

Οπτικές Τεχνικές Ανάλυσης

Σύνολο τεχνικών στις οποίες μετράται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που πηγάζει από την ύλη (άτομα, μόρια ή ιόντα) ή αλληλεπιδρά με αυτήν.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία :

- είναι μορφή ενέργειας με ιδιότητες σωματιδίου και κύματος
- χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος (λ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών κορυφών.
- η συχνότητα, ν , είναι ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου.
- η συχνότητα και το μήκος του κύματος συνδέονται με τη σχέση: $\nu = c/\lambda$
c: η ταχύτητα του φωτός στο κενό ($3 \cdot 10^{10}$ cm s⁻¹)

κυματαριθμός: $\bar{\nu} = 1/\lambda$

Η ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια των οποίων η ενέργεια είναι κβαντισμένη και δίνεται από την εξίσωση Planck: $E = h\nu$

E: ενέργεια των φωτονίων

h:σταθερά Planck ($6,626 \cdot 10^{-27}$ erg s⁻¹)

• **Μοριακή Φασματοσκοπία**

1. **Φασματοσκοπία υπεριώδους-ορατού (UV-VIS)**
2. **Υπέρυθρη φασματοσκοπία (IR)**
3. **Φασματοσκοπία Μαζών (Mass Spectrometry)**
4. **Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού**

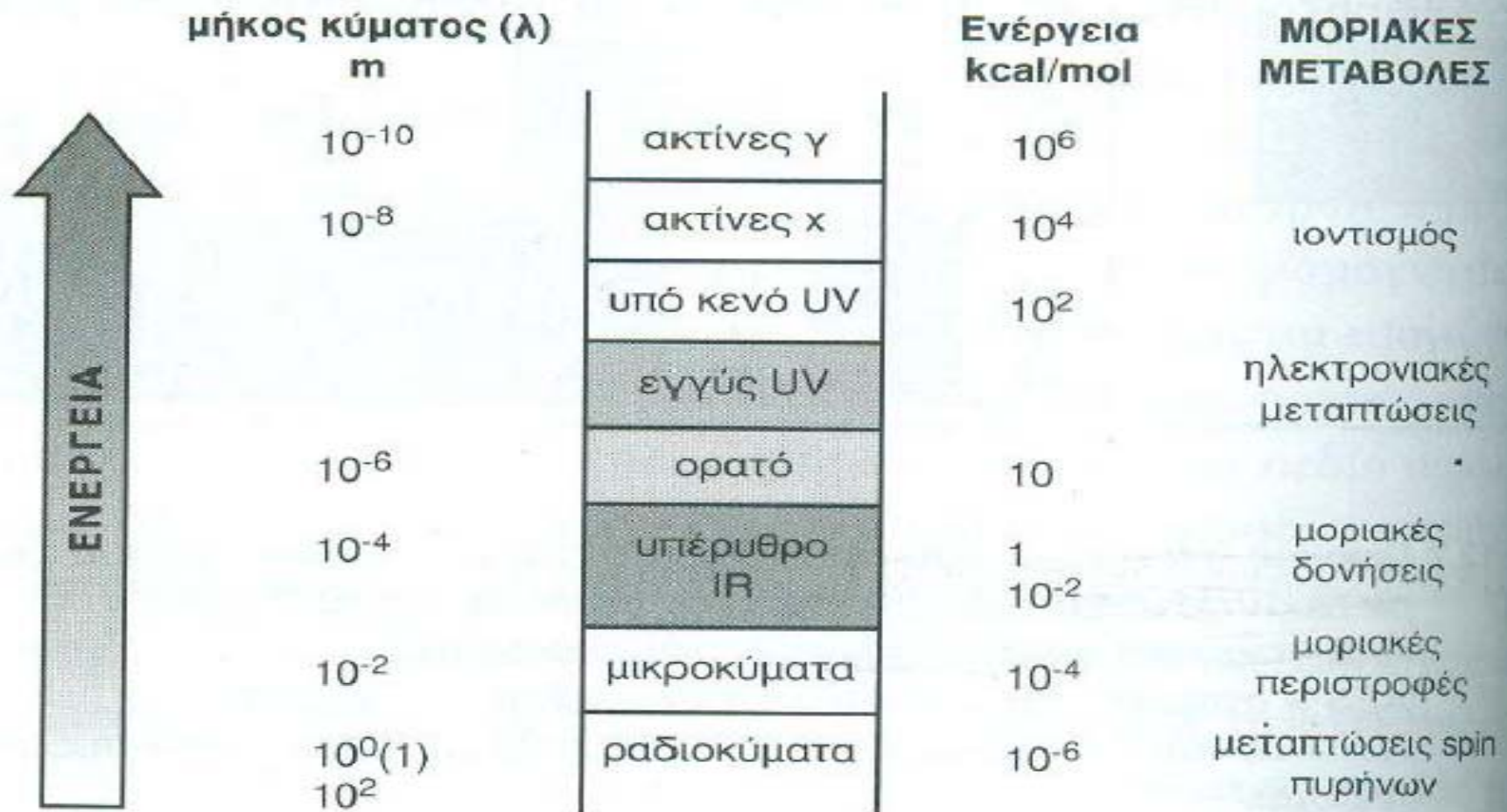
ΜΟΡΙΑΚΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ

ανάγκη μοριακής ανάλυσης

- Ένα μοριακό σύστημα χαρακτηρίζεται από την ενεργειακή του κατάσταση με βάση την ηλεκτρονιακή του δομή, την ενέργεια δόνησης και περιστροφής των ατόμων από τα οποία συγκροτείται.
- Με την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τα μόρια μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια και να διεγερθούν (μοριακή φασματοσκοπία απορρόφησης). Αυτή η διεγερμένη κατάσταση διαρκεί συνήθως 10^{-8} s.
- Κατά την αποδιέγερση, το μόριο ακτινοβολεί προς όλες τις κατευθύνσεις, με συχνότητα ίδια ή μικρότερη της ακτινοβολίας που απορροφήθηκε.
- Τα μοριακά φάσματα, είτε με απορρόφηση είτε με εκπομπή, μπορούν να συσχετιστούν με την ποιοτική ή ποσοτική σύσταση του δείγματος.

Απορρόφηση ακτινοβολίας: όταν μεταφέρεται ενέργεια από τη δέσμη ακτινοβολίας στο δείγμα.

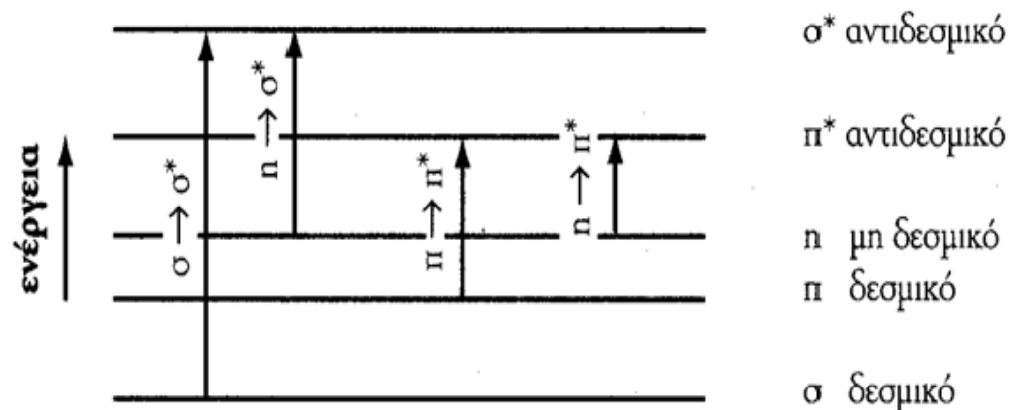
Εκπομπή ακτινοβολίας: όταν αποβάλλεται ενέργεια από το δείγμα που είναι σε διεγερμένη κατάσταση υπό μορφή φωτονίων, ώστε να επιστρέψει στη θεμελιώδη του κατάσταση ή σε χαμηλότερης στάθμης ενέργεια.



Φασματοσκοπία Υπεριώδους-Ορατού (UV-VIS)

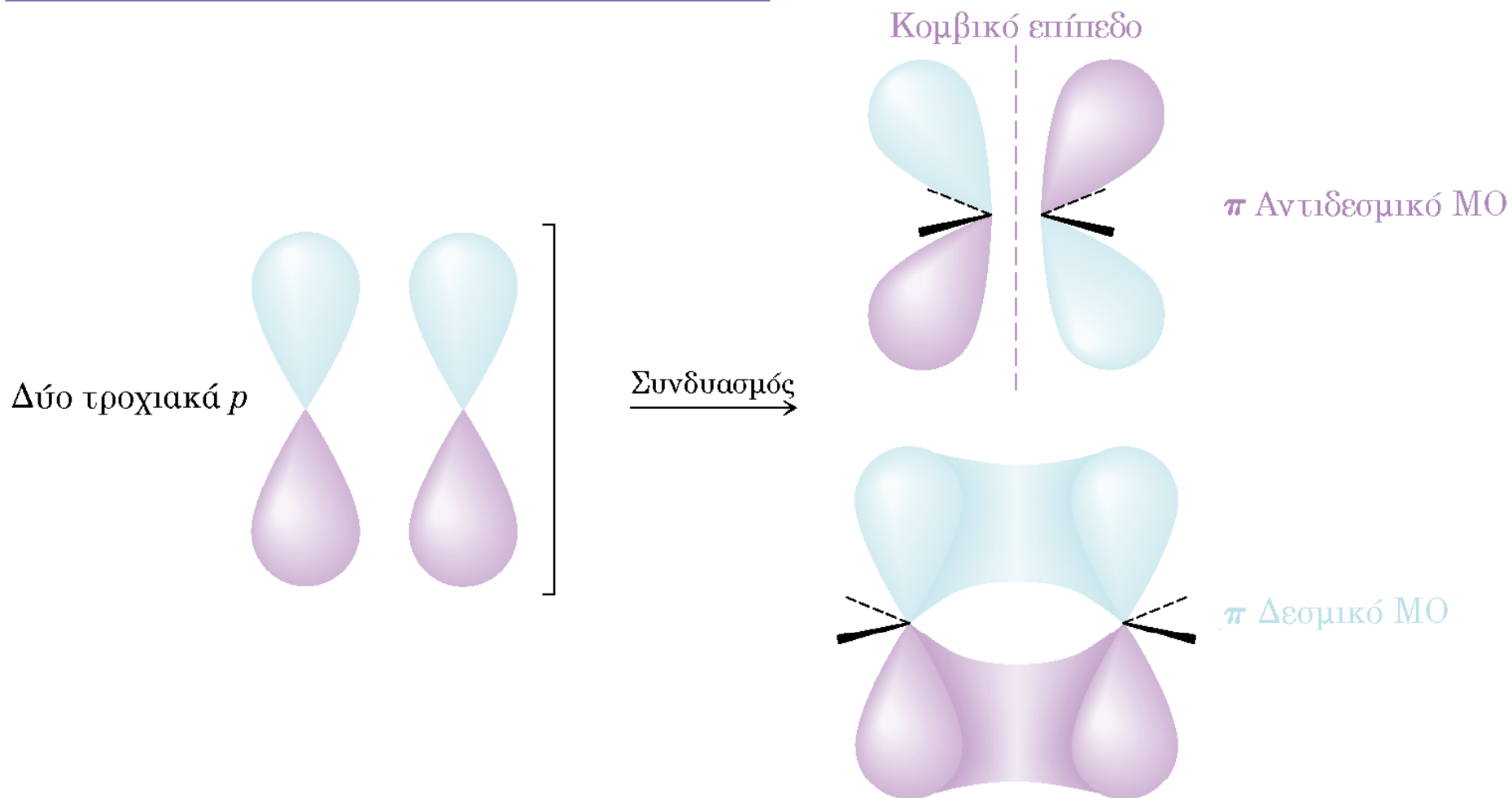
- Αναφέρεται στην απορρόφηση μονοχρωματικής ακτινοβολίας από τα συστατικά του δείγματος στην περιοχή UV (190-400 nm) και την ορατή περιοχή (400-780 nm).
- Τα φάσματα UV-VIS δίνουν πληροφορίες για ορισμένες ομάδες του μορίου (χρωμοφόρες ομάδες) που απορροφούν ακτινοβολία.
- Με την απορρόφηση υπεριώδους και ορατής ακτινοβολίας προκύπτουν ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις σε μοριακά τροχιακά υψηλότερης ενέργειας.

