

# ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΦΑΣΜΑΤΟΧΗΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

## φαινόμενα

- απορρόφηση
- φθορισμός
- φωσφορισμός
- σκέδαση
- εκπομπή
- χημειοφωταύγεια

## Εκπομπή

Εκπεμπόμενη ακτινοβολία,  $P_e$

$$P_e = k c \quad \text{Ατομική εκπομπή}$$

## Φωταύγεια

Φωταυγάζουσα ακτινοβολία,  $P_l$

$$P_l = k c \quad \text{Ατομικός και μοριακός  
φθορισμός, φωσφορισμός και  
χημειοφωταύγεια}$$

## Σκέδαση

Σκεδαζόμενη ακτινοβολία,  $P_{sc}$

$$P_{sc} = k c \quad \text{Σκέδαση Raman, θολωσιμετρία,  
νεφελομετρία}$$

## Απορρόφηση

Εισερχόμενη ακτινοβολία  $P_0$

Διερχόμενη ακτινοβολία  $P$

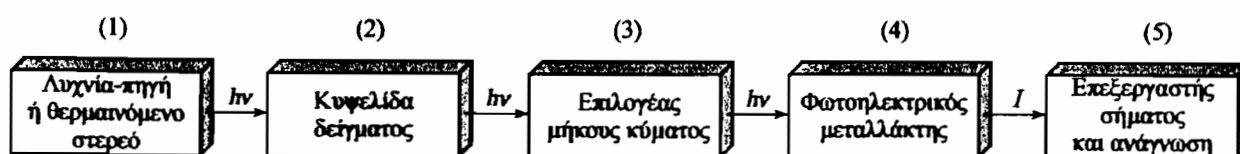
$$-\log(P/P_0) = k c \quad \text{Ατομική και μοριακή  
απορρόφηση}$$

Ένα τυπικό όργανο «δύναται» να περιέχει:

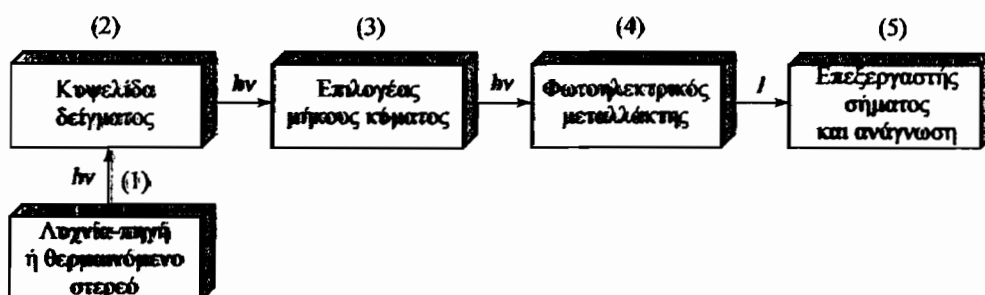
- μια σταθερή πηγή ακτινοβολίας
- ένα οπτικά διαφανές δοχείο (δείγμα)
- μια μονάδα για απομόνωση περιορισμένης περιοχής του προς μέτρηση φάσματος
- έναν ανιχνευτή ακτινοβολίας

**μετατρέπει την ακτινοβολούμενη ενέργεια σε εύχρηστο αναλυτικό σήμα (συνήθως ηλεκτρικό)**

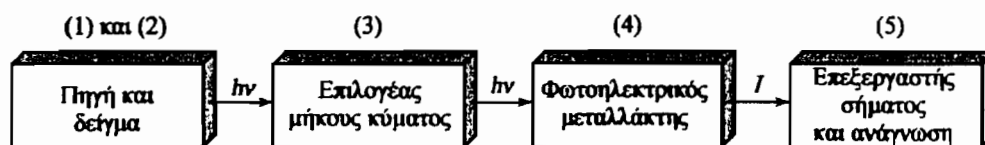
- μια μονάδα επεξεργασίας και ανάγνωσης του σήματος



(α)



(β)



(γ)

## Σχηματική διάταξη διαφόρων τύπων οργάνων οπτικής φασματοσκοπίας\*

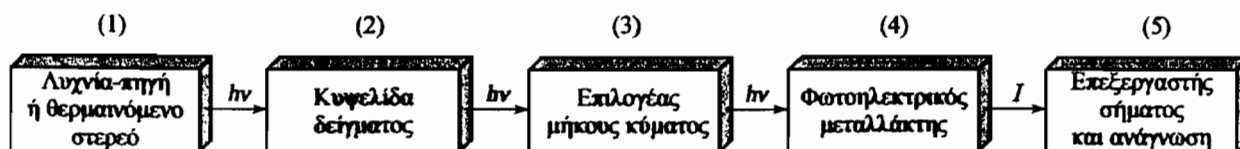
\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Ένα τυπικό όργανο «δύναται» να περιέχει:

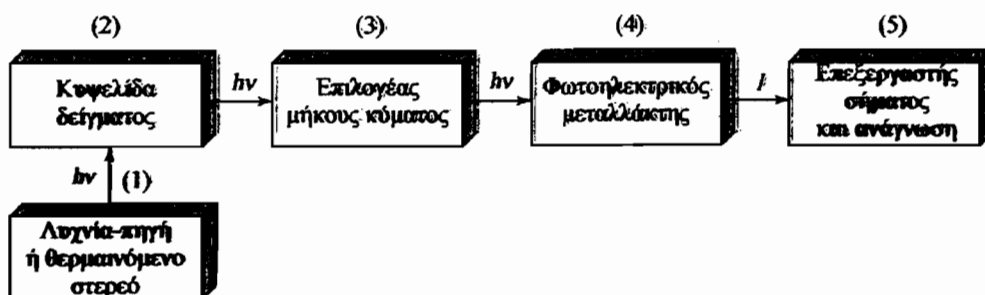
- μια σταθερή πηγή ακτινοβολίας
- ένα οπτικά διαφανές δοχείο (δείγμα)
- μια μονάδα για απομόνωση περιορισμένης περιοχής του προς μέτρηση φάσματος
- έναν ανιχνευτή ακτινοβολίας

**μετατρέπει την ακτινοβολούμενη ενέργεια σε εύχρηστο αναλυτικό σήμα (συνήθως ηλεκτρικό)**

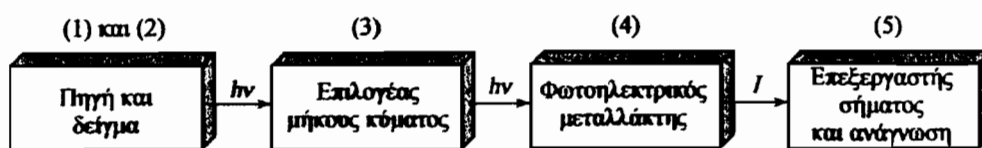
- μια μονάδα επεξεργασίας και ανάγνωσης του σήματος



(α)



(β)



(γ)

## Σχηματική διάταξη διαφόρων τύπων οργάνων οπτικής φασματοσκοπίας\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκης)

# ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

**Απαραίτητη προϋπόθεση:  
δέσμη ακτινοβολίας με αρκετή ισχύ**

ισχύς ακτινοβολίας  $\approx$  (τάση τροφοδοσίας της πηγής)<sup>n</sup>

- σταθεροποιημένα τροφοδοτικά
- όργανα “διπλής δέσμης”

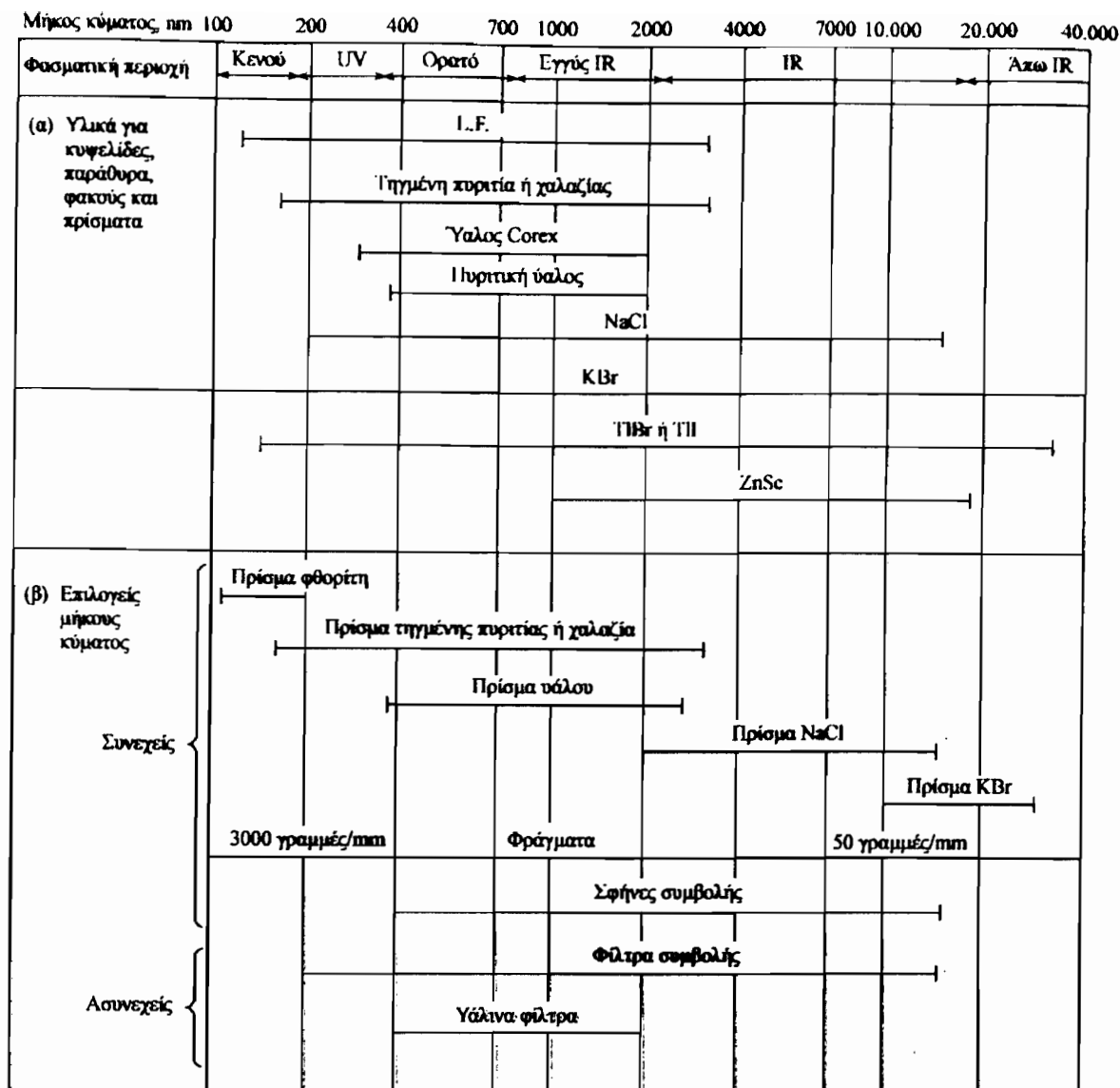
**αναλυτική παράμετρος:  
λόγος του σήματος του δείγματος προς το σήμα της  
πηγής απουσία του δείγματος**

**συνεχείς πηγές (continuum sources)**

εκπομπή ακτινοβολίας με ένταση που μεταβάλλεται  
κατά τρόπο συνεχή με το μήκος κύματος

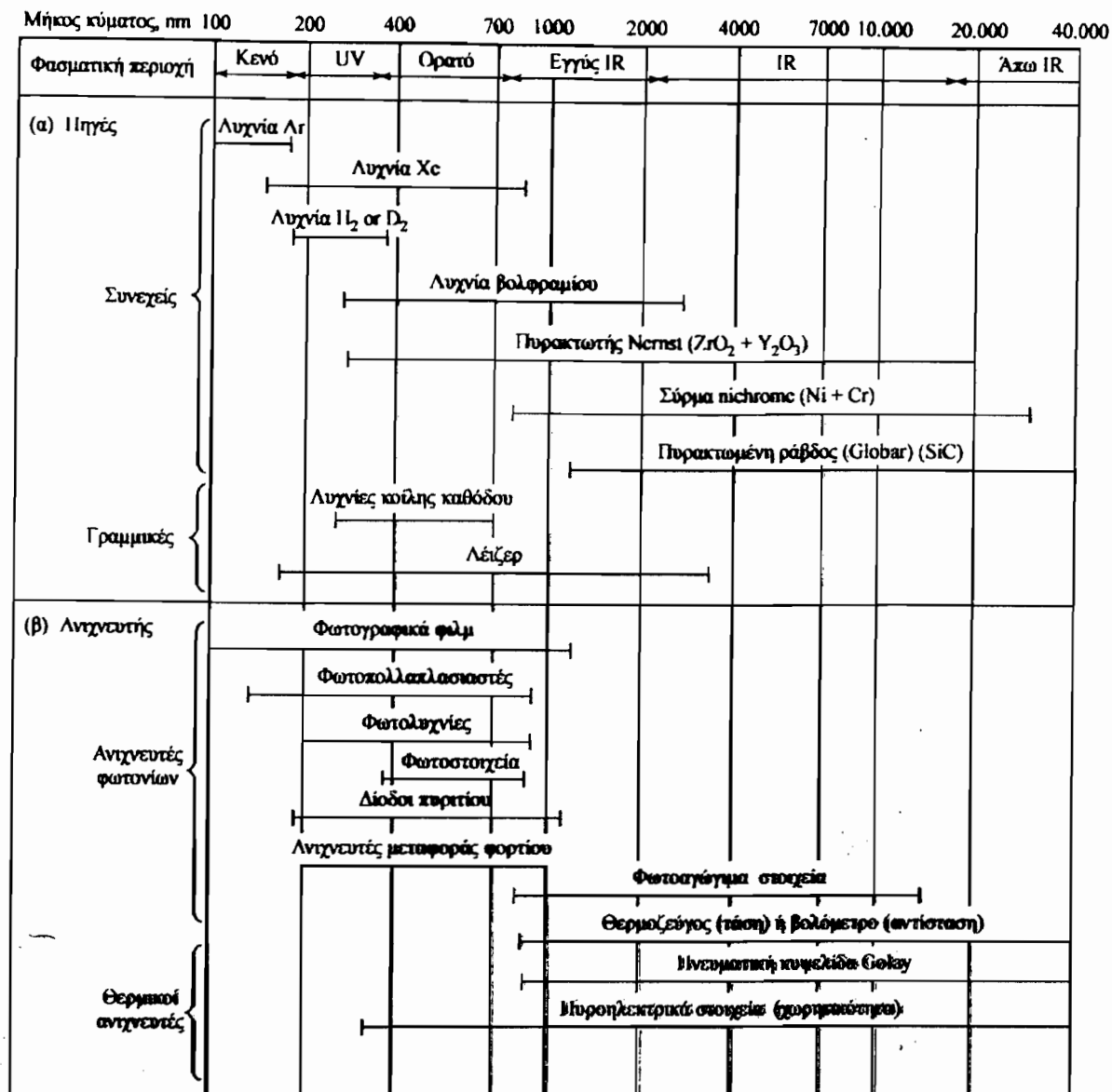
**πηγές γραμμών (line sources)**

εκπομπή γραμμών ή ζωνών ακτινοβολίας σε περιοχή  
μήκους κύματος



(α) Υλικά κατασκευής οπτικών τμημάτων οργάνων  
(β) Υλικά επιλογέων μήκους κύματος φασματοσκοπικών οργάνων\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)



