

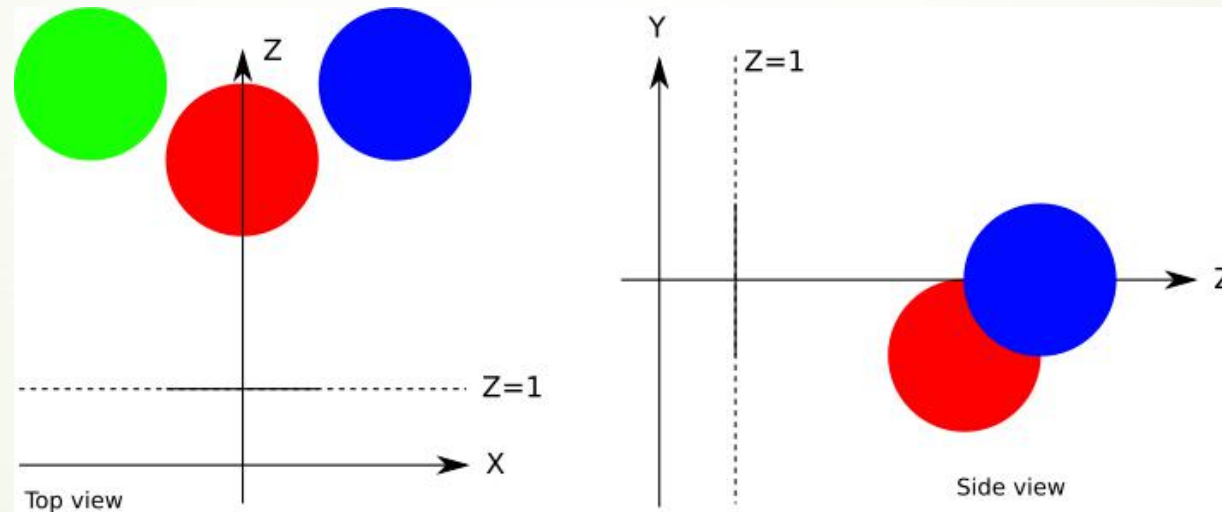
Γραφικά Υπολογιστών

Μάθημα 4 - Φως, μέρος I

Γιώργος Σφήκας

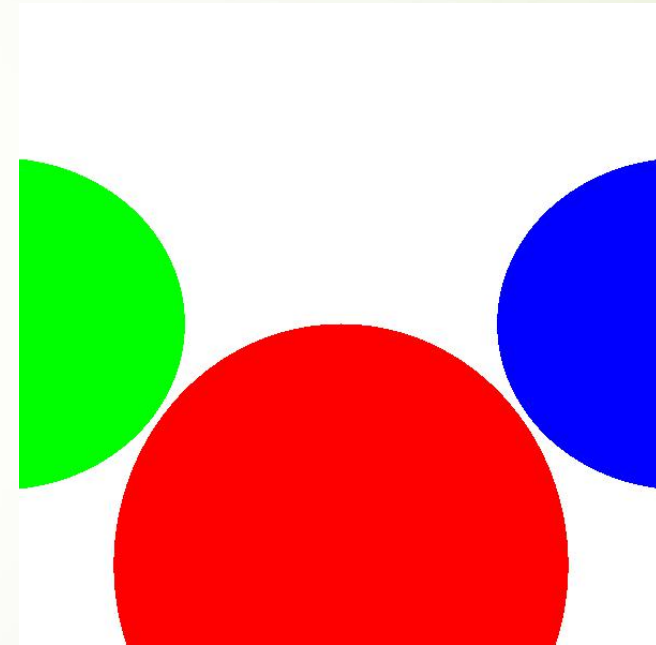
Φως

- Στο προηγούμενο μάθημα κατασκευάσαμε ένα υποτυπώδες σύστημα παρακολούθησης ακτίνων (raytracing)



Φως

- ❏ Στο προηγούμενο μάθημα κατασκευάσαμε ένα υποτυπώδες σύστημα παρακολούθησης ακτίνων (raytracing)
- ❏ Θα βελτιώσουμε την ποιότητα του αποτελέσματος, λαμβάνοντας υπόψιν ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο για τον τρόπο που φωτίζεται η σκηνή