χρωμοφόρος ομάδα	ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις	λ_{\max} / nm
-C-C-	$\sigma \rightarrow \sigma^*$	150
-O-	$n \rightarrow \sigma^*$	185
-N-	$n \rightarrow \sigma^*$	195
-S-	$n \rightarrow \sigma^*$	195
>C=O	$\pi \rightarrow \pi^*$	190
	$n \rightarrow \pi^*$	300
>C=C<	$\pi \rightarrow \pi^*$	190

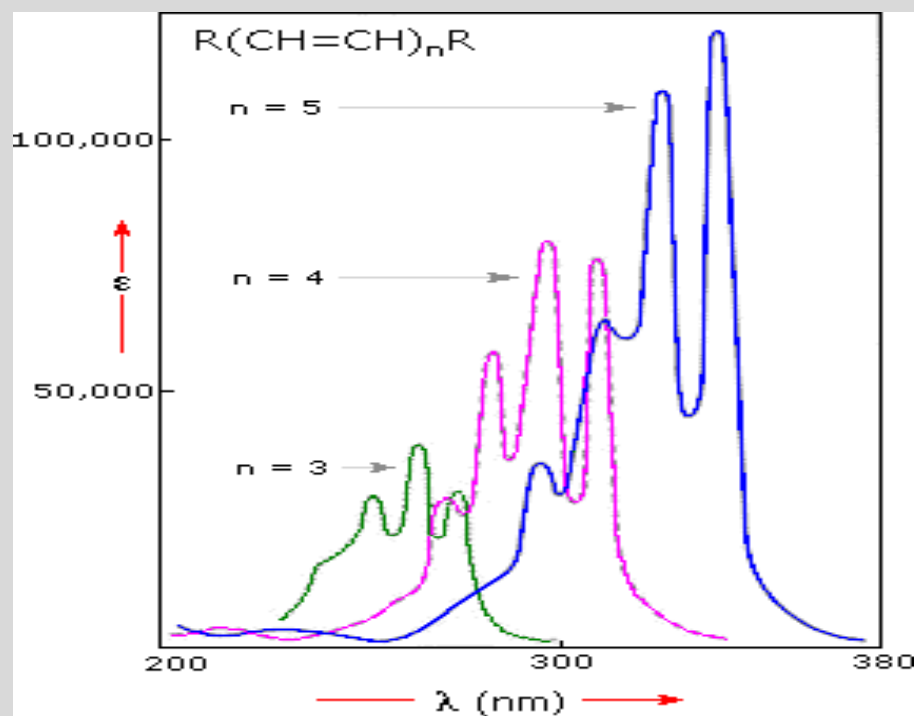
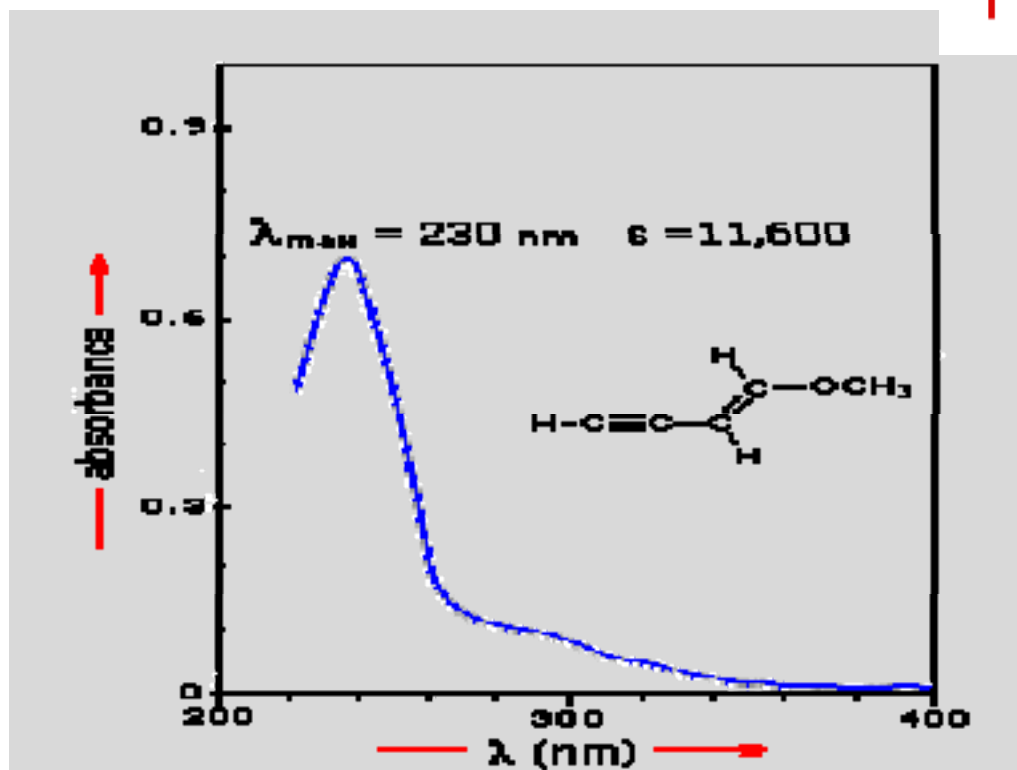
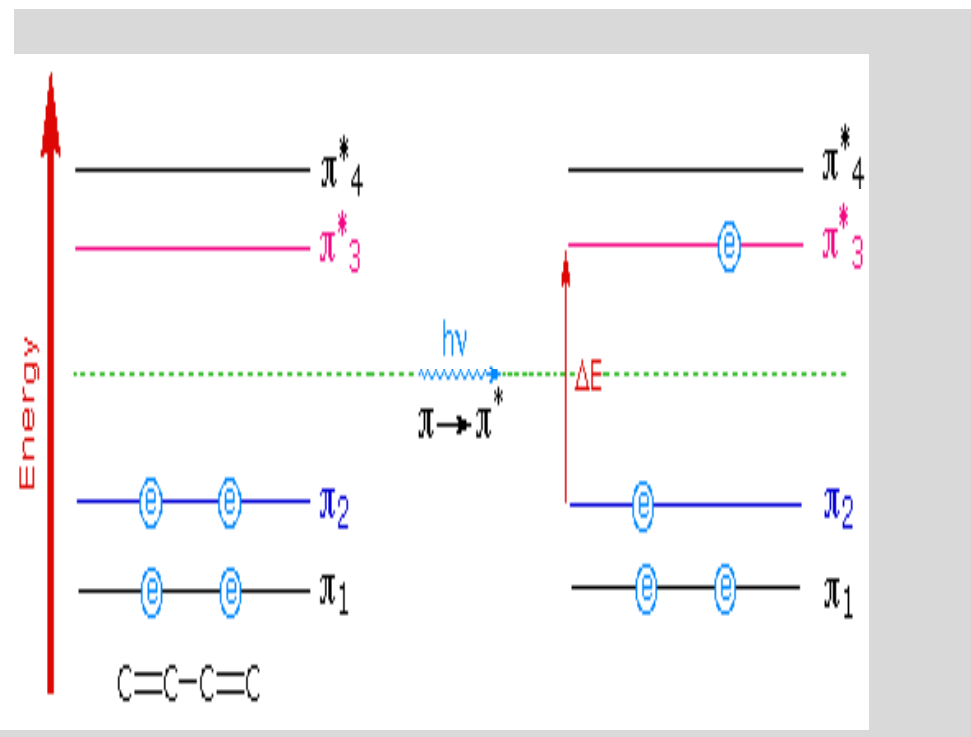
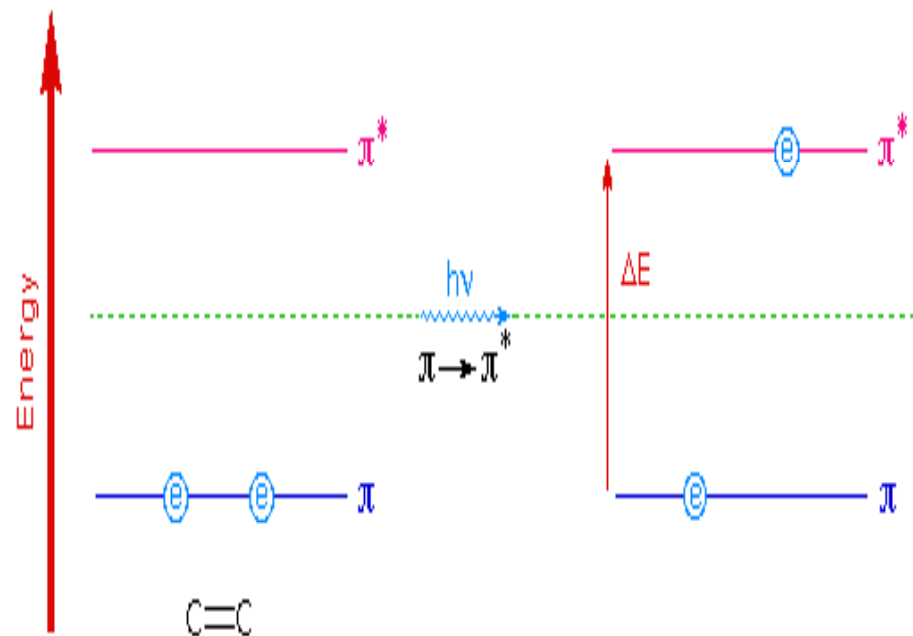


Παραδείγματα ηλεκτρονιακών μεταπτώσεων που προκαλούνται με υπεριώδη ακτινοβολία.

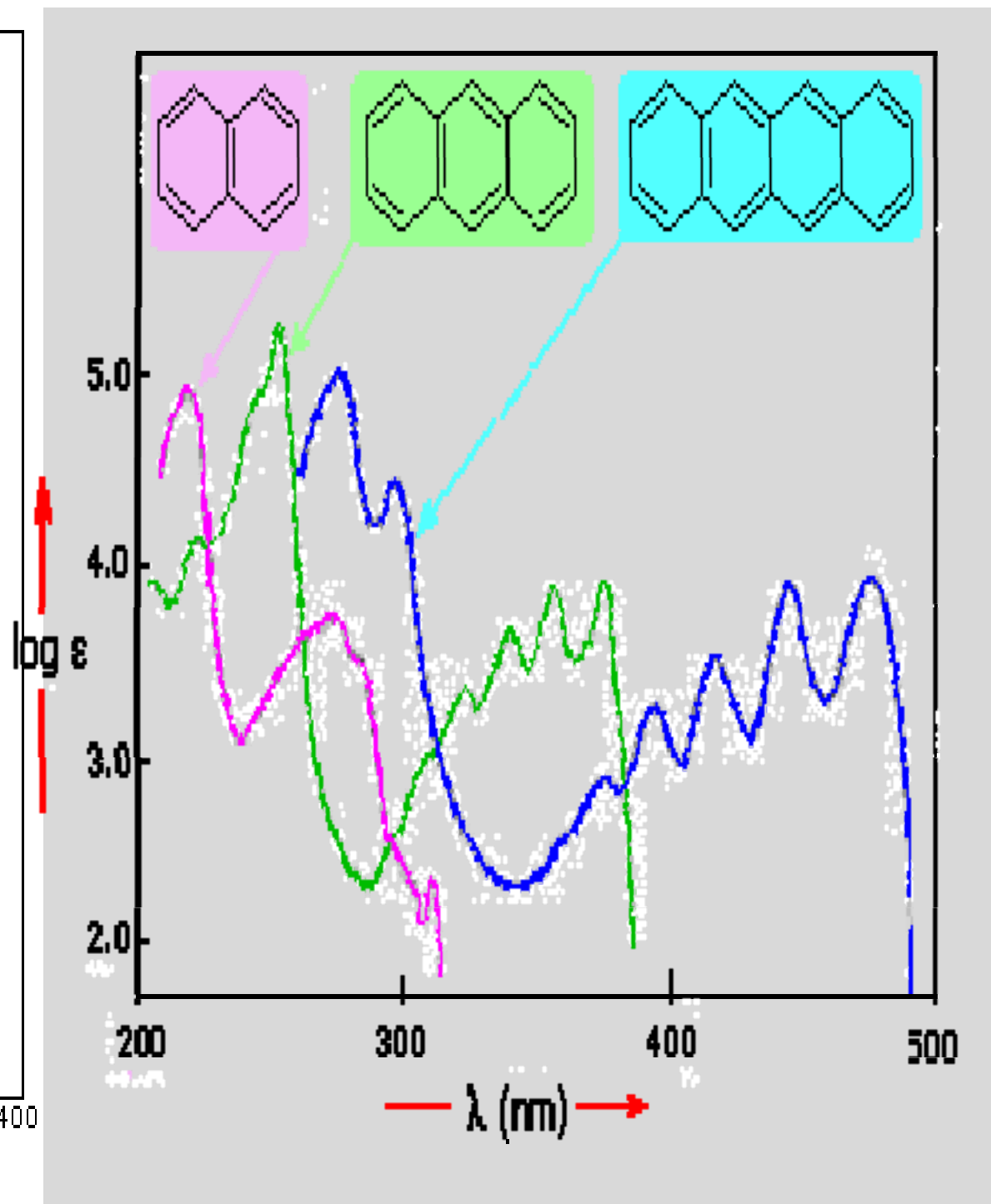
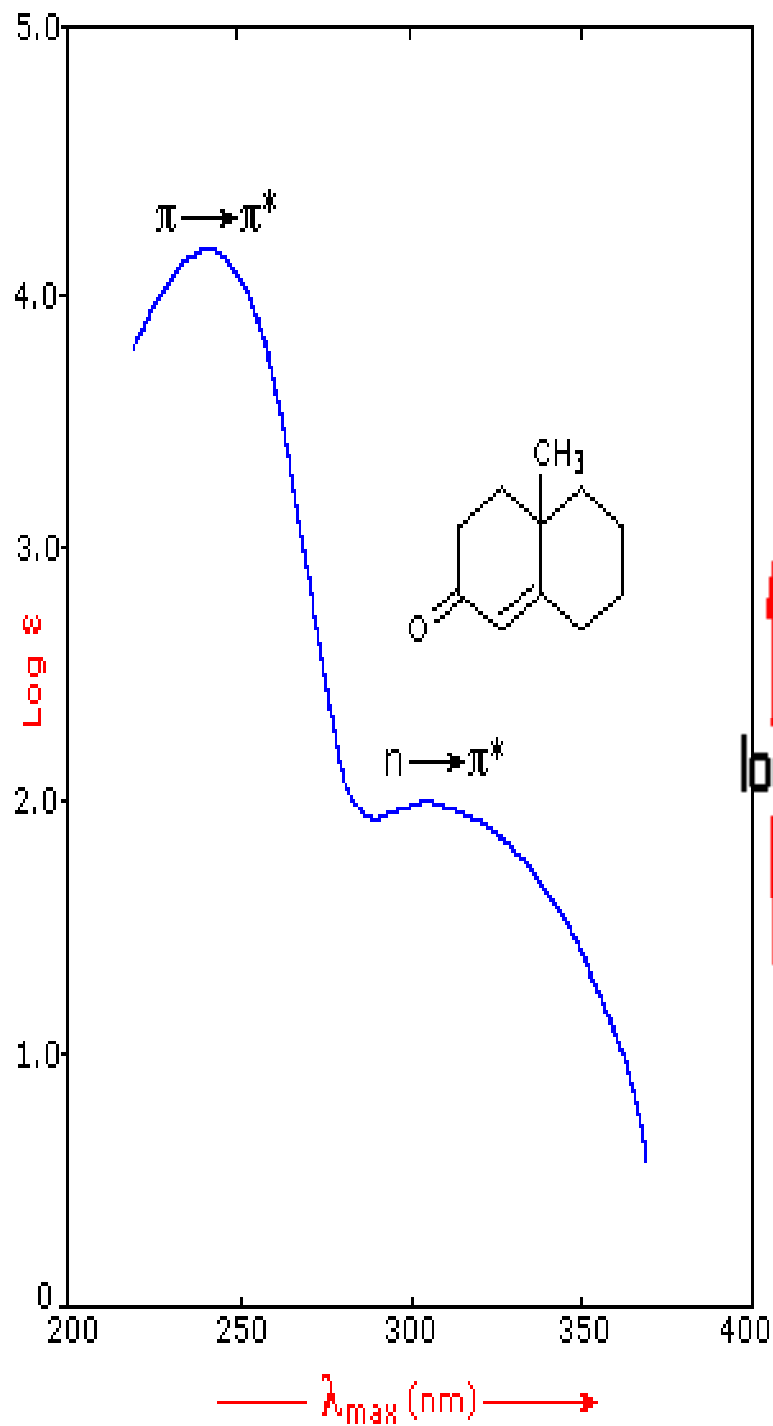
Φασματοφωτομετρία ορατού - υπεριώδους (UV)