(α) Πηγές φασματοφωτομέτρων  
(β) ανιχνευτές φασματοφωτομέτρων\*

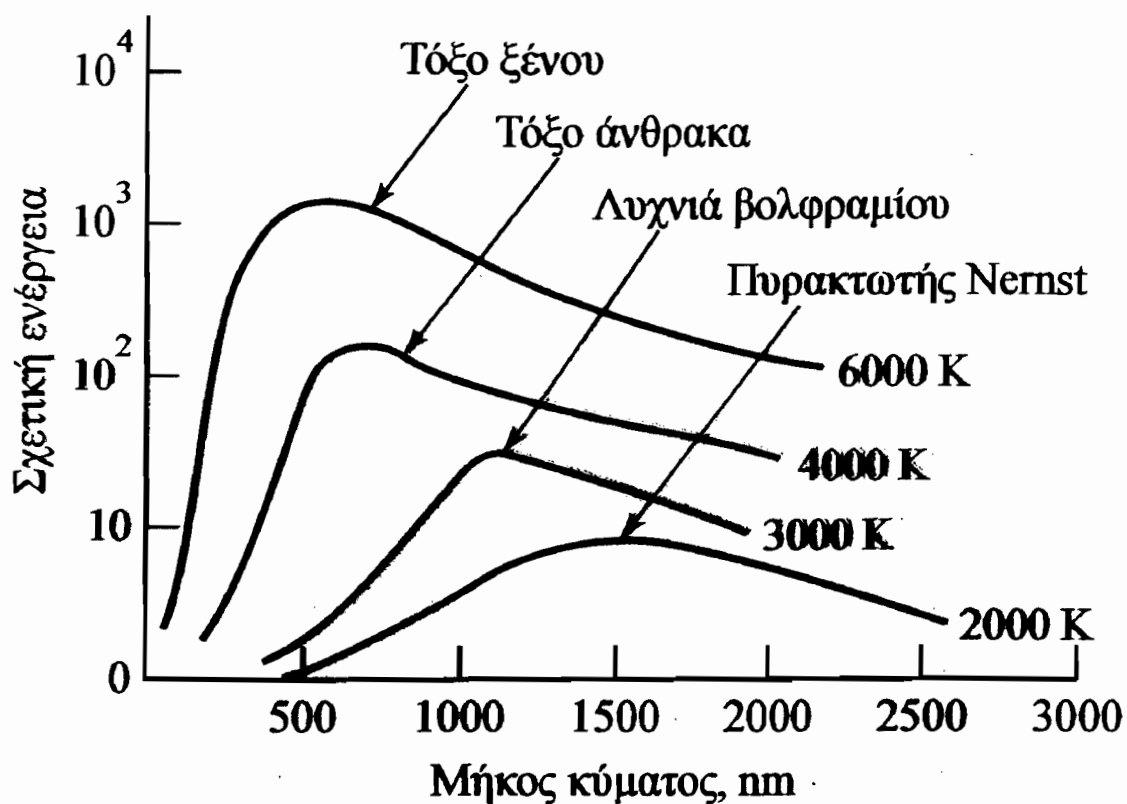
\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανκωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Συνεχείς πηγές

- φασματοσκοπία απορρόφησης
- φασματοσκοπία φθορισμού

### Πυράκτωση στερεού σώματος - θερμική ακτινοβολία

#### ακτινοβολία μέλανος σώματος (blackbody radiation)



#### Ακτινοβολία μέλανος σώματος\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Λυχνίες νήματος βολφραμίου

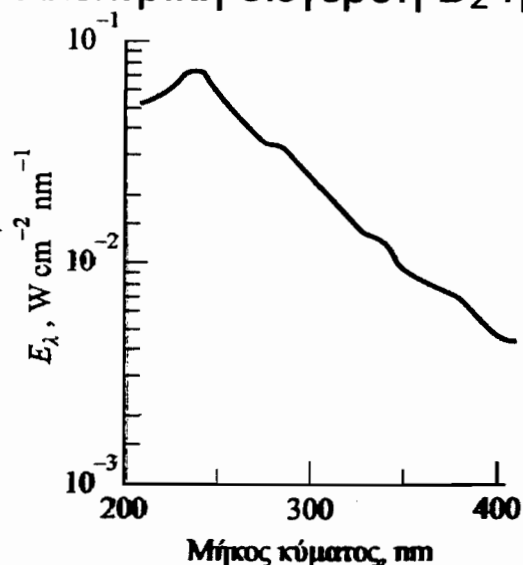
- ορατή και εγγύς-υπέρυθρη ακτινοβολία
- 2870 K - 350 ως 2500 nm

## Λυχνίες βολφραμίου/αλογόνου σε χαλαζία

- 3500 K - υπεριώδης ακτινοβολία
- σχηματισμός πτητικού  $Wl_2$

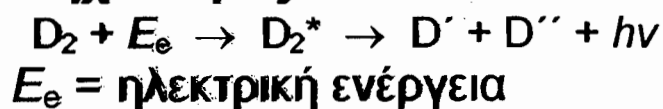
## Λυχνίες δευτερίου και υδρογόνου

### Ηλεκτρική διέγερση $D_2$ ή $H_2$ σε χαμηλή πίεση



Φάσμα εκπομπής λυχνίας δευτερίου\*

#### Μηχανισμός



ενεργειακό ισοζύγιο

$$E_e = E_{D_2^*} = E_{D'} + E_{D''} + h\nu$$

$E_{D'}$  και  $E_{D''}$  = κινητικές ενέργειες των δύο ατόμων δευτερίου  
160 - 375 nm

## Λυχνία τόξου ξένου

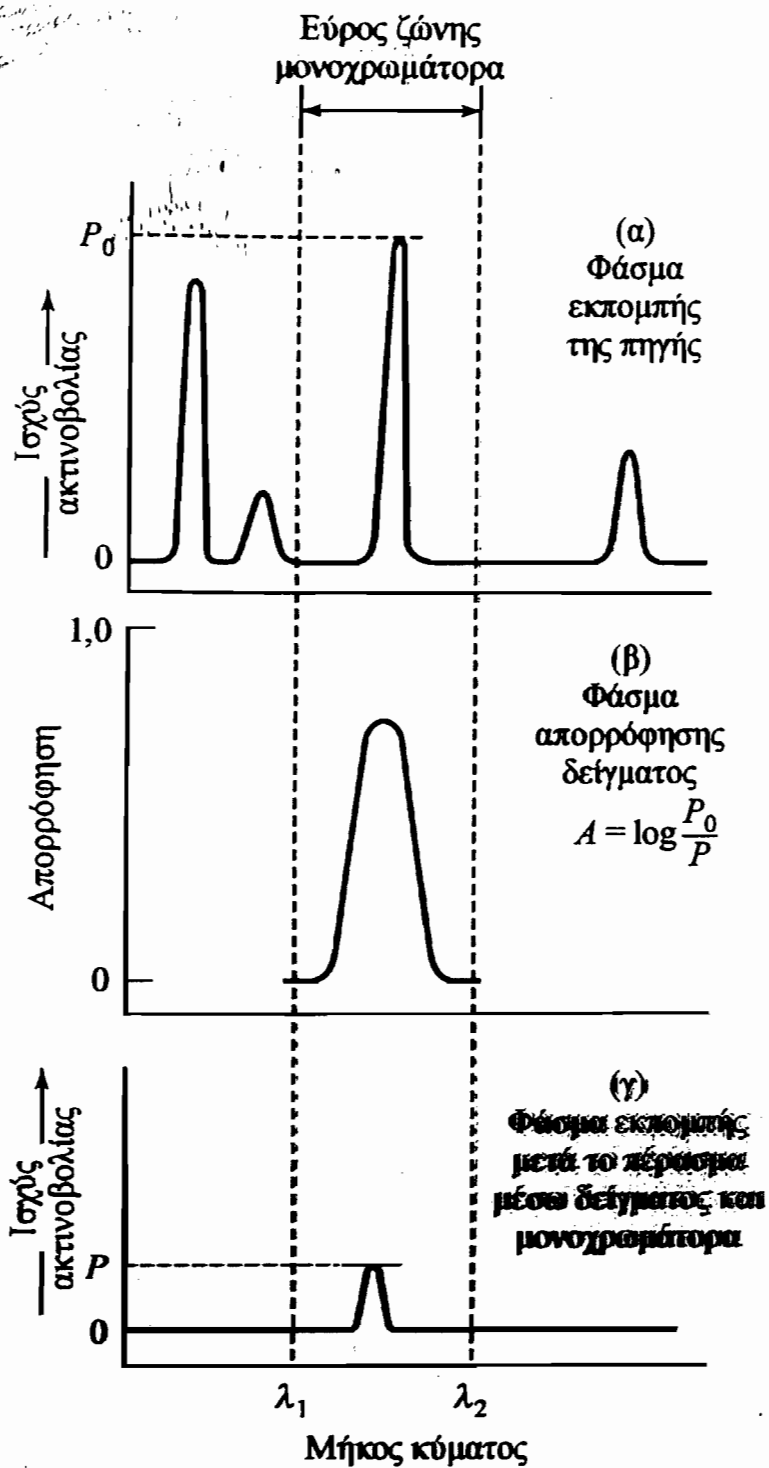
- διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος σε ατμόσφαιρα ξένου
- 200 - 1000 nm ( $\lambda_{\max} = 500$  nm)

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χασιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)



## Πηγές γραμμών

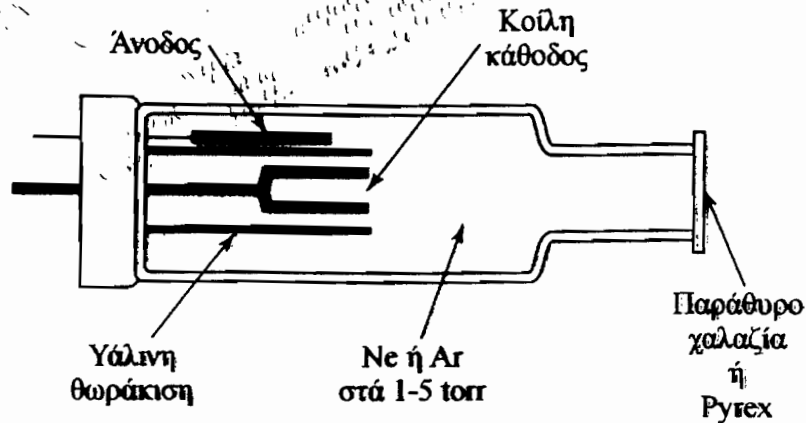
- φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης
  - φασματοσκοπία ατομικής και μοριακής φθορισμομετρίας
  - φασματοσκοπία Raman
  - διαθλασιμετρία
  - πολωσιμετρία
- 
- λυχνίες ατμών υδραργύρου και νατρίου
  - λυχνίες κοίλης καθόδου
  - λυχνίες εκκενώσεων χωρίς ηλεκτρόδια



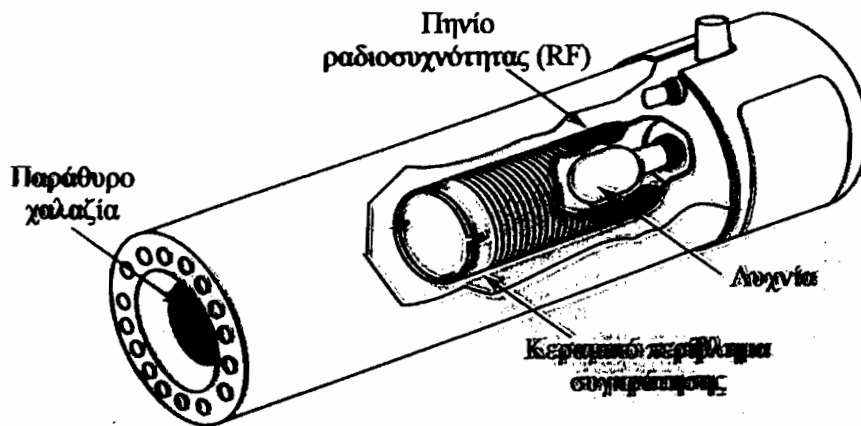
## Απορρόφηση γραμμής συντονισμού από άτομα\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκης)

