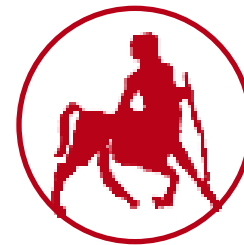
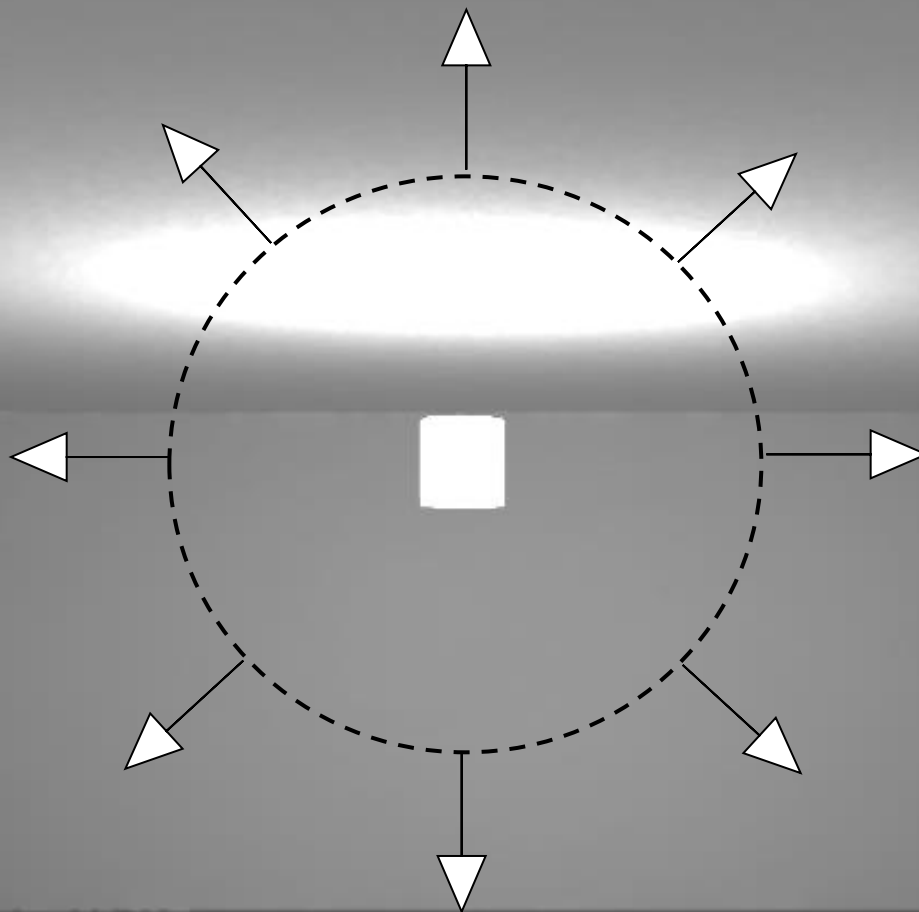


ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

Α. Τσαγκρασούλης
Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

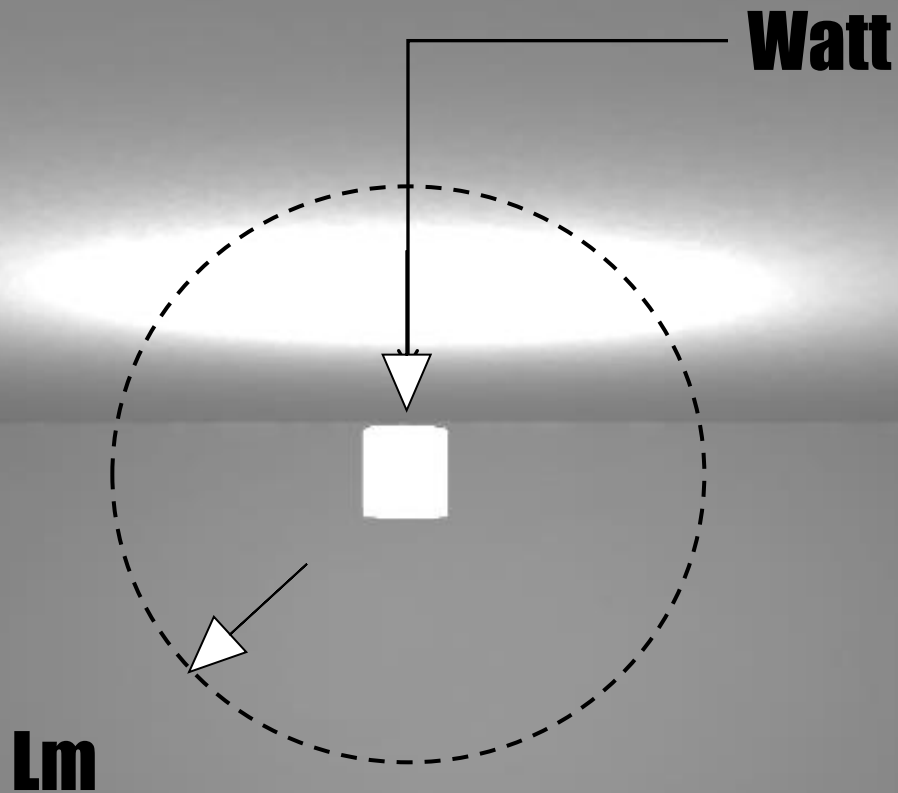


Το πλέον χαρακτηριστικό :
οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον φωτισμό είναι
Ψυχοφυσικές μονάδες
δηλ. λαμβάνουν υπόψη και την επίδραση του αισθητήριου
όργανου (π.χ. Lumen αντί Watt)



Φωτεινή ροή (Φ)
Flux

Μονάδα : Lumen (lm)



Φωτεινή δραστηκότητα
Luminous efficacy

Lm/Watt

ΦΩΤΕΙΝΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (K)

Η φασματική δραστηριότητα υπολογίζεται ως εξής :

$$K_{\lambda} = K_m V_{\lambda}$$

Φωτοπική φασματική
ευαισθησία

683 lm/watt. Στα 555 nm 1 Watt ορατής ακτινοβολίας
αντιστοιχεί σε 683 lumen
φωτεινής ροής. Αν χρησιμοποιηθεί η σκοτοπική καμπύλη τότε αυτή
Η τιμή γίνεται 1700 lm/W (στα 510 nm)

ΣΥΝΕΠΩΣ ΜΙΑ ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΠΗΓΗ (δηλ. ΚΙΤΡΙΝΓ στα 555 nm)
ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΤΗ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ. ΔΗΛ. ΤΗΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΝ ΥΠΟΘΕΣΟΥΜΕ ΟΤΙ ΤΟ ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

ΦΩΤΕΙΝΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (K)

Όταν έχουμε λευκές πηγές φωτισμού (δηλ. πολλά μήκη κύματος) τότε η φωτεινή δραστηκότητα υπολογίζεται ως εξής :

$$K = 683 \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} V_{\lambda} B_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} B_{\lambda} d\lambda}$$

Φασματική πυκνότητα ισχύος της πηγής (W/nm)

Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση στην περίπτωση του ήλιου (5800°K) καταλήγουμε με φωτεινή δραστηκότητα 93 lm/W με το 37% της εκπεμπόμενης ισχύος να βρίσκεται στο ορατό τμήμα του φάσματος. Αν π.χ. όλη η ισχύς που εκπεμπόταν βρισκόταν εντος του ορατού φάσματος τότε η δραστηκότητα ~ 250 lm/W.

ΣΥΝΕΠΩΣ ΜΑΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΕΙ ΑΠΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΨΗΣ ΝΑ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΠΗΓΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΝΑ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΣΤΟ ΟΡΑΤΟ.

ΦΩΤΕΙΝΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (Κ)

Ετσι αν σχεδιαστεί ένας λαμπτήρας που δεν εκπέμπει φως εκτος του ορατού φασματος μπορεί η φωτεινή του δραστηκότητα να κυμανθεί 250-370 lm/W με συζητήσιμη την χρωματική ποιότητα. Φαίνεται οτι η χρήση LEDs μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξησ της δραστηκότητας και συνεπώς της εξοικονόμησης ενέργειας.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ



Ισχύς : 35 W
Φωτεινή ροή (25° C) : 3320 Lumen
Luminous efficacy : 94 lm/W



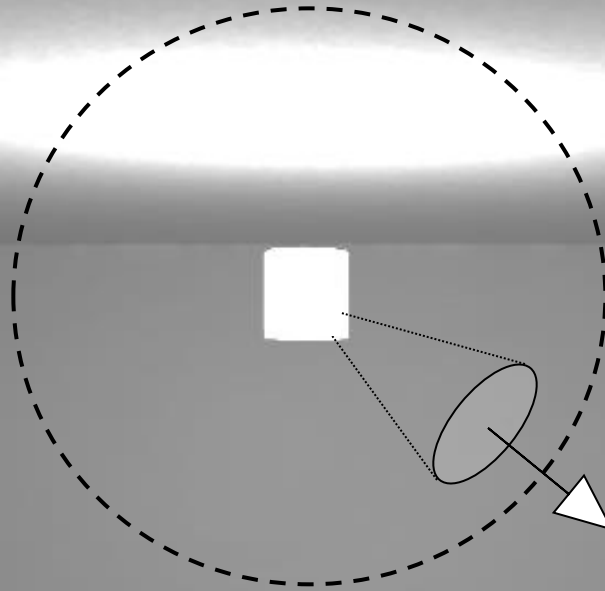
Ισχύς : 23 W
Φωτεινή ροή : 1600 Lumen (2700°K)
Luminous efficacy : 69.5 lm/W



Ισχύς : 10.5 W
Φωτεινή ροή : 810 Lumen (2800°K)
Luminous efficacy : 77.1 lm/W



Ισχύς : 57 W
Φωτεινή ροή : 915 Lumen
Luminous efficacy : 16 lm/W



$$I = \Phi / \text{στερεά γωνία} \rightarrow \text{lm/sterad} = \text{cd}$$

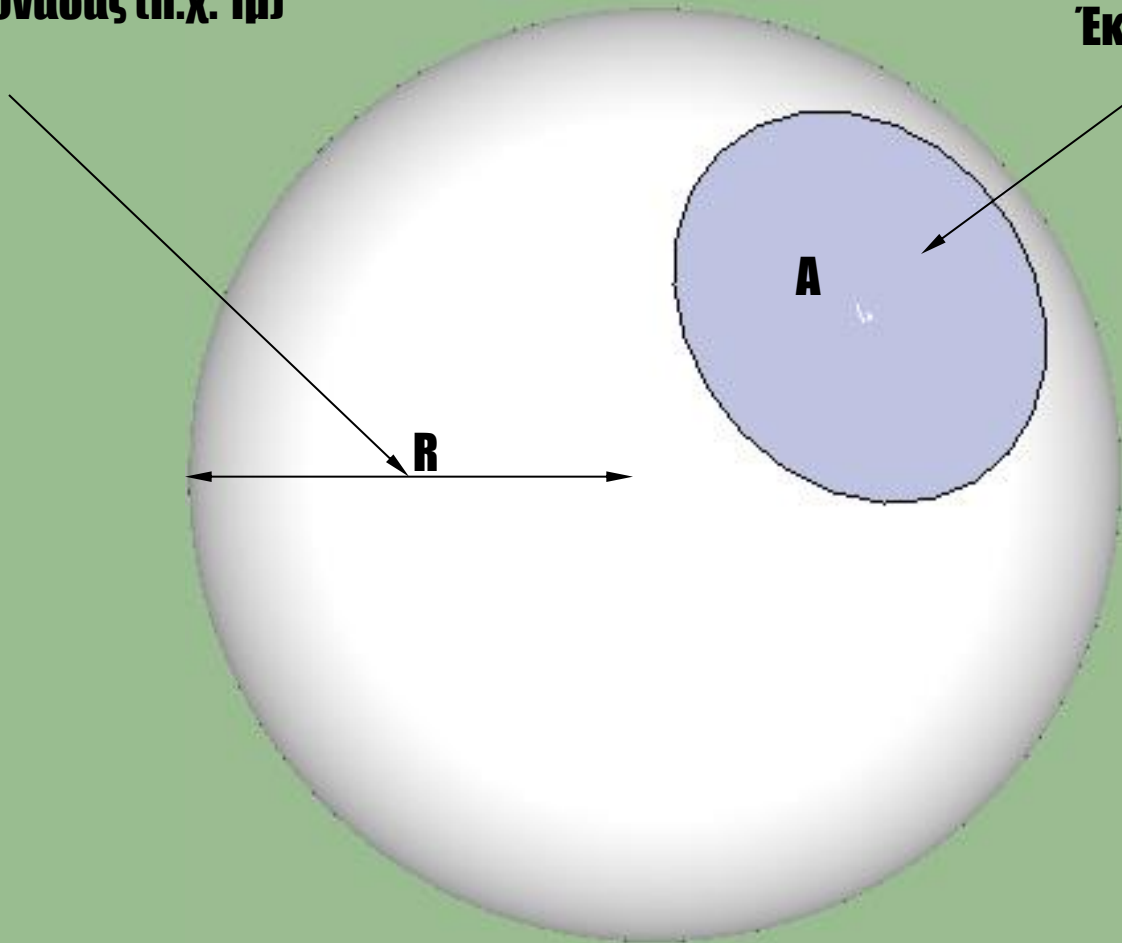
Ένταση (I)
Luminous Intensity

Μονάδα : Candela (cd)

Ορισμός στερεάς γωνίας

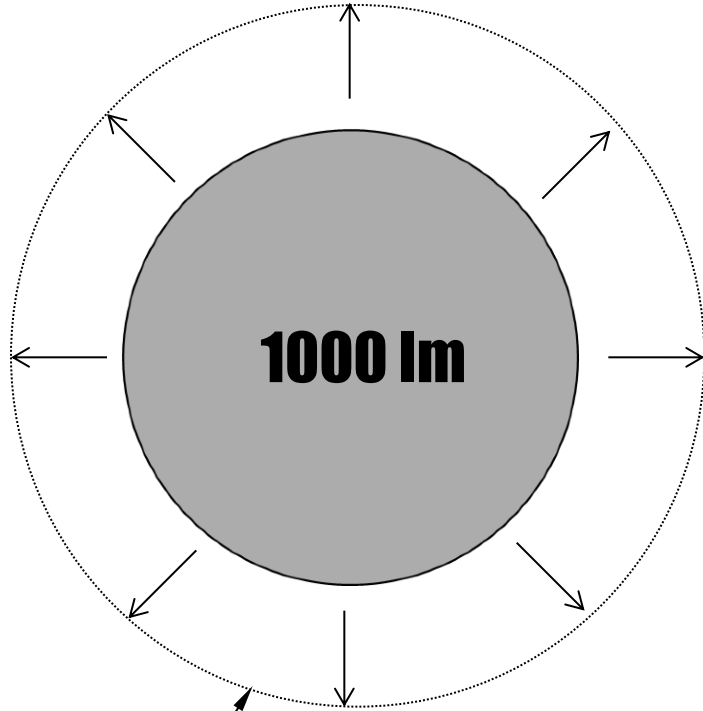
Ακτίνα μιας μονάδας (π.χ. 1μ)

Επιφάνεια μοναδιαίας Έκτασης (π.χ. 1μ²)



$$\text{Στερεά γωνία} = A/R^2$$

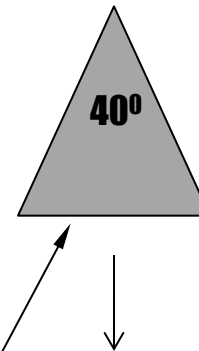
«Μαζεύοντας» την ροή σε μικρότερη γωνία, αυξάνεται η ένταση



Στερεά γωνία σφαίρας = 4π

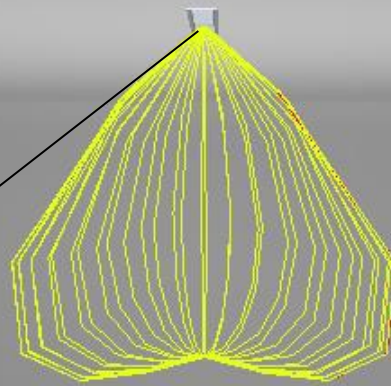
$$I = 1000 / 4\pi = \mathbf{79.5 \text{ cd}}$$