Σχήμα 1.19 Μια περιγραφή μοριακών τροχιακών του π δεσμού C–C . Το π δεσμικό MO είναι αποτέλεσμα ενός προσθετικού συνδυασμού ατομικών τροχιακών και είναι κατειλημμένο. Το π αντιδεσμικό MO είναι αποτέλεσμα ενός αφαιρετικού συνδυασμού ατομικών τροχιακών και είναι κενό.



Chromophore	Example	Excitation	λ_{\max} , nm	ϵ	
C=C	Ethene	$\pi \rightarrow \pi^*$	171	15,000	
C \equiv C	1-Hexyne	$\pi \rightarrow \pi^*$	180	10,000	
C=O	Ethanal	$n \rightarrow \pi^*$	290	15	
		$\pi \rightarrow \pi^*$	180	10,000	
N=O	Nitromethane	$n \rightarrow \pi^*$	275	17	
		$\pi \rightarrow \pi^*$	200	5,000	
C-X	X=Br	Methyl bromide	$n \rightarrow \sigma^*$	205	200
	X=I	Methyl iodide	$n \rightarrow \sigma^*$	255	360



Κάθε ένωση που απορροφά στην ορατή περιοχή (400-800 nm) εμφανίζεται έγχρωμη.

Στη φασματοφωτομετρία απορρόφησης μετριέται η απορρόφηση (A) ή η διαπερατότητα (T) του δείγματος και με βάση τις μετρήσεις αυτές επιτελείται η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση.

Σύμφωνα με το νόμο απορρόφησης των **Lambert-Beer** ισχύει:

$$A = -\lg T = -\lg(P/P_0) = \varepsilon \cdot b \cdot c$$

A = η απορρόφηση (absorbance)

T = η % διαπερατότητα (transmittance) του δείγματος (εκφράζει το κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που εξέρχεται από το δείγμα, $P/P_0 \cdot 100\%$)

P_0 = η ισχύς της μονοχρωματικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο διάλυμα

P = η ισχύς της ακτινοβολίας που εξέρχεται από το διάλυμα

b = το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας στο διάλυμα

c = η συγκέντρωση της ουσίας που αναλύεται

ε = η μοριακή απορροφητικότητα της ουσίας

Ο νόμος Lambert-Beer ισχύει υπό τις εξής προϋποθέσεις:

1) Η ακτινοβολία είναι μονοχρωματική.

2) Τα σωματίδια που απορροφούν δρουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

$$A_{\text{ολ}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

3) Ο νόμος δεν ισχύει όταν $c > 0.01 \text{ M}$

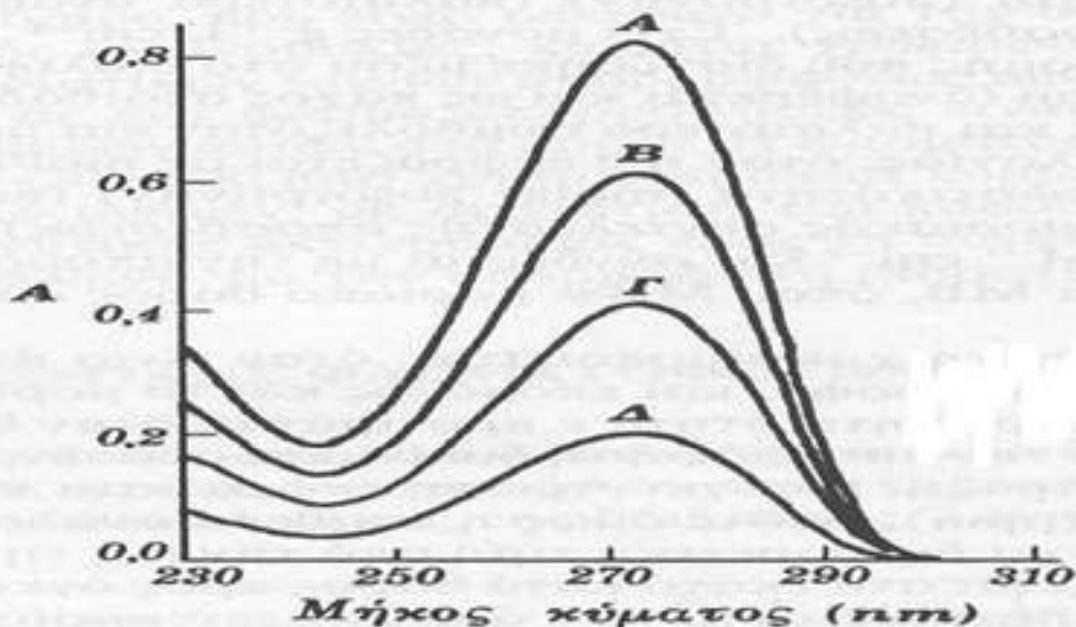
Στη φασματοφωτομετρία UV-VIS επιτυγχάνεται:

- **Ποιοτική ανάλυση** με βάση το φάσμα απορρόφησης
- **Ποσοτική ανάλυση** με βάση την απορρόφηση του δείγματος, συνήθως στο λ_{max}, με βάση το νόμο των Lambert-Beer και τη χρήση πρότυπων διαλυμάτων.

Η φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης UV-VIS υπεριώδους και ορατού χρησιμοποιείται κυρίως για ποσοτικούς προσδιορισμούς, αφού τα φάσματα δίνουν πληροφορίες για ορισμένες μόνο ομάδες (χρωμοφόρες) και **δεν χαρακτηρίζουν το μόριο ως σύνολο.**

φάσμα απορρόφησης: η απεικόνιση του A ή του T σε συνάρτηση με το μήκος κύματος λ

Η απεικόνιση του A ή T σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (λ) ονομάζεται φάσμα απορρόφησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ταυτοποίηση (ποιοτική ανάλυση).



Φάσμα απορρόφησης υδατικών διαλυμάτων θεοφυλλίνης, σε κυψελίδα πάχους 1,000 cm. Α: $8,00 \times 10^{-5}$ M, Β: $6,00 \times 10^{-5}$ M, Γ: $4,00 \times 10^{-5}$ M, Δ: $2,00 \times 10^{-5}$ M.

Τα φάσματα δεν χαρακτηρίζουν συνολικά το μόριο

Μόνο στην περιοχή λ_{\max} μπορεί να εφαρμοσθεί ο νόμος Lambert – Beer, διότι μόνο εκεί η τιμή της ϵ (α) παραμένει σταθερή.

Οργανολογία-Βασικά τμήματα φασματομέτρου ορατής υπεριώδους ακτινοβολίας απλής (μονής δέσμης)



Περιοχή του υπεριώδους: συνήθως λυχνίες εκκένωσης υδρογόνου ή δευτερίου με περίβλημα χαλαζία ή υάλινο με παράθυρο χαλαζία που εκπέμπει συνεχή (160-340nm) και γραμμική ακτινοβολία.

Περιοχή του ορατού: συνήθως λυχνίες πυράκτωσης με νήμα βολφραμίου (320–2400 nm) σε υάλινο υπό κενό περίβλημα με μικρή ποσότητα ιωδίου.



Η απομόνωση της επιθυμητής στενής περιοχής μηκών κύματος από τη συνεχή πολυχρωματική ακτινοβολία που εκπέμπει η πηγή, επιτυγχάνεται με **φίλτρα**, τα οποία απομονώνουν περιοχές 20-50 nm. Η απομόνωση μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει ακριβέστερα (πλάτος ζώνης 0,01 nm) με **μονοχρωμάτορες** πρίσματος ή φράγματος.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

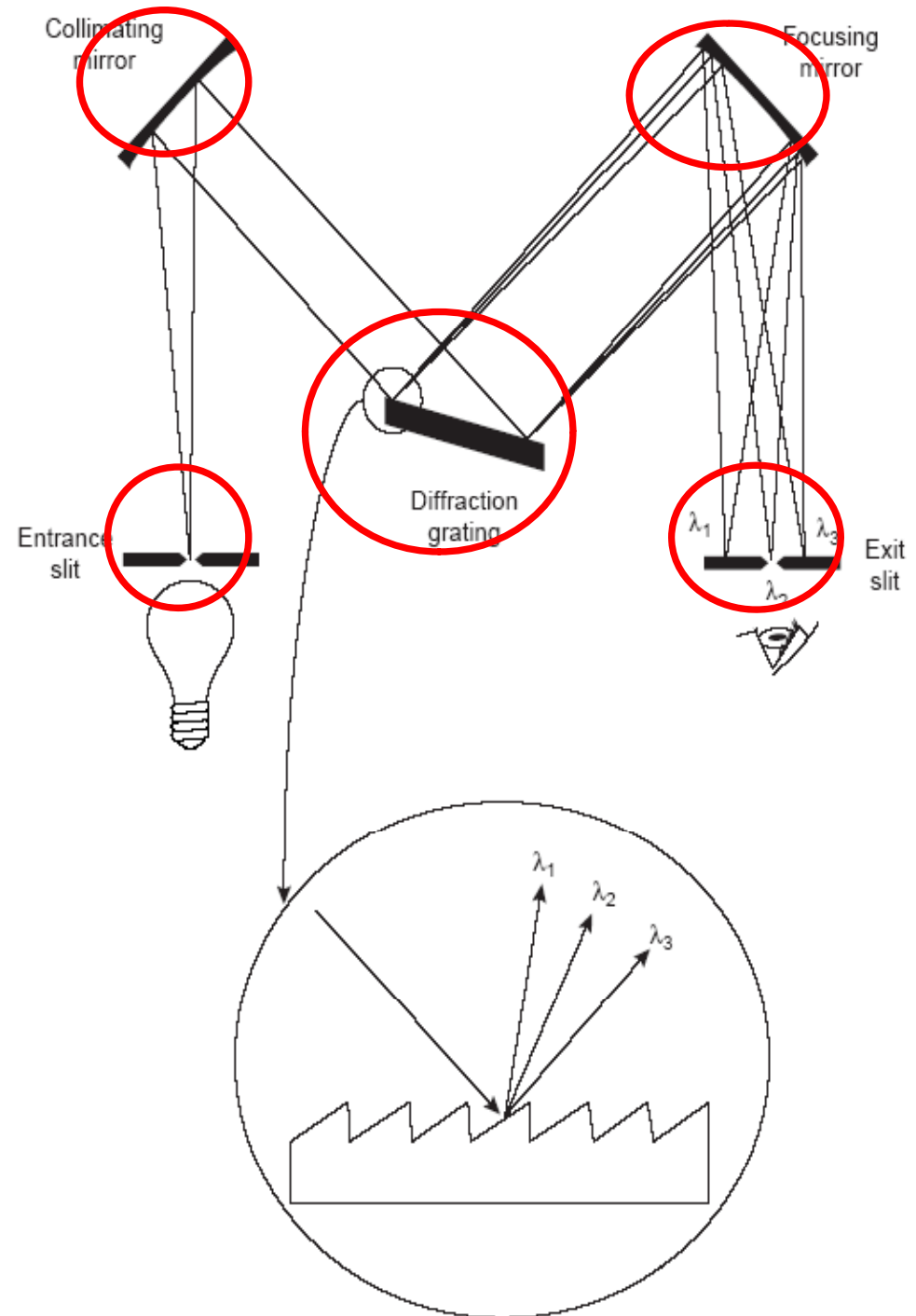
- Φίλτρα: υάλινα πλακίδια τα οποία εμπεριέχουν έγχρωμες ουσίες (οξειδία μετάλλων).

