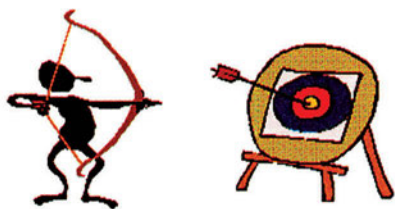


Φωτοτεχνία





Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

- ☐ αναφέρουν τον τρόπο δημιουργίας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- ☐ αναφέρουν τι περιλαμβάνει το ολικό φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών
- ☐ αναφέρουν τη διαφορά μεταξύ μονοχρωματικής και σύνθετης ακτινοβολίας
- ☐ αναφέρουν τη σχέση μεταξύ του χρώματος που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή και της θερμοκρασίας της
- ☐ αναφέρουν τα διάφορα είδη φωτεινής δέσμης
- ☐ διακρίνουν την ανάκλαση από τη διάχυση
- ☐ αναφέρουν τους νόμους της ανάκλασης
- ☐ αναφέρουν τη σχέση των χρωμάτων των επιφανειών και τους συντελεστές ανάκλασής τους
- ☐ δίνουν τον ορισμό και τις μονάδες μέτρησης των βασικών φωτομετρικών μεγεθών
- ☐ ερμηνεύουν την καμπύλη φωτεινής έντασης (πολικό διάγραμμα) μιας φωτεινής πηγής
- ☐ αναφέρουν τους νόμους της φωτομετρίας
- ☐ αναφέρουν τα γενικά κριτήρια για την επιλογή λαμπτήρων
- ☐ αναφέρουν την αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων πυράκτωσης
- ☐ διακρίνουν τα διάφορα είδη λαμπτήρων πυράκτωσης από τα εξωτερικά τους χαρακτηριστικά
- ☐ αναφέρουν για κάθε είδος λαμπτήρα βασικούς τομείς ή χώρους που βρίσκουν εφαρμογή
- ☐ αναφέρουν διαφορές μεταξύ των λαμπτήρων πυράκτωσης αλογόνου και των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης
- ☐ αναφέρουν την αρχή λειτουργίας του λαμπτήρα φθορισμού
- ☐ αναφέρουν τα κύρια πλεονεκτήματα των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού
- ☐ αποτυπώνουν συνδεσμολογίες λαμπτήρων φθορισμού με τα απαραίτητα εξαρτήματα
- ☐ διακρίνουν, από το σύμπτωμα, την πιθανή αιτία βλάβης του λαμπτήρα φθορισμού και να αναφέρουν τον τρόπο αποκατάστασης της βλάβης
- ☐ αναφέρουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των λαμπτήρων φθορισμού σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης
- ☐ αναφέρουν και ερμηνεύουν τα ιδιαίτερα κριτήρια επιλογής των λαμπτήρων φθορισμού
- ☐ διακρίνουν σε κατηγορίες τα φωτιστικά σώματα, ανάλογα με την κατεύθυνση της φωτεινής ροής
- ☐ ερμηνεύουν τους δύο αριθμούς του δείκτη προστασίας των φωτιστικών σωμάτων
- ☐ διακρίνουν σε κατηγορίες τα φωτιστικά σώματα, ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτρικής τους μόνωσης
- ☐ αναφέρουν την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού σε Lux για συνήθεις χώρους εργασίας ή διαμονής
- ☐ αναφέρουν τα 9 βήματα για τη μελέτη φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie)
- ☐ συντάσσουν απλή φωτοτεχνική μελέτη μιας αίθουσας ή ενός χώρου με τη βοήθεια πινάκων, όταν δίνονται οι διαστάσεις του χώρου, οι συγκεκριμένες απαιτήσεις φωτισμού, τα φωτιστικά σώματα και οι λαμπτήρες τους, τα χρώματα των τοίχων και της οροφής καθώς και οι συνθήκες συντήρησης των φωτιστικών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

1. Εισαγωγικές έννοιες φωτισμού

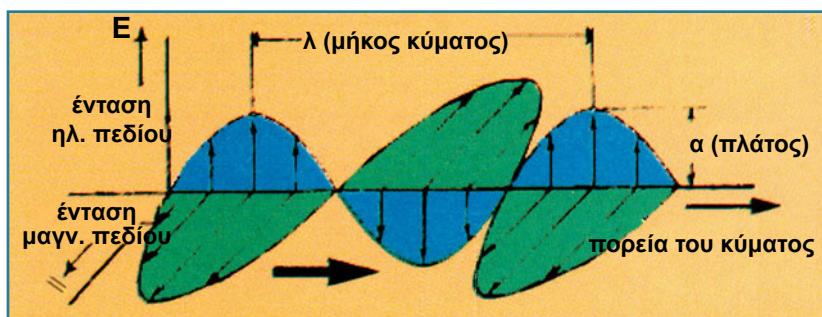
■ 1.1 Η φύση του φωτός

Τα άτομα των στοιχείων αποτελούνται από το θετικά φορτισμένο πυρήνα (ο οποίος περιλαμβάνει πρωτόνια και νετρόνια) και από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, τα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένους ηλεκτρονιακούς δρόμους, οι οποίοι ονομάζονται στοιβάδες ή τροχιές του ατόμου και έχουν συγκεκριμένη ενεργειακή στάθμη. Τα ηλεκτρόνια κάθε τροχιάς διαθέτουν ορισμένη ενέργεια που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση τους από τον πυρήνα.

Όταν ένα άτομο, για κάποιο λόγο, αποκτήσει ενέργεια (π.χ μετά από σύγκρουση με σωματίδιο μεγάλης ταχύτητας), είναι δυνατόν ηλεκτρόνιο να μεταπηδήσει από την τροχιά του σε τροχιά μεγαλύτερης ενεργειακής στάθμης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διέγερση** του ατόμου και αποτελεί μια ασταθή κατάσταση, που έχει πολύ μικρή χρονική διάρκεια. Στη συνέχεια, το ηλεκτρόνιο επανέρχεται στην αρχική του τροχιά (μικρότερης ενεργειακής στάθμης), εκπέμποντας την περίσσεια ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας. Δηλαδή, διαπιστώνουμε ότι η **ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας**. Παρατηρήθηκε ότι ένα σώμα, όταν εκπέμπει ακτινοβολία, δημιουργεί γύρω του δύο μεταβαλλόμενα πεδία, τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους και διαδίδονται ταυτόχρονα στο χώρο. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματός της. Όταν το μήκος κύματος μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι μεταξύ $4000 - 7500 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), τότε η ακτινοβολία έχει την ιδιότητα να διεγείρει το ανθρώπινο μάτι και ονομάζεται

Σχήμα 1.1:
Παράσταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



φωτεινή ακτινοβολία ή απλά φως. Εκτός από τη μονάδα A° , χρησιμοποιούνται και οι μονάδες $\mu m = 10^{-6} m$ και $nm = 10^{-9} m$.

Το φως είναι μια μορφή ενέργειας. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει δυαδική φύση, κυματική και σωματιδιακή.

Δηλαδή, το φως διαδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά και με τη μορφή ποσότητας ενέργειας, που είναι ισοδύναμη με πολλαπλάσια σωματιδίου το οποίο διαδίδεται με την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και καλείται **φωτόνιο**. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό και με προσέγγιση στον αέρα είναι $C = 3 \cdot 10^8 m/s$.

Η ταχύτητα διάδοσης κάθε ακτινοβολίας εξαρτάται από το υλικό μέσα από το οποίο διαδίδεται. Γενικά, ισχύει η σχέση $C = \lambda f / n$,

όπου C η ταχύτητα σε m/s , λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε m , f η συχνότητα αυτής σε Hz και n ο συντελεστής διάθλασης του υλικού μέσα από το οποίο γίνεται η διάδοση της ακτινοβολίας.

Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνιστά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Όλες οι ακτινοβολίες αυτού του φάσματος έχουν την ίδια φυσική υπόσταση και διαφέρουν μόνο στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως το μήκος κύματος και η συχνότητά τους.

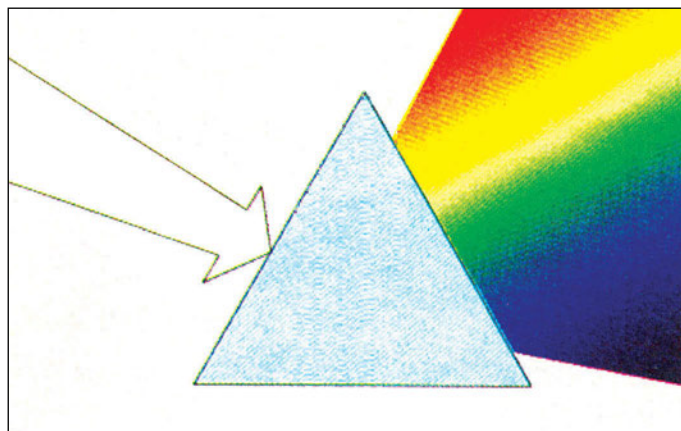
Το ολικό φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών περιλαμβάνει την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες γ (Gamma Rays), τις ακτίνες X (X - Rays), την υπεριώδη ακτινοβολία (Ultra Violet), το ορατό φως, τις υπέρυθρες ακτίνες (Infrared Rays) και τα ραδιοκύματα (Hertzian Waves -ραντάρ, τηλεόρασης, ραδιοφώνου κ.λπ.).

Πίνακας 1.1: Ολικό φάσμα ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών

Περιοχές	Μήκος κύματος σε nm (1 nm = $10^{-9} m$)
Κοσμικές ακτίνες	10^{-5}
Ακτίνες γ	10^{-4}
Ακτίνες X	$10^{-3} - 10^{-1}$
Υπεριώδες	1 - 10
Ορατό	$10^2 - 10^3$ 380 780 ιώδες μπλε πράσινο κίτρινο κόκκινο
Υπέρυθρο	$10^4 - 10^5$
Μικροκύματα	$10^6 - 10^9$
Μικροκύματα και κύματα RADAR	$10^{10} - 10^{14}$
Ραδιοφωνικά κύματα	$10^{15} - 10^{16}$

Μια φωτεινή ακτινοβολία ονομάζεται **μονοχρωματική**, όταν συνίσταται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με περίπου ίδιο μήκος κύματος. Για παράδειγμα, η ακτινοβολία που αντιστοιχεί στο κόκκινο χρώμα έχει μήκος κύματος περίπου $7000 \text{ \AA}$ ή 700 nm . Αντίθετα, όταν μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με διαφορετικά μήκη κύματος ονομάζεται **σύνθετη**. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σύνθετης ακτινοβολίας αποτελεί το λευκό φως που περιλαμβάνει όλα τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην φωτεινή ακτινοβολία.

Αν δέσμη λευκού φωτός προσπέσει σε έδρα τριγωνικού πρίσματος, τότε αν στην άλλη έδρα τοποθετήσουμε ένα διάφραγμα, θα παρατηρήσουμε πάνω του μια έγχρωμη φωτεινή ταινία. Η ταινία θα φέρει τα χρώματα ερυθρό, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, βαθύ κυανό και ιώδες. Τα χρώματα αυτά αντιστοιχούν στις μονοχρωματικές ακτινοβολίες στις οποίες αναλύεται το λευκό φως.



Σχήμα 1.2:
Ανάλυση του λευκού φωτός

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται τα μήκη κύματος αυτών των ακτινοβολιών σε $\text{\AA}$.

Η έγχρωμη ταινία που παίρνουμε στο διάφραγμα καλείται **φάσμα του λευκού φωτός** ή ορατό φάσμα. Με τον όρο φάσμα μιας ακτινοβολίας ονομάζουμε το σύνολο των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στα φωτόνια της ακτινοβολίας.

Το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία στην περιοχή με μήκος κύματος της τάξης των $5500 \text{ \AA}$, που αντιστοιχεί στην περιοχή του πρασινοκίτρινου φωτός. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί ο άνθρωπος βλέπει καλύτερα στο κίτρινο φως του λαμπτήρα νατρίου.

Όπως το λευκό φως αναλύεται σε απλές μονοχρωματικές ακτινοβολίες, έτσι μπορεί και να ανασυντεθεί ξανά σε λευκό φως, με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τη συγκέντρωση όλων των μονοχρωματικών ακτινοβολιών σε ένα σημείο, με τη χρήση αντεστραμμένου πρίσματος.

Το λευκό φως, εκτός από τις ακτινοβολίες μεταξύ ερυθρού και ιώδους χρώματος, περιέχει και άλλες ακτινοβολίες που δε διεγείρουν το

ΧΡΩΜΑ	Μήκος κύματος σε $\text{\AA}$
Ερυθρό	7700 - 6400
Πορτοκαλί	6400 - 5900
Κίτρινο	5900 - 5500
Πράσινο	5500 - 4900
Κυανό	4900 - 4500
Ιώδες	4500 - 4000

Πίνακας 1.2:
Φάσμα ορατού φωτός

ανθρώπινο μάτι, γι' αυτό και ονομάζονται αόρατες.

Οι αόρατες ακτινοβολίες που βρίσκονται πέρα από το ερυθρό χρώμα ονομάζονται υπέρυθρες, ενώ αυτές που βρίσκονται πέρα από το ιώδες ονομάζονται υπεριώδεις.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τη φωτογράφιση αντικειμένων (με ειδικές ευπαθείς πλάκες), που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση, ανεξάρτητα αν υπάρχει φως. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει βιολογικές δράσεις, απορροφάται από το κοινό γυαλί και προκαλεί εκτός από τα χημικά φαινόμενα, το φθορισμό ορισμένων ουσιών και τον ιονισμό αερίων.

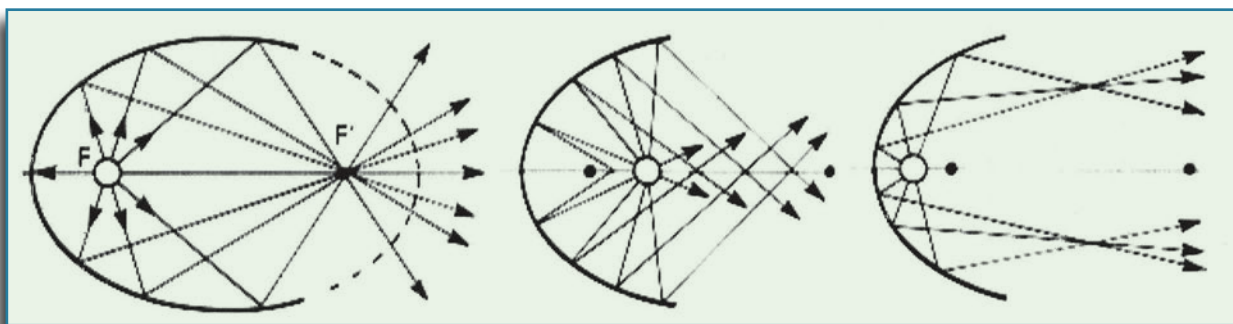
■ 1.2 Φωτεινή δέσμη

Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα με τη μορφή φωτεινών ακτίνων, που αποτελούνται από φωτόνια που εκπέμπει η φωτεινή πηγή.

Φωτεινή ακτίνα ονομάζουμε την ευθεία τροχιά την οποία ακολουθεί το φως κατά τη διάδοσή του.

Ένα σύνολο από φωτεινές ακτίνες συνθέτει τη φωτεινή δέσμη. Μια φωτεινή δέσμη μπορεί να είναι *αποκλίνουσα*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης προέρχονται από ένα σημείο, *παράλληλη*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης είναι παράλληλες και *συγκλίνουσα*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης κατευθύνονται σε ένα σημείο.

Σχήμα 1.3:
*Αποκλίνουσα, παράλληλη,
συγκλίνουσα φωτεινή δέσμη*



■ 1.3 Φωτεινή πηγή

Το σώμα που εκπέμπει φως ονομάζεται φωτεινή πηγή. Οι φωτεινές πηγές διακρίνονται στα *αυτόφωτα σώματα*, όπως είναι ο ήλιος και οι λαμπτήρες φωτισμού, και στα *ετερόφωτα σώματα*, όπως είναι μια λευκή φωτιζόμενη επιφάνεια. Τα ετερόφωτα σώματα δεν παράγουν από μόνα τους φως, αλλά εκπέμπουν το φως που δέχονται από άλλα αυτόφωτα σώματα. Η εκπομπή φωτός από τα αυτόφωτα σώματα συνήθως οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας τους. Κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 525 °C εκπέμπει φως. Εκπομπή φωτός μπορεί να γίνει και από τη διέγερση των μορίων ενός αερίου, χωρίς να απαιτείται αύξηση της θερμοκρασίας τους, όπως συμβαίνει στους λαμπτήρες φθορισμού.

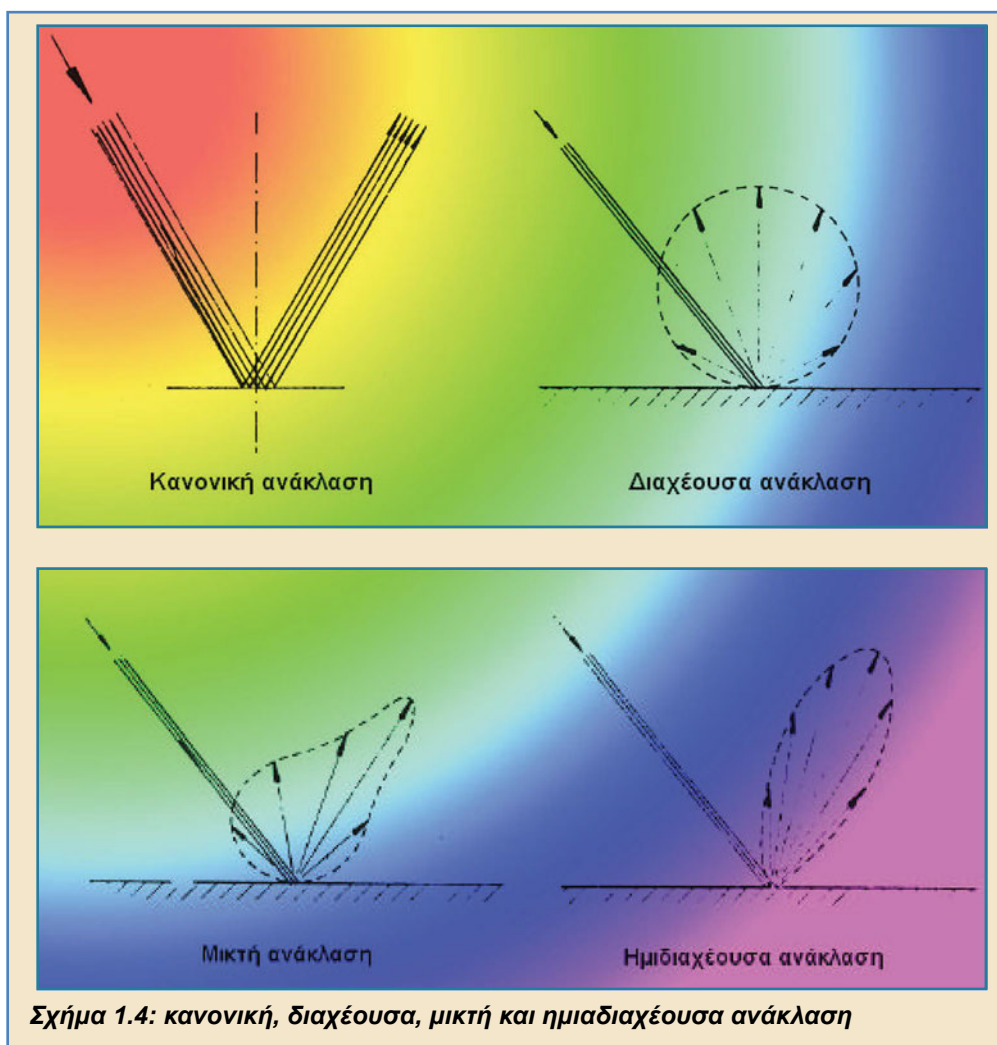
Τα ετερόφωτα σώματα, ανάλογα με το βαθμό που επιτρέπουν να περάσει το φως από τη μάζα τους και τη δυνατότητα να διακρίνουμε πίσω από αυτά, διακρίνονται σε *διαφανή*, *αδιαφανή* και *ημιδιαφανή*.

■ 1.4 Ανάκλαση του φωτός

Μια επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως λεία όταν οι ανωμαλίες που παρουσιάζει έχουν βάθος μικρότερο από το μέσο μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας (περίπου $0,5 \mu\text{m}$). Μια επιφάνεια από γυαλί αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα λείας επιφάνειας. Η εξωτερική επιφάνεια κάθε σώματος διαχωρίζει το σώμα από τον αέρα ή οποιοδήποτε άλλο μέσο που το περιβάλλει. Επομένως, η επιφάνεια ενός σώματος αποτελεί τη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων.

Όταν το φως προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, υφίσταται κανονική ή ανώμαλη ανάκλαση (διάχυση), ανάλογα με το αν η διαχωριστική επιφάνεια είναι λεία ή τραχεία.

Υποθέτουμε ότι στην επίπεδη αλλά όχι λεία επιφάνεια ενός τοίχου προσπίπτει μια παράλληλη φωτεινή δέσμη. Μετά την πρόσπτωση στην επιφάνεια, κάθε ακτίνα της δέσμης ακολουθεί τυχαία διεύθυνση, η



οποία εξαρτάται από την ανωμαλία της επιφάνειας στο σημείο πρόσπτωσης. Το φαινόμενο ονομάζεται **διαχέουσα ανάκλαση** ή **διάχυση** του φωτός. Ως αποτέλεσμα της διάχυσης του φωτός είναι το να βλέπουμε στο εσωτερικό ενός δωματίου χωρίς να φωτίζεται απευθείας από τον ήλιο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ακτίνες του ήλιου διαχέονται στις διάφορες επιφάνειες και διασκορπίζονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Αν σε μια λεία επιφάνεια, όπως είναι η επιφάνεια από ένα τζάμι, προσπέσει μια παράλληλη δέσμη φωτός, κάθε ακτίνα της δέσμης ακολουθεί μια ορισμένη διεύθυνση, ώστε η δέσμη και μετά την πρόσπτωση να παραμένει παράλληλη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **κανονική**

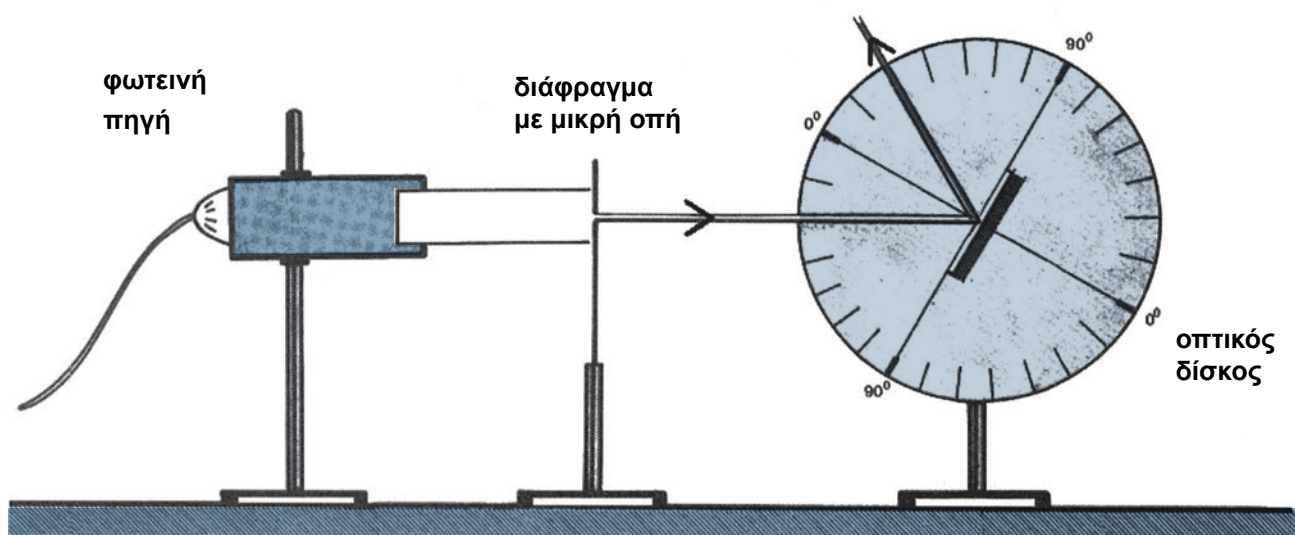
ανάκλαση του φωτός. Οι λείες επιφάνειες οι οποίες προκαλούν το φαινόμενο της κανονικής ανάκλασης ονομάζονται ανακλαστικές επιφάνειες ή κάτοπτρα.

Μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων που περιγράφηκαν, στην πράξη συμβαίνουν πλήθος ανακλάσεων όπου η κάθε ακραία περίπτωση συμμετέχει σε κάποιο ποσοστό π.χ. **ημιδιαχέουσα ανάκλαση**.

Ο όρος ανάκλαση είναι γενικός και περιλαμβάνει κάθε περίπτωση αλλαγής πορείας της φωτεινής δέσμης, χωρίς να προϋποθέτει αναγκαστικά την ύπαρξη λείας και στιλπνής επιφάνειας.

Το φαινόμενο της κανονικής ανάκλασης διέπεται από δύο νόμους, που ονομάζονται νόμοι της ανάκλασης του φωτός. Αυτοί είναι:

- **1ος Νόμος.** Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η ευθεία που είναι κάθετη στην ανακλαστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο πρόσπτωσης), το οποίο είναι κάθετο στην ανακλαστική επιφάνεια.
- **2ος Νόμος.** Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.



Σχήμα 1.5 Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας σε πειραματική διάταξη.

Όταν δέσμη φωτός προσπέσει σε λεία επιφάνεια, θα ανακλαστεί από την επιφάνεια αυτή. Αν Φ είναι η προσπίπτουσα σε μια επιφάνεια φωτεινή ροή και Φ_r η ανακλασθείσα, τότε το πηλίκο Φ_r / Φ ορίζει ένα μέγεθος που καλείται **συντελεστής ανάκλασης** ρ .

Δηλαδή, $\rho = \Phi_r / \Phi$.

Η μορφή της ανακλώμενης δέσμης και πρακτικά το είδος ανάκλασης καθορίζονται από την υφή της ανακλώμενης επιφάνειας. Η σύνθεση όμως της δέσμης, δηλαδή οι ακτινοβολίες από τις οποίες αποτελείται, και οι τυχόν διαφορές μεταξύ προσπίπτουσας και ανακλώμενης δέσμης εξαρτώνται από το υλικό της ανακλώμενης επιφάνειας.

Υπάρχουν υλικά όπου στην ανακλώμενη από αυτά δέσμη φωτός μπορεί να αλλάξει η μορφή και η έντασή της όχι όμως και η σύνθεσή της. Σε αυτά τα υλικά ο συντελεστής ανάκλασης είναι ανεξάρτητος του μήκους κύματος. Κατατάσσονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή ανάκλασης που διαθέτουν και τη χρωματική εντύπωση που δίνουν, όταν προσπέσει πάνω τους δέσμη λευκού φωτός:

1. Λευκά με $\rho > 0,75$ (δίνουν την εντύπωση λευκού χρώματος).

2. Μέλανα με $\rho < 0,05$ (δίνουν την εντύπωση του μαύρου χρώματος).

3. Γκρίζα με $0,05 < \rho < 0,75$ (δίνουν την εντύπωση του γκριζου χρώματος).

Τα περισσότερα όμως υλικά διαθέτουν μεταβαλλόμενους συντελεστές ανάκλασης, η τιμή των οποίων εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Στην περίπτωση αυτή, έχουμε το φαινόμενο της εκλεκτικής ανάκλασης. Σε υλικά αυτής της κατηγορίας, όταν προσπέσει δέσμη λευκού φωτός, ορισμένες από τις ακτινοβολίες της εξασθενούν ή και απορροφώνται τελείως από το υλικό. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι όταν υλικό φωτίζεται με λευκό φως, το ανθρώπινο μάτι το αντιλαμβάνεται ως πράσινου χρώματος, επειδή αυτό ανακλά πράσινα μήκη κύματος, ενώ απορροφά έντονα τα κόκκινα, κυανά και ιώδη. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται τα όρια των συντελεστών ανάκλασης διάφορων επιφανειών.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης ρ
Καθρέπτης	0,95 - 0,98
Λευκό πλαστικό χρώμα	0,70 - 0,80
Λευκό μάρμαρο	0,60 - 0,85
Αλουμίνιο (σιλπνό)	0,65 - 0,75
Χρώμιο (σιλπνό)	0,60 - 0,70
Νικέλιο (σιλπνό)	0,53 - 0,63
Αλουμίνιο (θαμπό)	0,55 - 0,60
Χρώμιο (ματ)	0,52 - 0,55
Νικέλιο (θαμπό)	0,48 - 0,52
Μπετόν	0,40 - 0,50
Παραπετάσματα κίτρινα	0,30 - 0,45
Τούβλα	0,10 - 0,30
Παραπετάσματα γκρίζα	0,15 - 0,25
Παραπετάσματα ερυθρά	0,10 - 0,20
Μαύρο βελούδο	0,005 - 0,01

Πίνακας 1.3:
Πίνακας
συντελεστών
ανάκλασης
επιφανειών που
φωτίζονται από
λευκό φως

Για τις περιπτώσεις της διαχέουσας ανάκλασης, στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι συντελεστές ανάκλασης για τα κυριότερα χρώματα, σε τρεις αποχρώσεις για το καθένα, ανοιχτό, μέσο και βαθύ.

Χρώμα	Ανοιχτό	Μέσο	Βαθύ
Λευκό	0,80	0,70	-
Κίτρινο	0,70	0,50	0,30
Γκριζο	0,60	0,35	0,20
Πράσινο	0,60	0,30	0,12
Καφέ	0,50	0,25	0,08
Μπλε	0,50	0,20	0,05
Κόκκινο	0,35	0,20	0,10
Μαύρο	-	0,04	-

Παρατηρήσεις:

Οι λευκές επιφάνειες μπορούν να ανακλούν μέχρι και το 80% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Γι' αυτό το καλοκαίρι προτιμώνται τα λευκά και γενικότερα τα ανοιχτόχρωμα ρούχα, που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή ανάκλασης. Αντίθετα, το χειμώνα προτιμώνται τα σκούρα ρούχα.

Πίνακας 1.4: Πίνακας συντελεστών διαχέουσας ανάκλασης χρωματιστών επιφανειών που φωτίζονται από λευκό φως

■ 1.5 Απορρόφηση του φωτός

Το φως, κατά το πέρασμά του στο κενό, δεν υφίσταται καμιά μεταβολή. Όταν όμως διαπερνά υλικά σώματα, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό απορροφάται από αυτά. Αν Φ_r είναι το μέρος της φωτεινής ροής που απορροφάται από ένα υλικό πάχους x , όταν προσπέσει πάνω του φωτεινή ροή Φ , τότε το πηλίκο $\rho = \Phi_r / \Phi$ καλείται συντελεστής απορρόφησης ρ .

Η επιλεκτική απορρόφηση ακτινοβολιών επιτυγχάνεται στην πράξη με τη χρήση έγχρωμων φίλτρων. Τα φίλτρα δεν απορροφούν ομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές του φάσματος. Σε μη μονοχρωματικές ακτινοβολίες πρακτικά αλλάζουν τη φασματική σύνθεση της φωτεινής ροής που πέφτει πάνω τους. Η μεταβολή στο πάχος του φίλτρου προκαλεί και μεταβολή του χρώματος της ακτινοβολίας.

■ 1.6 Φως και χρώμα

Καθεμιά από τις ακτινοβολίες του ορατού φάσματος, όταν προσπίπτει στο ανθρώπινο μάτι, προκαλεί διαφορετικό φωτοερέθισμα, που ερμηνεύεται από τον άνθρωπο ως χρώμα.

Η εντύπωση του χρώματος διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Το φως των διάφορων φωτεινών πηγών διαφέρει στα ποσοστά των μονοχρωματικών ακτινοβολιών που εκπέμπει. Αυτή η διαφορά προσδιορίζεται από την ενεργειακή φασματική κατανομή του φωτός της πηγής.

Οι διάφορες επιφάνειες των σωμάτων απορροφούν, ολικά ή μερικά, διάφορα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει επάνω τους και ανακλούν τα υπόλοιπα. Ο συντελεστής απορρόφησης και ο συντελεστής ανάκλασης ενός υλικού δεν είναι ίδιος για όλα τα μήκη κύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το φως που φτάνει στο ανθρώπινο μάτι μετά από την ανάκλαση στην επιφάνεια ενός υλικού να μην είναι το ίδιο με αυτό που έστειλε η φωτεινή πηγή.

Το χρώμα ενός **διαφανούς** σώματος εξαρτάται από τις ακτινοβολίες που απορροφά το σώμα. Αν ένα διαφανές σώμα απορροφά όλες τις ακτινοβολίες εκτός από την ερυθρή, το σώμα θα έχει ερυθρό χρώμα.

Το χρώμα ενός **αδιαφανούς** σώματος εξαρτάται από τις ακτινοβολίες που το σώμα ανακλά, διαχέει και απορροφά.

Για να αποδώσει σωστά μια επιφάνεια το χρώμα της, πρέπει το φως που θα τη φωτίσει να περιέχει όλα τα μήκη κύματος των ακτινοβολιών, σε σωστή αναλογία. Το φως του ήλιου έχει αυτή την ιδιότητα και θεωρείται ιδανική πηγή φωτισμού, ενώ το φως των κοινών λαμπτήρων φθορισμού υστερεί σημαντικά σε αυτό. Το φως των λαμπτήρων πυράκτωσης προσεγγίζει το φως του ήλιου.

Επομένως, στον προσδιορισμό του χρώματος ενός αντικειμένου συντελούν δύο παράγοντες:

1. οι ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού και
2. η χρωματική απόδοση της φωτεινής πηγής.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού πιστότητας των λαμπτήρων στην απόδοση των χρωμάτων, έχει ορισθεί ο δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra αυτών. Ο δείκτης αυτός συγκρίνει την πιστότητα με την οποία το φως μιας φωτεινής πηγής αποδίδει τα χρώματα, σε σύγκριση με μια άλλη πηγή που θεωρείται πρότυπη (βλέπε και ενότητα 3.3.1.8 Κριτήρια επιλογής λαμπτήρων φθορισμού).

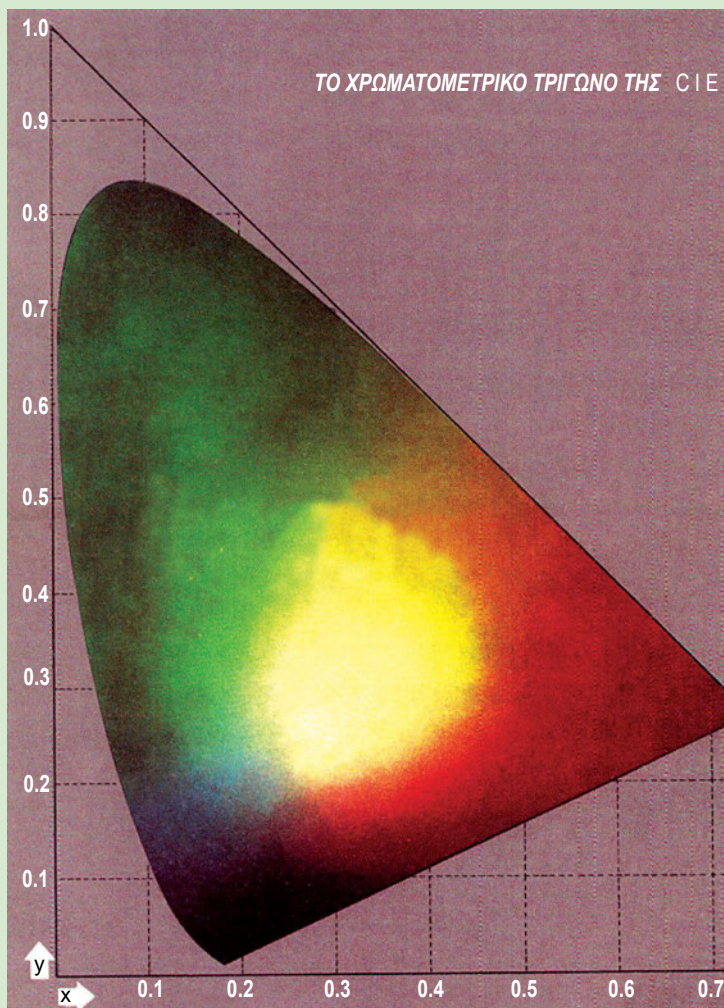
Η τελική όμως ερμηνεία ενός χρώματος επηρεάζεται και από το αισθητήριο της όρασης. Στις μονοχρωματικές ακτινοβολίες (π.χ. πράσινο, κόκκινο χρώμα) υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ χρώματος

και ερεθίσματος, ενώ στα χρώματα που προκύπτουν από ανάμειξη απλών χρωμάτων (σύνθετα χρώματα) δεν υπάρχει τέτοια αντιστοιχία και η χρωματική εντύπωση δημιουργείται από το αίσθημα του επικρατούντος χρώματος.