Φως

- ▣ Απλουστευτικές υποθέσεις
- ▣ Είδη φωτεινών πηγών
- ▣ Είδη αντανακλάσεων

Απλουστευτικές υποθέσεις

- ❑ Το φως είναι πάντα λευκό
 - ❑ (Αρκεί ένας αριθμός $i \in \mathbb{R}^+$ για να περιγράψει την ισχύ του)
- ❑ Το φως φαίνεται το ίδιο δυνατό, όσο μακριά και αν είναι
 - ❑ (Αγνοούμε την επίδραση της ατμόσφαιρας)



Πηγές φωτός

- ❑ Θα θεωρήσουμε τρία διαφορετικά είδη φωτεινών πηγών
 - ❑ Σημειακό φως (Point light)
 - ❑ Κατευθυνόμενο φως (Directional light)
 - ❑ Περιβάλλον φως (Ambient light)



Σημειακό φως

- ❑ Τα σημειακά φώτα εκπέμπουν από ένα σημείο στην 3D σκηνή
- ❑ Εκπέμπουν το ίδιο προς όλες τις κατευθύνσεις
- ❑ Επομένως, αρκούν δύο όροι για να τα περιγράψουμε...



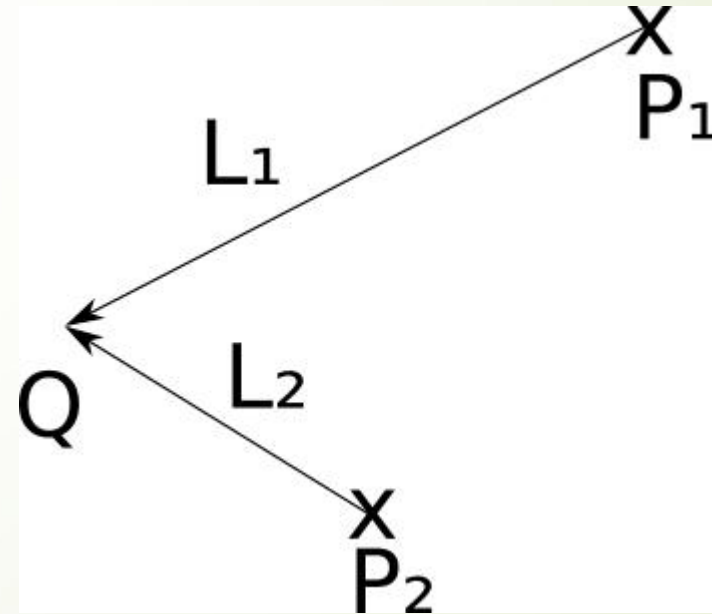
Σημειακό φως

- ❑ Τα σημειακά φώτα εκπέμπουν από ένα σημείο στην 3D σκηνή
- ❑ Εκπέμπουν το ίδιο προς όλες τις κατευθύνσεις
- ❑ Επομένως, αρκούν δύο όροι για να τα περιγράψουμε:
 - ❑ Ένταση
 - ❑ Θέση

Σημειακό φως

- ❑ Τα σημειακά φώτα εκπέμπουν από ένα σημείο στην 3D σκηνή
- ❑ Εκπέμπουν το ίδιο προς όλες τις κατευθύνσεις
- ❑ Επομένως, αρκούν δύο όροι για να τα περιγράψουμε:
 - ❑ Ένταση
 - ❑ Θέση

- ❑ Ορίζουμε “light vector” (διάνυσμα φωτός): αρχ.σημείο αυθαίρετο, τελικό σημείο κάποιο σημειακό φως





Κατευθυνόμενο φως

- ▣ Αν το σημειακό φως μας κάνει ως προσομοίωση μιας λ.χ. λάμπας, μας κάνει και για το φως του ήλιου;



Κατευθυνόμενο φως

- ▣ Αν το σημειακό φως μας κάνει ως προσομοίωση μιας λ.χ. λάμπας, μας κάνει και για το φως του ήλιου; *Ναι και όχι.*

