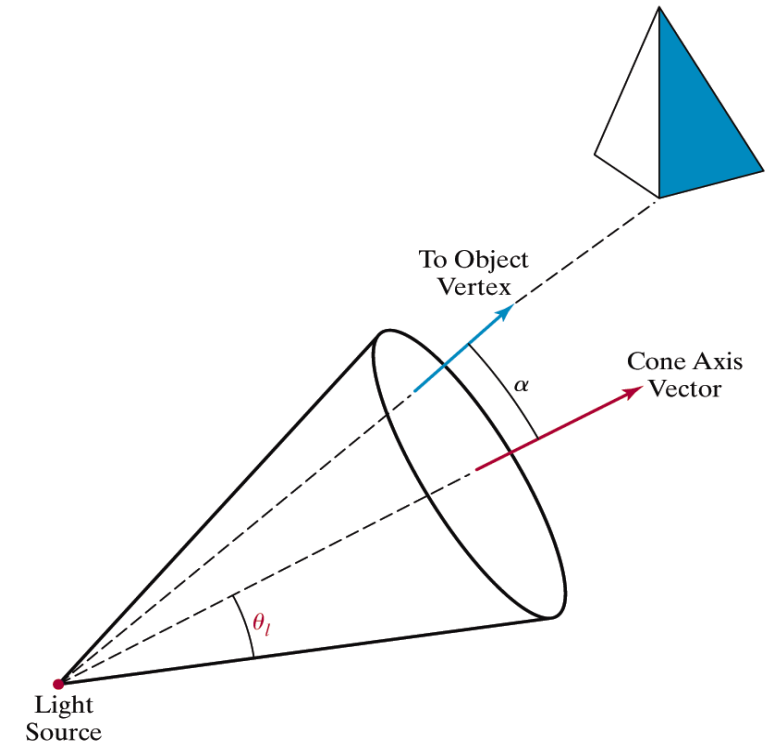


Κατευθυνόμενες φωτεινές πηγές & Spotlights

- Μπορούμε να θέσουμε το V_{light} σαν το μοναδιαίο διάνυσμα της κατεύθυνσης του φωτός και το V_{obj} σαν το μοναδιαίο διάνυσμα που αρχίζει από την φωτεινή πηγή προς το αντικείμενο
- Το εσωτερικό γινόμενο αυτών των δύο διασυσμάτων μας δίνει τη γωνία μεταξύ τους

$$V_{obj} \cdot V_{light} = \cos \alpha$$

- Εάν αυτή η γωνία είναι εντός της γωνίας κλίσης του κατευθυνόμενου φωτός, τότε το αντικείμενο θα φωτιστεί (από το spotlight)



Μείωση γωνιακής έντασης

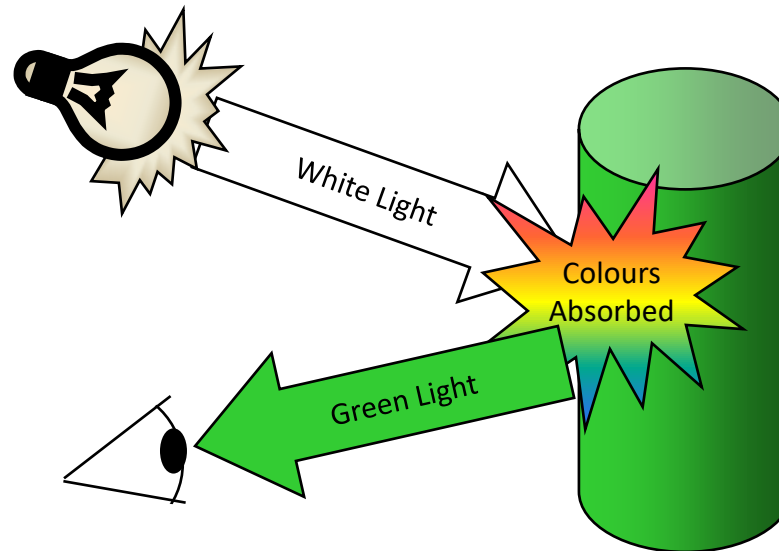
- Όπως η ένταση του φωτός μειώνεται καθώς κινούμαστε μακριά από μια φωτεινή πηγή, έτσι αντίστοιχα μειώνεται όταν αυξάνεται η γωνιά από το κέντρο της κατεύθυνσης του φωτός
- Μια συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γωνιακής εξασθένησης (angular attenuation) είναι η:

$$f_{angatten}(\phi) = \cos^{a_l} \phi \quad 0^\circ \leq \phi \leq \theta$$

- όπου ο εκθέτης εξασθένησης A_l παίρνει θετικές τιμές και η γωνία ϕ είναι η γωνία από τον άξονα του κώνου

Αντανεκλώμενο φως

- Τα χρώματα που αντιλαμβανόμαστε καθορίζονται από τη φύση του φωτός που αντανεκλάται από ένα αντικείμενο
- Παραδείγματος χάριν, εάν ένα λευκό φως εκπέμπει πάνω σε ένα πράσινο αντικείμενο, τα μήκη κύματος των υπόλοιπων χρωμάτων απορροφώνται, ενώ το πράσινο φως αντανεκλάται από το αντικείμενο

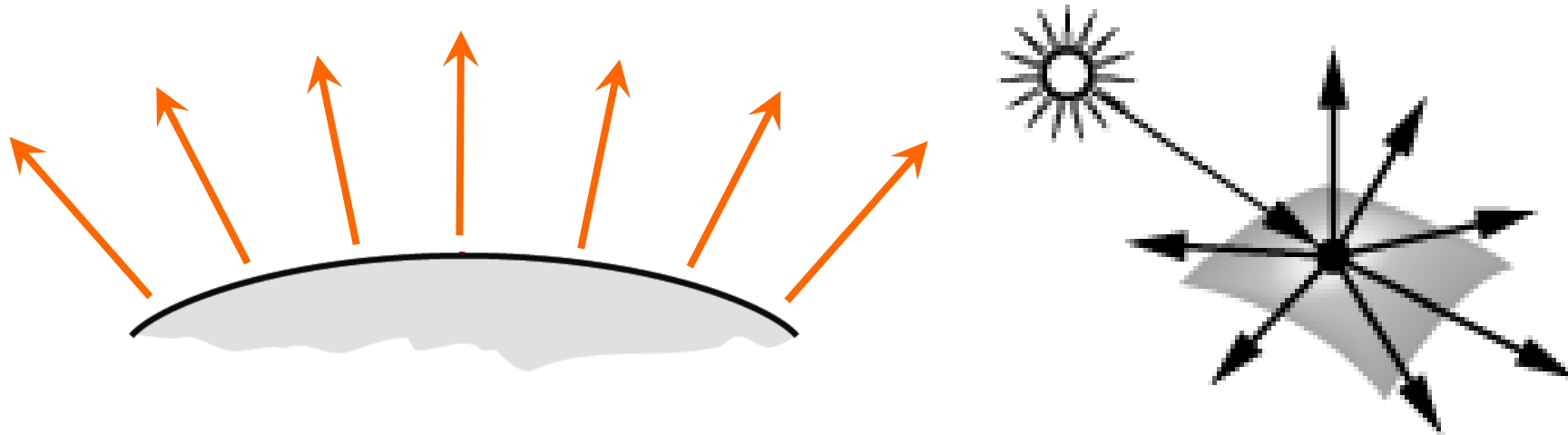


Επιφάνεια φωτισμού

- Όπως είδαμε και πιο πάνω, η ποσότητα του φωτός που ανακλάται εξαρτάται από το υλικό με το οποίο είναι φτιαγμένο το αντικείμενο
- Τα λαμπερά (shiny) αντικείμενα ανακλούν περισσότερο φως από ότι τα θαμπά (matt) αντικείμενα, που τείνουν να απορροφούν περισσότερο φως
- Για διαφανείς επιφάνειες το φως μεταδίδεται (ή και ανακλάται) μέσω του υλικού

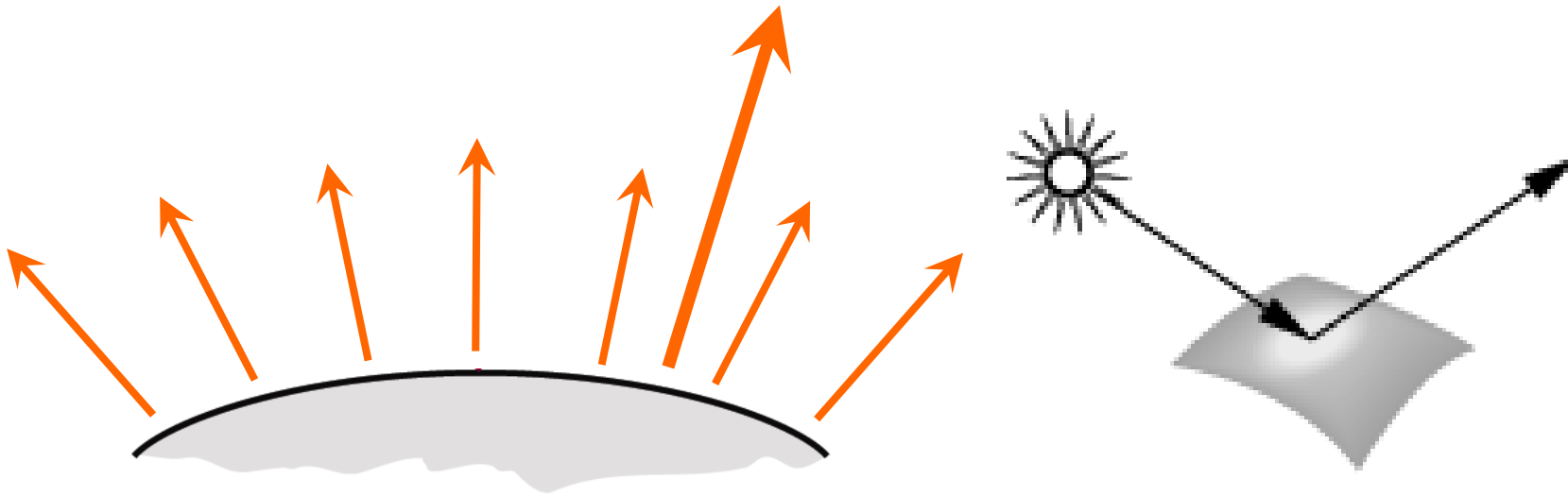
Διάχυτη Ανάκλαση (Diffuse Reflection)

- Επιφάνειες οι οποίες είναι λείες τείνουν να ανακλούν το φως προς όλες τις κατευθύνσεις
- Αυτό το διάσπαρτο φως ονομάζεται **diffuse reflection** (διάχυτη ανάκλαση)



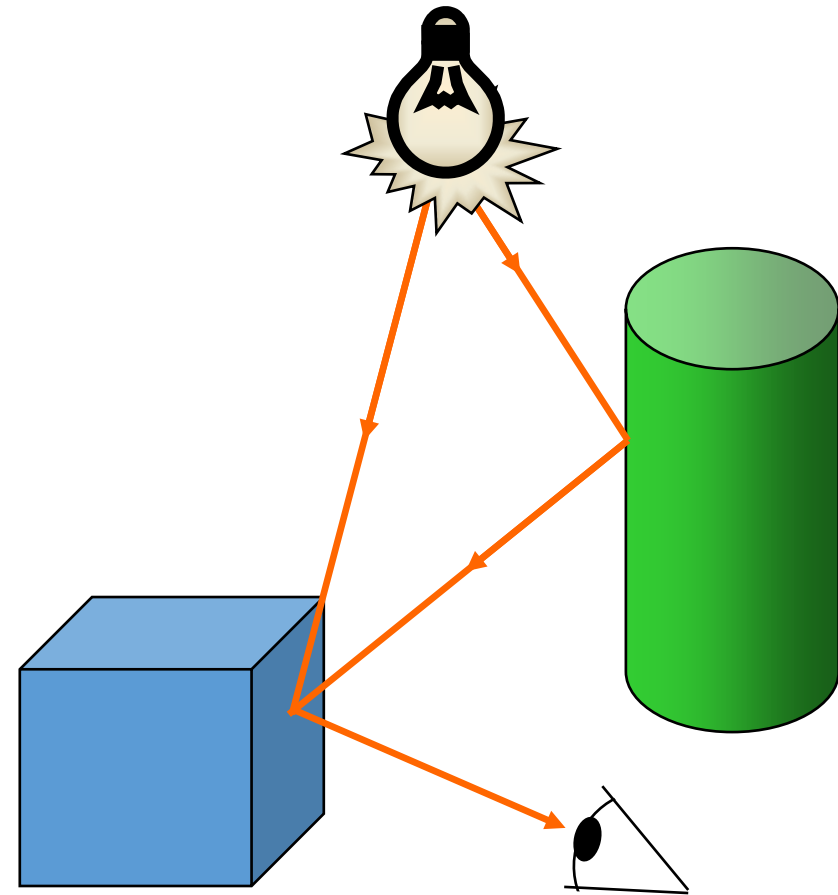
Κατευθυνόμενη Ανάκλαση (Specular Reflection)