Η παραγωγή σύνθετων χρωμάτων μπορεί να γίνει με πρόσθεση απλών χρωμάτων σε διάφορες αναλογίες ή με αφαίρεση με τη βοήθεια φίλτρων.

Η πρόσθεση δύο χρωμάτων παράγει τρίτο χρώμα. Η πρόσθεση των τριών βασικών χρωμάτων, κόκκινου, πράσινου και μπλε δίνει λευκό χρώμα.

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (**C.I.E - Commission Internationale de l'Éclairage**), για την κάλυψη της ανάγκης καθορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών ενός χρώματος, υιοθέτησε το 1931 ένα χρωματικό σύστημα που εξακολουθεί να ισχύει μέχρι σήμερα με μικρές τροποποιήσεις. Το σύστημα της C.I.E. βασίζεται στη γενική αρχή κατά την οποία με μείξη τριών βασικών χρωμάτων σε διάφορες αναλογίες μπορεί να δημιουργηθεί οποιοδήποτε χρώμα. Το «χρωματικό επίπεδο» (επίπεδο απεικόνισης των χρωμάτων) αποτελείται από ορθογώνιο τρίγωνο στις κορυφές του οποίου έχουν τοποθετηθεί τρία κύρια χρώματα X (ερυθρό), Y (πράσινο) και Z (κυανό), με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κάθε χρώμα χαρακτηρίζεται από τρεις συντεταγμένες X, Y, Z, οι οποίες καλούνται χρωματομετρικές συντεταγμένες. Αν είναι γνωστές οι δύο από τις τρεις συντεταγμένες, τότε προσδιορίζεται το σημείο του χρωματικού επιπέδου για το οποίο αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο χρώμα, από το άθροισμα $X+Y+Z = 1$. Με το σύστημα του χρωματικού τριγώνου, οποιοδήποτε χρώμα καθορίζεται πλήρως όταν είναι γνωστές οι χρωματομετρικές του συντεταγμένες, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη πειραματική βοήθεια της φασματοφωτομετρίας.



Σχήμα 1.6: Απεικόνιση χρωματικού τριγώνου της C.I.E

Στο κέντρο του τριγώνου απεικονίζεται το λευκό χρώμα.

■ 1.7 Θερμοκρασία και χρώμα

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σ' ένα χώρο, επηρεάζει τη γενικότερη εντύπωση που μας δίνει ο χώρος αυτός. Για παράδειγμα, ένας λαμπτήρας πυράκτωσης δημιουργεί συνήθως μια «θερμή» εντύπωση, λόγω του πλούσιου σε ερυθρές ακτινοβολίες φωτός του λαμπτήρα. Αντίθετα, ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος δίνει μια «ψυχρή εντύπωση», λόγω του μεγάλου ποσοστού κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας που περιέχει.

Επίσης, αν παρατηρήσουμε το εκπεμπόμενο φως λαμπτήρα πυράκτωσης για διάφορες τάσεις τροφοδοσίας, θα παρατηρήσουμε ότι όσο πιο μικρή είναι η τάση (μικρότερο

ρεύμα, μικρότερη θερμοκρασία νήματος) τόσο «θερμότερη» εντύπωση μας δίνει το φως που εκπέμπει ο λαμπτήρας.

Υπάρχει σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του νήματος και της εντύπωσης του χρώματος του φωτός που αυτό εκπέμπει.

Για το θέμα αυτό μελετήθηκαν οι ιδιότητες μιας ιδανικής διάταξης που καλείται «μέλαν σώμα» και έχει την ιδιότητα να απορροφά όλες τις ακτινοβολίες που πέφτουν σ' αυτή.

Το μέλαν σώμα εκπέμπει ακτινοβολία με τη μορφή θερμότητας. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτό για κάθε θερμοκρασία αντιστοιχεί και σε ένα χρώμα.

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται το μέλαν σώμα και της χρωματικής εντύπωσης που προκαλείται από την

ακτινοβολία που αυτό εκπέμπει εκφράζεται σε βαθμούς της απόλυτης κλίμακας Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Λαμπτήρες που η φωτεινή τους ακτινοβολία αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες χρώματος μικρότερες των 3300°K ονομάζονται «θερμοί» λαμπτήρες και το φάσμα τους είναι πλούσιο σε ερυθρές ακτινοβολίες.

Όσο αυξάνει η θερμοκρασία χρώματος, τόσο το φως του λαμπτήρα γίνεται λευκότερο (μέχρι τους 5000°K περίπου).

Λαμπτήρες που εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία χρώματος πάνω από 5000°K ονομάζονται «ψυχροί» λαμπτήρες και το φάσμα τους περιέχει μεγάλο ποσοστό κυανής ακτινοβολίας.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι θερμοκρασίες χρώματος μερικών πηγών φωτισμού.

Πίνακας 1.5: Πηγές φωτισμού και θερμοκρασία χρώματος

Είδος φωτεινής πηγής	Θερμοκρασία χρώματος σε $^{\circ}\text{K}$
Ηλιακό φως	5800 - 6500
Σεληνόφως	4100
Λαμπτήρας προβολέα	3000 - 3200
Λαμπτήρας πυράκτωσης με διπλό νήμα	2700 - 2900
Λαμπτήρας πυράκτωσης με αέριο	2700
Λαμπτήρας πυράκτωσης κενού	2500 - 2600
Κερι	1900 - 1950



2. Φωτομετρικά μεγέθη

Φωτεινή ενέργεια Q καλείται η ενέργεια που διαδίδεται στο χώρο από μια φωτεινή πηγή με τη μορφή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μετρείται σε λουμενώρας (lm), που είναι μονάδες αντίστοιχες με τις βατώρες (Wh) της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Φωτομετρία εξετάζει την φωτεινή ενέργεια που εκπέμπουν οι διάφορες φωτεινές πηγές.

Φωτομετρικά μεγέθη καλούνται τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στη Φωτομετρία.

■ 2.1 Στερεά γωνία

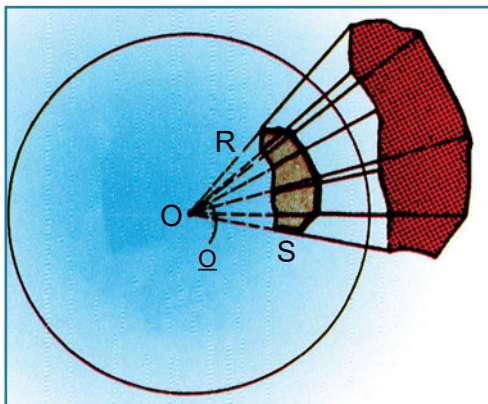
Ας θεωρήσουμε στο χώρο ένα σημείο O και μια κλειστή γραμμή τυχαιού σχήματος. Διάφορα σημεία αυτής της κλειστής γραμμής μπορούν να ενωθούν με ευθείες γραμμές με το σημείο O .

Το μέρος του χώρου που περικλείεται και περιορίζεται από αυτές τις ευθείες γραμμές ονομάζεται στερεά γωνία με κορυφή το σημείο O . Αν με κέντρο το σημείο O (κορυφή της στερεάς γωνίας) διαγράψουμε σφαίρα ακτίνας R , τότε ορίζεται μια επιφάνεια S στην επιφάνεια της σφαίρας.

Το μέτρο της αντίστοιχης στερεάς γωνίας που σχηματίστηκε είναι

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Από αυτή τη σχέση προκύπτει ότι η στερεά γωνία είναι αδιάστατος αριθμός.



Σχήμα 2.1:
Απεικόνιση στερεάς γωνίας

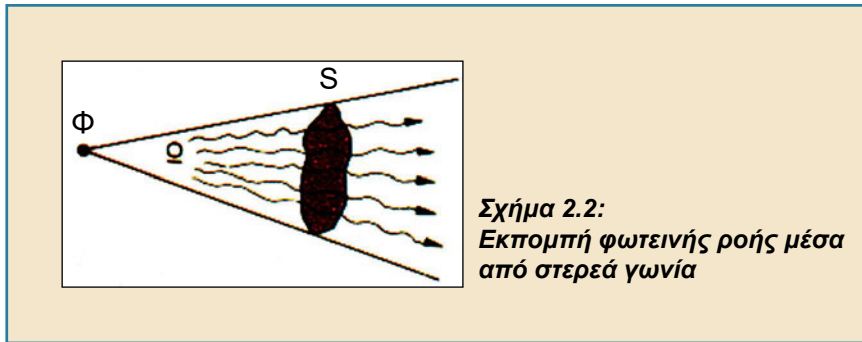
Αν έχουμε σφαίρα ακτίνας R και μια κλειστή γραμμή που ορίζει στην επιφάνεια της σφαίρας εμβαδόν $S = R^2$, τότε το κέντρο της σφαίρας και διάφορα σημεία της κλειστής γραμμής ορίζουν μια στερεά γωνία, που έχει μέτρο 1 sterad.

Μονάδα της στερεάς γωνίας είναι το ένα στερεακτίνιο (1 sterad ή sr).

Επειδή η συνολική επιφάνεια μιας σφαίρας είναι $S = 4\pi R^2$, η στερεά γωνία που ορίζεται από ολόκληρη τη σφαίρα αντιστοιχεί σε γωνία $\Omega = 4\pi R^2 / R^2 = 4\pi$ [sterad]

■ 2.2 Φωτεινή ροή

Η μαθηματική έκφραση $\Phi = dQ/dt$, δηλαδή το πηλίκο της στοιχειώδους ενέργειας που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή σε στοιχειώδη χρόνο δια του χρόνου αυτού, εκφράζει το φωτομετρικό μέγεθος που ονομάζεται φωτεινή ροή ή φωτεινή ισχύς.

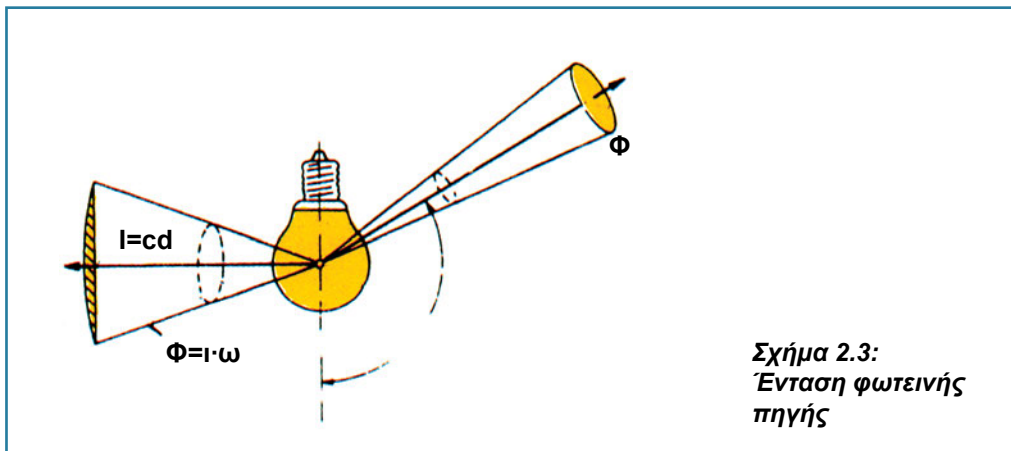


Όταν ο ρυθμός με τον οποίο εκπέμπεται η φωτεινή ενέργεια από την πηγή είναι σταθερός, η φωτεινή ροή είναι $\Phi = Q / t$. Η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η πηγή εκπέμπει φωτεινή ενέργεια.

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm).

■ 2.3 Ένταση φωτεινής πηγής

Ορίζεται ως **ένταση I** μιας φωτεινής πηγής το πηλίκο της στοιχειώδους φωτεινής ροής $d\Phi$ που εκπέμπεται στο εσωτερικό μιας στοιχειώδους στερεάς γωνίας $d\omega$ προς τη στερεά αυτή γωνία. Δηλαδή, $I = d\Phi/d\omega$.



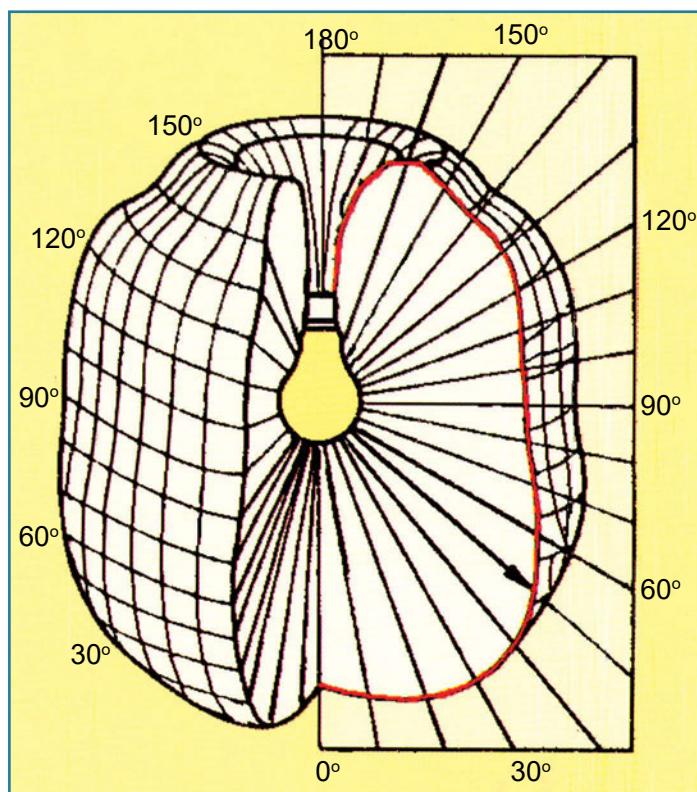
Εάν η ένταση της φωτεινής πηγής είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις (ομοιόμορφη εκπομπή), τότε ισχύει $I = \Phi/\omega$ ή $\Phi = I \cdot \omega$.

Μονάδα μέτρησης της έντασης μιας φωτεινής πηγής είναι η *candela* (cd)¹.

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / \text{sr} \text{ ή } 1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

Ένα lumen είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπεται εντός στερεάς γωνίας ενός sterad από φωτεινή πηγή ομοιόμορφης ακτινοβολίας έντασης μιας candela².

Στην πράξη, επειδή δεν υπάρχουν ιδανικές φωτεινές πηγές με ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή του φωτός γύρω τους, η διανομή της φωτεινής έντασης στις διάφορες κατευθύνσεις δίνεται σε διάγραμμα πολικών συντεταγμένων με μορφή καμπύλης, η οποία ονομάζεται **καμπύλη φωτεινής έντασης** ή φωτομετρική καμπύλη ή πολικό διάγραμμα.



Σχήμα 2.4: Καμπύλη φωτεινής έντασης και φωτομετρικό στερεό

¹ Μια *candela* ισούται με το 1/60 της έντασης ενός τετραγωνικού εκατοστού από την επιφάνεια «μέλανος σώματος» που βρίσκεται σε θερμοκρασία 1773 °C (θερμοκρασία τήξης λευκόχρυσου), αν θεωρηθεί ότι η επιφάνεια ακτινοβολεί κάθετα.

² Αν μια σημειακή φωτεινή πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις, τότε η συνολικά εκπεμπόμενη φωτεινή ροή Φ_{ολ} θα είναι η φωτεινή ροή που περνά από στερεά γωνία ω=4π [sterad], δηλαδή θα είναι:

$$\Phi_{\text{ολ}} = 4\pi I$$

Εάν η ένταση της σημειακής φωτεινής πηγής είναι $I = 1 \text{ cd}$, τότε από τη σχέση προκύπτει:

$$\Phi_{\text{ολ}} = 4\pi I = 4\pi [\text{sterad cd}] = 4\pi \text{ lumen} = 12,56 \text{ lumen}.$$

Όταν η φωτεινή πηγή παρουσιάζει διανομή της φωτεινής έντασης συμμετρική ως προς άξονα και έχει σε όλα τα επίπεδα την ίδια μορφή, τότε μπορεί να παρασταθεί με το μισό της μορφής της.

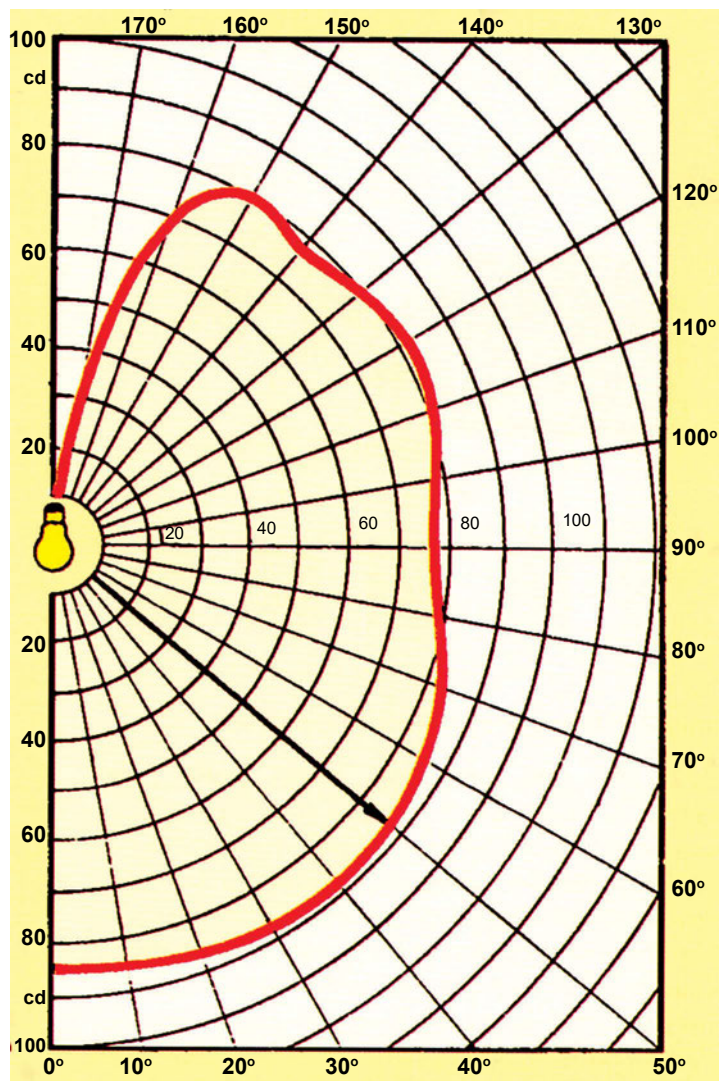
Επίσης, μπορεί να παρασταθεί με ένα στερεό συμμετρικό σώμα, που προκύπτει από την περιστροφή της καμπύλης έντασης φωτισμού του φωτιστικού σώματος γύρω από τον άξονα συμμετρίας του (φωτομετρικό στερεό). Καθένας από τους κύκλους, που συνιστούν το συμμετρικό σώμα αποτελεί το γεωμετρικό τόπο (σύνολο σημείων που έχουν την ίδια ιδιότητα) των κατευθύνσεων της ίδιας φωτεινής έντασης.

Από το παράδειγμα του λαμπτήρα του Σχήματος 2.5 και συγκεκριμένα από τις κατευθύνσεις διάδοσης του φωτός (σε μοίρες) με τα σημεία τομής της καμπύλης φωτεινής έντασης (παχιά γραμμή), παίρνουμε τις αντίστοιχες φωτεινές εντάσεις (με τη βοήθεια των κύκλων ίδιας φωτεινής έντασης):

- στην κατεύθυνση των 40° αντιστοιχεί $I_{40} = 89 \text{ cd}$
- στην κατεύθυνση των 90° αντιστοιχεί $I_{90} = 78 \text{ cd}$
- στην κατεύθυνση των 180° αντιστοιχεί $I_{180} = 0 \text{ cd}$

Άρα η ευνοϊκότερη περίπτωση έντασης φωτισμού από το συγκεκριμένο λαμπτήρα του Σχήματος 2.5 βρίσκεται στην κατεύθυνση μεταξύ 30° και 50° και η χειρότερη στις 180° (πάνω από το λαμπτήρα).

Κάθε καμπύλη φωτεινής έντασης αναφέρεται συνήθως σε λαμπτήρα φωτεινής ροής 1000 lm , οπότε για την εύρεση της έντασης κάθε λαμπτήρα πολλαπλασιάζουμε την τιμή του διαγράμματος με τον κατάλληλο συντελεστή. Για παράδειγμα, αν μελετάμε φωτιστικό σώμα λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης φωτεινής ροής 13500 lm , οι τιμές της φωτεινής έντασης που λαμβάνονται από το πολικό διάγραμμα θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή $13,5$ ($13500 / 1000 = 13,5$).



Σχήμα 2.5: Καμπύλη φωτεινής έντασης λαμπτήρα πυράκτωσης

■ 2.4 Φωτισμός επιφάνειας (Illuminance)

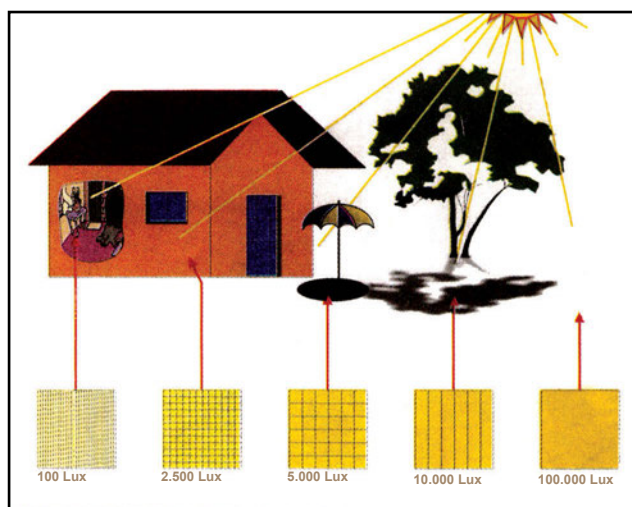
Ένα σώμα που δεν είναι αυτόφωτο, θεωρούμε ότι «φωτίζεται», όταν πάνω του προσπίπτει φωτεινή ροή. Το ποσό της φωτεινής ροής σε μια επιφάνεια, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, καθορίζει το βαθμό δυσκολίας ή ευκολίας για να διακρίνουμε το σώμα αυτό.

Αν θεωρήσουμε στοιχειώδη επιφάνεια εμβαδού dS πάνω στην οποία προσπίπτει κάθετα ποσότητα στοιχειώδους φωτεινής ροής $d\Phi$, τότε καλούμε φωτισμό E της επιφάνειας το πηλίκο $d\Phi/dS$, δηλαδή:

$$E = d\Phi/dS$$

Μονάδα μέτρησης του φωτισμού είναι το Lux

$$E = 1\text{lm}/1\text{m}^2 = 1 \text{ Lux}$$



Σχήμα 2.6: Φωτισμός επιφανειών με ηλιακό φως

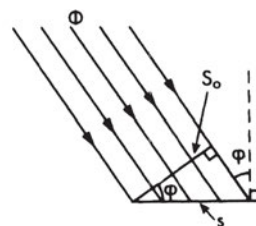
³ Η μέτρηση της ποσότητας φωτισμού E μιας επιφάνειας γίνεται με τα λουξόμετρα. Αυτά αποτελούνται από ένα φωτοστοιχείο που συνδέεται με ένα μιλιβολτόμετρο. Το μέγεθος της αναπτυσσόμενης ΗΕΔ στα άκρα του φωτοστοιχείου και επομένως η ένδειξη του μιλιβολτόμετρου εξαρτώνται από την ποσότητα φωτός που προσπίπτει στο φωτοστοιχείο. Τα λουξόμετρα δεν φέρουν ηλεκτρική πηγή και διαφέρουν από τα φωτόμετρα που φέρουν ηλεκτρική πηγή και γαλβανόμετρο και χρησιμοποιούνται στον κινηματογράφο, την τηλεόραση και τα συστήματα προστασίας.

2.4.1. Φωτισμός επιφάνειας υπό γωνία

Όταν η φωτεινή ροή Φ προσπίπτει υπό γωνία ϕ στην επιφάνεια S (σχήμα 2.7α) ο ίδιος αριθμός φωτονίων που πέφτουν επάνω σ' αυτή θα πέφτουν επάνω και σε μια επιφάνεια S_0 η οποία είναι κάθετος στη Φ . Οι επιφάνειες S και S_0 συνδέονται με τη σχέση:

$$S_0 = S \sin \phi \Rightarrow S = \frac{S_0}{\sin \phi}$$

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι χρειαζόμαστε μεγαλύτερη επιφάνεια για να συλλέξουμε τον ίδιο αριθμό φωτονίων για δεδομένη φωτεινή ροή Φ όταν αυτή πέφτει υπό γωνία.



Σχήμα 2.7α: Φωτισμός επιφάνειας υπό γωνία

Η ένταση φωτισμού στην κάθετη στη φωτεινή ροή Φ επιφάνεια S_0 είναι:

$$E_0 = \frac{\Phi}{S_0}$$

Η ένταση φωτισμού στην επιφάνεια S είναι: $E = \frac{\Phi}{S}$, όπου η S είναι μεγαλύτερη της S_0 .

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ότι η ένταση φωτισμού στην επιφάνεια S είναι:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{\frac{S_0}{\sin \phi}} = \frac{\Phi}{S_0} \sin \phi = E_0 \sin \phi$$

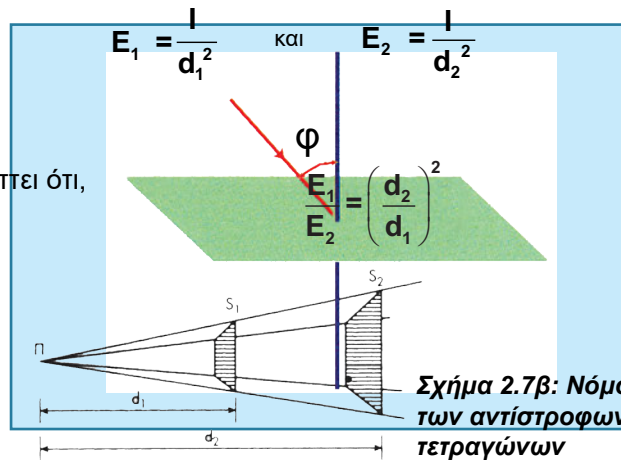
Προκύπτει, δηλαδή, ότι η γωνία πρόσπτωσης των φωτονίων ϕ μειώνει την ένταση φωτισμού³, από E_0 σε $E_0 \sin \phi$ ($\sin \phi \leq 1$). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια (από S_0 σε $\frac{S_0}{\sin \phi}$) για να υποδεχθεί τα φωτόνια ή αλλιώς ότι στην κεκλιμένη επιφάνεια μειώνεται η πυκνότητα των φωτονίων (φωτόνια ανά μονάδα επιφάνειας).

■ 2.5 Νόμοι της φωτομετρίας

Νόμος των αντίστροφων τετραγώνων

Όταν η ένταση ακτινοβολίας μιας σημειακής φωτεινής πηγής είναι I , ο φωτισμός τον οποίο αυτή προκαλεί σε επιφάνεια S_1 , κάθετη στη διεύθυνση των ακτίνων, η οποία βρίσκεται σε απόσταση d από την πηγή προσδιορίζεται από την σχέση: $E = \frac{I}{d^2}$

Στο σχήμα 2.7β οι επιφάνειες S_1 και S_2 είναι κάθετες στη διεύθυνση των ακτίνων και καλύπτουν την ίδια στερεά γωνία της σημειακής φωτεινής πηγής Π ευρισκόμενες σε απόσταση d_1 και d_2 αντίστοιχα. Ο αντίστοιχος φωτισμός των επιφανειών είναι:



Νόμος του συνημιτόνου

Ο φωτισμός που προκαλεί μια σημειακή φωτεινή πηγή σ' ένα σημείο μιας επιφάνειας είναι ανάλογος με την ένταση της φωτεινής πηγής, ανάλογος με το συνημίτονο της γωνίας με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες στη στοιχειώδη επιφάνεια και αντιστρόφως ανάλογος με το τετράγωνο της απόστασης της φωτεινής πηγής από το φωτιζόμενο σημείο.

$$E = \frac{I \cdot \cos \varphi}{R^2}$$

■ 2.6 Λαμπρότητα (Luminance)

Η λαμπρότητα είναι βασικό μέγεθος της φωτοτεχνίας, γιατί προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι το αίσθημα της φωτεινότητας των διαφόρων αντικειμένων. Τα διάφορα αντικείμενα διακρίνονται από τη λαμπρότητα με την οποία ακτινοβολούν το φως προς την κατεύθυνση του παρατηρητή.

Δεν έχει καμιά σημασία αν η επιφάνεια εκπέμπει φως (δηλαδή είναι αυτόφωτη) ή δέχεται ακτινοβολία (είναι ετερόφωτη).

Ιδανικές σημειακές φωτεινές πηγές δεν υπάρχουν. Στην πράξη, οι φωτεινές πηγές έχουν διαστάσεις και η φωτεινή ενέργεια εκπέμπεται από συγκεκριμένη επιφάνεια. Αν παρατηρήσουμε δύο μη σημειακές φωτεινές πηγές διαφορετικών διαστάσεων αλλά ίδιας φωτεινής έντασης I , τότε έχουμε την εντύπωση ότι η πηγή με τις μικρότερες διαστάσεις είναι «λαμπρότερη» από την άλλη.

Με δεδομένο ότι η ένταση δεν αποτελεί μοναδικό κριτήριο για τη σύγκριση φωτεινών πηγών, καθορίστηκε ένα μέγεθος χαρακτηριστικό της επιφάνειας που φωτοβολεί, το οποίο ονομάζεται λαμπρότητα και συμβολίζεται με το L (Luminance).

Αν η επιφάνεια παρατηρηθεί με τρόπο ώστε η διεύθυνση της όρασης να είναι κάθετη στην επιφάνεια, ως λαμπρότητα ορίζεται το πηλίκο:

$$L = \frac{I}{S}$$

όπου I είναι η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της.

Η λαμπρότητα μιας επιφάνειας σπάνια είναι ομοιογενής, γι' αυτό η παραπάνω σχέση δίνει τη «μέση λαμπρότητα» της επιφάνειας.

Μονάδα λαμπρότητας είναι το $1 \text{ Nit} = 1 \text{ cd/m}^2$

Αν όμως η διεύθυνση της όρασης σχηματίζει με την κάθετο στην επιφάνεια γωνία φ τότε η λαμπρότητα δίνεται από τη σχέση:

$$L_{\varphi} = \frac{I_{\varphi}}{S \cos \varphi} \quad (\text{με } \varphi \neq 90^\circ)$$

Η σχέση αυτή αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του νόμου του **Lambert**, σύμφωνα με τον οποίο:

Το μέγεθος της λαμπρότητας μιας επιφάνειας εξαρτάται από τη διεύθυνση παρατήρησης.

Υψηλές τιμές λαμπρότητας προκαλούν ανεπιθύμητο φαινόμενο της θάμβωσης, που επηρεάζει την ικανότητα της όρασης.

Πίνακας 2.1: Τιμές μέσης λαμπρότητας φωτεινών πηγών.

Είδος πηγής	Λαμπρότητα σε cd/cm^2
• Μεσημεριανός ήλιος	150000
• Λαμπτήρας πυράκτωσης διαφανή κώδωνα	200 - 2000
• Λαμπτήρας ατμών Νατρίου	10 - 14
• Λαμπτήρας ατμών Υδραργύρου υψηλής πίεσης	4 - 25
• Λαμπτήρας πυράκτωσης με ματ κώδωνα	1 - 5
• Φλόγα κεριού	0,7
• Λαμπτήρας φθορισμού	0,35 - 0,75
• Σελήνη	0,25

■ 2.7 Φωτιστική απόδοση λαμπτήρων

Οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες μετατρέπουν μόνο ένα ποσοστό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή ενέργεια. Το ποσό της φωτεινής ροής Φ το οποίο αποδίδεται από κάποιον λαμπτήρα για κάθε watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος P καλείται απόδοση α του λαμπτήρα και εκφράζεται σε lumen / watt.

Επομένως: $\alpha = \Phi / P$

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν καλύτερο συντελεστή απόδοσης από τους συνηθισμένους λαμπτήρες πυράκτωσης, δηλαδή μπορούμε να έχουμε το ίδιο φως με λιγότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η οικονομία σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση κατάλληλων λαμπτήρων φθορισμού, αντί για τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης, συχνά φθάνει έως και το 85%.

Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστή απόδοσης:

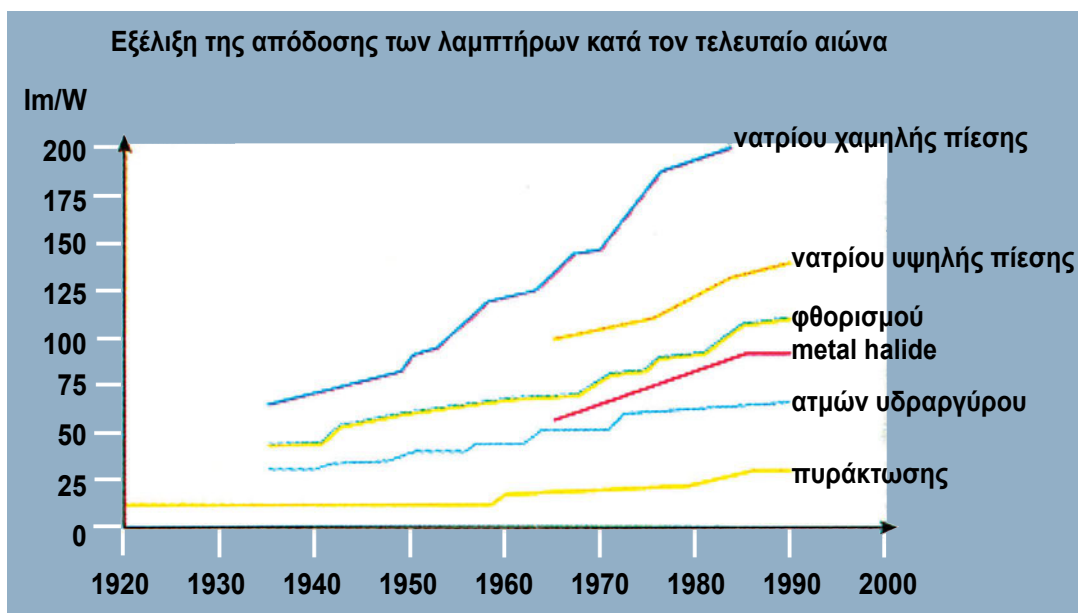
Λαμπτήρας υδραργύρου υψηλής πίεσης ισχύος 250 W, αποδίδει φωτεινή ροή 13500 lm. Για τη λειτουργία του χρησιμοποιείται και στραγγαλιστικό πηνίο, που παρουσιάζει απώλειες 20 W.

Ζητείται να υπολογιστούν:

- α)** η απόδοση του λαμπτήρα (μόνο) και
- β)** η απόδοση του συστήματος.

Επίλυση:

- α)** Η απόδοση του λαμπτήρα θα ισούται με:
 $13500 \text{ lm} / 250 \text{ W} = 54 \text{ lm} / \text{W}$
- β)** Η απόδοση του συστήματος θα ισούται με:
 $13500 \text{ lm} / 250 + 20 \text{ W} = 50 \text{ lm} / \text{W}$



Σχήμα 2.8: Εξέλιξη της απόδοσης των λαμπτήρων κατά τον τελευταίο αιώνα.

■ 2.8 Τυπολόγιο Φωτομετρίας

Ο Πίνακας 2.2 δίνει τις σημαντικότερες σχέσεις της φωτομετρίας.

Μέγεθος	Τύπος	Μονάδες
Μέτρο στερεάς γωνίας	$\Omega = S / R^2$	Sterad ή sr
Ένταση φωτεινής σημειακής πηγής (ομοιόμορφη εκπομπή)	$I = \Phi / \omega$	candela ή cd
Ολική φωτεινή ροή σημειακής πηγής (ομοιόμορφη εκπομπή)	$\Phi_{ολ} = 4\pi I$	lumen ή lm
Φωτισμός επιφάνειας από παράλληλη δέσμη	$E = \Phi \text{ συν}\varphi / S$	Lux ή lm/m ²
Φωτισμός στοιχειώδους επιφάνειας από σημειακή πηγή	$E = I \text{ συν}\varphi / R^2$	Lux ή cd/ m ²
Λαμπρότητα επιφάνειας	$L = I / S \text{ συν}\varphi$	cd / m ²
Απόδοση φωτεινής πηγής	$\alpha = \Phi / P$	lumen /watt

Πίνακας 2.2: Σχέσεις φωτομετρίας



3. Τεχνητές φωτεινές πηγές (λαμπτήρες)

■ 3.1 Κριτήρια επιλογής

Ηδη από το 1925 είχε διατυπωθεί ο ορισμός του καλού φωτισμού: «Λέμε ότι ο *φωτισμός είναι καλός*, όταν τα μάτια μας μπορούν να διακρίνουν *καθαρά και ευχάριστα* τα αντικείμενα γύρω μας». Ο ορισμός αυτός εξακολουθεί βασικά να ισχύει ακόμη και σήμερα με μια μικρή τροποποίηση: «ο φωτισμός πρέπει να είναι *λειτουργικός και ευχάριστος*».

Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή επιλογή του λαμπτήρα, αφού κάθε λαμπτήρας είναι κατασκευασμένος για να καλύπτει και διαφορετικές ανάγκες. Για την επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από κριτήρια που μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω 4 κατηγορίες:

1. Φωτοτεχνικά κριτήρια
2. Οικονομοτεχνικά κριτήρια
3. Τεχνικά κριτήρια
4. Οικολογικά - Περιβαλλοντικά κριτήρια

Φωτοτεχνικά κριτήρια

- **Θερμοκρασία χρώματος (Tc)**

Προσδιορίζει την απόχρωση του φωτός και μετριέται σε βαθμούς Kelvin (°K).

Θερμοκρασία χρώματος:

- ✓ μικρότερη από 3300 °K δίνει θερμή εντύπωση,
- ✓ μεταξύ 3300 - 5000 °K δίνει δευ-τέρη λευκή εντύπωση και
- ✓ μεγαλύτερη από 5000 °K δίνει ψυχρή εντύπωση.

- **Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (Ra)**

Προσδιορίζει το βαθμό πιστότητας στην απόδοση των χρωμάτων σε σχέση με την απόδοσή τους, όταν φωτίζονται από πρότυπη φωτεινή πηγή. Πρότυπες φωτεινές πηγές με δείκτη χρωματικής απόδοσης 100 θεωρούνται:

- ✓ ο ήλιος (φυσική φωτεινή πηγή) και
 - ✓ ο λαμπτήρας πυράκτωσης (τεχνητή φωτεινή πηγή).
- Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης έχει ιδιαίτερη σημασία στους λαμπτήρες φθορισμού και στις τιμές:
- ✓ 90 - 100 υποδηλώνει απόδοση χρωμάτων εξαιρετική,
 - ✓ 80 - 90 υποδηλώνει απόδοση χρωμάτων καλή
 - ✓ 50 - 80 υποδηλώνει απόδοση χρωμάτων κακή.

Οικονομοτεχνικά κριτήρια

- **Απόδοση του λαμπτήρα**

Εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ροής που αποδίδει ο λαμπτήρας σε σχέση με την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει.

Π.χ απόδοση λαμπτήρα πυράκτωσης 15 lm / W

- **Χρόνος ζωής του λαμπτήρα**

Αναφέρεται στην αναμενόμενη χρονική διάρκεια ζωής του λαμπτήρα και μετριέται σε ώρες.

Συχνά αναφέρονται και οι όροι:

Μέσος χρόνος ζωής, που είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο το 50% τουλάχιστον των υπό δοκιμή λαμπτήρων παραμένει σε λειτουργία.

Οικονομικός χρόνος ζωής, που είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο ο λαμπτήρας διατηρεί το 80% τουλάχιστον της ονομαστικής φωτεινής ροής του.

Τεχνικά κριτήρια

- **Θέση λειτουργίας**

Προσδιορίζει τη θέση του λαμπτήρα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και μετριέται σε μοίρες (°) από τον οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα. Υπάρχει συγκεκριμένη θέση λειτουργίας για κάθε ομάδα λαμπτήρων και πρέπει να ακολουθείται για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία και η βέλτιστη απόδοση του λαμπτήρα.

- **Συνθήκες λειτουργίας ή θερμοκρασία περιβάλλοντος**

Προσδιορίζει τα όρια της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου του λαμπτήρα, μέσα στα οποία εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη έναυση και λειτουργία του λαμπτήρα. Μετριέται σε βαθμούς της κλίμακας Κελσίου.

- **Τάση λειτουργίας**

Προσδιορίζει την περιοχή τάσης του δικτύου με την οποία τροφοδοτείται ο λαμπτήρας ή τα όργανα έναυσης και λειτουργίας του λαμπτήρα, ανάλογα με τον τύπο του, για την εξασφάλιση της κανονικής λειτουργίας του λαμπτήρα. Μετριέται σε volt.

- **Διαστάσεις του λαμπτήρα**

Όπως αυτές αναγράφονται για τον κάθε λαμπτήρα.

- **Κάλυκας - λυχνιολαβή**

Όπως αυτές αναγράφονται για τον κάθε λαμπτήρα.

Οικολογικά - Περιβαλλοντικά κριτήρια

- **Περιεκτικότητα πιθανών βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον**

Αναφέρεται στην περιεκτικότητα, ή μη, υλικών που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του λαμπτήρα και που ταυτόχρονα μπορεί να είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και το περιβάλλον⁴.

- **Εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας**

Αναφέρεται στην εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από

το λαμπτήρα. Υπάρχει σχετική οδηγία από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την υποχρεωτική ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας των λαμπτήρων. Η ένδειξη αυτή, που υπάρχει στη συσκευασία των λαμπτήρων (**ENERGY EFFICIENCY LABEL**), ενημερώνει τον καταναλωτή για το πόση εξοικονόμηση ενέργειας εξασφαλίζεται από το συγκεκριμένο λαμπτήρα.

Η ένδειξη αυτή περιλαμβάνει επτά (7) κατηγορίες κατανάλωσης ενέργειας: A, B, C, D, E, F, G.

Όσο πιο κοντά βρίσκεται ο λαμπτήρας στην κατηγορία A, τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει.

Για παράδειγμα, οι λαμπτήρες τύπου PL κατατάσσονται στην κατηγορία A, ενώ οι κοινοί λαμπτήρες πυράκτωσης κατατάσσονται στην κατηγορία F ή G.

Οι λαμπτήρες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της φωτεινής ακτινοβολίας την οποία εκπέμπουν. Πρακτικά, έχουμε δύο κύρια είδη λαμπτήρων:

α) **πυράκτωσης** και β) **εκκένωσης**.

■ 3.2 Λαμπτήρες πυράκτωσης

Είναι ο παλιότερος τύπος ηλεκτρικής πηγής φωτός, ο οποίος παραμένει ακόμη σε ευρεία χρήση. Οι πρώτοι λαμπτήρες κατασκευάστηκαν από τον Τόμας Έντισον το 1891. Δίνουν ευχάριστο, θερμό λευκό φως, επειδή έχουν θερμοκρασία χρώματος 2800 °K. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων αυτών είναι σχεδόν 100, δηλαδή αποδίδουν τα χρώματα με άριστη ποιότητα. Δεν απαιτούν για τη λειτουργία τους καμία βοηθητική συσκευή.

Οι λαμπτήρες αυτοί στηρίζουν τη λειτουργία τους στο φαινόμενο της θέρμανσης μεταλλικού νήματος, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, σύμφωνα με το φαινόμενο Joule. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, έχουμε μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα και ακτινοβολία φωτός, εντός του ορατού φάσματος.

Από την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ο λαμπτήρας πυράκτωσης μετατρέπει σε φωτεινή ενέργεια μικρό μόνο ποσοστό, με αποτέλεσμα η φωτιστική απόδοση του λαμπτήρα να είναι περίπου 15 lm/W.

Παρατηρήθηκε ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νήματος τόσο υψηλότερος είναι και ο βαθμός απόδοσης του λαμπτήρα. Όμως, η υψηλή θερμοκρασία του νήματος προκαλεί την εξάχνωσή του με απο-

⁴Με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης COM 2001-316, προτείνεται τα κράτη-μέλη να διασφαλίσουν ότι ο νέος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θα τίθεται σε εμπορική κυκλοφορία μετά την 1/1/2006 δε θα περιέχει μόλυβδο, υδράργυρο, κάδμιο, ασθενές χρώμιο κ.λπ..

τέλεσμα τη γρήγορη καταστροφή του. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του νήματος είναι το τουγκστένιο, επειδή έχει υψηλό σημείο τήξεως και απαιτείται σχετικά μεγάλο έργο για την εξαγωγή των ηλεκτρονίων του.

Αρχικά, επικράτησε η άποψη ότι ο κώδωνας του λαμπτήρα πρέπει να είναι κενός, για να αποφεύγεται το φαινόμενο της οξειδωσης του νήματος στις υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες εργάζεται. Αργότερα, διαπιστώθηκε ότι είναι προτιμότερο ο κώδωνας να περιέχει αδρανές αέριο υπό πίεση, για να περιορίζεται η διαφυγή ηλεκτρονίων από το νήμα και να αυξάνεται ο χρόνος ζωής του.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων πυράκτωσης είναι μειωμένη, γιατί το νήμα τους συνεχώς αδυνατίζει ώσπου να λιώσει ή να κοπεί.

Οι λαμπτήρες έχουν μικρό κόστος, χαμηλή απόδοση, μεγάλο πεδίο εφαρμογών σε εσωτερικούς κυρίως χώρους και είναι γνωστοί στο ευρύ κοινό. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σε διάφορους τύπους, όπως κανονικοί κώδωνες, λαμπτήρες κεριά, λαμπτήρες με καθρέφτη, διακοσμητικοί λαμπτήρες, με ισχύ από 25 - 200 W.

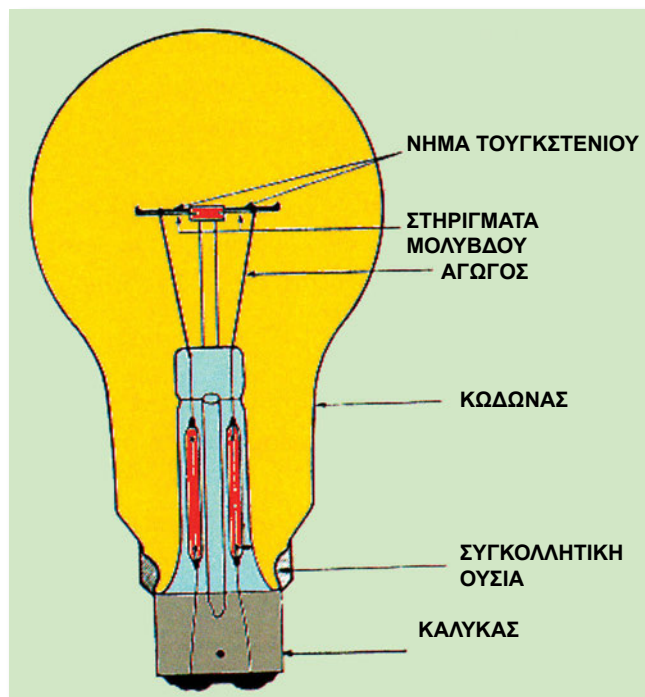
Η παραγόμενη φωτεινή ροή είναι 200 - 2500 lm.

Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μόνο λυχνιολαβή και ακροδέκτες.

3.2.1 Κατασκευαστικά μέρη λαμπτήρα πυράκτωσης

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας λαμπτήρας πυράκτωσης είναι το νήμα, τα στηρίγματα νήματος, ο κώδωνας, το αέριο και ο κάλυκας.

1. Το νήμα κατασκευάζεται από το υλικό τουγκστένιο και έχει διάμετρο της τάξης των 10 μm, όση περίπου μια ανθρώπινη τρίχα. Παράγεται σε τρεις μορφές, την ευθύγραμμη, την ελικοειδή και τη μορφή της διπλής ελικοειδούς περιέλιξης. Με την ελικοειδή και τη διπλή ελικοειδή περιέλιξη, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του λαμπτήρα, μειώνεται το μέγεθος του νήματος, απλουστεύεται η στήριξη του νήματος καθώς και η γενικότερη κατασκευή του λαμπτήρα. Επίσης, τέτοιας κατασκευής νήμα παρουσιάζει μικρότερη ενεργή επιφάνεια προς το αέριο το οποίο περιέχει ο κώδωνας. Η τροφοδοσία του νήματος με ρεύμα γίνεται μέσω κατάλληλων αγωγών, που καλούνται αγωγοί προσαγωγής.



Σχήμα 3.1:
Λαμπτήρας πυράκτωσης
και τα μέρη που τον αποτελούν



2. Τα στηρίγματα νήματος. Γενικά κατασκευάζονται από μεγάλης καθαρότητας μολυβδένιο, το οποίο είναι χημικά αδρανές με το τουνγκστένιο.

3. Ο κώδωνας. Περιέχει το νήμα και εμποδίζει το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα να το οξειδώσει και να το καταστρέψει. Οι λαμπτήρες μεγάλης ισχύος κατασκευάζονται από διαφανή κώδωνα ενώ οι μικρότερης ισχύος από θαμπό κώδωνα ή από γυαλί με προσμίξεις πυριτίου. Αν το αέριο πλήρωσης είναι το στοιχείο κρυπτό, ο κώδωνας είναι ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων.

4. Το αέριο. Για την πρόληψη της πρόωρης εξάχνωσης (μετατροπή του στερεού σε αέριο) του νήματος, οι περισσότεροι τύποι λαμπτήρων πυράκτωσης άνω των 40W πληρούνται με αέριο. Έτσι, το νήμα μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης του λαμπτήρα. Το αέριο που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το αργό ή το άζωτο ή μίγμα αργού με άζωτο σε αναλογία 90 / 10. Όσο αυξάνεται η πίεση του αερίου, τόσο περιορίζεται η εξάχνωση του νήματος. Το αέριο βρίσκεται σε πίεση 0,9 ατμοσφαιρών, όταν το νήμα δε διαρρέεται από ρεύμα, και περίπου 1,5 ατμοσφαιρών, όταν ο λαμπτήρας βρίσκεται σε λειτουργία. Τα τελευταία χρόνια, το φαινόμενο της εξάχνωσης περιορίστηκε με τη χρήση των αλογόνων στοιχείων (χλώριο, ιώδιο και βρώμιο). Μέσα στον κώδωνα του λαμπτήρα τοποθετείται συνήθως μικρή ποσότητα ατμών ιωδίου, η οποία σχηματίζει χημική αντίδραση με τα στοι-

Σχήμα 3.2:
Διάφορες μορφές νημάτων
λαμπτήρων πυράκτωσης

χεία της εξάχνωσης του τουνγκστενίου. Το προϊόν της χημικής αντίδρασης καλείται αλογονίδιο του τουνγκστενίου και επικάθεται στο νήμα του λαμπτήρα. Εκεί, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας διασπάται σε αλογόνο και τουνγκστένιο, το οποίο και αποθέτει πάνω στο νήμα. Το αλογόνο συμμετέχει σε νέο κύκλο αντίδρασης. Με τον τρόπο αυτό, στο νήμα επανέρχεται ποσότητα τουνγκστενίου και η συνολική εξάχνωση αυτού περιορίζεται. Επίσης, περιορίζεται στο ελάχιστο

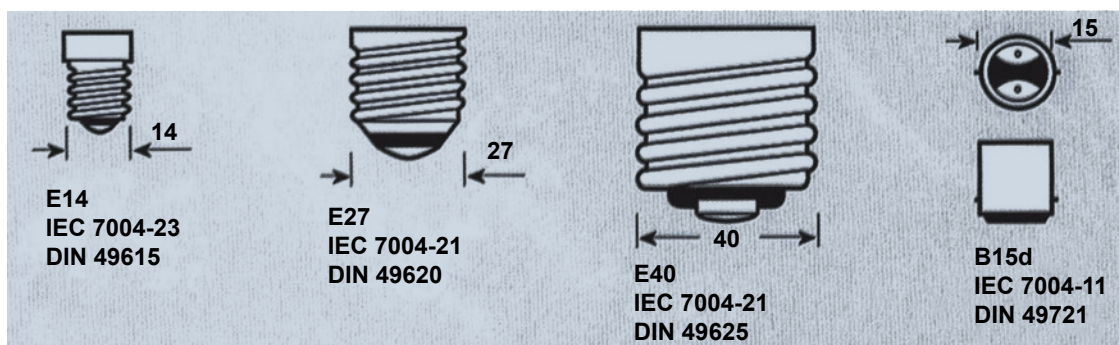
το φαινόμενο αμαύρωσης του λαμπτήρα, ακόμη και αν είναι μικρών διαστάσεων. Οι λαμπτήρες που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται «λαμπτήρες ιωδίνης» και, επειδή το νήμα τους λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες, έχουν και καλύτερο βαθμό απόδοσης. Παρουσιάζουν χρόνο ζωής 2000 ώρες, χρόνο περίπου διπλάσιο από ένα κοινό λαμπτήρα πυράκτωσης. Κατασκευάζονται σε ελάχιστες διαστάσεις και παρέχουν σταθερή φωτεινή ροή.

5. Ο κάλυκας. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης λειτουργούν ή στο κενό ή στην ατμόσφαιρα κάποιου αδρανούς αερίου. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητη η απομόνωση του νήματος από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτό πετυχαίνεται με την αεροστεγή επαφή του γυάλινου κώδωνα με το μεταλλικό κάλυκα (βάση στήριξης) του λαμπτήρα. Οι κάλυκες κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις ύψους και διαμέτρου, τηρώντας διεθνείς προδιαγραφές.

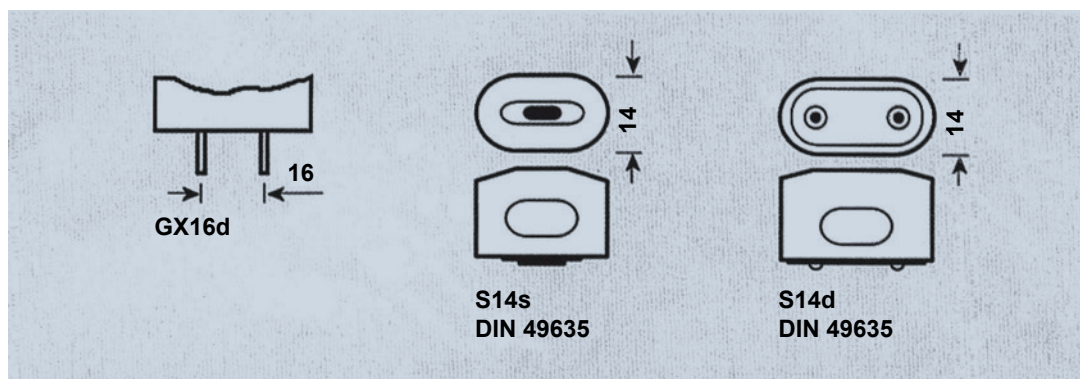
Οι δυο συνήθεις τύποι είναι ο βιδωτός, που βιδώνεται στη λυχνιολαβή (ντουί), και ο μπαγιονέτ, που στηρίζεται στη λυχνιολαβή με τη βοήθεια δύο προεξοχών. Ο πρώτος τύπος χαρακτηρίζεται με το γράμμα E (Edisson) και ο δεύτερος με το γράμμα B (Baïonnette). Τα γράμματα E και B ακολουθούνται από αριθμό που χαρακτηρίζει τη διάμετρο του κάλυκα σε χιλιοστά. Και οι δύο τύποι κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι:

Βιδωτός τύπος (Edisson)	Τύπος μπαγιονέτ (Baïonnette)
E10	B15
E14	B22
E27	
E40	

Οι κάλυκες στερεώνονται στον γυάλινο κώδωνα με τη χρήση ειδικής συγκολλητικής ουσίας.



Σχήμα 3.3: Διάφοροι τύποι από κάλυκες



Σχήμα 3.3: Διάφοροι τύποι από κάλυκες

3.2.2 Είδη λαμπτήρων πυράκτωσης

Κοινοί λαμπτήρες, διαφανείς

Οι κοινοί λαμπτήρες δίνουν ευχάριστο φως και χρησιμοποιούνται κυρίως για οικιακό φωτισμό. Διατίθενται με κάλυκα βιδωτό E27 ή μπαγιονέτ B22.



Σχήμα 3.4: Κοινοί λαμπτήρες πυράκτωσης

Λαμπτήρες κεριά

Διακρίνονται σε κεριά μινιόν ματ και μινιόν διαφανή. Τα ματ κεριά δίνουν απαλό φως και τα διαφανή λαμπερό. Και οι δύο τύποι είναι κατάλληλοι για διακοσμητικό φωτισμό σε ποικίλους χώρους, όπως σε κατοικίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια και ειδικά σε φωτιστικά σώματα τύπου πολυελαίου.



Σχήμα 3.5: Λαμπτήρες κεριά



Σχήμα 3.6: Σφαιρικός λαμπτήρας

Λαμπτήρες σφαιρικοί

Διατίθενται στην αγορά σε κανονικό και σε μινιόν κάλυκα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για διακοσμητικό φωτισμό.



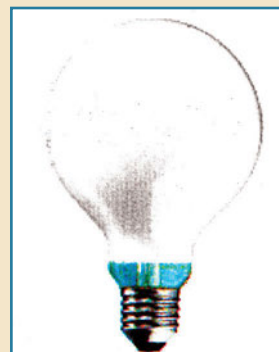
Λαμπτήρες Argenta

Οι λαμπτήρες τύπου Argenta δίνουν ευχάριστο φως που διαχέεται ομοιόμορφα, δημιουργώντας άνετη και όμορφη ατμόσφαιρα.

Σχήμα 3.7: Λαμπτήρας τύπου Argenta

Λαμπτήρες Softone

Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν μοντέρνο σχήμα που προσφέρεται για διακοσμητικές λύσεις και δίνουν ευχάριστο απαλό φως.



Σχήμα 3.8: Λαμπτήρας τύπου Softone

3.2.3 Λαμπτήρες πυράκτωσης ειδικών χρήσεων

Λαμπτήρες χαμηλής τάσης

Διαθέτουν ίδια χαρακτηριστικά με τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης, αλλά λειτουργούν σε τάση τροφοδοσίας 24 ή 42 V.



Λαμπτήρες ηλιακού φωτός

Οι λαμπτήρες ηλιακού φωτός μοιάζουν με τους κοινούς λαμπτήρες, αλλά διαθέτουν γυαλί μπλε χρώματος, αποδίδοντας έτσι το φυσικό φως. Χρησιμοποιούνται για διάβασμα, σχεδίαση και σε εφαρμογές όπου απαιτείται σύγκριση χρωμάτων.

Σχήμα 3.9: Λαμπτήρας ηλιακού φωτός

Λαμπτήρες σηματοδότησης

Είναι λαμπτήρες ειδικού ενισχυμένου αντικραδασμικού τύπου. Χρησιμοποιούνται για τη σηματοδότηση δρόμων.

Λαμπτήρες εντόμων

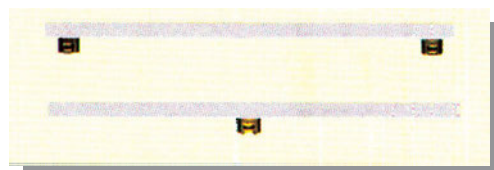
Είναι λαμπτήρες με ειδικό κίτρινο ευχάριστο φως, που δεν προσελκύει τα έντομα. Είναι κατάλληλοι για το φωτισμό εξωτερικών χώρων.

Λαμπτήρες μορφής ράβδου

Είναι λαμπτήρες πυράκτωσης επιμήκεις σε λεπτή γραμμή. Είναι κατάλληλοι για τον εσωτερικό φωτισμό επίπλων και προθηκών.

Λαμπτήρες για ηλεκτρικές συσκευές

Είναι σωληνωτοί λαμπτήρες πυράκτωσης, για ραπτομηχανές, φούρνους, ψυγεία.



Σχήμα 3.10: Ραβδόμορφος λαμπτήρας πυράκτωσης

Λαμπτήρες καθρέφτη με σκληρό γυαλί

Διαθέτουν πολύ ισχυρή δέσμη, έχουν ελλειψοειδή διατομή και έχουν χρόνο ζωής 2000 ώρες. Εκτός του λευκού, διατίθενται και σε τέσσερα ακόμη χρώματα, μπλε, πράσινο, κόκκινο και κίτρινο. Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό βιτρινών, μουσείων, εκθέσεων, κήπων, εστιατορίων καθώς και για τη δημιουργία φωτιστικών εφέ. Ο λαμπτήρας με τάση λειτουργίας 12 V είναι κατασκευασμένος για χρήση σε πισίνες και συντριβάνια.



Σχήμα 3.11:
Λαμπτήρες καθρέφτη
με σκληρό γυαλί,
απλοί και έγχρωμοι

Λαμπτήρες καθρέφτη

Οι λαμπτήρες καθρέφτη έχουν ιδιαίτερο σχήμα και φέρουν ειδικό καθρέπτη για τη δημιουργία ισχυρότερης δέσμης. Παράγουν κατά 20 % περισσότερο φως, έχουν διάρκεια ζωής 1000 ώρες και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εσωτερικού φωτισμού. Στο εμπόριο, εκτός του απλού, κυκλοφορούν και οι έγχρωμοι.



Σχήμα 3.12: Λαμπτήρες καθρέφτη



Λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη

Οι λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη τοποθετούνται κυρίως σε φωτιστικά με ανακλαστήρα και χρησιμοποιούνται για τον απαλό φωτισμό αντικειμένων. Λόγω της κατασκευής τους, το νήμα του λαμπτήρα δεν είναι άμεσα ορατό, με αποτέλεσμα την αποφυγή της θάμβωσης.

Σχήμα 3.13: Λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη.

3.2.4 Λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου

Οι λαμπτήρες αυτοί αποτελούν την εξέλιξη των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης. Το εξατμιζόμενο από το νήμα βολφράμιο απορροφάται από το αλογόνο και στη συνέχεια, μετά από χημική διάσπαση, επικάθεται ξανά πάνω στο νήμα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της συνολικής εξάχνωσής του.

Συγκρινόμενοι με τους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης, παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση και διπλάσια τουλάχιστον διάρκεια ζωής. Οι λαμπτήρες αλογόνων διατίθενται σε πολλούς τύπους.

Λειτουργούν με χαμηλή τάση (π.χ. 12 V) και έχουν διάρκεια ζωής 3000 - 5000 ώρες ή λειτουργούν με την τάση του δικτύου (230 V) και έχουν διάρκεια ζωής περίπου 2000 ώρες.

Κυκλοφορούν στο εμπόριο και με κοινό κάλυκα, για άμεση και εύκολη αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης.

Δίνουν λαμπερό φως, λευκότερο από τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης, έχουν θερμοκρασία χρώματος 3000 - 3300 °K και δείκτη χρωματικής απόδοσης $R_a = 100$. Παρέχουν φωτισμό 60 - 44000 lm, με απόδοση μέχρι 25 lm / W.

Όσον αφορά το ηλεκτρικό τους κύκλωμα, για τη λειτουργία των λαμπτήρων πυράκτωσης αλογόνου απαιτείται μόνο λυχνιολαβή και ακροδέκτες. Για τη λειτουργία των λαμπτήρων χαμηλής τάσης απαιτείται επιπλέον μετασχηματιστής στα 6, 12 ή 24 V.

Μερικοί από τους τύπους που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά είναι οι ακόλουθοι:

Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης, αλουμινίου

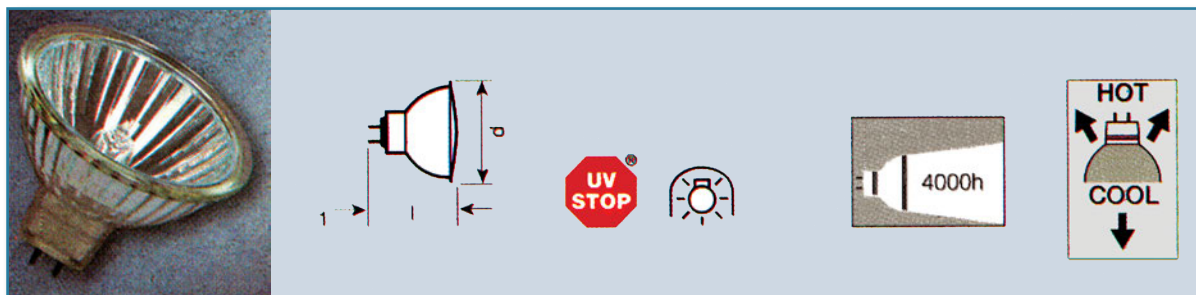
Οι λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης 6 ή 12 V, με κάτοπτρο από αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη αντικειμένων σε μουσεία, σε καταστήματα, σε αίθουσες ψυχαγωγίας και στις κατοικίες. Είναι οι πλέον κατάλληλοι λαμπτήρες για ξύλινες ψευδοροφές και γενικότερα σε εφαρμογές όπου η ανάπτυξη θερμότητας είναι ανεπιθύμητη. Έχουν χρόνο ζωής 2000 ώρες.



Σχήμα 3.14: Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης, αλουμινίου

Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης - dichroic (διχροϊκοί)

Οι λαμπτήρες αυτοί είναι από τους πλέον αποδοτικούς λαμπτήρες, με 5000 ώρες διάρκεια ζωής και με φωτισμό υψηλής ποιότητας. Έχουν ψυχρή δέσμη φωτός προς τα εμπρός, δηλαδή στέλνουν τη θερμότητα προς τα πίσω και δε θερμαίνουν τα φωτιζόμενα αντικείμενα. Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό καταστημάτων, ξενοδοχείων, εστιατορίων και εκθέσεων.



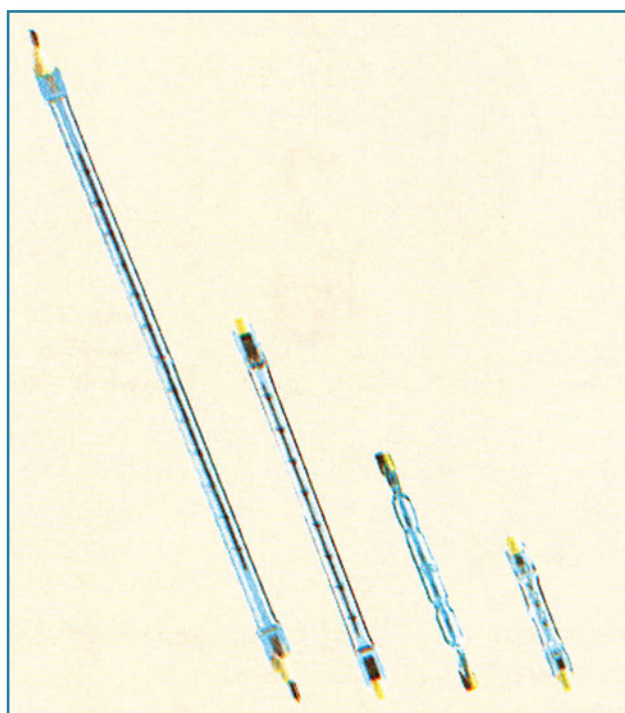
Σχήμα 3.15: Λαμπτήρας αλογόνων χαμηλής τάσης - dichroic

Λαμπτήρες αλογόνων ευθύγραμμης μορφής

Είναι λαμπτήρες ιωδίνης δύο άκρων. Λειτουργούν στα 230 V, με θερμοκρασία χρώματος 2900 °K και χρόνο ζωής 2000 - 3000 ώρες. Χρησιμοποιούνται σε προβολείς για εξωτερικό φωτισμό και σε ειδικά φωτιστικά για το φωτισμό δαπέδου, τοίχων και οροφής εσωτερικών χώρων.

Πρέπει να διατηρούνται καθαροί ακόμα και από δακτυλικά αποτυπώματα. Πριν από την έναρξη λειτουργίας τους, πρέπει να καθαρίζονται με οινόπνευμα.

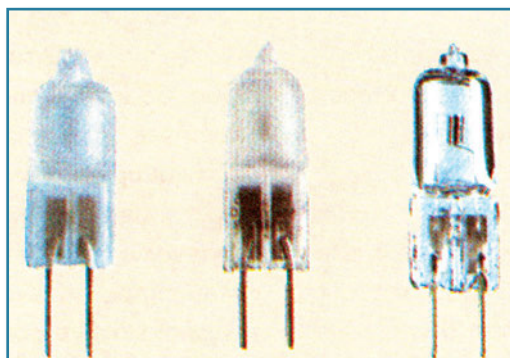
Λειτουργούν σε οριζόντια θέση, με μικρές αποκλίσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές.



Σχήμα 3.16:
Λαμπτήρες αλογόνων
ευθύγραμμης μορφής

Λαμπτήρες αλογόνων μορφής κάψουλας

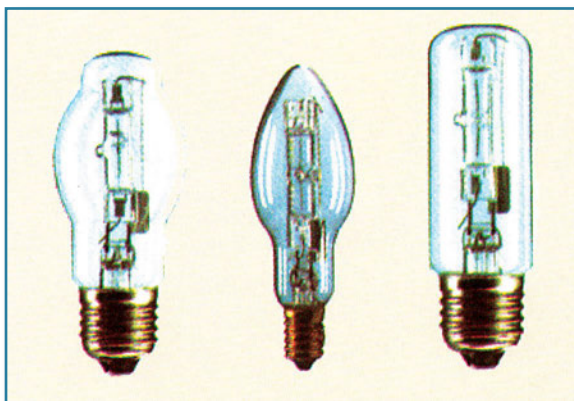
Οι διάφοροι τύποι μορφής κάψουλας μπορούν να παρέχουν λαμπερό πλούσιο φως και είναι ιδανικοί για το φωτισμό χώρων εργασίας, εφόσον τοποθετηθούν στα κατάλληλα φωτιστικά σώματα. Διατίθενται σε διαφανές και ματ γυαλί.



Σχήμα 3.17:
Λαμπτήρες αλογόνων
μορφής κάψουλας

Λαμπτήρες αλογόνων κοινού κάλυκα

Είναι λαμπτήρες κατάλληλοι για εσωτερικό και εξωτερικό γενικό φωτισμό σε κατοικίες, εστιατόρια και ξενοδοχεία. Λειτουργούν στα 230 V και φέρουν κάλυκα E27 ή E14, για άμεση αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης. Διατίθενται σε σχήμα σωληνωτό ή απιοειδές (αχλαδωτό), με διαφανές ή ματ γυαλί. Δίνουν ευχάριστο και λαμπρό φωτισμό. Είναι λαμπτήρες με μεγάλη ισχύ (1000 W) και χρησιμοποιούνται για τον εσωτερικό και εξωτερικό φωτισμό αθλητικών χώρων, πάρκων, κήπων και χώρων στάθμευσης. Έχουν διάρκεια ζωής 2000 ώρες.



Σχήμα 3.18:
Λαμπτήρες αλογόνων
κοινού κάλυκα

■ 3.3 Λαμπτήρες εκκένωσης

Από τους λαμπτήρες εκκένωσης, οι τύποι που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι: ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης (λαμπτήρες φθορισμού), λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης (απλοί, διορθωμένου φάσματος, με μεταλλικά ιωδιδια), λαμπτήρες μικτού φωτισμού, λαμπτήρες ξένου υψηλής πίεσης, λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και ειδικοί λαμπτήρες εκκένωσης.

Η λειτουργία όλων των παραπάνω λαμπτήρων στηρίζεται στα φαινόμενα που συμβαίνουν κατά την εκκένωση αερίου στο εσωτερικό τους.

Η φωτεινή τους ακτινοβολία προέρχεται καταρχήν από τον ιονισμό και στη συνέχεια από τη διέγερση των ατόμων στοιχείου το οποίο βρίσκεται μέσα στο λαμπτήρα δίνοντας και την αντίστοιχη ονομασία του λαμπτήρα.

Έτσι, έχουμε λαμπτήρες υδραργύρου, νατρίου, νέου, αργού κ.λπ..