Κατευθυνόμενο φως

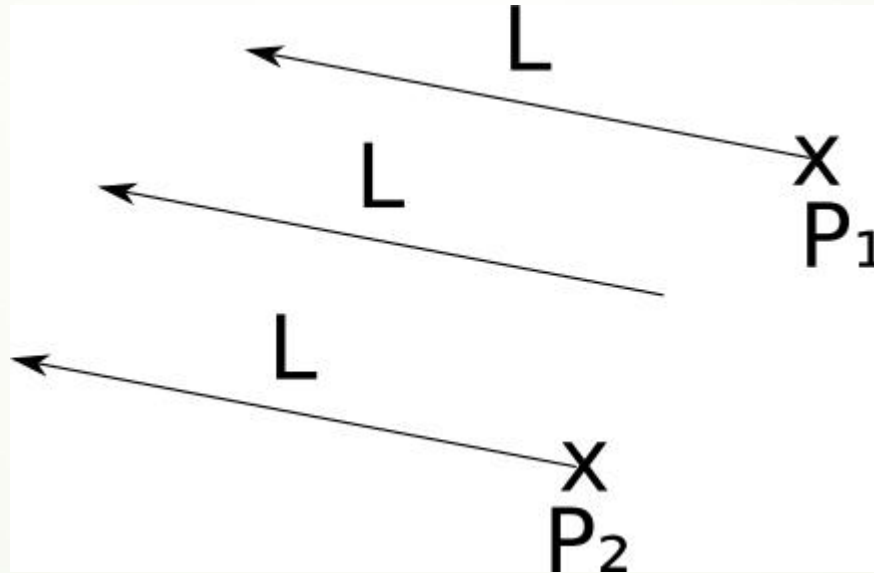
- ❏ Αν το σημειακό φως μας κάνει ως προσομοίωση μιας λ.χ. λάμπας, μας κάνει και για το φως του ήλιου; *Ναι και όχι.*
- ❏ Στην κλίμακα του ηλιακού συστήματος, ο ήλιος μπορεί να προσεγγιστεί ως σημειακό φως : εκπέμπει από σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις
- ❏ Όμως αν θέλουμε να αποδώσουμε κάτι που συμβαίνει στην γη, στην πράξη αυτή η λύση δεν είναι βέλτιστη -> numerical accuracy errors

Κατευθυνόμενο φως

- ❏ Αν το σημειακό φως μας κάνει ως προσομοίωση μιας λ.χ. λάμπας, μας κάνει και για το φως του ήλιου; *Ναι και όχι.*
- ❏ Στην κλίμακα του ηλιακού συστήματος, ο ήλιος μπορεί να προσεγγιστεί ως σημειακό φως : εκπέμπει από σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις
- ❏ Όμως αν θέλουμε να αποδώσουμε κάτι που συμβαίνει στην γη, στην πράξη αυτή η λύση δεν είναι βέλτιστη -> numerical accuracy errors
- ❏ Λύση: “Κατευθυνόμενο φως”
 - ❏ Ένταση
 - ❏ Κατεύθυνση

Κατευθυνόμενο φως

📷 Το “light vector” είναι πάντα το ίδιο.





Περιβάλλον φως

 Μας αρκούν τα δύο είδη φωτός που περιγράψαμε;



Περιβάλλον φως

 Μας αρκούν τα δύο είδη φωτός που περιγράψαμε; Όχι.



Περιβάλλον φως

- ✘ Μας αρκούν τα δύο είδη φωτός που περιγράψαμε; Όχι.
- ✘ Χρειαζόμαστε έναν τρόπο για να μοντελοποιήσουμε το φως που δεν προσκρούει *απευθείας* σε ένα αντικείμενο από την φωτεινή πηγή



Περιβάλλον φως

- ❑ Μας αρκούν τα δύο είδη φωτός που περιγράψαμε; Όχι.
- ❑ Χρειαζόμαστε έναν τρόπο για να μοντελοποιήσουμε το φως που δεν προσκρούει *απευθείας* σε ένα αντικείμενο από την φωτεινή πηγή
- ❑ Διάχυτο φως
 - ❑ Ένταση

Είδη πηγών - ανακεφαλαίωση

- ❑ Σημειακό φως
 - ❑ Ένταση
 - ❑ Θέση
- ❑ Κατευθυνόμενο φως
 - ❑ Ένταση
 - ❑ Κατεύθυνση
- ❑ Περιβάλλον φως
 - ❑ Ένταση
- ❑ Γενικά, θα έχουμε έναν αυθαίρετο αριθμό από πηγές σημειακού φωτός και κατευθυνόμενου φωτός, και μία πηγή διάχυτου φωτός