- Επιπλέον της διάχυτης ανάκλασης, κάποιο από το ανακλώμενο φως παραμένει συγκεντρωμένο σε ένα φωτεινό σημείο
- Αυτό ονομάζεται **specular reflection** (κατευθυνόμενη ανάκλαση)

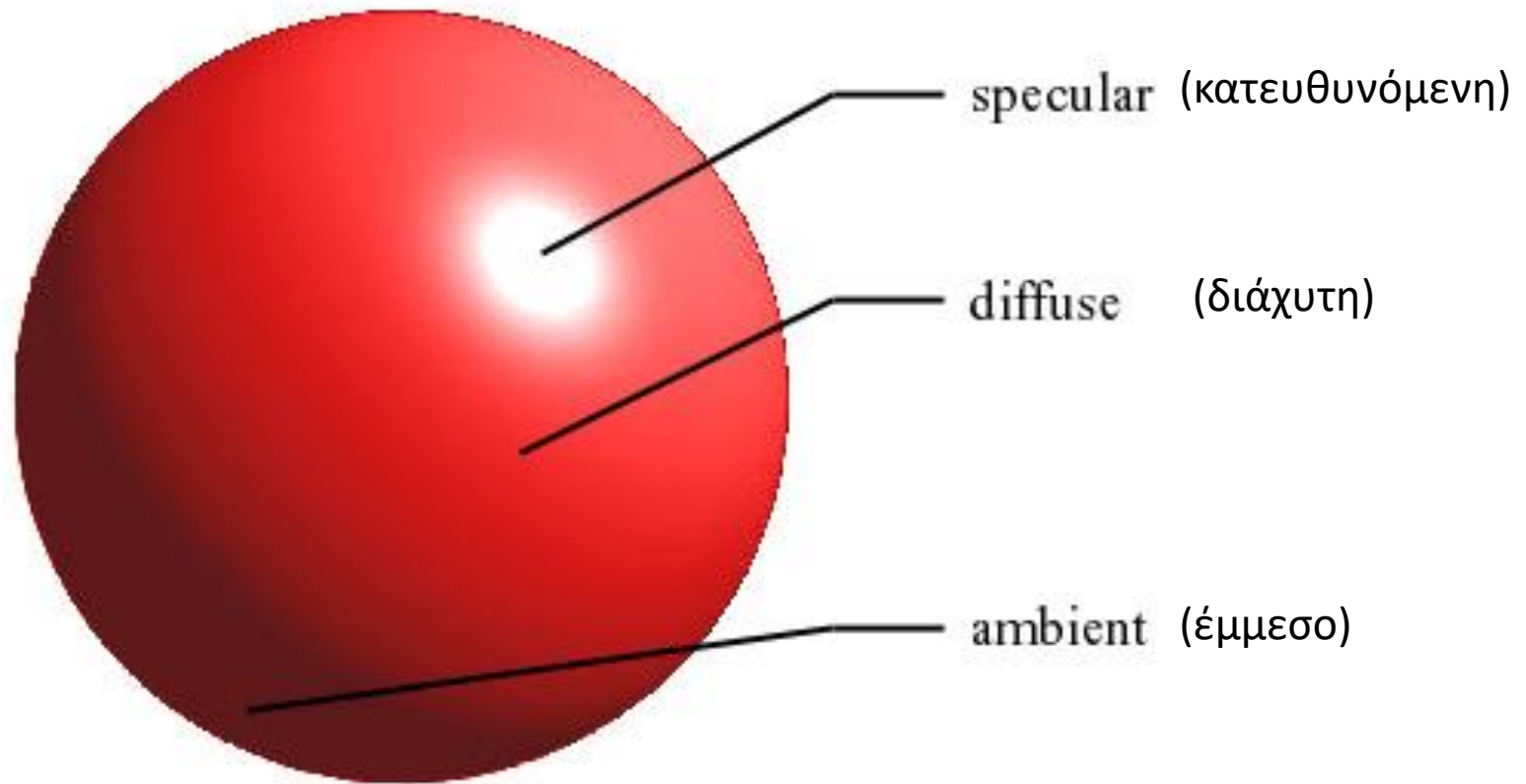


Έμμεσος Φωτισμός (Ambient Light)

- Μια επιφάνεια που δεν εκτίθεται απευθείας στο φως εξακολουθεί να φωτίζεται από ανακλάσεις σε διπλανά αντικείμενα – **ambient light** (έμμεσο φως)
- Ο συνολικός φωτισμός μια επιφάνειας είναι το σύνολο των φωτεινών και ανακλασμένων πηγών

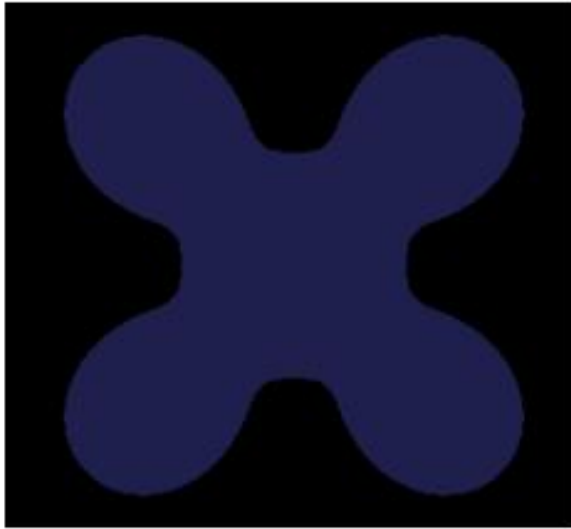


Παράδειγμα

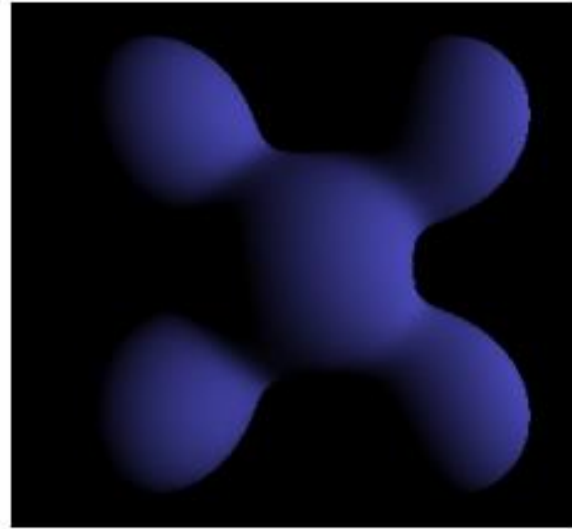


Παράδειγμα

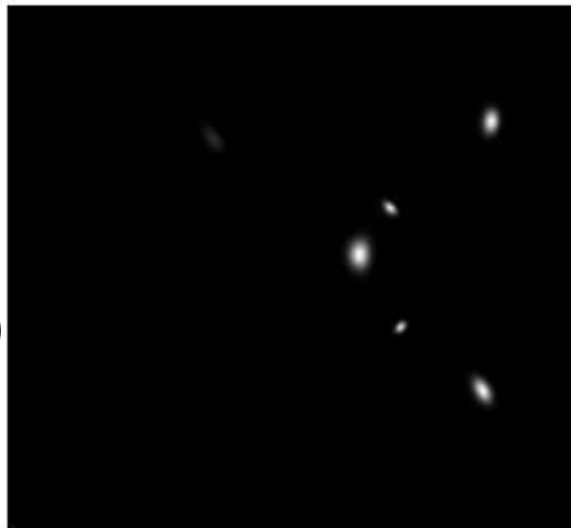
Ambient
(έμμεσο)



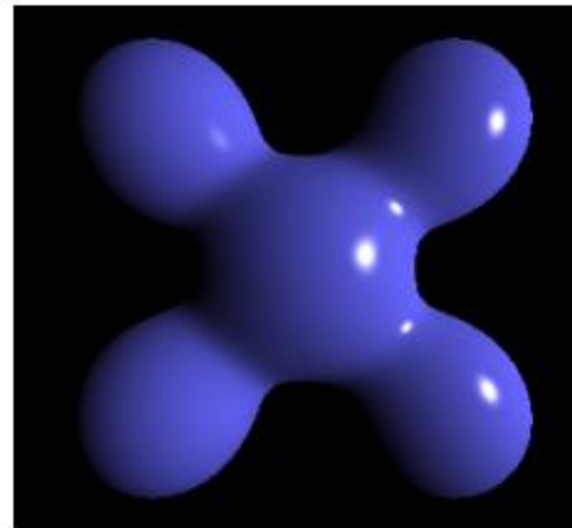
Diffuse
(διάχυτη)



Specular
(κατευθυνόμενη)



Final Image
(τελική εικόνα)