- Μονοχρωμάτορες

Επιλέγεται δέσμη μονοχρωματικής ακτινοβολίας (εύρος μέχρι 0.1 nm) σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, με τη δυνατότητα συνεχούς μεταβολής του μήκους κύματος (σάρωση).

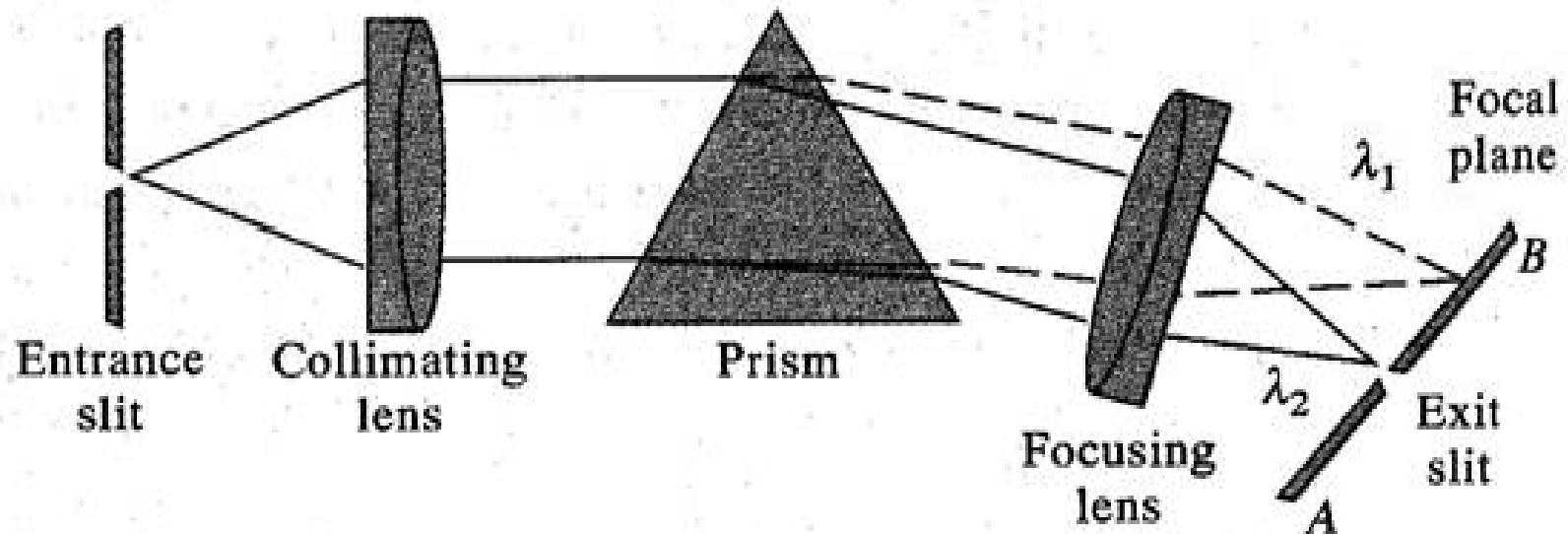
Μονοχρωμάτορες

1. Σχισμή εισόδου που καθορίζει την ισχύ της ακτινοβολίας που εισέρχεται στον μονοχρωμάτορα.
2. Κατευθυντήρας (φακός η κάτοπτρο) με τον οποίο η δέσμη γίνεται παράλληλη.
3. Στοιχείο διασποράς (πρίσμα ή φράγμα περιθλάσεως) με την περιστροφή του οποίου επιλέγεται το επιθυμητό μήκος κύματος.
4. Συγκεντρωτικός φακός.
5. Σχισμή εξόδου.



Μονοχρωμάτορες πρίσματος

Το πρίσμα (χαλαζίας, κρυσταλλικό πυρίτιο) αναλύει μια πολυχρωματική ακτινοβολία στα συστατικά της επειδή ο δείκτης διαθλάσεως του n μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

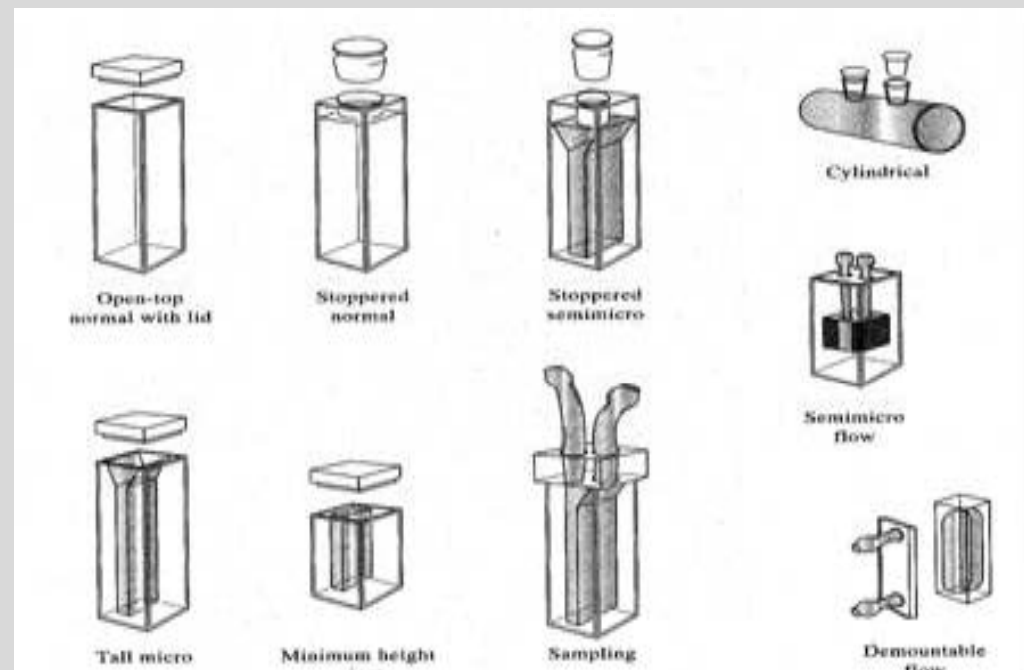


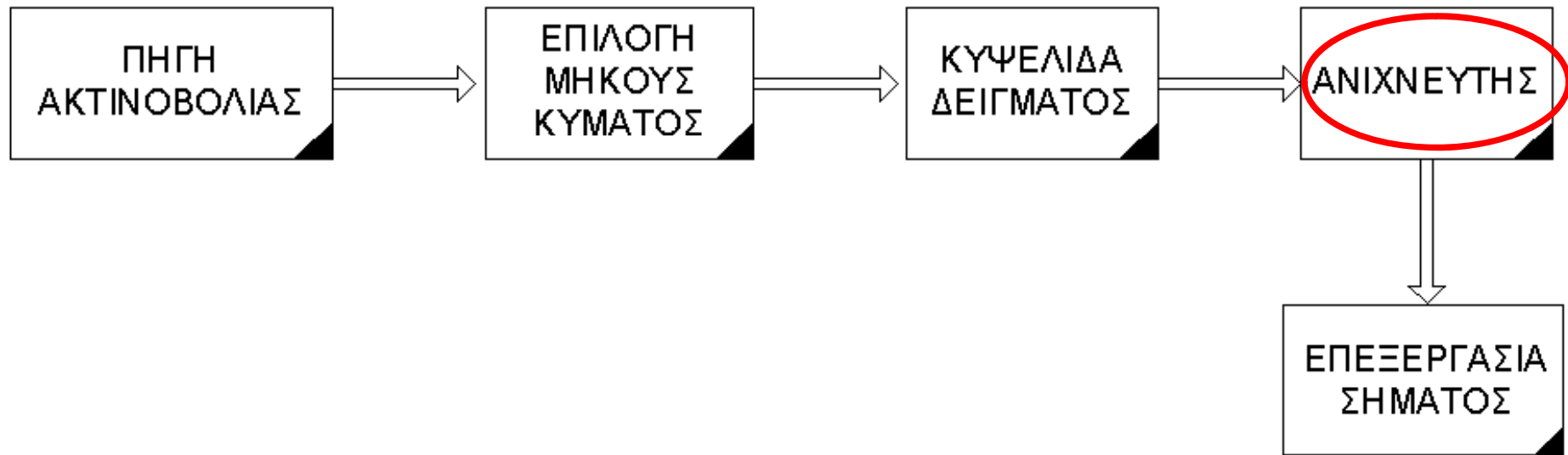
Πλεονεκτήματα Μονοχρωμάτορα Φράγματος

- Χαμηλό κόστος
- Σταθερός βαθμός μονοχρωματικότητας.
- Η ισχύς της ακτινοβολίας δεν επηρεάζεται από το υλικό κατασκευής του φράγματος
- Μεγαλύτερη διαχωριστική ικανότητα.



Οι κυψελίδες έχουν συνήθως ορθογώνιο σχήμα και είναι κατασκευασμένες από χαλαζία, εφόσον χρησιμοποιούνται στην υπεριώδη περιοχή ή από γυαλί στην ορατή περιοχή.

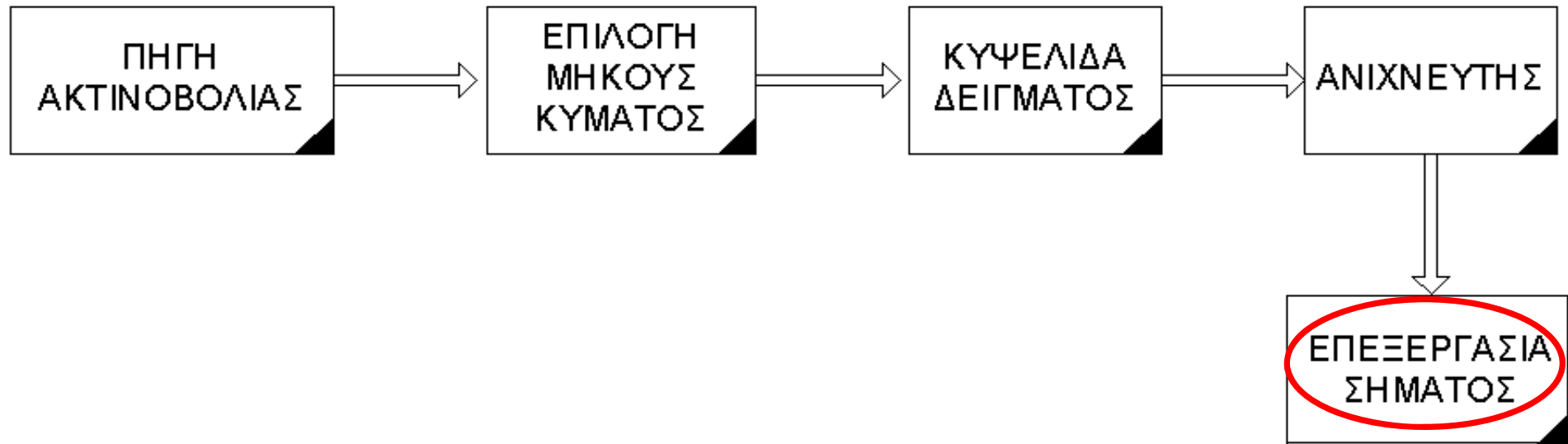




Χρησιμοποιούνται φωτολυχνίες, φωτοπολλαπλασιαστές και φωτοδίοδοι.

