

# Μετρήσεις Διατάξεων Laser – Ανιχνευτές Σύμφωνης Ακτινοβολίας

Ιωάννης Καγκλής  
Φυσικός Ιατρικής – Ακτινοφυσικός

# Maximum Permissible Exposure (MPE) - Nominal Hazard Zone (NHZ)

Μέγιστη Επιτρεπτή Έκθεση  
(MPE)


- Το **μέγιστο επίπεδο της ακτινοβολίας** ενός laser στο οποίο ένα άτομο μπορεί να εκτεθεί χωρίς επικίνδυνες συνέπειες ή βιολογικές μεταβολές στο μάτι ή στο δέρμα.
- Συνήθως ορίζεται στο 1/10 της Effective Dose 50% (ED-50), δηλαδή της δόσης που έχει 50% πιθανότητα να προκαλέσει βλάβη

Ονομαστική Ζώνη Κινδύνου (NHZ)

- Ο **χώρος** μέσα στον οποίο το επίπεδο της **άμεσης, ανακλώμενης ή διαχεόμενης** ακτινοβολίας υπερβαίνει το MPE.

# Μετρήσεις – Κύρια Ερωτήματα

- Ελάχιστες και μέγιστες τιμές Πυκνότητας Ενέργειας και Ισχύος
- Εύρος δέσμης
- Τύπος λειτουργίας
- Εκπεμπόμενο μήκος κύματος
- Διάρκεια έκθεσης
- Οπτική πυκνότητα



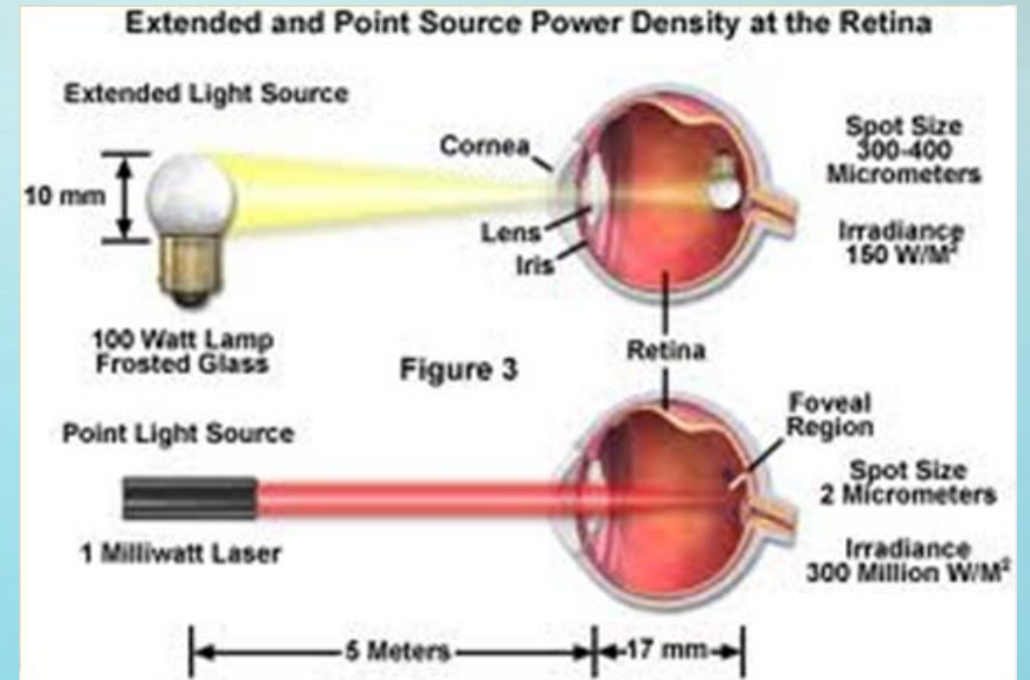
Υπολογισμός **MPE** και **NHZ**

Καθορισμός κατάλληλης προστασίας του ματιού (πάχος προστατευτικού γυαλιού)

# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος

- Ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ισχύος προς τη διατομή της δέσμης
- Μετριέται σε  $J/m^2$  και  $W/m^2$  (SI) αντίστοιχα
- Μεγάλη εξάρτηση από το μέγεθος της δέσμης