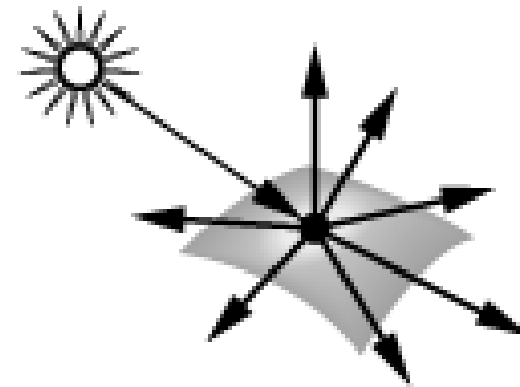


Βασικά μοντέλα φωτισμού

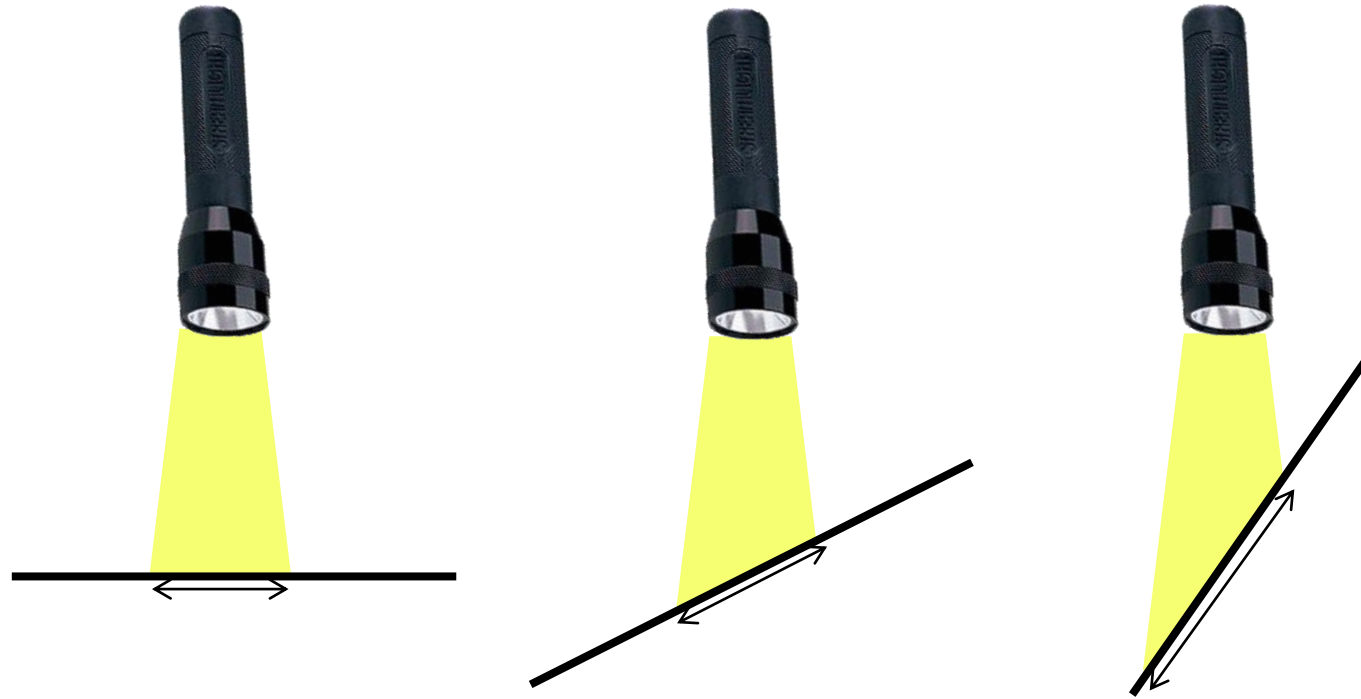
- Θα εξετάσουμε ένα βασικό μοντέλο φωτισμού που δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται στα περισσότερα συστήματα γραφικών
- Τα σημαντικά στοιχεία είναι:
 - Diffuse reflection
 - Specular reflection
 - Ambient light
- Ως επί το πλείστον θα εξετάσουμε μόνο μονοχρωματικές πηγές φωτός

Διάχυτη ανάκλαση (Diffuse Reflection)

- Σε διάχυτες επιφάνειες το φως ανακλάται **εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις**
- Το φως ανακλάται σύμφωνα με τον **νόμο του Lambert**
- Το ποσοστό του φωτός που ανακλάται διάχυτα εξαρτάται από τον
 1. Συντελεστή διάχυτης ανάκλασης k_d
 2. Την κατεύθυνση και ένταση του εισερχόμενου φωτός



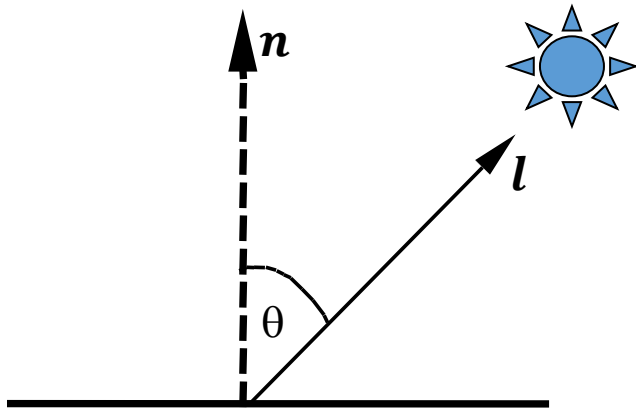
Διάχυτη ανάκλαση



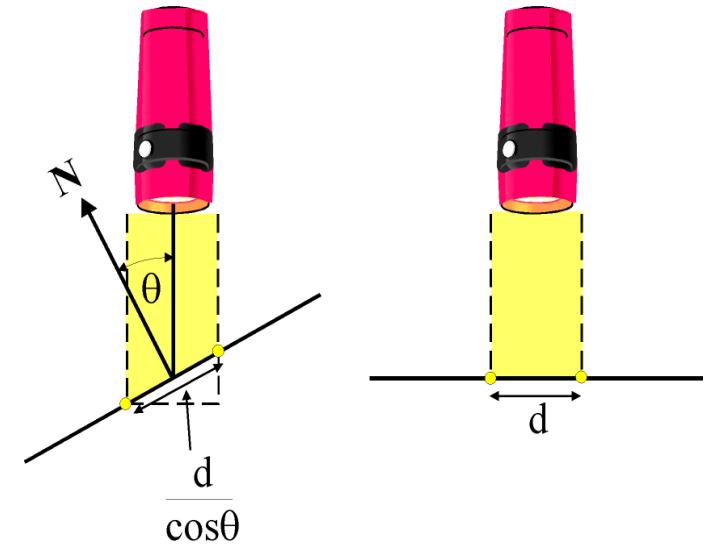
However, the intensity of light reflected **IS** dependent on light direction

Κανόνας του Lambert (Lambert's cosine law)

- Ανάκλαση είναι ανάλογη του $\cos \theta$



- l είναι η κατεύθυνση της φωτεινής πηγής
- n είναι η κάθετος
- I είναι η ένταση της φωτεινής πηγής



$$I_r = I k_d \cos \theta$$

Εξίσωση φωτισμού #1

- Το k_d εξαρτάται από το μήκος κύματος

$$I_r = I k_d(n, l)$$

- Το οποίο είναι βέβαια 3 εξισώσεις, μια για το κάθε ένα από τα RGB*

$$\begin{aligned} I_{r,red} &= I_{red} k_{d,red}(n, l) \\ I_{r,green} &= I_{green} k_{d,green}(n, l) \\ I_{r,blue} &= I_{blue} k_{d,blue}(n, l) \end{aligned}$$

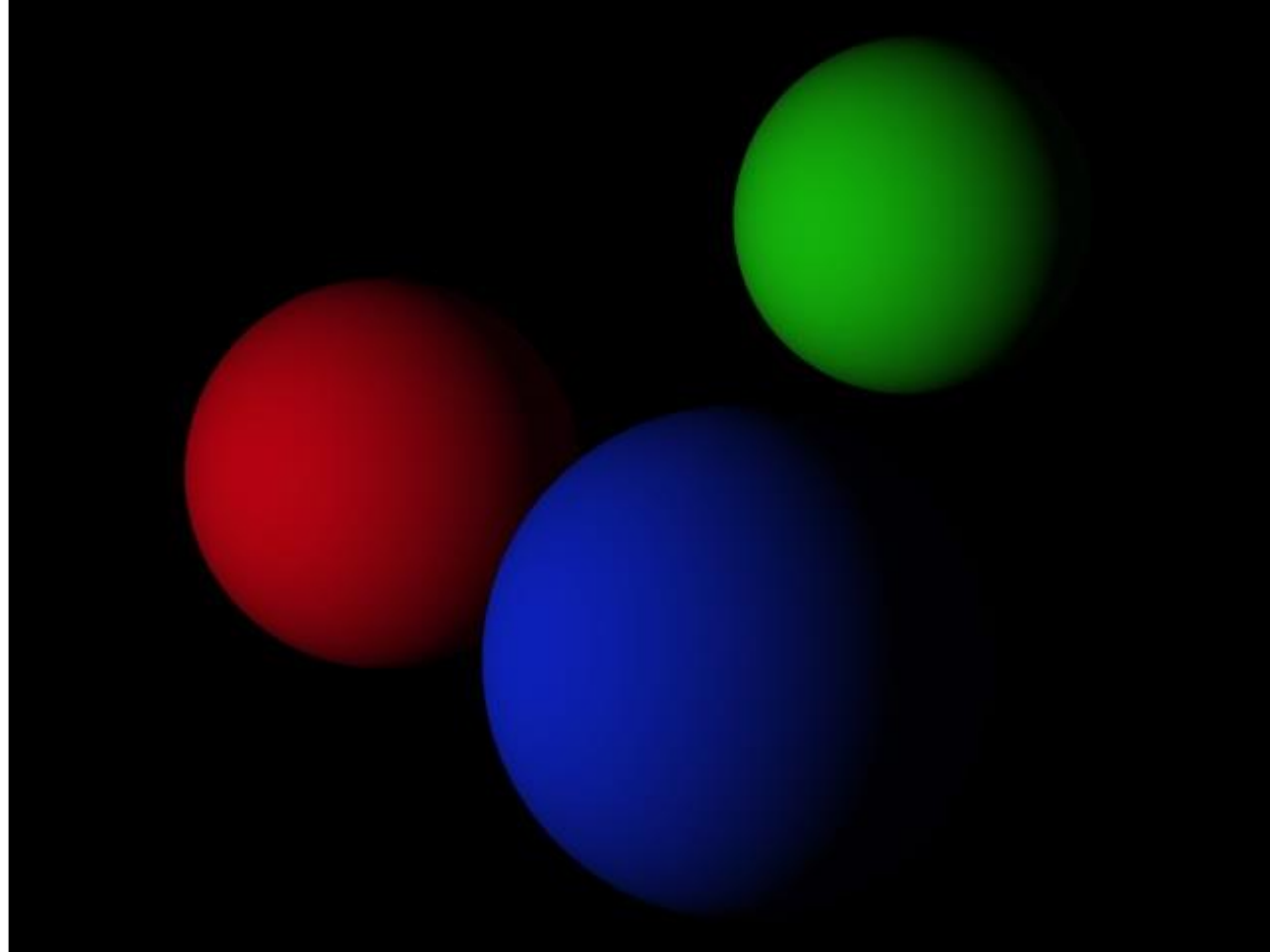
Πολλαπλές φωτεινές πηγές

- Έχουμε διάχυτο φωτισμό από κάθε πηγή:

$$I_r = \sum_{j=1}^p I_j k_d(n \cdot l_j)$$

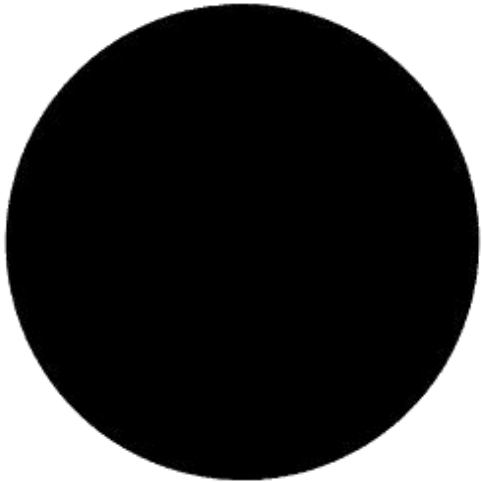
- Το I_j είναι το εισερχόμενο φως από την πηγή j (η ένταση της πηγής j)
- Το l_j είναι το διάνυσμα προς την πηγή j
- p είναι ο αριθμός των φωτεινών πηγών