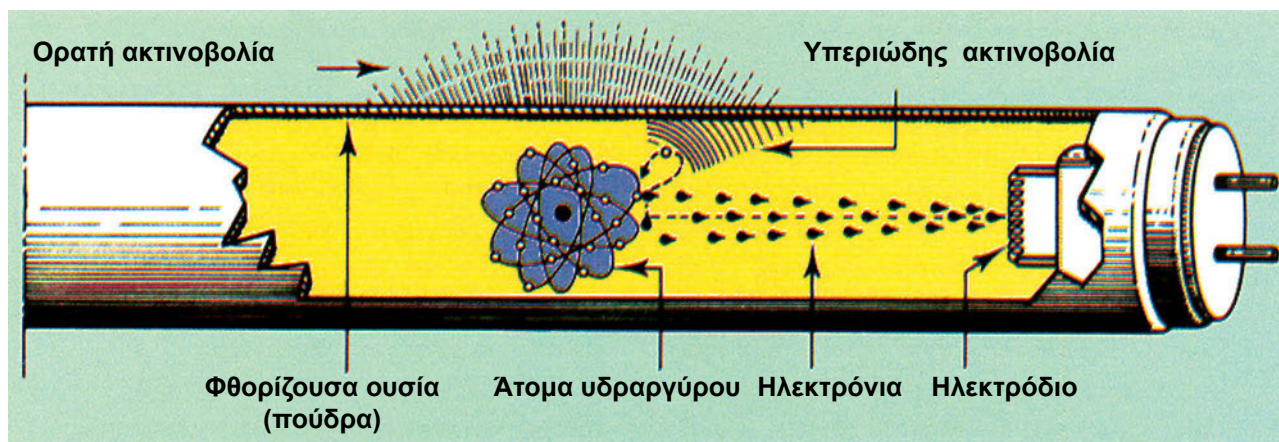
Για πρακτικούς λόγους, οι λαμπτήρες εκκένωσης διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες, τους λαμπτήρες χαμηλής και τους λαμπτήρες υψηλής πίεσης. Ο διαχωρισμός αυτός, αν και είναι γενικός, έχει να κάνει με την πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του λαμπτήρα. Γενικά, λαμπτήρες με πίεση μεγαλύτερη από 200 mm Hg καλούνται ως υψηλής πίεσης και λαμπτήρες με πίεση 5 - 10 mm Hg καλούνται ως χαμηλής πίεσης. Το είδος της εκκένωσης που γίνεται σ' αυτούς τους λαμπτήρες είναι εκκένωση τόξου. Γι' αυτό το λόγο και πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντίσταση σε σειρά. Στην πράξη, χρησιμοποιείται στραγγαλιστικό πηνίο (ballast). Εξαίρεση αποτελεί ο λαμπτήρας ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, για τον οποίο αντί στραγγαλιστικού πηνίου χρησιμοποιείται αυτομετασχηματιστής.

3.3.1 Λαμπτήρες φθορισμού

Ο λαμπτήρας φθορισμού είναι λαμπτήρας εκκένωσης ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης, με τοιχώματα καλυμμένα από φθορίζουσα ουσία. Διατίθεται σε ευθύγραμμη ή σε κυκλική μορφή, σε διάμετρο 16, 26 και 38 mm. Περιέχει προσμίξεις ευγενών αερίων (νέον και αργόν) και υδράργυρο, με τη μορφή αραιού αερίου με πίεση $5 \cdot 10^{-3}$ mmHg, σε θερμοκρασία 40 °C. Στα άκρα του σωλήνα βρίσκονται δύο ηλεκτρόδια που έχουν τη μορφή σύνθετων νημάτων. Με τα ηλεκτρόδια πετυχαίνεται θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων απαραίτητη για τη λειτουργία του λαμπτήρα.

Όταν στο λαμπτήρα ασκηθεί η κατάλληλη τιμή τάσης, στο εσωτερικό του λαμπτήρα προκαλείται εκκένωση αερίου από την οποία παράγεται υπεριώδης (αόρατη) ακτινοβολία. Για τη μετατροπή της αόρατης ακτινοβολίας σε ορατή, η εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου σωλήνα καλύπτεται με φθορίζουσες ουσίες (πούδρα), όπως άλατα πυριτίου, βολφραμίου και βορίου, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την υπεριώδη ακτινοβολία σε ακτινοβολίες του ορατού φάσματος.

Το είδος της φθορίζουσας ουσίας καθορίζει και το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός.



Σχήμα 3.19: Το εσωτερικό του λαμπτήρα φθορισμού.

Με κατάλληλο συνδυασμό των διαφόρων φθορίζουσών ουσιών πετυχαίνονται διάφορες αποχρώσεις του παραγόμενου φωτός. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν νέοι λαμπτήρες μικρότερου μεγέθους και διατομής, με διάμετρο 16mm.

Οι τύποι που κυκλοφορούν είναι σωληνωτοί, κυκλικοί ή σε σχήμα U.

Η παραγόμενη φωτεινή ροή είναι 300 - 7000 lm, με απόδοση μεγαλύτερη των 100 lm/W.

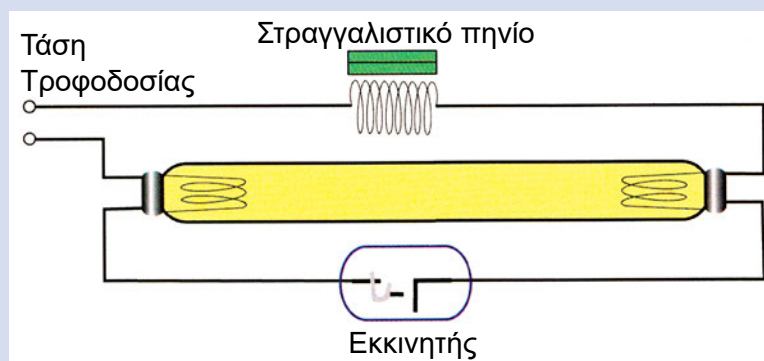
Το παραγόμενο φως μπορεί να είναι θερμό, ενδιάμεσο ή ψυχρό.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα των λαμπτήρων φθορισμού μπορεί να περιλαμβάνει μαγνητικό μπάλαστ με εκκινήτη (στάρτερ) ή ηλεκτρονικό μπάλαστ (υψηλής συχνότητας HF).

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά: υψηλή έως πολύ υψηλή απόδοση φωτισμού, καλή έως πολύ καλή χρωματική απόδοση, ευρύ πεδίο εφαρμογών, δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής.

Εφαρμογές: γραφεία, καταστήματα, βιομηχανικοί χώροι.

3.3.1.1 Αρχή λειτουργίας λαμπτήρα φθορισμού



Σχήμα 3.20:
Συνδεσμολογία λαμπτήρα
φθορισμού

Στο Σχήμα 3.20 απεικονίζεται η συνδεσμολογία ενός λαμπτήρα φθορισμού. Το στραγγαλιστικό πηνίο (μπάλαστ) είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το λαμπτήρα. Επίσης, σε σειρά με τα ηλεκτρόδια είναι συνδεδεμένος και ο εκκινητής (στάρτερ). Ο εκκινητής αποτελείται από διμεταλλικό έλασμα (ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους). Χρησιμεύει για την έναυση του λαμπτήρα. Η έναυση του λαμπτήρα δεν μπορεί να γίνει με την απλή σύνδεσή του με την τάση τροφοδοσίας (230 V), επειδή τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα είναι ψυχρά και δε μπορούν να εκπέμπουν ηλεκτρόνια. Κατά την εφαρμογή της τάσης του δικτύου, ο λαμπτήρας δεν διαρρέεται από ρεύμα, αλλά η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων του εκκινητή είναι επαρκής για την έναρξη εκκένωσης αίγλης. Η εκκένωση αίγλης θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή και το παραμορφώνει, κλείνοντας το υπάρχον διάκενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να σταματά το φαινόμενο της εκκένωσης αίγλης και το κύκλωμα εκκινητής - ηλεκτρόδια λαμπτήρα να διαρρέεται από ισχυρό ρεύμα. Η κυκλοφορία ισχυρού ρεύματος θερμαίνει τα ηλεκτρόδια, προκαλώντας εξαγωγή

ηλεκτρονίων από αυτά. Παράλληλα, λόγω της διακοπής της εκκένωσης αίγλης, το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή ψύχεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση διακόπτοντας το κύκλωμα. Η διακοπή αυτή προκαλεί, με τη βοήθεια του στραγγαλιστικού πηνίου, στα άκρα του λαμπτήρα επαγωγική τάση τιμής πολύ μεγαλύτερης της τάσης του δικτύου. Η υψηλή αυτή τάση προκαλεί την έναρξη της εκκένωσης μέσω των ατμών του υδραργύρου που παρήχθησαν από την εξάτμιση σταγόνων υδραργύρου μέσα στο λαμπτήρα, λόγω της θέρμανσης των νημάτων του λαμπτήρα. Επειδή η τάση λειτουργίας του εκκινητή είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα, ο εκκινητής παραμένει εκτός κυκλώματος, για όσο χρονικό διάστημα λειτουργεί ο λαμπτήρας. Για την ορθή λειτουργία κάθε λαμπτήρα φθορισμού συμμετέχουν ενεργά τόσο το στραγγαλιστικό πηνίο όσο και ο εκκινητής. Για την εξασφάλιση της ορθής απόδοσης και της μεγάλης διάρκειας ζωής του λαμπτήρα, πρέπει να τηρούνται οι αντίστοιχες προδιαγραφές που διέπουν τους λαμπτήρες φθορισμού, τα στραγγαλιστικά πηνία και τους εκκινητές.

3.3.1.2 Εκκινητής (starter)

Το starter προκαλεί την προθέρμανση των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα και δημιουργεί την απαιτούμενη υψηλή τάση, που είναι απαραίτητη για την έναυση του λαμπτήρα. Στα φωτιστικά σώματα αντιστοιχεί ένα starter ανά λαμπτήρα. Αποτελείται από λευκό κυλινδρικό περίβλημα από πολυκαρμπονάτ, το οποίο περιέχει:

- Ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης με αέριο νέον που περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια, το ένα σταθερό και το άλλο κινητό (διμεταλλική επαφή).
- Έναν αντιπαρασιτικό πυκνωτή, για την εξάλειψη των ραδιοφωνικών παρασίτων.



Σχήμα 3.21: Άποψη παραδοσιακού και ηλεκτρονικού starter

Η εξέλιξη των starter έφερε στην αγορά τον τύπο του ηλεκτρονικού εκκινητή (υψηλής συχνότητας ballast - HF ballast) που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, από οικονομικής και λειτουργικής άποψης.

Έχει σχεδιαστεί για την έναυση των λαμπτήρων φθορισμού και παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Παράταση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων κατά 30 %, χάρη στην προθέρμανση των ηλεκτροδίων έναυσης. Η οικονομία συντήρησης που επιτυγχάνεται επιτρέπει τη γρήγορη απόσβεση του κόστους του ηλεκτρονικού starter. • Επιτρέπει ένα σημαντικό αριθμό αναμμάτων (100.000), που αντιστοιχεί στη διάρκεια ζωής των φωτιστικών σωμάτων. • Με το πέρας της ζωής του, ο λαμπτήρας τίθεται εκτός κυκλώματος. Και έτσι αποφεύ- | <ul style="list-style-type: none"> γονται άσκοπες προσπάθειες ανάμματος, όπως επίσης και οι ενοχλητικοί συνεχείς σπινθηρισμοί, οι επαναλαμβανόμενες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και οι κίνδυνοι φθοράς του φωτιστικού από υπερθέρμανση των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα. • Τέλεια έναυση χωρίς αναλαμπές. • Αυτόματη εκ νέου έναυση του λαμπτήρα, σε περίπτωση διακοπών ή αντικατάστασής του. • Έναυση σε χαμηλές θερμοκρασίες (-40°C). |
|---|---|

3.3.1.3 Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

Τα τελευταία χρόνια, όλες οι εταιρείες κατασκευής ηλεκτρικών λαμπτήρων κυκλοφόρησαν στο εμπόριο σειρές λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας, με κύρια χαρακτηριστικά τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το μεγάλο χρόνο ζωής.

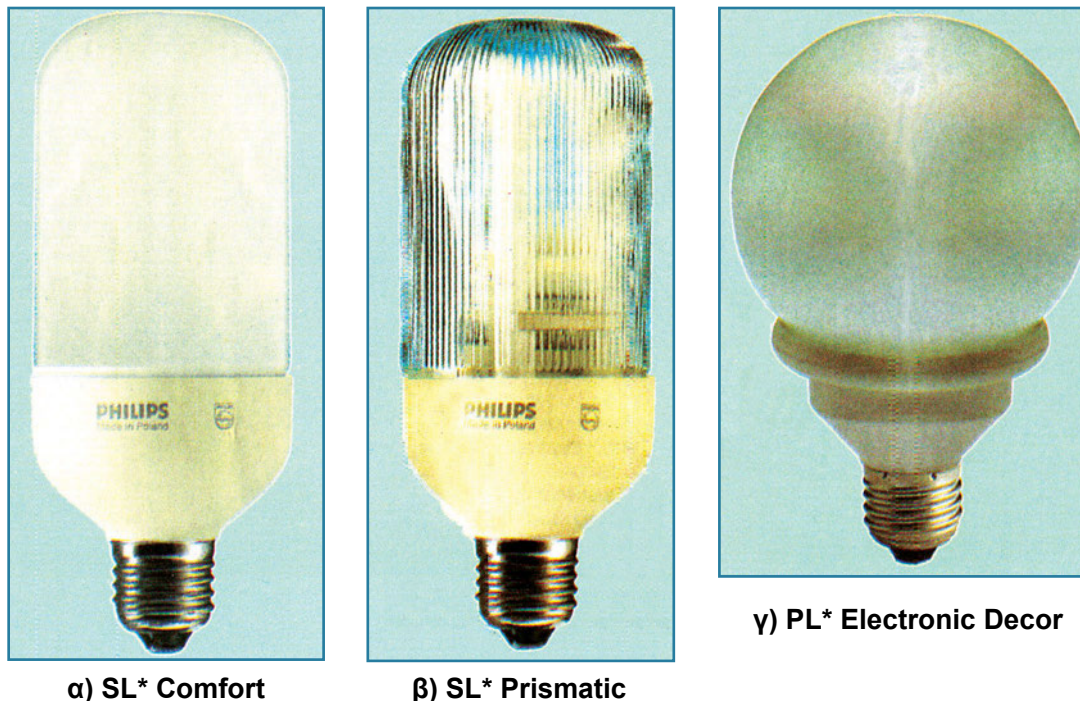
Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες:

α. με εξωτερικό μπάλαστ

β. με ενσωματωμένο σύστημα εσωτερικής έναυσης

Στο Σχήμα 3.22 παρουσιάζονται μερικοί τύποι λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Σχήμα 3.22: Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας.



α) SL* Comfort : είναι ιδανικός για μεγάλα φωτιστικά σώματα

β) SL* Prismatic : είναι ιδανικός για επαγγελματικούς χώρους

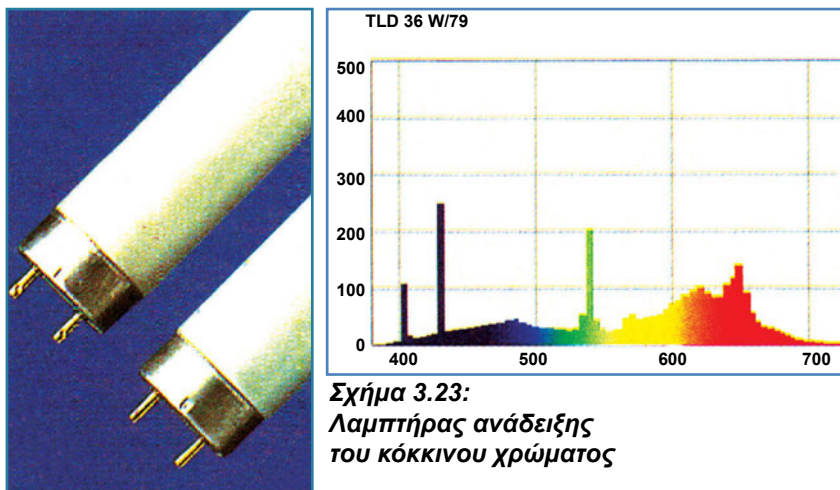
γ) SL* Electronic Decor : είναι ιδανικός για εφαρμογές με συχνά αναβοσβήματα και προσφέρει άριστη διάχυση φωτός.

3.3.1.4 Ειδικοί τύποι λαμπτήρων φθορισμού

Στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται και οι ακόλουθοι λαμπτήρες φθορισμού:

Λαμπήρες απόχρωσης 79

Με θερμοκρασία χρώματος 3800 °K τονίζουν το κόκκινο και ροζ χρώμα και χρησιμοποιούνται σε βιτρίνες κρεοπωλείων, καταστήματα αλλαντικών, ανθοπωλεία, για την ανάδειξη των ζεστών τόνων και των κόκκινων χρωμάτων κ.λπ..



Λαμπτήρες απόχρωσης 89

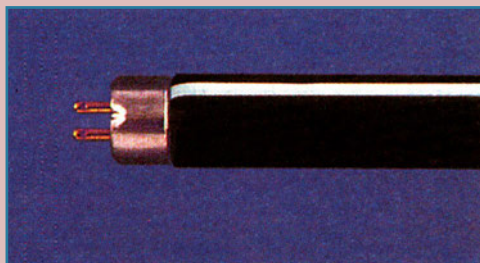
Με θερμοκρασία χρώματος 10.000 °K, ο οποίος δίνει ψυχρή αίσθηση, χρησιμοποιούνται για το φωτισμό ενυδρείων και συναφών εφαρμογών.



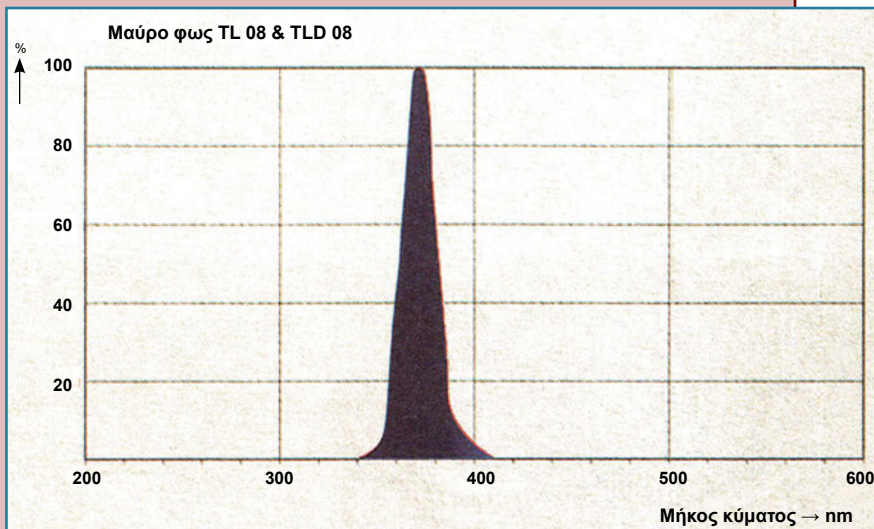
Σχήμα 3.24:
Λαμπτήρας φωτισμού ενυδρείων

Λαμπτήρες μαύρου φωτός

Είναι λαμπτήρες υπεριωδών ακτίνων και φέρουν ως περίβλημα γυάλινο φίλτρο με προσμίξεις κοβαλτίου, που έχει ως στόχο τη σημαντική ελάττωση της ακτινοβολίας στην ορατή περιοχή. Βρίσκει εφαρμογές στην αναζήτηση πλαστών (χαρτονομίσματα, γραμματόσημα), στη διαφήμιση, στην ορυκτολογία και στην αναζήτηση ελαττωματικών βιομηχανικών προϊόντων (μεταλλουργία, υφαντουργία).



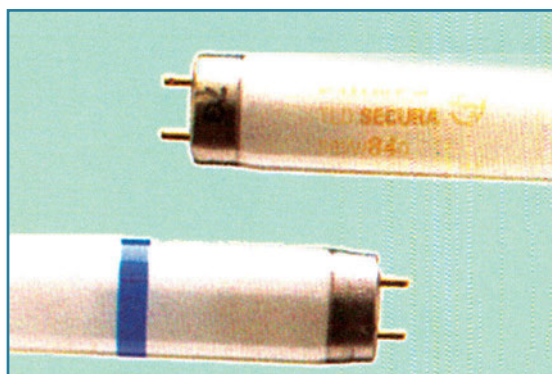
Σχήμα 3.25:
Λαμπτήρας μαύρου φωτός



Λαμπτήρες φθορισμού με εξωτερικό κάλυμμα προστασίας

Είναι λαμπτήρες φθορισμού με αντιθραυστική προστασία και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτισμού χώρων όπου παράγονται, διανέμονται ή πωλούνται είδη τροφίμων. Χάρη στη διαφανή επικάλυψη του λαμπτήρα, σε περίπτωση σπασίματος του, κάθε κομμάτι γυαλιού παραμένει στη θέση του προστατεύοντας τα προϊόντα που φωτίζονται και το περιβάλλον εργασίας.

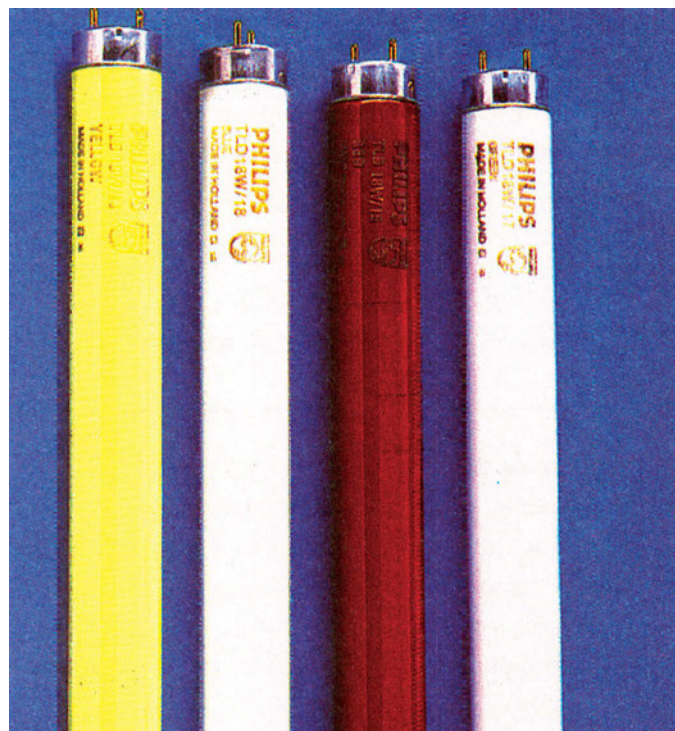
Αναγνωρίζονται από το μπλέ δακτυλίδι που υπάρχει γύρω από το λαμπτήρα.



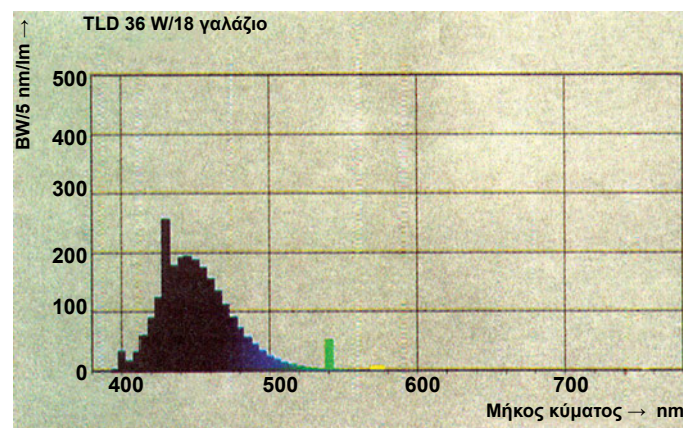
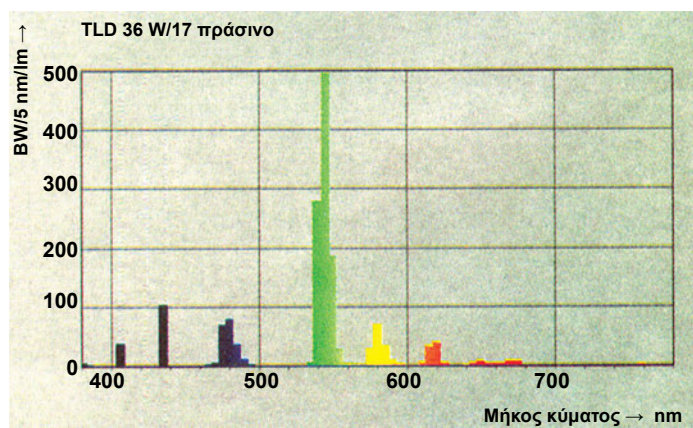
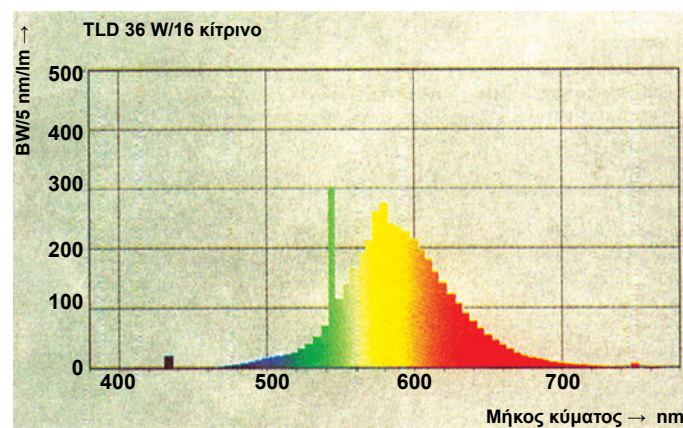
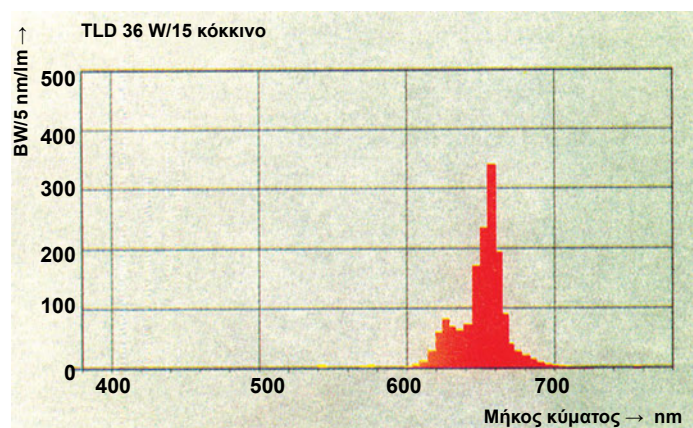
Σχήμα 3.26: Λαμπτήρας με κάλυμμα προστασίας

Έγχρωμοι λαμπτήρες φθορισμού

Χρησιμοποιούνται για διακοσμητικό φωτισμό και τη δημιουργία φωτιστικών εφέ. Στο σχήμα 3.28 απεικονίζεται η φασματική κατανομή των έγχρωμων λαμπτήρων φθορισμού.



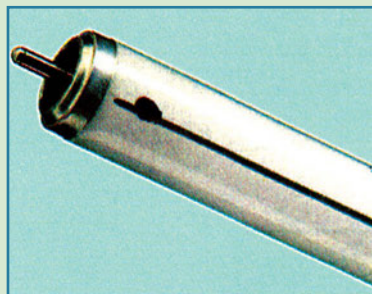
Σχήμα 3.27:
Έγχρωμοι λαμπτήρες φθορισμού



Σχήμα 3.28: Φασματική κατανομή έγχρωμων λαμπτήρων φθορισμού (κόκκινου, κίτρινου, πράσινου, γαλάζιου).

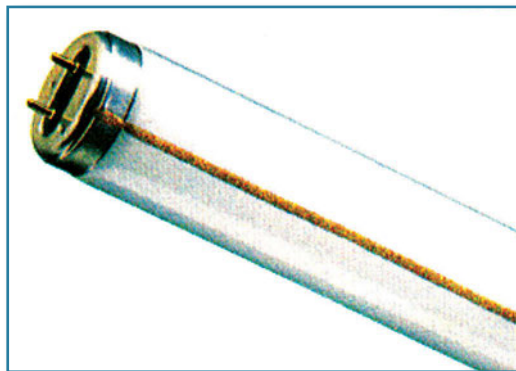
Λαμπτήρες φθορισμού με ένα σημείο εφαρμογής

Είναι λαμπτήρες που διαθέτουν ντουί με ένα άκρο και όχι με δύο, όπως όλοι οι άλλοι (μονοπολικό ντουί). Έχουν σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε φωτιστικά αντiekρηκτικού τύπου, για εφαρμογές σε διυλιστήρια, ορυχεία, εργαστήρια και γενικά σε χώρους όπου εγκυμονεί ο κίνδυνος της έκρηξης (αντiekρηκτικοί).



Σχήμα 3.29: Λαμπτήρας αντiekρηκτικού τύπου

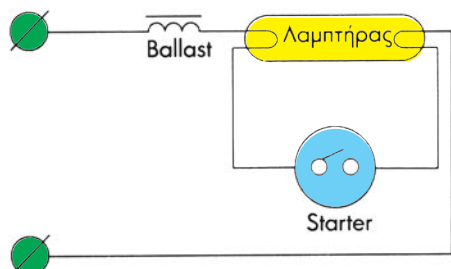
Σχήμα 3.30: Λαμπτήρας ταχείας αφής



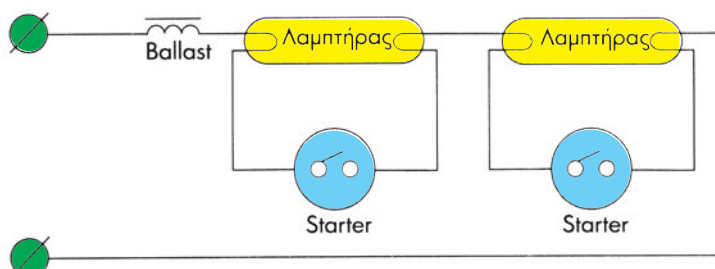
Λαμπτήρες φθορισμού ταχείας αφής

Αυτοί οι λαμπτήρες έχουν εξωτερικό ηλεκτρόδιο εκκίνησης, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται στάρτερ για την έναυση τους. Για αποτελεσματική άμεση έναυση, πρέπει και η εγκατάσταση να είναι εξοπλισμένη με πηνία άμεσης έναυσης (rapid start).

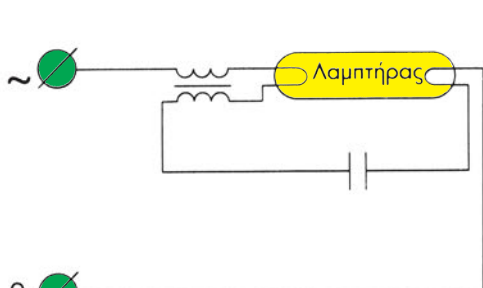
3.3.1.5 Συνδεσμολογίες λαμπτήρων φθορισμού



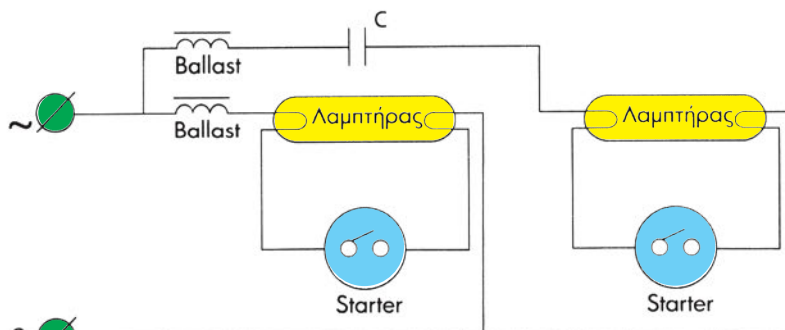
(α)



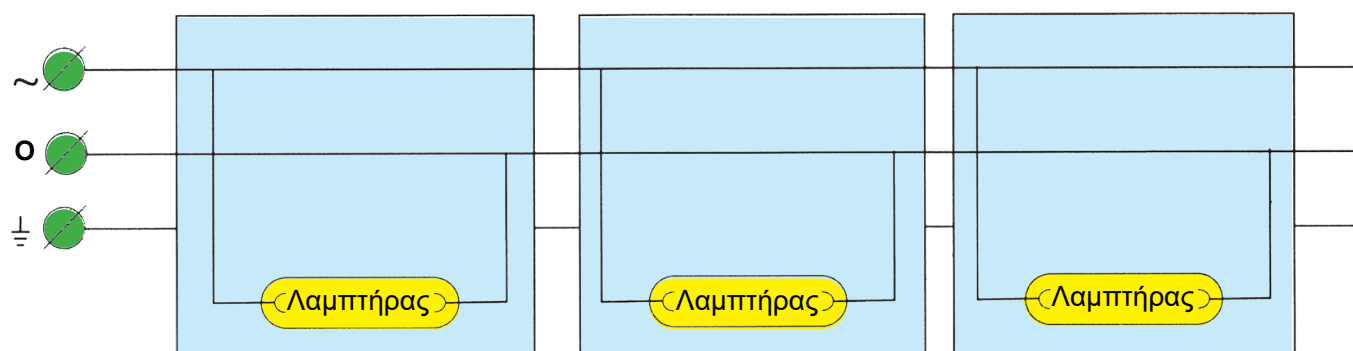
(β)



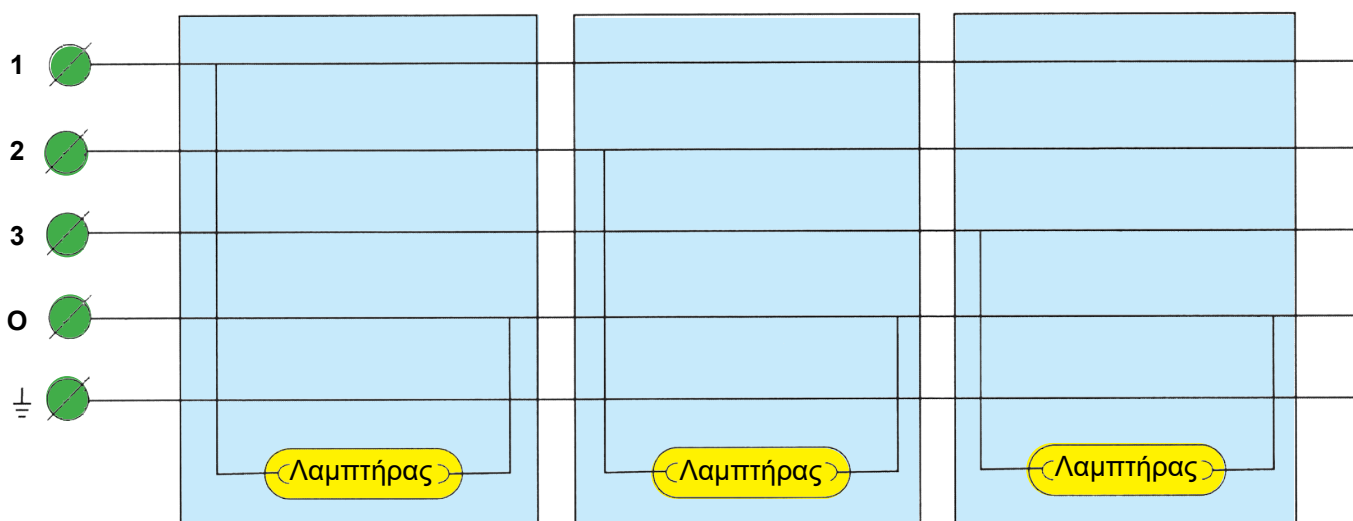
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 3.31: Τυπικές συνδεσμολογίες λαμπτήρων φθορισμού

- α. Συνδεσμολογία ενός λαμπτήρα
- β. Συνδεσμολογία λαμπτήρων ίδιας ισχύος με κοινό μπάλαστ (συνδεσμολογία TANDEM)
- γ. Συνδεσμολογία λαμπτήρα ταχείας έναυσης
- δ. Συνδεσμολογία αποφυγής στροβοσκοπικού φαινομένου (DUO)
- ε. Συνδεσμολογία φωτιστικών σε μονοφασικό δίκτυο
- στ. Συνδεσμολογία φωτιστικών σε τριφασικό δίκτυο

3.3.1.6 Συνηθισμένες βλάβες λαμπτήρων φθορισμού

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη ενέργεια
1. Ο λαμπτήρας ανάβει με δυσκολία και ύστερα από πολλές προσπάθειες ανάμματος. 2. Το εκπεμπόμενο φως δεν είναι σταθερό. 3. Τα άκρα του λαμπτήρα μαυρίζουν και συχνά σχηματίζεται προς τα ηλεκτρόδια ένας σκοτεινός δακτύλιος.	Ο λαμπτήρας πλησιάζει στο τέλος της ζωής του.	Άμεση αντικατάσταση του λαμπτήρα.
4. Ο λαμπτήρας δεν ανάβει.	A. Λανθασμένη τοποθέτηση στη λυχνιολαβή (ντουί). B. Λανθασμένη συνδεσμολογία. Γ. Ακατάλληλο κιβώτιο ζεύξης (μπάλαστ). Δ. Ελαττωματικός λαμπτήρας. Ε. Ελαττωματικός εκκινητής. - Στ. Διακοπή του κυκλώματος.	A. Έλεγχος με μικρή στροφή του λαμπτήρα (1/4 της στροφής). B. Πιστή εφαρμογή του διαγράμματος συνδεσμολογίας, σύμφωνα με την υπόδειξη του κατασκευαστή. Συνήθως, είναι τυπωμένο στο μπάλαστ. Γ. Χρησιμοποίηση του κατάλληλου κιβώτιου ζεύξης. Δ. Έλεγχος του λαμπτήρα σε άλλο σημείο της εγκατάστασης και, αν ξανά δε λειτουργήσει, άμεση αντικατάσταση του λαμπτήρα. Ε. Αν τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα πυρακτώνονται, το σφάλμα είναι στον εκκινητή και πρέπει να αντικατασταθεί. Αν δεν αντικατασταθεί, προκαλείται γρήγορη φθορά του λαμπτήρα και του κιβώτιου ζεύξης. - Στ. Έλεγχος της συνέχειας του κυκλώματος και αποκατάσταση της βλάβης.