Λαμπτήρας 100W vs Laser 1mW

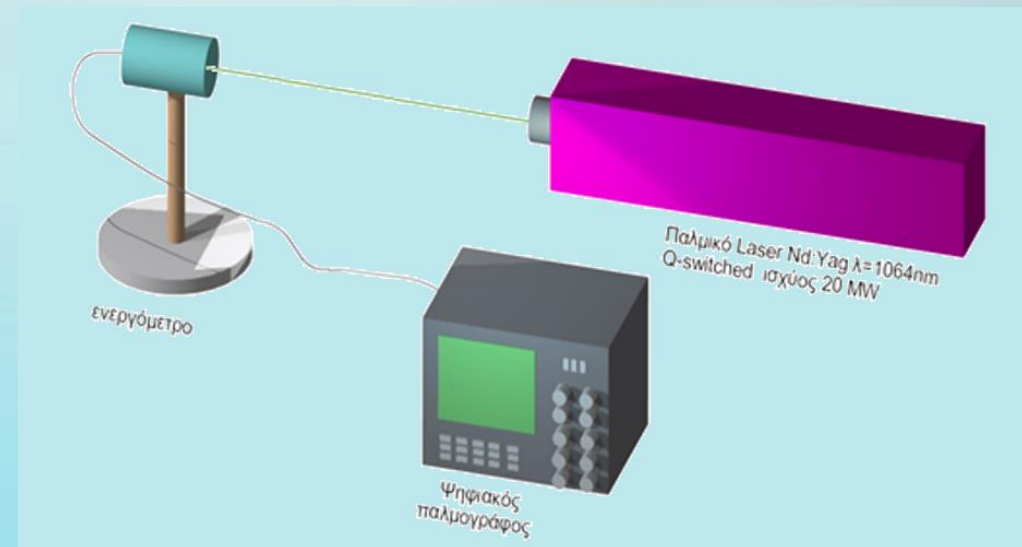


# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος – Εξοπλισμός και Διάταξη

## Εξοπλισμός

- Laser
- Ενεργόμετρο
- Παλμογράφος

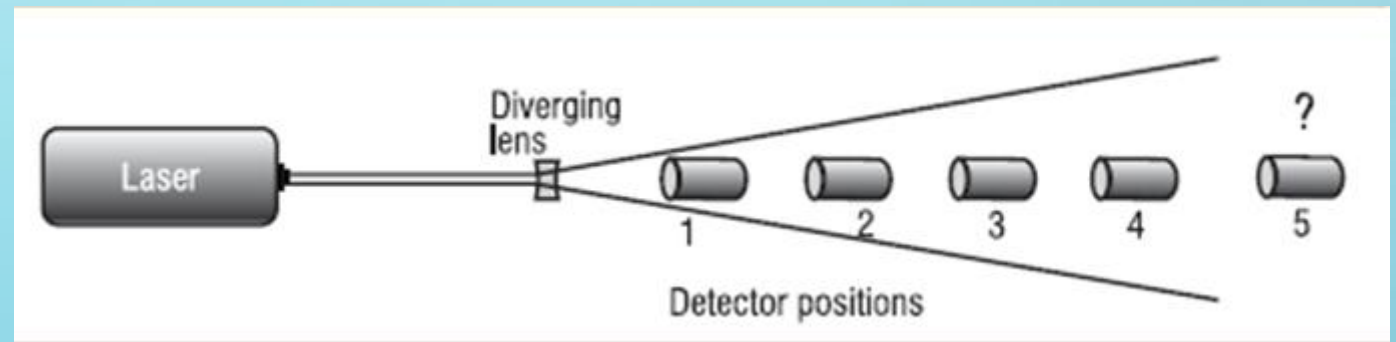
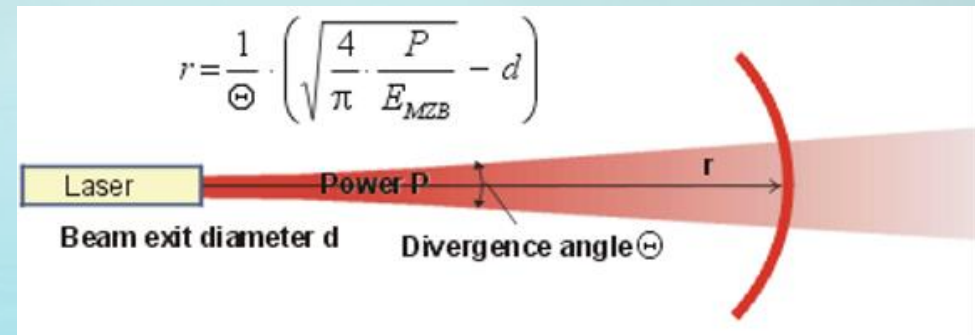
## Διάταξη



# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος – Εξάρτηση από Διάταξη

## Απόκλιση Δέσμης

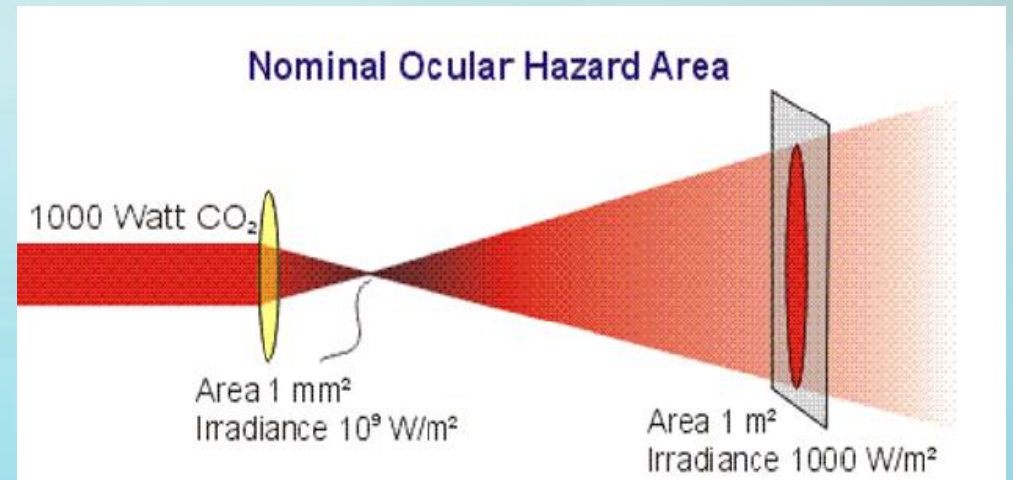
- Χωρίς χρήση οπτικών μέσων
- Έντονα κατευθυντική δέσμη



# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος – Οπτικά Μέσα

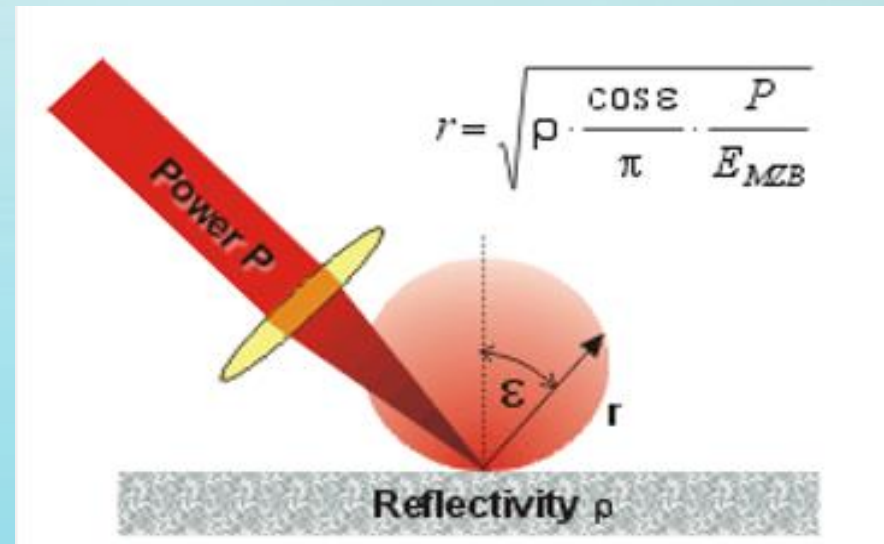
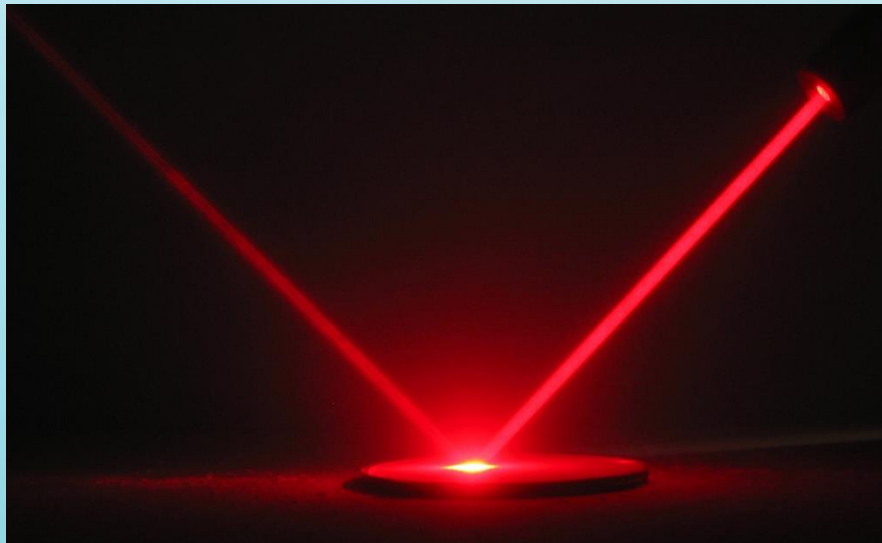
## Εστίαση