Αρχή λειτουργίας: τα φωτόνια της ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν ενέργεια ικανή να απελευθερώσει ηλεκτρόνια, όταν προσκρούουν σε επιφάνειες κατεργασμένες με ειδικές ενώσεις.

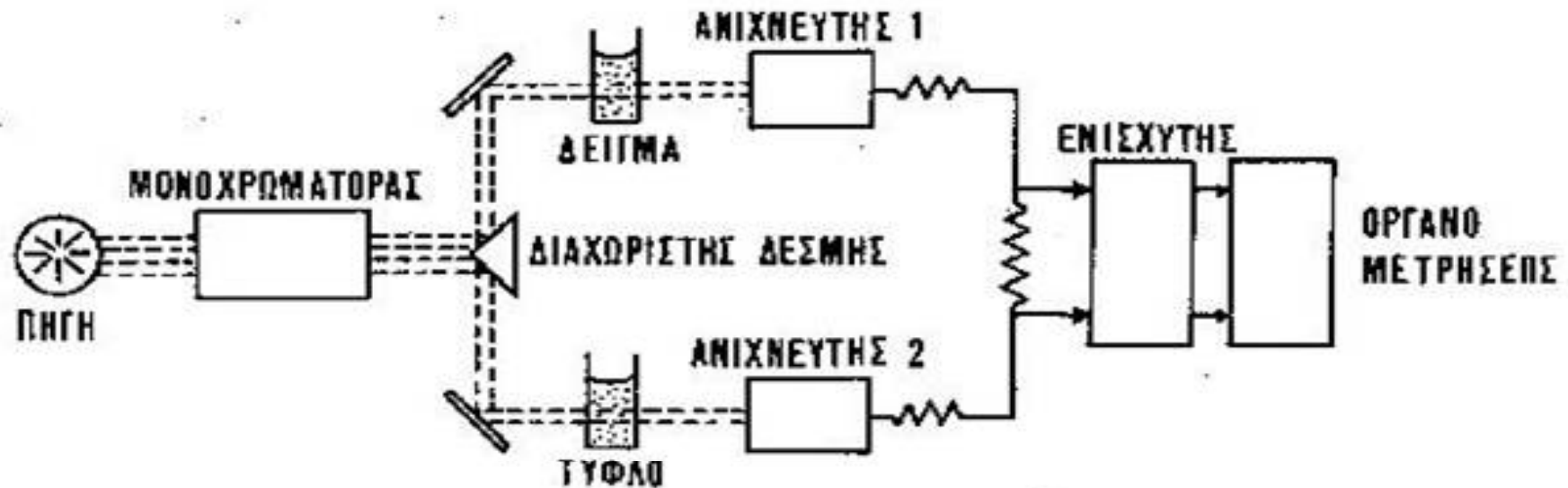
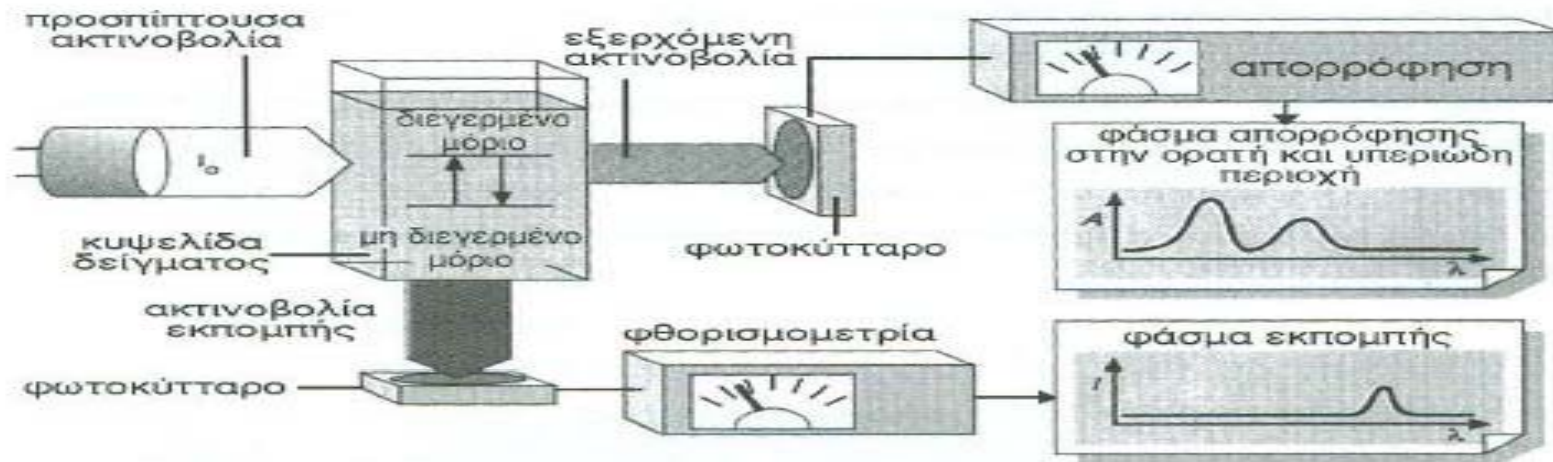
Επίσης, μπορούν να προκαλέσουν τη μετακίνηση μη αγώγιμων ηλεκτρονίων σε ζώνες αγωγιμότητας. Και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, ανάλογο με την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Το ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο του ανιχνευτή ενισχύεται και η ανάγνωση του μετρητή (διαπερατότητα στα εκατό ή απορρόφηση) δείχνεται στο φασματοφωτόμετρο ως ένδειξη μιας κλίμακας ή υπό ψηφιακή μορφή, ή καταγράφεται σε ποτενσιομετρικό καταγραφέα.

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΑΣ

Σχηματικό διάγραμμα φασματομέτρου απορρόφησης ή εκπομπής.



ΓΕΝΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ

1. Λήψη του φάσματος απορρόφησης της προς προσδιορισμό ουσίας (αναλύτης)
2. Η επιλογή του καταλληλότερου μήκους κύματος
3. Η κατασκευή της καμπύλης αναφοράς
4. Η μέτρηση της απορρόφησης του άγνωστου δείγματος

ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

- Στην πράξη, ο νόμος του Beer δεν είναι απευθείας εφαρμόσιμος

Τα τοιχώματα της κυψελίδας προκαλούν ελάττωση της ισχύος της ακτινοβολίας λόγω ανάκλασής της τελευταίας ή/και απορρόφησης αυτής εντός των τοιχωμάτων της. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται τυφλό δ/μα ($A = \log P_b/P_s = P_o/P = \epsilon bc$)

το ϵ διαφέρει με τα διάφορα φασματοφωτόμετρα και ο βαθμός μονοχρωματικότητας ελαττώνεται αυξανόμενου του εύρους της σχισμής.

ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

Ο ποσοτικός προσδιορισμός γίνεται στο γραμμικό μέρος της καμπύλης αναφοράς, απορρόφηση – συγκέντρωση ουσίας χρησιμοποιώντας μια σειρά προτύπων διαλυμάτων.

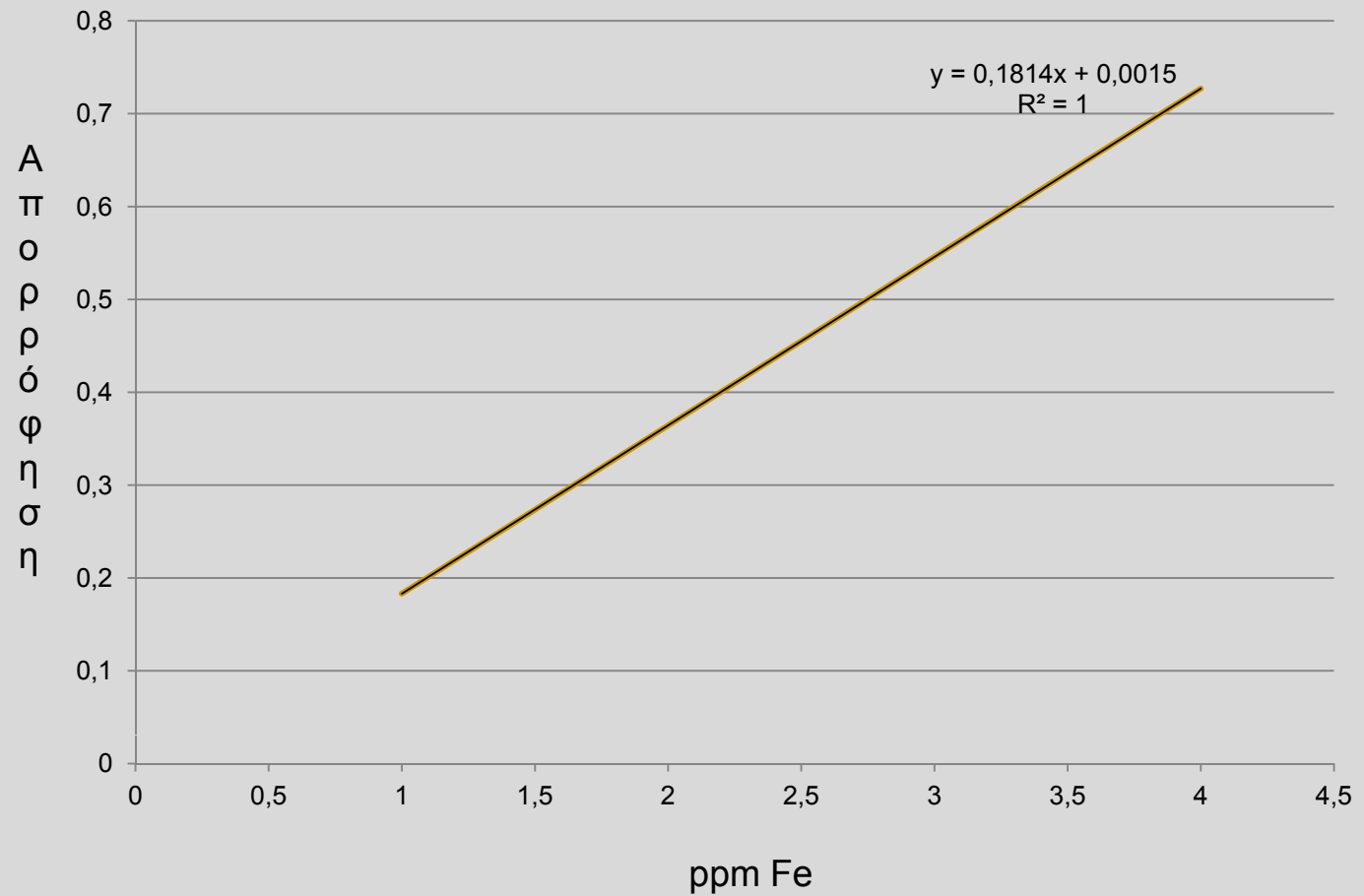
Ο ποσοτικός προσδιορισμός προτιμάται να γίνεται στην περιοχή λ_{max} γιατί εκεί μπορεί να εφαρμοσθεί ο νόμος Lambert – Beer, η τιμή της ϵ (α) παραμένει σταθερή ενώ επιτυγχάνονται χαμηλότερα όρια ανίχνευσης της προς προσδιορισμό ουσίας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ο προσδιορισμός του Fe σε υδατικά βιομηχανικά απόβλητα πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο σχηματισμού συμπλόκου με ο-φαινανθρολίνη και η συγκέντρωση του δ/τος προσδιορίστηκε στα 510nm. Χρησιμοποιώντας τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του Fe στο άγνωστο δ/μα.