## Λυχνίες κοίλης καθόδου (hollow cathode lamp, HCL)



## Λυχνίες εκκένωσης χωρίς ηλεκτρόδια (electrodeless discharge lamps, EDLs)



- αδρανές αέριο (Ar) σε πίεση λίγων torr και μικρή ποσότητα του μετάλλου (ή άλατός του)
- ισχυρά πεδία ραδιοσυχνοτήτων ή ακτινοβολία μικροκυμάτων

# Πηγές λέιζερ

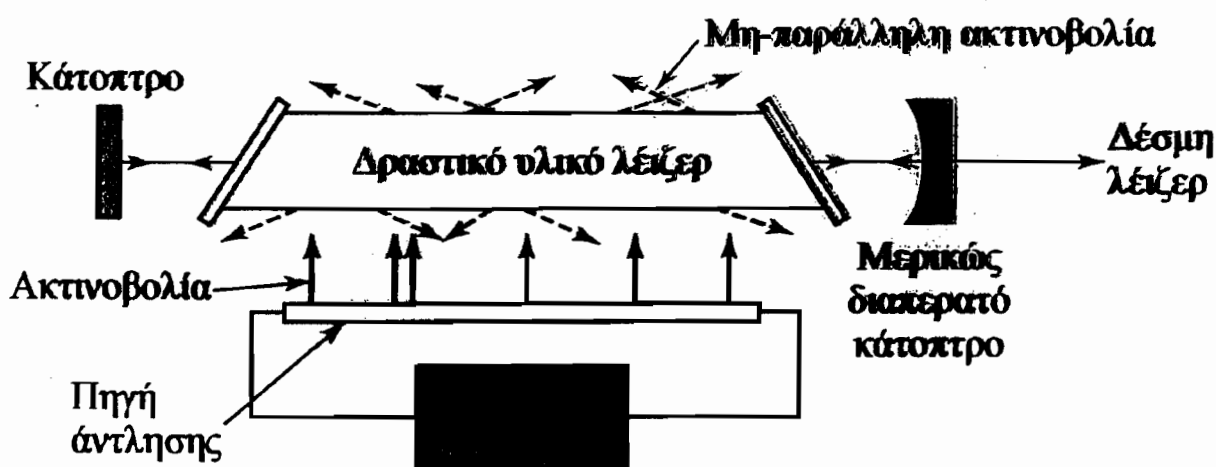
laser: light amplification by stimulated emission  
of radiation

(ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη  
εκπομπή ακτινοβολίας)

- φασματοσκοπία Raman
- φασματοσκοπία μοριακής απορρόφησης
- φασματοσκοπία φθορισμού

ακτινοβολα υψηλής εντάσεως

στενή δέσμη ακτινοβολίας



Σχηματική παράσταση μιας τυπικής πηγής λέιζερ\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Δραστικό υλικό του λέιζερ (laser medium)

- στερεός κρύσταλλος (π.χ. ένα ρουμπίνι)
- ημιαγωγός (π.χ. GaAs)
- διάλυμα οργανικής χρωστικής ουσίας
- αέριο (π.χ. Ar ή Kr)

1. το υλικό του λέιζερ ενεργοποιείται ή *αντλεί* ενέργεια ακτινοβολίας από μια εξωτερική πηγή
2. μερικά φωτόνια κατάλληλης ενέργειας σκανδαλίζουν τον σχηματισμό ενός “καταρράκτη” φωτονίων της ίδιας ενέργειας
3. η άντληση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με ηλεκτρικό ρεύμα ή με ηλεκτρική εκκένωση

## Λέιζερ αερίου

- δεν απαιτούν εξωτερική πηγή ακτινοβολίας
- το τροφοδοτικό ισχύος συνδέεται με ένα ζεύγος ηλεκτροδίων, το οποίο βρίσκεται στην κυψελίδα που περιέχει το αέριο.

# ΕΠΙΛΟΓΕΙΣ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Νόμος του Beer

$$A = \epsilon bc$$

μονοχρωματική ακτινοβολία

$c$  mol/L

$b$  cm

$\epsilon$  γραμμομοριακή απορροφητικότητα

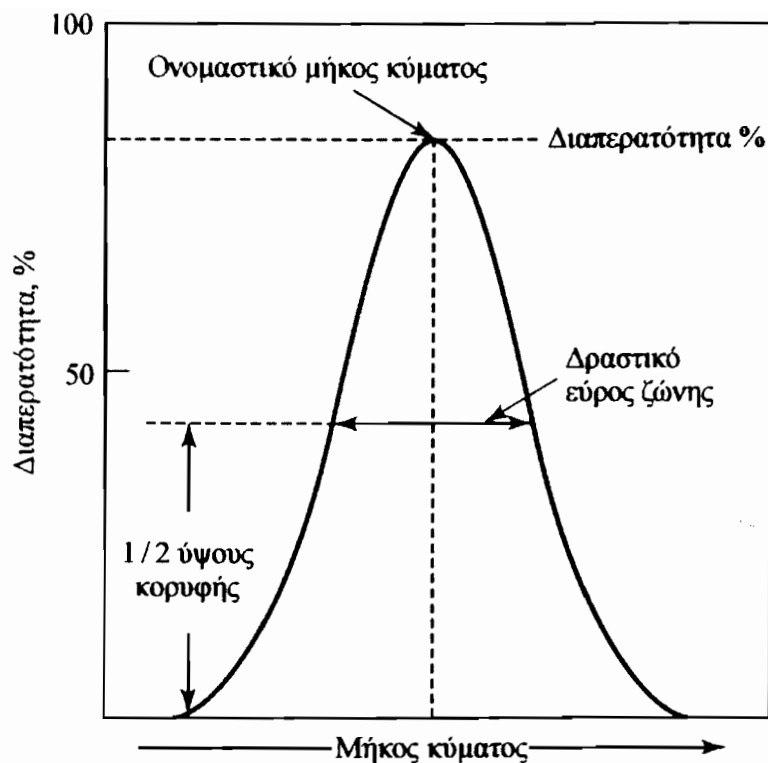
(molar absorptivity)  $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

**γραμμικότητα μεταξύ του οπτικού  
αναλυτικού σήματος και της συγκέντρωσης**

**μονοχρωματική ακτινοβολία ?**

στενή και συνεχή ομάδα μηκών κύματος

ζώνη ή ταινία (band)



Φασματική ζώνη ακτινοβολίας εξόδου  
από έναν τυπικό επιλογέα μήκους κύματος\*

δραστικό (ή αποτελεσματικό) εύρος ζώνης (effective  
bandwidth)

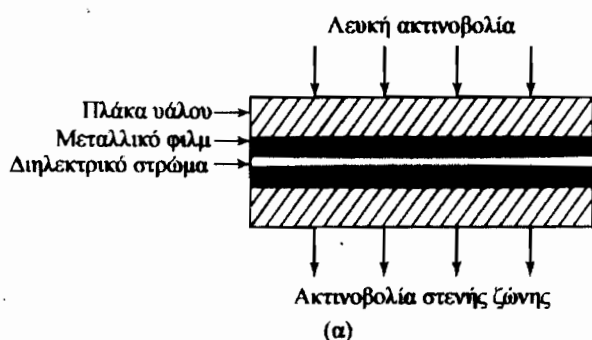
- φίλτρα
- μονοχρωμάτορες

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Φίλτρα

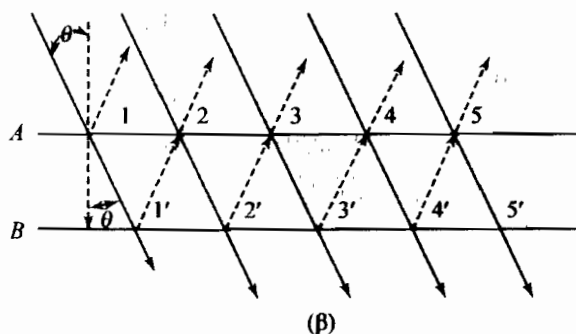
- φίλτρα συμβολής (φίλτρα *Fabry-Perot*) (interference filters) (υπεριώδης, ορατή και τμήμα υπέρυθρης περιοχής)
- φίλτρα απορρόφησης (absorption filters) (ορατή περιοχή)

## Φίλτρα συμβολής



διαφανές διηλεκτρικό  
( $\text{CaF}_2$  ή  $\text{MgF}_2$ ) \*

$t$  = πάχος διηλεκτρικού  
στρώματος



$\lambda$  = μήκος κύματος διερχόμενης  
ακτινοβολίας

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)



## συνθήκη ενισχυτικής συμβολής

$$n\lambda' = 2t / \cos \theta$$

$n$  = μικρός ακέραιος αριθμός

Αν  $\theta \rightarrow 0$ , τότε  $\cos \theta \rightarrow 1$  και  $n\lambda' \approx 2t$

$\lambda'$  = μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο διηλεκτρικό

$\lambda$  = μήκος κύματος στον αέρα

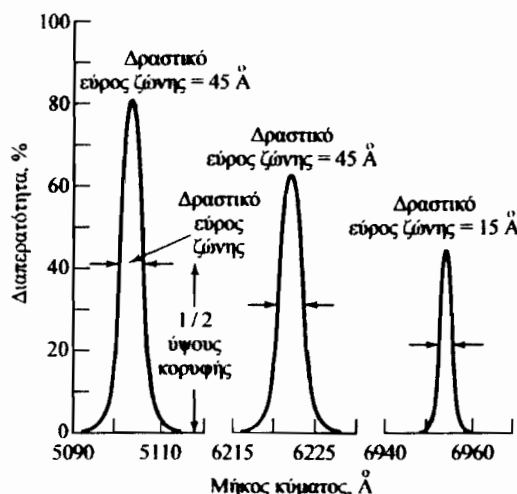
$$\lambda = \lambda' \eta$$

$\eta$  = δείκτης διάθλασης διηλεκτρικού υλικού

$$\lambda = \frac{2t\eta}{n}$$

$n$  = τάξη συμβολής (interference order)

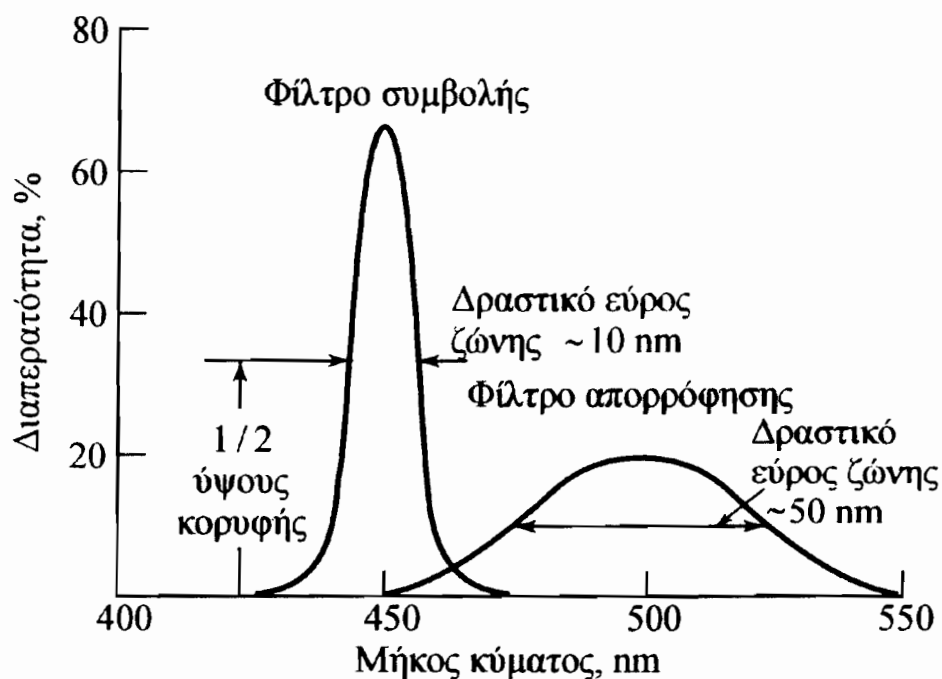
επιλογή πλακών: διέρχεται μόνο η ζώνη  $n = 1$



Χαρακτηριστικά διαπερατότητας φίλτρου συμβολής\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Φίλτρα απορρόφησης



### Δραστικό εύρος ζώνης για δύο τύπους φίλτρων\*

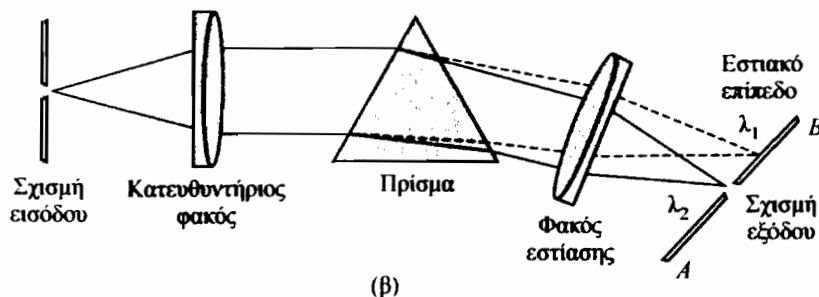
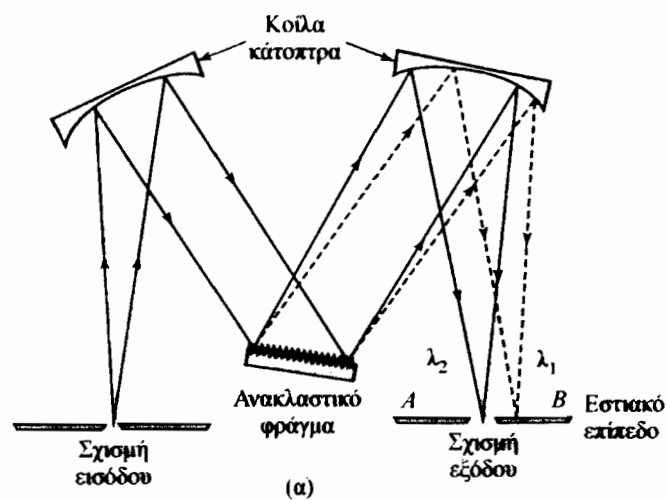
1. απορρόφηση συγκεκριμένων περιοχών του φάσματος
2. δραστικό εύρος ζώνης 30 - 250 nm