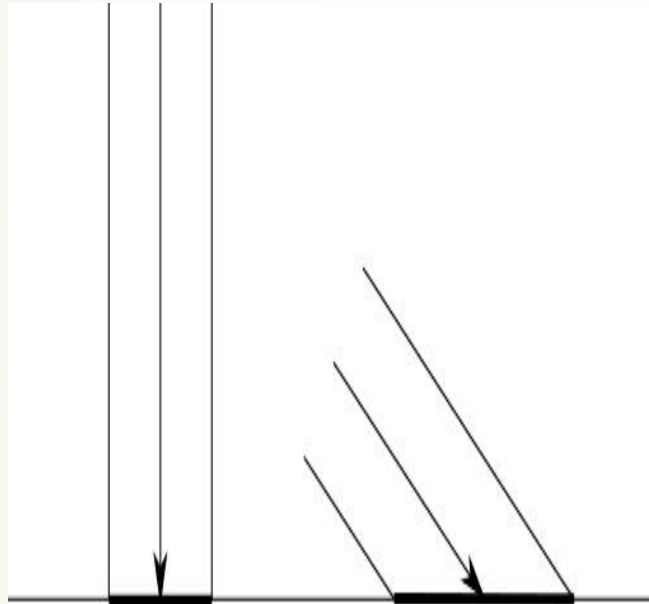
Φωτισμός ενός σημείου

- ❏ Πρέπει να ορίσουμε πως επιδρά το φως των πηγών μας στα αντικείμενα της σκηνής
- ❏ Για κάθε σημείο, πρέπει να υπολογίσουμε την συνολική ποσότητα του φωτός που του αντιστοιχεί
- ❏ Χρειαζόμαστε μια διάκριση και για το είδος των επιφανειών μας
 - ❏ Matte ('Ματ', μη-γυαλιστερά)
 - ❏ Γυαλιστερά

Φωτισμός ενός σημείου

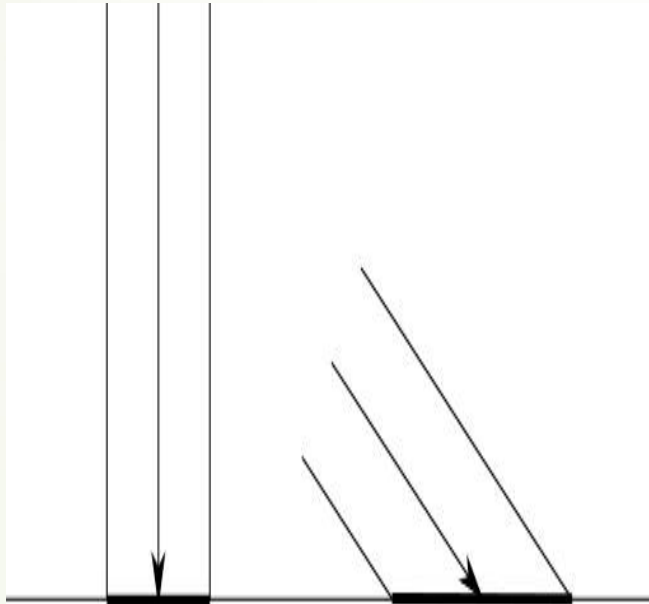
- ❏ Πρέπει να ορίσουμε πως επιδρά το φως των πηγών μας στα αντικείμενα της σκηνής
- ❏ Για κάθε σημείο, πρέπει να υπολογίσουμε την συνολική ποσότητα του φωτός που του αντιστοιχεί
- ❏ Χρειαζόμαστε μια διάκριση και για το είδος των επιφανειών μας
 - ❏ Matte ('Ματ', μη-γυαλιστερά) => “διάχυτη ανάκλαση”
 - ❏ Γυαλιστερά

Διάχυτη ανάκλαση



- ❏ Όταν μια ακτίνα φωτός προσκρούει σε ένα matte αντικείμενο, τότε αυτή διαχέεται ισομερώς προς όλες τις κατευθύνσεις = *διάχυτη ανάκλαση (diffuse reflection)*
- ❏ Ωστόσο, η ποσότητα του φωτός που ανακλάται εξαρτάται από *τη γωνία φωτεινής ακτίνας και επιφάνειας*