- Η χρήση φακών εστιάζει τη δέσμη
- Η δέσμη αποκλίνει έντονα μετά το σημείο εστίασης



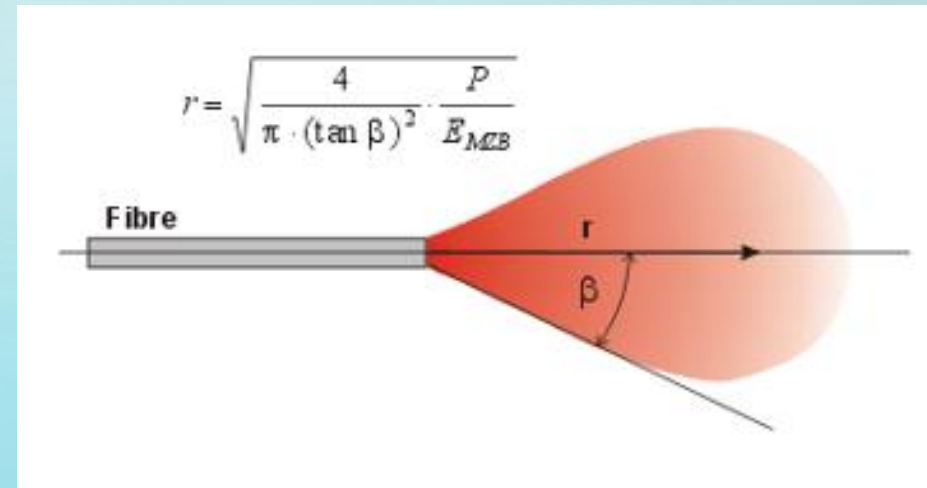
# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος – Ανάκλαση και Διάχυση

- Εξάρτηση από ανακλαστικότητα επιφάνειας



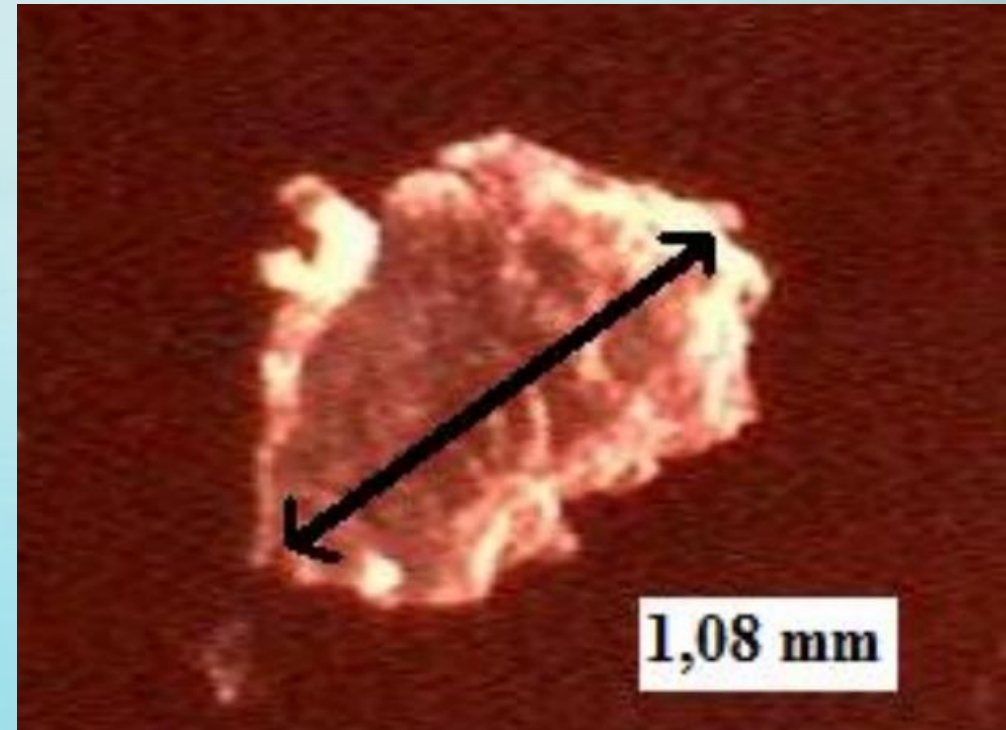
# Πυκνότητα Ενέργειας και Ισχύος – Οπτική Ίνα

- Η δέσμη αποκλίνει έντονα μετά την έξοδο από την οπτική ίνα



# Εύρος Δέσμης

- Απαραίτητο για την μέτρηση της πυκνότητας ισχύος ( $W/m^2$ )
- Είναι το εμβαδό της δέσμης σε ένα συγκεκριμένο σημείο
- Υπολογισμός:  
Ακτινοβολήση Φιλμ →  
Παρατήρηση Φιλμ σε μικροσκόπιο →  
Υπολογισμός διαστάσεων κηλίδας