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη ενέργεια
5. Ο λαμπτήρας ανάβει και σβήνει συνεχώς.	A. Ο λαμπτήρας πλησιάζει στο τέλος της ζωής του (υπάρχει μαύρισμα στα άκρα του). B. Προβληματικός εκκινητής. Γ. Κακή επαφή στη λυχνιολαβή, στον εκκινητή ή στο μπάλαστ. Δ. Ανεπαρκής τάση τροφοδοσίας.	A. Αντικατάσταση του λαμπτήρα (παράλειψη αντικατάστασης έχει σαν συνέπεια τη γρήγορη φθορά του εκκινητή και του κιβώτιου ζεύξης). B. Αντικατάσταση του εκκινητή. Γ. Έλεγχος των επαφών και ενδεχόμενη αντικατάστασή τους. Δ. Μέτρηση της τάσης.
6. Φωτεινή στήλη φαίνεται να μετατοπίζεται μέσα στο λαμπτήρα με σπειροειδή κίνηση.	Κατασκευαστική ατέλεια του λαμπτήρα.	Αναβοσβήσιμο του λαμπτήρα μερικές φορές. Αν δεν εξαλειφθεί το φαινόμενο, γίνεται αντικατάσταση του λαμπτήρα.

3.3.1.7 Σύγκριση λαμπτήρων φθορισμού με τους λαμπτήρες πυράκτωσης

Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν τα παρακάτω **πλεονεκτήματα** και **μειονεκτήματα** σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Έχουν πολλαπλάσια φωτιστική απόδοση (lm/W) και υπερδιπλάσιο χρόνο ζωής (2500 ώρες λειτουργίας). Αυτό σημαίνει οικονομική λειτουργία.
2. Κατά τη λειτουργία τους, δεν αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες, χαρακτηριστικό που τους καθιστά κατάλληλους για το φωτισμό τροφίμων, χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος αλλοίωσης τους.
3. Η ποικιλία και η ένταση του φωτισμού των λαμπτήρων φθορισμού, επιτρέπει τη χρήση τους σε πλήθος εφαρμογών στο χώρο της φωτεινής διακόσμησης.
4. Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν μικρή λαμπρότητα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό στο ελάχιστο του ανεπιθύμητου φαινομένου της θάμβωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί το εκπεμπόμενο από αυτούς φως εκπέμπεται από μεγάλη επιφάνεια.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Για τη λειτουργία τους, οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν την τοποθέτηση τους σε κατάλληλα φωτιστικά σώματα. Αυτό έχει σα συνέπεια τη μεγάλη αρχική δαπάνη εγκατάστασης.
2. Επειδή κατά τη λειτουργία τους δημιουργούνται ηχητικά παράσιτα, απαιτείται η χρήση ειδικής διάταξης απόσβεσης των παρασίτων αυτών.
3. Για την απρόσκοπτη λειτουργία τους, απαιτείται η κατάλληλη ηλεκτρολογική συνδεσμολογία διαφόρων εξαρτημάτων (ντουί, ballast, starter), καθώς και ο σωστός συνδυασμός τους.
4. Αν δε γίνει η κατάλληλη επιλογή λαμπτήρα με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, όπως για παράδειγμα το είδος του χώρου εργασίας, τότε ο φωτισμός θα υστερεί, κυρίως στην απόδοση των χρωμάτων.

3.3.1.8 Κριτήρια επιλογής λαμπτήρων φθορισμού

Τα γενικά κριτήρια επιλογής λαμπτήρων που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.1 ισχύουν και για τους λαμπτήρες φθορισμού.

Λόγω όμως των πλεονεκτημάτων τους, σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης (υψηλή φωτιστική απόδοση, χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας, μεγάλη ποικιλία χρωματικής ακτινοβολίας και έλλειψη θάμβωσης), χρησιμοποιούνται **σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές**. Λόγω του πλήθους των διαφορετικών εφαρμογών, απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή στα κριτήρια επιλογής.

- Ο **δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra** στους λαμπτήρες φθορισμού αποτελεί σημαντικό κριτήριο της ποιότητάς τους.

Δείκτης Ra	Είδος φωτεινής πηγής
92 - 97	Λαμπτήρας φθορισμού υψηλής ποιότητας
80 - 90	Λαμπτήρας φθορισμού καλής ποιότητας, τύπος De Luxe
70 - 80	Λαμπτήρας φθορισμού Standard white
50 - 60	Λαμπτήρας φθορισμού Standard warm white

Πίνακας 3.1: Δείκτες χρωματικής απόδοσης και ποιότητας λαμπτήρα

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή ενός λαμπτήρα, όπου υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις στην απόδοση των χρωμάτων (π.χ. σε μια βιομηχανία υφασμάτων), αλλά είναι αμελητέος για τον φωτισμό, για παράδειγμα, ενός αυτοκινητοδρόμου, όπου η ιδανική λύση προσφέρεται από λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, που παρέχουν μόνο κίτρινο (μονοχρωματικό) φως.

Στην επιλογή του είδους των λαμπτήρων, αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις στην απόδοση των χρωμάτων, βαρύτητα δίνεται στη φωτιστική απόδοση (lm / W), γιατί αυτό αποτελεί το βασικότερο στοιχείο της οικονομικής λειτουργίας μιας εγκατάστασης φωτισμού.

- Οι απαιτήσεις στην ποιότητα φωτός είναι διαφορετικές για κάθε χώρο. Οι διάφοροι συνδυασμοί της θερμοκρασίας χρώματος **Tc** και του δείκτη χρωματικής απόδοσης **Ra** δίνουν διαφορετικό φωτιστικό αποτέλεσμα. Ο κατάλληλος συνδυασμός των δεικτών αυτών για κάθε χώρο υποδεικνύεται από σχετικές προδιαγραφές διεθνούς αποδοχής.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται μερικά παραδείγματα εφαρμογών, με παραμέτρους την επιθυμητή ποιότητα φωτός, τον ελάχιστο δείκτη χρωματικής απόδοσης και τη συνιστώμενη θερμοκρασία χρώματος του φωτός.

Επιθυμητή ποιότητα φωτός	Ελάχιστος δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra	Συνιστώμενη θερμοκρασία χρώματος Tc σε °K	Παραδείγματα εφαρμογών
Καλύτερη δυνατή	90	6500 – 7400	Βιομηχανίες υφασμάτων, τυπογραφία, γραφικές τέχνες.
	90	4000	Μουσεία, χώροι ιατρικών εξετάσεων.
Καλή	80	4000	Κατοικίες, σχολεία, γραφεία, μεγάλα καταστήματα.
	80	3000	Καταστήματα τροφίμων, αίθουσες συνεδρίων, χώροι υποδοχής.
Μέση	60	-	Διάδρομοι, σκάλες, μηχανουργεία.
Καμιά	-	-	Βαριά βιομηχανία, αποθήκες, χώροι στάθμευσης.

Πίνακας 3.2: Συνδυασμοί Ra και θερμοκρασίας χρώματος για διάφορες εφαρμογές

- Το αίσθημα που δημιουργεί ο φωτισμός (ευχάριστο, καταθλιπτικό κ.λπ.) εξαρτάται από τη στάθμη φωτισμού του χώρου σε Lux και από τη θερμοκρασία χρώματος του φωτός.

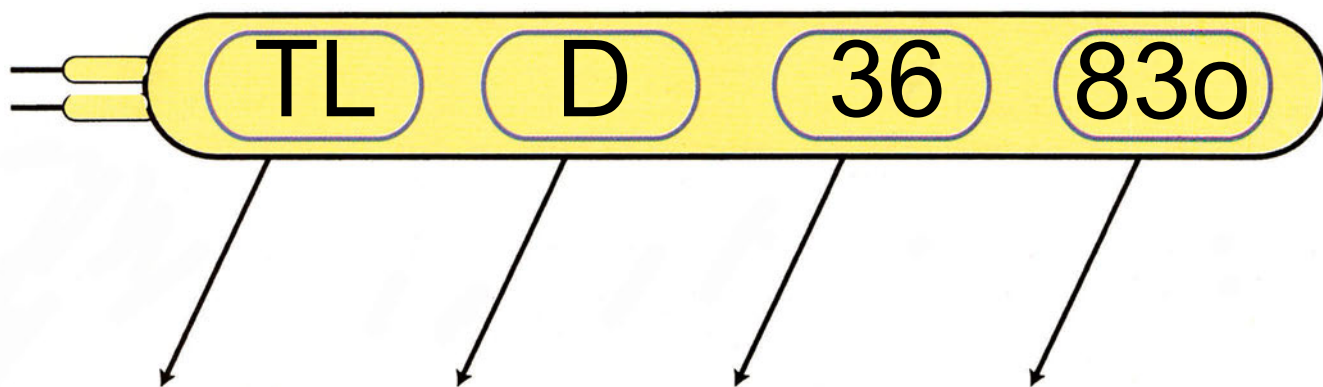
Στάθμη φωτισμού σε Lux	Χρωματική εντύπωση του φωτός		
	Θερμό	Ενδιάμεσο	Ψυχρό
< 500	Ευχάριστο	Ουδέτερο	Καταθλιπτικό
500 - 1000	Έντονο	Ευχάριστο	Ουδέτερο
1000 - 2000			
2000 - 3000			
> 3000	Αφύσικο	Έντονο	Ευχάριστο

Πίνακας 3.3: Δημιουργία αισθημάτων λόγω διαφορών φωτισμού

- Επιπλέον, για την επιλογή των λαμπτήρων φθορισμού υπεισέρχεται ακόμη ένα κριτήριο: τα **ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα** που προσδιορίζουν τον τρόπο έναυσης και λειτουργίας του.

Ο τύπος κάθε λαμπτήρα φθορισμού περιλαμβάνει αριθμούς και γράμματα που επιτρέπουν την αναγνώριση αυτών των χαρακτηριστικών. Παρακάτω, παρατίθεται ένα παράδειγμα αποκωδικοποίησης των χαρακτηριστικών αυτών.

Ο τύπος ανάμματος μπορεί να είναι ο κλασικός, δηλαδή με μπάλαστ και στάρτερ (D), ο ηλεκτρονικός (HF) και ο ταχείας εκκίνησης (M).



Λαμπτήρες φθορισμού Τύπος ανάμματος Ισχύς σε W Απόχρωση

Σχήμα 3.32: Παράδειγμα αποκωδικοποίησης χαρακτηριστικών λαμπτήρα φθορισμού

Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και η «απόχρωση». Οι εταιρείες κατασκευής λαμπτήρων τους προσφέρουν σε 11 διαφορετικές αποχρώσεις του λευκού φωτός καθεμία από τις οποίες είναι κατάλληλη για το φωτισμό ορισμένου χώρου. Δηλαδή, ένα γραφείο θα πρέπει να φωτίζεται με λάμπες που δεν κουράζουν τα μάτια, ένα κατάστημα ενδυμάτων με λάμπες που αποδίδουν καλύτερα τα χρώματα, ένας χώρος υποδοχής με λάμπες που δημιουργούν ευχάριστη ατμόσφαιρα κ.λπ..

Κάθε «απόχρωση» αναφέρεται σε συγκεκριμένους δείκτες χρωματικής απόδοσης **Ra** και θερμοκρασίας χρώματος **Tc**. Π.χ. η «απόχρωση» 83₀ του παραδείγματος αναφέρεται σε Ra = 85 και σε Tc = 3000 °K. Ο κωδικός για την απόχρωση 83₀ του παραδείγματος αναφέρεται στην εταιρεία Philips. Άλλες εταιρείες έχουν άλλους κωδικούς.

Για να δημιουργείται ένα ευχάριστο ψυχολογικό αίσθημα στα άτομα που ζουν και εργάζονται σε ένα χώρο, εκτός από την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού (ισχύς και αριθμός λαμπτήρων), πρέπει οι λαμπτήρες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν να διαθέτουν και την κατάλληλη «απόχρωση».

3.3.2 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

3.3.2.1 Αρχή λειτουργίας

Ο λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης αποτελεί χαρακτηριστική εφαρμογή εκκένωσης τόξου μέσω ατμών υδραργύρου. Αποτελείται από ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης από γυαλί χαλαζία στα άκρα του οποίου είναι συντηγμένα δύο κύρια ηλεκτρόδια και ένα βοηθητικό.

Ο μικρός σωλήνας εκκένωσης περιέχει το ευγενές αέριο αργό και υδράργυρο με τη μορφή σταγόνων. Σε σειρά με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο συνδέεται ωμική αντίσταση. Η όλη διάταξη τοποθετείται μέσα σε γυάλινο κώδωνα, ο οποίος συνήθως είναι γεμάτος με αδρανές αέριο, για την απαγωγή της θερμότητας.

Ο χρόνος που μεσολαβεί από την έναυση μέχρι την πλήρη λειτουργία του λαμπτήρα κυμαίνεται από 3 έως 5 λεπτά.

Το υλικό κατασκευής του σωλήνα εκκένωσης είναι ο χαλαζίας, επειδή παρουσιάζει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής και επιτρέπει να περνά από αυτόν, εκτός του ορατού, και το υπεριώδες μέρος της πα-
ραγόμενης ακτινοβολίας.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, όπως όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης, απαιτούν ένα στραγγαλι-

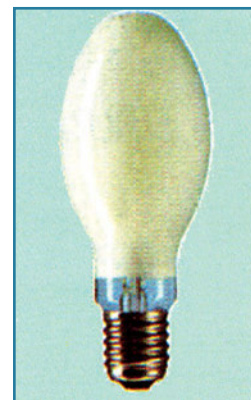
στικό πηνίο για τη σταθεροποίηση της εκκένωσης και για τον περιορισμό του ρεύματος λειτουργίας. Το στραγγαλιστικό πηνίο δημιουργεί μια διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος, οπότε για την αντιστάθμισή τους συνδέεται πυκνωτής παράλληλα στα άκρα της συνδεσμολογίας.

Για την επαναλειτουργία του λαμπτήρα μετά το σβήσιμό του απαιτείται ορισμένο χρονικό διάστημα για την ψύξη του και

για την υγροποίηση ξανά των ατμών υδραργύρου.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου κατασκευάζονται συνήθως σε δύο τύπους, τους σωληνοειδείς και τους αχλαδωτούς.

Διακρίνονται σε απλούς λαμπτήρες, διορθωμένου φάσματος, με μεταλλικά ιωδίδια και λαμπτήρες μικτού φωτισμού.



Σχήμα 3.33:
Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου, σχήματος αχλαδιού.

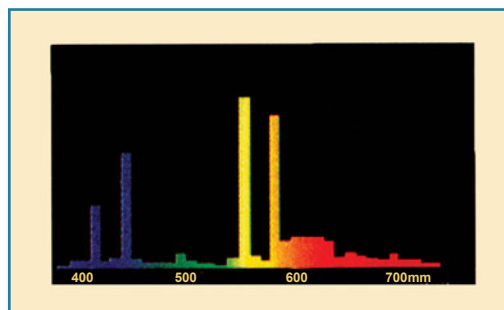
3.3.2.2 Είδη λαμπτήρων ατμών υδραργύρου

α) Απλοί λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης

Οι λαμπτήρες εκκένωσης ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης είναι οι παλαιότεροι λαμπτήρες εκκένωσης. Παρότι η ποιότητα του φωτός που παράγουν είναι σχετικά φτωχή και η απόδοσή τους αρκετά περιορισμένη, επειδή οι λαμπτήρες αυτοί είναι φθηνοί χρησιμοποιούνται ακόμη με μεγάλη συχνότητα στον οδικό φωτισμό ή στο φωτισμό βιομηχανικών χώρων.

Χρόνος ζωής: για ισχύ 50 - 400 W 22000 ώρες
και για ισχύ 700 - 1000 W 14000 ώρες.

Φως: 1600 - 58000 lm, με απόδοση 55 lm / W, θερμό ή ενδιάμεσο.



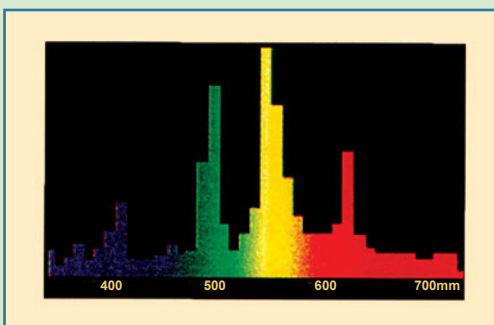
Σχήμα 3.34: Φασματική κατανομή λαμπτήρα ατμών υδραργύρου

Ηλεκτρικό κύκλωμα : Μαγνητικό μπάλαστ, χωρίς εκκινητή.

Παρατηρώντας το διάγραμμα, διαπιστώνουμε ότι κυριαρχεί το κίτρινο και το μπλε χρώμα, ενώ λείπει σχεδόν τελείως το ερυθρό που είναι απαραίτητο για την δημιουργία ευχάριστης εντύπωσης του φωτός. Κυκλοφορούν στο εμπόριο με τις εμπορικές ονομασίες HPL, από την εταιρεία Philips, και HQL, από την εταιρεία OSRAM.

β) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, βελτιωμένου φάσματος

Το πρόβλημα της κακής χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου ξεπεράστηκε με την επίχριση των εσωτερικών τοιχωμάτων του εξωτερικού κώδωνα με φθορίζουσα ουσία, η οποία εμπλουτίζει το φάσμα εκπομπής του λαμπτήρα με ερυθρά μήκη κύματος. Επίσης, η φθορίζουσα ουσία μετατρέπει το μεγαλύτερο μέρος της αόρατης υπεριώδους ακτινοβολίας που παράγεται κατά την εκκένωση σε ακτινοβολία ορατού φάσματος, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λαμπτήρα έως και 60 lm/W.



Σχήμα 3.35: Φασματική κατανομή λαμπτήρα ατμών υδραργύρου, βελτιωμένου φάσματος

Ευρέως χρησιμοποιείται και ο λαμπτήρας υψηλής πίεσης, με εσωτερικό καθρέφτη, για τον προσανατολισμό της δέσμης φωτός προς μία κυρίως κατεύθυνση. Έχει χρόνο ζωής 22000 ώρες και λειτουργεί σε οποιαδήποτε θέση λειτουργίας.

γ) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης, με μεταλλικά αλογονίδια

Στους λαμπτήρες υδραργύρου, για ακόμη μεγαλύτερη ενεργειακή φασματική κατανομή, εκτός της φθορίζουσας ουσίας, ο εμπλουτισμός μπορεί να γίνει και με τη χρήση μερικών ενώσεων ιωδίου. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται μεταλλικά ιωδίδια ή αλογονίδια (Metal Halide) και συμμετέχουν στην εκκένωση των ατμών υδραργύρου αποδίδοντας ακτινοβολίες με μήκη κύματος όπου το ενεργειακό φάσμα είναι φτωχό ή κενό. Οι λαμπτήρες αυτοί αποτελούν μια καλή λύση για το φωτισμό καταστημάτων, επειδή παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Διαθέτουν εξαιρετική φασματική κατανομή, με ικανοποιητικό δείκτη χρωματικής απόδοσης ($R_a=74-85$).
2. Εκπέμπουν ουδέτερο, λευκό φως. Θερμοκρασία χρώματος 3000 - 4000 °K.
3. Έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, λόγω της μεγάλης φωτιστικής απόδοσης που παρουσιάζουν (80 - 90 lm/W).
4. Λειτουργούν χωρίς να αναπτύσσεται στο γύρω χώρο υψηλή θερμοκρασία, επειδή έχουν χαμηλές θερμικές απώλειες.
5. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (6000 ώρες), χαρακτηριστικό το οποίο τους καθιστά ακόμη περισσότερο οικονομικούς.



Σχήμα 3.36: Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

Οι δύο τύποι που κυκλοφορούν, σωληνωτοί ή ελλειψοειδείς, διατίθενται με κάλυκα μονό ή διπλό (δύο άκρων), ισχύος 35 - 2000 W.

Η φωτεινή τους ροή είναι από 2400 έως 20000 lm.

Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μαγνητικό μπάλαστ και κατάλληλη συσκευή έναυσης - εκκίνηση ή ηλεκτρονικό μπάλαστ (μέχρι 150W).

δ) Ειδικοί λαμπτήρες εκκένωσης

Εκτός από τα παραπάνω είδη λαμπτήρων, κατασκευάζονται επίσης λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, πολύ υψηλής πίεσης, για τον εξοπλισμό προβολέων και για τις κινηματογραφικές μηχανές. Σ' αυτούς τους λαμπτήρες η εκκένωση γίνεται σε πολύ μικρό χώρο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία λαμπρότητας πολύ υψηλής τιμής.

Επίσης, κατασκευάζονται λαμπτήρες ειδικών χρήσεων που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές επεξεργασίες, στις γραφικές τέχνες, σε ινστιτούτα αισθητικής, σε θεραπευτικές και αποστειρωτικές συσκευές και σε φωτοτυπικά μηχανήματα. Σ' αυτή τη κατηγορία ανήκουν και οι λαμπτήρες **μαύρου φωτός**. Οι λαμπτήρες αυτοί διατίθενται σε τύπους TL και TLD και χρησιμοποιούνται για διαχωρισμούς χρωμάτων, στη βιομηχανία τροφίμων, στην αρχαιολογία, στην εγκληματολογία και στις τράπεζες, για την ανίχνευση πλαστών χαρτονομισμάτων.



Σχήμα 3.37:
Λαμπτήρες αποστείρωσης,
αποθεραπείας τραυμάτων,
μαύρου φωτός

ε) Λαμπτήρες μικτού φωτισμού

Οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού συνδυάζουν χαρακτηριστικά λαμπτήρων πυράκτωσης και λαμπτήρων εκκένωσης. Αντικαθιστούν άμεσα τους λαμπτήρες πυράκτωσης και παρέχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Αυτά τα χαρακτηριστικά τους καθιστούν κατάλληλους για εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα φωτισμού από αυτά που έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν οι λαμπτήρες πυράκτωσης. Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου μπορούν να μετατραπούν σε λαμπτήρες μικτού φωτισμού, με την προσθήκη νήματος από βολφράμιο μεταξύ του εξωτερικού κώδωνα και του σωλήνα εκκένωσης. Ο λαμπτήρας μικτού φωτισμού λειτουργεί χωρίς στραγγαλιστικό πηνίο και η σταθεροποίηση της εκκένωσης με τον ταυτόχρονο περιορισμό του ρεύματος γίνεται με τη σύνδεση σε σειρά του νήματος βολφραμίου με το σωλήνα εκκένωσης. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, το νήμα πυρακτώνεται, εκπέμποντας ακτινοβολίες με μήκη κύματος στην ερυθρή περιοχή του φάσματος, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του φάσματος της συνολικά εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού έχουν ικανοποιητικό σχετικά βαθμό απόδοσης (22 lm/W) και μεγάλη διάρκεια ζωής (5000 ώρες). Μπορούν να αντικαταστήσουν το λαμπτήρα πυράκτωσης, χωρίς προβλήματα εγκατάστασης.

Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων, χώρων στάθμευσης, πρατηρίων καυσίμων και εργαστηρίων.

3.3.3 Λαμπτήρες ξένου, υψηλής πίεσης

Για τον φωτισμό μεγάλων εξωτερικών επιφανειών, χρησιμοποιούνται προβολείς με λαμπτήρες από γυαλί χαλαζία. Περιέχουν το ευγενές αέριο ξένο, υπό υψηλή πίεση. Το μήκος των λαμπτήρων αυτών μπορεί να φτάσει το 1,5 m και η ισχύς τους κυμαίνεται από 150 έως 2000 W.

Για την λειτουργία τους απαιτείται συσκευή παραγωγής υψηλής τάσης.

Μετά την έναυση, ο λαμπτήρας αποδίδει αμέσως την πλήρη φωτιστική του ισχύ.

Το φως των λαμπτήρων αυτών είναι λευκό, παρόμοιο με το φως του ήλιου, και αποδίδει με μεγάλη πιστότητα τα χρώματα των αντικειμένων.

3.3.4 Λαμπτήρες ατμών νατρίου

3.3.4.1 Λαμπτήρες ατμών νατρίου, χαμηλής πίεσης

Ο λαμπτήρας ατμών νατρίου, χαμηλής πίεσης είναι ο λαμπτήρας εκκένωσης με το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (μέχρι 200 lm/W).

Αποτελείται από το σωλήνα εκκένωσης που μπορεί να είναι μορφής ευθύγραμμης ή σχήματος U.

Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει, σε πολύ μικρή πίεση ($5 \cdot 10^{-3}$ mm της στήλης υδραργύρου Hg), ποσότητα νατρίου και μίγμα αερίου νέου με αργόν. Η πίεση αυτή μαζί με τη θερμοκρασία 260 °C αποτελούν τις καλύτερες προϋποθέσεις για εκκένωση. Η θερμοκρασία των 260 °C επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή της έντασης λειτουργίας του λαμπτήρα.

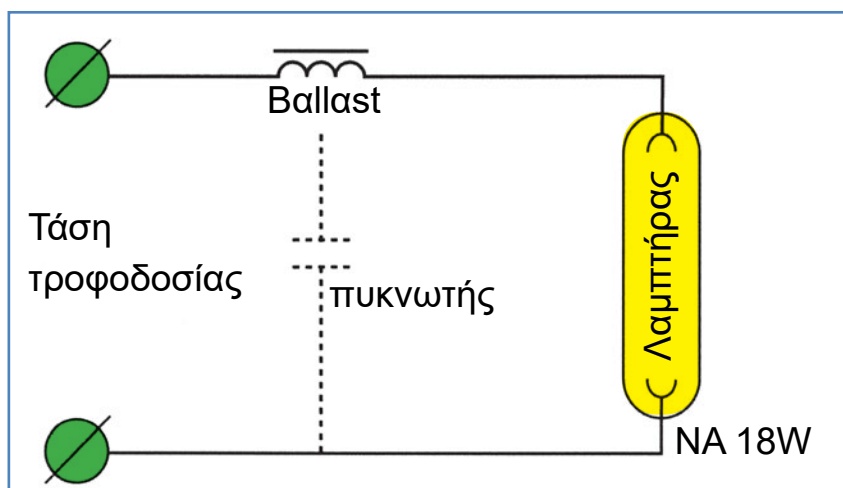
Η λειτουργία του λαμπτήρα αυτού είναι παρόμοια με τη λειτουργία του λαμπτήρα ατμών υδραργύρου. Η εκκένωση γίνεται αρχικά μέσω των ατμών του νέον, δίνοντας φως ερυθρού χρώματος. Στη συνέχεια, το μεταλλικό νάτριο εξαχνούται και ιονίζεται και έτσι επιτυγχάνεται εκκένωση μέσω αυτού.

Το παραγόμενο φως είναι μονοχρωματική ακτινοβολία κίτρινου χρώματος, με μήκος κύματος 5890 Å.

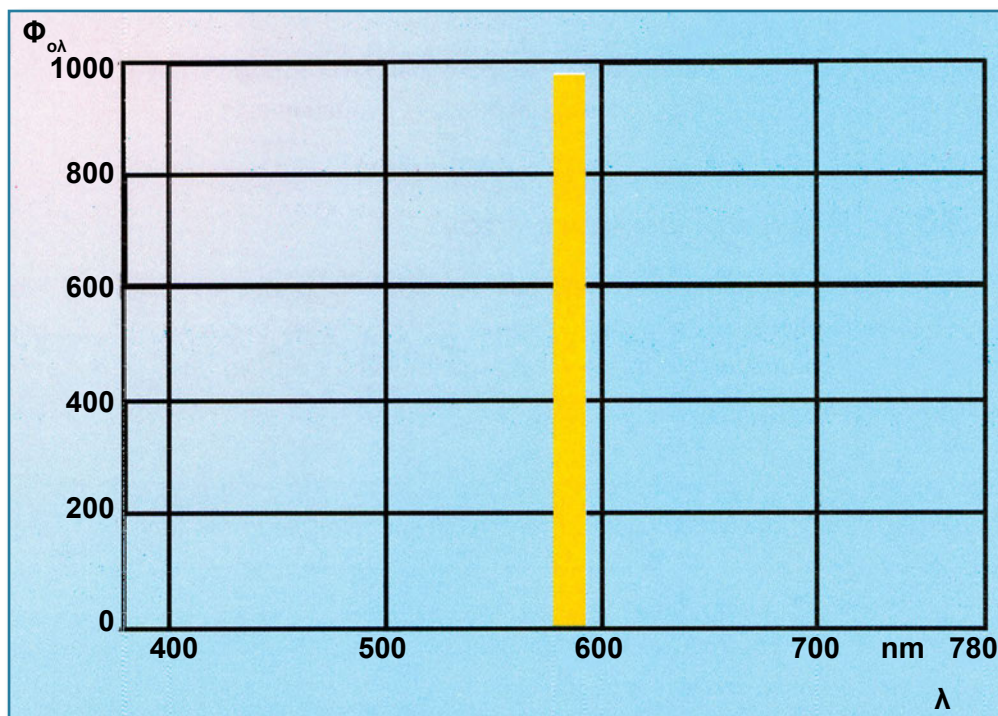
Στην περιοχή αυτή, το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία του.

Το φως αυτό παρουσιάζει μεγάλη διεισδυτικότητα σε ομιχλώδεις περιβάλλον ή σε περιβάλλον με σκόνη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο βαθμό απόδοσης του λαμπτήρα, τον καθιστά ως την πλέον κατάλληλη πηγή φωτός για το φωτισμό οδικών αρτηριών.

Προφανώς, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου απαιτείται απόδοση χρωμάτων.



Σχήμα 3.38:
Συνδεσμολογία λαμπτήρα ατμών νατρίου, χαμηλής πίεσης



Σχήμα 3.39:
Φασματική
κατανομή
λαμπτήρα νατρίου,
χαμηλής πίεσης

3.3.4.2 Λαμπτήρες ατμών νατρίου, υψηλής πίεσης

Σε λαμπτήρα ατμών νατρίου, αν αυξηθεί η πίεση του μέχρι τα 200 mm Hg, παρατηρείται μείωση της απόδοσης του λαμπτήρα αλλά και εμφάνιση νέων ακτινοβολιών, διαφορετικών από την κίτρινη μονοχρωματική ακτινοβολία.

Το φως του λαμπτήρα ατμών υψηλής πίεσης⁵ έχει χρώμα χρυσόλευκο και αντιστοιχεί σε θερμοκρασία χρώματος 2300 °K.

Σε σχέση με τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης παρουσιάζουν περίπου διπλάσιο βαθμό απόδοσης (έως 120 lm/W).

Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου οι λαμπτήρες ατμών νατρίου, χαμηλής πίεσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, λόγω της μονοχρωματικής τους ακτινοβολίας.

Και αυτοί οι λαμπτήρες παράγονται σε δύο διαφορετικές εξωτερικές μορφές:

- ❖ με σωληνοειδή διαφανή κώδωνα
- ❖ με κώδωνα μορφής αχλαδιού με εσωτερικό φθορίζον επίχρισμα

Με ισχύ 35 - 1000 W, η παρεχόμενη φωτεινή τους ροή είναι 2400 - 120000 lm.

Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μαγνητικό μπάλαστ, με κατάλληλη συσκευή έναυσης - εκκινήτη, ή ειδικό ηλεκτρονικό μπάλαστ.

⁵ Ο όρος «υψηλή πίεση» έχει μόνο σχετική έννοια και χρησιμοποιείται για τη διάκριση από τον αντίστοιχο λαμπτήρα νατρίου, χαμηλής πίεσης.

Εφαρμογές: φωτισμός βιομηχανικών χώρων, αυτοκινητοδρόμων εθνικού δικτύου, κεντρικών οδών εντός αστικών περιοχών, μνημείων κ.λπ..

3.3.5 Φωτεινοί σωλήνες νέον

Είναι λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης που δε διαθέτουν εκκινητές και ηλεκτρόδια πυράκτωσης. Λειτουργούν μόνο με υψηλή τάση την οποία λαμβάνουν από μετασχηματιστές κατάλληλου τύπου. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές φωτεινών επιγραφών.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπουν εξαρτάται από το είδος του ευγενούς αερίου το οποίο περιέχουν και από το χρώμα των γυάλινων περιβλημάτων των σωλήνων.

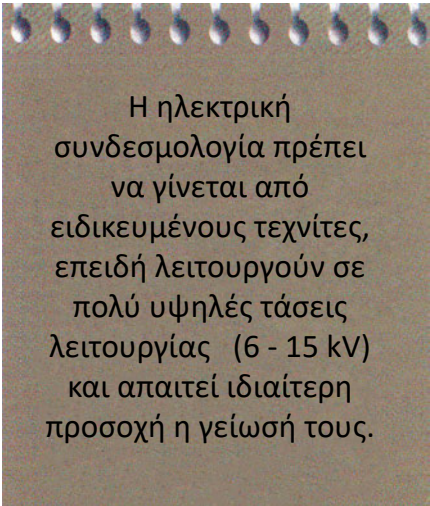
- Το αέριο νέον δημιουργεί κόκκινο χρώμα.
- Το άζωτο, χρυσοκίτρινο χρώμα.
- Το ήλιον, ανοικτό ροζ χρώμα.
- Το μίγμα νέον - ατμοί υδραργύρου, κυανό χρώμα.

Στην πράξη, επιτυγχάνονται μέχρι και τριάντα διαφορετικοί χρωματισμοί, με τη χρησιμοποίηση επικάλυψης από κατάλληλες φθορίζουσες ουσίες.

Η φωτιστική απόδοση των φωτεινών σωλήνων κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30 lm / W.

Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 6000 ώρες και δεν επηρεάζεται από τη συχνότητα έναυσης.

Το μέγεθος της απαιτούμενης τάσης στο δευτερεύον του μετασχηματιστή εξαρτάται από την πτώση τάσης κατά μήκος του σωλήνα και από την πτώση τάσης στα ηλεκτρόδιά του.



Η ηλεκτρική συνδεσμολογία πρέπει να γίνεται από ειδικευμένους τεχνίτες, επειδή λειτουργούν σε πολύ υψηλές τάσεις λειτουργίας (6 - 15 kV) και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή η γείωσή τους.



4. Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων

Φωτιστικό σώμα είναι κάθε διάταξη που διαμορφώνει την κατανομή στο χώρο της φωτεινής ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από έναν ή περισσότερους λαμπτήρες.

Κάθε φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Να παρέχει την κατάλληλη στήριξη στους λαμπτήρες, στα εξαρτήματα λειτουργίας τους (όπου απαιτείται) και στους αγωγούς σύνδεσης.
2. Να διανέμει κατάλληλα τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα.
3. Να έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε η παραγόμενη από τον λαμπτήρα θερμότητα να παραμένει σε τέτοια όρια, που να μην επηρεάζεται η λειτουργία του.
4. Να είναι εύκολη η εγκατάσταση και η συντήρησή του.
5. Να είναι καλαίσθητο και να εναρμονίζεται με το περιβάλλον.

■ 4.1 Κατηγορίες φωτιστικών σωμάτων

Τα φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- α) Ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής η οποία διαχέεται προς τα κάτω.
- β) Ανάλογα με το βαθμό προστασίας του φωτιστικού σώματος έναντι του νερού και της σκόνης.
- γ) Ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτρικής μόνωσης του φωτιστικού σώματος.

Για κάθε κατηγορία, οι πίνακες που ακολουθούν μας δίνουν την αντίστοιχη διάκριση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.

α) Κατάταξη ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής

Πίνακας 4.1: Διάκριση φωτιστικών σωμάτων ως προς την κατανομή φωτεινής ροής.