1000 lm



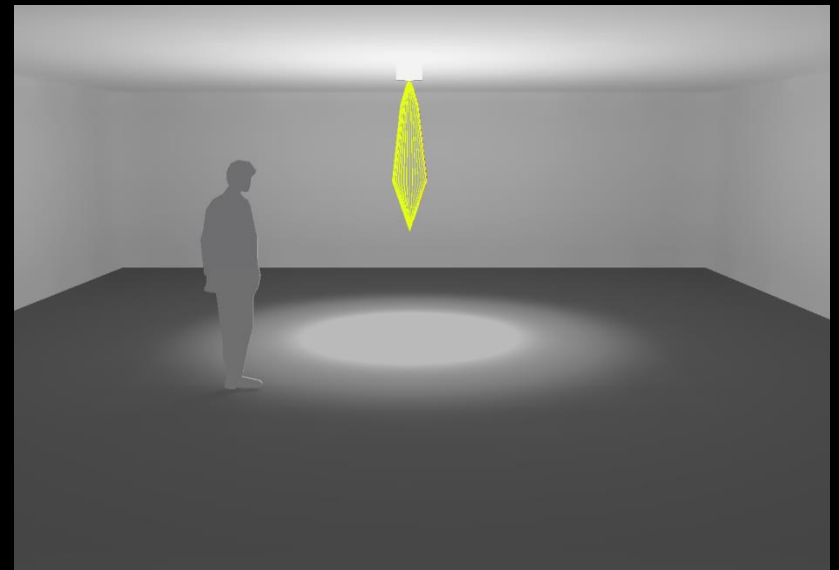
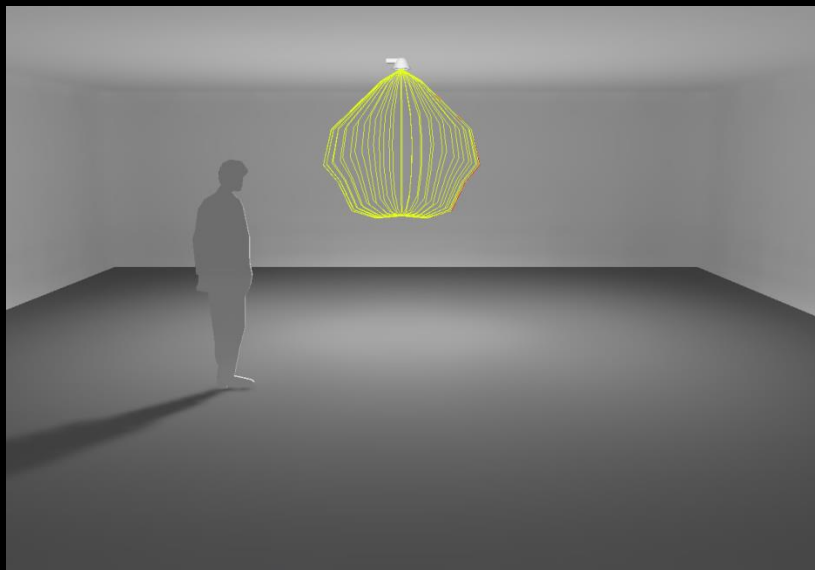
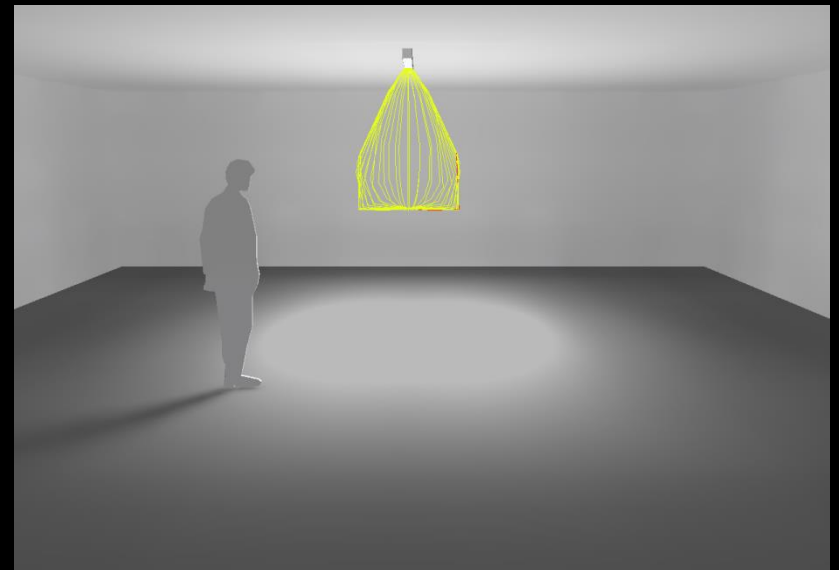
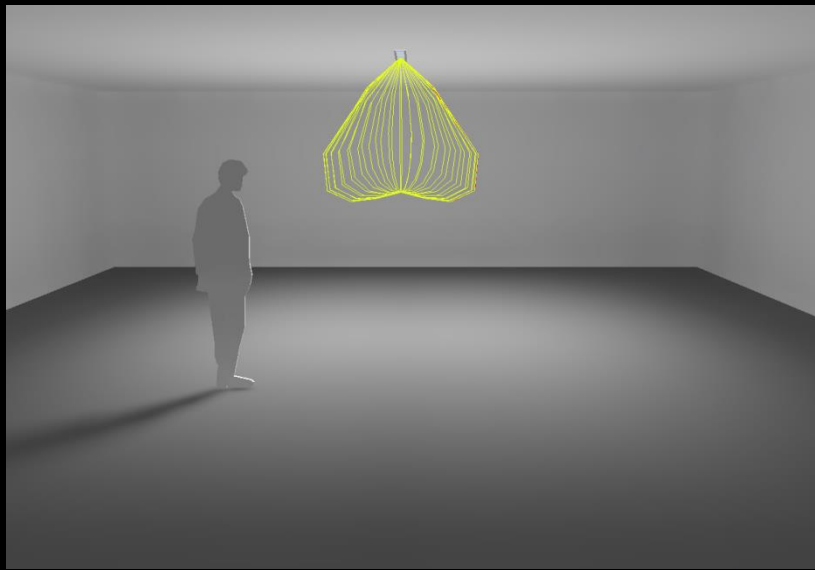
Στερεά γωνία = $2\pi(1 - \cos(40/2)) = 0.122\pi$

$$I = 1000 / 0.122\pi = \mathbf{2609 \text{ cd}}$$



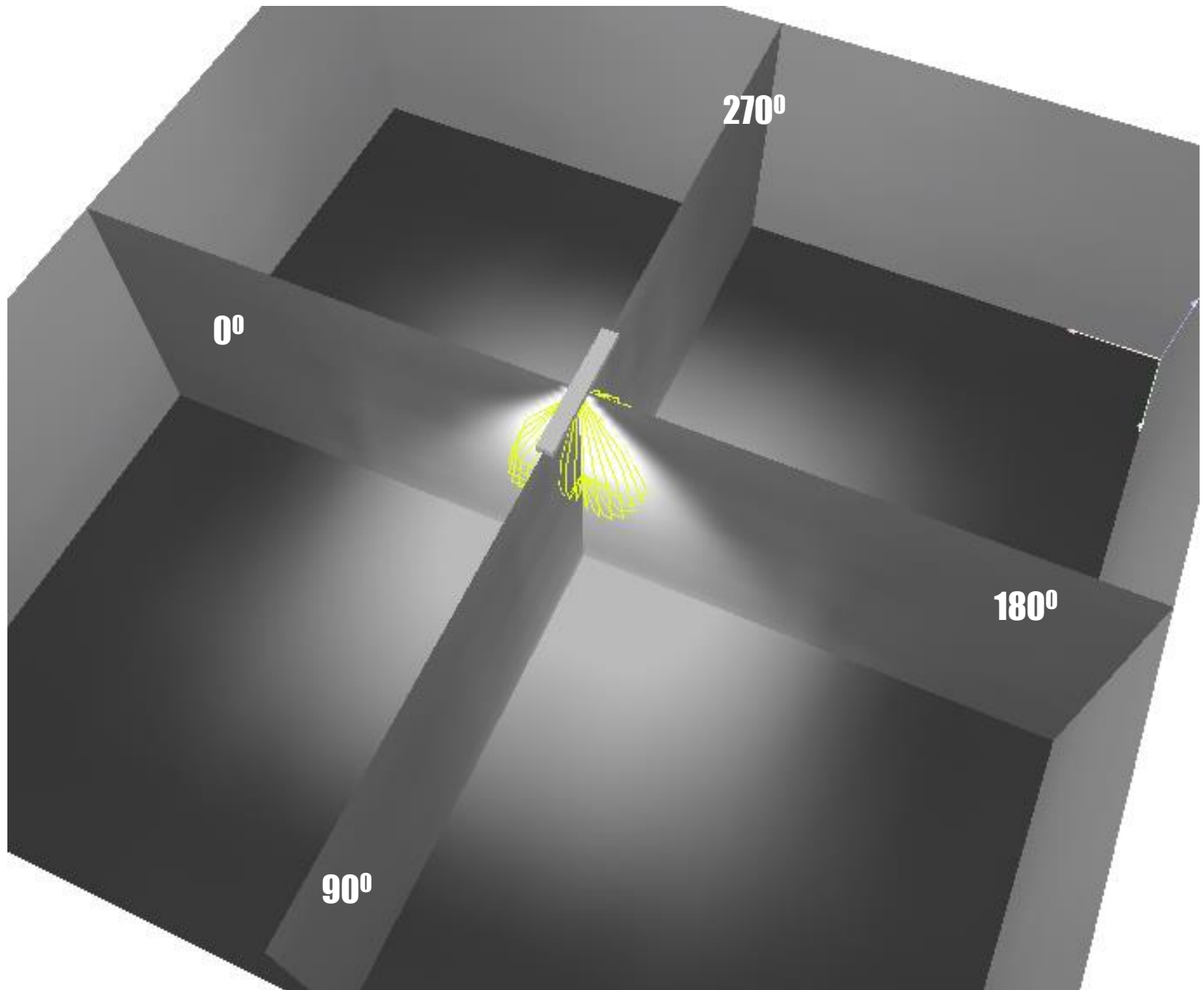
Η χωρική κατανομή της έντασης μας ενδιαφέρει για τον υπολογισμό
σειράς παραμέτρων
σχεδιασμού (έντασης, ομοιομορφίας, θάμβωσης κλπ)

Κατανομή της έντασης (φωτομετρικό διάγραμμα)

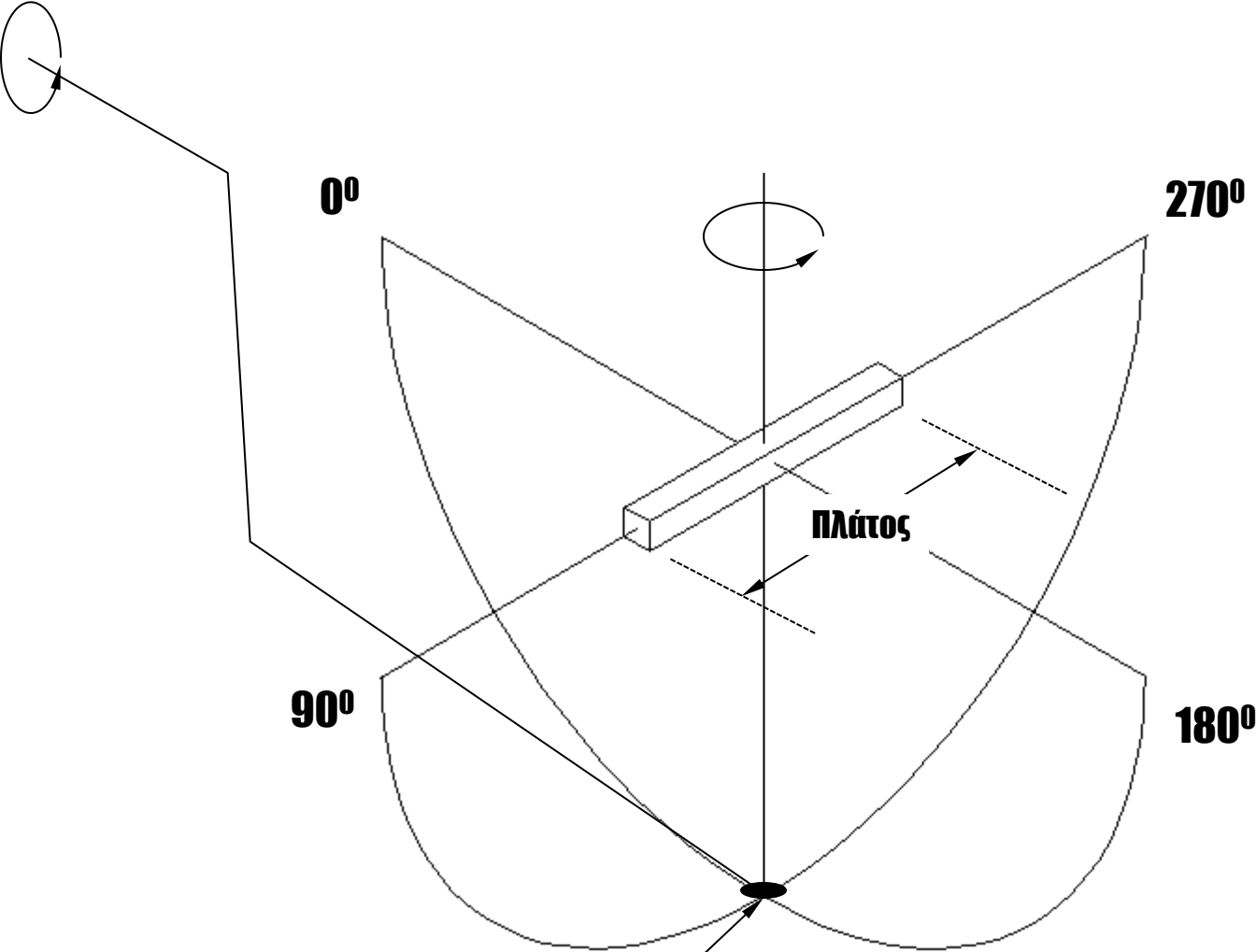


Παρατηρήστε τις διαφορές

Τρισδιάστατη αναπαράσταση



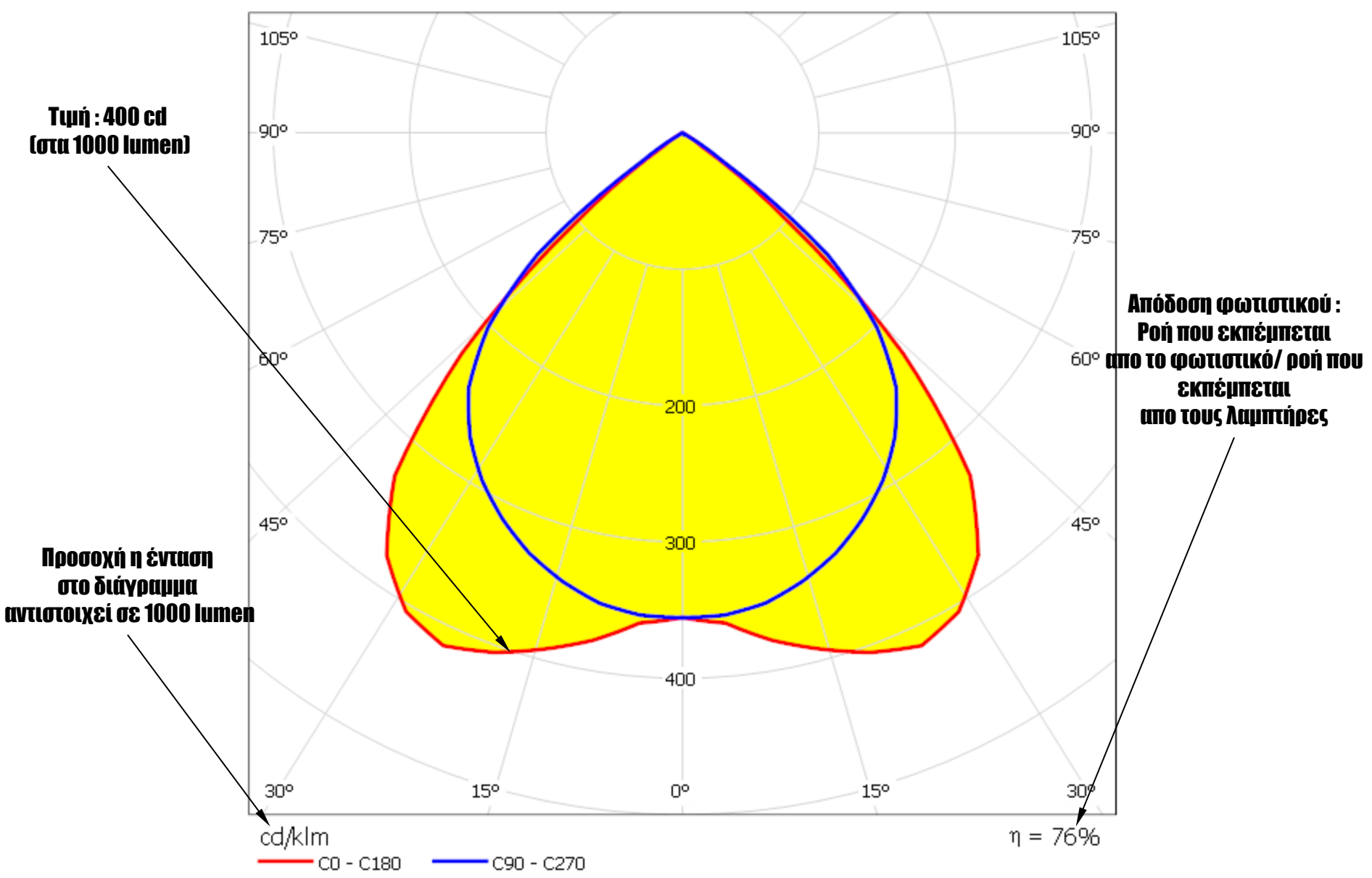
Η μέτρηση γίνεται με γωνιοφωτόμετρο, ικανό να μετρά τιμές φωτεινής έντασης.