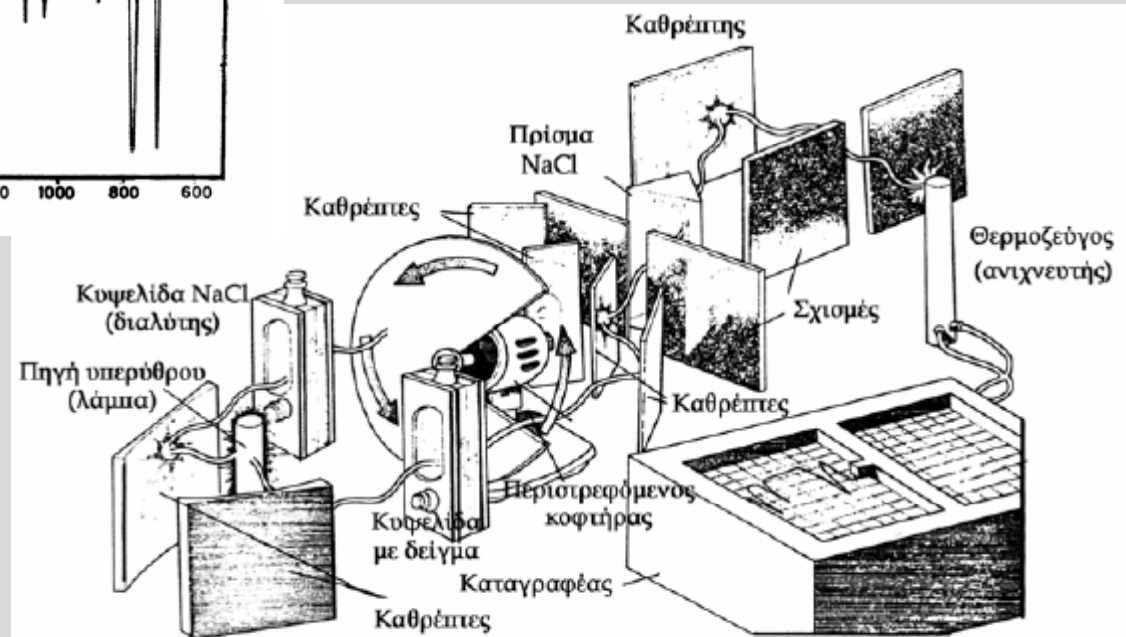
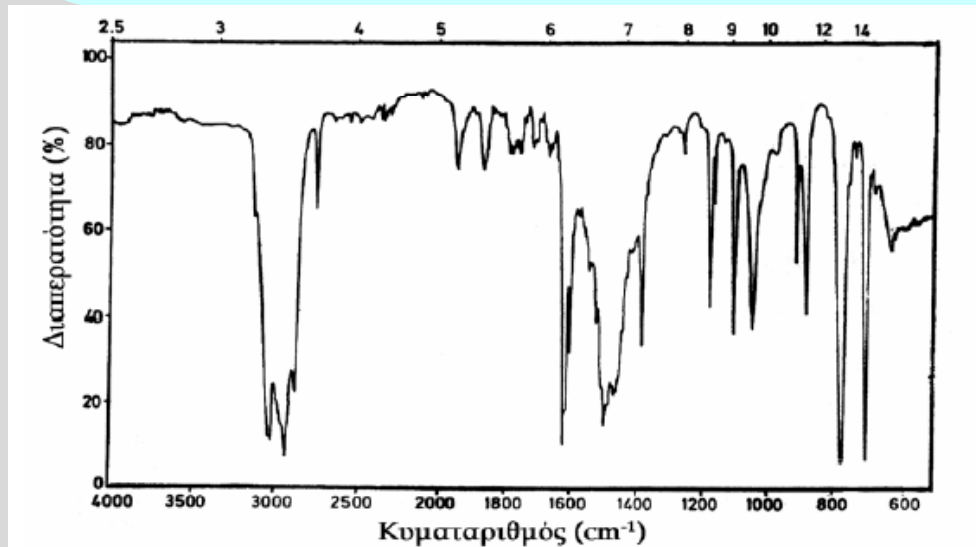
ppm Fe	Απορρόφηση
1,000	0,183
2,000	0,364
3,000	0,546
4,000	0,727
Άγνωστο	0,269

1	0,183
2	0,364
3	0,546
4	0,727



Απορρόφηση αγνώστου = 0,269 \Rightarrow $0,269 = 0,184x + 0,0015 \Rightarrow x = 1,453$ ppm

ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ (IR)

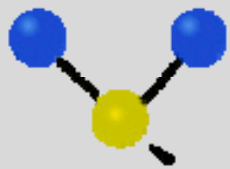


ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ (IR)

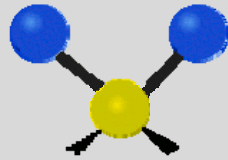
Χαρακτηρίζεται και ως φασματοσκοπική τεχνική μοριακής δόνησης (ή περιστροφής), καθώς η ακτινοβολία προκαλεί διέγερση των μορίων σε υψηλότερες στάθμες δόνησης ή περιστροφής.

- Είναι μοριακή ανάλυση, αφού δίνει πληροφορίες σχετικά με τις χαρακτηριστικές ομάδες που βρίσκονται στο μόριο, ακόμα και για τον προσανατολισμό τους στο χώρο.
- Έχει μεγάλη εκλεκτικότητα, γι' αυτό και το φάσμα χαρακτηρίζεται ως το δακτυλικό αποτύπωμα (fingerprint) της ένωσης.
- Είναι ποσοτική και μη καταστροφική τεχνική ανάλυσης, ακόμα και θερμικά ευαίσθητων ενώσεων.
- Έχει δυνατότητα αναλύσεων σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων (0,1-100%) ή ακόμα σε ίχνη μετά τον εμπλουτισμό του δείγματος.
- Το δείγμα μπορεί να είναι αέριο, υγρό ή στερεό ή επιφάνεια στερεού.

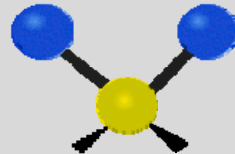
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι δόνησης των ατόμων
(τάσης, κάμψης, σείσης αιώρησης, συστροφής κ.α.



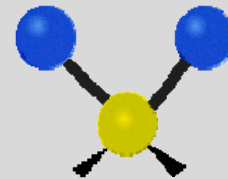
Συμμετρική
δόνηση τάσης
(Symmetrical
stretching)



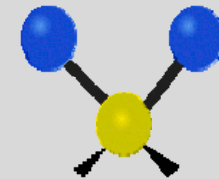
Αντισυμμετρική
δόνηση τάσης
(Antisymmetrical
Stretching)



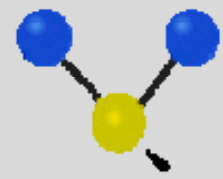
Ψαλιδοειδής
(Scissoring)



Συστροφής
(Twisting)



Σείσης
(Wagging)



Αιώρησης
(Rocking)

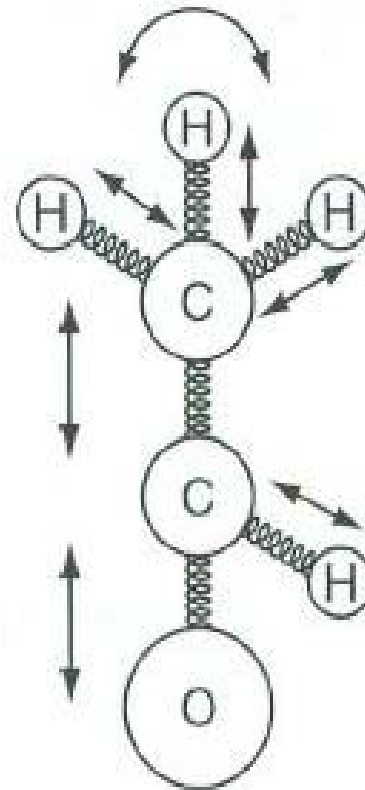
Δονήσεις ατόμων της ομάδας $-\text{CH}_2-$

Χαρακτηριστικές απορροφήσεις της αιθανάλης στην υπέρυθη ακτινοβολία

-CH₃ δονήσεις κάμψης
1460 cm⁻¹ (6,85 μm)
1365 cm⁻¹ (7,33 μm)

C-C δονήσεις τάσης
~ 1165 cm⁻¹ (~8,6 μm)

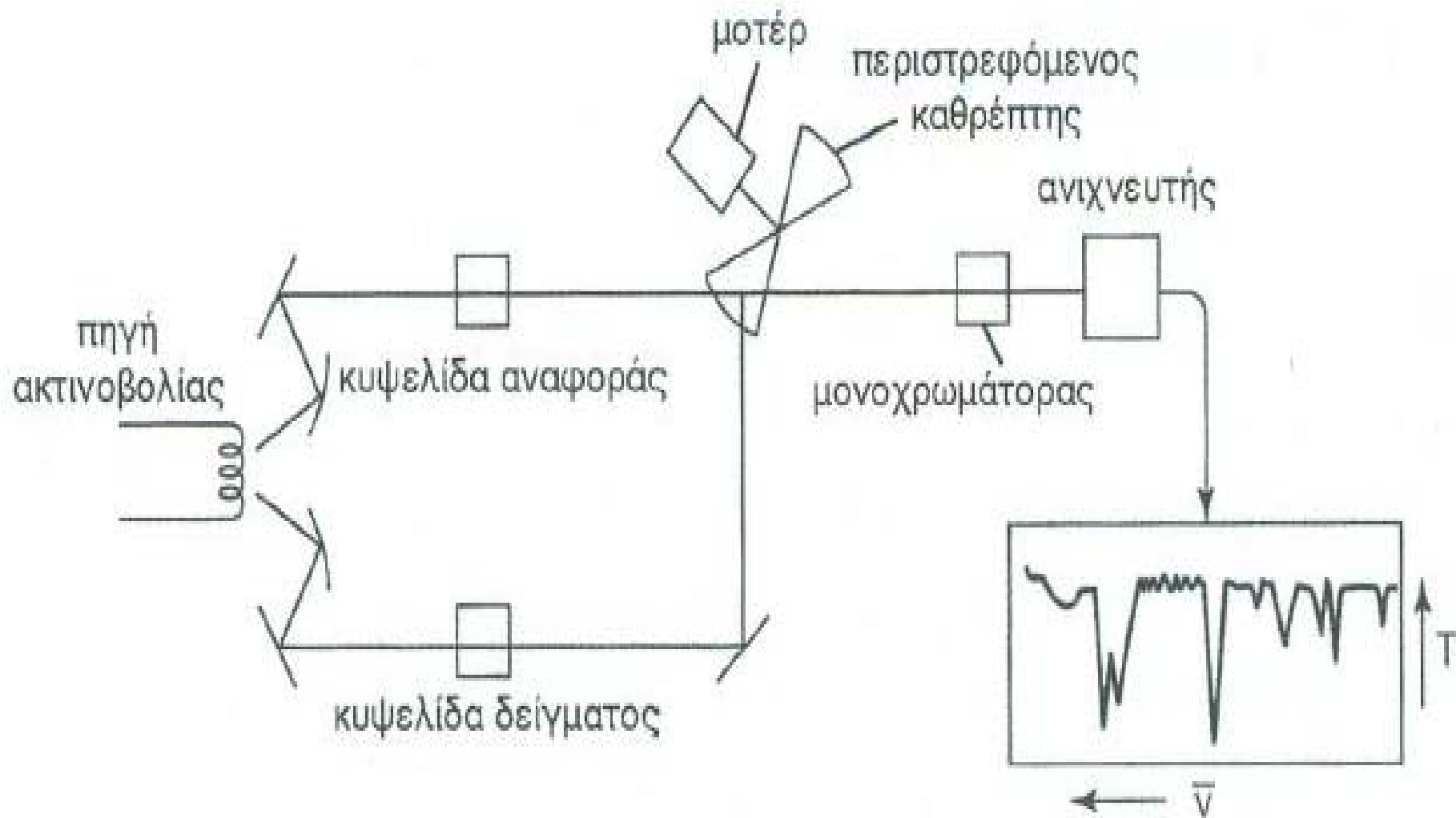
C=C δονήσεις τάσης
1730 cm⁻¹ (5,77 μm)



C-H δονήσεις τάσης CH₃
2960 cm⁻¹ (3,38 μm)
2870 cm⁻¹ (3,48 μm)

C-H δονήσεις τάσης CHO
2720 cm⁻¹ (3,68 μm)

Γενική διάταξη ενός φασματοφωτομέτρου υπερύθρου



ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Ένα φάσμα IR περιλαμβάνει δεκάδες περιοχές απορρόφησης.
Ωστόσο, διακρίνονται οι εξής περιοχές:

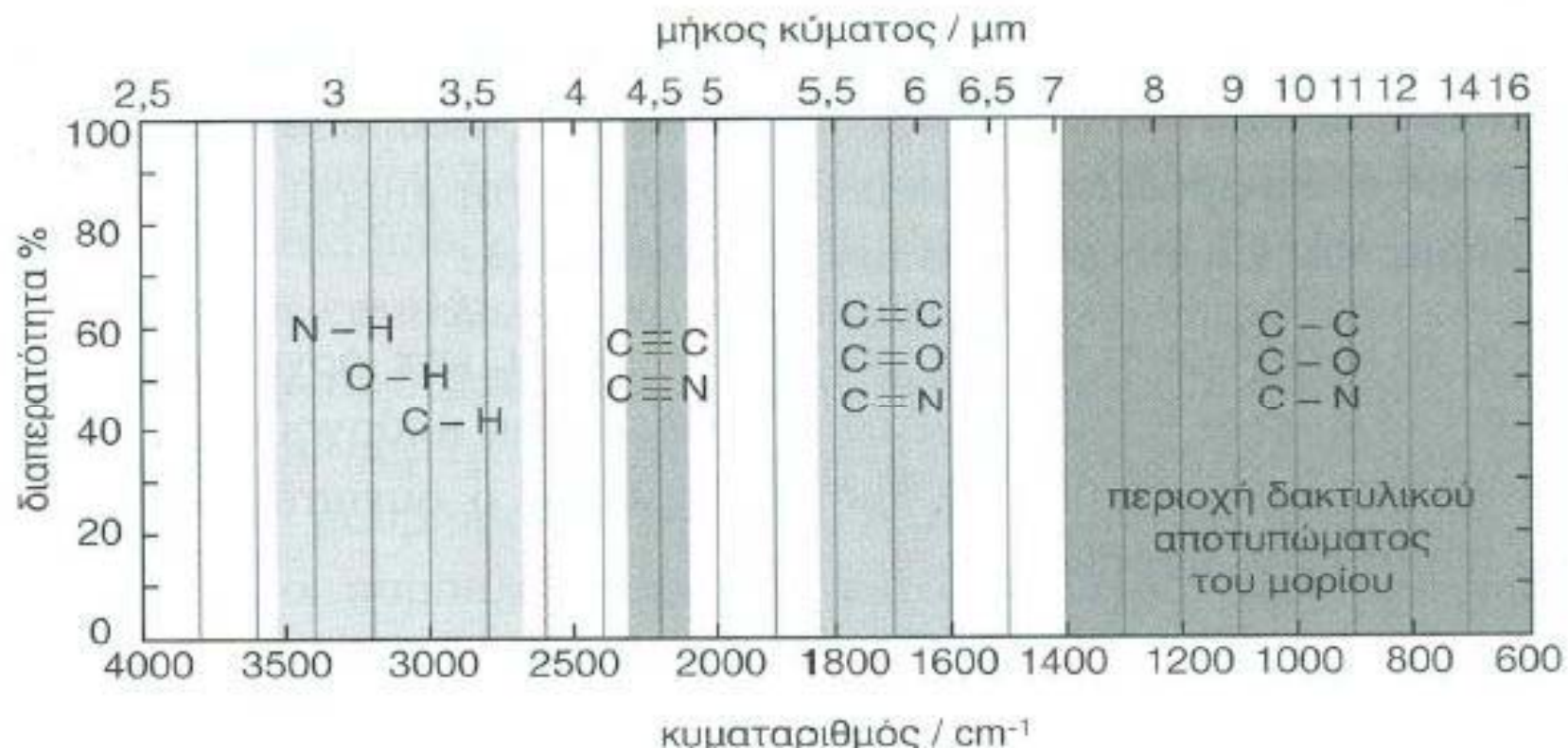
1. Η περιοχή ταυτοποίησης των χαρακτηριστικών ομάδων καλύπτει το εύρος κυματαριθμών $4000-1400 \text{ cm}^{-1}$. Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται απορροφήσεις που προκύπτουν από τη δόνηση ομάδων δύο μόνο ατόμων.
2. Η περιοχή ταυτοποίησης ολόκληρου του μορίου (δακτυλικό αποτύπωμα) αποτυπώνει ζώνες απορρόφησης που συσχετίζονται με δονήσεις ολόκληρου του μορίου. Η περιοχή αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμη και για τη διάκριση ισομερών ενώσεων.

Πίνακας απορροφήσεων χαρακτηριστικών ομάδων

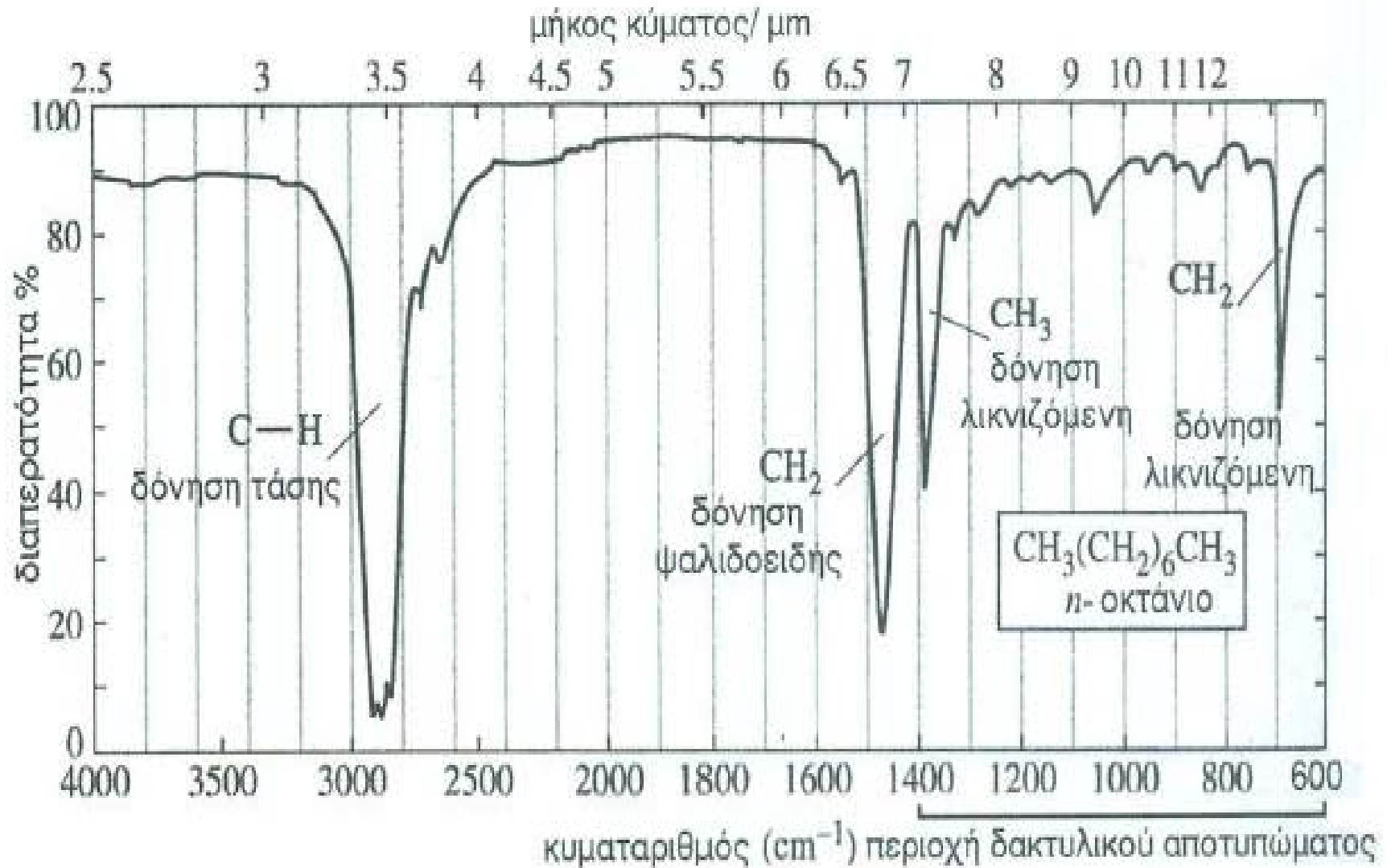
ομάδα	κυματαριθμός / cm^{-1}	μήκος κύματος / μm
C – H (αλειφατικός)	2700-3000	3,33-3,70
C – H (αρωματικός)	300-3100	3,23-3,33
O – H (φαινολικός)	3700	2,70
O – H (φαινολικός δεσμός υδρογόνου)	3300-3700	2,70-3,03
S – H	2570-2600	3,85-3,89
N – H	3300-3370	2,97-3,03
C – O	1000-1050	9,52-10,00
C = O (αλδεΐδη)	1720-1740	5,75-5,8
C = O (κετόνη)	1705-1725	5,80-5,86
C = O (οξύ)	1650	6,06
C = O (εστέρας)	1700-1750	5,71-5,88
C – N	1590-1660	6,02-6,23
C – C	750-1100	9,09-13,33
C = C	1620-1670	5,99-6,17
C \equiv C	2100-2250	4,44-4,76
C \equiv N	2100-2250	4,44-4,76
CH ₃ –, –CH ₂ –	1350-1480	6,76-7,41
C – F	1000-1400	7,14-10,00
C – Cl	600-800	12,50-16,67
C – Br	500-600	16,67-20,00
C – I	500	20,00

Συνοπτικά:

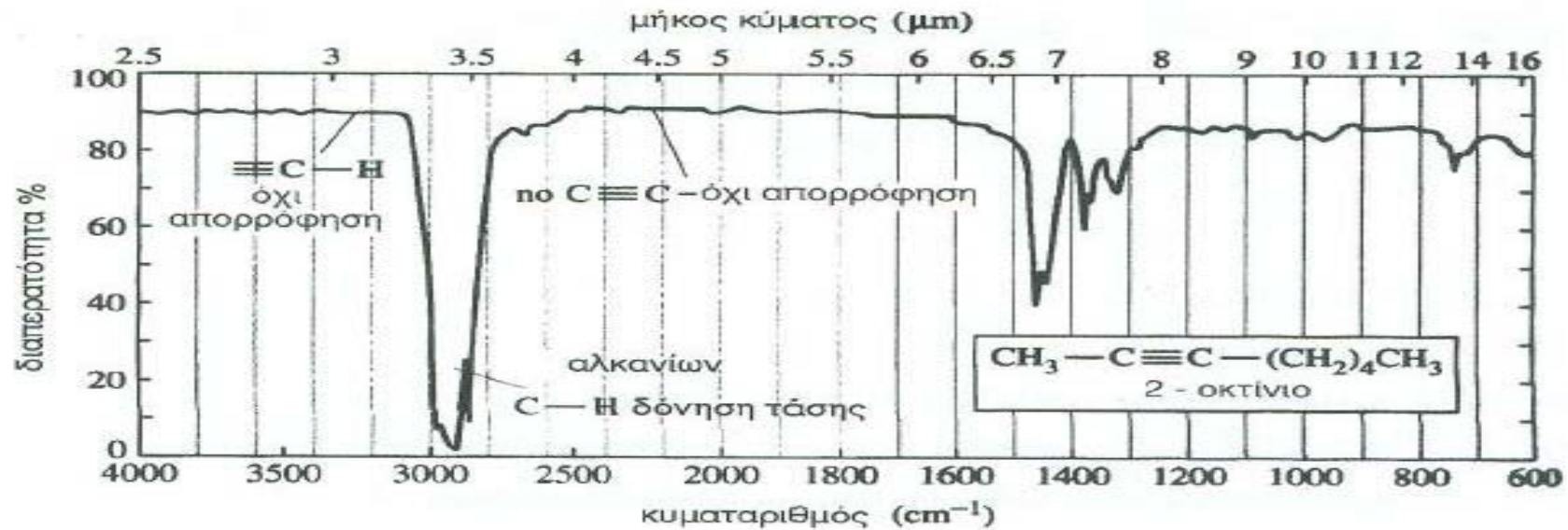
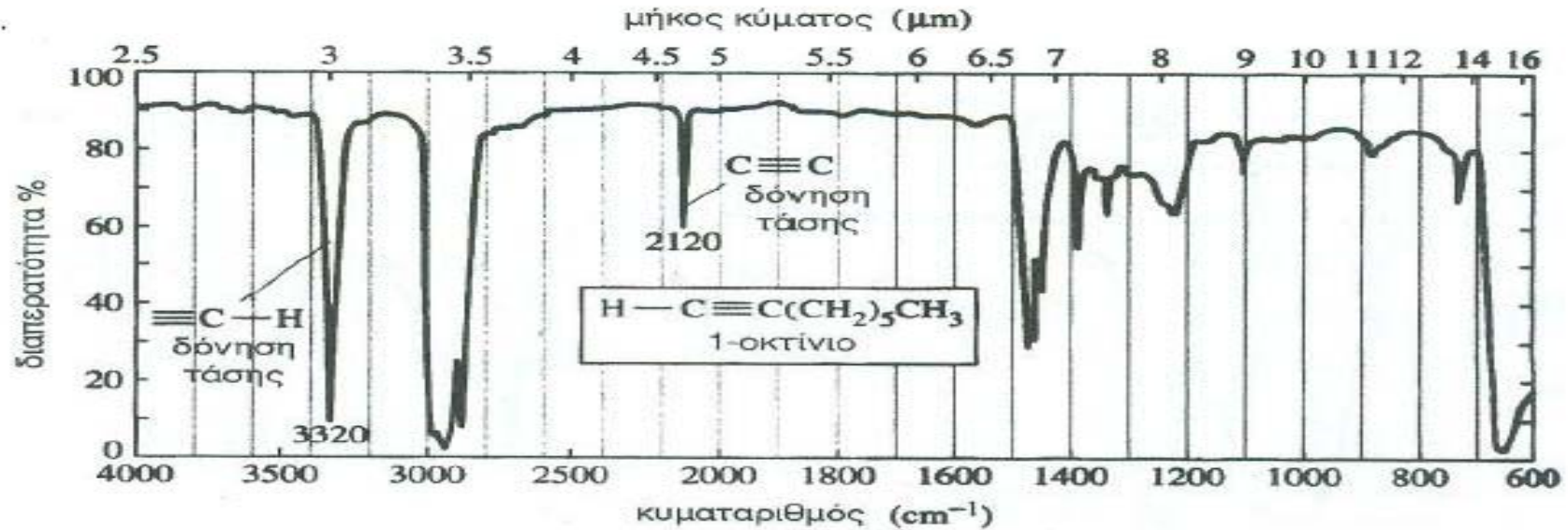
- Περιοχή $4000-2500\text{ cm}^{-1}$ που περιλαμβάνει απορροφήσεις (δονήσεις τάσεις) απλών δεσμών.
- Περιοχή $2500-2000\text{ cm}^{-1}$ που περιλαμβάνει απορροφήσεις (δονήσεις τάσεις) τριπλού δεσμού.
- Περιοχή $2000-1400\text{ cm}^{-1}$ που αντιστοιχεί σε απορροφήσεις διπλού δεσμού.
- Περιοχή δακτυλικού αποτυπώματος, κάτω του 1400 cm^{-1} που περιλαμβάνει απορροφήσεις μιας μεγάλης ποικιλίας απλών δεσμών.