# Τύπος Λειτουργίας

## Συνεχής (Continuous Wave)

- Η συσκευή ακτινοβολεί διαρκώς όσο είναι ανοιχτή

## Παλμική (Pulsed)

- Η συσκευή ακτινοβολεί παλμούς συγκεκριμένης διάρκειας με σταθερό ρυθμό
- Η διάρκεια του παλμού είναι πολύ μικρή (ακόμη και της τάξης των femtoseconds)

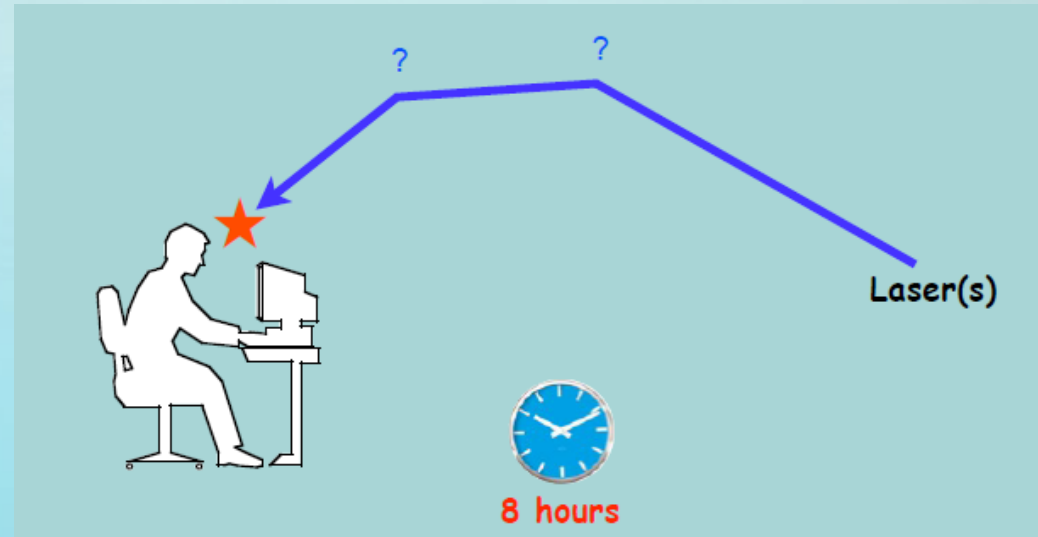
# Μήκος Κύματος

- Αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε διάταξης Laser
- Εξαρτάται από το ενεργό υλικό και την χρησιμοποιούμενη αρμονική
- Κυμαίνεται από 150nm μέχρι 570μm (υπεριώδες – μακρινό υπέρυθρο)

Wavelengths of Common Lasers Used at IPEQ - EPFL			
CIE Band	Wavelengths [nm]	Medium	Typical Operation
UV-A	325	HeCd	CW (10 mW)
UV-A	350	Argon	CW (100 mW)
Visible	458, 488, 514	Argon	CW (15 W)
Visible	530	Nd:YAG (2nd harmonic)	CW (15 W)
Visible	632.8	HeNe	CW (10 mW)
IR-A	1064	Nd:YAG	CW (15 W)
IR-A	700 - 1000	Ti:Saph	Pulsed (1.5 W)
UV-A	350 - 500	Ti:Saph, 2nd harmonics	Pulsed (0.8 W)
UV-B	230 - 330	Ti:Saph 3rd harmonics	Pulsed (0.3 W)
UV-B	266	Nd:YAG (4th harmonic)	Pulsed (20 mW)

# Διάρκεια Έκθεσης

- Αποτελεί εκτίμηση του συνολικού χρόνου που ακτινοβολείται μία περιοχή
- Εξαρτάται από όλους τους προηγούμενους παράγοντες που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν
- Απαραίτητη για τον υπολογισμό του MPE