Αισθητήρας

Το συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιείται στην φωτομετρία τύπου C (δηλ. για φωτιστικά εσωτερικών χώρων/δρόμων). Η φωτομετρία τύπου B χρησιμοποιείται σε προβολείς ενώ η A για φωτιστικά αυτοκινήτων.

Συνήθως παρουσιάζονται δύο επίπεδα μετρήσεων (0°-180° & 90°-270°)



Χρησιμοποιείται είτε η:

1. σχετική φωτομέτρηση δηλ. χρήση ενός λαμπτήρα. Αν αυτός αλλάξει, η φωτομετρική καμπύλη διατηρείται π.χ. φωτιστικά που χρησιμοποιούν γραμμικούς λαμπτήρες φθορισμού.

2. Απόλυτη φωτομέτρηση. Π.χ. Σε φωτιστικά με πηγές LED επειδή η απόδοση τους εξαρτάται από τις συνθήκες (θερμοκρασία) χρειάζεται να μετρηθεί με απόλυτο τρόπο η φωτεινή ροή από το φωτιστικό

Τα φωτομετρικά αποτελέσματα εγγράφονται σε αρχείο (ascii). Τρεις οι κύριες μορφοποιήσεις:

- 1. IES (*.ies) και**
- 2. EULUMDAT (*.ldt).**
- 3. TM14**

Ανατομία ενός IES αρχείου (2)

```
IESNA:LM-63-1995  
[TEST] LVE0253900  
[MANUFAC] XXXXXXXX  
[LUMCAT]  
[LUMINAIRE] XXXXXXXX  
[LAMP] HAL-MR50-36-45W  
[BALLAST] N/A  
[OTHER] B-Angle = 0.00 B-Tilt = 0.00 2005-11-09  
TILT=NONE
```

```
1 1060.00 1 91 1 1 2 -0.050 0.000 0.000  
1.0 1.0 45.00  
0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00  
8.00 9.00  
10.00 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00  
18.00 19.00
```

Ισχύς

..... Πλάτος Μήκος Ύψος

**Ανάλογα με το σχήμα το φωτιστικού ρυθμίζονται οι διαστάσεις.
Π.χ. Αρνητικό πλάτος αντιστοιχεί στη διάμετρο κυκλικού φωτιστικού**

Ανατομία ενός IES αρχείου (3)

```
IESNA:LM-63-1995  
[TEST] LVE0253900  
[MANUFAC] XXXXXXXX  
[LUMCAT]  
[LUMINAIRE] XXXXXXXX  
[LAMP] HAL-MR50-36-45W  
[BALLAST] N/A  
[OTHER] B-Angle = 0.00 B-Tilt = 0.00 2005-11-09  
TILT=NONE
```

```
1 1060.00 1 91 1 1 2 -0.050 0.000 0.000  
1.0 1.0 45.00
```

```
0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00  
8.00 9.00  
10.00 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00  
18.00 19.00  
.....
```

Γωνίες που πραγματοποιείται η μέτρηση (δηλ. απο 0^ο-90^ο με βήμα 1^ο (Για αυτό έχουν δηλωθεί 91 γωνίες)

Ανατομία ενός IES αρχείου (4)

```

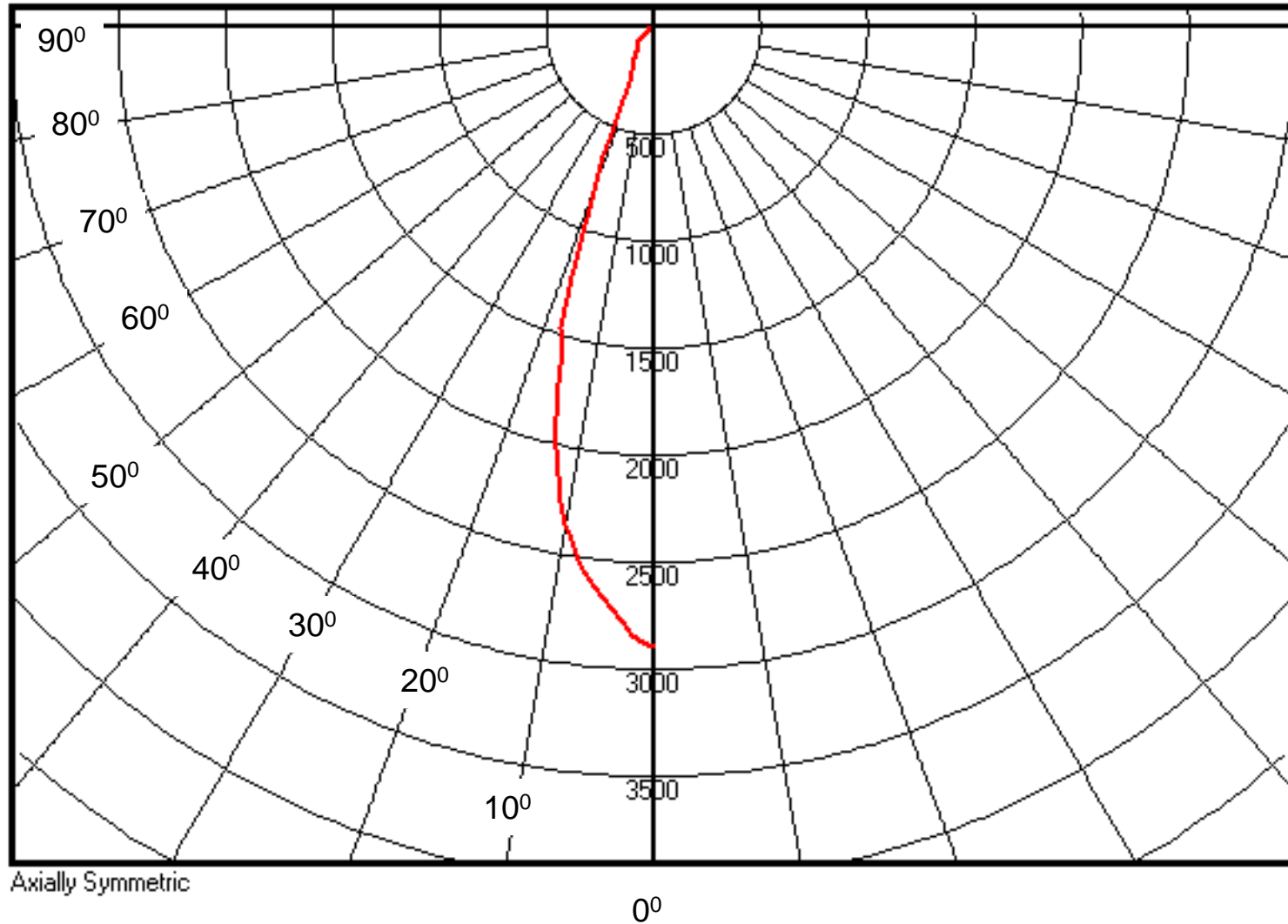
TILT=NONE
1 1060.00 1 91 1 1 2 -0.050 0.000 0.000
1.0 1.0 45.00
    0.00  1.00  2.00  3.00  4.00  5.00  6.00  7.00
8.00  9.00
    10.00 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00
18.00 19.00
    20.00 21.00 22.00 23.00 24.00 25.00 26.00 27.00
28.00 29.00
    30.00 31.00 32.00 33.00 34.00 35.00 36.00 37.00
38.00 39.00
    40.00 41.00 42.00 43.00 44.00 45.00 46.00 47.00
48.00 49.00
    50.00 51.00 52.00 53.00 54.00 55.00 56.00 57.00
58.00 59.00
    60.00 61.00 62.00 63.00 64.00 65.00 66.00 67.00
68.00 69.00
    70.00 71.00 72.00 73.00 74.00 75.00 76.00 77.00
78.00 79.00
    80.00 81.00 82.00 83.00 84.00 85.00 86.00 87.00
88.00 89.00
    90.00
    0.00
    2892.42  2877.48  2839.42  2784.83  2725.15
2675.33  2629.54

```

Μία οριζόντια γωνία. Αν δηλωθεί το 0 τότε το φωτιστικό έχει συμμετρία σε όλα τα επίπεδα (C-planes) μέτρησης

Ακολουθούν τιμές γωτεινής έντασης

Ανατομία ενός IES αρχείου (5)



Λεπτομερής περιγραφή : <http://www.cn-hopu.com/upload/file/IES.pdf>

Ανατομία ενός LDT αρχείου (1)

Το αρχείο είναι το ίδιο με το προηγούμενο

XXXXXXXX

1

1

1

0.0

91

0.0

LVE0253900[circular]|circular

XXXXXXXX

HAL-MR50-36-45W

ies2eulumdat.appspot.com/4.13.2//undefined

50.0

0.0

0.0

50.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

100.0

99.9

1.0

0.0

1

1

HAL-MR50-36-45W

1060.00

Όνομα κατασκευαστή

Τυπος φωτιστικού (1=σημείο μεσυμμετρική κατανομή σε κάθετο άξονα, νομα κατασκευαστή, 2=γραμμικό φωτιστικό κοκ)

Συμμετρία (0=χωρίς συμμετρία, 1=συμμετρική κατανομή σε κάθετο άξονα, κοκ)

Βήμα ανάμεσα στιςοριζόντιες γωνίες

Αριθμός οριζοντιων γωνιών (C-planes)

Όνομα αναφοράς

Όνομα φωτιστικού

Λαμπτήρας

Ανατομία ενός LDT αρχείου (2)

XXXXXXXX

1
1
1
0.0
91
0.0
LVE0253900[circular]|circular
XXXXXXXX
HAL-MR50-36-45W
ies2eulumdat.appspot.com/4.13.2//undefined
50.0
0.0
0.0
50.0
0.0
0.0
0.0
0.0
100.0
99.9
1.0
0.0
1
1
HAL-MR50-36-45W
1060.00

Αριθμός κάθετων γωνιών
Βήμα ανάμεσα στις κάθετες γωνίες

Μήκος ή διάμετρος φωτιστικού (mm)
Πλάτος φωτιστικού (αν 0 τότε κυκλικό)
Πυψος φωτιστικού
Μήκος ή διάμετρος φωτεινής επιφάνειας (mm)
Πλάτος φωτεινής επιφάνειας (0 → κυκλικό)
Ύψος φωτεινής επιφάνειας στα επίπεδα C0/C90/C180/C270

Ποσοστό φωτεινής ροής προς τα κάτω
Απόδοση φωτιστικού

Αριθμός λαμπτήρα
Τύπος λαμπτήρα
Συνολική Φωτεινή ροή λαμπτήρων

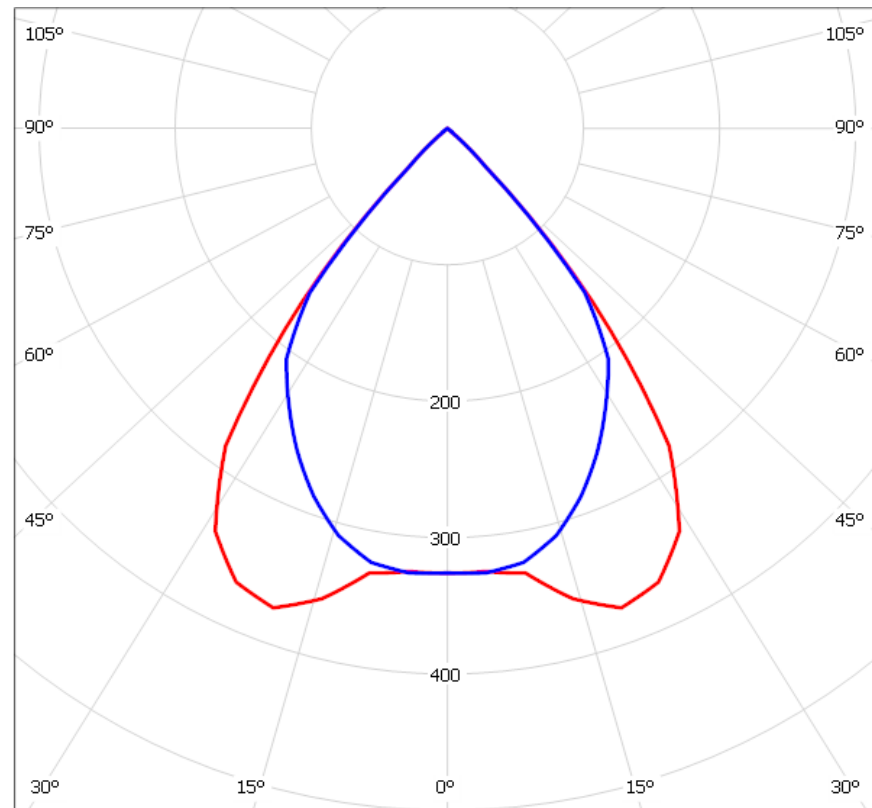
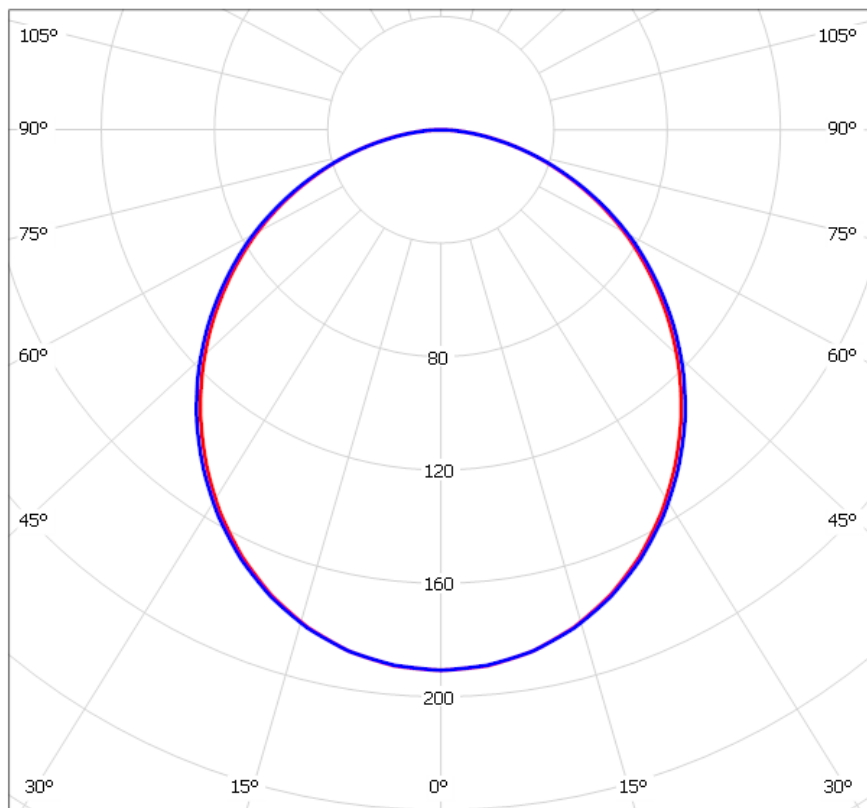
Ανατομία ενός LDT αρχείου (3)