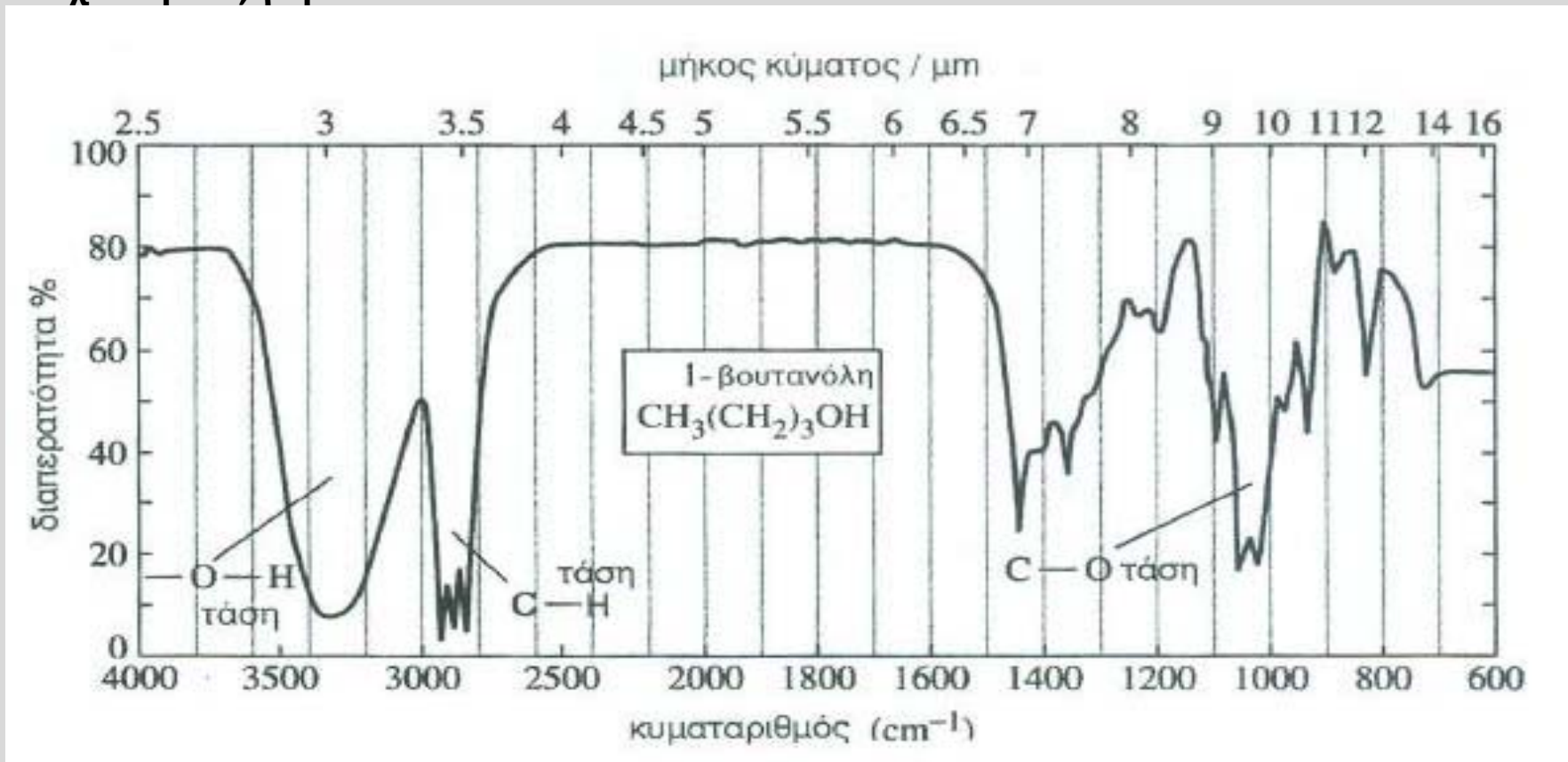
Φάσμα IR κανονικού οκτανίου



Σύγκριση φασμάτων IR του 1-οκτινίου και 2-οκτινίου

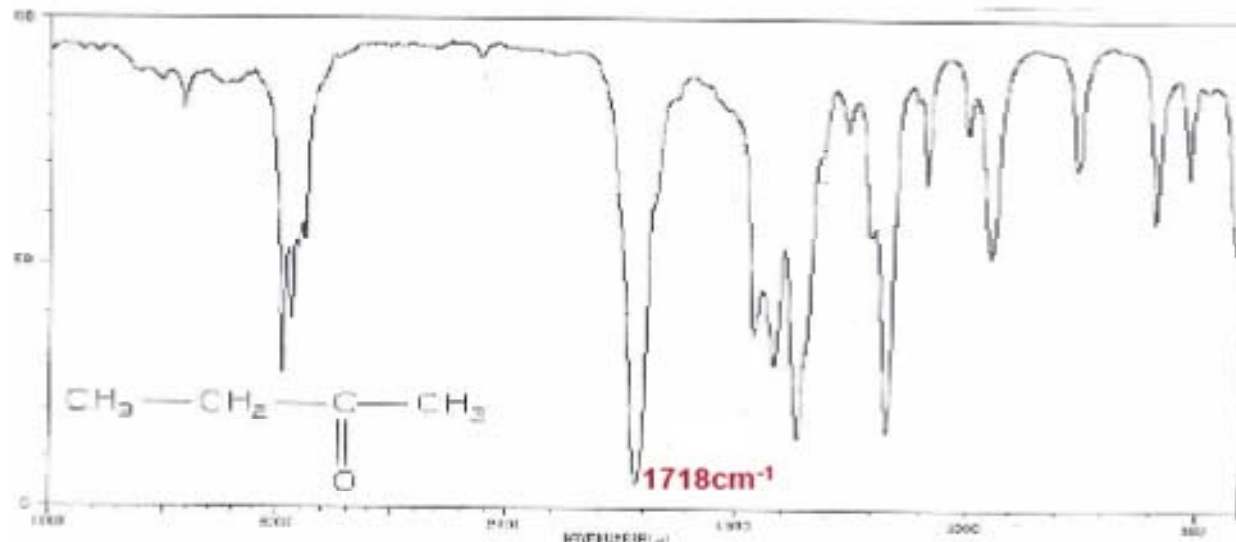
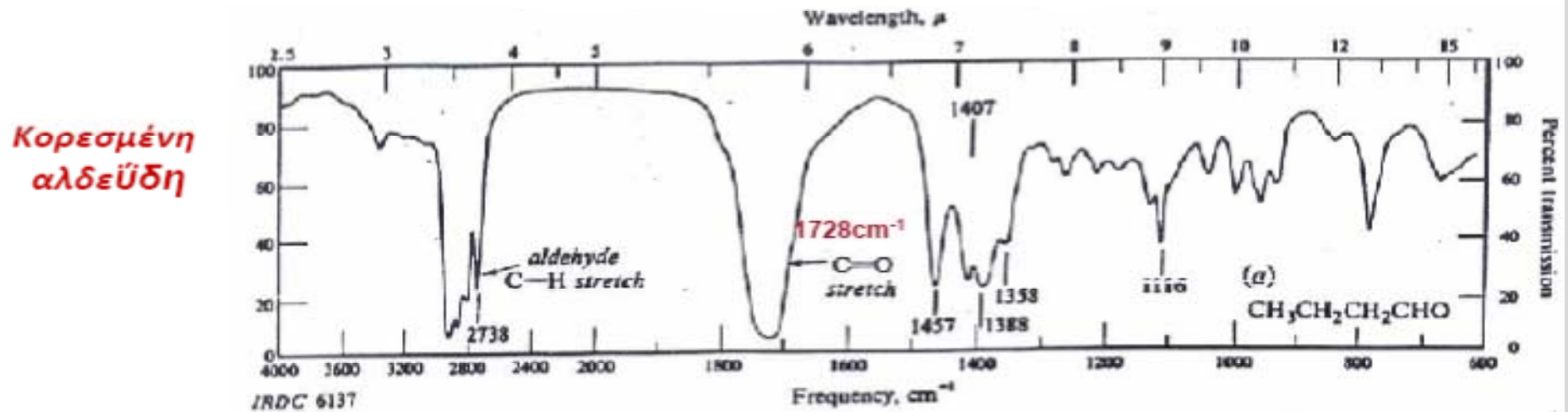


Ο δεσμός O-H στις αλκοόλες απορροφά έντονα σε μια ευρύτατη περιοχή συχνοτήτων, γύρω στο 3330 cm^{-1} .



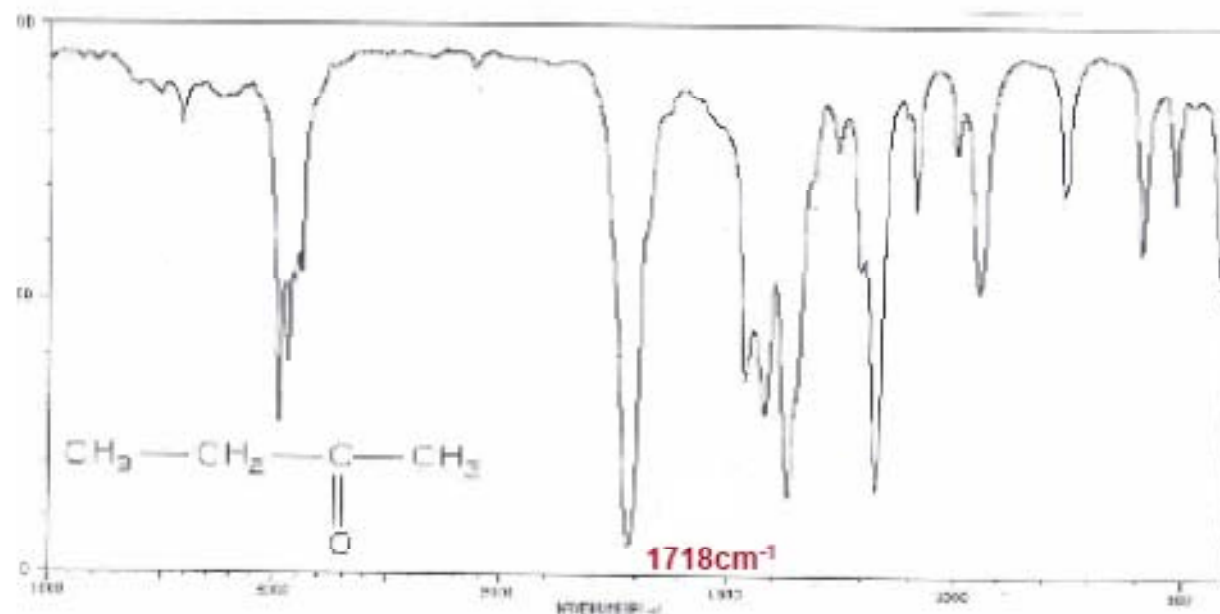
Ενώσεις με δεσμούς C-O (αλκοόλες, αιθέρες), απορροφούν έντονα στην περιοχή $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$. Στην περιοχή αυτή όμως απορροφούν κι άλλες ομάδες. **Η παρουσία ζώνης απορρόφησης στην παραπάνω περιοχή δεν είναι ενδεικτική της παρουσίας C-O. Ωστόσο, η μη εμφάνιση της ζώνης απορρόφησης στα $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ είναι ενδεικτική της απουσίας του δεσμού C-O στο μόριο.**

Στις αλδεΐδες, κετόνες και καρβοξυλικά οξέα εμφανίζεται μια έντονη ζώνη απορρόφησης στα $1710-1730\text{ cm}^{-1}$ που αποδίδεται στη δόνηση τάσης του $\text{C}=\text{O}$. Εκτός απ' αυτή την απορρόφηση, οι αλδεΐδες απορροφούν μεταξύ $2700-2800\text{ cm}^{-1}$ λόγω της δόνησης τάσης του $\text{C}-\text{H}$, η οποία στα οξέα και τις κετόνες δεν εμφανίζεται.



**Κορεσμένη
κετόνη**

Κορεσμένη
κετόνη



Αρωματική κετόνη