**Σάρωση φάσματος??**

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# Μονοχρωμάτορες

- σχισμή εισόδου
- φακό ή κάτοπτρο
- πρίσμα ή φράγμα
- εστίαση στο εστιακό επίπεδο (focal plane)
- σχισμή εξόδου

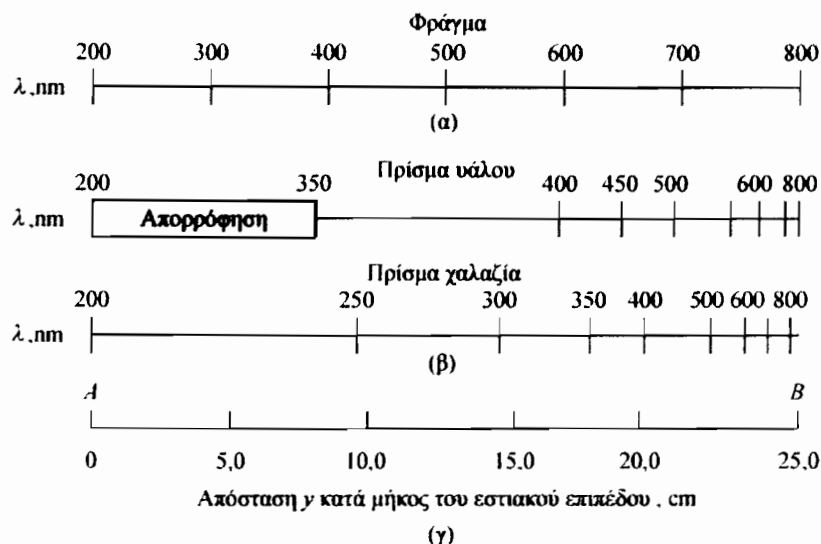


(α) Μονοχρωμάτορας φράγματος (Czerney-Turner)

(β) μονοχρωμάτορες πρίσματος Bunsen\*

( $\lambda_1 > \lambda_2$ )

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

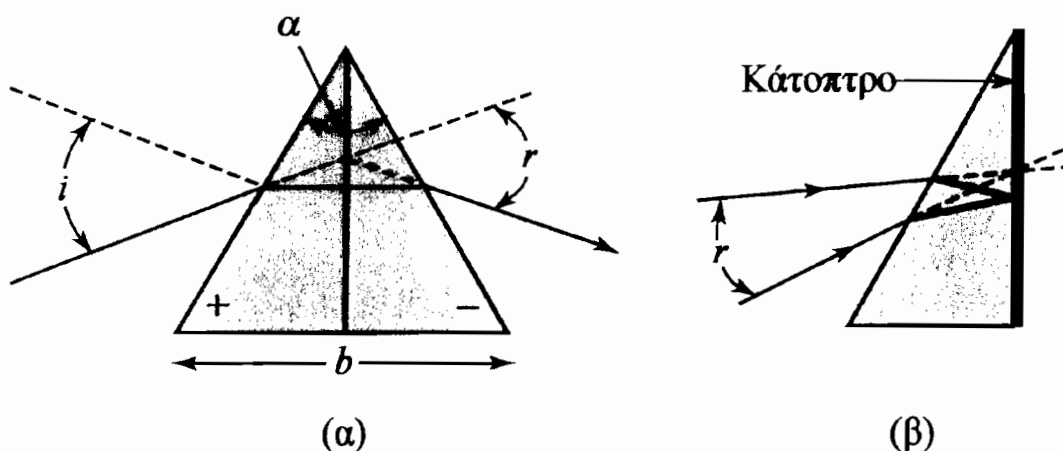


## Ανάλυση του φωτός για τρεις τύπους μονοχρωματόρων\*

γραμμική διασπορά

μη γραμμική διασπορά

## Μονοχρωμάτορες πρίσματος



## Διασπορά ακτινοβολίας με πρίσμα (α) Τύπος χαλαζία Cornu και (β) Τύπος Littrow\*

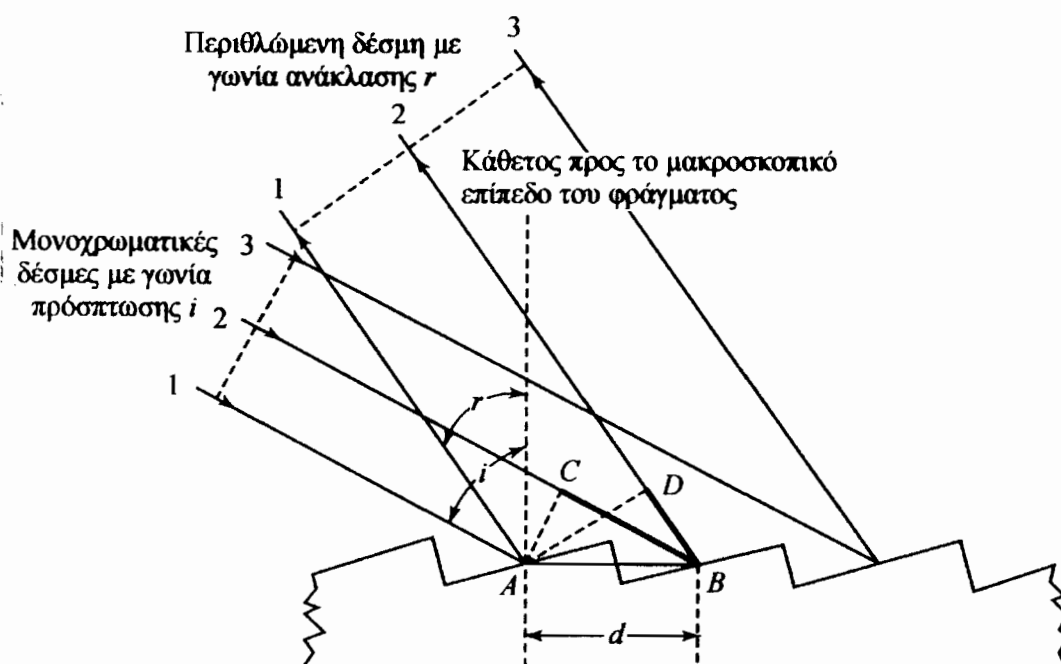
\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# Μονοχρωμάτορες φράγματος

διαπερατό φράγμα (transmission grating)

ανακλαστικού φράγματος (reflection grating)

υπεριώδης και ορατή περιοχή 300 - 2000 χαραγές/mm (1200 - 1400)  
υπέρυθρη περιοχή 10 - 200 χαραγές/mm



## Μηχανισμοί περίθλασης σε φράγμα τύπου echellette\*

$n$  = τάξη περίθλασης (diffraction order)

$d$  = σταθερά του φράγματος (απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών χαραγών)

$$n\lambda = d (\sin i + \sin r)$$

Κοίλα φράγματα (concave gratings)

Ολογραφικά φράγματα

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## Χαρακτηριστικά ποιότητας των μονοχρωματόρων φραγμάτων

- καθαρότητα της ακτινοβολίας
- ικανότητα διακρίσεως παρακείμενων μηκών κύματος
- ικανότητα συλλογής ισχύος ακτινοβολίας
- εύρος της φασματικής ζώνης

### Φασματική καθαρότητα

- μηχανικές ατέλειες
- σωματίδια σκόνης

*παράσιτη ακτινοβολία (stray radiation)*

κάλυψη εσωτερικών τοιχωμάτων με μαύρο χρώμα

## Διασπορά στους μονοχρωμάτορες φράγματος

Η ικανότητα ενός μονοχρωμάτορα να διαχωρίσει διάφορα μήκη κύματος

### γωνιακή διασπορά, $dr/d\lambda$

$dr$  = μεταβολή στη γωνία ανάκλασης ή διάθλασης

$d\lambda$  = μεταβολή του μήκους κύματος

$$\frac{dr}{d\lambda} = \frac{n}{d \cos r}$$

### γραμμική διασπορά, $D$

μεταβολή του μήκους κύματος ως συνάρτηση της απόστασης  $y$  κατά μήκος της γραμμής  $AB$  του εστιακού επιπέδου

$F$  = εστιακή απόσταση μονοχρωμάτορα

$$D = \frac{dy}{d\lambda} = \frac{F dr}{d\lambda}$$

αντίστροφη γραμμική διασπορά  $D^{-1}$  (nm/mm ή Å/mm)

$$D^{-1} = \frac{d\lambda}{dy} = \frac{1}{F} \frac{d\lambda}{dr}$$

$$D^{-1} = \frac{d\lambda}{dy} = \frac{d \cos r}{nF}$$

Αν  $r < 20^\circ$ , τότε  $\cos r \approx 1$

$$D^{-1} = \frac{d}{nF}$$

## Διακριτική ισχύς ενός μονοχρωμάτορα

resolving power,  $R$

Εκφράζει την ικανότητα ενός μονοχρωμάτορα να διαχωρίζει παρακείμενα είδωλα με πολύ μικρή διαφορά μήκους κύματος και ορίζεται ως

$$R = \lambda / \Delta\lambda$$

$\lambda$  = μέση τιμή των μηκών κύματος

$\Delta\lambda$  = διαφορά

μονοχρωμάτορας υπεριώδους-ορατής περιοχής  $R \approx 10^3 - 10^4$

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = n N$$

$n$  = τάξη περίθλασης

$N$  = συνολικός αριθμός χαραγών



## Φωτοσυγκεντρωτική ισχύς μονοχρωμάτορα

Αν ενέργεια ακτινοβολίας στον ανιχνευτή  $\uparrow$ , τότε  $S/N \uparrow$

αριθμός  $f$  (f/number) : μέτρο της ικανότητας του μονοχρωμάτορα να συλλέγει την ακτινοβολία, η οποία διέρχεται από τη σχισμή εξόδου

$$f = F/d$$

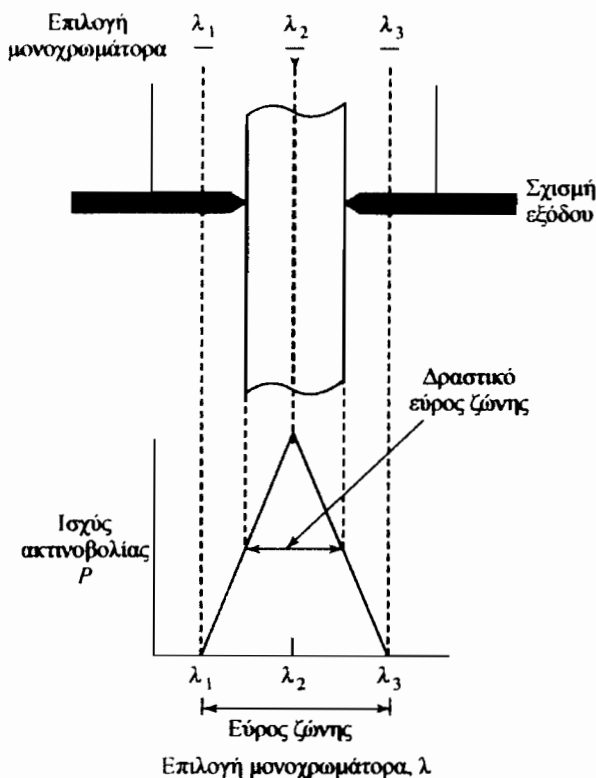
$F$  = εστιακή απόσταση κατευθυντηρίου κατόπτρου (ή φακού)

$d$  = η διάμετρος

# Οι σχισμές (slits) ενός μονοχρωμάτορα

σχισμές (slits)