45.00	←	Ισχύς
0.792692		
0.813942		
0.858892		
0.893609		
0.908618		
0.928914		
0.943778		
0.956563		
0.964448		
0.973014		
0.0	←	Οριζόντια γωνία
0.0		
1.0		
2.0		
3.0		
4.0		
5.0		
6.0		
7.0		
8.0	←	Κάθετες γωνίες μέτρησης έντασης
9.0		
10.0		
11.0		
12.0		
13.0		
14.0		
15.0		
16.0		

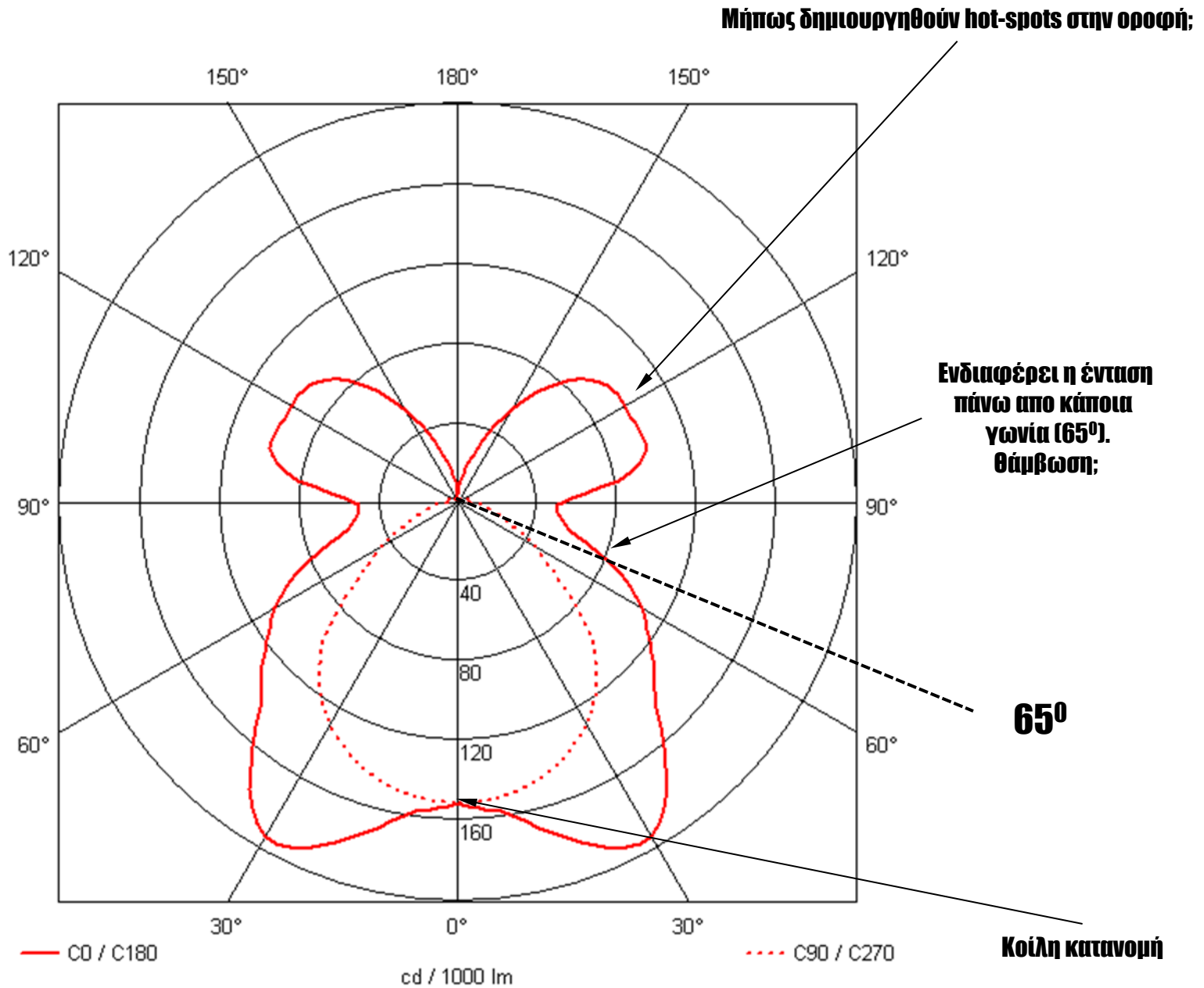
Στη συνέχεια ακολουθούν οι τιμές φωτεινής έντασης για τις αντίστοιχες γωνίες

Λεπτομερής περιγραφή : <http://www.helios32.com/Eulumdat.htm>

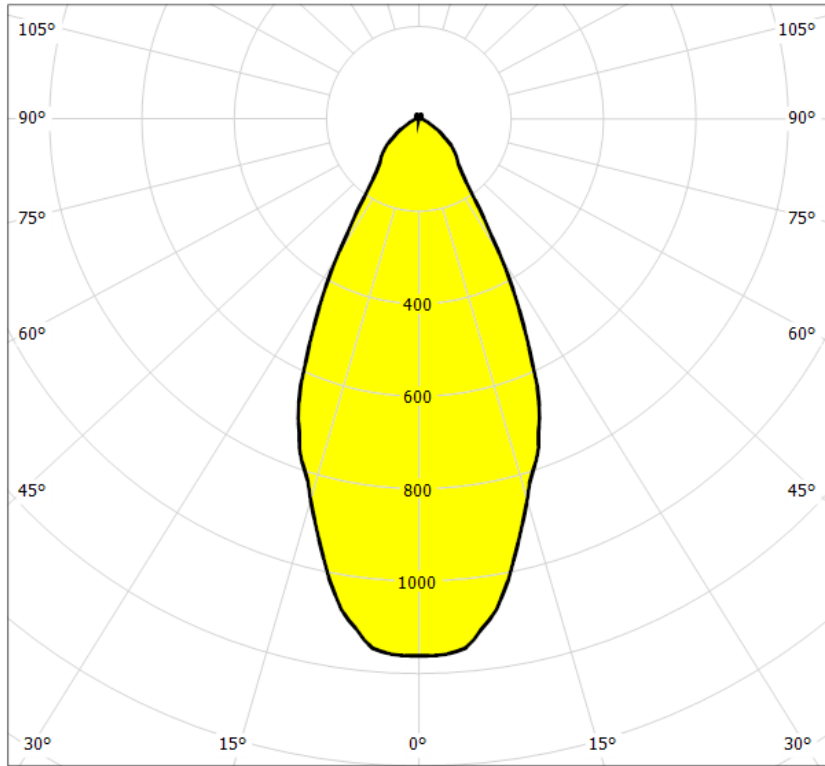
Ποιο φωτιστικό έχει διαχύτη και ποιό ανακλαστήρα ;



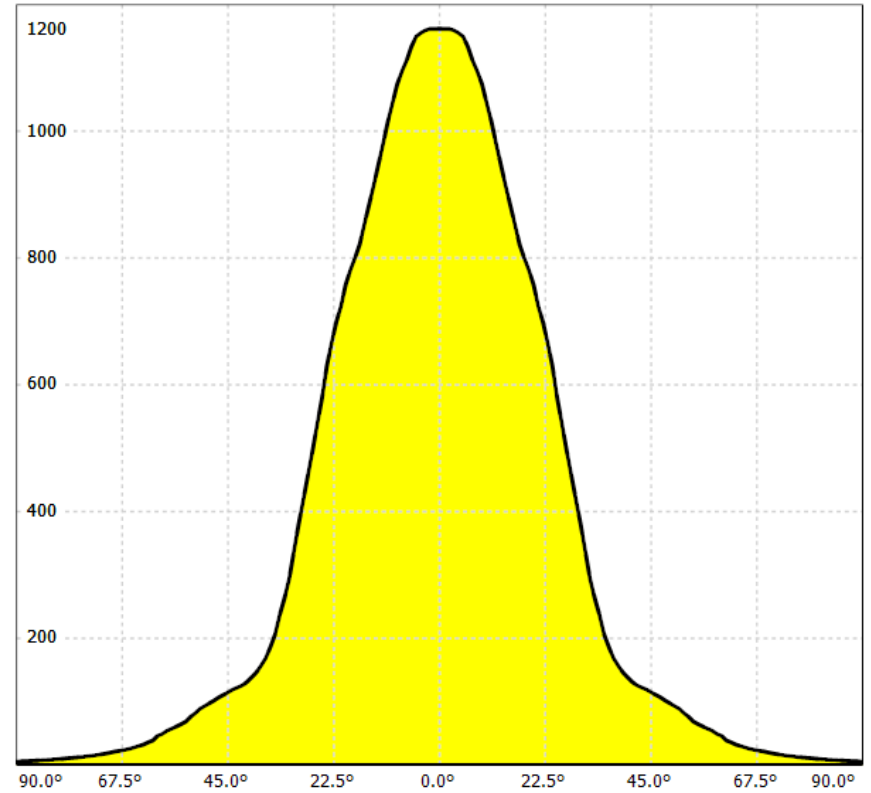
Επιπρόσθετα :



Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος

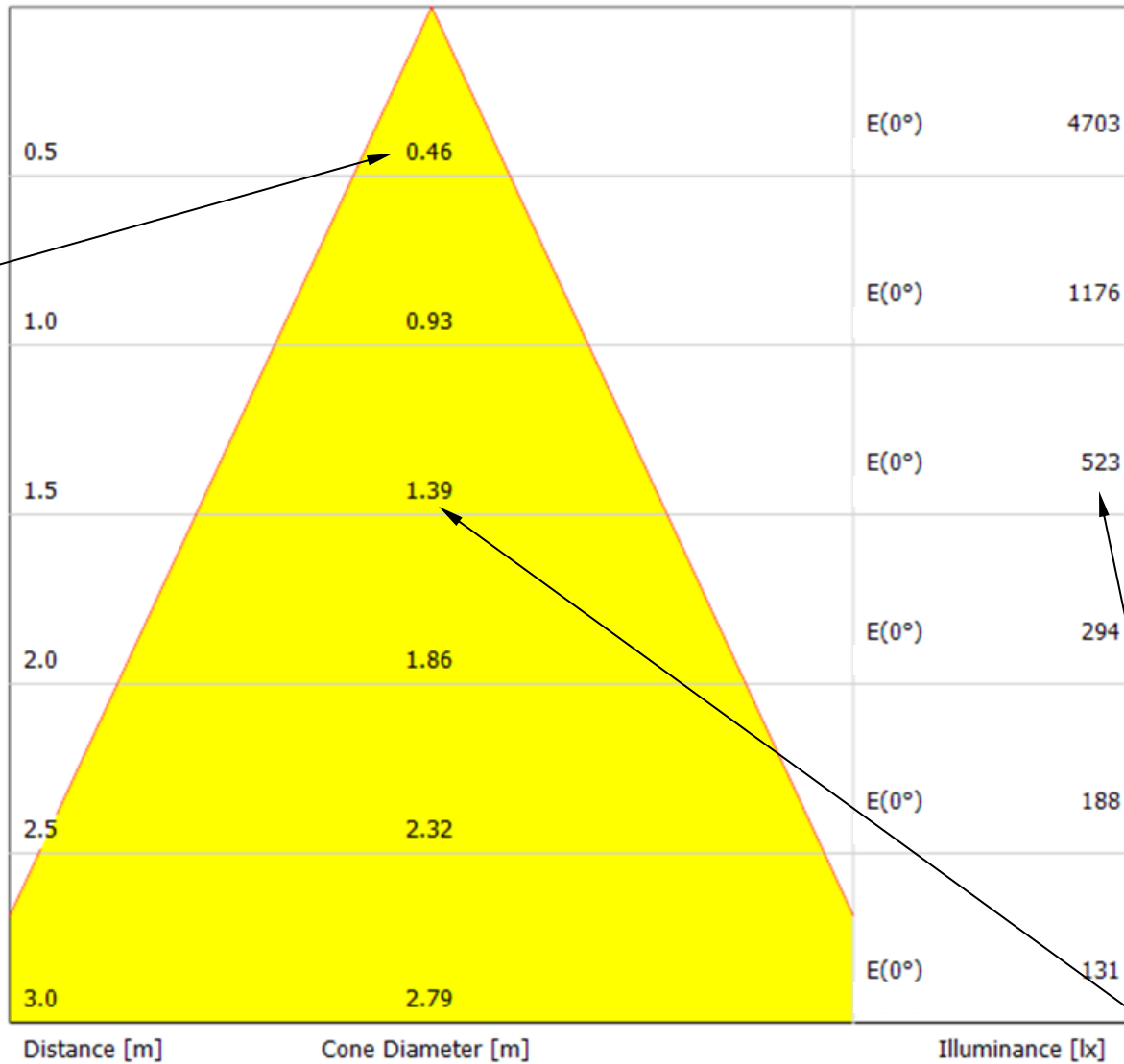


Σε πολικές συντεταγμένες



Σε καρτεσιανές συντεταγμένες

Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος

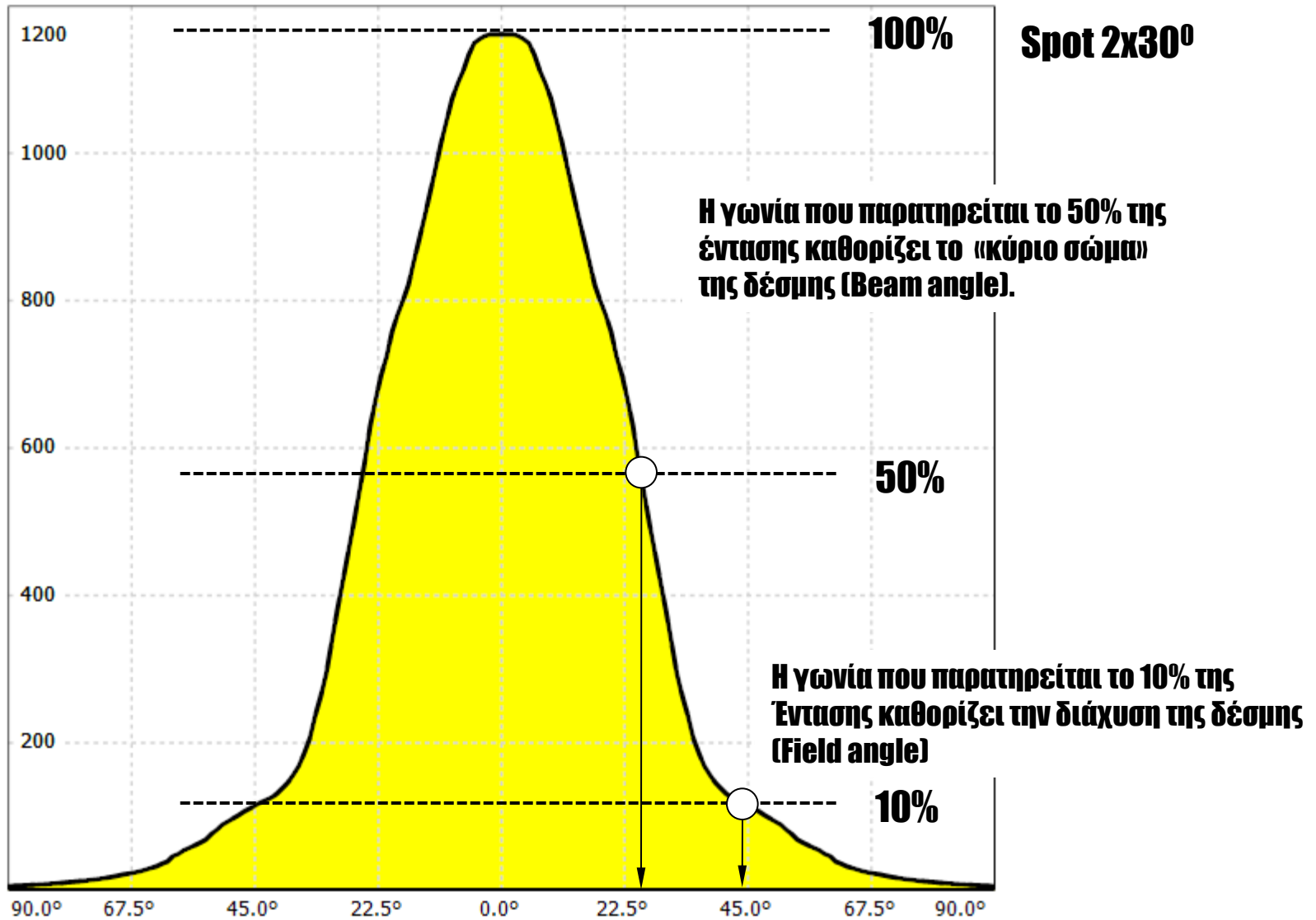


Διάμετρος δέσμης
στα 0.5 μ

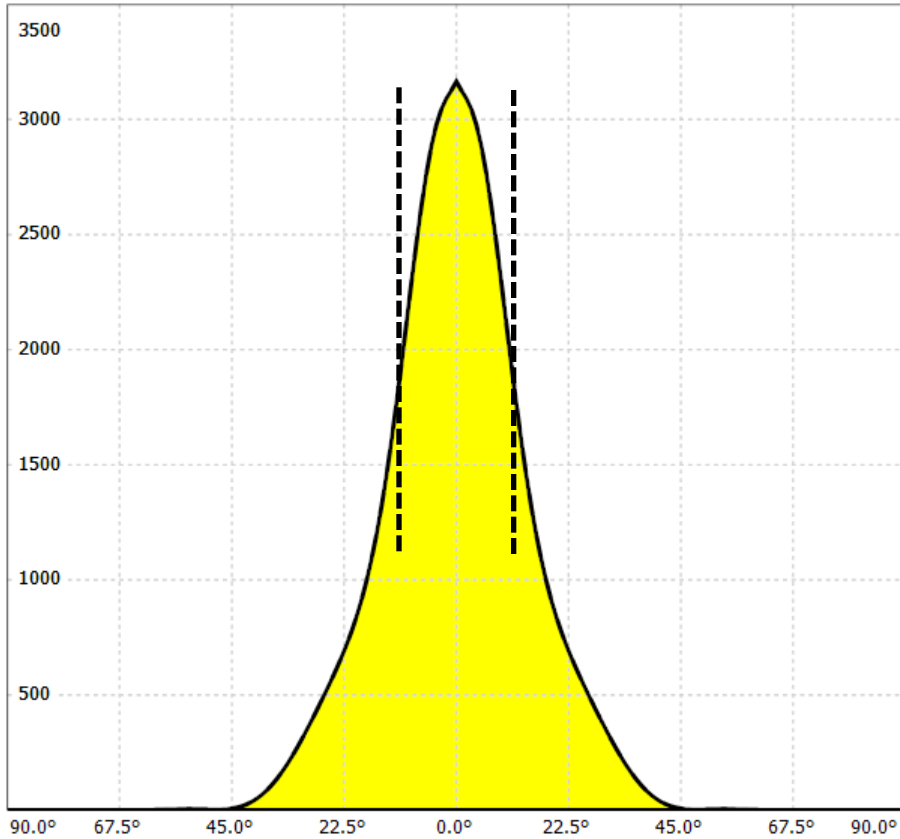
Κωνικό

**Φωτισμός
Στο κέντρο της δέσμης**

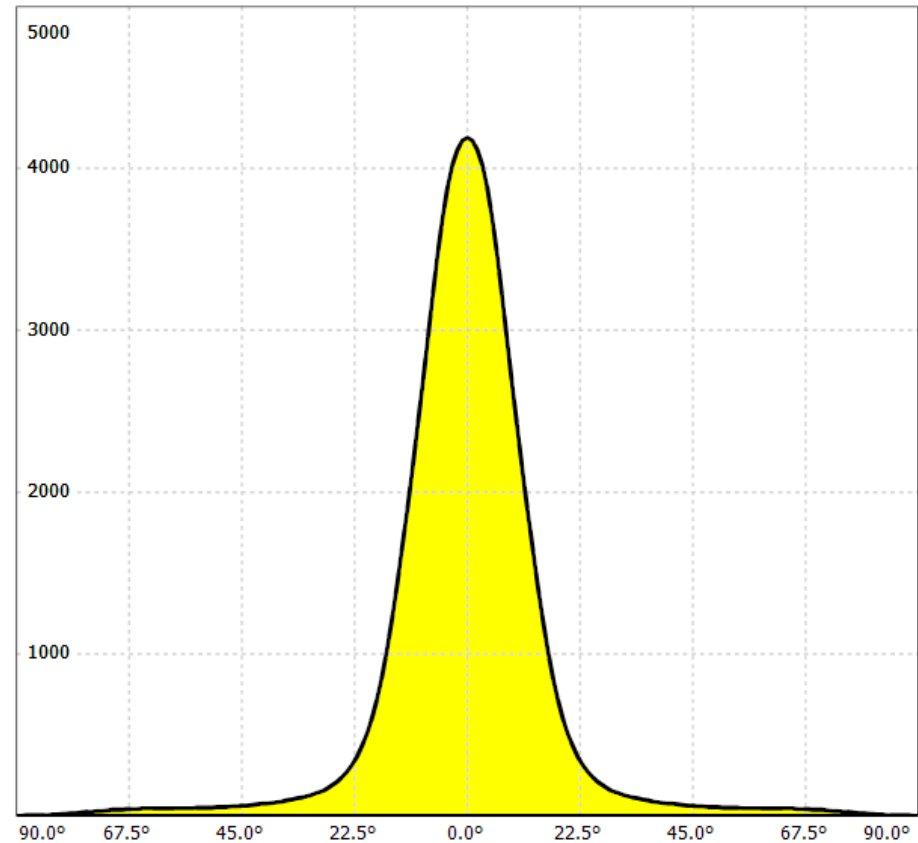
Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος



Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος

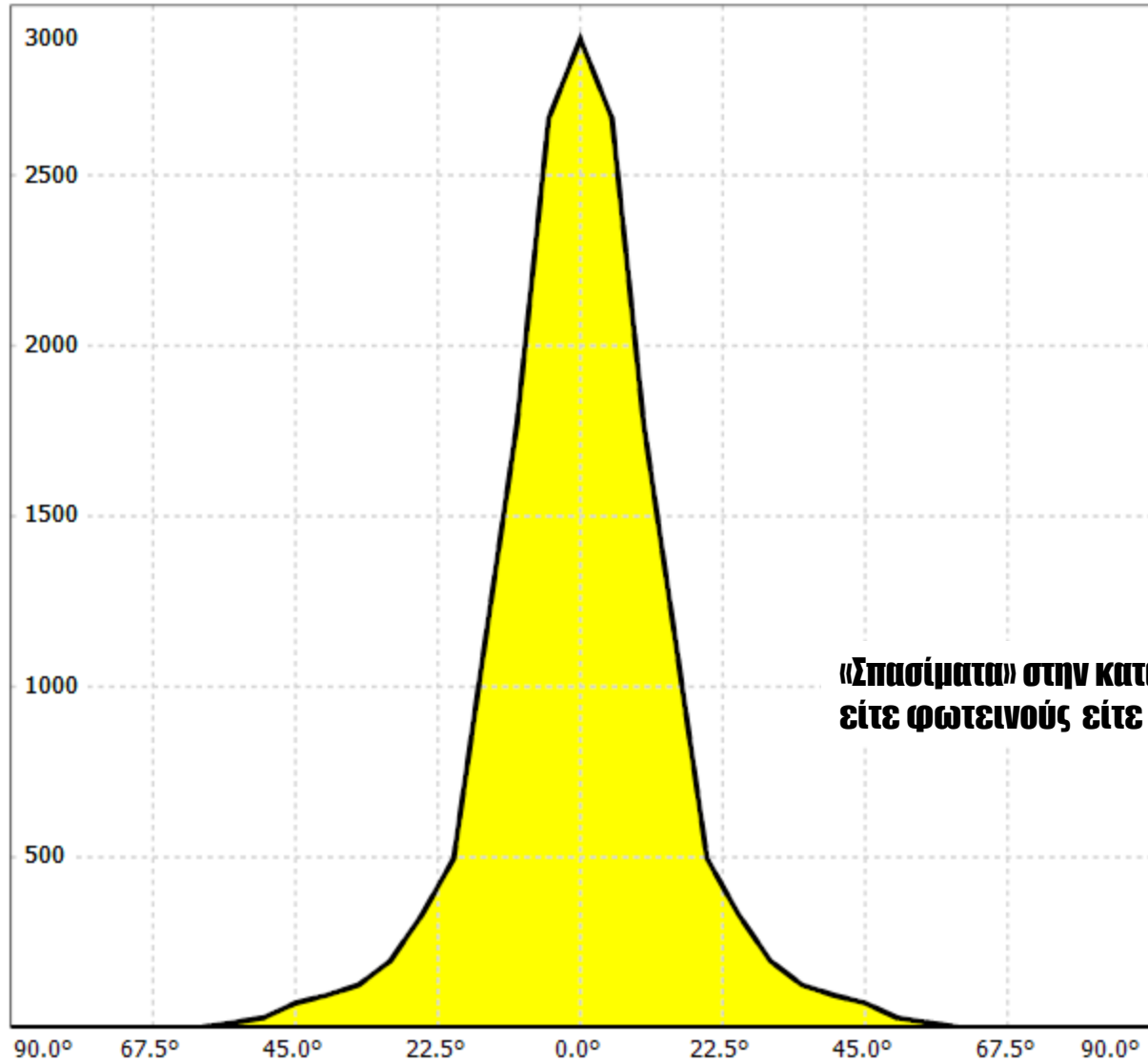


**Η δέσμη δεν επεκτείνεται πολύ.
Καλός οπτικός έλεγχος της περιοχής που φωτίζεται**

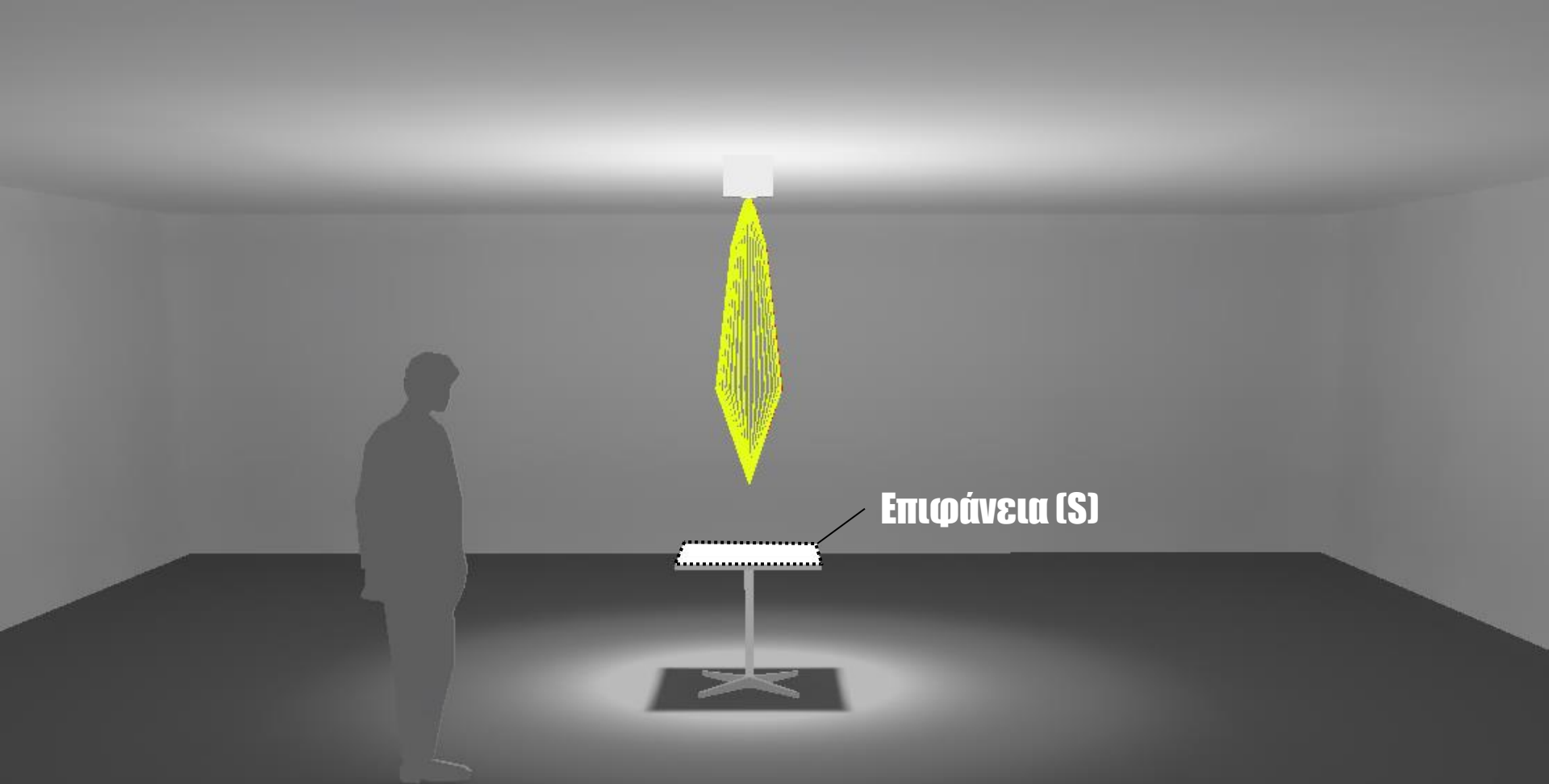


Έντονο κέντρο , σε σχετικά μεγάλο πεδίο

Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος



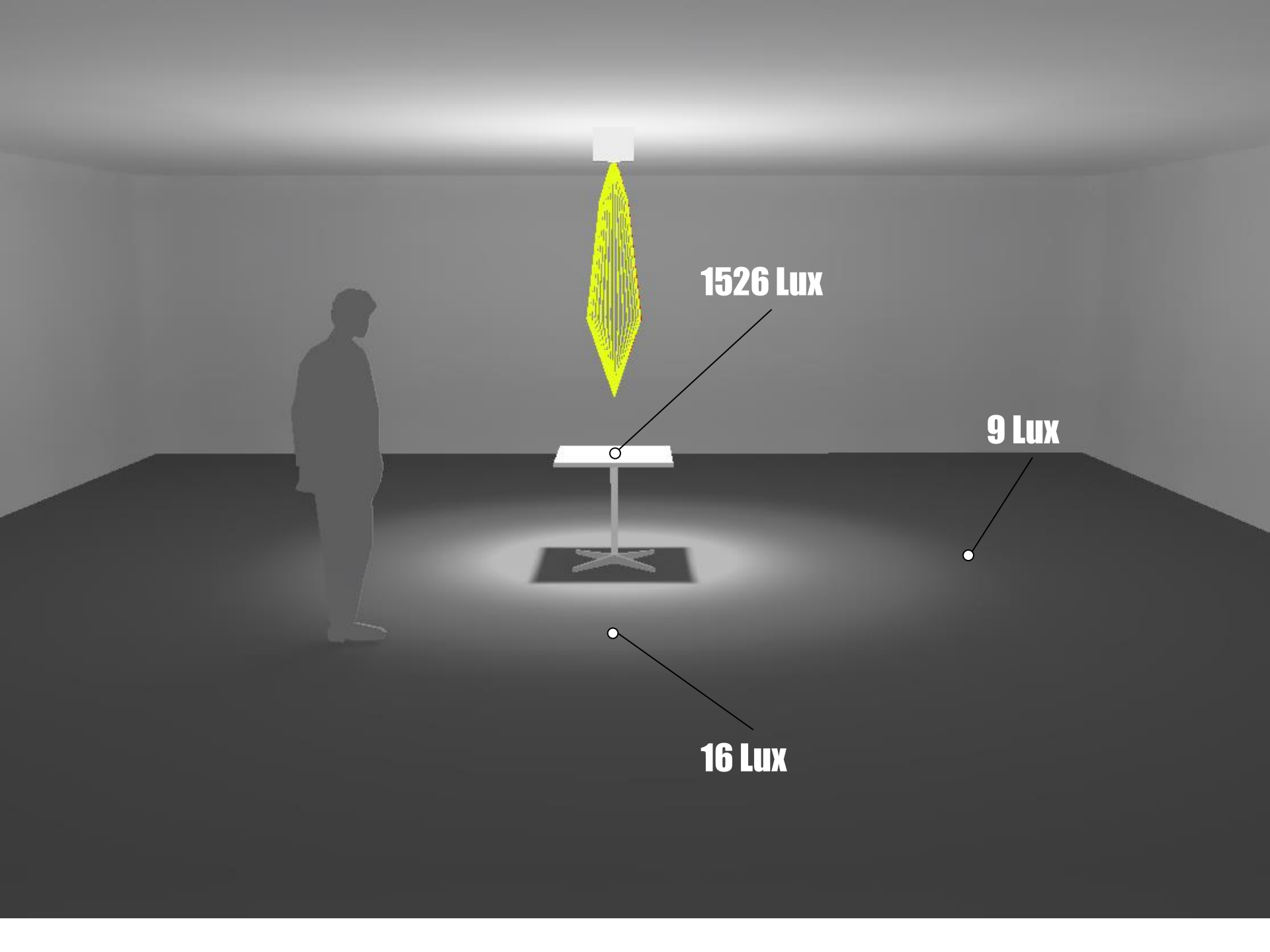
**«Σπασίματα» στην κατανομή προκαλούν
είτε φωτεινούς είτε σκοτεινούς δακτύλιους**



$$E = \text{Ροή} / \text{επιφάνεια} = \Phi / S \rightarrow \text{Lumen} / \text{m}^2 = \text{Lux}$$

Φωτισμός (E)
Illuminance

Μονάδα : Lux

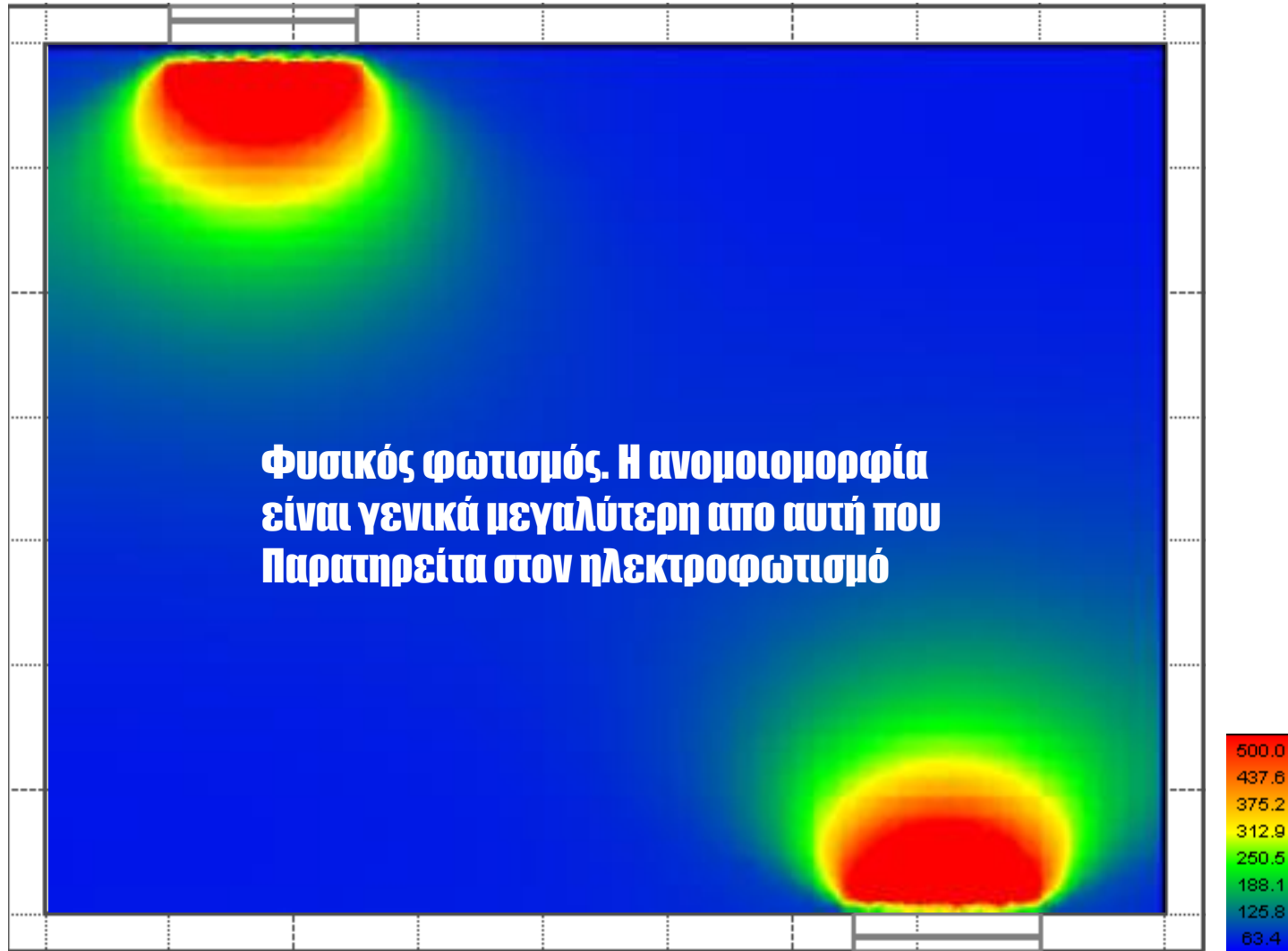


1526 Lux

9 Lux

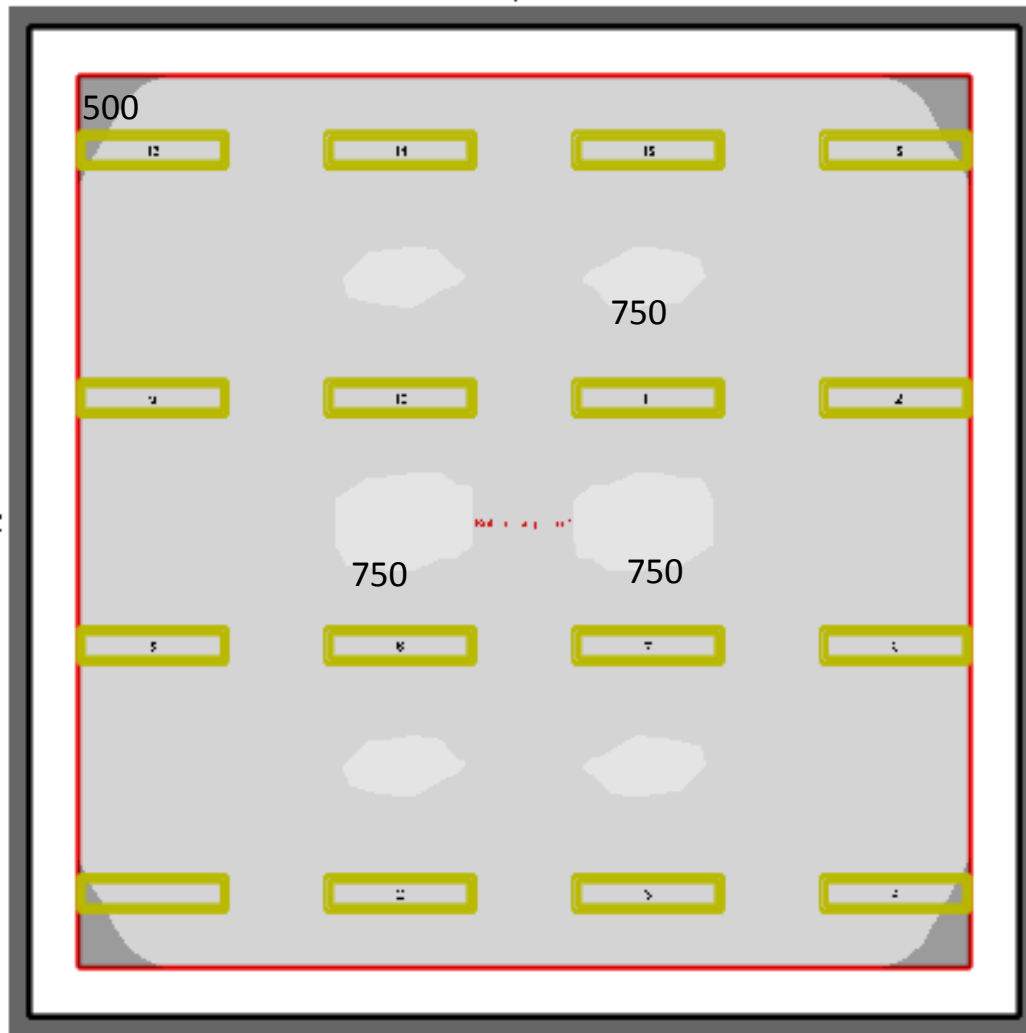
16 Lux

Ομοιομορφία κατανομής



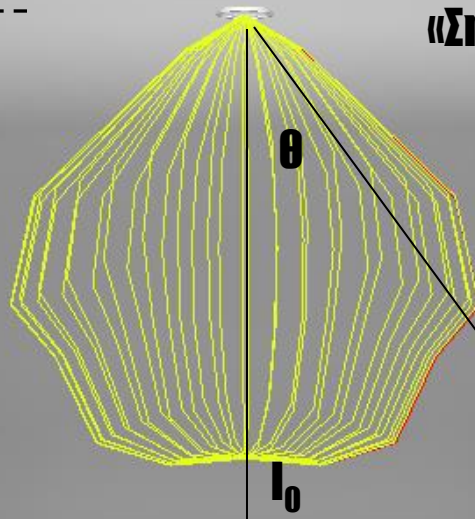
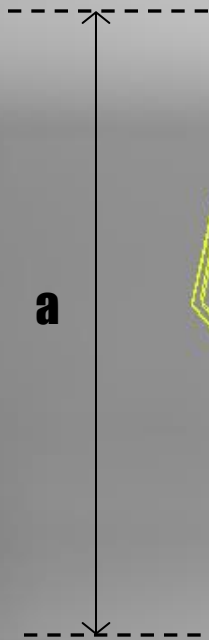
Κατανομή τιμών φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας

Τρόποι παρουσίασης φωτομετρικού διαγράμματος



Κατανομή τιμών φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας

«Σημειακή» πηγή



I_0

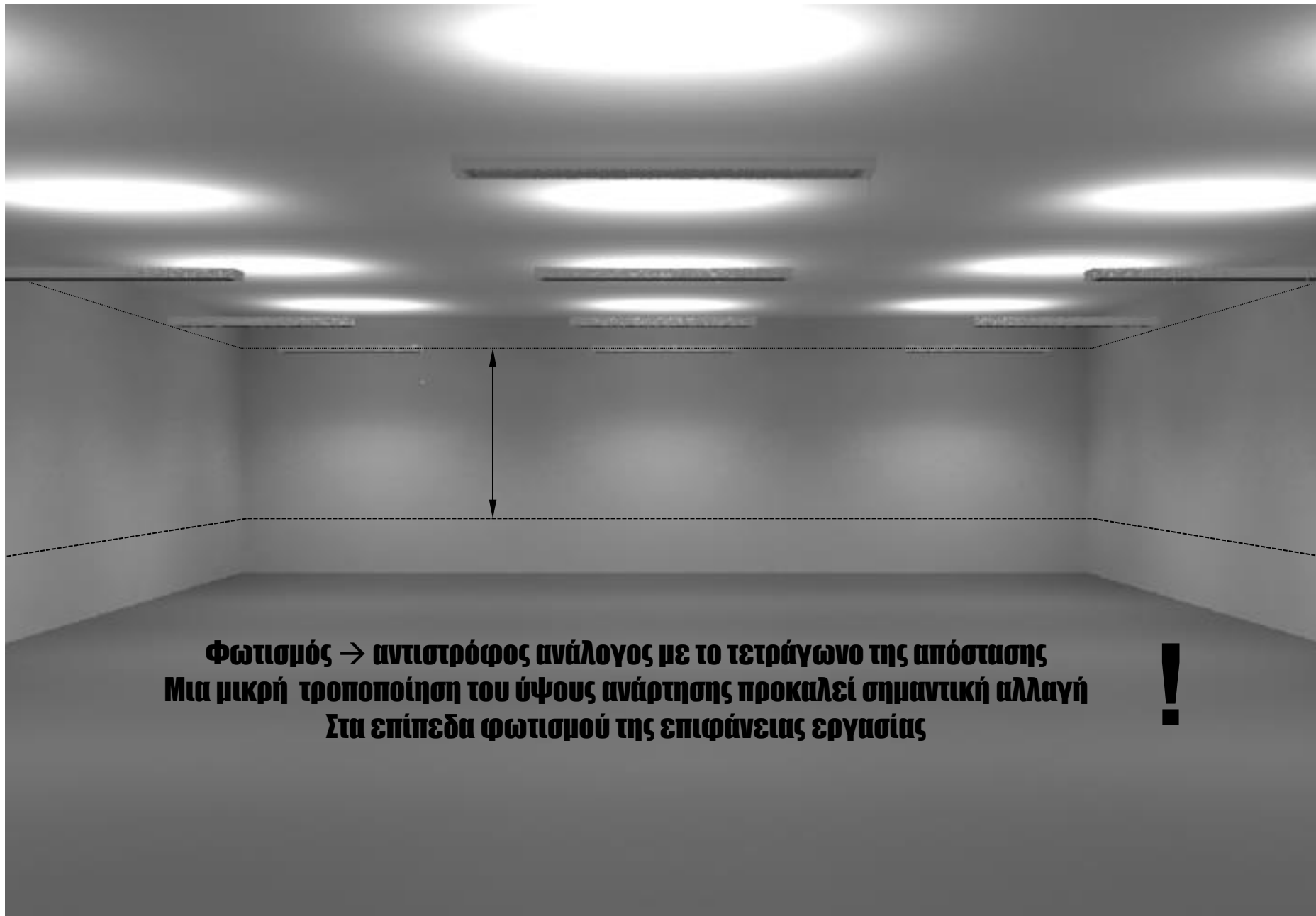
I_θ

$E = I_0 / a^2$

$E = I_\theta \cos^3 \theta / a^2$

βλ. επόμενη διαφάνεια

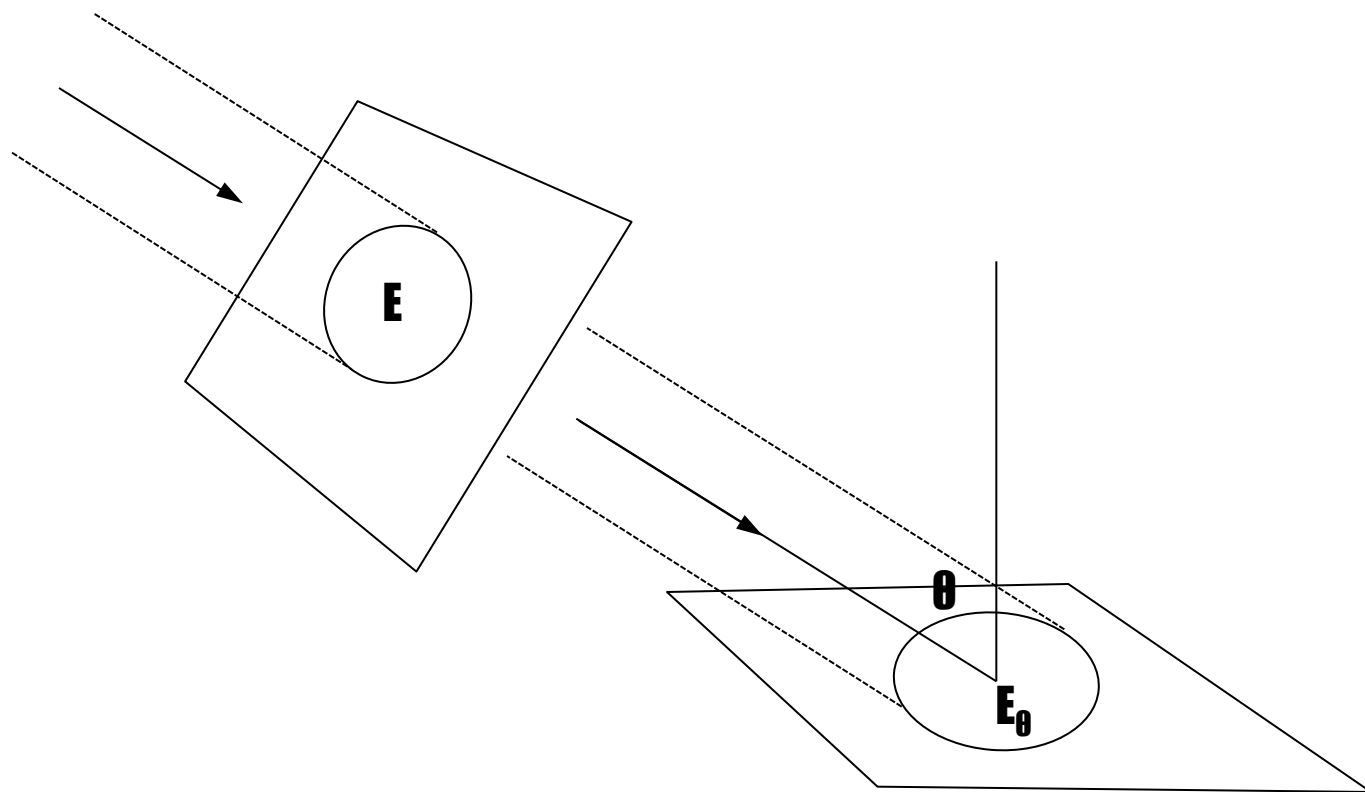
Inverse square law



**Φωτισμός → αντιστρόφως ανάλογος με το τετράγωνο της απόστασης
Μια μικρή τροποποίηση του ύψους ανάρτησης προκαλεί σημαντική αλλαγή
Στα επίπεδα φωτισμού της επιφάνειας εργασίας**

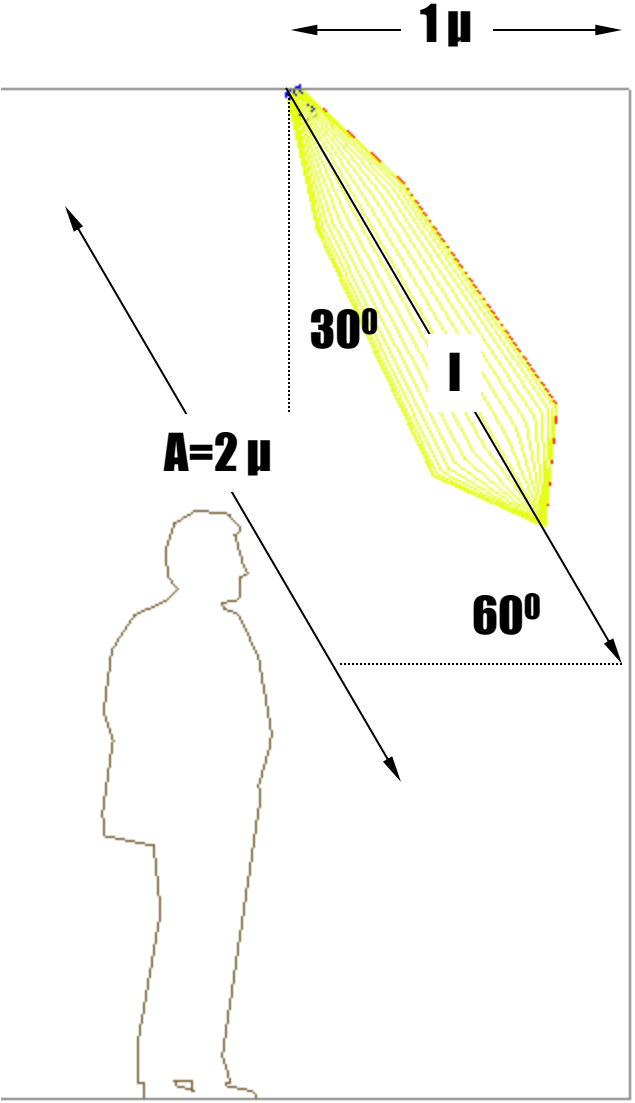


Lambert's cosine law



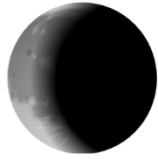
$$E_{\theta} = E \cdot \cos(\theta)$$

Lambert's cosine law



Φωτισμός σε σημείο
 $E = I/A^2 \cdot \cos(60)$

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ



<1 lux



500 lux



8000 lux



120000 lux

Επιφάνεια φωτιστικού (S)

θ

Προβαλλόμενη επιφάνεια (S')

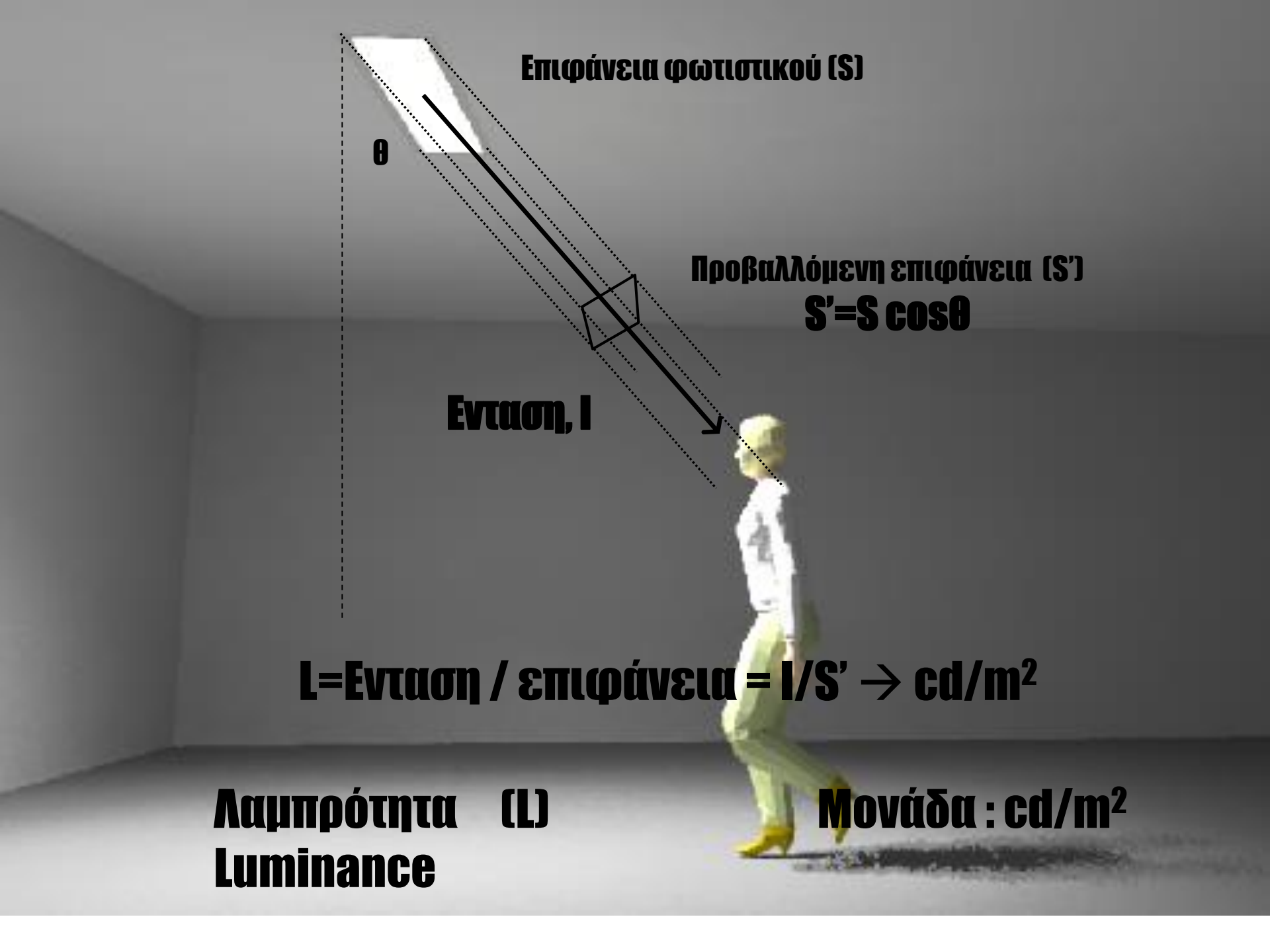
$$S' = S \cos\theta$$

Ένταση, I

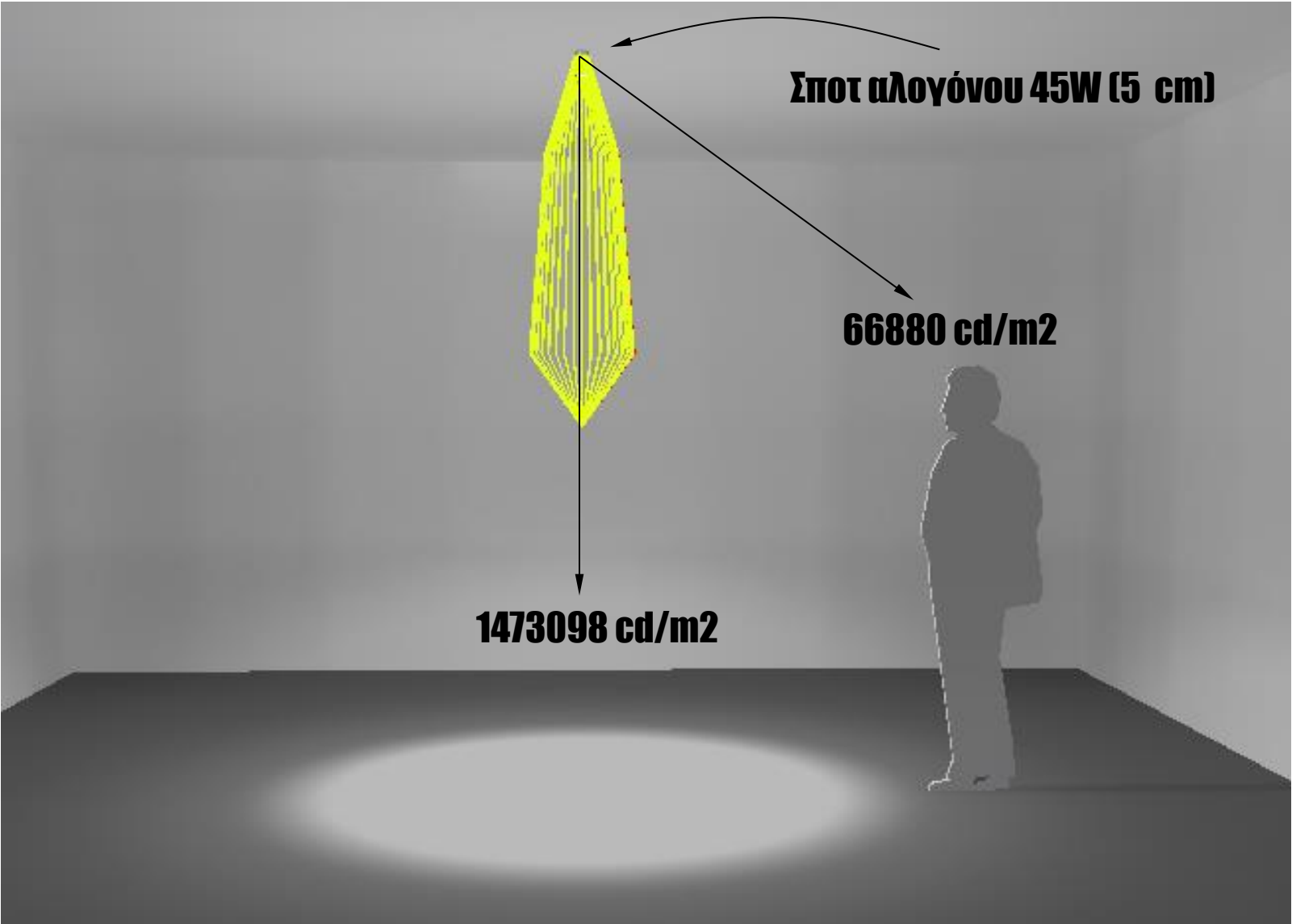
$$L = \text{Ένταση} / \text{επιφάνεια} = I / S' \rightarrow \text{cd/m}^2$$

Λαμπρότητα (L)
Luminance

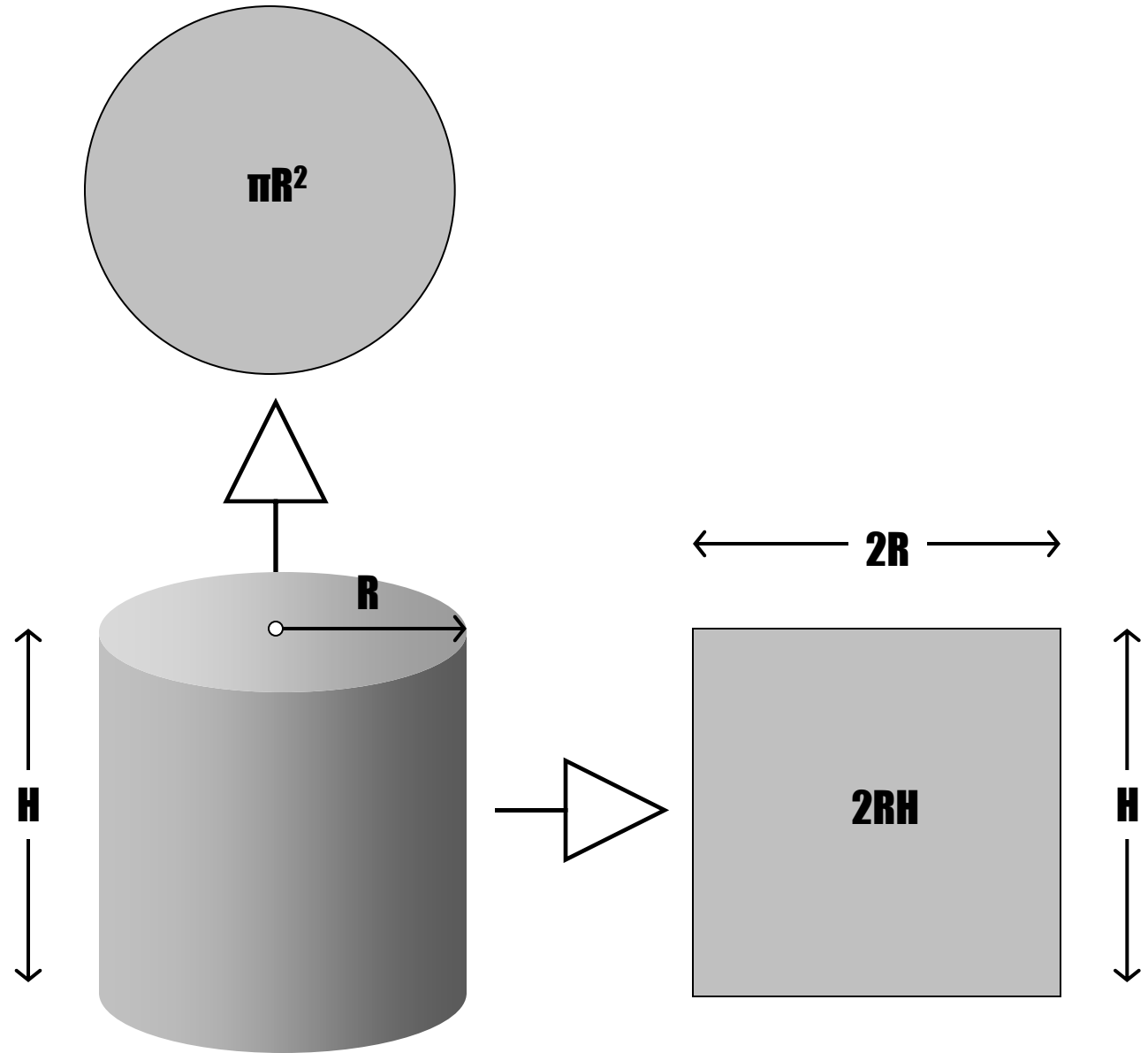
Μονάδα : cd/m²



Λαμπρότητα

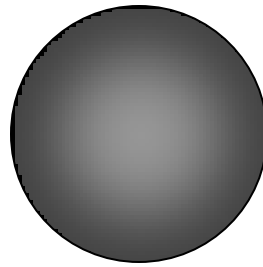


Η λαμπρότητα εξαρτάται από την προβαλλόμενη επιφάνεια



ΑΣΚΗΣΗ

**Φωτεινή σφαίρα ακτίνας 1 m εκπέμπει 3140 lumen προς όλες τις κατευθύνσεις.
Υπολογίστε την ένταση (I), την λαμπρότητα (L) και τον φωτισμό σε επιφάνεια
που απέχει 10 m από το κέντρο.**