Η εικόνα – μόνο διάχυτος



Διάχυτη ανάκλαση

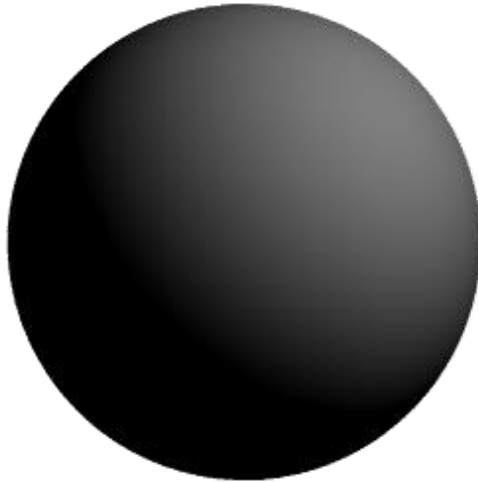
$k_d = 0.0$



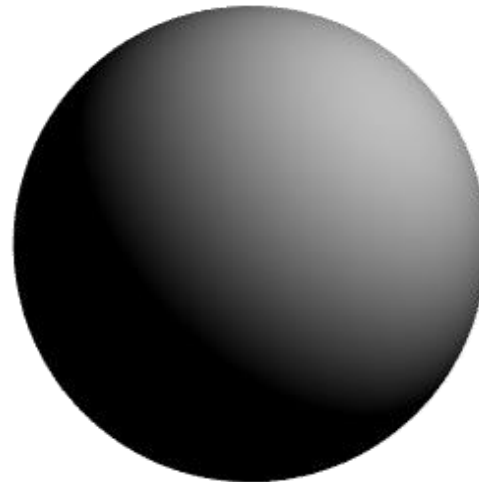
$k_d = 0.25$



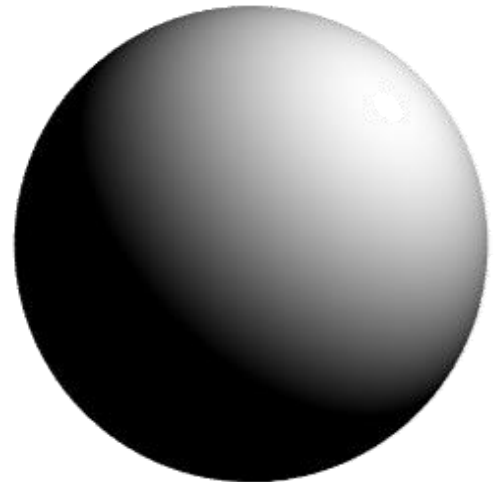
$k_d = 0.5$



$k_d = 0.75$



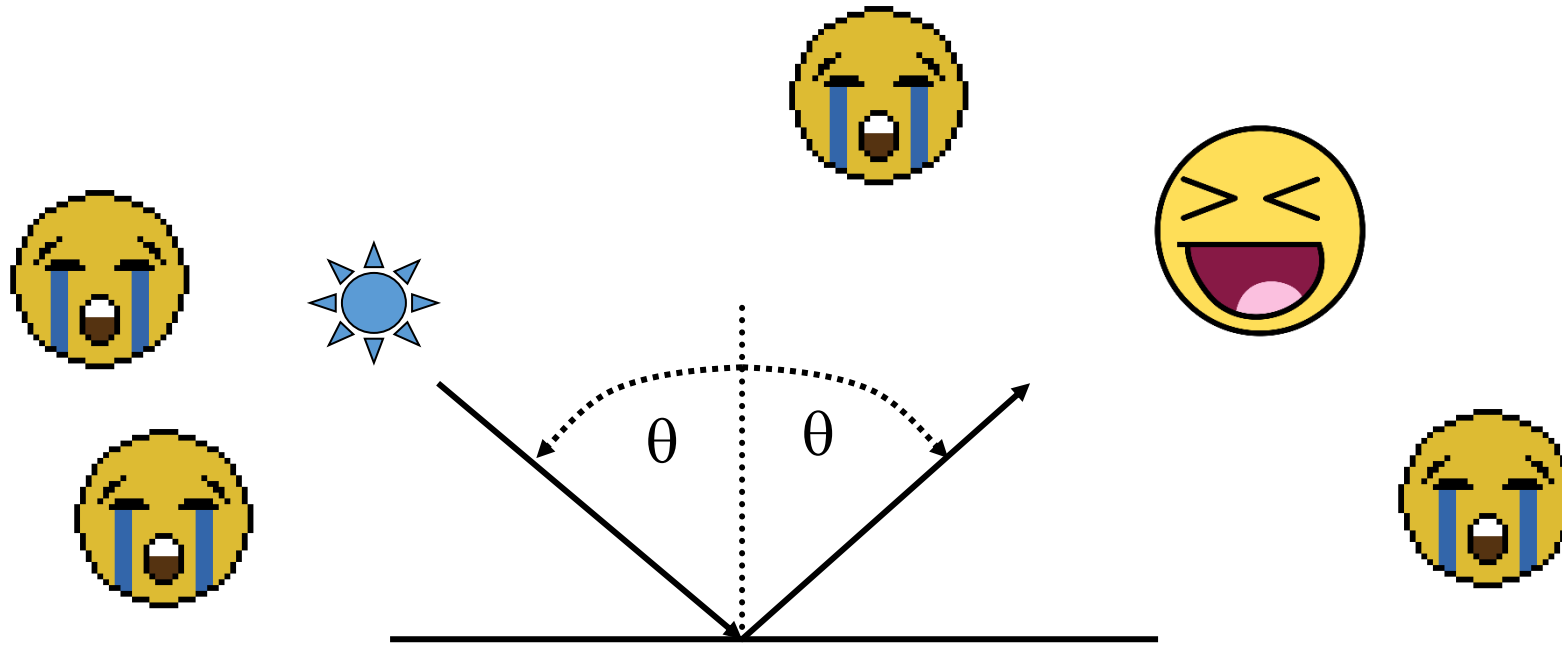
$k_d = 1.0$



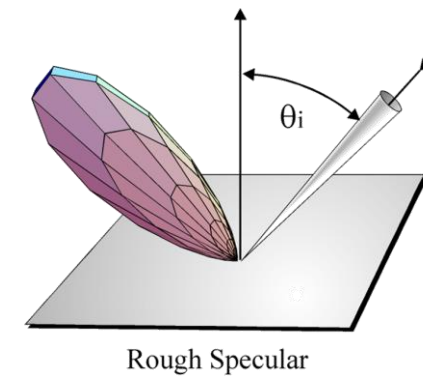
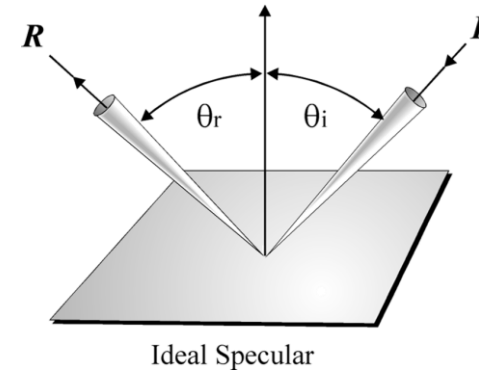
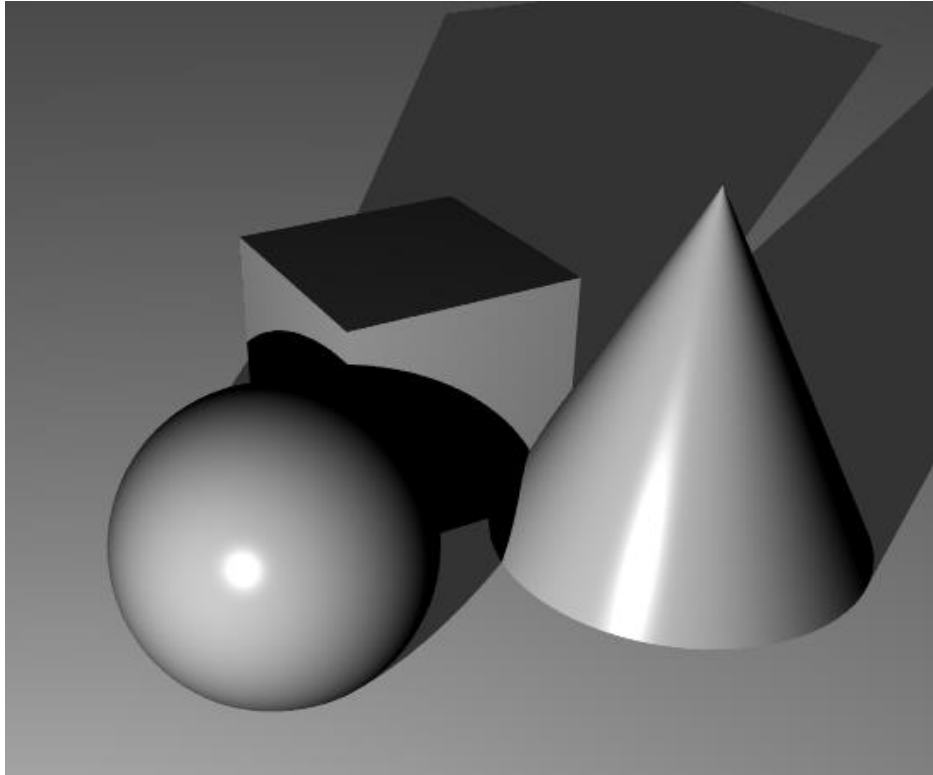
- The spheres above are lit by diffuse (k_d) values of 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 respectively

Ιδανική κατευθυνόμενη ανάκλαση (Perfect Specularity)

- Σχεδόν ποτέ δεν θα βλέπαμε το highlight

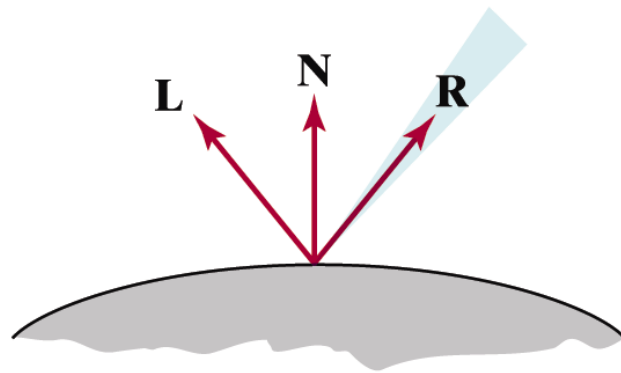


Specular Highlights

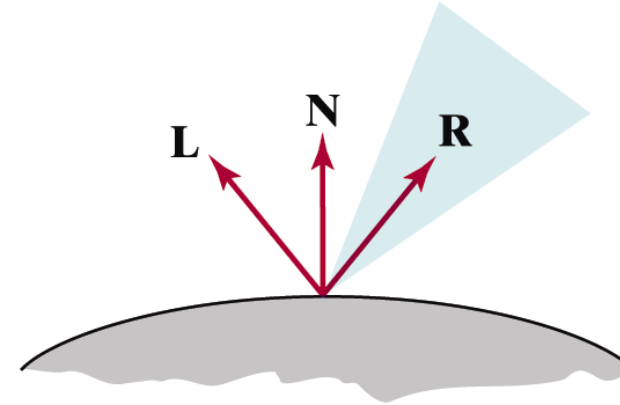


Specular Reflection

- Ένας τέλειος καθρέφτης αντανακλά το φως μόνο στην κατεύθυνση κατοπτρικής-αντανάκλασης
- Άλλα αντικείμενα εμφανίζουν κατοπτρικές αντανακλάσεις σε ένα πεπερασμένο εύρος θέσεων θέασης γύρω από το διάνυσμα R



Shiny Surface
(Large m_s)

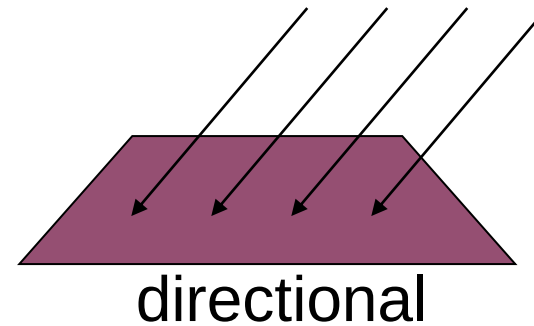
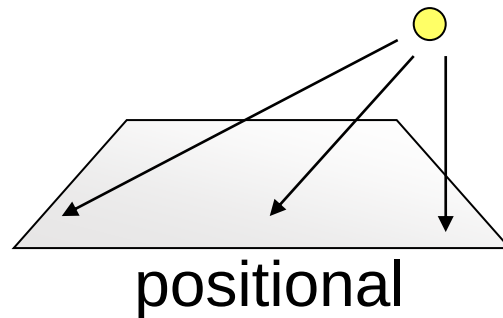


Dull Surface
(Small m_s)

Μοντέλο Phong (Phong Shading)

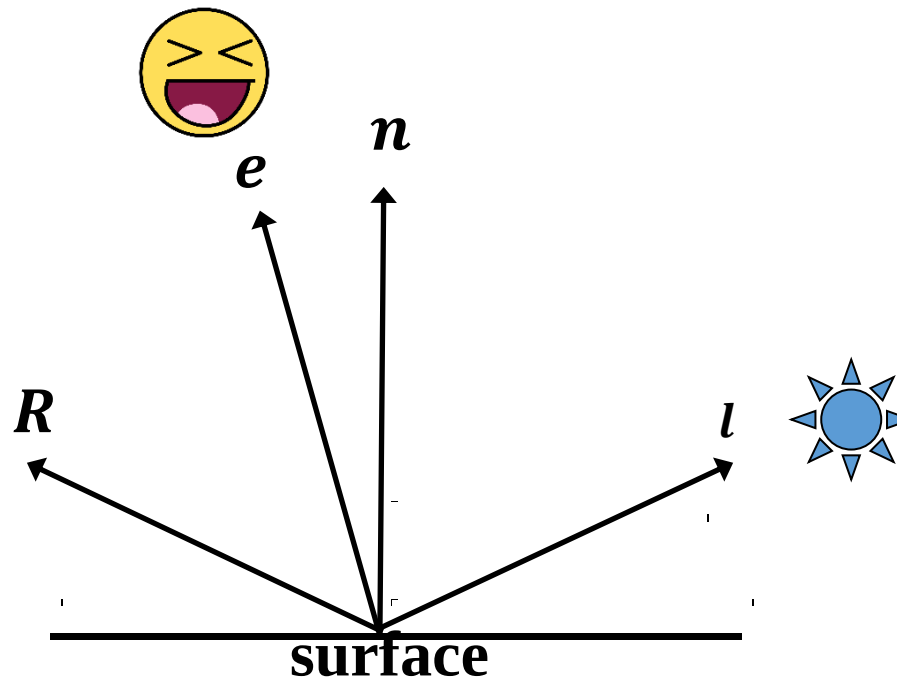
Phong, B. T. (1975). Illumination for computer generated pictures. Communications of the ACM, 18(6), 311-317.