Διάχυτη ανάκλαση



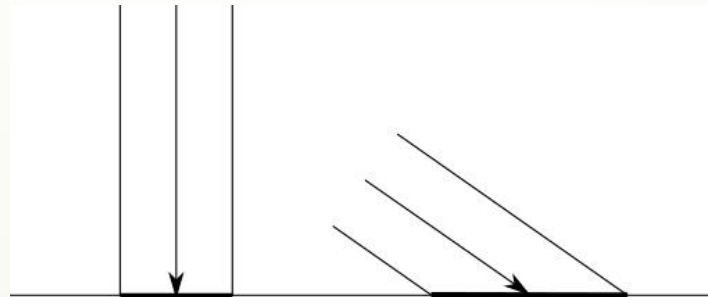
- ❏ Θα χρειαστούμε έναν τρόπο να περιγράψουμε τοπικά την κατεύθυνση μιας επιφάνειας
- ❏ *Normal vector* \vec{N} : Για σημείο P μια επιφάνειας, διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια στο P. Έχει μέτρο ίσο με 1 (“κανονικοποιημένο”).

Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

- ❏ Το πρόβλημα: *Μια φωτεινή ακτίνα με κατεύθυνση L και ένταση I προσκρούει σε επιφάνεια με κανονικό διάνυσμα N . Ποιό ποσοστό της έντασης I ανακλάται πίσω στη σκηνή;*

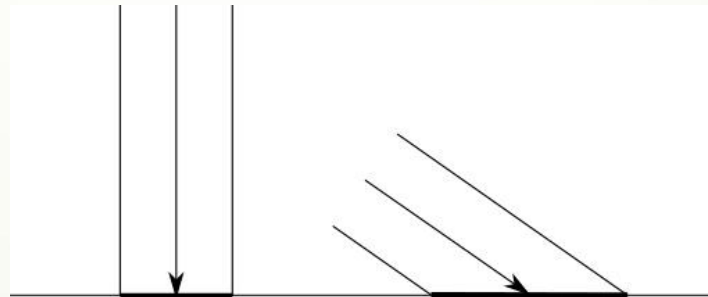
Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

- ❏ Το πρόβλημα: Μια φωτεινή ακτίνα με κατεύθυνση L και ένταση I προσκρούει σε επιφάνεια με κανονικό διάνυσμα N . Ποιό ποσοστό της έντασης I ανακλάται πίσω στη σκηνή;
- ❏ Μια γεωμετρική αναλογία: Ένταση ακτίνας \sim “πλάτος” ακτίνας. Η ένταση διαχέεται ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης



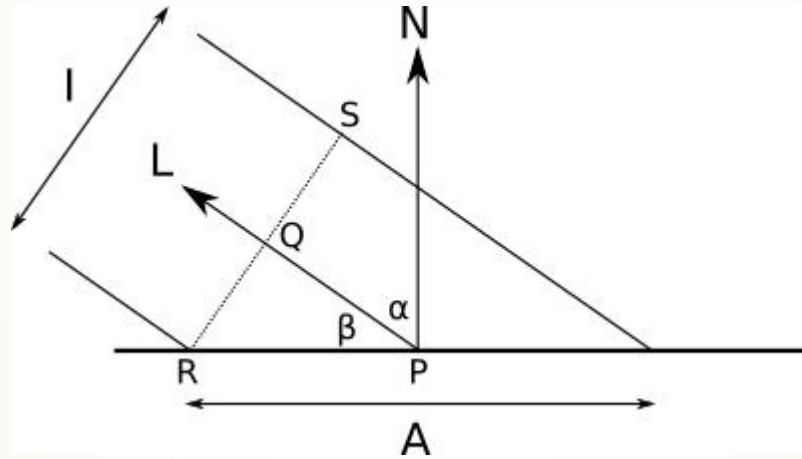
Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

- ❏ Το πρόβλημα: Μια φωτεινή ακτίνα με κατεύθυνση L και ένταση I προσκρούει σε επιφάνεια με κανονικό διάνυσμα N . Ποιό ποσοστό της έντασης I ανακλάται πίσω στη σκηνή;
- ❏ Μια γεωμετρική αναλογία: Ένταση ακτίνας \sim “πλάτος” ακτίνας. Η ένταση διαχέεται ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης
- ❏ Δύο οριακές περιπτώσεις: 1) $\vec{L} \parallel \vec{N}$ 2) $\vec{L} \perp \vec{N}$



Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

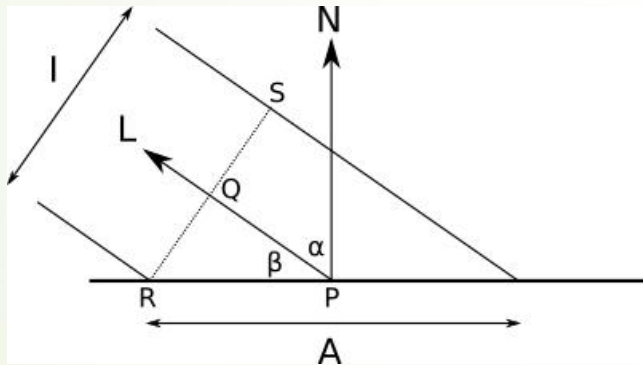
- Στις οριακές περιπτώσεις ανακλάται το 100% ή το 0% αντίστοιχα.. τι συμβαίνει για αυθαίρετη γωνία πρόσπτωσης ; (μεταξύ δηλαδή 90° και 0°)



- Ζητάμε να υπολογίσουμε τον λόγο I / A

Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

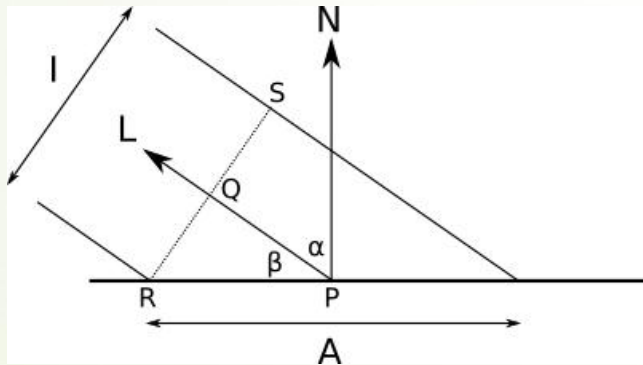
Παρατηρούμε ότι $\cos\alpha = I / A$



$$\frac{I}{A} = \frac{\langle \vec{N}, \vec{L} \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}|}$$

Μοντελοποιώντας την διάχυτη ανάκλαση

Παρατηρούμε ότι $\cos\alpha = I / A$



$$\frac{I}{A} = \frac{\langle \vec{N}, \vec{L} \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}|}$$

Προσοχή στις γωνίες > 90 μοίρες!

Η εξίσωση της διάχυτης ανάκλασης

- ▣ Αν υποθέσουμε n φωτεινές πηγές. Η συνολική ένταση που δέχεται σημείο P με κανονικό διάνυσμα \vec{N} είναι

$$I_P = \sum_{i=1}^n I_i \frac{\langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}_i|}$$

- ▣ όπου I_i και \vec{L}_i η ένταση και το διάνυσμα φωτός της σημειακής ή κατευθυνόμενης) πηγής i

Η εξίσωση της διάχυτης ανάκλασης

- ❏ Αν υποθέσουμε n φωτεινές πηγές. Η συνολική ένταση που δέχεται σημείο P με κανονικό διάνυσμα \vec{N} είναι

$$I_P = \sum_{i=1}^n I_i \frac{\langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}_i|}$$

- ❏ όπου I_i και \vec{L}_i η ένταση και το διάνυσμα φωτός της σημειακής ή κατευθυνόμενης) πηγής i
- ❏ Προσοχή στους όρους όπου $\langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle < 0!$ Τους αγνοούμε (γιατί;)

Η εξίσωση της διάχυτης ανάκλασης

- ▣ Αν θέλουμε να προσθέσουμε και το περιβάλλον φως στην εξίσωση (δεν έχει $\vec{L}_i \dots$), απλά :

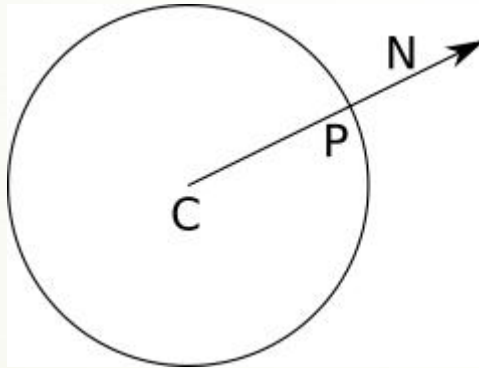
$$I_P = I_A + \sum_{i=1}^n I_i \frac{\langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}_i|}$$

Το παράδειγμα της σφαίρας : Normals

📏 Είπαμε πως υπολογίζουμε τα \vec{L}_i . Τι γίνεται για το \vec{N} ;