Στερεά γωνία σφαίρας = 4π

$$I = F / \text{στερεά γωνία} = 3140 / 4\pi = 250 \text{ cd}$$

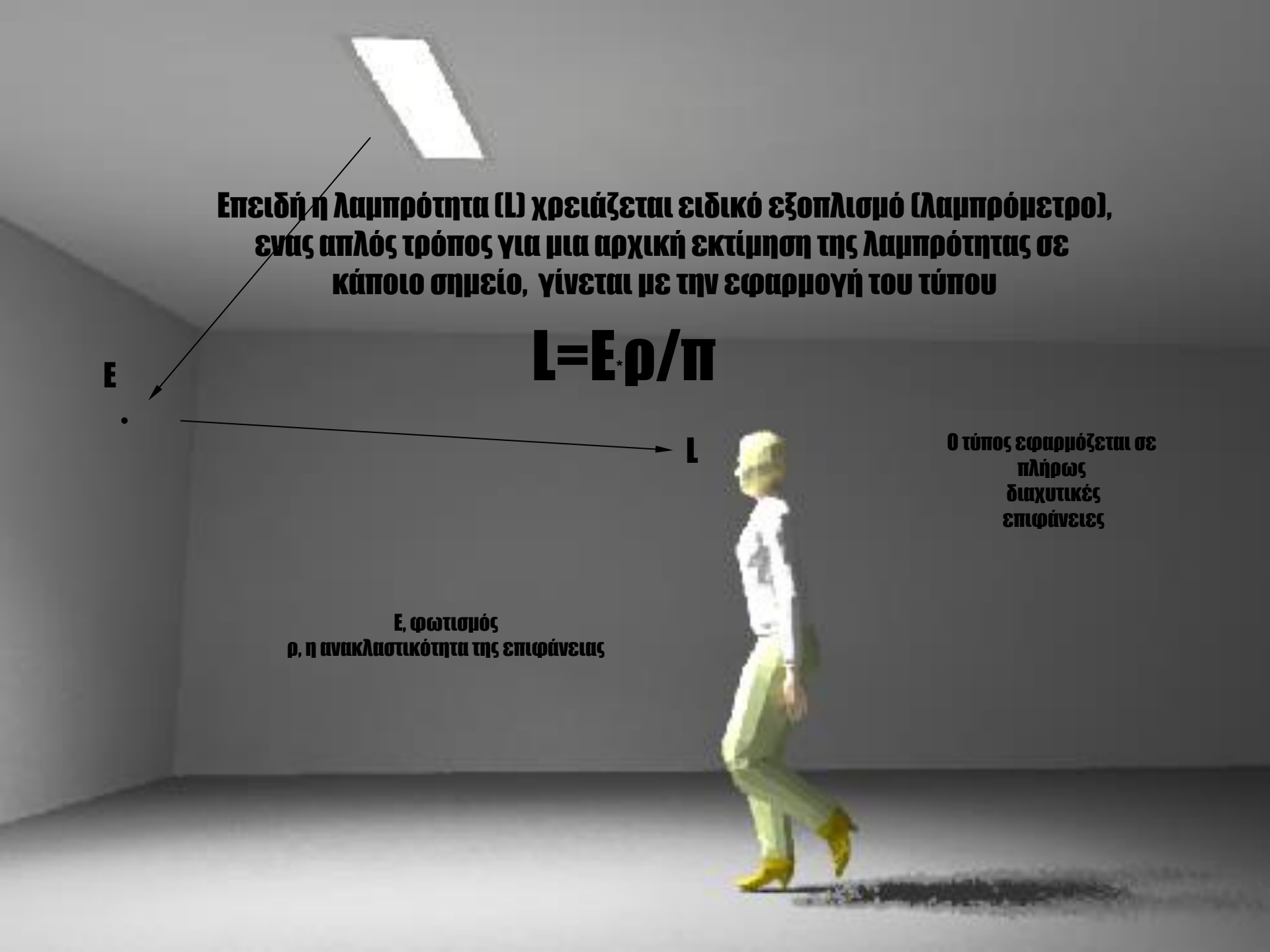
$$L = I / \text{προβαλλόμενη επιφάνεια} = 250 / (\pi \times 1^2) = 79.6 \text{ cd/m}^2$$

$$E = I / 10^2 = 2.5 \text{ lux}$$

Αν το μέγεθος της σφαίρας
ελαττωθεί και εκπέμπει
την ίδια ποή, τότε αυξάνεται
η λαμπρότητα

Είναι κύκλος (πR^2)

Φωτισμός κάθετα στην απόσταση



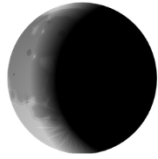
**Επειδή η λαμπρότητα (L) χρειάζεται ειδικό εξοπλισμό (λαμπρόμετρο),
ενός απλός τρόπος για μια αρχική εκτίμηση της λαμπρότητας σε
κάποιο σημείο, γίνεται με την εφαρμογή του τύπου**

$$L = E \cdot \rho / \pi$$

**Ο τύπος εφαρμόζεται σε
πλήρως
διαχυτικές
επιφάνειες**

**E, φωτισμός
ρ, η ανακλαστικότητα της επιφάνειας**

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ



2500 cd/m²



~100 cd/m²

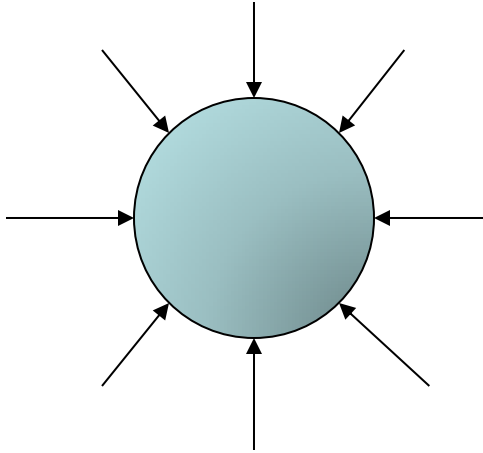


2000 cd/m²

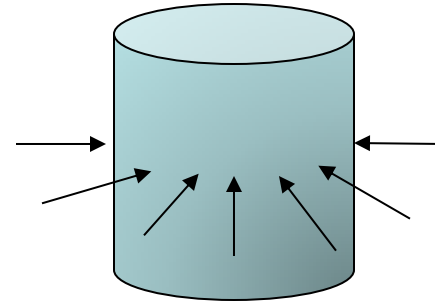


1.6 * 10⁹ cd/m²

ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

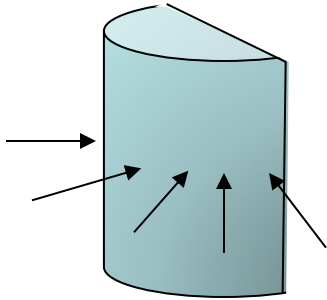


Σφαιρικός φωτισμός.
Μέση τιμή φωτισμού στην
επιφάνεια μιας μικρής σφαίρας

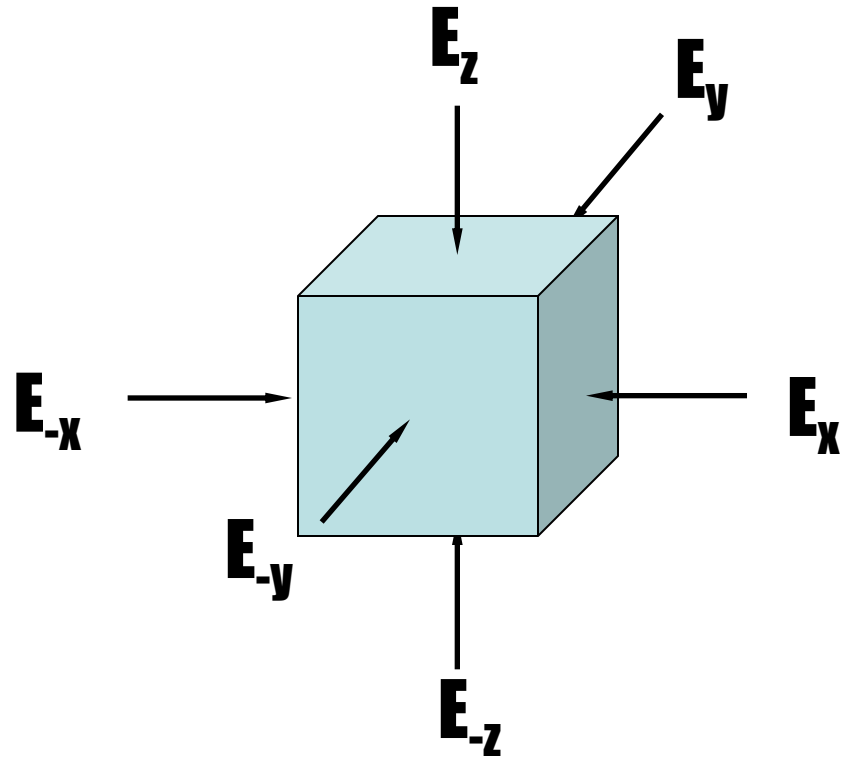


Κυλινδρικός φωτισμός.
Μέση τιμή φωτισμού στην
επιφάνεια ενός κυλίνδρου

ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ



Ημικυλινδρικός φωτισμός.
Μέση τιμή φωτισμού στην
επιφάνεια μισού κυλίνδρου



Διανυσματικός φωτισμός.
«Συνισταμένη» έξι τιμών κάθετου φωτισμού
Στις πλευρες ενός κύβου

ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι προηγούμενες παράμετροι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό ώστε να εκτιμηθεί μια κατάσταση

- **Λόγος διανυσματικού/σφαιρικού φωτισμού**
Αν είναι 0 τότε υπάρχει πλήρως διάχυτος φωτισμός (απουσία σκιών)
Μια τιμή π.χ. 4 δείχνει ισχυρή κατευθυντικότητα
- **Λόγος κάθετου/ημικυλινδρικού φωτισμού**
Ανάδειξη χαρακτηριστικών προσώπου. Πολλές φορές χρησιμοποιείται μόνο ο ημικυλινδρικός φωτισμός
- **Λόγος κυλινδρικού/κάθετου φωτισμού**
Τρισδιάστατη ανάδειξη

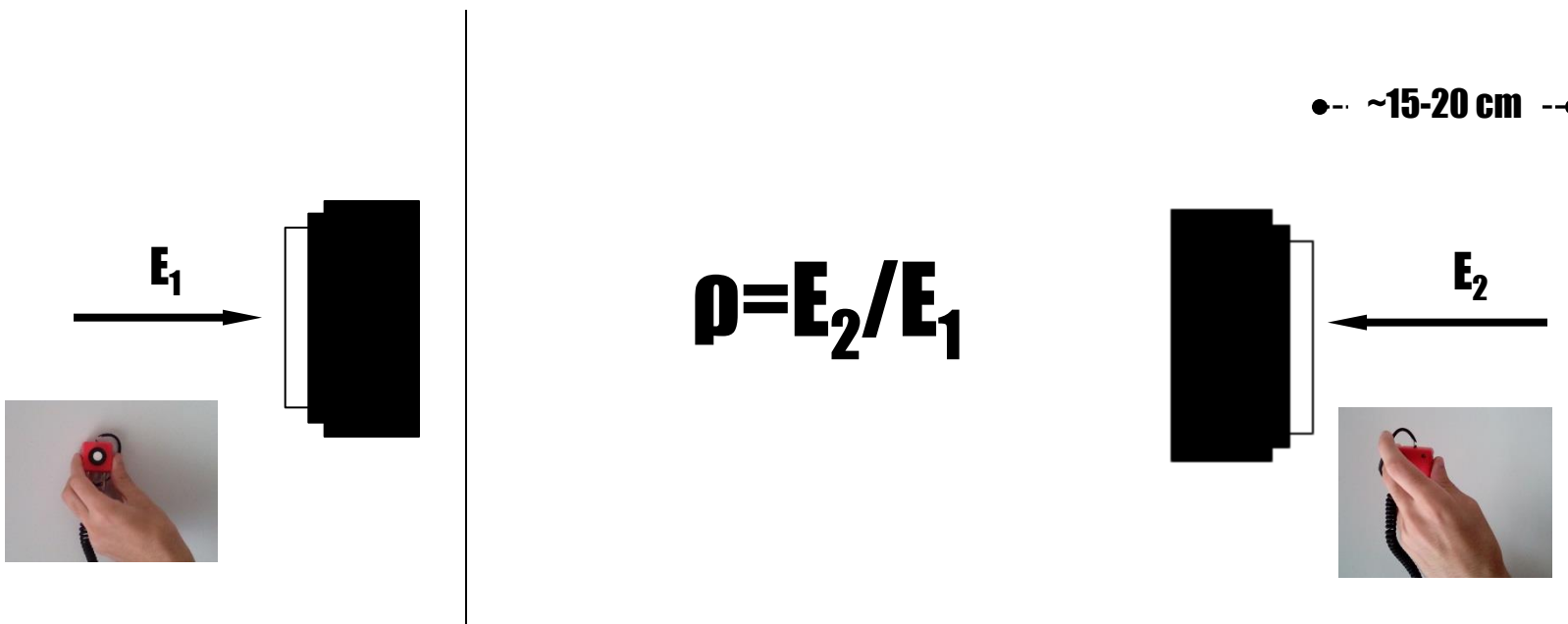
ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Μέτρηση ανακλαστικότητας (ρ)

Σε πραγματικό χώρο ένας γρήγορος αλλά όχι πολύ ακριβής τρόπος εκτίμησης της ανακλαστικότητας κάποιας επιφάνειας γίνεται με τη χρήση ενός φωτόμετρου.

Προϋποθέσεις:

Η επιφάνεια να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει πολύ μεγάλο τμήμα του πεδίου κάλυψης του αισθητήρα του φωτόμετρου



Μέτρηση με τον αισθητήρα να μετρά τι φωτισμός προσπίπτει στην επιφάνεια

Μέτρηση με τον αισθητήρα να μετρά τι φωτισμός Ανακλάται απο την επιφάνεια