- Model Assumptions
 - A point (or directional) light source
 - Position defined by a point in space, radiating light equally in all directions
 - Repeat and accumulate results if we wish to model more than one light source
 - A viewer
 - Position defined by a point in space, the centre of projection or camera positions



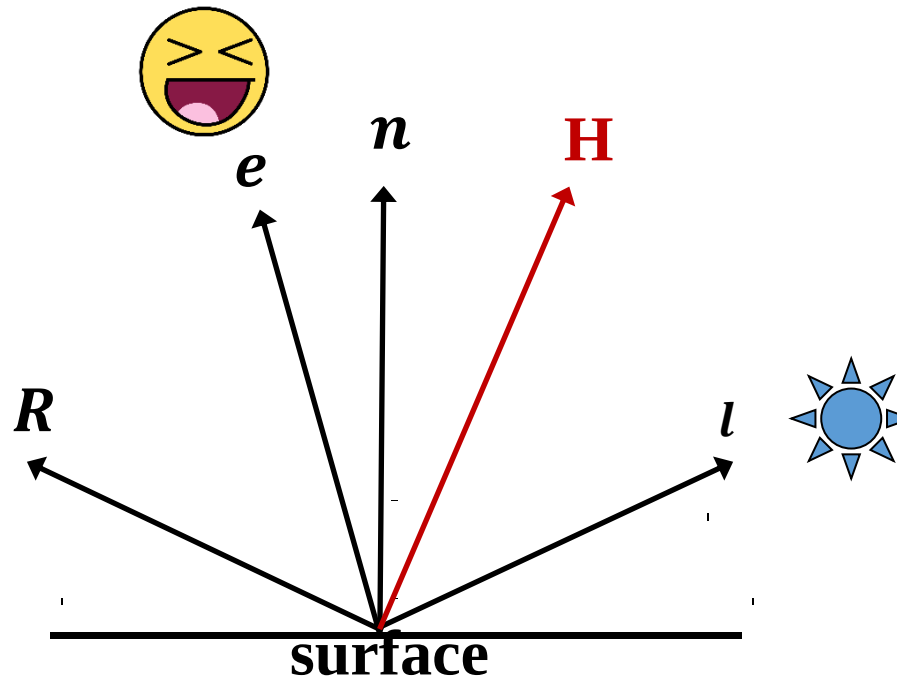
Ατελές κατευθυνόμενη ανάκλαση (Imperfect Specularity)

- e είναι η κατεύθυνση προς το μάτι
- n είναι η κάθετος
- l είναι η κατεύθυνση προς την φωτεινή πηγή



Ατελές κατευθυνόμενη ανάκλαση (Imperfect Specularity)

- e είναι η κατεύθυνση προς το μάτι
- n είναι η κάθετος
- l είναι η κατεύθυνση προς την φωτεινή πηγή
- Η H είναι η διχοτόμος των e και l

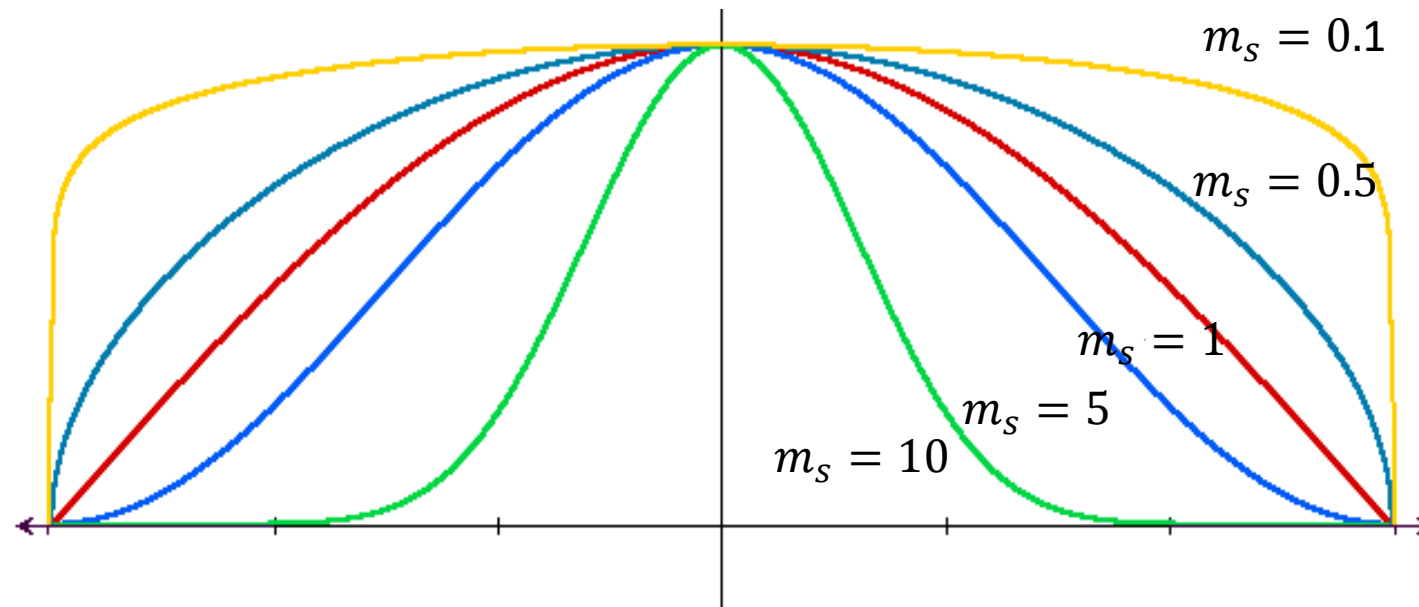


The Phong Specular Reflection Model

- Έτσι, η κατευθυνόμενη ένταση αντανάκλασης είναι ανάλογη με τον όρο $\cos^{m_s} \varphi$
- Η γωνία φ ποικίλλει μεταξύ των 0° και 90° , οπότε το $\cos \varphi$ μεταβάλλεται μεταξύ 1.0 και 0.0
- Το **specular-reflection exponent**, m_s καθορίζεται από τον τύπο της επιφάνειας που έχουμε
 - Οι γυαλιστερές επιφάνειες έχουν πολύ μεγάλη τιμή (>100)
 - Οι τραχιές επιφάνειες θα παίρνουν τιμές κοντά στο 1

Phong Lighting: The m_{shiny} Term

- Αυτό το διάγραμμα δείχνει πώς ο όρος αντανάκλασης Phong αλλάζει με την απόκλιση από τη γωνία εξέτασης:



Τι σημαίνει αυτός ο όρος, οπτικά;

The Phong Specular Reflection Model

- Για ορισμένα υλικά το ποσό της κατευθυνόμενης αντανάκλασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γωνία του φωτός
- *O Fresnel's Laws of Reflection* περιγράφει με μεγάλη λεπτομέρεια πώς οι κατευθυνόμενες αντανακλάσεις συμπεριφέρονται
- Ωστόσο, δεν χρειάζεται να ανησυχούμε ιδιαίτερα για αυτό, οπότε προσεγγίζουμε τον κατευθυνόμενο φωτισμό χρησιμοποιώντας ένα σταθερό συντελεστή κατευθυνόμενης αντανάκλασης k_s

Κατευθυνόμενος όρος

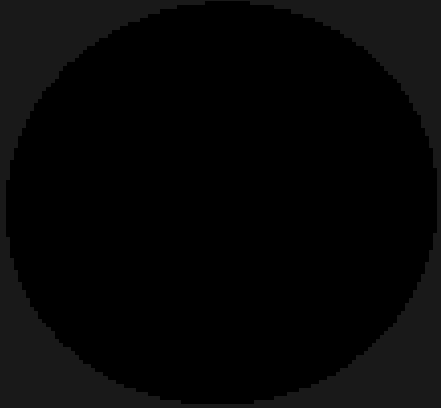
$$I_s = I k_s (h \cdot n)^m$$

- Το m είναι το *shininess*
 - καθορίζει τα χαρακτηριστικά του highlight
 - Ψηλό m συνεπάγεται highlight συγκεντρωμένο γύρω από την ανακλώμενη
 - Μικρό m κάνει το highlight πιο πλατύ και θολό

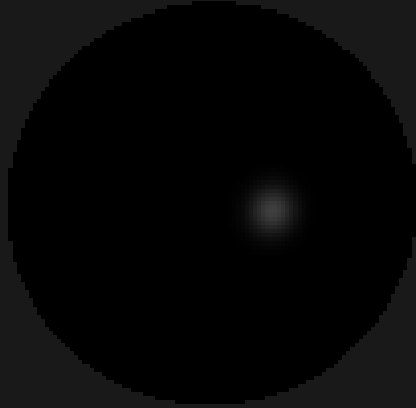
Ατελής κατευθυνόμενη ανάκλαση

specularity (k_s)