Κατηγορία Φωτιστικού Σώματος	Κατανομή (%) της φωτεινής ροής ως προς το οριζόντιο επίπεδο	
	Προς τα πάνω	Προς τα κάτω
Άμεσο	0 - 10	90 - 100
Ημι - άμεσο	10 - 40	60 - 90
Διαχυτικό (Ομοιόμορφο)	40 - 60	40 - 60
Ημι - έμμεσο	60 - 90	10 - 40
Έμμεσο	90 - 100	0 - 10

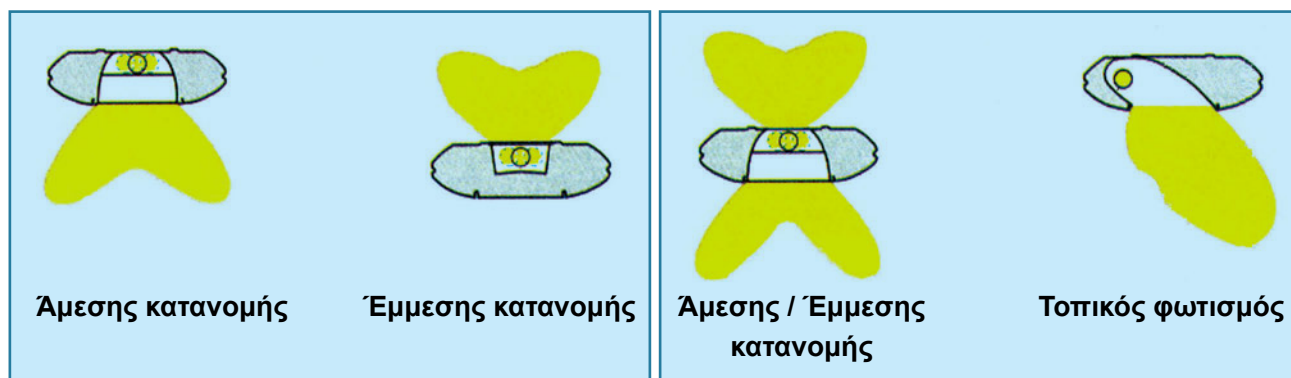
Με τον **άμεσο** φωτισμό, ποσοστό μεγαλύτερο του 90 % της φωτεινής ροής των λαμπτήρων στέλνεται άμεσα προς τα κάτω, στο επίπεδο εργασίας. Οι απώλειες από απορρόφηση τοίχων και οροφής είναι μικρές και ο βαθμός απόδοσης του φωτισμού του χώρου είναι μεγάλος. Επειδή η οροφή φωτίζεται ελάχιστα, ο φωτισμός αυτός κρύβει τυχόν ακαλαίσθητα στοιχεία της (δοκοί, σιδηροκατασκευές κ.λπ.). Ο φωτισμός αυτός δημιουργεί σκιές, τονίζοντας έτσι την τρίτη διάσταση των αντικειμένων. Χρησιμοποιείται όπου απαιτείται να διακρίνουμε λεπτομέρειες, κυρίως σε εφαρμογές τοπικού φωτισμού.

Με τον **έμμεσο** φωτισμό, ποσοστό μεγαλύτερο του 90 % στέλνεται προς την οροφή, απ' όπου μετά από ανάκλαση επιστρέφει στο επίπεδο εργασίας. Ο φωτισμός αυτός έχει μεγάλες απώλειες, λόγω απορρόφησης στην οροφή και στους τοίχους του φωτιζόμενου χώρου, με συνέπεια το μικρό βαθμό απόδοσης. Χαρακτηριστικό του είναι ότι οι λαμπτήρες δεν είναι εμφανείς (κρυφός φωτισμός). Επειδή το φως έρχεται στα φωτιζόμενα αντικείμενα από όλες τις κατευθύνσεις, δεν υπάρχουν σκιές, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής να μην μπορεί να διακρίνει τις προεξοχές από τις εσοχές στα αντικείμενα που παρατηρεί. Ο φωτισμός αυτός δημιουργεί μια αίσθηση χαλαρότητας και ενδείκνυται για χώρους αναμονής.

Οι περισσότεροι ήπιες μορφές φωτισμού είναι ο ημιάμεσος και ο ημιέμμεσος. Ο ομοιόμορφος φωτισμός αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση.

Σε πολλές εφαρμογές φωτισμού, για διάφορους λόγους, χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φθορισμού. Επειδή όμως διαθέτουν μεγάλη φωτιστική επιφάνεια

και το φως το οποίο παρέχουν είναι διάχυτο, πρέπει να συνδυάζονται με προβολείς τοπικού φωτισμού, για να αναδεικνύονται οι λεπτομέρειες των φωτιζόμενων αντικειμένων.



Σχήμα 4.1: Σχηματική παράσταση φωτιστικών σωμάτων με κατανομή του φωτός

β) Κατάταξη ανάλογα με το βαθμό προστασίας

Κάθε φωτιστικό σώμα χαρακτηρίζεται από τον κατασκευαστή του με το δείκτη προστασίας IP και με δύο αριθμούς, π.χ. IP 44. Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στο βαθμό προστασίας από εισχώρηση στερεών σωμάτων ή σκόνη και ο δεύτερος αναφέρεται στο βαθμό προστασίας από νερό.

Πίνακας 4.2: Βαθμοί προστασίας φωτιστικών σωμάτων

Προστασία από στερεά σώματα	Προστασία από υγρά
0. Δεν υπάρχει καμιά προστασία έναντι της εισχώρησης ξένων σωμάτων.	0. Δεν υπάρχει καμιά προστασία έναντι του νερού. 1. Προστασία από νερό που στάζει κάθετα.
1. Προστασία από εισχώρηση στερεών σωμάτων μεγάλων διαστάσεων, μεγαλύτερων των 50 mm (π.χ. προστασία από ακούσια επαφή με το χέρι).	2. Προστασία από σταγόνες νερού. Η προστασία αυτή πρέπει να ισχύει για γωνία κλίσης του φωτιστικού μέχρι 15° από την κατακόρυφο.
2. Προστασία από εισχώρηση στερεών σωμάτων μέσου μεγέθους, μεγαλύτερων των 12 mm (π.χ. προστασία από επαφή με τα δάκτυλα).	3. Προστασία από βροχή. Η προστασία αυτή πρέπει να ισχύει για γωνία πτώσης της βροχής μέχρι και 60° από την κατακόρυφο.

Πίνακας 4.2: Βαθμοί προστασίας φωτιστικών σωμάτων

Προστασία από στερεά σώματα	Προστασία από υγρά
3. Προστασία από εισχώρηση στερεών σωμάτων μικρού μεγέθους, μεγαλύτερων των 2,5 mm (π.χ. εργαλεία, καλώδια).	4. Προστασία από υγρό το οποίο ρίχνεται με οποιαδήποτε γωνία στο φωτιστικό σώμα.
4. Προστασία από είσοδο στερεών σωμάτων μεγαλύτερων του 1 mm (π.χ. λεπτά εργαλεία, λεπτά σύρματα).	5. Προστασία από νερό το οποίο εκτοξεύεται πάνω στο φωτιστικό σώμα από όλες τις κατευθύνσεις.
5. Υπάρχει προστασία από τη σκόνη σε τέτοιο βαθμό, ώστε η σκόνη που εισχωρεί να μη δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του φωτιστικού και να μην αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά του.	6. Προστασία από ρίψη νερού υπό πίεση, ισοδύναμη με θαλάσσια κύματα, από όλες τις κατευθύνσεις.
6. Υπάρχει απόλυτη προστασία από τη σκόνη. Το φωτιστικό σώμα είναι κονιορτοστεγές.	7. Προστασία από νερό, όταν το φωτιστικό σώμα εμβαπτίζεται μέσα στο νερό σε μικρό βάθος και σε μικρή χρονική διάρκεια. Το φωτιστικό σώμα είναι υδατοστεγές.
	8. Προστασία από βύθιση διάρκειας στο νερό και σε βάθος.

γ) Κατάταξη σύμφωνα με τον τύπο προστασίας από ηλεκτροπληξία

Τα φωτιστικά σώματα ταξινομούνται σύμφωνα με τον τύπο προστασίας από ηλεκτροπληξία ως: Κλάση 0, Κλάση I, Κλάση II και Κλάση III.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την κατάταξη των φωτιστικών σωμάτων με κριτήριο την ηλεκτρική τους προστασία.

Πίνακας 4.3: Κλάσεις προστασίας φωτιστικών σωμάτων

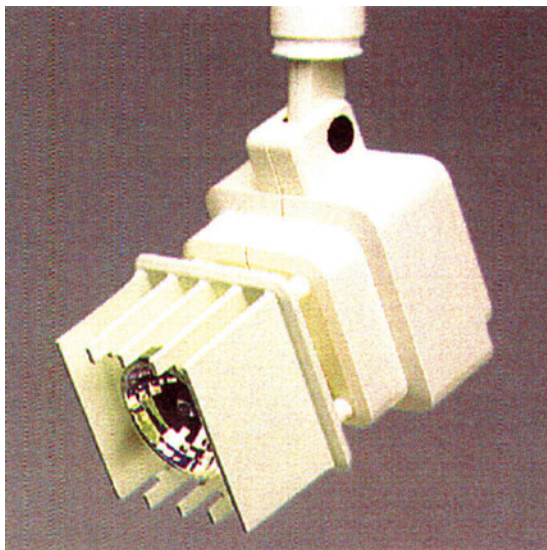
Κατηγορία φωτιστικού σώματος	Σύμβολο	Περιγραφή ηλεκτρικής προστασίας
0		Φωτιστικό σώμα το οποίο δε διαθέτει βίδα γείωσης και διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Η προστασία από ηλεκτροπληξία εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση.
1		Φωτιστικό σώμα το οποίο διαθέτει βίδα γείωσης ή επαφή γείωσης. Η προστασία από ηλεκτροπληξία δεν εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση, αλλά περιέχει ένα επιπρόσθετο μέτρο ασφαλείας, με τη μορφή μέσων για τη σύνδεση των προσιτών αγωγίμων μερών στον αγωγό προστασίας (γείωσης) της σταθερής συρμάτωσης της εγκατάστασης, έτσι που να μην μπορούν να τεθούν υπό τάση τα προσιτά αυτά αγωγίμα μέρη, σε περίπτωση αστοχίας της βασικής μόνωσης.
11	II	Η προστασία από ηλεκτροπληξία δεν εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση, αλλά έχουν προβλεφθεί επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας, όπως διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Δε διαθέτει επαφή ή βίδα γείωσης.
111	III	Φωτιστικό σώμα το οποίο προορίζεται για πολύ χαμηλές τάσεις τροφοδοσίας. Η προστασία από ηλεκτροπληξία βασίζεται στο γεγονός ότι το φωτιστικό λειτουργεί με πολύ χαμηλή τάση, η οποία δε δημιουργεί κανένα κίνδυνο για τον άνθρωπο. Ένα φωτιστικό σώμα αυτής της Κλάσης δεν πρέπει να είναι εφοδιασμένο με μέσα για γείωση προστασίας.

■ 4.2 Τύποι φωτιστικών σωμάτων εσωτερικών χώρων

Τα φωτιστικά σώματα γενικής χρήσης τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά μπορούν να καταταγούν σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες πυράκτωσης

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία φωτιστικών σωμάτων, κυρίως διακοσμητικού χαρακτήρα. Η χρήση των περισσότερων απ' αυτά σωμάτων είναι αποτέλεσμα απλής επιλογής και όχι φωτοτεχνικής μελέτης. Στις μελέτες φωτισμού, δύο τύποι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αυτοί ανήκουν στην κατηγορία φωτιστικών σωμάτων σημειακού φωτισμού (τύπος SPOT). Τα SPOT μπορούν να τοποθετηθούν είτε εσωτερικά σε ψευδοροφές είτε εξωτερικά, με τη μορφή μικρών προβολέων.



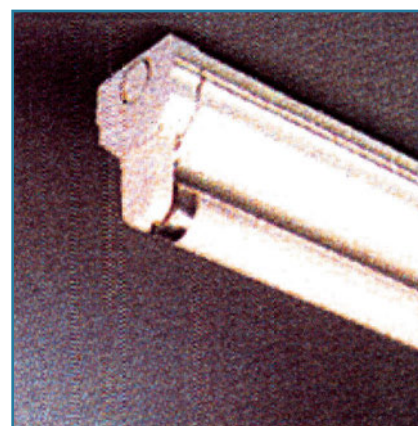
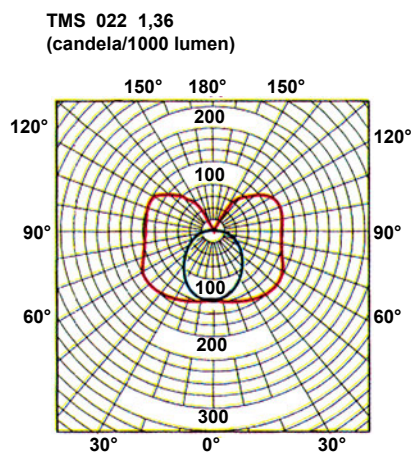
Σχήμα 4.2: Διάφορες μορφές SPOT

2. Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι περισσότεροι τύποι φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούνται στις μελέτες φωτισμού. Διακρίνονται σε:

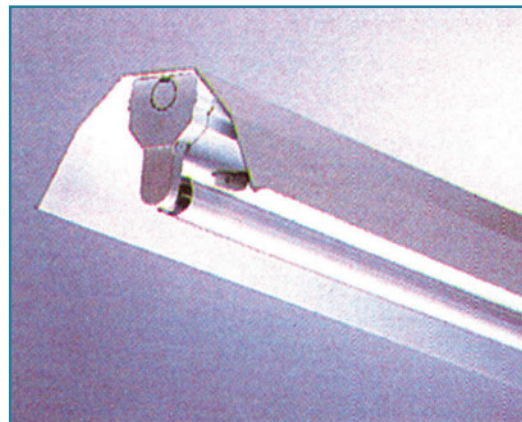
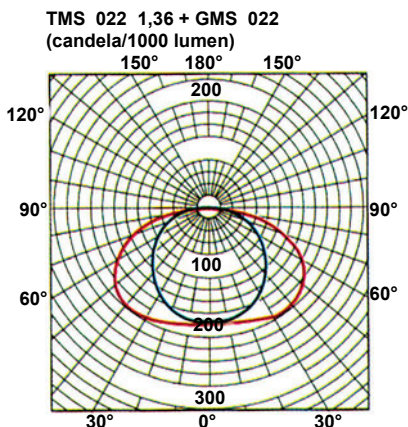
α. Απλά φωτιστικά σώματα ή σκαφάκια

Τα σκαφάκια απλού ή βιομηχανικού τύπου αποτελούν την απλούστερη μορφή φωτιστικού σώματος φθορισμού. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η εξωτερική εμφάνιση του φωτιστικού σώματος δεν έχει σημασία.

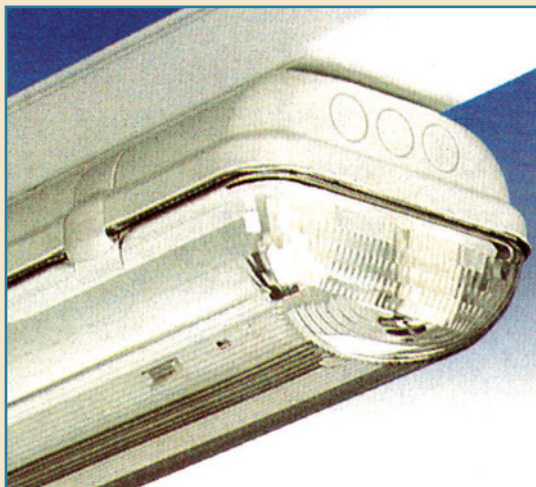


Σχήμα 4.3: Σκαφάκι

**β. Σκαφάκια
βιομηχανικού τύπου
με ανταυγαστήρες.**



Σχήμα 4.4:
Σκαφάκι με ανταυγαστήρα



γ. Φωτιστικά σώματα με πλαστικό κάλυμμα

Υπάρχουν διάφορα είδη πλαστικού καλύμματος, όπως διαφανές, πρισματικό, γαλακτόχρουν κ.λπ.. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτισμού εσωτερικών χώρων, όπου η εμφάνιση του φωτιστικού σώματος έχει και διακοσμητική σημασία.

Σχήμα 4.5: Φωτιστικό σώμα
με πλαστικό κάλυμμα

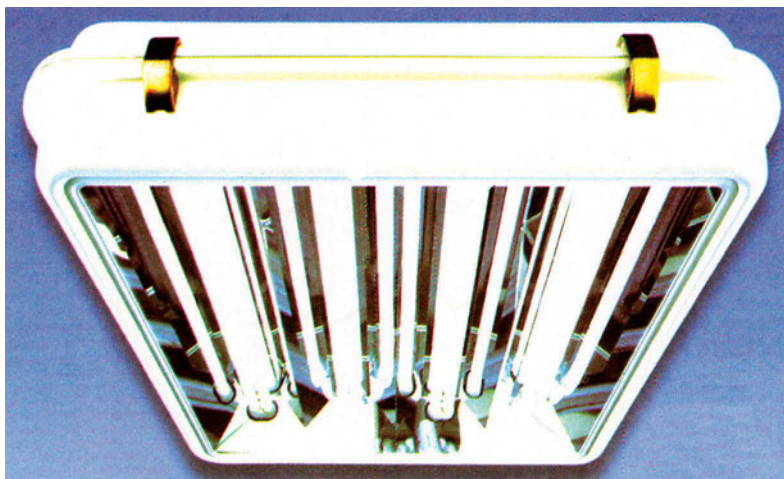
δ. Φωτιστικά σώματα με περσίδες



Σχήμα 4.6: Φωτιστικό σώμα με περσίδες

ε. Φωτιστικά σώματα ειδικών εφαρμογών

Τέτοια φωτιστικά σώματα διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το να είναι στεγανά, αντiekρηκτικά, κατάλληλα για ιατρικές εφαρμογές κ.λπ..



Σχήμα 4.6: Φωτιστικό σώμα με περσίδες

■ 4.3 Φωτιστικά ασφαλείας

Όλα τα σύγχρονα φωτιστικά σώματα φθορισμού μπορούν να εξοπλιστούν με συνδεσμολογία και εξαρτήματα για λειτουργία με αυτόματο σύστημα φωτισμού ασφαλείας, εφόσον το επιτρέπουν οι διαστάσεις του φωτιστικού. Κατά τη διακοπή της τάσης τροφοδότησης της εγκατάστασης, ανάβει ένας από τους λαμπτήρες του φωτιστικού, περίπου στο 20% της ονομαστικής φωτεινής ροής του. Τα χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος είναι τα εξής:

1. Μόνιμη λειτουργία. Το φωτιστικό λειτουργεί κανονικά, με την τάση τροφοδοσίας του δικτύου.
2. Αντιστροφή της τάσης με ηλεκτρονικό μετατροπέα (inverter), παρέχοντας προστασία έναντι ολικής εκφόρτισης της μπαταρίας.
3. Μπαταρία νικελίου - καδμίου.
4. Ενδεικτική λυχνία (LED), για την παρουσία τροφοδοσίας και τη φόρτιση της μπαταρίας.
5. Χρόνος επαναφόρτισης της μπαταρίας, 24 ώρες.
6. Αυτονομία για μία ώρα. Είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη αυτονομία, ανάλογα με το φορτίο που υποστηρίζει η μπαταρία.

Στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιούνται αυτόνομα φωτιστικά σώματα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Επαναφορτιζόμενο φωτιστικό ασφαλείας με έναν ή δύο λαμπτήρες φθορισμού, ισχύος συνήθως 8 W.
2. Λειτουργεί (ανάβει), όταν υπάρξει διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος.
3. Έχει αυτόματη επαναφορά, όταν αποκατασταθεί η τάση στο δίκτυο, και παραμένει σε κατάσταση ετοιμότητας.
4. Διαθέτει μπουτόν για τον έλεγχο λειτουργίας του λαμπτήρα.
5. Έχει αυτονομία 6 - 7 ώρες για συνεχή λειτουργία ενός λαμπτήρα ή 3,5 ώρες για τη λειτουργία και των δύο.

Έχουν εφαρμογές σε καταστήματα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, τράπεζες, εργοστάσια, σχολεία, θέατρα, κλιμακοστάσια κ.λπ..

■ 4.4 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου

Ο πλέον συνηθισμένος τύπος είναι ο τύπος «καμπάνα», με ανακλαστήρα στενής ή ευρείας δέσμης. Είναι κατάλληλος για εσωτερικούς χώρους με ύψος μεγαλύτερο από 5m και για ένα λαμπτήρα ατμών υδραργύρου ή νατρίου υψηλής πίεσης, ισχύος 250W, 400W.

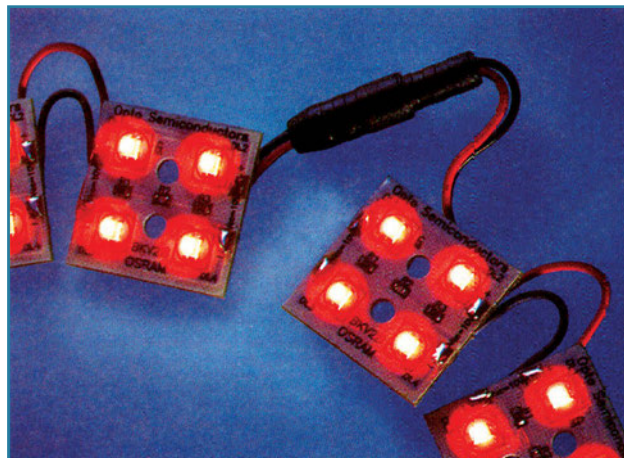
Χρησιμοποιείται για το φωτισμό βιομηχανικών χώρων, αποθηκευτικών χώρων, σταθμών αυτοκινήτων και κλειστών αθλητικών χώρων, όπως γήπεδα, γυμναστήρια κ.λπ..



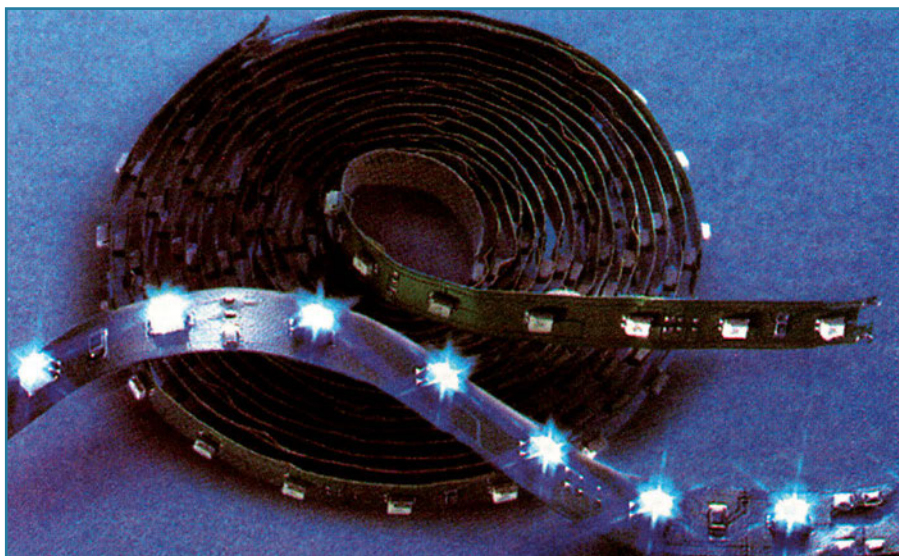
Σχήμα 4.8: Φωτιστικό σώμα ατμών υδραργύρου

■ 4.5 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες LED

Είναι φωτιστικά σώματα που μπορούν να περιέχουν σε κατάλληλες επιφάνειες έως και μερικές χιλιάδες διόδους φωτοεκπομπής (LED). Οι δίοδοι φωτοεκπομπής έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης, πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (100.000 ώρες λειτουργίας), μικρές διαστάσεις (μερικά χιλιοστά), μεγάλη αντοχή σε χτυπήματα και κραδασμούς, δεν εκπέμπουν υπέρυθρες ή υπεριώδεις ακτινοβολίες και έχουν πολύ μικρή κατανάλωση.



Σχήμα 4.9: Δίοδοι φωτοεκπομπής



■ 4.6 Φωτιστικά σώματα με οπτικές ίνες

Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως είναι:

- ο φωτισμός πολύ μικρών χώρων, όπως οι βιτρίνες καταστημάτων και πίνακες ανακοινώσεων,
- ο φωτισμός σε χώρους με αυξημένη υγρασία, όπως είναι οι πισίνες, σε χώρους με επικίνδυνα εύφλεκτα αέρια και γενικά σε εφαρμογές όπου το ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα,
- ο φωτισμός έργων τέχνης, όπου απαιτείται πολύ μικρή εκπομπή θερμότητας και μηδαμινή υπεριώδης ακτινοβολία,
- ο φωτισμός στη σηματοδότηση της κυκλοφορίας των οχημάτων και διαφημιστικών επιγραφών,

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται και σε πλήθος άλλων εφαρμογών.

Κάθε σύστημα οπτικών ινών αποτελείται:

- α) από τη φωτεινή πηγή,
- β) από την οπτική ίνα και
- γ) από την απόληξη της οπτικής.

Η φωτεινή πηγή περιλαμβάνει την ανάλογη λυχνία, τα απαραίτητα φίλτρα και ένα μικρό ανεμιστήρα ψύξης. Παράγει και εκπέμπει το φως προς το βύσμα, όπου ενώνονται όλες οι οπτικές ίνες της διάταξης. Μέσα στη φωτεινή πηγή και μεταξύ της λυχνίας και του βύσματος, παρεμβάλλονται φίλτρα για τον περιορισμό της υπεριώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα χρησιμοποίησης περιστρεφόμενου δίσκου με διάφορα χρωματιστά φίλτρα, για τη δημιουργία φωτιστικών εφέ.

Η οπτική ίνα που φτάνει από την πηγή μέχρι το χώρο που απαιτείται να φωτιστεί, έχει συνήθως μήκος 8 - 9 μέτρα. Η ελεύθερη απόληξη της οπτικής ίνας παρέχει το φως που έχει μεταφερθεί μέσω της ίνας με τη μορφή δέσμης γωνίας 60° .

Με ειδικά μηχανήματα δίνεται η δυνατότητα να μεγαλώσει ή να μικρύνει η δέσμη, δίνοντας στον φωτιζόμενο χώρο την ατμόσφαιρα που απαιτεί η εφαρμογή.

Η πολύ μικρή διατομή των οπτικών ινών και η δυνατότητα πολλαπλών αναχωρήσεων από το βύσμα προσφέρουν απεριόριστες δυνατότητες φωτισμού.



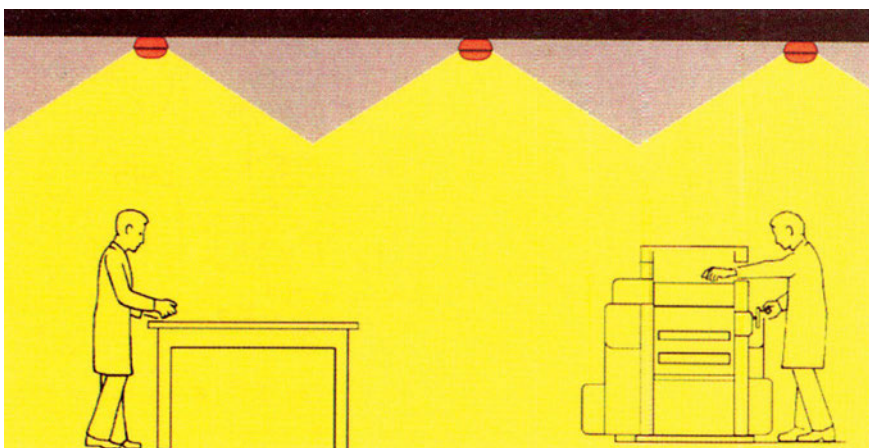
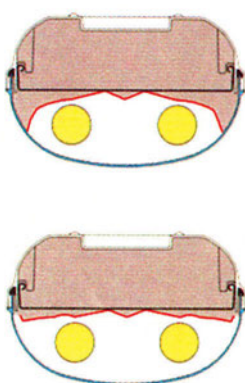
Σχήμα 4.10:
Διάταξη φωτισμού
με οπτικές ίνες

■ 4.7 Ανταυγαστήρες

Στις φωτοτεχνικές εφαρμογές, πολλές φορές απαιτείται να δώσουμε διάφορες μορφές (παράλληλη, συγκεντρωτική, διαχεόμενη κ.λπ.) στην ανακλώμενη δέσμη. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση στα φωτιστικά σώματα ανταυγαστήρων κατάλληλου σχήματος και υλικού. Χρησιμοποιώντας παραβολικούς ανταυγαστήρες, αυξάνονται οι αποδόσεις του φωτιστικού μέχρι και 25%. Βελτιώνοντας το φωτισμό στο επίπεδο εργασίας, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του λειτουργικού κόστους. Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι ανταυγαστήρων:

A. Ανταυγαστήρες ευρείας δέσμης

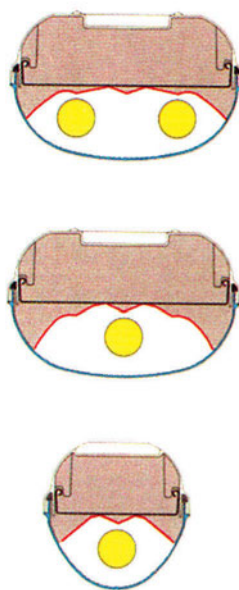
Για χρήση σε χώρους με ύψος από 3 έως 6 μέτρα.



Σχήμα 4.11: Κατανομή φωτός με ανταυγαστήρα ευρείας δέσμης

B. Ανταυγαστήρες συγκεντρωτικής δέσμης

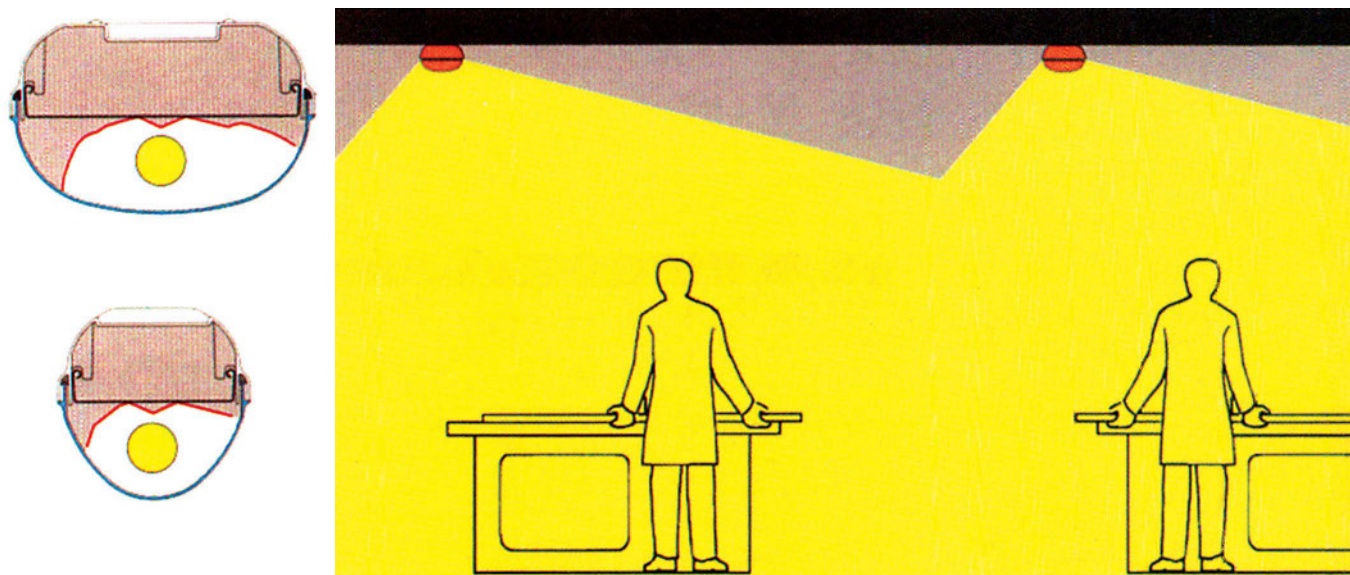
Για χρήση σε χώρους με ύψος πάνω από 4 μέτρα ή όπου απαιτείται έντονος φωτισμός.



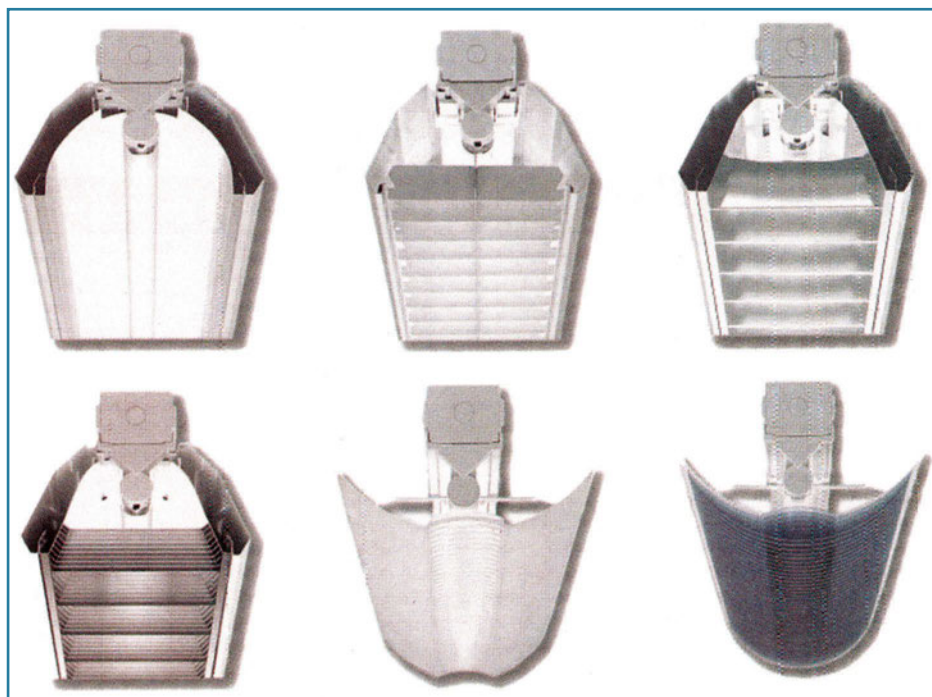
Σχήμα 4.12: Κατανομή φωτός με ανταυγαστήρα συγκεντρωτικής δέσμης

Γ. Ανταυγαστήρες ασύμμετρης δέσμης

Για χρήση σε χώρους όπου υπάρχει ανάγκη για ακριβή εστίαση της φωτεινής ροής στο επίπεδο εργασίας.



Σχήμα 4.13: Κατανομή φωτός με ανταυγαστήρα ασύμμετρης δέσμης



Σχήμα 4.14: Τύποι ανταυγαστήρων

■ 4.8 Στάθμη φωτισμού και χώρος εργασίας

Το ανθρώπινο μάτι αποκτά τη μέγιστη οξύτητα όρασης σε στάθμες φωτισμού από 10.000 έως 20.000 Lux.

Όμως, στις εγκαταστάσεις φωτισμού λαμβάνουμε υπόψη:

- ❖ τη λαμπρότητα του επιπέδου εργασίας (επιφάνεια της οποίας ο φωτισμός μας ενδιαφέρει),
- ❖ τη λαμπρότητα των επιφανειών του περιβάλλοντος χώρου και κυρίως
- ❖ το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας,

οπότε η στάθμη φωτισμού Ε λαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες τιμές:

Για φωτισμό διαδρόμων και εσωτερικών χώρων οι οποίοι δε χρησιμοποιούνται συχνά 20 - 200 Lux,

- για γενικό φωτισμό χώρων εργασίας, 200 - 2000 Lux,
- για τοπικό ή συμπληρωματικό φωτισμό, 2000 - 20000 Lux.

Ο κακός φωτισμός προκαλεί κούραση, βλάπτει την υγεία, μειώνει την απόδοση των εργαζομένων και αποτελεί αιτία ατυχημάτων.

Ανάλογα με το χώρο και το είδος εργασίας, απαιτείται και διαφορετική ποσότητα φωτισμού.

Επίσης, στην επιλογή της στάθμης φωτισμού ενός χώρου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ηλικία αυτών που διαμένουν ή εργάζονται σ' αυτόν. Οι ηλικιωμένοι έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις φωτισμού.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρεται η απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού για ορισμένους χώρους εργασίας ή διαμονής. Από την προσεκτική μελέτη του πίνακα, ο ενδιαφερόμενος μπορεί κατ' αντιστοιχία να αντιληφθεί τις ανάγκες φωτισμού οποιουδήποτε χώρου, αρκεί να του δοθούν οι σχετικές προδιαγραφές του χώρου.

Έχοντας υπόψη την απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού Ε σε Lux μιας επιφάνειας, μπορούμε να επιλέξουμε τους κατάλληλους λαμπτήρες (φωτεινή ροή σε lumen) και τα φωτιστικά (συντελεστή απόδοσης).