## Επίδραση εύρους σχισμής στη διακριτική ικανότητα



Φωτισμός μιας σχισμής εξόδου με μονοχρωματική ακτινοβολία  $\lambda_2$  για διάφορες θέσεις του μονοχρωμάτορα\*

$$\text{σχισμή εισόδου} = \text{σχισμή εξόδου} = w$$

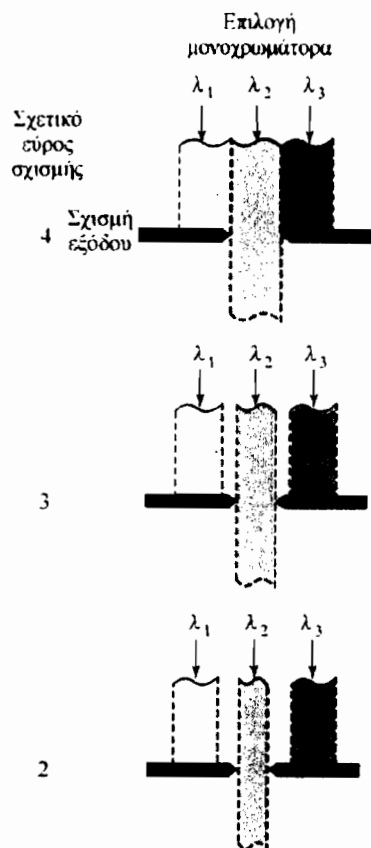
δραστικό εύρος ζώνης (effective bandwidth) =  $\frac{1}{2}$  εύρος ζώνης

$$D^{-1} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta y}$$

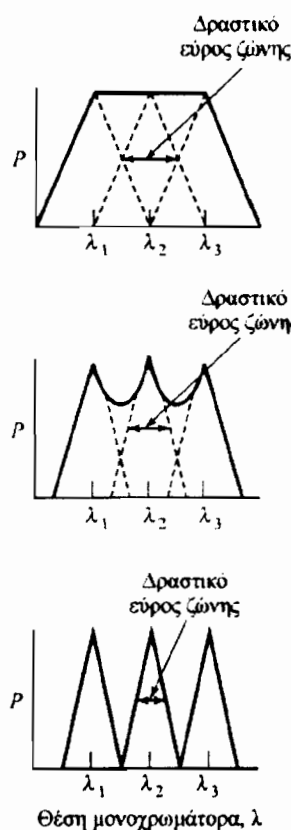
$\Delta\lambda$  και  $\Delta y$  = διαστήματα μηκών κύματος και γραμμικής απόστασης κατά μήκος του εστιακού επιπέδου

$$\Delta\lambda_{\text{δραστ}} = wD^{-1}$$

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

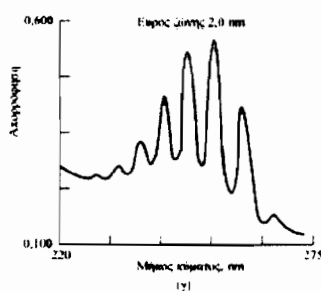
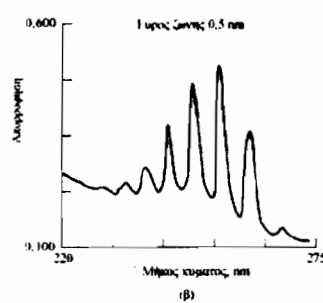
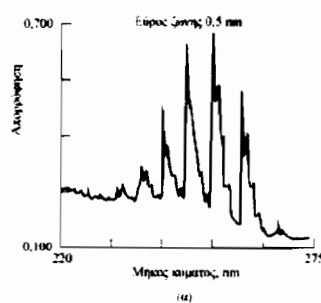


Ισχύς ακτινοβολίας  $P$  που διέρχεται από τη σχισμή εξόδου



Επίδραση του εύρους της σχισμής στα φάσματα\*

πλήρης διαχωρισμός δύο φασματικών κορυφών είναι δυνατός μόνο όταν το εύρος της σχισμής ρυθμισθεί στο μισό της διαφοράς των μηκών κύματος των δύο κορυφών



Επίδραση εύρους ζώνης στο φάσμα ατμών βενζολίου:  
(α) 0,5 nm, (β) 1,0 nm, (γ) 2,0 nm\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# ΔΟΧΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (ΚΥΨΕΛΙΔΕΣ)

υλικά διαπερατά από την ακτινοβολία  
στην περιοχή μελέτης

- χαλαζίας ή τηγμένη πυριτία ( $\text{SiO}_2$ )
- Πυριτικές ύαλοι (350 - 2000 nm)
- πλαστικές κυψελίδες : ορατή περιοχή
- υπέρυθρη περιοχή : παράθυρα κυψελίδων από κρυσταλλικό χλωριούχο νάτριο

# ΜΕΤΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

*transducer*

- ανθρώπινο μάτι
- φωτογραφική πλάκα
- φωτογραφικό φιλμ

**Οπτικός μεταλλάκτης**

μετατρέπει την ενέργεια ακτινοβολίας σε  
ηλεκτρικό σήμα

Ιδιότητες του ιδανικού μεταλλάκτη

- υψηλή ευαισθησία
- υψηλό λόγο σήματος-προς-θορύβο (S/N)
- σταθερή απόκριση σε μεγάλη περιοχή μηκών κύματος
- ταχεία απόκριση
- όταν δεν εκτίθεται σε ακτινοβολία το σήμα εξόδου πρέπει να είναι μηδενικό
- το ηλεκτρικό σήμα το οποίο παράγει ο μεταλλάκτης θα πρέπει να είναι ανάλογο προς την ένταση της ακτινοβολίας  $P$

$$S = kP$$

$S$  = ηλεκτρικό σήμα (π.χ.  $\mu A$ )

$k$  = ευαισθησία βαθμονόμησης

σκοτεινό ρεύμα (dark current),  $k_d$

μικρή σταθερή απόκριση απουσία ακτινοβολίας

$$S = kP + k_d$$

κυκλώματα αντιστάθμισης

# Τύποι μεταλλακτών ακτινοβολίας

## φωτοηλεκτρικοί ανιχνευτές

η απόκρισή τους εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

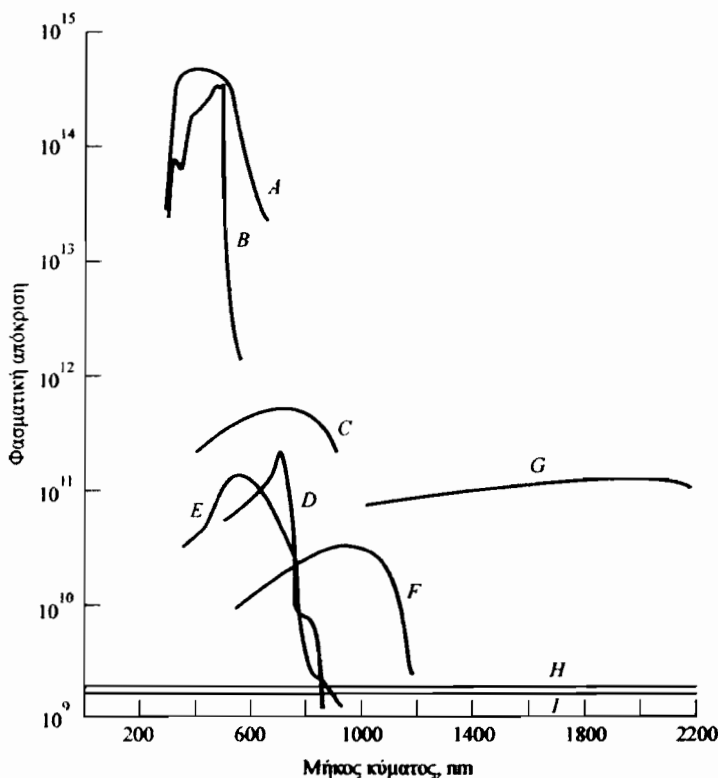
θόρυβος βολής (shot noise)

## θερμικοί μεταλλάκτες

απόκριση ανεξάρτητη από το μήκος κύματος

χαμηλότερη ευαισθησία από τους φωτοηλεκτρικούς μεταλλάκτες

θερμικός θόρυβος



Απόκριση διαφόρων τύπων φωτοηλεκτρικών μεταλλακτών (A-G) και θερμικών μεταλλακτών (H,I):

A, φωτοπολλαπλασιαστής, B, φωτοαγωγίμο στοιχείο CdS, C, φωτοβολταϊκό στοιχείο GaAs, D, φωτοαγωγίμο στοιχείο CdSe, E, φωτοβολταϊκό στοιχείο Se/SeO<sub>2</sub>,

F, φωτοδίοδος πυριτίου,

G, φωτοαγωγίμο στοιχείο PbS, H, θερμοζεύγος,

I, στοιχείο Golay\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

## **Φωτοηλεκτρικοί μεταλλάκτες**

### **φωτοβολταϊκά στοιχεία**

η ενέργεια ακτινοβολίας παράγει ρεύμα στη διεπιφάνεια στρώματος ημιαγωγού-μετάλλου

### **φωτολυχνίες**

εκπομπή ηλεκτρονίων από φωτοευαίσθητη επιφάνεια στην οποία προσπίπτει ακτινοβολία

### **φωτοπολλαπλασιαστές (PMT)**

η ακτινοβολία προσπίπτει σε φωτοευαίσθητη επιφάνεια, παράγονται ηλεκτρόνια τα οποία με διάφορες μεταλλικές επιφάνειες μετατρέπονται σε “καταρράκτη” ηλεκτρονίων

### **μεταλλάκτες φωτοαγωγιμότητας**

κατά την απορρόφηση ακτινοβολίας από έναν ημιαγωγό, παράγονται ηλεκτρόνια και οπές, τα οποία αυξάνουν την αγωγιμότητα

### **φωτοδίοδοι πυριτίου**

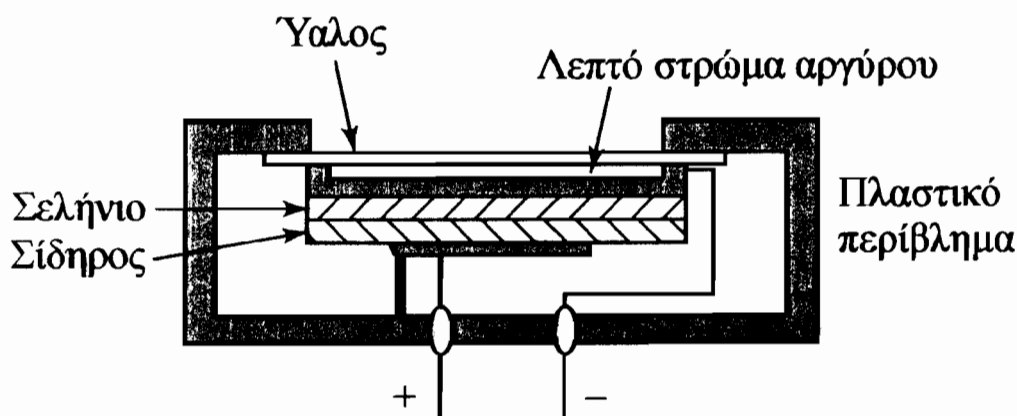
τα προσπίπτοντα φωτόνια αυξάνουν την αγωγιμότητα μιας ανάστροφα πολωμένης επαφής  $p-n$

### **μεταλλάκτες μεταφοράς φορτίου**

συλλέγουν και μετρούν φορτία που αναπτύσσονται σε κρύσταλλο πυριτίου, ως αποτέλεσμα απορρόφησης φωτονίων

## Φωτοβολταϊκά στοιχεία

- ορατή περιοχή
- μέγιστη ευαισθησία στα 550 nm
- μείωση κατά 10% της μέγιστης τιμής στα 350 και 750 nm
- ευαισθησία ανθρώπινου οφθαλμού



### Σχηματική παράσταση ενός στοιχείου στρώματος-φραγμού\*

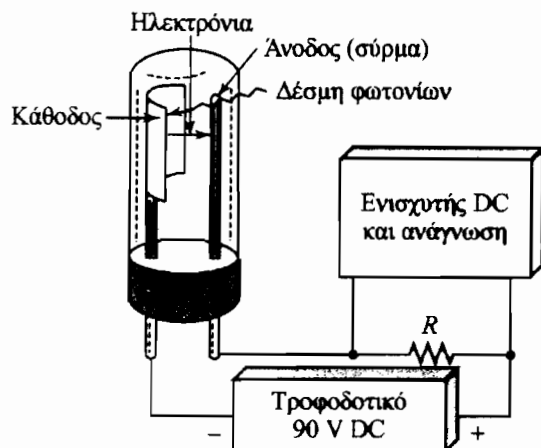
- επίπεδο ηλεκτρόδιο χαλκού ή σιδήρου
- στρώμα ημιαγωγού υλικού (π.χ. Se)
- ζεύγη φορέων ηλεκτρισμού, δηλ. ηλεκτρονίων και οπών
- παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

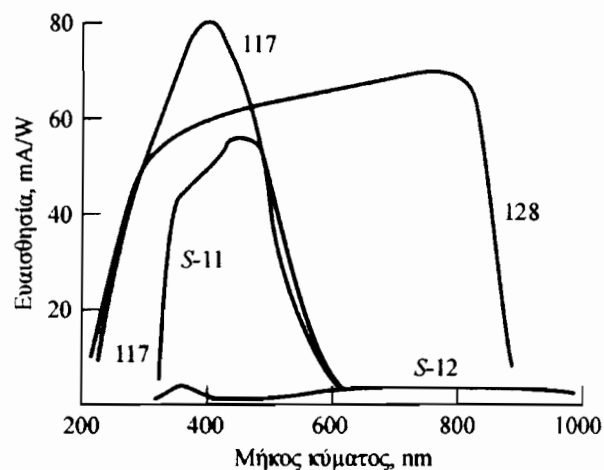


# Φωτολυχνίες κενού

vacuum phototube



Φωτολυχνία\*



Φασματική απόκριση  
φωτοευαίσθητων επιφανειών\*

## φωτοευαίσθητες επιφάνειες

διαλκαλικά κράματα (π.χ. τύπος 117)

κάλιο, καίσιο και αντιμόνιο

κράματα αλκαλίων (π.χ. Na/K/ Cs/Sb)