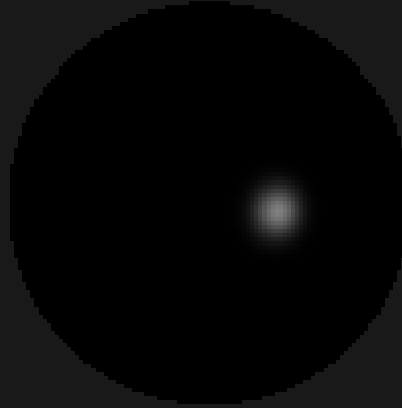
$k_s = 0.0$



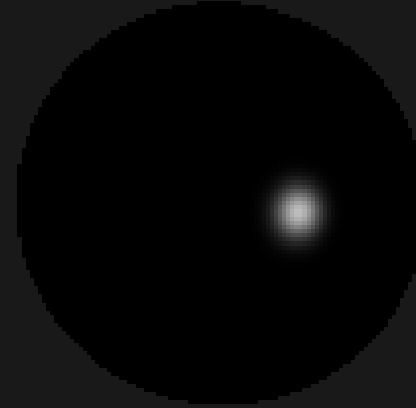
$k_s = 0.25$



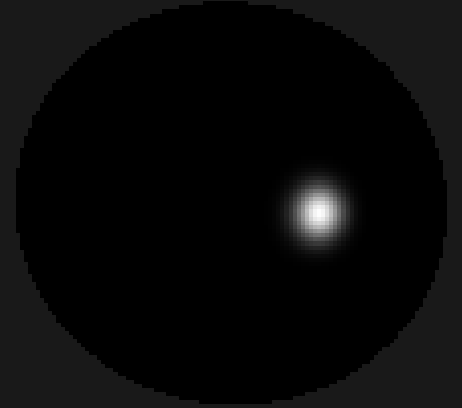
$k_s = 0.5$



$k_s = 0.75$

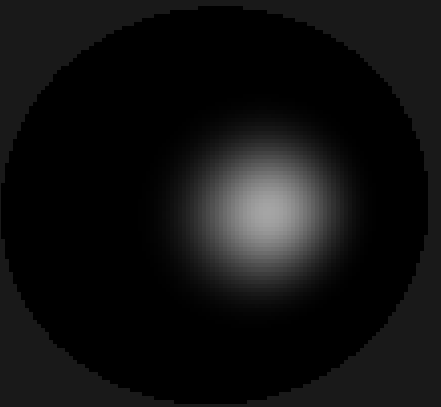


$k_s = 1.0$

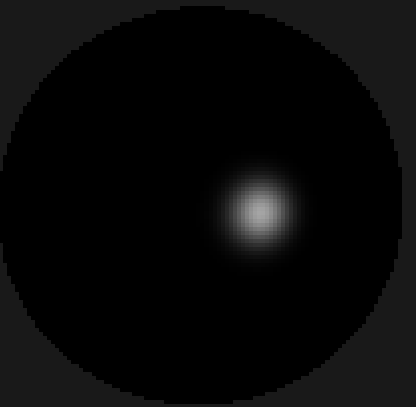


shininess (m) – For $k_s = 1.0$

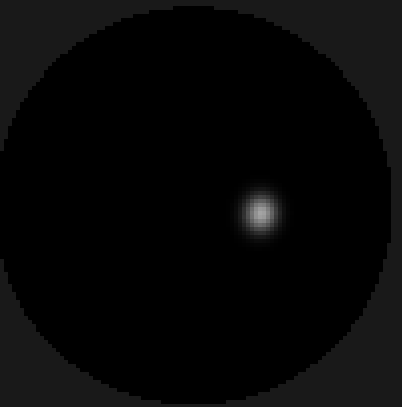
$m = 5$



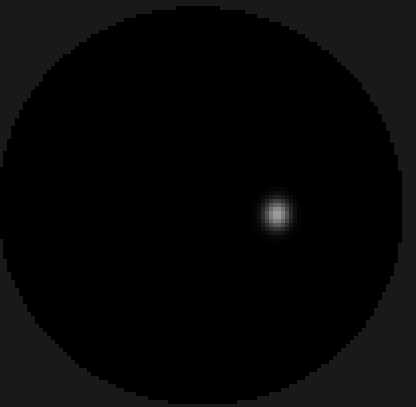
$m = 25$



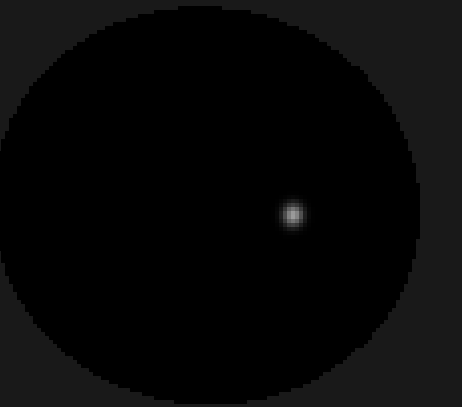
$m = 75$



$m = 125$



$m = 225$



Εξίσωση φωτισμού #2

$$I_r = I(k_d(n \cdot l) + k_s(h \cdot n)^m)$$

- Με 2 όρους: διάχυτο & κατευθυνόμενο
- Πάλι αν έχουμε πάνω από μία φωτεινή πηγή αθροίζουμε τον διάχυτο και τον κατευθυνόμενο από κάθε πηγή

$$I_r = \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d(n \cdot l_i) + k_s(h_j \cdot n)^m \right)$$

- Αν το I_r δώσει τιμές > 1.0 τότε θα πρέπει να κάνουμε αποκοπή, για να μείνουμε στα όρια αυτού που μπορεί να δείξει η οθόνη μας
- Χρησιμοποιούμε τρεις τιμές $k_{d,red}$ $k_{d,green}$ και $k_{d,blue}$

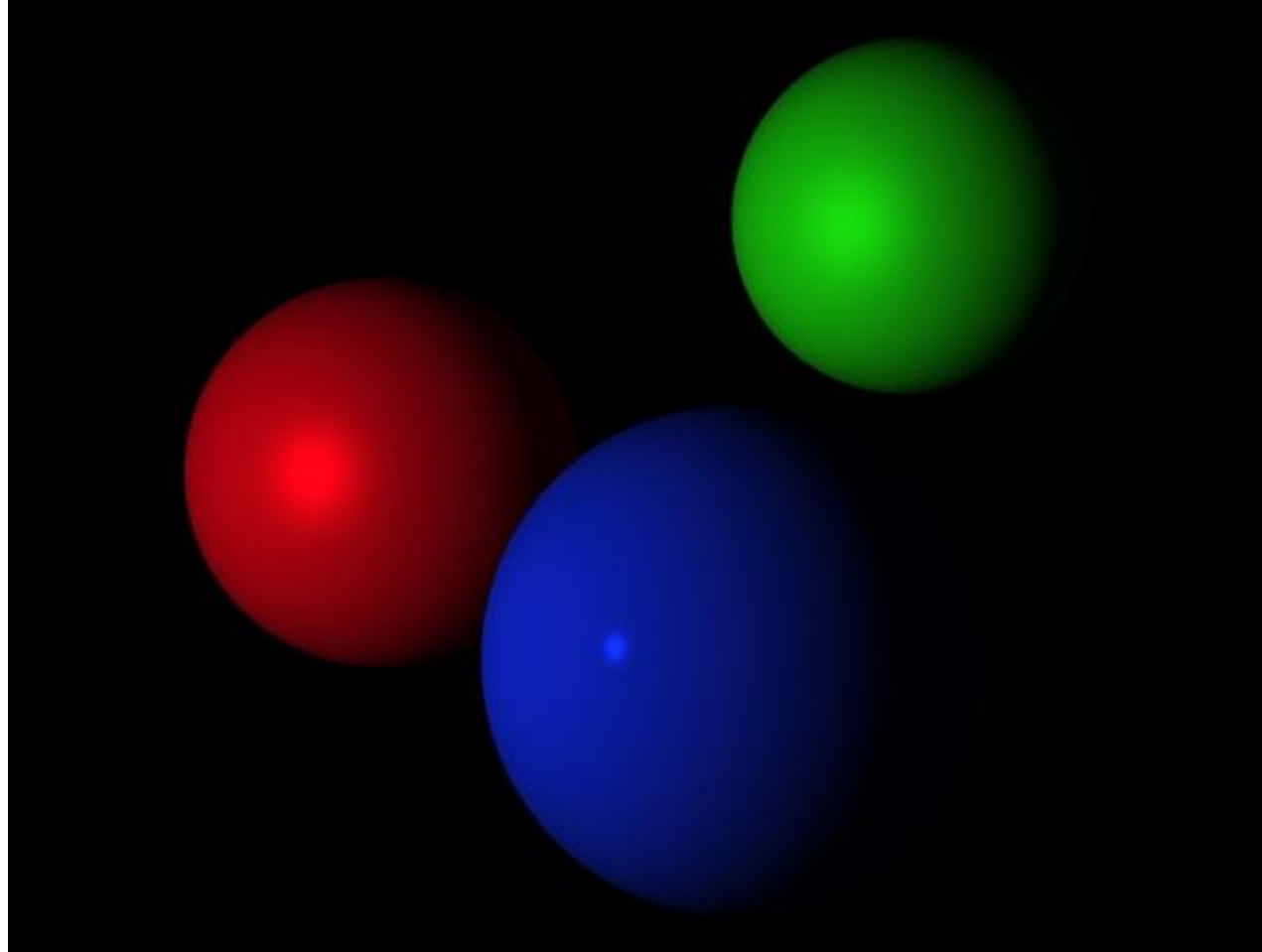
Ατελής κατευθυνόμενη ανάκλαση



Combined with a constant diffuse red component



Η εικόνα – διάχυτος και κατευθυνόμενος



$$I_r = I(k_d(n.l) + k_s(h.n)^m)$$

Έμμεσος φωτισμός (Ambient Light)

- Προσέγγιση του γενικού φωτισμού
 - Κάθε αντικείμενο φωτίζεται ως ένα βαθμό από “αδέσποτο” φως
 - Σταθερό (εξίσου) σε ολόκληρη την επιφάνεια κάθε αντικειμένου
- Συχνά χρησιμοποιείται απλά για να σιγουρευτούμε ότι όλα φωτίζονται, ακόμα και σε περίπτωση που δεν λαμβάνουν κατευθείαν φως από μια πηγή φωτός

Έμμεσος φωτισμός (Ambient Light)

- Ο έμμεσος φωτισμός συνήθως ορίζεται το ίδιο για ολόκληρη την σκηνή
 - Ένταση έμμεσου φωτισμού
 - $I_a = [I_{a,red}, I_{a,green}, I_{a,blue}]$
- Κάθε αντικείμενο ανακλά ένα ποσοστό αυτού του φωτός
 - Συντελεστής έμμεσης ανάκλασης
 - $k_a = [k_{a,red}, k_{a,green}, k_{a,blue}]$

Εξίσωση φωτισμού #3

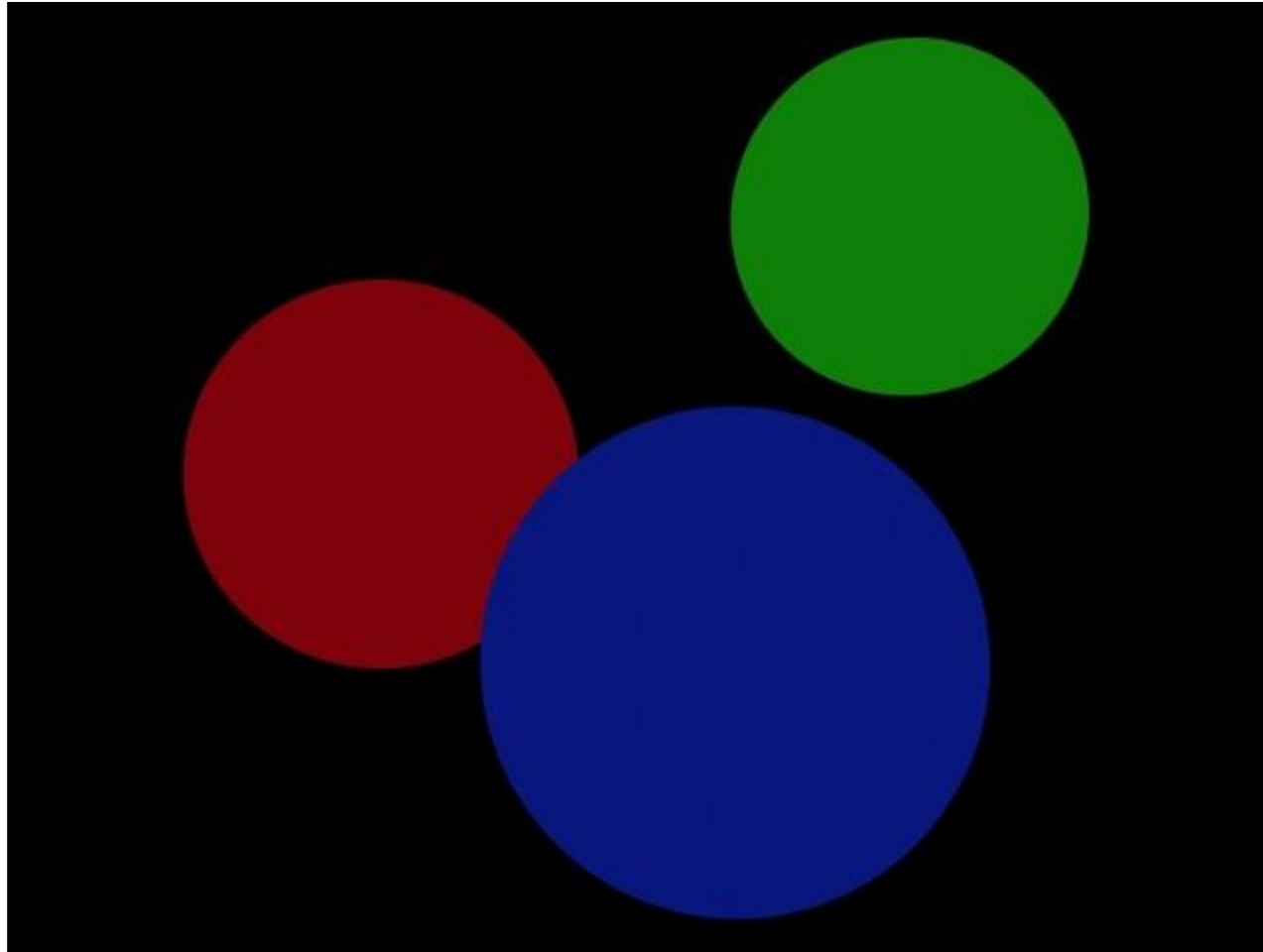
- Οπότε, μέχρι τώρα έχουμε:

$$I_r = k_a I_a$$

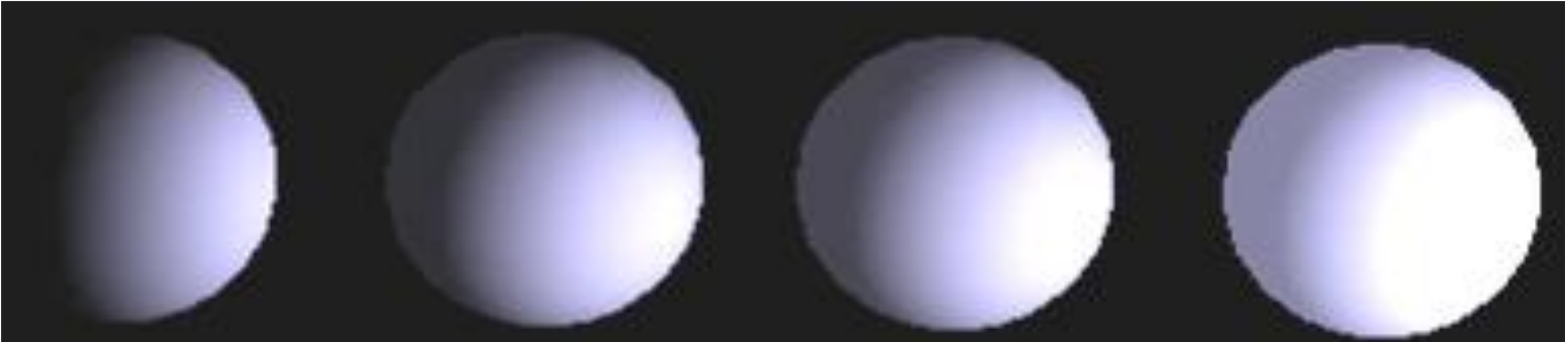
- Το οποίο είναι βέβαια 3 εξισώσεις, μια για το κάθε ένα από τα RGB

$$\begin{aligned} I_{r,red} &= k_{a,red} I_{a,red} \\ I_{r,green} &= k_{a,green} I_{a,green} \\ I_{r,blue} &= k_{a,blue} I_{a,blue} \end{aligned}$$

Η εικόνα – μόνο έμμεσος



Ambient Light



Μοντέλο τοπικού φωτισμού Phong

- Το πιο συνηθισμένο σε γραφικά πραγματικού χρόνου μοντέλο τοπικού φωτισμού.
- Εξίσωση φωτισμού με 3 όρους: **Έμμεσο, διάχυτο & κατευθυνόμενο**

$$I_r = k_a I_a + \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d (n \cdot l_j) + k_s (h_j \cdot n)^m \right)$$

- Το κάθε ένα από τα 3 στοιχεία της εξίσωσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και μόνο του, αλλά με φτωχά αποτελέσματα

Μοντέλο τοπικού φωτισμού Phong

$$I = I_{amb} + \sum_{l=1}^n [I_{l,diff} + I_{l,spec}]$$
$$= k_a I_a + \sum_{l=1}^n I_l [k_d (n \cdot l) + k_s (h \cdot n)^{m_s}]$$

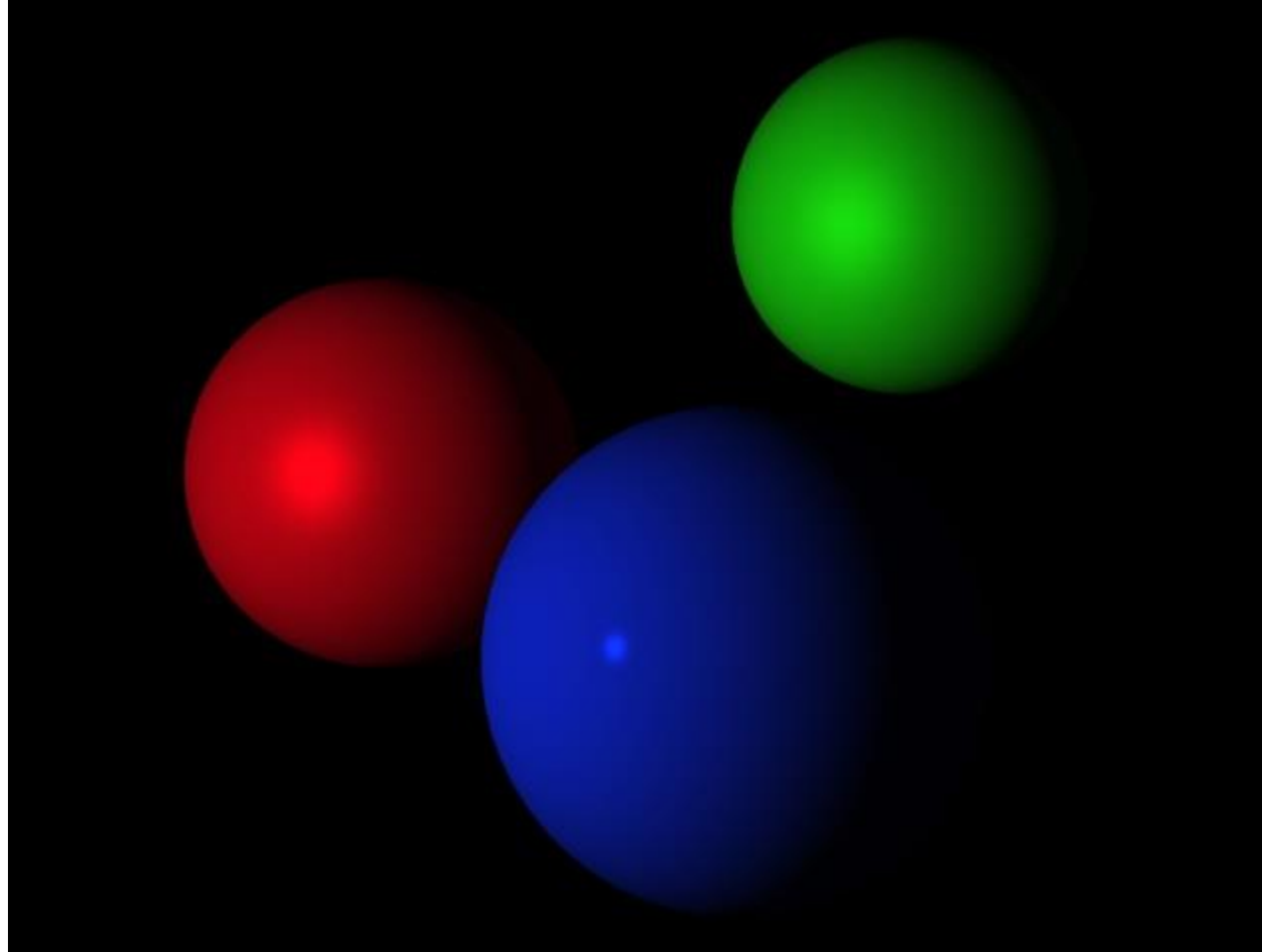
(έμμεσος)

(διάχυτος)

(κατευθυνόμενος)

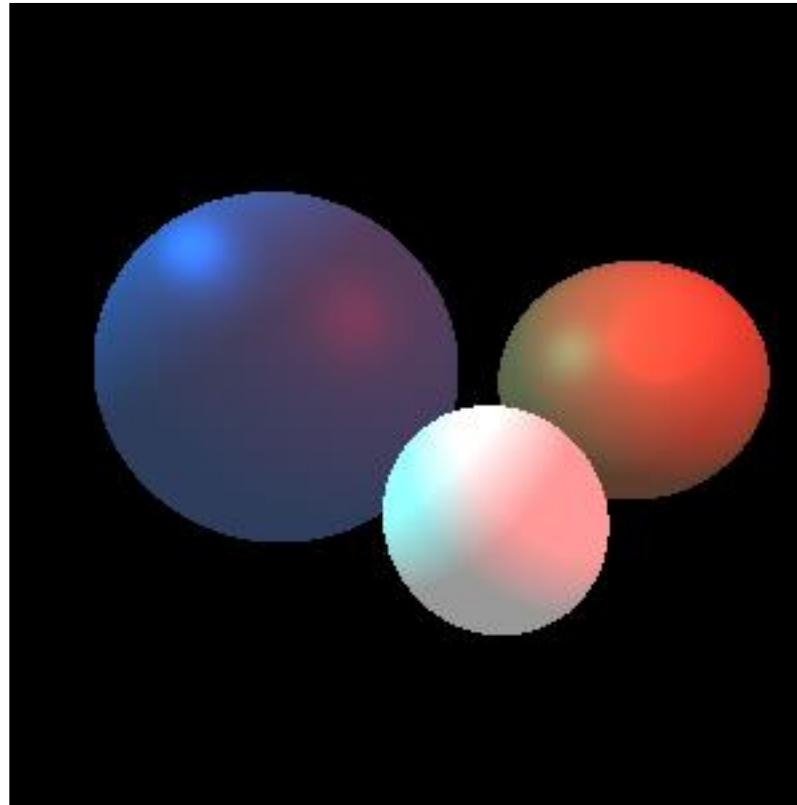
Common
Exam Question

Η εικόνα – διάχυτος και κατευθυνόμενος



$$I_r = I(k_d(n.l) + k_s(h.n)^m)$$

+ έμμεσος φωτισμός και κόκκινη πηγή



$$I_r = k_a I_a + \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d (n \cdot l_i) + k_s (h_j \cdot n)^m \right)$$

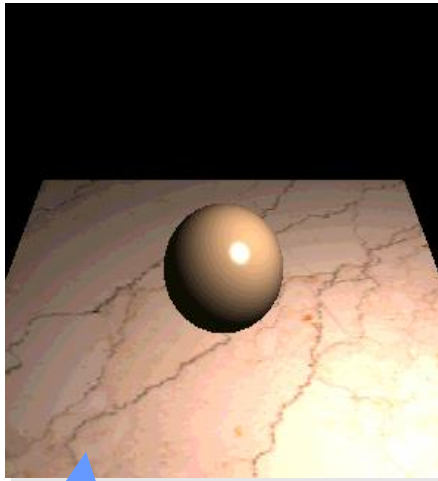
Προσθήκη εξασθένισης

- Μπορούμε να προσαρμόσουμε το μοντέλο φωτισμού μας για να συμπεριλάβει και την εξασθένιση (όπως είδαμε πιο πάνω)
- Οπότε έχουμε:

$$I = I_{ambdiff} + \sum_{l=1}^n \left[f_{l,radatten} f_{l,angatten} (I_{l,diff} + I_{l,spec}) \right]$$

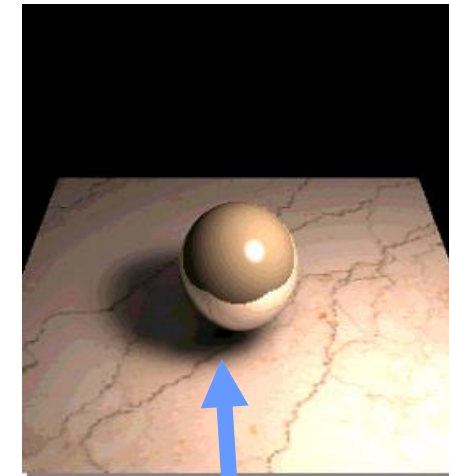
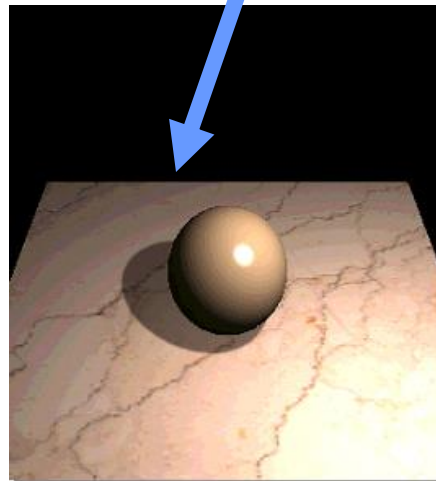
- Όπου $f_{radatten}$ και $f_{angatten}$ είναι η εξασθένιση απόστασης και γωνίας αντίστοιχα

Further different types of rendering.