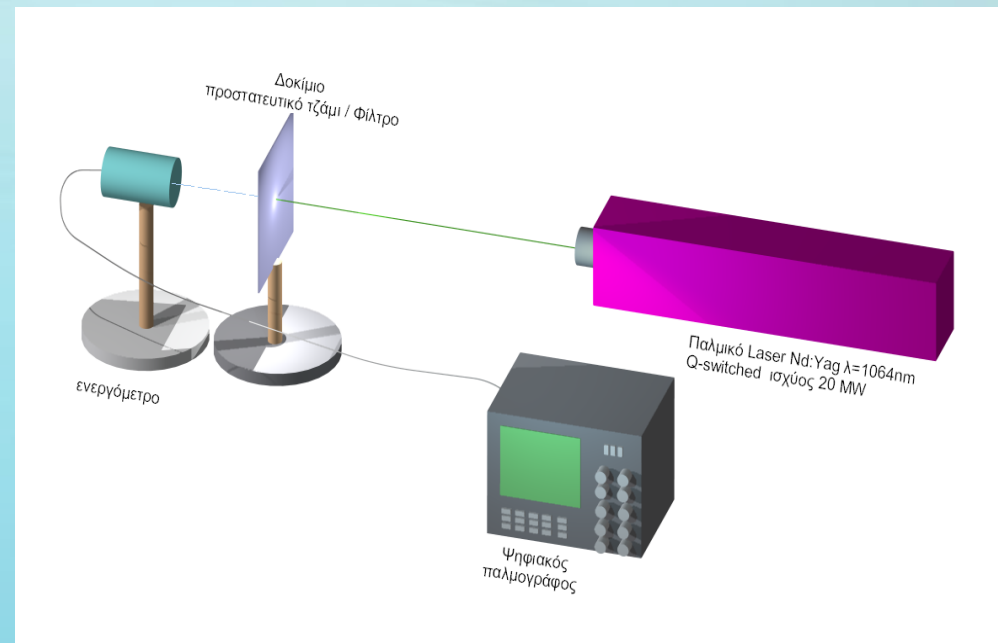
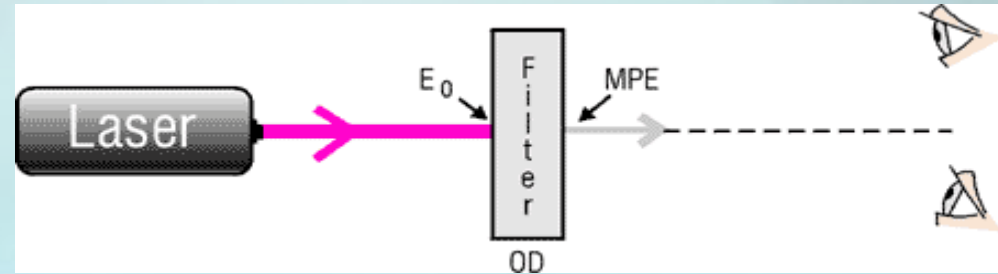


# Οπτική Πυκνότητα

- Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της κατάλληλης προστασίας του ματιού με ειδικά γυαλιά
- Είναι ένα μέτρο της εξασθένησης της ακτινοβολίας όταν περνά από ένα φίλτρο
- $E = \log\left(\frac{E_0}{MPE}\right)$ , όπου:

$E_0$  : Η Μέγιστη Πυκνότητα Ενέργειας ή Ισχύος, στις χειρότερες πιθανές συνθήκες έκθεσης ( $J/m^2$  ή  $W/m^2$ )

MPE : Μέγιστη Επιτρεπτή Έκθεση, εκφρασμένη στην ίδια μονάδα με το  $E_0$



# Ανιχνευτές Σύμφωνης Ακτινοβολίας

## Θερμικοί

- Απορροφούν την ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμότητα
- Μεταφράζουν τη μεταβολή της θερμότητας σε ηλεκτρικό ρεύμα (σήμα εξόδου)
- Το σήμα εξόδου είναι ανάλογο της ενέργειας που απορροφήθηκε

## Φωτονικοί (ή Κβαντικοί)

- Βασίζονται σε κβαντικά φαινόμενα όπως η φωτοηλεκτρική εκπομπή ηλεκτρονίων
- Καταμετρούν κβάντα φωτός και όχι άμεσα την ενέργεια της ακτινοβολίας → Ενεργειακό κατώφλι ανίχνευσης, δηλαδή ένα μέγιστο μήκος κύματος που μπορεί να ανιχνευθεί (Αφού η  $E$  αντιστρόφως ανάλογη του  $\lambda$ )