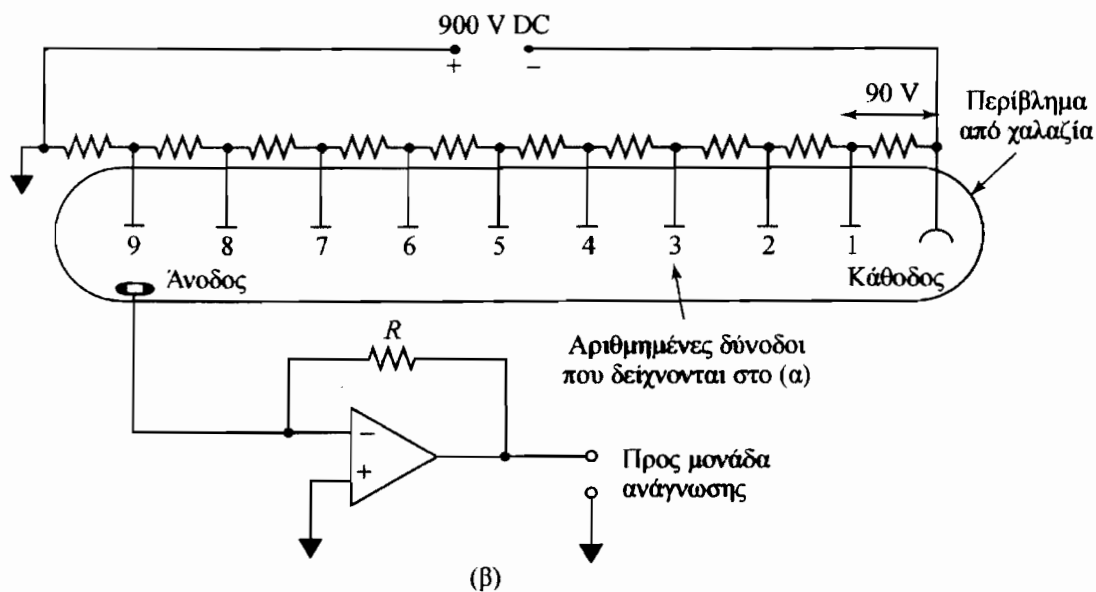
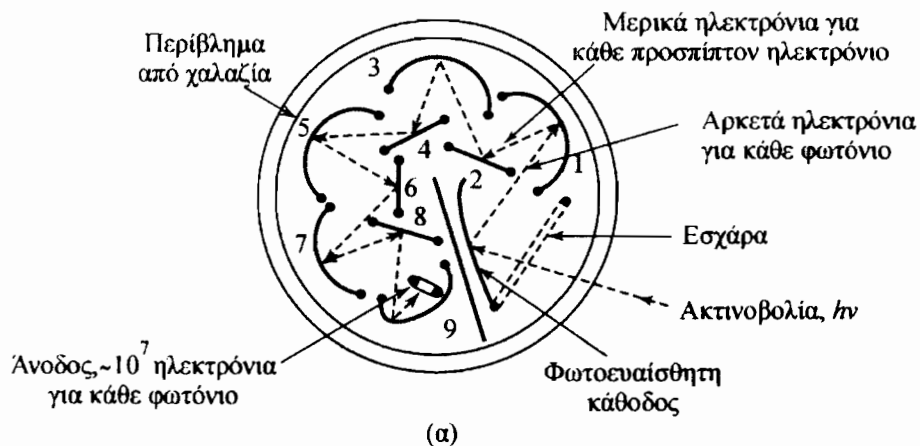
μικρό σκοτεινό ρεύμα

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# Φωτοπολλαπλασιαστές

photomultiplier tubes, PMTs

9 δύνοδοι: 1 φωτοηλεκτρόνιο  $\rightarrow 10^6$  έως  $10^7$  ηλεκτρόνια

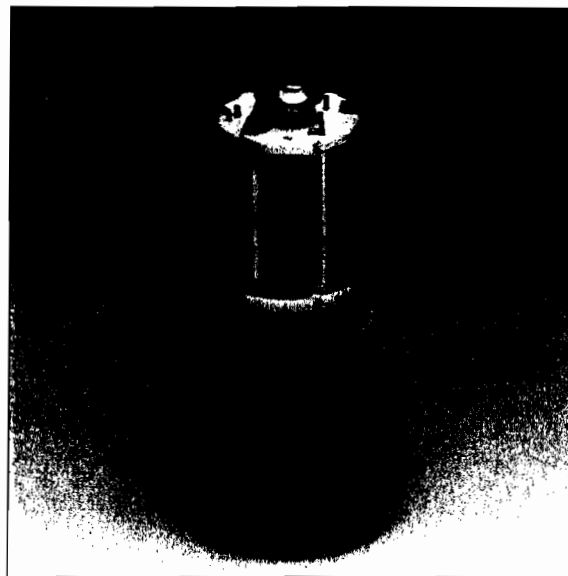


Φωτοπολλαπλασιαστής\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

### FEATURES

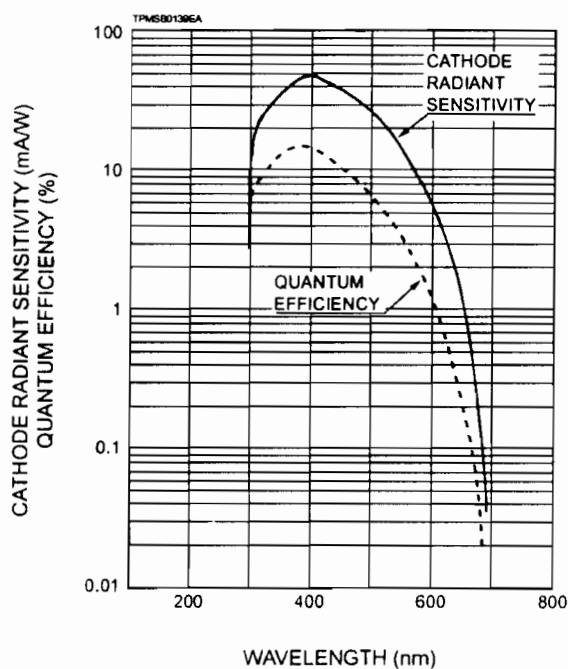
- 28mm (1-1/8 Inch) Diameter Side-on
- 300 to 650nm Spectral Response
- Low Dark Current Visible Range Photocathode



### GENERAL

Parameter		Description/Value	Unit
Spectral Response		300 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response		400	nm
Photo-cathode	Material	Sb-Cs	—
	Minimum Useful Size	8 × 24	mm
Window Material		Borosilicate glass	—
Dynode	Structure	Circular-cage	—
	Number of Stages	9	—
Direct Interelectrode Capacitances	Anode to Last Dynode	4	pF
	Anode to All Other Electrodes	6	pF
Base		JEDEC No. B11-88	—
Suitable Socket		E678-11A	—

Figure 1: Typical Spectral Response



# PHOTOMULTIPLIER TUBE 1P21

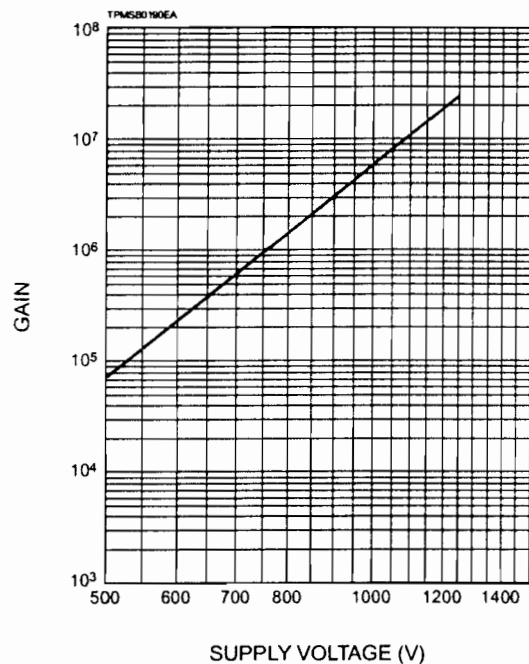
## MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

Parameter	Value	Unit
Supply Voltage	Between Anode and Cathode	1250 Vdc
	Between Anode and Last Dynode	250 Vdc
Average Anode Current	0.1	mA
Ambient Temperature	-80 to +50	°C

## CHARACTERISTICS (at 25°C)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
Anode Sensitivity	Luminous (2856K)	50	250	A/lm
	Radiant at 400nm	—	$3.0 \times 10^5$	A/W
Cathode Sensitivity	Luminous (2856K)	25	40	$\mu\text{A/lm}$
	Radiant at 400nm	—	48	mA/W
	Quantum Efficiency	—	13 at 350nm	%
Gain	—	$6.25 \times 10^6$	—	—
Anode Dark Current (after 30 minute)	—	1	5	nA
Time Response	Anode Pulse Rise Time	—	2.2	ns
	Electron Transit Time	—	22	ns

Figure 2: Typical Gain Characteristics

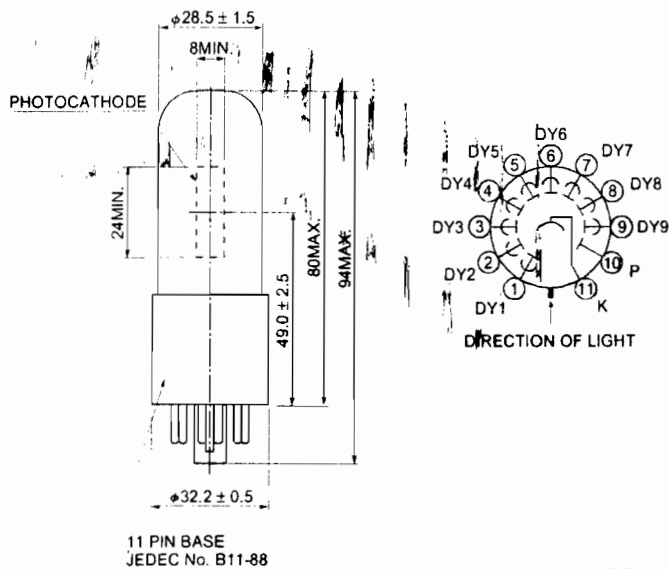


## VOLTAGE DISTRIBUTION RATIO AND SUPPLY VOLTAGE

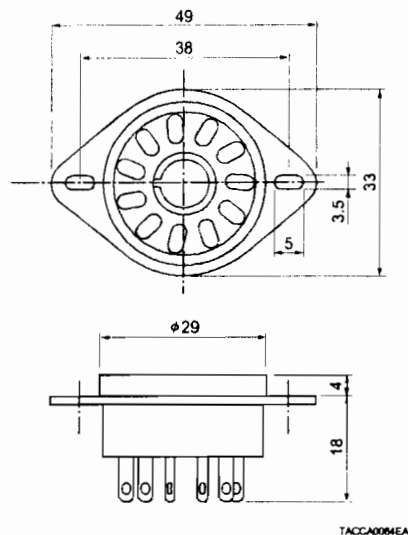
Electrodes	K	Dy1	Dy2	Dy3	Dy4	Dy5	Dy6	Dy7	Dy8	Dy9	P
Ratio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Supply Voltage: 1000Vdc, K: Cathode, Dy: Dynode, P: Anode

Figure 3: Dimensional Outline and Basing Diagram (Unit: mm)



Socket (Option)  
(E678-11A)



# HAMAMATSU

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Electron Tube Center

314-5, Shimokanzo, Toyooka-village, Iwata-gun, Shizuoka-ken, 438-0193, Japan, Telephone: (81)539/62-5248, Fax: (81)539/62-2205

U.S.A.: Hamamatsu Corporation, 360 Foothill Road, P. O. Box 8910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1)908-231-0960, Fax: (1)908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49)8152-375-0, Fax: (49)8152-2658

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L., 3, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: (33)1 69 53 71 00, Fax: (33)1 69 53 71 10

United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited, Lough Point, 2 Gladbeck Way, Windmill Hill, Entfield, Middlessex EN2 7JA, United Kingdom, Telephone: (44)181-367-3560, Fax: (44)181-367-6384

North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB, Smedsvägen 12, SE-171 41 SOLNA, Sweden, Telephone: (46)8-509-031-00, Fax: (46)8-509-031-01

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L., Strada della Moa, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39)02-935 81 733, Fax: (39)02-935 81 741

TPMS1061E01  
FEB. 1999

Fast Time Response (Especially Narrow T.T.S.)  
13mm (1/2 Inch) Diameter, 10-Stage, Bialkali Photocathode, Head-On Type

## GENERAL

Parameter		Description/Value	Unit
Spectral Response		300 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response		420	nm
Photocathode	Material	Bialkali	—
	Minimum Effective Area	10	mm dia.
Window Material		Borosilicate glass	—
Dynode	Structure	Linear focused	—
	Number of Stages	10	—
Base		13-pin glass base	—
Weight		Approx. 7	g
Suitable Socket		E678-13A (supplied)	—

## MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

Parameter		Value	Unit
Supply Voltage	Between Anode and Cathode	1250	Vdc
	Between Anode and Last Dynode	350	Vdc
Average Anode Current		0.03	mA
Ambient Temperature		-80 to +50	°C

## CHARACTERISTICS (at 25°C)

Parameter		Min.	Typ.	Max.	Unit
Cathode Sensitivity	Luminous (2856K)	40	95	—	μA/lm
	Radiant at 420nm	—	76	—	mA/W
	Blue (CS 5-58 filter)	—	9.5	—	μA/lm-b
Anode Sensitivity	Luminous (2856K)	30	100	—	A/lm
Gain		—	1.1 × 10 <sup>6</sup>	—	—
Anode Dark Current (after 30min. storage in darkness)		—	1	15	nA
Time Response	Anode Pulse Rise Time	—	1.1	—	ns
	Electron Transit Time	—	12	—	ns
	Transit Time Spread (FWHM)	—	0.5	—	ns

## VOLTAGE DISTRIBUTION RATIO AND SUPPLY VOLTAGE

Electrodes	K	Dy1	Dy2	Dy3	Dy4	Dy5	Dy6	Dy7	Dy8	Dy9	Dy10	P
Ratio	3	1	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Supply Voltage: 1000Vdc, K: Cathode, Dy: Dynode, P: Anode