Πίνακας 4.4: Απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού E σε Lux, ανά είδος εργασίας

Είδος Εργασίας	Συνιστώμενα Lux
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ Σαλόνι, κουζίνα, υπνοδωμάτιο, διάδρομοι Τοπικός φωτισμός για διάβασμα Τοπικός φωτισμός για τραπέζι κουζίνας, νιπτήρα Τοπικός φωτισμός για κρεβάτια παιδιών, καθρέφτες	150 500 - 1000 250 - 500 70 - 200
ΣΧΟΛΕΙΑ Νηπιαγωγεία Δημοτικά Αίθουσες διδασκαλίας (Γυμνασίων, Λυκείων, ΤΕΕ) Εργαστήρια Σχεδιαστήρια	100 - 200 200 - 400 250 - 500 250 - 500 500 - 1000
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ Λογιστήρια, δακτυλογράφοι Αίθουσες συνεδριάσεων Αίθουσες αναμονής Γραφεία	500 - 1000 250 - 500 150 - 400 250 - 500
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ Γραφεία γιατρών (γενικός φωτισμός) Γραφεία γιατρών (τράπεζα εργασίας) Χειρουργείο (τράπεζα εργασίας) Οδοντιατρείο (πολυθρόνα) Βιβλιοθήκη	150 500 - 1000 20000 - 40000 5000 - 10000 250 - 500
ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ Βιτρίνες στο κέντρο μεγάλων πόλεων (γενικός φωτισμός) " " συμπληρωματικός με spots Βιτρίνες σε υπόλοιπους χώρους (γενικός φωτισμός) " " συμπληρωματικός με spots Εσωτερικός φωτισμός για καταστήματα μεγάλων πόλεων " " άλλων περιοχών	1000 - 2000 5000 - 10000 500 - 1000 2500 - 5000 500 - 1000 250 - 500
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ - ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΑ Υπνοδωμάτια (γενικός φωτισμός) " (τοπικός κρεβατιών) Λουτρά " συμπληρωματικός φωτισμός καθρεφτών Κουζίνες Διάδρομοι - σκάλες	150 250 - 500 150 250 - 500 250 - 500 150
ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ Συνεργεία (γενικός φωτισμός) Χώρος στάθμευσης Λιπαντήριο, πλυντήριο Έκθεση αυτοκινήτων, τράπεζα εργασίας	250 - 500 150 250 - 500 500 - 1000
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ Αίθουσες αναμονής, αναψυκτήριο, πλατφόρμα Χώροι έκδοσης εισιτηρίων και γραφεία	150 500 - 1000



5. Μελέτες φωτισμού εσωτερικών χώρων

Η φωτεινή ροή που εξέρχεται από ένα φωτιστικό σώμα είναι πάντα μικρότερη από τη φωτεινή ροή Φ_o , η οποία αποδίδεται από τον λαμπτήρα ή τους λαμπτήρες του σώματος αυτού, λόγω απορρόφησης. Επίσης, στο επίπεδο εργασίας του φωτιζόμενου χώρου, μόνο ένα μέρος από αυτή τη φωτεινή ροή προσπίπτει σε αυτό. Το υπόλοιπο μέρος προσπίπτει στην οροφή και στους τοίχους του χώρου και κάποιο ποσοστό του επιστρέφει στο επίπεδο εργασίας.

Η συνολική φωτεινή ροή που προσπίπτει άμεσα ή έμμεσα στο επίπεδο εργασίας ονομάζεται ωφέλιμη ροή Φ_n .

Η ωφέλιμη φωτεινή ροή εξαρτάται από τον τύπο του φωτιστικού σώματος, κυρίως από τον τύπο διανομής του φωτός από αυτό (π.χ. άμεσος φωτισμός), από τις διαστάσεις του φωτιζόμενου χώρου (μήκος l , πλάτος του χώρου w και ύψος h του φωτιστικού σώματος από το επίπεδο εργασίας) και από την ανακλαστικότητα των τοίχων r_w και της οροφής r_c .

Καλείται συντελεστής χρησιμοποίησης n του φωτιστικού σώματος το πηλίκο:

$$n = \Phi_n / \Phi_o$$

■ 5.1 Μελέτες φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie)

Η μέθοδος μελέτης φωτισμού που θα περιγραφεί οφείλεται στο μελετητή φωτισμού J.W Favie και βασίζεται κυρίως σε εμπειρικά δεδομένα.

Αν θεωρήσουμε επίπεδο εργασίας εμβαδού S , στο οποίο προσπίπτει φωτεινή ροή Φ_n , ο μέσος φωτισμός θα δίνεται από τη σχέση: $E = \Phi_n / S$

Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή χρησιμοποίησης n , τότε ο μέσος φωτισμός θα δίνεται από τη σχέση :

$$E = n \Phi_o / S \quad \text{ή}$$

$$\Phi_o = E S / n$$

Η σχέση αυτή παρέχει την απαιτούμενη συνολική φωτεινή ροή Φ_o του λαμπτήρα ή των λαμπτήρων, για δεδομένο χώρο και με γνωστό το συντελεστή χρησιμοποίησης n του φωτιστικού σώματος.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης λαμβάνεται από τους μελετητές φωτισμού από κατάλληλους πίνακες.

Οι πίνακες $\Pi_1 - \Pi_{11}$ (βλέπε Παράρτημα) δίνουν το **συντελεστή χρησιμοποίησης n** σε καινούργιες εγκαταστάσεις, για συγκεκριμένους λαμπτήρες και φωτιστικά, σε συνάρτηση με:

- το συντελεστή απόδοσης του φωτιστικού ν (με κατανομή % της φωτεινής ροής προς τα κάτω),
- το δείκτη χώρου k και
- τους συντελεστές ανάκλασης της οροφής r_c και των τοίχων r_w .

Επιπλέον, στους πίνακες δίνεται και ο συντελεστής συντήρησης μ .

Ο δείκτης χώρου k , που αναφέρεται στους πίνακες παίρνει τιμές από 1 έως 10 και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k = (2 l + 8 w) / 10 h$$

όπου: l = το μήκος του χώρου που πρόκειται να φωτιστεί

w = το πλάτος του χώρου

h = η κατακόρυφη απόσταση του επιπέδου εργασίας από το φωτιστικό σώμα.

Ως **επίπεδο εργασίας** λαμβάνεται συνήθως οριζόντιο επίπεδο το οποίο απέχει από το δάπεδο 80 εκατοστά. Αυτή η απόσταση αντιστοιχεί στο σύνηθες ύψος των γραφείων, θρανίων, πάγκων εργασίας κ.λπ.. Στην περίπτωση της μελέτης φωτισμού διαδρόμων, για να μπορούμε να βλέπουμε όταν βαδίζουμε, λαμβάνεται ως επίπεδο εργασίας το ύψος των 25 -30 εκατοστών.

Οι ανακλαστικές ιδιότητες των τοίχων r_w και της οροφής r_c για πρακτικούς λόγους, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες.

Συντελεστής ανάκλασης τοίχων r_w	
0,1	Για σκούρα χρώματα
0,3	Για μέσα χρώματα
0,5	Για ανοιχτά χρώματα

Πίνακας 5.1: Συντελεστές ανάκλασης τοίχων

Συντελεστής ανάκλασης οροφής r_c	
0,3	Για μέσα χρώματα
0,5	Για ανοιχτά χρώματα
0,7	Για πολύ ανοιχτά έως λευκά χρώματα

Πίνακας 5.2: Συντελεστές ανάκλασης οροφής

Ο **συντελεστής συντήρησης μ** της εγκατάστασης είναι συνδυασμός του βαθμού ρύπανσης του χώρου στον οποίο βρίσκεται το φωτιστικό σώμα και της περιόδου καθαρισμού του⁶.

Κάθε φωτιστικό σώμα δέχεται ρύπανση η οποία μπορεί να είναι ελαφρά, μέση ή υψηλή. Επιπρόσθετα, η κατάσταση του φωτιστικού σώματος δεν εξαρτάται μόνο από τη ρύπανση του χώρου αλλά και από τη συχνότητα καθαρισμού του φωτιστικού σώματος. Έτσι, κάθε κατηγορία ρύπανσης υποδιαιρείται σε τρεις υποκατηγορίες Α, Β, ή C, που αντιστοιχούν στον καθαρισμό του φωτιστικού σώματος μία φορά κάθε ένα, δύο ή τρία έτη αντίστοιχα.

Ο συντελεστής συντήρησης λαμβάνεται υπόψη, για να υπολογίσουμε:

- τον πραγματικό φωτισμό ενός χώρου από δεδομένο φωτιστικό σώμα ή
- τον απαιτούμενο φωτισμό που πρέπει να παρέχει ένα φωτιστικό σώμα σε δεδομένες απαιτήσεις φωτισμού μιας επιφάνειας.

Παράδειγμα: Φωτιστικό σώμα, σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας, παρέχει θεωρητικά φωτισμό σε επιφάνεια $E_{\theta} = 250 \text{ Lux}$. Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, η εγκατάσταση έχει συντελεστή συντήρησης $\mu = 2,5$. Να υπολογιστεί ο πραγματικός φωτισμός της επιφάνειας $E_{\pi\rho}$:

$$E_{\pi\rho} = E_{\theta} / \mu = 100 \text{ Lux}$$

Αν απαιτείται για την ίδια επιφάνεια σταθερός φωτισμός $E_{\pi\rho} = 250 \text{ Lux}$ σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, με τον ίδιο συντελεστή συντήρησης ($\mu = 2,5$), τότε το φωτιστικό σώμα πρέπει να αποδίδει:

$$E_{\theta} = E_{\pi\rho} \cdot 2,5 = 625 \text{ Lux}$$

Σημείωση:

Για την υλοποίηση των φωτοτεχνικών μελετών, οι μελετητές φωτισμού χρησιμοποιούν κατάλληλα λογισμικά προγράμματα διαφόρων εταιρειών, όπως Philips, Hofneistar, Pissano, Zuntobel, Lighting Technologies.

- ❖ Το εντυπωσιακό είναι ότι ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να βλέπει, εκτός από τα πολικά διαγράμματα του φωτιστικού και του λαμπτήρα, την τιμή του φωτισμού σε κάθε σημείο του χώρου (επίπεδο εργασίας, πλαϊνός τοίχος, οροφή κ.λπ.).
- ❖ Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης του χώρου όπου είναι αναρτημένα τα φωτιστικά, προτείνει καλύτερες λύσεις και κάνει πλήρη οικονομοτεχνική μελέτη.

⁶ Σε ειδικές φωτοτεχνικές μελέτες, όπως είναι ο φωτισμός μουσείων, αιθουσών τέχνης κ.λπ., στο συντελεστή συντήρησης υπεισέρχεται και ο παράγοντας γήρανσης των λαμπτήρων.

■ 5.2 Παραδείγματα φωτοτεχνικών μελετών με τη μέθοδο φωτεινής ροής

1ο Παράδειγμα

Να πραγματοποιηθεί μελέτη φωτισμού αίθουσας διδασκαλίας, μήκους $l=8$ και πλάτους $W=7$ μέτρων, δηλαδή με εμβαδόν $S = 8 \times 7 = 56 \text{ m}^2$, σε δύο περιπτώσεις:

1. Εάν η αίθουσα διαθέτει οροφή λευκού χρώματος (συντελεστής ανάκλασης $r_c = 0,7$) και τοίχους με ανοιχτόχρωμο χρώμα (συντελεστής ανάκλασης $r_w = 0,5$). Ο βαθμός ρύπανσης των φωτιστικών είναι μέσος και ο καθαρισμός τους προβλέπεται να γίνεται κάθε δύο χρόνια. Η αίθουσα έχει ύψος 3,2 μέτρα και το ύψος των θρανίων (επίπεδο εργασίας) είναι 0,8 μέτρα. Δηλαδή, η απόσταση φωτιστικού σώματος - επιπέδου εργασίας είναι $h = 2,4$ μέτρα.

2. Εάν η αίθουσα διαθέτει οροφή ανοικτού χρώματος (συντελεστής ανάκλασης 0,5) και τοίχους με σκούρο χρώμα (συντελεστής ανάκλασης 0,1). Ο βαθμός ρύπανσης των φωτιστικών είναι μέσος και ο καθαρισμός τους προβλέπεται να γίνεται κάθε τρία χρόνια.

Και για τις δύο περιπτώσεις, ο απαιτούμενος φωτισμός είναι $E = 400 \text{ Lux}$.

Για την υλοποίηση της μελέτης, ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα:

1. Καθορισμός της απαιτούμενης τιμής φωτισμού
2. Επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος
3. Επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα
4. Υπολογισμός του δείκτη χώρου (k)
5. Εύρεση του δείκτη συντήρησης (μ)
6. Εύρεση του συντελεστή χρησιμοποίησης (η)
7. Υπολογισμός απαιτούμενης φωτεινής ροής
8. Εύρεση απαιτούμενου συνολικού αριθμού φωτιστικών σωμάτων
9. Τοποθέτηση φωτιστικών με βάση τη συμμετρία του χώρου

Εκτός από τα παραπάνω μπορεί να γίνει και οικονομοτεχνική μελέτη (κόστος φωτιστικού, κόστος λαμπτήρα, συνολική εγκατεστημένη ισχύς) της όλης εγκατάστασης.

Επίλυση

1. Από τον Πίνακα 4.4, διαπιστώνουμε ότι ο φωτισμός των 400 Lux για αίθουσα διδασκαλίας είναι ικανοποιητικός.

2. Επιλέγουμε τη χρήση φωτιστικού με δύο λαμπτήρες φθορισμού, με περσίδες άμεσου φωτισμού, με συντελεστή απόδοσης 60% και κατανομή φωτός όλη προς τα κάτω και χαρακτηριστικά του Πίνακα Π5 του παραρτήματος.

3. Επιλέγουμε λαμπτήρα φθορισμού 36 W, με δείκτη χρωματικής απόδοσης: $R_a = 84$, φωτεινής ροής 3300 lm.

Επίλυση

4. Υπολογίζουμε το δείκτη χώρου, ο οποίος είναι:

$$k = 2\ell + 8W / 10h = 2 \times 8 + 8 \times 7 / 10 \times 2,4 = 3$$

5. Βρίσκουμε το συντελεστή συντήρησης. Από τον Πίνακα Π5 διαπιστώνεται ότι για την πρώτη περίπτωση ο συντελεστής συντήρησης είναι $\mu = 1,90$ και για τη δεύτερη $\mu = 2,15$.

6. Με δεδομένα για την 1^η περίπτωση $r_c = 0,7$ και $r_w = 0,5$ και για την 2^η $r_c = 0,5$ και $r_w = 0,1$ οι αντίστοιχοι συντελεστές χρησιμοποίησης, με βάση τον προαναφερόμενο δείκτη χώρου $k = 3$, είναι $n_1 = 0,46$ και $n_2 = 0,41$.

7. Υπολογίζουμε την απαιτούμενη φωτεινή ροή. Η φωτεινή ροή για τις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\Phi_1 = E \times S / n_1 = 400 \times 56 / 0,46 = 48696 \text{ lumen και}$$

$$\Phi_2 = E \times S / n_2 = 400 \times 56 / 0,41 = 54636 \text{ lumen}$$

Οι τιμές αυτές ισχύουν για καινούργια εγκατάσταση και θα πρέπει να αυξηθούν ανάλογα με το συντελεστή συντήρησης της κάθε περίπτωσης:

$$\text{για την 1^η περίπτωση: } \Phi_1 = 48696 \times 1,90 = 92522 \text{ lumen}$$

$$\text{για την 2^η περίπτωση: } \Phi_2 = 54636 \times 2,15 = 117467 \text{ lumen}$$

8. Επειδή το κάθε φωτιστικό σώμα έχει δύο λαμπτήρες ροής 3300 lumen ο καθένας, δηλαδή έχει συνολική ροή 6600 lumen, ο απαιτούμενος αριθμός φωτιστικών:

για την 1^η περίπτωση είναι:

$$92522 / 6600 = 14 \text{ σώματα και 28 λαμπτήρες}$$

για την 2^η περίπτωση είναι:

$$117467 / 6600 = 18 \text{ σώματα και 36 λαμπτήρες.}$$

9. Για αισθητικούς λόγους, δεν περιορίζεται ο μελετητής στις παραπάνω απόλυτες τιμές, αλλά λαμβάνει υπόψη του τη συμμετρία του χώρου. Στη συγκεκριμένη μελέτη, επειδή το μήκος της αίθουσας είναι 8 μέτρα και το μήκος κάθε φωτιστικού 1,22 μέτρα, μπορούν για την 1^η περίπτωση να τοποθετηθούν τα φωτιστικά σε 3 στήλες με 5 φωτιστικά η καθεμία και για την 2^η περίπτωση σε 4 στήλες με 5 φωτιστικά η καθεμία. Δηλαδή, συνολικά 15 και 20 φωτιστικά αντίστοιχα.

2ο Παράδειγμα

Με τη βοήθεια του συντελεστή χρησιμοποίησης, να γίνει φωτοτεχνική μελέτη αίθουσας σχολικού σχεδιαστήριου, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Μήκος $\ell = 15 \text{ m}$, πλάτος $w = 11 \text{ m}$, ύψος $h = 4 \text{ m}$.

Το επίπεδο εργασίας απέχει από το δάπεδο $0,8 \text{ m}$. Η οροφή είναι λευκού χρώματος, δηλαδή έχει συντελεστή ανάκλασης $r_c = 0,7$. Οι τοίχοι είναι μέσης απόχρωσης, οπότε έχουν συντελεστή ανάκλασης $r_w = 0,3$.

Επίλυση

1ο βήμα:

Καθορίζεται η απαιτούμενη **τιμή φωτισμού** του χώρου με βάση τον Πίνακα 4.4.

Η τιμή που συνίσταται για τα σχολικά σχεδιαστήρια κυμαίνεται από $500 - 1000 \text{ Lux}$.

Έστω, ότι επιλέγουμε τιμή $E = 700 \text{ Lux}$.

2ο βήμα:

Αφορά την **επιλογή** του κατάλληλου **φωτιστικού σώματος**.

Έστω, ότι επιλέγουμε φωτιστικό σώμα άμεσου φωτισμού, το οποίο φέρει:

- γαλακτώδες πλαστικό κάλυμμα,
- δύο λαμπτήρες φθορισμού και
- συντελεστή απόδοσης ν 65% , με $64,5 \%$ εκπεμπόμενη φωτεινή ροή προς τα κάτω και $0,5 \%$ προς τα πάνω.

(Αρα αναφερόμαστε στον Πίνακα 6 του Παραρτήματος).

3ο βήμα:

Αφορά την **επιλογή** του κατάλληλου τύπου **λαμπτήρα**.

Λαμβάνεται υπόψη η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα και ο δείκτης χρωματικής απόδοσης αυτού. Επιλέγουμε λαμπτήρα φθορισμού TL, ισχύος 36 W , με δείκτη χρωματικής απόδοσης $R_a = 84$ και φωτεινή ροή 3450 lm .

Επειδή έχουμε δύο λαμπτήρες, η συνολική ροή του φωτιστικού σώματος θα είναι:

$$2 \times 3450 \text{ lm} = 6900 \text{ lm}.$$

4ο βήμα:

Υπολογίζεται ο **δείκτης χώρου k**.

$$k = (2\ell + 8w) / 10h = (2 \times 15 + 8 \times 11) / 10 \times (4 - 0,8) = 3,7$$

5ο βήμα:

Υπολογίζεται ο συντελεστής συντήρησης μ .

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο βαθμός ρύπανσης είναι χαμηλός και θεωρούμε ότι ο καθαρισμός των φωτιστικών σωμάτων θα γίνεται κάθε χρόνο. Για το δεδομένο φωτιστικό σώμα, ο Πίνακας 6 του Παραρτήματος δίνει συντελεστή συντήρησης $\mu=1,3$.

Επίλυση

6ο βήμα:

Εύρεση του **συντελεστή χρησιμοποίησης n** .

Επειδή ο δείκτης χώρου $k = 3,7$ και ο Πίνακας 6 περιλαμβάνει μόνο ακέραιες τιμές του k , θα κάνουμε αναγωγή της τιμής $k = 3,7$.

Η αναγωγή γίνεται ως εξής:

Με $k = 3$, $r_c = 0,7$ και $r_w = 0,3$ τότε $n = 0,43$

Με $k = 4$, $r_c = 0,7$ και $r_w = 0,3$ τότε $n = 0,48$

Δηλαδή, για διαφορά $\Delta k = 1$ αντιστοιχεί διαφορά $\Delta n = 0,05$.

Οπότε, για $\Delta k = 0,7$ αντιστοιχεί $\Delta n = 0,7 \times 0,05 = 0,035 \approx 0,03$.

Άρα, για $k = 3,7$ αντιστοιχεί $n = 0,46$.

7ο βήμα:

Υπολογίζεται η απαιτούμενη **φωτεινή ροή Φ** για τη ζητούμενη τιμή φωτισμού ($E = 700 \text{ Lux}$).

Γνωρίζουμε ότι: $\Phi_0 = E S / n$

Όπου: $E = 700 \text{ Lux}$, $S = 15 \times 11 \text{ m}^2 = 165 \text{ m}^2$ και $n = 0,46$.

Άρα προκύπτει: $\Phi_0 = 700 \text{ Lux} \times 165 \text{ m}^2 / 0,46 = 251\,086 \text{ lumen}$.

Η τιμή αυτή, επειδή ισχύει μόνο για καινούργια εγκατάσταση, θα πρέπει να αυξηθεί ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συντήρησης:

$\Phi = \Phi_0 \mu = 251\,086 \times 1,3 \approx 326\,411 \text{ lumen}$

8ο βήμα:

Υπολογισμός των απαιτούμενων φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων.

$N_{\text{φωτιστικών}} = 326\,411 / 6900 \approx 47$ και $N_{\text{λαμπτήρων}} = 47 \times 2 = 94$

9ο βήμα:

Τοποθέτηση φωτιστικών.

Επειδή το πλάτος της αίθουσας είναι 11 μέτρα και το μήκος κάθε φωτιστικού 1,22 μέτρα, μπορούν να τοποθετηθούν $11 / 1,22 = 9,17$, δηλαδή 9 φωτιστικά ανά σειρά.

Για λόγους συμμετρίας (αισθητικούς), τα 47 φωτιστικά θα κατανεμηθούν σε σειρές με 9 φωτιστικά η κάθε σειρά, δηλαδή $47/9 = 5,2$, οπότε θα έχουμε 5 σειρές.

Δηλαδή, συνολικά θα χρησιμοποιήσουμε $5 \times 9 = 45$ φωτιστικά σώματα.

Η εγκατεστημένη ισχύς (μόνο των λαμπτήρων) θα είναι $90 \times 36 \text{ W} = 3240 \text{ watt}$.



6. Φωτισμός οδών

Τα ατυχήματα στους δρόμους, κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι πιο συχνά και πιο σοβαρά απ' ό,τι την ημέρα. Περίπου το 50% των θανατηφόρων ατυχημάτων γίνονται κατά τη διάρκεια των ωρών της νύχτας, παρόλο που το ποσοστό επί του συνόλου των χιλιομέτρων που διανύονται οδηγώντας ανέρχεται μόνο στο 25%. Αυτό είναι ένα από τα συμπεράσματα μελέτης από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE).

Ο φωτισμός των οδών αυξάνει την ασφάλεια στους δρόμους κατά την οδήγηση και αποθαρρύνει εγκληματικές ενέργειες.

Το μεγαλύτερο μέρος της αντίληψης του χώρου που μας περιβάλλει βασίζεται στην όραση. Επομένως, κακές συνθήκες όρασης, μειώνουν το σύνολο των πληροφοριών που φθάνουν στον εγκέφαλό μας. Στην περίπτωση της οδήγησης, επειδή οι πληροφορίες φτάνουν με γρήγορους ρυθμούς, εάν ο φωτισμός τη νύχτα δεν είναι επαρκής οι κίνδυνοι ατυχήματος είναι αυξημένοι.

Παράμετροι οδικού φωτισμού

Η ασφάλεια για όλους τους χρήστες ενός δρόμου θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις. Οι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό ενός συστήματος οδικού φωτισμού είναι οι εξής:

1. Υπάρχει ένα επαρκές μέσο επίπεδο λαμπρότητας που επιτρέπει στον οδηγό να αναγνωρίζει γρήγορα τα εμπόδια στο δρόμο. Αποδεκτές τιμές μέσης λαμπρότητας είναι από 0,7 έως 2 cd / m². Υπάρχει μια καλή ομοιομορφία λαμπρότητας που επιτρέπει στον οδηγό να αντιλαμβάνεται την αντίθεση με τα αντικείμενα σε κάθε σημείο του δρόμου.
2. Υπάρχει περιορισμός της θάμβωσης.

Στον οδικό φωτισμό το βασικότερο φωτομετρικό μέγεθος που λαμβάνεται υπόψη είναι η λαμπρότητα και όχι η ένταση φωτισμού.

Κάποιος που κοιτά σε μια φωτισμένη επιφάνεια, «βλέπει» μόνο το φως που αυτή η επιφάνεια ανακλά προς την κατεύθυνσή του, δηλαδή τη λαμπρότητα (L).

Ένας οδηγός βλέπει το φωτισμένο δρόμο από μικρή γωνία. Έτσι, κατά το σχεδιασμό και την αξιολόγηση του οδικού φωτισμού είναι λογικό να λαμβάνεται η λαμπρότητα ως το βασικότερο κριτήριο.

Η λαμπρότητα στο δρόμο εξαρτάται από τη φωτεινή ροή των λαμπτήρων, την κατανομή της φωτεινής έντασης του φωτιστικού σώματος, τη γεωμετρία του χώρου και τις ανακλαστικές ιδιότητες της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Για φωτοτεχνικούς λόγους, οι δρόμοι ταξινομούνται ως εξής:

Σχήμα 6.1:
*Παράδειγμα καλής ομοιομορφίας
της λαμπρότητας, εγκάρσια και
κατά μήκος του δρόμου*



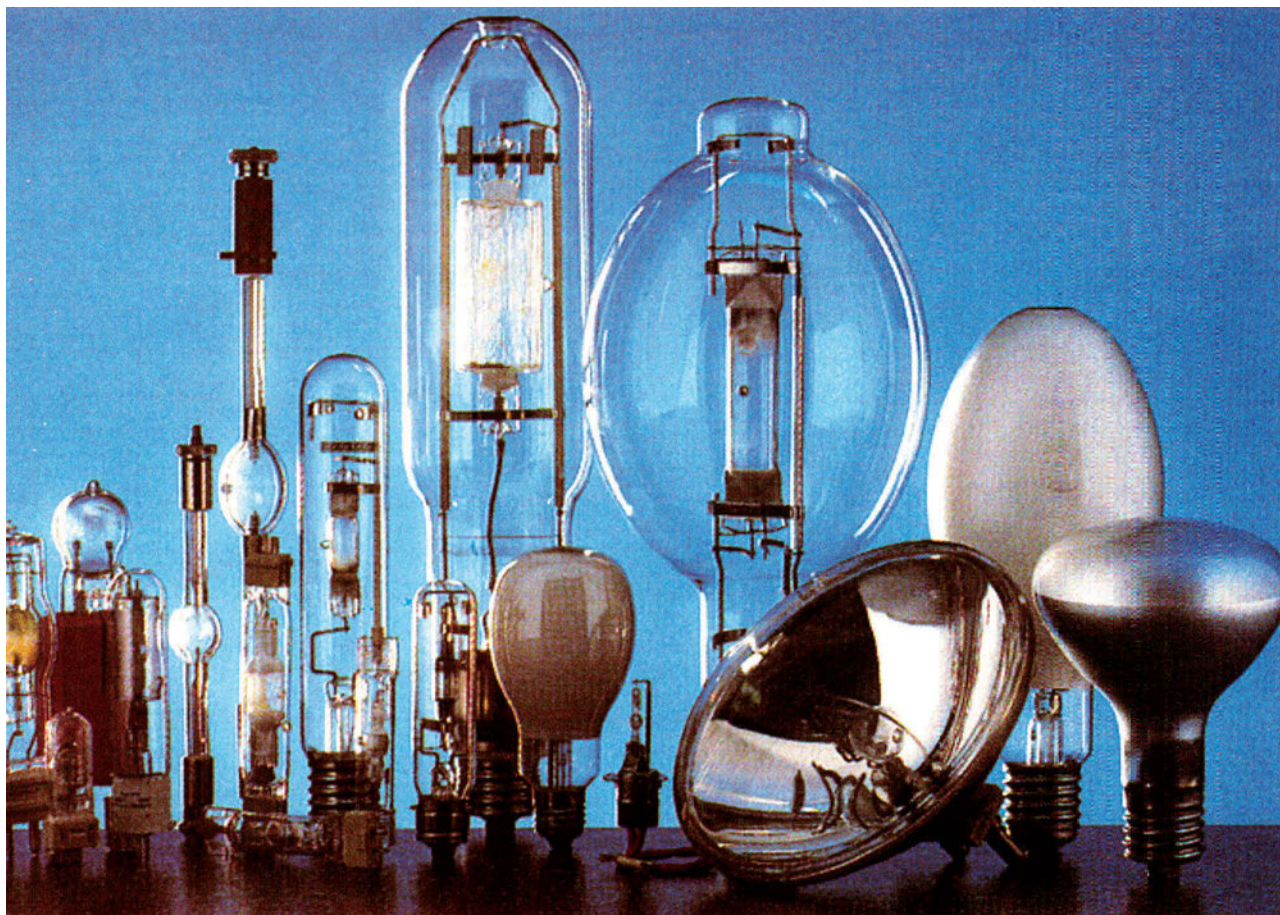
Κλάση δρόμου	Τύπος & Ένταση κυκλοφοριακής κίνησης	Κατηγορία δρόμων
A	Αυτοκινητόδρομος, έντονη κίνηση οχημάτων με μεγάλη ταχύτητα.	Δρόμοι διπλής κατεύθυνσης, χωρίς διασταυρώσεις στο επίπεδο και με περιορισμένη πρόσβαση.
B	Αυτοκινητόδρομος, έντονη κίνηση οχημάτων με μεγάλη ταχύτητα.	Σημαντικός δρόμος για την κίνηση των οχημάτων, με δυνατότητα ύπαρξης ξεχωριστών δρόμων για οχήματα που κινούνται αργά και για πεζούς.
C	Δρόμος με έντονη κίνηση οχημάτων μέτριας ταχύτητας.	Σημαντικές αστικές και μη αρτηρίες, με όλων των ειδών τους χρήστες.
D	Δρόμος με έντονη κίνηση οχημάτων και αρκετή παρουσία πεζών.	Κεντρικές αστικές αρτηρίες, πρόσβαση των δρόμων σε δημόσια κτίρια και περιοχές όπου η κυκλοφορία των οχημάτων επιβραδύνεται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τους πεζούς.
E	Κίνηση κάθε είδους οχήματος με περιορισμένη ταχύτητα και ένταση.	Οδοί που συνδέουν οικιστικές περιοχές με δρόμους των άλλων κατηγοριών.

■ 6.1 Φωτισμός σήραγγων (Τούνελ)

Για την ασφαλή διέλευση των οχημάτων μέσα από σήραγγες, σημαντικότερο ρόλο παίζει ο φωτισμός τους. Ο κίνδυνος ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι μεγάλος. Η διαφορά στις συνθήκες όρασης μεταξύ του ημερήσιου φωτισμού που επικρατεί έξω από το τούνελ και μιας συγκριτικά σκοτεινής εισόδου απαιτεί έντονη συγκέντρωση της όρασης. Η προσαρμογή από τις σκοτεινές στις φωτεινές συνθήκες που επικρατούν κατά την έξοδο από το τούνελ δεν είναι τόσο κρίσιμη. Απ' έξω, η είσοδος του τούνελ φαίνεται σα μια μαύρη τρύπα. Γι' αυτό, απαιτείται φωτισμός υψηλού επιπέδου, ο οποίος μπορεί να μειωθεί βαθμιαία στη ζώνη εισόδου και αντίστοιχα στη ζώνη μετάβασης. Για το υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας, είναι ικανοποιητικό ένα σχετικά μικρό επίπεδο φωτισμού. Προς την έξοδο, το επίπεδο του φωτισμού πρέπει να είναι υψηλότερο απ' ό,τι στο εσωτερικό της σήραγγας, για την ευκολότερη προσαρμογή στη φωτεινότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ο φωτισμός οδών και σήραγγων αποτελεί εργασία εξειδικευμένων ηλεκτρολόγων μηχανικών.

Σχήμα 6.2:
*Διάφοροι τύποι λαμπτήρων
εξωτερικών χώρων*





7. Ανακεφαλαίωση

Το φως είναι ορατή ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι και αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του συνολικού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία περιλαμβάνει, εκτός από το ορατό φως, τις ακτίνες γ, τις ακτίνες Χ, τις υπέρυθρες, τις υπεριώδεις και τα ραδιοκύματα. Η αόρατη ακτινοβολία επιδρά στον ανθρώπινο οργανισμό, για παράδειγμα, η υπέρυθρη ακτινοβολία γίνεται αντιληπτή ως θερμότητα και κοκκινίζει το δέρμα, ενώ η υπεριώδης το μαυρίζει.

Η φασματική περιοχή του φωτός εκτείνεται μεταξύ 4000-7500 Å (1 Angstrom= 10^{-10} m). Μέσα σ' αυτή την περιοχή των μηκών κύματος μπορούν να διακριθούν τα χρώματα του φάσματος, δηλαδή κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε και ιώδες.

Το φως είναι μια μορφή ενέργειας. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει δυαδική φύση, κυματική και σωματιδιακή. Δηλαδή, το φως διαδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά και με τη μορφή ποσότητας ενέργειας, η οποία είναι ισοδύναμη με πολλαπλάσια σωματιδίου που διαδίδεται με την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και καλείται **φωτόνιο**. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό και με προσέγγιση στον αέρα είναι $C \approx 300.000$ km/s.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σ' ένα χώρο έχει επίδραση στη γενικότερη εντύπωση που μας δίνει ο χώρος αυτός. Για παράδειγμα, ένας λαμπτήρας πυράκτωσης δημιουργεί συνήθως μια «θερμή» εντύπωση, λόγω του πλούσιου σε ερυθρές ακτινοβολίες φωτός του λαμπτήρα. Αντίθετα, ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος δίνει μια «ψυχρή εντύπωση», λόγω του μεγάλου ποσοστού κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας που περιέχει.

Φωτεινή ακτίνα ονομάζουμε την ευθεία τροχιά την οποία ακολουθεί το φως κατά τη διάδοσή του. Ένα σύνολο από φωτεινές ακτίνες αποτελεί τη **φωτεινή δέσμη**. Μια φωτεινή δέσμη μπορεί να είναι *αποκλίνουσα*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης προέρχονται από ένα σημείο, *παράλληλη*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης είναι παράλληλες και *συγκλίνουσα*, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης κατευθύνονται σε ένα σημείο.

Φωτεινή πηγή και ενέργεια

Το σώμα που εκπέμπει φως ονομάζεται **φωτεινή πηγή**. Οι φωτεινές πηγές διακρίνονται στα *αυτόφωτα σώματα*, όπως είναι ο ήλιος και οι λαμπτήρες φωτισμού, και στα *ετερόφωτα σώματα*, όπως είναι μια λευκή επιφάνεια. Τα ετερόφωτα σώματα δεν παράγουν από μόνα τους φως, αλλά εκπέμπουν το φως που δέχονται από άλλα αυτόφωτα σώματα. Η εκπομπή φωτός από τα αυτόφωτα σώματα συνήθως οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας τους. Κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 525 °C εκπέμπει φως. Εκπομπή φωτός μπορεί να γίνει και από τη διέγερση των μορίων ενός αερίου, χωρίς να απαιτείται αύξηση της θερμοκρασίας τους, όπως συμβαίνει στους λαμπτήρες φθορισμού.

Φωτεινή ενέργεια καλείται η ενέργεια που διαδίδεται στο χώρο από μια φωτεινή πηγή με τη μορφή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ανάκλαση του φωτός

Μια επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως λεία όταν οι ανωμαλίες που παρουσιάζει έχουν βάθος μικρότερο από το μέσο μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας (περίπου 0,5 μm). Μια επιφάνεια από γυαλί αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα λείας επιφάνειας.

Όταν το φως προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, υφίσταται κανονική ή ανώμαλη ανάκλαση (διάχυση), ανάλογα με το αν

η διαχωριστική επιφάνεια είναι λεία ή τραχεία.

Αν σε μια λεία επιφάνεια, όπως είναι η επιφάνεια από ένα τζάμι, προσπέσει μια παράλληλη δέσμη φωτός, κάθε ακτίνα της δέσμης ακολουθεί μια ορισμένη διεύθυνση, ώστε η δέσμη να παραμένει παράλληλη και μετά την πρόσπτωση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **κανονική ανάκλαση** του φωτός.

Το φαινόμενο της κανονικής ανάκλασης διέπεται από δύο νόμους, οι οποίοι ονομάζονται νόμοι της ανάκλασης του φωτός. Αυτοί είναι:

1ος Νόμος. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η ευθεία η οποία είναι κάθετη στην ανακλαστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο πρόσπτωσης), που είναι κάθετο στην ανακλαστική επιφάνεια.

2ος Νόμος. Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.

Φωτομετρικά μεγέθη

Το σύνολο της ορατής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός ή αντανακλάται από μια επιφάνεια καλείται **φωτεινή ροή**. Συμβολίζεται με το γράμμα **Φ** και μονάδα μέτρησής της είναι το **lumen**.

Το μέτρο του φωτός που ακτινοβολείται προς μία δοθείσα κατεύθυνση ονομάζεται **ένταση του φωτός**. Συμβολίζεται με το γράμμα **I** και μονάδα μέτρησής της είναι η **candela**.