A bit of texturing enhances the scene considerably making it look more "real-world-like"

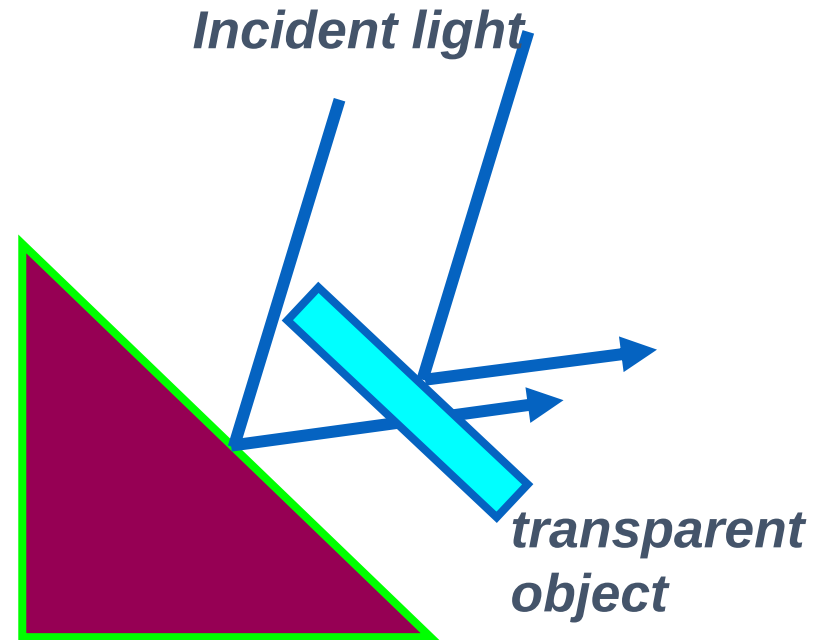
Fake shadow: gives a better idea of what the image represents (i.e. position of sphere is more apparent)



Global Illumination: "proper" shadows, specular reflections on objects

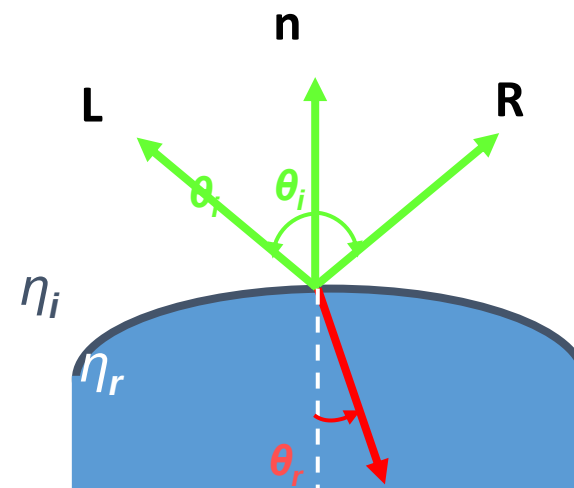
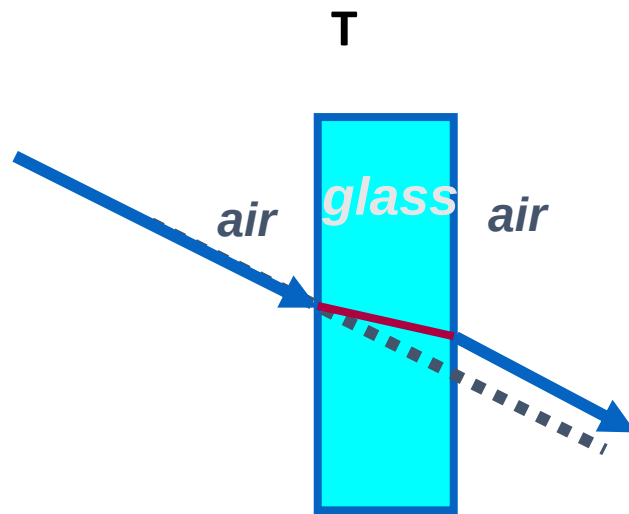
Transparency

- Μια διαφανής επιφάνεια αντανακλά και διαθλά το φως.
- Η συμβολή του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από το βαθμό διαφάνειας της επιφάνειας και από το αν υπάρχουν φωτεινές πηγές πίσω από τη διαφανή επιφάνεια.



Transparency

- Η ρεαλιστική επίδραση διαφάνειας διαμορφώνεται με την τους νόμους της διάθλασης.
- Η συνολική επίδραση της διάθλασης είναι η μετατόπιση του φέρον φωτός σε μια παράλληλη πορεία.



Transparency

Νόμος Snell's :

$$\sin \theta_r = \frac{\eta_i}{\eta_r} \sin \theta_i$$

$$\mathbf{T} = \left(\frac{\eta_i}{\eta_r} \cos \theta_i - \cos \theta_r \right) \mathbf{N} - \frac{\eta_i}{\eta_r} \mathbf{L}$$

- Το διάνυσμα μετάδοσης $\mathbf{T}$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει τις διασταυρώσεις της πορείας διάθλασης του φωτός πίσω από τη διαφανή επιφάνεια

Transparency

- Μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση μιας διαθλώμενης επιφάνειας χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή αδιαφάνειας (k_t). Η συνολική ένταση ισούται με την πρόσθεση της ανακλώμενης και διαθλώμενης έντασης.

$$I = (1 - k_t)I_{reflected} + k_t I_{trans}.$$

- Όπου $1 - k_t$ είναι ο συντελεστής αδιαφάνειας (opacity factor)

Illumination Models: Non-global vs. Global Models

<http://resources.mpi-inf.mpg.de/atrium/gallery.html>

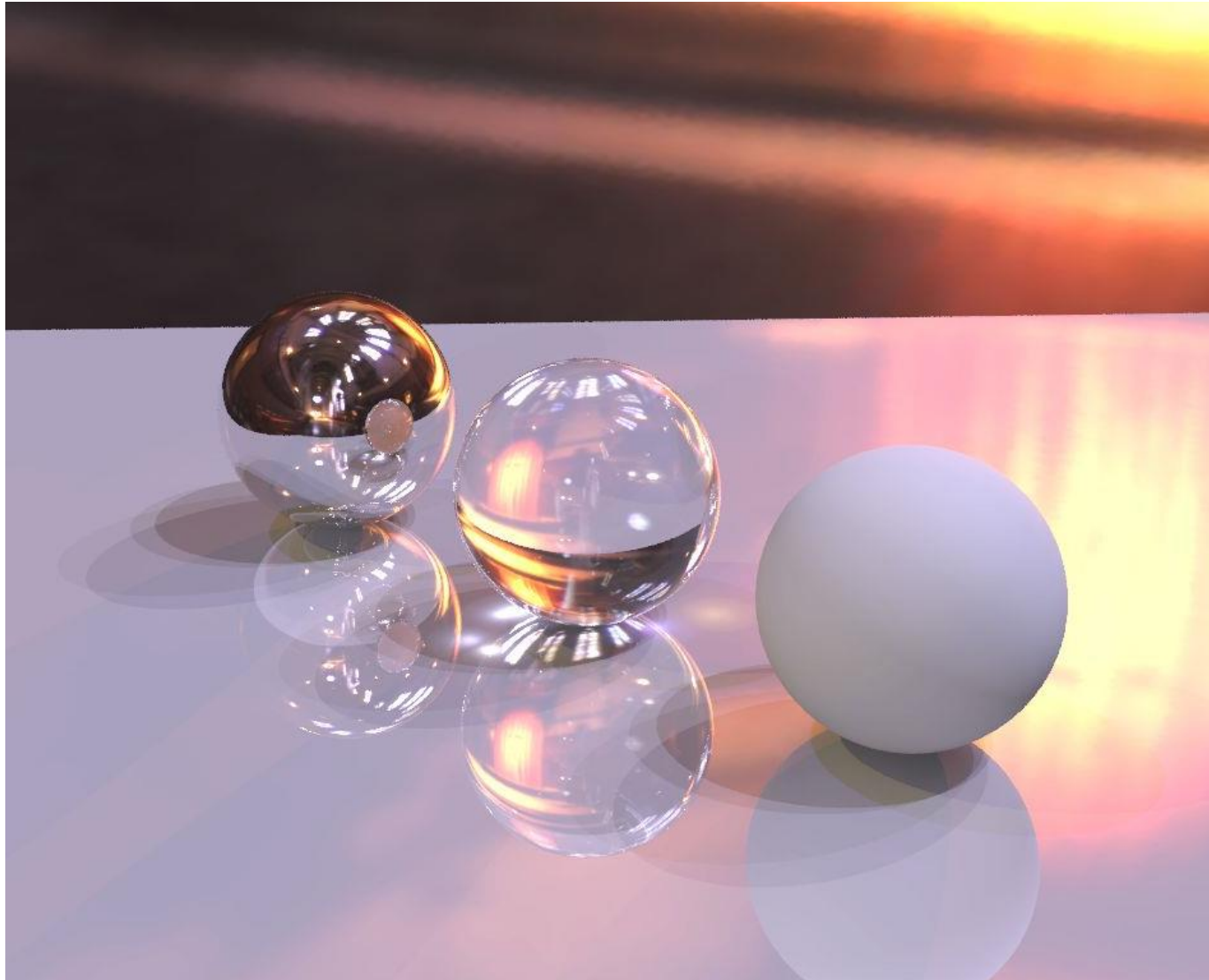


Direct (diffuse + specular) lighting +
indirect specular reflection



Full global illumination

Computing Illumination: Παραδείγματα





Advanced Global Illumination Techniques

Real Time Global Illumination

*Unreal Engine 4, Quixel
Megascans*

Rebirth

Volumetric fog and lighting.
Models light/fog as a 3d
transparent medium with
discretized samples in a
surrounding volume.

[Technology](#)

[Demo](#)

[Interview With 80 Level](#)

Advanced Global Illumination Techniques

Voxel Global Illumination (VXGI)

Maxwell Renderer

Break scene into voxels using an algorithm similar to an octree. Rather than using original geometry, voxel approximation can be used to efficiently calculate ambient occlusion and interreflections.

[Technology](#)

[Demo](#)



Advanced Global Illumination Techniques

Ray Bundling

Hyperion Renderer
Moana

At each step of path tracing, bundle similar rays into groups and treat them as a wave of rays. This reduces the computation of each step, and allows for more iterations, creating better illuminated scenes.

[Technology](#)
[Explanation](#)



Advanced Global Illumination Techniques

Ray tracing / Path tracing
(cont.)

Nvidia's RTX Platform

Pipeline designed around
latest 20-series of graphics
cards to target real time ray
tracing.

[Technology](#)

[Demo](#)

[Star Wars](#)