Το παράδειγμα της σφαίρας : Normals

- ❏ Είπαμε πως υπολογίζουμε τα \vec{L}_i . Τι γίνεται για το \vec{N} ;
- ❏ Για τη σφαίρα έχουμε απλά:



$$\vec{N} = \frac{\vec{CP}}{|\vec{CP}|} = \frac{\vec{OP} - \vec{OC}}{|\vec{OP} - \vec{OC}|}$$

Μεταφράζοντας τα παραπάνω σε κώδικα

❏ Πρώτα πρέπει να ορίσουμε τι πηγές έχουμε. Για παράδειγμα:

```
light {  
  type = ambient  
  intensity = 0.2  
}  
light {  
  type = point  
  intensity = 0.6  
  position = (2, 1, 0)  
}  
light {  
  type = directional  
  intensity = 0.2  
  direction = (1, 4, 4)  
}
```

Μεταφράζοντας τα παραπάνω σε κώδικα

▣ Γράφουμε τον υπολογισμό του $I_P = I_A + \sum_{i=1}^n I_i \frac{\langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle}{|\vec{N}| |\vec{L}_i|}$ ως μια συνάρτηση:

```
ComputeLighting(P, N) {
  i = 0.0
  for light in scene.Lights {
    if light.type == ambient {
      i += light.intensity
    } else {
      if light.type == point {
        L = light.position - P
      } else {
        L = light.direction
      }

      n_dot_l = dot(N, L)
      if n_dot_l > 0 {
        i += light.intensity * n_dot_l / (length(N) * length(L))
      }
    }
  }
  return i
}
```

Μεταφράζοντας τα παραπάνω σε κώδικα

- ❏ Και “κουμπώνουμε” τον υπολογισμό αντικαθιστώντας τη γραμμή:

```
TraceRay(O, D, t_min, t_max) {
    closest_t = inf
    closest_sphere = NULL
    for sphere in scene.spheres {
        t1, t2 = IntersectRaySphere(O, D, sphere)
        if t1 in [t_min, t_max] and t1 < closest_t {
            closest_t = t1
            closest_sphere = sphere
        }
        if t2 in [t_min, t_max] and t2 < closest_t {
            closest_t = t2
            closest_sphere = sphere
        }
    }
    if closest_sphere == NULL {
        return BACKGROUND_COLOR
    }
    return closest_sphere.color
}
```

Μεταφράζοντας τα παραπάνω σε κώδικα

```
TraceRay(O, D, t_min, t_max) {
    closest_t = inf
    closest_sphere = NULL
    for sphere in scene.spheres {
        t1, t2 = IntersectRaySphere(O, D, sphere)
        if t1 in [t_min, t_max] and t1 < closest_t {
            closest_t = t1
            closest_sphere = sphere
        }
        if t2 in [t_min, t_max] and t2 < closest_t {
            closest_t = t2
            closest_sphere = sphere
        }
    }
    if closest_sphere == NULL {
        return BACKGROUND_COLOR
    }
    return closest_sphere.color
}
```

με τον νέο κώδικα:

```
P = O + closest_t * D // Compute intersection
N = P - closest_sphere.center // Compute sphere normal at intersection
N = N / length(N)
return closest_sphere.color * ComputeLighting(P, N)
```

...και η συνέχεια επί της οθόνης!



Ανακεφαλαίωση

- ❏ Είδαμε τις βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες μοντελοποιούμε το φως σε έναν raytracer
- ❏ Τρία είδη πηγών φωτός - σημειακά, κατευθυνόμενα, περιβάλλον
- ❏ Δύο είδη επιφάνειας - ματ, γυαλιστερές
- ❏ Είδαμε πως μεταφράζουμε τα παραπάνω για την περίπτωση ματ επιφάνειας (= διάχυτη ανάκλαση)
- ❏ Στο επόμενο: Τι γίνεται για γυαλιστερές επιφάνειες



Στο εργαστήριο..

 Θα υλοποιήσουμε ό,τι περιγράψαμε!



Μελέτη στο βιβλίο - πηγές

- ❏ G.Gambetta, Basic Raytracing (<https://gabrielgambetta.com/computer-graphics-from-scratch/03-light.html>)
- ❏ (Αυτό το κεφάλαιο υπάρχει και στο eclass ως pdf).

Ερωτήσεις ... ;;;