Όλες οι τιμές της φωτεινής έντασης που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή προς όλες τις κατευθύνσεις παράγουν ένα φωτομετρικό στερεό. Τέμνοντας το φωτεινό στερεό σε ένα ή περισσότερα επίπεδα, παίρνουμε τις φωτομετρικές καμπύλες (πολικά διαγράμματα), οι τιμές των οποίων αναφέρονται σε καντέλες ανά 1000 lm.

Το μέτρο της φωτεινής ροής που προσπίπτει σε μια επιφάνεια συγκεκριμένου εμβαδού εκφράζει το μέγεθος του **φωτισμού επιφάνειας**.

Συμβολίζεται με το γράμμα **E** και έχει μονάδα το **Lux**.

Για το φωτισμό επιφάνειας ισχύουν οι δύο νόμοι της φωτομετρίας:

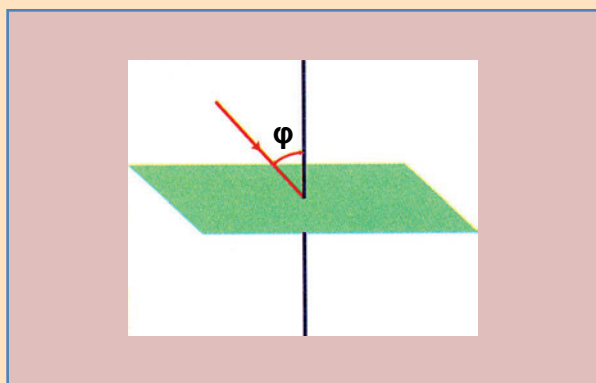
1ος Νόμος. Ο φωτισμός μιας επιφάνειας από μια παράλληλη φωτεινή δέσμη είναι ανάλογος με το συνημίτονο της γωνίας με την οποία προσπίπτουν στην επιφάνεια οι ακτίνες της δέσμης.

$$E = \Phi \text{ συν}\varphi / S$$

(Η γωνία μετράται ως προς την κάθετο στο φωτιζόμενο επίπεδο, δηλαδή είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της προσπίπτουσας δέσμης με την κάθετο στο φωτιζόμενο επίπεδο.)

2ος Νόμος. Ο φωτισμός που προκαλεί μια σημειακή φωτεινή πηγή σ' ένα σημείο μιας επιφάνειας είναι ανάλογος με την ένταση της φωτεινής πηγής, ανάλογος με το συνημίτονο της γωνίας με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες στη στοιχειώδη επιφάνεια και αντιστρόφως ανάλογος με το τετράγωνο της απόστασης της φωτεινής πηγής από το φωτιζόμενο σημείο.

$$E = I \text{ συν}\varphi / R^2$$



Σχήμα 7.1: Ορισμός προσπίπτουσας γωνίας φωτεινής δέσμης

Το μέγεθος της **λαμπρότητας** είναι πολύ σημαντικό και μετρά την αίσθηση φωτεινότητας μιας επιφάνειας. Συμβολίζεται με το γράμμα

L και μονάδα μέτρησής της είναι η **cd / m²**. Σύμφωνα με το νόμο του *Lambert* «Το μέγεθος της λαμπρότητας μιας επιφάνειας εξαρτάται από την διεύθυνση παρατήρησης».

Υψηλές τιμές λαμπρότητας προκαλούν το ανεπιθύμητο φαινόμενο της θάμβωσης, το οποίο επηρεάζει την ικανότητα της όρασης.

Τεχνητές φωτεινές πηγές (λαμπτήρες)

Οι φωτεινές πηγές που παράγουν τεχνητό φως, δηλαδή οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, διακρίνονται από ορισμένα κύρια χαρακτηριστικά.

Αυτά είναι:

- ❖ Η ονομαστική τάση λειτουργίας του λαμπτήρα, π.χ. 230 V. Είναι η μέγιστη τάση με την οποία τροφοδοτείται ο λαμπτήρας για να αποδώσει τη μέγιστη ακτινοβολία του.
- ❖ Η ονομαστική ισχύς του λαμπτήρα, π.χ. 60 W. Είναι η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται από τον λαμπτήρα κατά την λειτουργία του.
- ❖ Η φωτεινή ροή του λαμπτήρα. Εκφράζει τη συνολική φωτεινή ροή του λαμπτήρα σε lumen.

Οι κατασκευαστές των λαμπτήρων αναφέρονται και σε ορισμένα επιπλέον χαρακτηριστικά, που είναι:

- Ο χρόνος ζωής του λαμπτήρα, π.χ. για λαμπτήρα πυράκτωσης είναι περίπου 1000 ώρες.
- Το φάσμα εκπομπής του λαμπτήρα, π.χ. 4000 - 5000 Å°.
- Η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα, π.χ. 3000 °K.
- Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης του λαμπτήρα, π.χ. Ra = 84.
- Οι διαστάσεις του λαμπτήρα, π.χ. μήκος σωλήνα φθορισμού 1,2 m.

Οι λαμπτήρες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της φωτεινής ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Πρακτικά έχουμε δύο κύρια είδη:

τους λαμπτήρες πυράκτωσης και τους λαμπτήρες εκκένωσης.

Λαμπτήρες πυράκτωσης

Δίνουν ευχάριστο, θερμό λευκό φως, επειδή έχουν θερμοκρασία χρώματος 2800 °K. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων αυτών είναι σχεδόν 100, δηλαδή αποδίδουν τα χρώματα με άριστη ποιότητα. Δεν απαιτούν για την λειτουργία τους καμία βοηθητική συσκευή.

Οι λαμπτήρες αυτοί στηρίζουν τη λειτουργία τους στο φαινόμενο της θέρμανσης μεταλλικού νήματος, γι' αυτό και έχουν μικρή σχετικά διάρκεια ζωής. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, έχουμε μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα και ακτινοβολία φωτός εντός του ορατού φάσματος.

Έχουν μικρό κόστος και είναι εύκολοι στην τοποθέτηση, γι' αυτό και έχουν μεγάλο πεδίο εφαρμογών, κυρίως σε εσωτερικούς χώρους. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σε διάφορους τύπους, όπως: κανονικοί κώδωνες, λαμπτήρες κεριά, λαμπτήρες με καθρέφτη και διακοσμητικοί λαμπτήρες με ισχύ από 25 - 200 W.

Η παραγόμενη φωτεινή ροή είναι 200 - 2500 lm και η φωτιστική τους απόδοση χαμηλή, 15 lm / W. Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μόνο λυχνιολαβή και ακροδέκτες.

Οι *λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου* αποτελούν την εξέλιξη των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης. Συγκρινόμενοι με τους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης, έχουν διπλάσια τουλάχιστον διάρκεια ζωής. Όταν λειτουργούν με χαμηλή τάση (π.χ. 12V) έχουν διάρκεια ζωής 3000 - 5000 ώρες, ενώ όταν λειτουργούν με την τάση του δικτύου (230V), έχουν διάρκεια ζωής 2000 ώρες. Παρέχουν φωτισμό 60 - 44000 lm, με απόδοση μέχρι 25 lm / W. Όσον αφορά το ηλεκτρικό τους κύκλωμα, απαιτείται μόνο λυχνιολαβή και ακροδέκτες. Για

τη λειτουργία των λαμπτήρων χαμηλής τάσης απαιτείται επιπλέον μετασχηματιστής στα 6, 12 ή 24 V.

Λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι λαμπτήρες εκκένωσης ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης, με τοιχώματα καλυμμένα από φθορίζουσα ουσία. Όταν στο λαμπτήρα ασκηθεί η κατάλληλη τιμή τάσης, στο εσωτερικό του λαμπτήρα προκαλείται εκκένωση αερίου, από την οποία παράγεται υπεριώδης (αόρατη) ακτινοβολία. Για τη μετατροπή της αόρατης ακτινοβολίας σε ορατή, η εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου σωλήνα καλύπτεται με φθορίζουσες ουσίες, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την υπεριώδη ακτινοβολία σε ακτινοβολίες του ορατού φάσματος.

Το είδος της φθορίζουσας ουσίας καθορίζει και το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός.

Με κατάλληλο συνδυασμό των διαφόρων φθορίζουσών ουσιών πετυχαίνονται διάφορες αποχρώσεις του παραγόμενου φωτός. Το παραγόμενο φως μπορεί να είναι θερμό, ενδιάμεσο, ψυχρό. Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν ευρεία εφαρμογή σε γραφεία, καταστήματα και βιομηχανικούς χώρους.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα των λαμπτήρων φθορισμού περιλαμβάνει μαγνητικό μπάλαστ με εκκινητή (στάρτερ) ή ηλεκτρονικό μπάλαστ.

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

(εξοικονόμησης ενέργειας) αποτελούν την εξέλιξη των λαμπτήρων φθορισμού τα τελευταία χρόνια. Έχουν κύρια χαρακτηριστικά τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το μεγάλο χρόνο ζωής.

Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν **πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα** σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης.

Πλεονεκτήματα :

1. Έχουν πολλαπλάσια φωτιστική απόδοση (lm/W) και υπερδιπλάσιο χρόνο ζωής (2500 ώρες λειτουργίας). Αυτό σημαίνει οικονομική λειτουργία.
2. Κατά τη λειτουργία τους, δεν αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες, χαρακτηριστικό που τους καθιστά κατάλληλους για το φωτισμό τροφίμων χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος αλλοίωσής τους.
3. Η ποικιλία και η ένταση του φωτισμού των λαμπτήρων φωτισμού επιτρέπουν τη χρήση τους σε πλήθος εφαρμογών στο χώρο της φωτεινής διακόσμησης.
4. Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν μικρή λαμπρότητα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό στο ελάχιστο του ανεπιθύμητου φαινομένου της θάμβωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί το εκπεμπόμενο από αυτούς φως εκπέμπεται από μεγάλη επιφάνεια.

Μειονεκτήματα :

1. Για τη λειτουργία τους, οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν την τοποθέτησή τους σε κατάλληλα φωτιστικά σώματα. Αυτό έχει σα συνέπεια τη μεγάλη αρχική δαπάνη εγκατάστασης.
2. Επειδή κατά τη λειτουργία τους δημιουργούνται παράσιτα, απαιτείται η χρήση ειδικής διάταξης απόσβεσής τους.
3. Για την απρόσκοπτη λειτουργία τους απαιτείται η κατάλληλη ηλεκτρολογική συνδεσμολογία διαφόρων εξαρτημάτων (ντουί, μπάλαστ, στάρτερ).
4. Αν δε γίνει η κατάλληλη επιλογή λαμπτήρα με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, όπως για παράδειγμα το είδος της εργασίας, τότε ο φωτισμός θα υστερεί, κυρίως στην απόδοση των χρωμάτων.

Οι λαμπτήρες φθορισμού, λόγω των πλεονεκτημάτων τους, τυχάνουν ευρείας εφαρμογής σε διάφορους χώρους και για διάφορες ανάγκες. Λόγω της υστέρησης τους

όμως στο δείκτη χρωματικής απόδοσης και του «ψυχρού» φωτισμού που εκπέμπουν, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή πριν επιλεγούν, για να χρησιμοποιηθούν σε ένα χώρο. Απαιτείται για κάθε περίπτωση ο κατάλληλος συνδυασμός δείκτη χρωματικής απόδοσης, θερμοκρασίας φωτισμού και στάθμης φωτισμού, για την επίτευξη αποδοτικού και ευχάριστου φωτισμού.

Ανάλογα με τις διάφορες εφαρμογές, χρησιμοποιούνται λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, ατμών νατρίου και άλλοι, που έχουν κατά περίπτωση ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα.

Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων

Τα φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων κατατάσσονται σε κατηγορίες:

- Ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής η οποία διαχέεται προς τα κάτω.
- Ανάλογα με το βαθμό προστασίας του φωτιστικού σώματος έναντι του νερού και της σκόνης.
- Ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτρικής μόνωσης του φωτιστικού σώματος.

Με τον **άμεσο** φωτισμό, ποσοστό μεγαλύτερο του 90% της φωτεινής ροής των λαμπτήρων στέλνεται άμεσα προς τα κάτω στο επίπεδο εργασίας. Οι απώλειες από απορρόφηση τοίχων και οροφής είναι μικρές.

Με τον **έμμεσο** φωτισμό, ποσοστό μεγαλύτερο του 90% της φωτεινής ροής των λαμπτήρων στέλνεται προς την οροφή, όπου μετά από ανάκλαση επιστρέφει στο επίπεδο εργασίας. Ο φωτισμός αυτός έχει μεγάλες απώλειες λόγω απορρόφησης στην οροφή και στους τοίχους. Επίσης, δημιουργεί μια αίσθηση χαλαρότητας και ενδείκνυται για χώρους αναμονής.

Ο **ομοιόμορφος φωτισμός** αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση.

Ο κάθε χώρος εργασίας ή διαμονής απαιτεί κατά

περίπτωση μια ελάχιστη ποσότητα φωτισμού σε Lux. Ο ηλεκτρολόγος - εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει υπόψη τις φωτιστικές απαιτήσεις συγκεκριμένων χώρων, ώστε από αυτές να κάνει την κατάλληλη επιλογή λαμπτήρων και φωτιστικών σωμάτων.

Μελέτες φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie)

Η μελέτη φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie) βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ακολουθούμε εννέα (9) βήματα κάνοντας χρήση σχετικών πινάκων.

1ο βήμα:

Καθορίζεται η απαιτούμενη *τιμή φωτισμού E* του χώρου σε Lux, από σχετικό πίνακα.

2ο βήμα:

Επιλέγεται το κατάλληλο *φωτιστικό σώματος* (με τους λαμπτήρες του).

3ο βήμα:

Επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος *λαμπτήρα* (με τη φωτεινή ροή του σε lumen). Λαμβάνεται υπόψη η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα και ο δείκτης χρωματικής απόδοσης αυτού. Εάν η φωτεινή ροή κάθε λαμπτήρα είναι Φ_{λ} και το κάθε φωτιστικό σώμα έχει λ λαμπτήρες, τότε η φωτεινή ροή του κάθε φωτιστικού σώματος είναι $\Phi_{\Sigma} = \lambda \Phi_{\lambda}$.

4ο βήμα:

Υπολογίζεται ο δείκτης χώρου k .

$$k = (2 \ell + 8 w) / 10 h$$

όπου: ℓ = το μήκος του χώρου που πρόκειται να φωτιστεί

w = το πλάτος του χώρου

h = η κατακόρυφη απόσταση του επιπέδου εργασίας από το φωτιστικό σώμα.

(Ως *επίπεδο εργασίας* λαμβάνεται συνήθως ορι-

ζόντιο επίπεδο το οποίο απέχει από το δάπεδο 80 εκατοστά. Αυτή η απόσταση αντιστοιχεί στο σύνηθες ύψος των γραφείων, θρανίων, πάγκων εργασίας κ.λπ.).

5ο βήμα:

Υπολογίζεται ο *συντελεστής συντήρησης μ* , από τους πίνακες.

Ο *συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης* είναι *συνδυασμός του βαθμού ρύπανσης του χώρου (ελαφρά, μέση ή υψηλή) που βρίσκεται το φωτιστικό σώμα και της περιόδου καθαρισμού του, δηλαδή αν καθαρίζεται κάθε ένα, δύο, ή τρία έτη.*

6ο βήμα:

Εύρεση του *συντελεστή χρησιμοποίησης η* για καινούριες εγκαταστάσεις, από τους πίνακες.

Ο *συντελεστής χρησιμοποίησης* βρίσκεται σε συνάρτηση με το *συντελεστή απόδοσης του φωτιστικού v* (με κατανομή % της φωτεινής ροής προς τα κάτω), το *δείκτη χώρου k* και τους *συντελεστές ανάκλασης της οροφής r_c και των τοίχων r_w* .

7ο βήμα:

Υπολογίζεται η απαιτούμενη *φωτεινή ροή Φ* του χώρου για τη ζητούμενη τιμή φωτισμού E . Πρώτα, βρίσκουμε τη φωτεινή ροή Φ_o από τη σχέση $\Phi_o = E S / \eta$ σε lumen. Η τιμή αυτή, επειδή ισχύει μόνο για καινούργια εγκατάσταση, θα πρέπει να αυξηθεί ανάλογα με την τιμή του *συντελεστή συντήρησης μ* .

Οπότε $\Phi = \Phi_o \mu$.

8ο βήμα:

Υπολογίζουμε τον αριθμό των απαιτούμενων φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων,

$$N_{\Phi} = \Phi / \Phi_{\Sigma} \quad \text{και} \quad N_{\lambda} = N_{\Phi} \times \lambda$$

9ο βήμα:

Τοποθέτηση φωτιστικών.

Λαμβάνεται υπόψη η συμμετρία του χώρου και οι

διαστάσεις του κάθε φωτιστικού σώματος.

Συχνά, για την υλοποίηση των φωτοτεχνικών μελετών, χρησιμοποιούνται κατάλληλα λογισμικά προγράμματα διαφόρων εταιρειών, μέσω των οποίων ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να βλέπει, εκτός από τα πολικά διαγράμματα του φωτιστικού και του λαμπτήρα, την τιμή του φωτισμού σε κάθε σημείο του χώρου (επίπεδο εργασίας, πλαϊνός τοίχος, οροφή κ.λπ.). Τα προγράμματα έχουν τη δυνατότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης του χώρου όπου είναι αναρτημένα τα φωτιστικά, προτείνουν καλύτερες λύσεις και κάνουν πλήρεις οικονομοτεχνικές μελέτες.

Για το φωτισμό των οδών και των σηράγγων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη μελέτη που γίνεται από ειδικευμένους ηλεκτρολόγους μηχανικούς.

8 Ερωτήσεις - Ασκήσεις

Ομάδα Α:

(Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας)

1. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, κατά τη διάδοσή της, αποτελείται από δύο μεταβαλλόμενα πεδία, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό, τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

2. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της διέγερσης των ατόμων.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

3. Το Angstrom είναι μονάδα μέτρησης του μήκους κύματος μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

4. Το ολικό φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών περιλαμβάνει τις ακτίνες Χ.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

5. Το ολικό φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών είναι υποσύνολο του ορατού φάσματος.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

6. Το φάσμα του ορατού φωτός περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την ερυθρή και υπέρυθη ακτινοβολία.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

7. Η κόκκινη και η πράσινη ακτίνα φωτός έχουν το ίδιο μήκος κύματος.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

8. Το λευκό φως συνίσταται από όλα τα μήκη κύματος που αποτελούν τη φωτεινή ακτινοβολία.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

9. Το κόκκινο φως έχει μικρότερο μήκος κύματος από το κίτρινο.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

10. Η ακτινοβολία που δεν είναι αντιληπτή από το μάτι δεν επηρεάζει το υπόλοιπο σώμα μας.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

11. Όσο μικρότερη είναι η τάση λειτουργίας ενός λαμπτήρα πυράκτωσης, τόσο πιο «ζεστή» εντύπωση δίνει το φως του.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

12. Όταν προσδευτικά αυξάνουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος, το πρώτο φως που θα εκπέμψει το σώμα αυτό είναι το ιώδες.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

13. Μια φωτεινή δέσμη είναι αποκλίνουσα,

όταν όλες οι ακτίνες της κατευθύνονται προς ένα σημείο.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

14. Εκπομπή φωτός συμβαίνει μόνο όταν ένα σώμα θερμανθεί πάνω από τους 525°C .

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

15. Η φωτεινή ενέργεια μιας πηγής αναφέρεται μόνο στην ορατή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

16. Αν δέσμη από παράλληλες ακτίνες προσπέσει σε τραχεία επιφάνεια, εξακολουθεί να μένει παράλληλη και μετά την πρόσπτωση.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

17. Το μπετόν έχει μεγαλύτερο συντελεστή ανάκλασης από το μάρμαρο.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

18. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα προτιμούμε σκούρα ρούχα, γιατί έχουν μεγάλο συντελεστή ανάκλασης του φωτός.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

19. Η μεταβολή στο πάχος του έγχρωμου φίλτρου προκαλεί και μεταβολή του χρώματος της ακτινοβολίας.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

20. Μια λάμπα μπαγιονέτ μπαίνει σε βιδωτό ντουί.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

21. Η ένταση I μιας φωτεινής πηγής σε ένα σημείο του χώρου είναι ανεξάρτητη από την απόσταση του σημείου αυτού από τη φωτεινή πηγή.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

22. Ο φωτισμός E που προκαλεί μια φωτεινή πηγή σε ένα σημείο μιας επιφάνειας είναι τόσο μικρότερος όσο περισσότερο απέχει το σημείο της επιφάνειας από τη φωτεινή πηγή.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

23. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης από τους λαμπτήρες φθορισμού.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

24. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης έχουν υπερδιπλάσιο χρόνο ζωής από τους λαμπτήρες φθορισμού.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

25. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης αποδίδουν καλύτερα τα χρώματα από τους λαμπτήρες φθορισμού.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

26. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ντουί των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

27. Στην αίθουσα αναμονής ενός ιατρείου τα φωτιστικά σώματα πρέπει να είναι άμεσου φωτισμού.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

28. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης έχουν σχεδόν διπλάσιο βαθμό απόδοσης από τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

29. Οι ηλικιωμένοι έχουν ανάγκη μεγαλύτερης στάθμης φωτισμού σε Lux.

α) Σωστό ☐ β) Λάθος ☐

Ομάδα Β:

(Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας)

1. Κατά τη διάρκεια έκθεσης στον ήλιο το καλοκαίρι προτιμούνται τα ρούχα με χρώμα:

α) κόκκινο β) πράσινο γ) μαύρο δ) άσπρο

2. Κατατάξτε τα παρακάτω υλικά ως προς το συντελεστή ανάκλασης, αρχίζοντας από το υλικό με το μεγαλύτερο συντελεστή:

μπετόν, αλουμίνιο, μάρμαρο, καθρέφτη, τούβλο.

3. Κατατάξτε τα παρακάτω χρώματα ως προς το συντελεστή ανάκλασης, αρχίζοντας από το χρώμα με το μεγαλύτερο συντελεστή:

κόκκινο, κίτρινο, άσπρο, πράσινο, μαύρο.

4. Δίπλα στον αριθμό του μεγέθους της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από την αντίστοιχη τιμή της δεύτερης στήλης:

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Φωτεινή ροή 2. Λαμπρότητα 3. Ένταση φωτός 4. Φωτισμός επιφάνειας	α. 3,14 sterad β. 80 V γ. 100 lumen δ. 25 cd/m ² ε. 50 cd στ. 100 m ² ζ. 200 Lux

5. Δίπλα στον αριθμό της έννοιας της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από το μέγεθος ή τον τύπο της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Φωτεινή απόδοση λαμπτήρα 2. Δείκτης χρωματικής απόδοσης λαμπτήρα 3. Θερμοκρασία χρώματος λαμπτήρα 4. Φωτεινή ροή λαμπτήρα	α. 200 lm β. 200 Lux γ. 3000 °C δ. 3000 °K ε. $R_a = 84$ στ. 4000 °A ζ. 15 lm/watt

- 6. Όταν για ένα λαμπτήρα αναφέρεται χρόνος ζωής 1000 ώρες, αυτό σημαίνει ότι ο λαμπτήρας:**

- α) θα πάψει να ανάβει μετά από 1000 ώρες από την τοποθέτησή του
- β) επί 700 ώρες θα δίνει την ονομαστική του φωτεινή ροή και κατά τις επόμενες 300 ώρες, μειωμένη φωτεινή ροή
- γ) θα πάψει να ανάβει μετά από 1000 ώρες συνεχούς λειτουργίας
- δ) υπάρχει η προσδοκία ότι θα παραμένει αναμμένος για 1000 ώρες συνεχούς λειτουργίας

- 7. Δίπλα στον αριθμό των τεχνικών χαρακτηριστικών ενός λαμπτήρα της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από το μέγεθος ή την έννοια της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:**

Στήλη Α	Στήλη Β
1. 75 W 2. E27 3. 1030 lm 4. 220-230 V	α. Λάμπα μπαγιονέτ β. Τάση τροφοδοσίας γ. Χρόνος ζωής λαμπτήρα δ. Καταναλισκόμενη ισχύς ε. Βιδωτή λάμπα στ. Ένταση φωτισμού λαμπτήρα ζ. Φωτεινή ροή λαμπτήρα

- 8. Δίπλα στον αριθμό των τεχνικών χαρακτηριστικών ενός λαμπτήρα της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από την έννοια ή τη φράση της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:**

Στήλη Α	Στήλη Β
1. 40 W 2. B22 3. CE 4. Energy E	α. Λαμπτήρας φθορισμού β. Λαμπτήρας πυράκτωσης μπαγιονέτ γ. Λαμπτήρας πυράκτωσης βιδωτός δ. Προϊόν που πληροί τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης ε. Λαμπτήρας με μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας στ. Λαμπτήρας με σχετική εξοικονόμηση ενέργειας ζ. Καταναλισκόμενη ισχύς

- 9. Κατατάξτε το φωτισμό των παρακάτω επιφανειών κατά τη διάρκεια ενός καλοκαιριάτικου μεσημεριού, αρχίζοντας από την επιφάνεια με το μεγαλύτερο φωτισμό:**

*κάτω από δέντρο, κάτω από τέντα, σε ανοιχτό χώρο,
σε δωμάτιο σπιτιού με παράθυρο προς το βορρά.*

10. Το συνημίτονο μιας γωνίας φ ισούται με τη μονάδα ($\text{συν}\varphi=1$) όταν:

α) $\varphi = 0^\circ$ β) $\varphi = 30^\circ$ γ) $\varphi = 60^\circ$ δ) $\varphi = 90^\circ$

11. Όταν μια φωτεινή δέσμη πέφτει κάθετα σε μια επιφάνεια (και φ είναι η γωνία που σχηματίζει η φωτεινή δέσμη με την κατακόρυφο του επιπέδου), τότε:

α) $\text{συν}\varphi = 0$ β) $\text{συν}\varphi = 0,5$ γ) $\text{συν}\varphi = 0,8$ δ) $\text{συν}\varphi = 1$

12. Δίπλα στον αριθμό του λαμπτήρα πυράκτωσης της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από τη φράση της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Λαμπτήρες με μπλε χρώμα 2. Λαμπτήρες με κίτρινο χρώμα 3. Λαμπτήρες κεριά 4. Λαμπτήρες μορφής ράβδου	α. Κατάλληλοι για πισίνες β. Δεν προσελκύουν τα έντομα γ. Για εσωτερικό φωτισμό επίπλων δ. Για φωτισμό πινάκων ζωγραφικής ε. Για διάβασμα στ. Για φωτιστικά σώματα τύπου πολυελαίου ζ. Για φωτισμό διαδρόμων

13. Δίπλα στον αριθμό του λαμπτήρα πυράκτωσης της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από τη φράση της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Λαμπτήρες καθρέφτη με σκληρό γυαλί και με τάση τροφοδοσίας 12V 2. Λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη 3. Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης αλουμινίου 4. Λαμπτήρες αλογόνων μορφής κάψουλας	α. Κατάλληλοι για πισίνες β. Για φωτισμό δρόμων γ. Για φωτισμό φούρνων δ. Για ξύλινες ψευδοροφές ε. Για να αποφεύγεται το θάμπωμα στ. Για τοπική εργασία ζ. Για φωτισμό πάρκων

14. Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους κατά απαίτηση χρωματικής απόδοσης φωτισμού, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

σχολείο, σκάλες, υφαντουργείο, χώρος στάθμευσης.

- 15.** Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους κατά απαίτηση χρωματικής απόδοσης φωτισμού, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

κατοικία, χώρος ιατρικών εξετάσεων, μηχανουργείο, αποθήκη.

- 16.** Ένας ήδη τοποθετημένος λαμπτήρας φθορισμού τελευταία αναβοσβήνει συνεχώς και τα άκρα του είναι μαυρισμένα. Πιθανότερη αιτία γι' αυτό είναι:

- α) Λανθασμένη συνδεσμολογία
- β) Κατασκευαστική ατέλεια του λαμπτήρα
- γ) Προβληματικός εκκινητής
- δ) Ο λαμπτήρας έχει πλησιάσει στο τέλος της ζωής του

- 17.** Ένας ήδη τοποθετημένος λαμπτήρας φθορισμού τελευταία ανάβει με δυσκολία και ύστερα από πολλές προσπάθειες ανάμματος. Πιθανότερη αιτία γι' αυτό είναι:

- α) Κακή επαφή στο ντουί
- β) Ο λαμπτήρας έχει πλησιάσει στο τέλος της ζωής του
- γ) Προβληματικός εκκινητής
- δ) Ανεπαρκής τάση τροφοδοσίας

- 18.** Σε ένα λαμπτήρα φθορισμού φαίνεται μια φωτεινή στήλη να μετατοπίζεται με σπειροειδή κίνηση. Πιθανότερη αιτία γι' αυτό είναι:

- α) Κακή επαφή στο μπάλαστ
- β) Ο λαμπτήρας έχει πλησιάσει στο τέλος της ζωής του
- γ) Κατασκευαστική ατέλεια του λαμπτήρα
- δ) Ανεπαρκής τάση τροφοδοσίας

19. Δίπλα στον αριθμό του λαμπτήρα της πρώτης στήλης να προστεθεί το γράμμα από τις ιδιότητες της δεύτερης στήλης που ταιριάζει περισσότερο:

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης 2. Λαμπτήρες μαύρου φωτός 3. Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης 4. Φωτεινοί σωλήνες νέον	α. Η ποιότητα του φωτός που παράγουν είναι φτωχή, αλλά είναι φθηνοί, με μεγάλη διάρκεια ζωής (μέχρι και 22000 ώρες) και χρησιμοποιούνται για το φωτισμό βιομηχανικών χώρων. β. Η ηλεκτρική συνδεσμολογία πρέπει να γίνεται από ειδικευμένους τεχνίτες, επειδή λειτουργούν σε πολύ υψηλές τάσεις λειτουργίας (6-15 kV). γ. Είναι οι λαμπτήρες εκκένωσης με το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (200 lm/W). Αυτό, σε συνδυασμό με την παραγόμενη μονοχρωματική ακτινοβολία κίτρινου χρώματος, τους φέρνει πρώτους στις προτιμήσεις για φωτισμό δρόμων, σε ομιχλώδες περιβάλλον. δ. Το εκπεμπόμενο φως έχει χρώμα χρυσόλευκο και χρησιμοποιούνται για φωτισμούς εθνικών δρόμων, κεντρικών οδών εντός αστικών περιοχών και μνημείων. ε. Για το φωτισμό μεγάλων εξωτερικών επιφανειών, χρησιμοποιούνται προβολείς με λαμπτήρες από γυαλί χαλαζία και περιέχουν το ευγενές αέριο ξένον. στ. Είναι λαμπτήρες μικτού φωτισμού και συνδυάζουν χαρακτηριστικά λαμπτήρων πυράκτωσης και εκκένωσης. ζ. Κατάλληλοι για ανίχνευση πλαστών χαρτονομισμάτων.

20. Το φωτιστικό σώμα που έχει τη μεγαλύτερη προστασία έναντι εισχώρησης ύδατος είναι αυτό που έχει δείκτη προστασίας:

α) IP 03 β) IP 31 γ) IP 44 δ) IP 35

21. Το φωτιστικό σώμα που έχει τη μεγαλύτερη προστασία έναντι εισχώρησης ξένων σωμάτων ή σκόνης είναι αυτό που έχει δείκτη προστασίας:

α) IP 03 β) IP 31 γ) IP 44 δ) IP 35

22. Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους ενός σπιτιού κατά απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού σε Lux, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

--	--	--	--

α) διάδρομος

β) τοπικός φωτισμός για διάβασμα

γ) τοπικός φωτισμός για τραπέζι κουζίνας

δ) τοπικός φωτισμός για κρεβάτια παιδιών

23. Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους σχολείων κατά απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού σε Lux, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

--	--	--	--

α) νηπιαγωγεία

β) δημοτικά σχολεία

γ) σχεδιαστήρια

δ) αίθουσα διδασκαλίας Ηλεκτρολογικού Τομέα

24. Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους νοσοκομείου κατά απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού σε Lux, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

--	--	--	--

α) γραφεία γιατρών

β) χειρουργείο (τράπεζα εργασίας)

γ) οδοντιατρείο (πολυθρόνα)

δ) βιβλιοθήκη

25. Κατατάξτε τους παρακάτω χώρους καταστημάτων κατά απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού σε Lux, αρχίζοντας από το χώρο με την υψηλότερη απαίτηση:

--	--	--	--

α) βιτρίνες στο κέντρο μεγάλων πόλεων (γενικός φωτισμός)

β) βιτρίνες στο κέντρο μεγάλων πόλεων (συμπληρωματικός με spots)

γ) βιτρίνες σε υπόλοιπους χώρους (γενικός φωτισμός)

δ) βιτρίνες σε υπόλοιπους χώρους (συμπληρωματικός με spots)

Ομάδα Γ:

1. Ποια είναι η φύση του φωτός σύμφωνα με την κβαντική θεωρία;
2. Πώς εξηγείτε, μετά την ύπαρξη καταιγίδας, την εμφάνιση του ουράνιου τόξου;
3. Πώς εξηγείτε τη διάδοση του φωτός σε ένα δωμάτιο, όταν το φως εισέρχεται μόνο από μια χαραμάδα της πόρτας;
4. Να αναφέρετε τους δύο νόμους της ανάκλασης του φωτός και να σχεδιάσετε παραδείγματα με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης.
5. Τι συμβαίνει όταν ένα πουκάμισο φαίνεται μπλε;
6. Γιατί το καλοκαίρι ο ήλιος, αν και είναι μακρύτερα από τη γη απ' ό,τι το χειμώνα, θερμαίνει περισσότερο την επιφάνειά της;
7. Ποιες είναι οι επιπτώσεις σε ένα λαμπτήρα πυράκτωσης, όταν τροφοδοτείται με χαμηλότερη τάση από την ονομαστική του;
8. Τι είδους λαμπτήρες χρησιμοποιούμε στους φωτισμούς τροφίμων και γιατί;
9. Ένας φίλος σας με καθρεφτάκι, από μακριά “ρίχνει τον ήλιο στα μάτια σας”. Να ερμηνεύσετε το φαινόμενο με φωτομετρικά μεγέθη.
10. Όλοι οι λαμπτήρες σας θαμπώνουν, όταν τους κοιτάτε; Αιτιολογείστε.
11. Μια φίλη σας παραπονιέται ότι τα ρούχα που φοράει τώρα είχαν διαφορετική απόχρωση όταν τα διάλεξε στο κατάστημα. Πώς ερμηνεύετε το γεγονός;
12. Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία δύο λαμπτήρων φθορισμού, ίδιας ισχύος, με κοινό μπάλαστ.
13. Πώς βελτιώνεται το φάσμα των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου;
14. Γιατί το φως των λαμπτήρων ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (μονοχρωματική ακτινοβολία κίτρινου χρώματος) είναι το πιο κατάλληλο για φωτισμό δρόμων με ομίχλη ή σκόνη;
15. Να αναφέρετε τις σχέσεις θερμοκρασίας χρώματος και στάθμης φωτισμού, για τη δημιουργία ευχάριστου αισθήματος.
16. Με τη βοήθεια πινάκων, να κάνετε τη φωτοτεχνική μελέτη μιας αίθουσας διδασκαλίας, διαστάσεων $9 \times 8 \times 4$ m. Ο κάθε μαθητής να χρησιμοποιήσει τα απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη, σύμφωνα με επιλογές που θα αιτιολογήσει.

Βιβλιογραφία

• Ελληνική

Δημόπουλος Φίλιππος, «Φωτοτεχνία - Τεχνική του φωτισμού», Εκδόσεις ίδιου, Αθήνα 1995.

Οικονομόπουλος Ιων Α, «Θεωρητική και εφαρμοσμένη φωτοτεχνία», Εκδόσεις Νίκου Μαυρομμάτη, Αθήνα 1976.

Optronics EYT, Τεχνικό φυλλάδιο, 2000.

Πετρίδης ABEE, «Φωτισμός» (τεχνικό φυλλάδιο), εκτύπωση “Αρίων” Ο.Ε., 2000.

Τοπαλής Φραγκίσκος Β., «Φωτοτεχνία - Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού», ΕΜΠ, Αθήνα 1994.

Φωτεινόπουλος Βαγγέλης, «Φυσική - Οπτική», Εκδόσεις Αφοί Βλάσση, 1980.

• Ξένα

Marukellis S.A., «Lighting» εκδόσεις Quark Hi - Teck S.A 1999.

OSRAM, «Led in General Lighting», 2000.

OSRAM, «Indoor and Outdoor Lighting», Τεχνικό εγχειρίδιο, 2001.

Philips, «Lighting Manual», Εκδόσεις Philips Lighting B.V, 1993.

Philips, Τεχνικό εγχειρίδιο «Calculux for Windows», 1999.

Siemens, «Lighting Applications» Τεχνικό εγχειρίδιο, 2000.