# Θερμικοί Ανιχνευτές

## Κυριότερες Κατηγορίες

- Θερμοζεύγη – Θερμοπύλες
- Βολόμετρα
- Πυροηλεκτρικοί
- Αεριούχοι

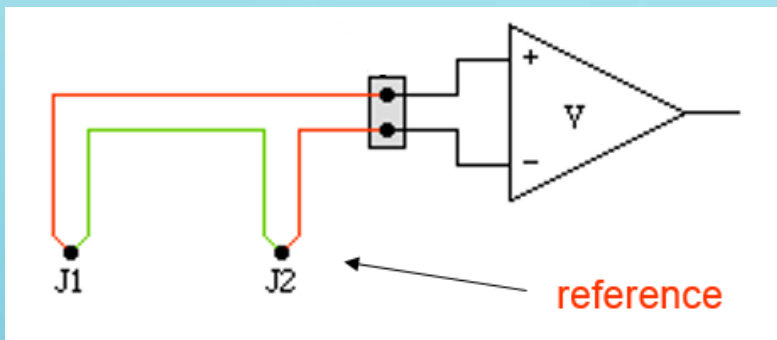
## Γενικά Χαρακτηριστικά

- Απόκριση ανεξάρτητη από το μήκος κύματος
- Υψηλός θόρυβος
- Αργή απόκριση

# Θερμοζεύγη – Θερμοπύλες

## Αρχή λειτουργίας

- Βασίζονται στη δημιουργία τάσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στα άκρα της σύνδεσης δύο ανόμοιων μετάλλων
- Τοποθετείται επάνω σε μια επιφάνεια που απορροφά το φως



## Χαρακτηριστικά

- Χρόνος Απόκρισης:  
Μερικά Δευτερόλεπτα
- Εύρος Φάσματος:  
UV – FAR IR
- Εύρος Ισχύος:  
50μW – 10KW
- Τύπος λειτουργίας:  
CW και Παλμικά (μέσω υπολογισμού της μέσης ενέργειας)

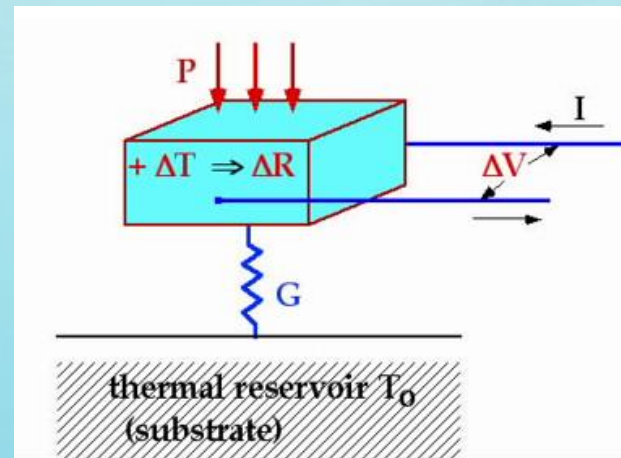
# Βολόμετρα

## Αρχή λειτουργίας

- Ανταποκρίνονται στην αύξηση της θερμοκρασίας με σημαντική αλλαγή της αντίστασής τους
- Το αισθητήριο υλικό τους είναι μεταλλικό ή, συνηθέστερα ημιαγώγιμο

## Χαρακτηριστικά

- Παρόμοια με των υπολοίπων θερμικών ανιχνευτών



# Πυροηλεκτρικοί

## Αρχή λειτουργίας

- Βασίζονται στη μεταβολή της πόλωσης του υλικού τους που προκαλεί η αύξηση της θερμοκρασίας του
- Η μεταβολή της πόλωσης δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο καταγράφεται
- Ανιχνεύονται μόνο ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ στην ακτινοβολήση

## Χαρακτηριστικά

- Κατάλληλοι μόνο για τη μέτρηση Παλμικών Laser
- Εύρος Φάσματος:  
Όλο το φάσμα των Laser

# Αεριούχοι

## Αρχή λειτουργίας

- Διαθέτουν αέριο σε αεροστεγή θάλαμο
- Βασίζονται στην αύξηση του όγκου του αερίου κατά τη θέρμανσή του
- Ανιχνεύεται η μεταβολή της πίεσης του αερίου

## Χαρακτηριστικά

- Εύρος Ισχύος:  
Από  $10^{-11}W$  και πάνω
- Ευαίσθητοι στις δονήσεις
- Ευπαθείς

Χρησιμοποιούνται  
Σπάνια

# Φωτονικοί Ανιχνευτές

## Κυριότερες Κατηγορίες

- Φωτοδίοδοι Κενού
- Φωτοπολλαπλασιαστές
- Φωτοαγώγιμοι

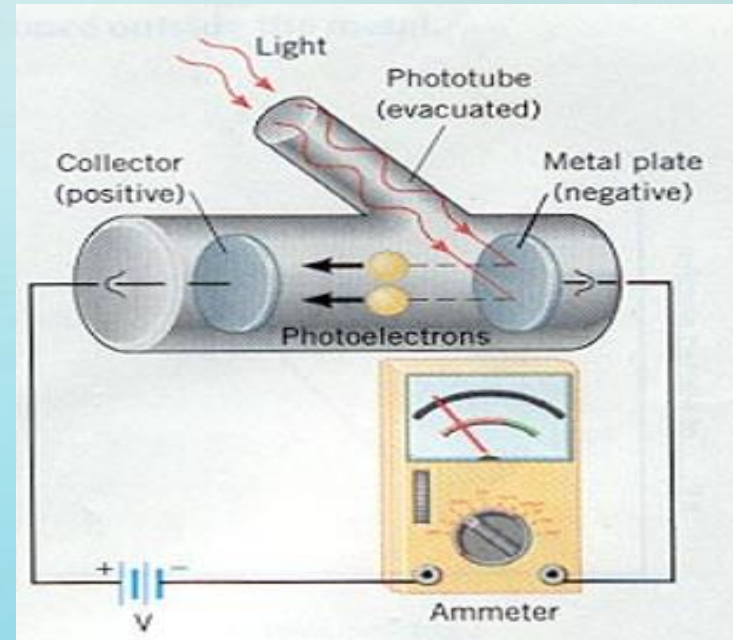
## Γενικά Χαρακτηριστικά

- Μεγάλη ταχύτητα
- Μεγάλη ευαισθησία (Κατάλληλοι για Laser χαμηλής ισχύος)
- Μικρό φασματικό εύρος ανίχνευσης
- Εξάρτηση από το μήκος κύματος
- Μέγιστο ανιχνευόμενο μήκος κύματος 1,8 $\mu$ m

# Φωτοδίοδοι Κενού

## Αρχή λειτουργίας

- Τα φωτόνια απορροφώνται στην επιφάνεια και προκαλούν την εκπομπή ηλεκτρονίων
- Τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην άνοδο



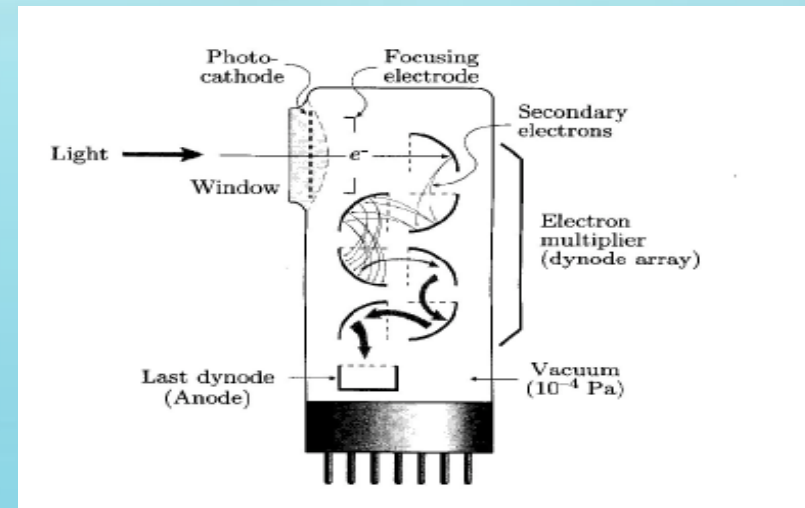
# Φωτοπολλαπλασιαστές

## Αρχή λειτουργίας

- Ίδια αρχή με τις φωτοδιόδους
- Τα πρωτογενή ηλεκτρόνια επιταχύνονται προς τα ηλεκτρόδια και εκπέμπονται νέα ηλεκτρόνια
- Ενίσχυση του σήματος με το φαινόμενο της χιονοστιβάδας

## Χαρακτηριστικά

- Μεγάλη ενίσχυση του σήματος
- Κατάλληλοι για διατάξεις χαμηλής ισχύος



# Φωτοαγώγιμοι

## Αρχή λειτουργίας

- Συνήθως κατασκευάζονται από ημιαγώγιμο υλικό
- Βασίζονται στη δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίου – οπής
- Η ακτινοβολία μεταβάλλει την αγωγιμότητα του υλικού, το οποίο οδηγεί σε μεταβολή του ρεύματος που διαρρέει το υλικό

## Χαρακτηριστικά

- Χρόνος Απόκρισης:  
Πολύ μικρός
- Εύρος Φάσματος:  
Στενό, 190 – 1800nm  
Εξαρτάται από το ημιαγώγιμο υλικό
- Εύρος Ισχύος:  
μW – 1W
- Τύπος λειτουργίας:  
Συνηθέστερα CW  
και σπανίως Παλμικά

# Συμπεράσματα

- Οι μετρήσεις είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες
  - Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού είναι καθοριστικής σημασίας και διαφέρει σημαντικά ανάλογα την περίπτωση (Μπορεί ακόμα και να καταστραφεί, αν γίνει λάθος επιλογή)
- ➔ Οι έλεγχοι οφείλουν να διεξάγονται από επιστημονικό προσωπικό, καταρτισμένο επί του αντικειμένου

A serene landscape featuring a calm lake in the foreground, with mountains and a forested shoreline in the background under a clear blue sky. A semi-transparent blue circle is centered on the lake's surface. The Greek word 'Ευχαριστώ!' is written in a dark teal font across the middle of the image.

Ευχαριστώ!