# PHOTOMULTIPLIER TUBE R4124

Figure 1: Typical Spectral Response

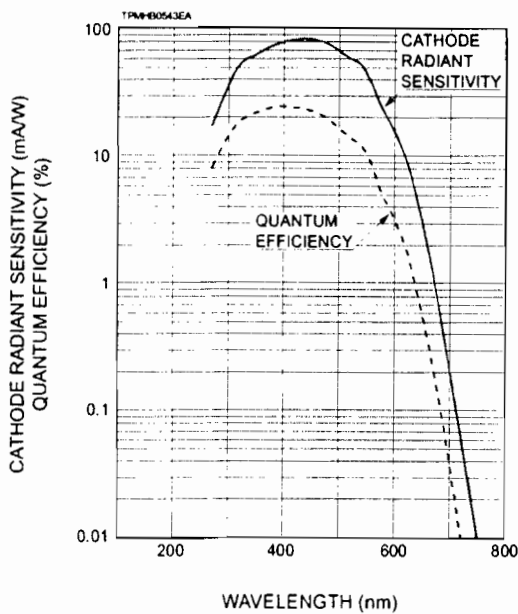


Figure 2: Typical Gain

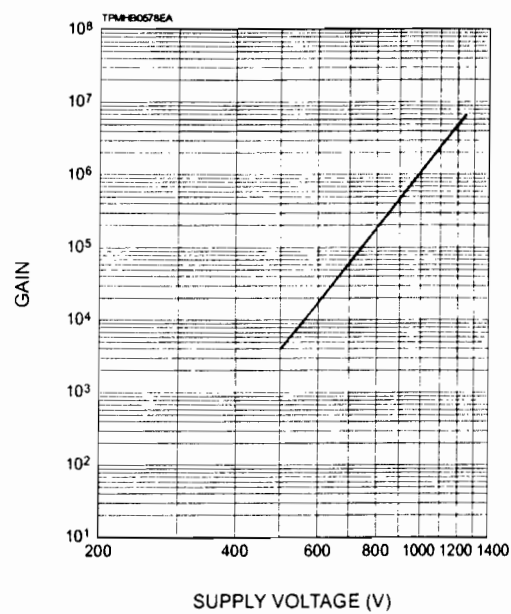
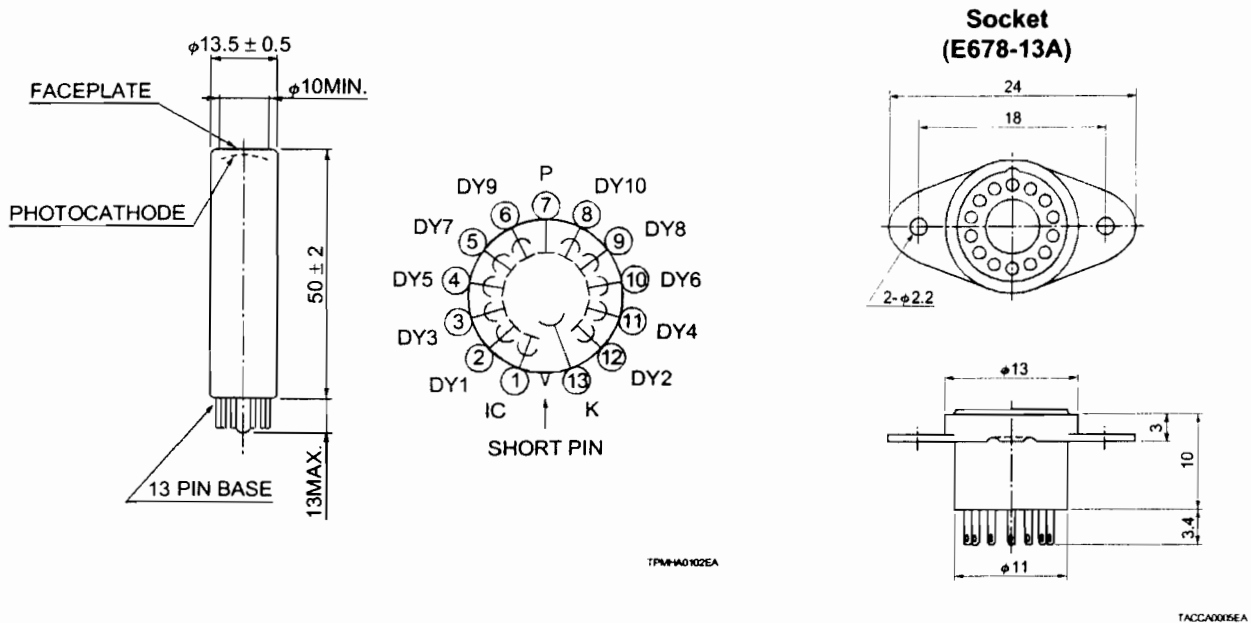


Figure 3: Dimensional Outline and Basing Diagram (Unit: mm)



## HAMAMATSU

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Electron Tube Center

314-5, Shimokanzo, Toyooka-village, Iwata-gun, Shizuoka-ken, 438-0193, Japan, Telephone: (81)539/62-5248, Fax: (81)539/62-2205

U.S.A.: Hamamatsu Corporation, 360 Foothill Road, P.O. Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1)908-231-0960, Fax: (1)908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49)8152-375-0, Fax: (49)8152-2658

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L., 8, Rue du Saule Trappu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: (33)1 69 53 71 00, Fax: (33)1 69 53 71 10

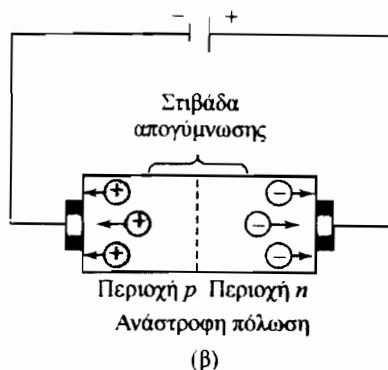
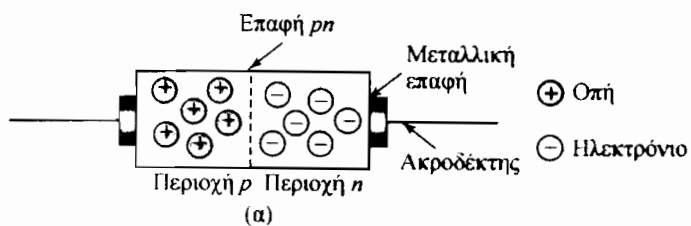
United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited, Lough Point, 2 Gladbeck Way, Windmill Hill, Entfield, Middlesex EN2 7JA, United Kingdom, Telephone: (44)181-367-3560, Fax: (44)181-367-6384

North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB, Färögatan 7, S-164 40 Kata Sweden, Telephone: (46)8-703-29-50, Fax: (46)8-750-58-95

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L., Strada della Mosa, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39)02-935 81 733, Fax: (39)02-935 81 741

TPMH1233E01  
SEPT. 1998

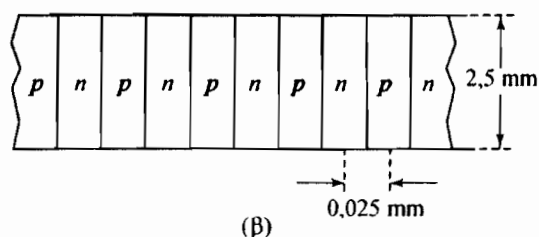
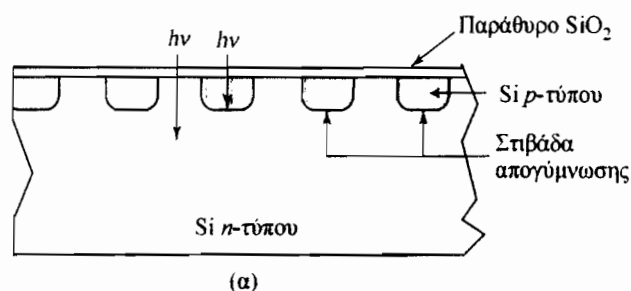
## Μεταλλάκτες διόδων πυριτίου



(α) Σχηματική διάταξη διόδου πυριτίου  
(β) Σχηματισμός στιβάδας απογύμνωσης ζώνης, η οποία εμποδίζει τη ροή ηλεκτρισμού σε συνθήκες ανάστροφης πόλωσης\*

## Συστοιχίες φωτοδiodων

Ανιχνευτής ανάστροφα πολωμένης γραμμικής συστοιχίας διόδων\*



\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# Θερμικοί μεταλλάκτες

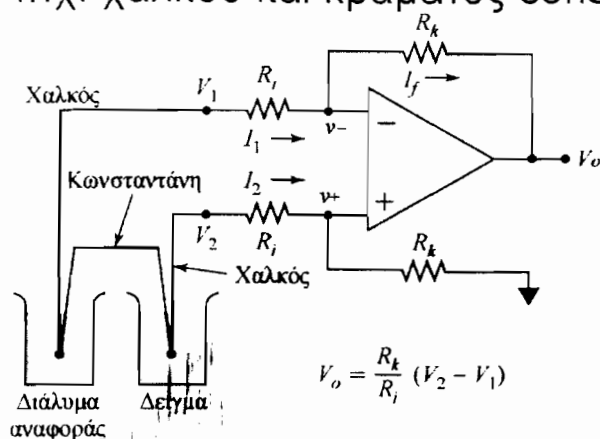
χρησιμοποιούνται στην υπέρυθρη πειροχή, επειδή τα φωτόνια αυτής της περιοχής δεν διαθέτουν την απαιτούμενη ενέργεια για να προκαλέσουν φωτοεκπομπή ηλεκτρονίων

## Θερμοζεύγη

thermocouple

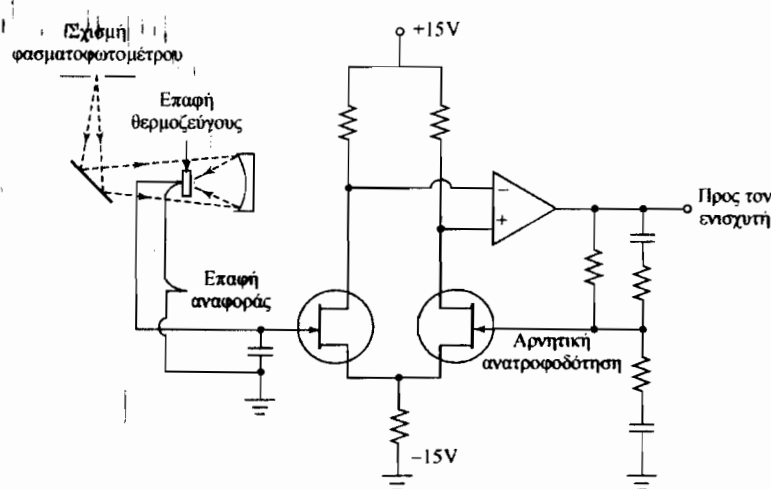
επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων

π.χ. χαλκού και κράματος constantan (Cu 55% - Ni 45%)



Τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής διαφοράς για τη μέτρηση της τάσης εξόδου δύο θερμοζευγών\*

διαφορά δυναμικού ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας των συνδέσμων



## Θερμοζεύγος και προενισχυτής\*

Βολόμετρα-θερμίστορ

Πυροηλεκτρικοί μεταλλάκτες

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)



# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

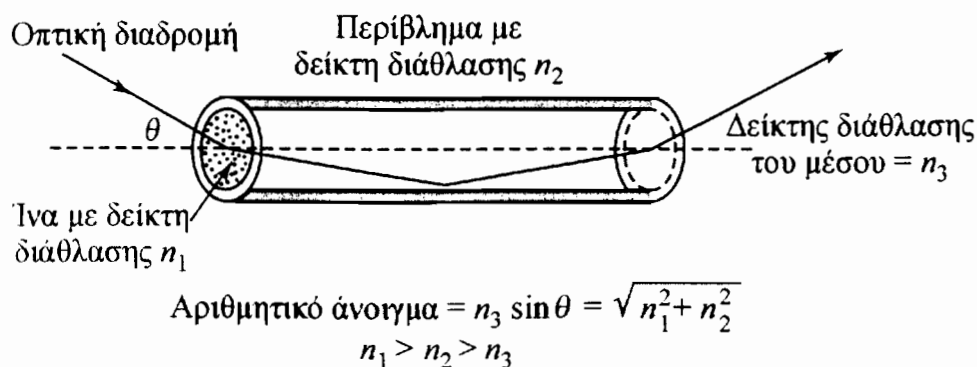
Ο επεξεργαστής σήματος (signal processor) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή, η οποία ενισχύει το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται στο μεταλλάκτη

- κλασικά όργανα βελόνας
- ψηφιακά όργανα
- κλίμακες των ποτενσιομέτρων
- σωλήνες καθοδικών ακτίνων (π.χ. οθόνες παλμογράφων και υπολογιστών)

## Διατάξεις απαρίθμησης φωτονίων απαρίθμηση φωτονίων (photon counting)

ένταση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη με τον αριθμό των παλμών στη μονάδα του χρόνου

# ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ



Σχηματική παρουσίαση της οπτικής διαδρομής του φωτός μέσα από μια οπτική ίνα\*

π.χ. πυρήνας πολυ(μεθυλομεθακρυλικού) υλικού με δείκτη διάθλασης 1,5 καλυπτόμενου με μανδύα πολυμερούς υλικού με δείκτη διάθλασης 1,4

## Αισθητήρες οπτικών ινών

### αισθητήρες οπτικών ινών ή οπτροδία (optrodes)

Η αλληλεπίδραση αναλύτη με αντιδραστήριο ακινητοποιημένο στο ένα άκρο της ίνας προκαλεί μεταβολή στην απορρόφηση, ανακλαστικότητα, φθορισμό ή φωταύγεια, η οποία μεταδίδεται στον ανιχνευτή μέσω της οπτικής ίνας

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

## **φασματοσκόπιο (spectroscope)**

οπτικό όργανο για οπτική (“με το μάτι”) αναγνώριση ατομικών γραμμών εκπομπής

## **χρωματόμετρο (colorimeter)**

όργανο μέτρησης της απορρόφησης με ανιχνευτή το ανθρώπινο μάτι - σύγκριση του χρώματος με ένα ή περισσότερα πρότυπα δείγματα

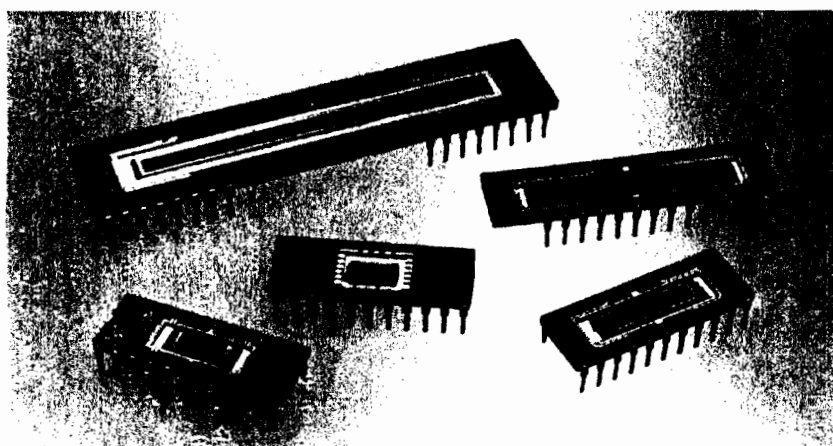
## **φωτόμετρο (photometer)**

πηγή, φίλτρο, φωτοηλεκτρικό μεταλλάκτη, επεξεργαστή σημάτων και σύστημα ανάγνωσης αποτελεσμάτων  
χρωματόμετρα ή φωτοηλεκτρικά χρωματόμετρα

## **φθορισμόμετρα (fluorimeters)**

## **φασματογράφος (spectrograph)**

φάσμα της αναλυόμενης ακτινοβολίας  
φωτογραφικό φιλμ ή πλάκα, συστοιχίες φωτοδιόδων ή στοιχείων μεταφοράς φορτίου



Συστοιχίες  
διόδων  
διαφόρων  
μεγεθών\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

φασματόμετρο (spectrometer)

πληροφορίες για την ένταση της ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος

φασματοφωτόμετρο (spectrophotometer)

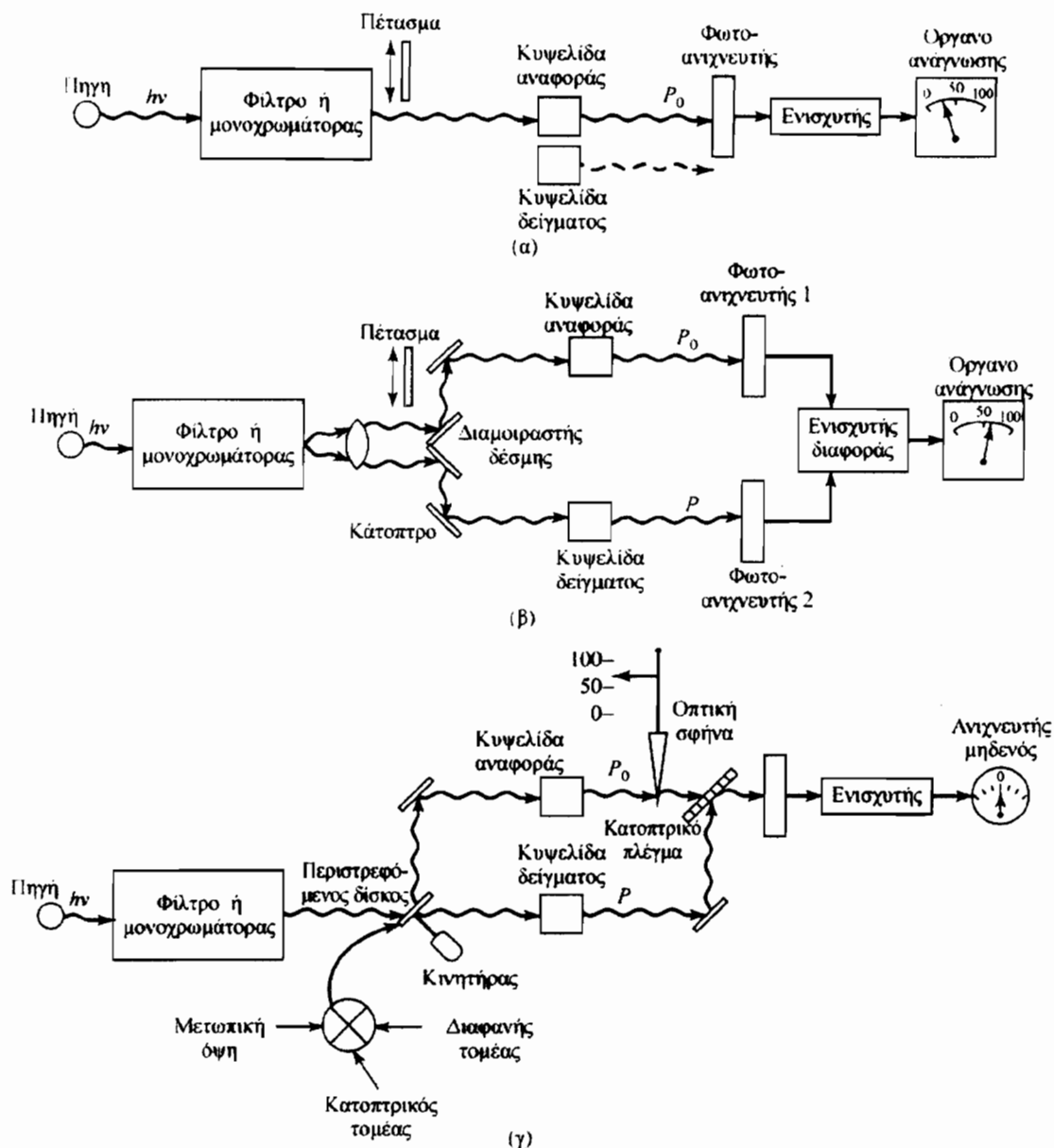
φασματόμετρο με μία ή περισσότερες σχισμές εξόδου και φωτοηλεκτρικούς μεταλλάκτες, οι οποίοι επιτρέπουν τον προσδιορισμό του λόγου των εντάσεων δύο δεσμών σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, όπως γίνεται στη φασματοσκοπία απορρόφησης

φασματοφθορισμόμετρο (spectrofluorimeter)

απλής δέσμης (single beam)

διπλής δέσμης (double-beam)

πολυδιαυλικά όργανα



Διάφοροι τεχνικοί σχεδιασμοί φωτομέτρων και φασματοφωτομέτρων\*:

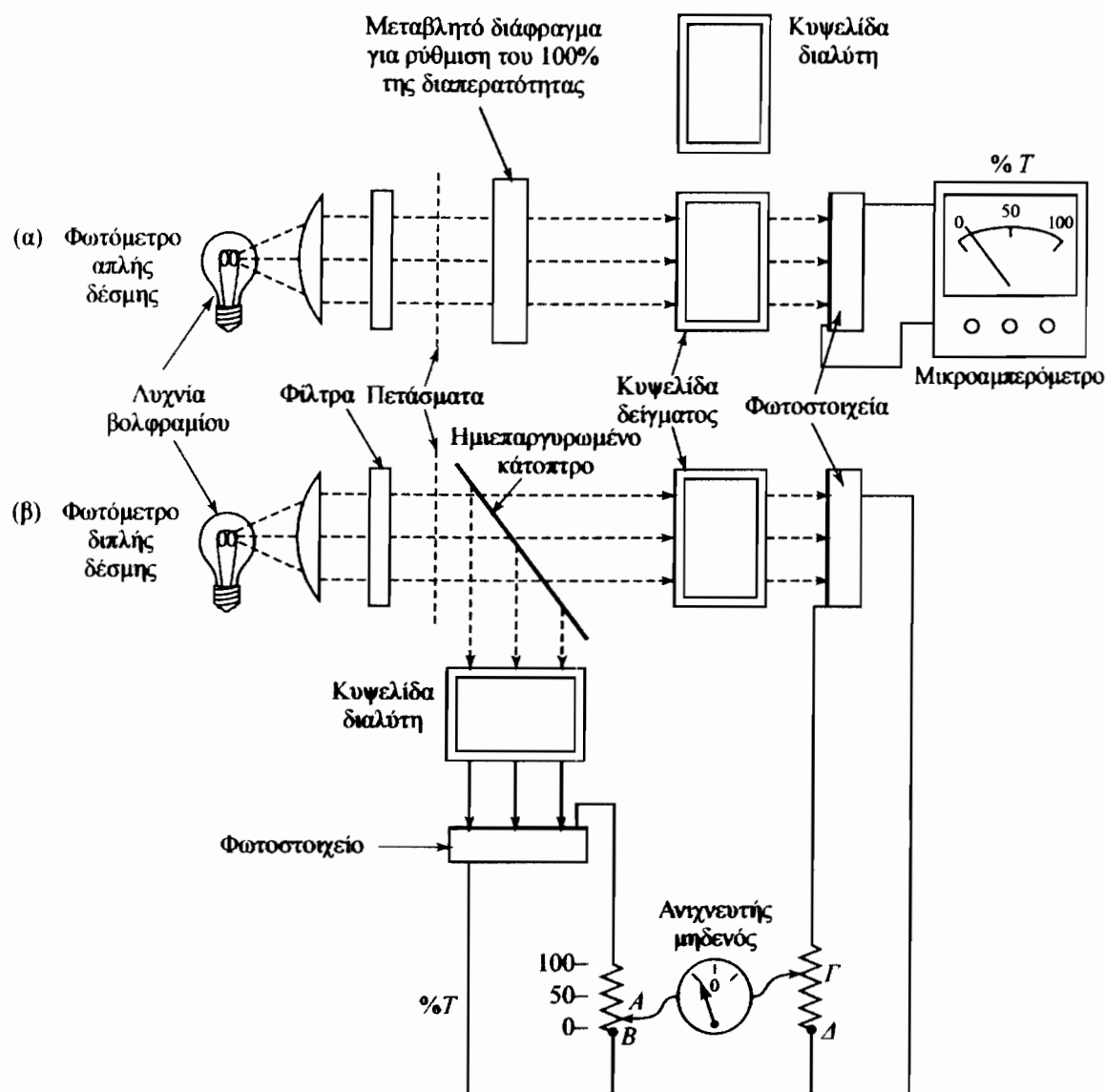
(α) Όργανο απλής δέσμης

(β) Όργανο διπλής δέσμης με δέσμες διαχωρισμένες στο χώρο

(γ) Όργανο διπλής δέσμης με δέσμες διαχωρισμένες στο χρόνο

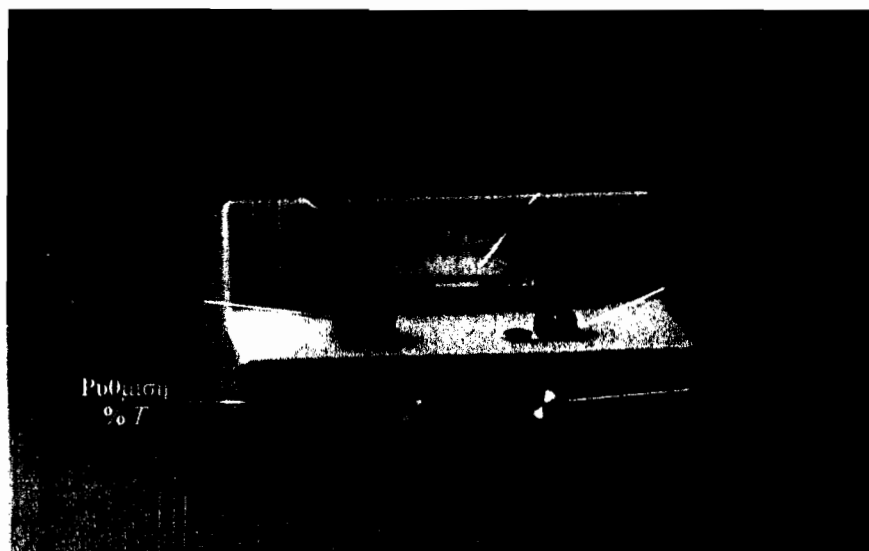
\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)

# Μερικά τυπικά όργανα

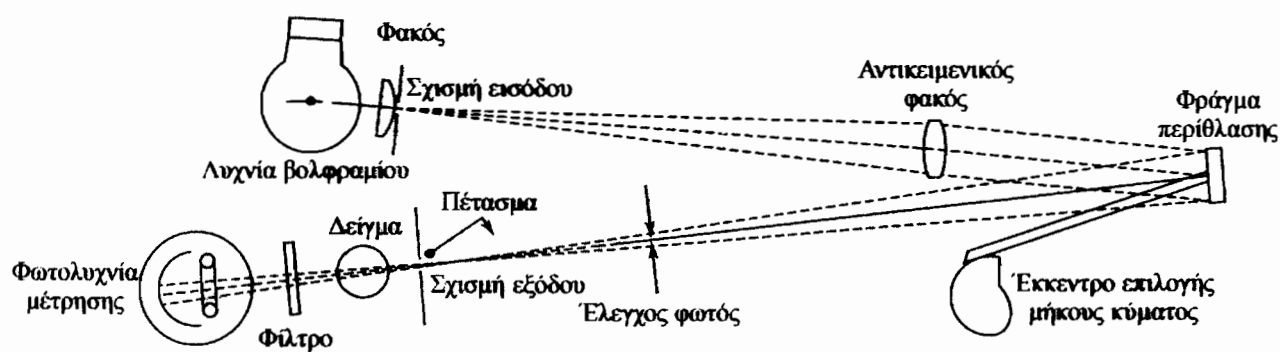


Φωτόμετρο (α) απλής και (β) διπλής δέσμης\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταντάκη)



(α)



(β)

## Φασματοφωτόμετρο Spectronic 20\*

\* (ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη)