



ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

- Η μελέτη των έργων τέχνης με τη βοήθεια των φυσικοχημικών μεθόδων ανάλυσης δεν είναι κάτι καινούργιο, τουλάχιστον για τον ευρωπαϊκό χώρο.
- Οι πρώτες προσπάθειες ξεκίνησαν από τη Γαλλία στις αρχές του 18ου αιώνα από τον μοναχό Dubos και τον Γάλλο φυσικό Charles, ενώ το πρώτο εργαστήριο επιστημονικής μελέτης και συντήρησης των έργων τέχνης χρονολογείται ήδη από τα τέλη του 19ου αι. και ιδρύθηκε στο Staatslichmuseum στο Βερολίνο.
- Εκτοτε, η άνθηση της Φυσικής και της Χημείας και ιδιαίτερα οι ερευνητικές προσπάθειες του Louis Pasteur, η ανακάλυψη της φωτογραφίας από τον Niepce, και των ακτίνων X από τον Roentgen έδωσαν σημαντική ώθηση στην επιστημονική ανάλυση και συντήρηση των έργων τέχνης.
- Όμως, μόλις μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο παρατηρείται μια περισσότερο συστηματική χρησιμοποίηση των φυσικοχημικών μεθόδων ανάλυσης, που υλοποιείται με την ίδρυση εργαστηρίων έρευνας στα μεγαλύτερα μουσεία του κόσμου, όπως:
 - στο Μουσείο της Βοστώνης (το 1928),
 - στο Μουσείο του Λούβρου (γύρω στα 1930),
 - στο Βρετανικό Μουσείο,
 - στις Βρυξέλλες,
 - στη Φλωρεντία (1934),
 - στο Τόκιο και πρόσφατα
 - στη Μόσχα.



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Η έννοια "φυσικοχημικές μέθοδοι" περιλαμβάνει δύο μεγάλες κατηγορίες διαγνωστικών μεθόδων, που εφαρμόζονται στην επιστημονική έρευνα των ζωγραφικών έργων τέχνης:

- ο τις "μη καταστρεπτικές" και τις*
- "καταστρεπτικές" διαγνωστικές μεθόδους.*

Ο όρος "καταστρεπτικές" αναφέρεται στην ανάγκη λήψης μικροδείγματος από το εξεταζόμενο έργο, προκειμένου να μελετηθεί η εσωτερική αρχιτεκτονική δομή του ή η χημεία των υλικών, από τα οποία αποτελείται, και όχι, όπως συχνά παρερμηνεύεται, στις αλλοιώσεις ή στην ολική καταστροφή, που το μικροδείγμα υφίσταται κατά την εφαρμογή αυτών των μεθόδων.



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

- Η προκαλούμενη "καταστροφή" της επιφάνειας κατά την δειγματοληψία, είναι πρακτικά αμελητέα, εάν λάβουμε υπόψη το μικρό μέγεθος του δείγματος, που σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά μερικά δέκατα του mm^2 . Η δειγματοληψία, στις περιπτώσεις, που κρίνεται απόλυτα απαραίτητη, γίνεται με τον μεγαλύτερο σεβασμό της αξίας και μοναδικότητας του έργου ακολουθώντας αυστηρά την ενδεδειγμένη διαδικασία.
- Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας δεν γίνεται αυθαίρετα.
- Καθορίζεται ύστερα από προσεκτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής διαφόρων, αναγκαίων κατά περίπτωση "μη καταστρεπτικών" μεθόδων, έτσι ώστε τα δείγματα να προέρχονται από ήδη φθαρμένες περιοχές της επιφάνειας αποφεύγοντας το δυνατόν εκείνες με ιδιαίτερο αισθητικό ενδιαφέρον.
- Τα δείγματα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής, που μελετάται.
- Η πολυπλοκότητα όμως των πανάκριβων συσκευών ανάλυσης ενός τέτοιου μικροδείγματος, που ωστόσο είναι συχνά αναγκαία, ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και αναπαραγωγίσιμα, σε συνδυασμό με την επικινδυνότητα και την λεπτότητα των χειρισμών της δειγματοληψίας, αλλά και την τεράστια αισθητική αξία και μοναδικότητα του έργου τέχνης, συνηγορούν υπέρ της εφαρμογής κατά το δυνατόν των "μη καταστρεπτικών" μεθόδων ανάλυσης.
- Πρέπει όμως να τονισθεί, ότι η αξία τόσο των "μη καταστρεπτικών" μεθόδων όσο και εκείνων, που απαιτούν την δειγματοληπτική επέμβαση, έγκειται στον συνδυαστικό και συμπληρωματικό χαρακτήρα των αποτελεσμάτων τους.



- Τα έργα τέχνης έχουν γίνει για να βλέπονται στο φυσικό ή τεχνητό φως της ορατής περιοχής του φάσματος. Ωστόσο με τη βοήθεια ορισμένων τεχνικών, που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της μη ορατής περιοχής του φάσματος, συλλέγονται, κάτω από ειδικές προϋποθέσεις, πολύτιμες πληροφορίες, που συμπληρώνουν τις αισθητικές ερμηνείες και αποσαφηνίζουν την τεχνική κατασκευή των έργων.
- Έτσι διαμορφώνεται κατά το δυνατόν μια ολοκληρωμένη εικόνα της δημιουργικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε και της αισθητικής αντίληψης που εκφράζεται.
- Οι "μη καταστρεπτικές" διαγνωστικές μέθοδοι, που εφαρμόζονται στα ζωγραφικά έργα εκμεταλλεύονται την επίδραση διαφόρων ακτινοβολιών επάνω στα υλικά της ζωγραφισμένης επιφάνειας, όπως η ακτινοβολία γ, Χ, η υπεριώδης, η υπέρυθρη κλπ. Η χρήση αυτών των ακτινοβολιών και μάλιστα εκείνων με συγκεκριμένο μήκος κύματος, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα:
 - α. δεν προκαλείται καμμία αλλοίωση ή φθορά της επιφάνειας, που εξετάζεται, τουλάχιστον κατά το χρονικό διάστημα της εξέτασης και εφ' όσον αυτή δεν διαρκεί πολύ.
 - β. παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης της κατάστασης συντήρησης και της στρωματογραφικής δομής του έργου, ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, που χρησιμοποιείται και
 - γ. δίδουν την ευκαιρία μιας κατ' αρχήν εκτίμησης της ποιοτικής χημικής σύστασης των υλικών, από τα οποία αποτελείται το έργο.





ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΟΡΑΤΟΥ

ΟΡΙΣΜΟΣ

Η φασμαφωτομετρία και γενικά όλες οι φασματοσκοπικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στην χημεία στηρίζονται στην αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης.



Η ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελεί μία μορφή μετάδοσης ενέργειας.
- Η ενέργεια αυτή αποτελείται, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, από μικρά «πακέτα» ενέργειας, τα φωτόνια.
- Η ενέργεια των φωτονίων, το μήκος κύματος και η συχνότητα συνδέονται με τις σχέσεις:

$$E = h \cdot \nu \quad \text{και} \quad \nu = 1/\lambda$$

Οπου:

E: ενέργεια φωτονίου προσπίπτουσας ακτινοβολίας

h: σταθερά Planck ($6,626 \cdot 10^{-37}$ kJs)

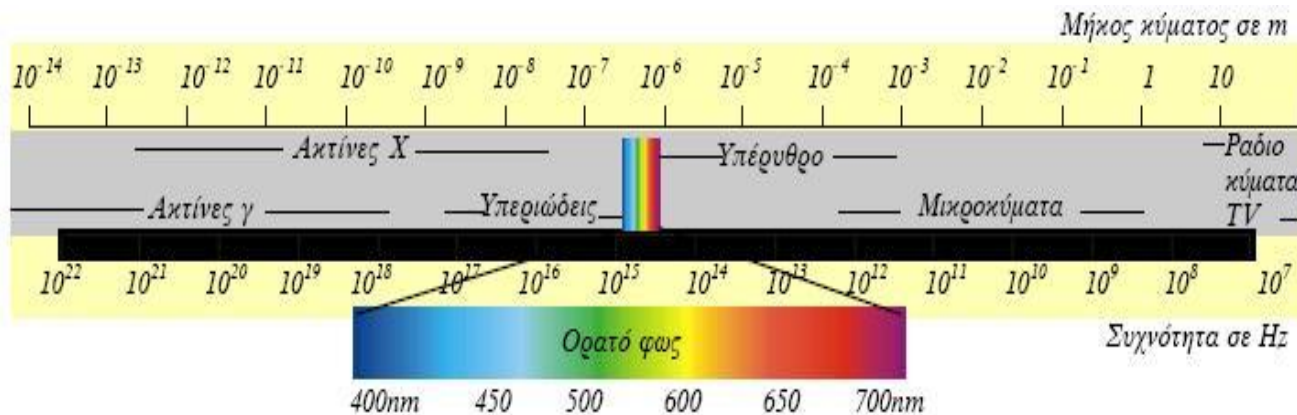
ν : συχνότητα προσπίπτουσας ακτινοβολίας (μονάδα μέτρησης Hertz, 1 Hertz=1κύμα/1sec)

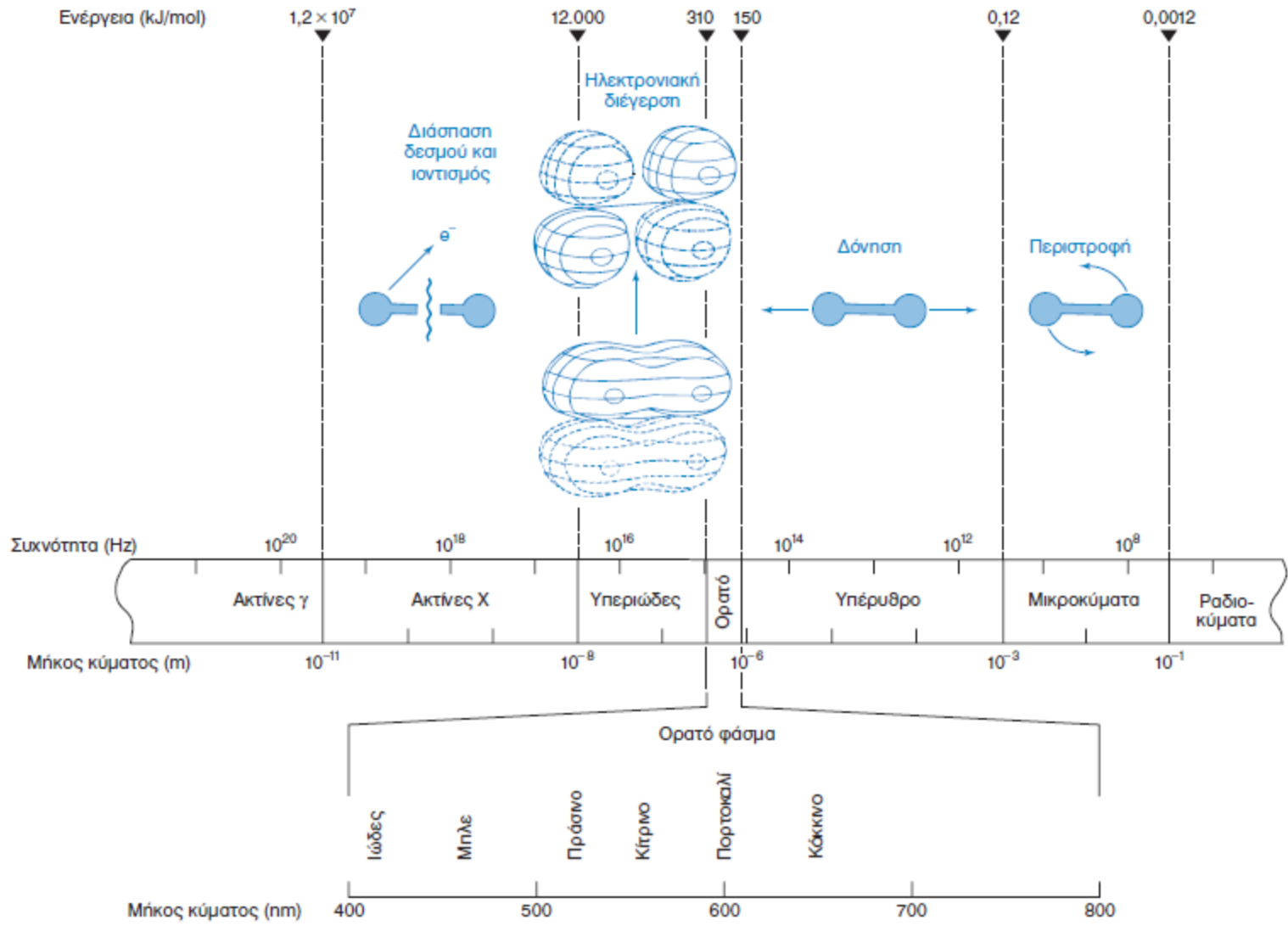
λ : μήκος κύματος προσπίπτουσας ακτινοβολίας (nm, 1nm = 10^{-9} m)



ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

- Το εύρος συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**.
- Από όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε μόνο μια πολύ μικρή περιοχή: το ορατό φως μέσω της όρασης και το υπέρυθρο μέσω της θερμότητας.





- Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει σε κάποιο υλικό μπορεί να περάσει δια μέσω του υλικού χωρίς να επηρεαστεί οπότε το υλικό θεωρείται διαπερατό, μπορεί να αλλάξει διεύθυνση (ανάκλαση, διάθλαση, περίθλαση), ή τέλος να απορροφήσει το υλικό μέρος ή όλη την ακτινοβολία.
- Η απορρόφηση αυτή συνεπάγεται αύξηση της ενέργειας του σώματος που μεταδίδεται στα άτομα, μόρια ή ιόντα και έχει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ

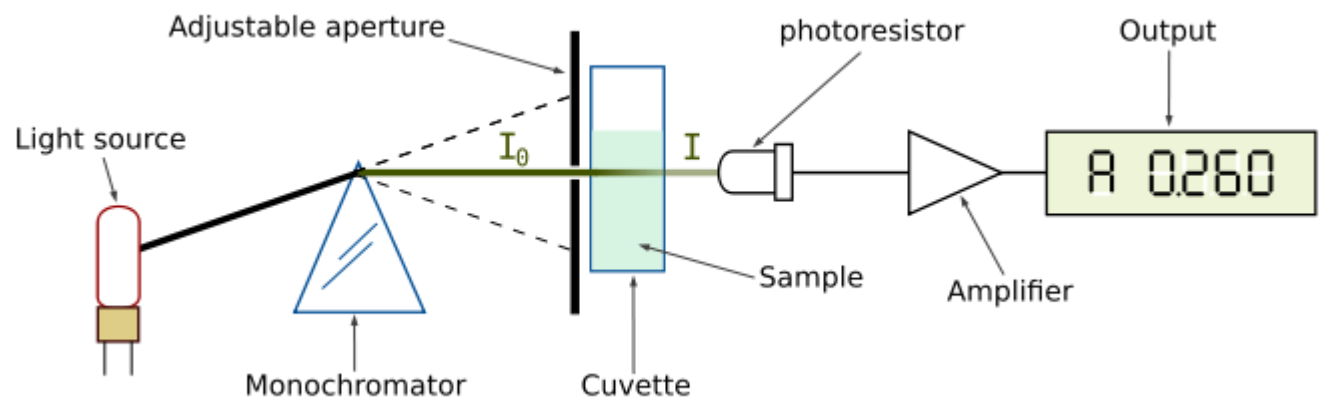
- Η φασματοφωτομετρία αξιοποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ορατού και υπέρυθρου και ενός δείγματος κυρίως υπό μορφή διαλύματος. Το όργανο με το γίνονται οι μετρήσεις ονομάζεται **φασματοφωτόμετρο**.



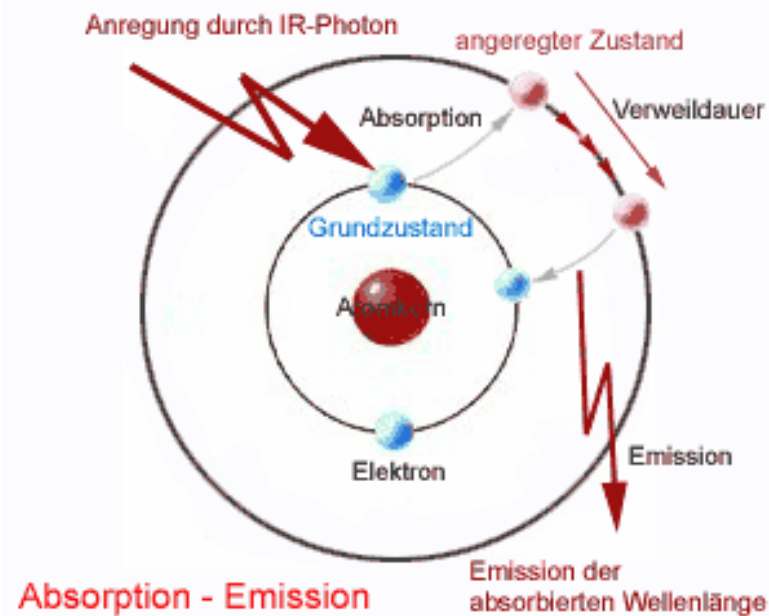
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- Ως πηγή φωτός, για την απορρόφηση π. χ στο ορατό φως, επιλέγεται μία λάμπα πυράκτωσης, που εκπέμπει ένα μίγμα από όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός. Από την δέσμη αυτή του λευκού φωτός παράγεται μέσω ενός συστήματος μονοχρωματική ακτινοβολία με το επιθυμητό μήκος κύματος η οποία προσπίπτει σε μια κυψελίδα που περιέχει το δείγμα. Το δείγμα ανάλογα με την συγκέντρωση απορροφά μέρος της ακτινοβολίας.
- Η απορρόφηση ενέργειας από την μονοχρωματική ακτινοβολία του προς εξέταση διαλύματος στην κυψελίδα οδηγεί σε διέγερση ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας του ατόμου της προς εξέταση ουσίας. Το ηλεκτρόνιο μέσα σε ελάχιστο χρόνο επανέρχεται στην βασική του ενεργειακή κατάσταση εκπέμποντας την απορροφηθείσα ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας. Την ακτινοβολία αυτή που εξέρχεται από την κυψελίδα μετατρέπει ο ανιχνευτής σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο και καταγράφεται σε μια οθόνη.





- ο η απορρόφηση από εξωτερικό ηλεκτρόνιο ατόμου ενός φωτονίου IR-αντινοβολίας, η διέγερσή του η επαναφορά του στην βασική του ενεργειακή κατάσταση με ταυτόχρονη εκπομπή ενέργειας:



ΝΟΜΟΣ BEER-LAMBERT

- Για να υπολογίσουμε την σχέση της απορρόφησης της εισερχόμενης ακτινοβολίας με την συγκέντρωση του δείγματος χρησιμοποιούμε τον νόμο **Beer-Lambert**:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\epsilon \cdot d \cdot c}$$

Οπου

I : ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας

I_0 : ένταση εξερχόμενης ακτινοβολίας

ϵ : συντελεστής μοριακής απορρόφησης. Εξαρτάται από την φύση της ουσίας και από το μήκος κύματος

c : συγκέντρωση του διαλύματος

d : μήκος διαδρομής της δέσμης μέσα στην κυψελίδα (ίση με το πάχος της κυψελίδας)



ΝΟΜΟΣ BEER-LAMBERT

- Αν λογαριθμιστεί η σχέση προκύπτει:

$$\log (I/I_0) = -\varepsilon \cdot d \cdot c \quad (1)$$

- Ο λόγος I/I_0 ονομάζεται **διαπερατότητα T** του διαλύματος και το μέγεθος $-\log (I/I_0)$ δηλαδή $\log(I_0/I)$ ονομάζεται **απορρόφηση A (Absorbance)**.
- Έτσι η σχέση (1) γράφεται

$$A = \varepsilon \cdot d \cdot c \quad (2)$$

Όπου

A: απορροφητικότητα (καθαρός αριθμός)

ε : ο συντελεστής μοριακής απορρόφησης

c: η συγκέντρωση του διαλύματος

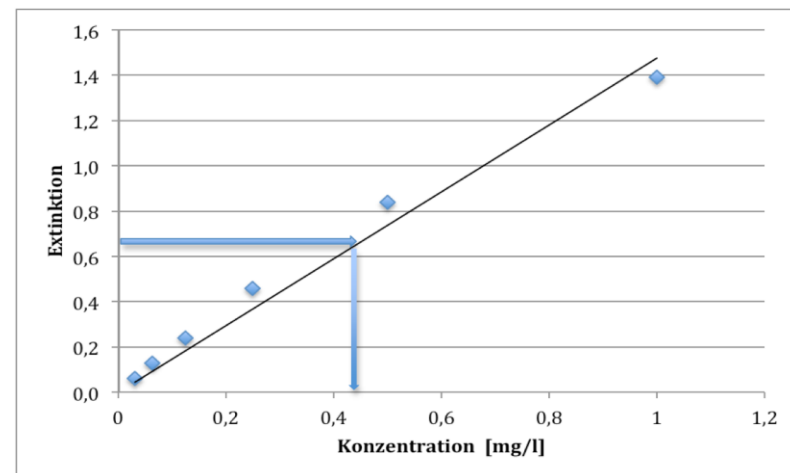
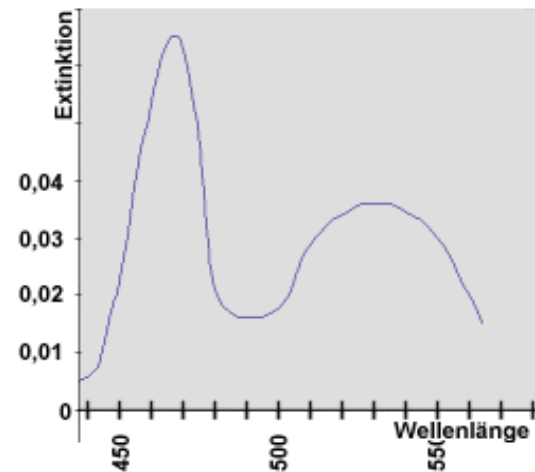
d: το μήκος διαδρομής της δέσμης μέσα στην κυψελίδα (ίση με το πάχος της κυψελίδας)

- Από την σχέση (2) φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ της απορρόφησης και της συγκέντρωσης. Η εφαρμογή της έχει όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο για αραιά διαλύματα.



ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

- Επιβεβαίωση ότι η ουσία που εξετάζουμε απορροφά στην εν λόγω περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αν το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό προσπαθούμε να τροποποιήσουμε έτσι την ένωση ώστε να παρουσιάζει απορρόφηση.
- Λήψη του φάσματος απορρόφησης σε όλη την περιοχή του UV -ορατού φωτός για να επισημανθεί σε ποιο μήκος κύματος η ουσία έχει την μέγιστη απορρόφηση (το βήμα αυτό δεν είναι απαραίτητο αν είναι ήδη γνωστή η ουσία).
- Κατασκευή καμπύλης αναφοράς. Για να κατασκευάσουμε την καμπύλη αναφοράς παρασκευάζουμε έναν αριθμό πρότυπων διαλυμάτων με συγκεντρώσεις παραπλήσιες με το προς εξέταση διάλυμα και μετράμε την απορρόφηση. Βάσει των τιμών κατασκευάζουμε την καμπύλη αναφοράς.
- Μέτρηση της απορρόφησης του δείγματος
- Υπολογισμός της συγκέντρωσης βάσει της καμπύλης αναφοράς



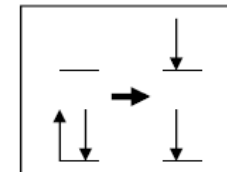
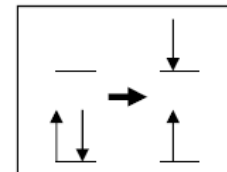


ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ

ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

- **Φωταύγεια (Luminescence)**

- Εκπομπή φωτονίων από διεγερμένες ηλεκτρονικές καταστάσεις (excited states)
- Δύο είδη φωταύγειας:
 - Αποδιέγερση από μονήρη (singlet) διεγερμένη κατάσταση
 - Αποδιέγερση από τριπλή (triplet) διεγερμένη κατάσταση
- Μονήρεις και Τριπλές Καταστάσεις
 - Θεμελιώδης κατάσταση (Ground state) – δύο ηλεκτρόνια ανά τροχιακό (orbital) με αντίθετο σπιν σε ζεύγος
 - Μονήρης διεγερμένη κατάσταση
 - Το ηλεκτρόνιο στη ψηλότερη ενεργειακή κατάσταση έχει την αντίθετη κατεύθυνση σπιν από το ηλεκτρόνιο στο κατώτερο τροχιακό
 - Τριπλή διεγερμένη κατάσταση
 - Το διεγερμένο ηλεκτρόνιο μπορεί αυτόματα να αντιστρέψει το σπιν του. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διασυστηματική διέλευση (intersystem crossing.) Τα ηλεκτρόνια και στα δύο τροχιακά έχουν τώρα την ίδια κατεύθυνση σπιν.

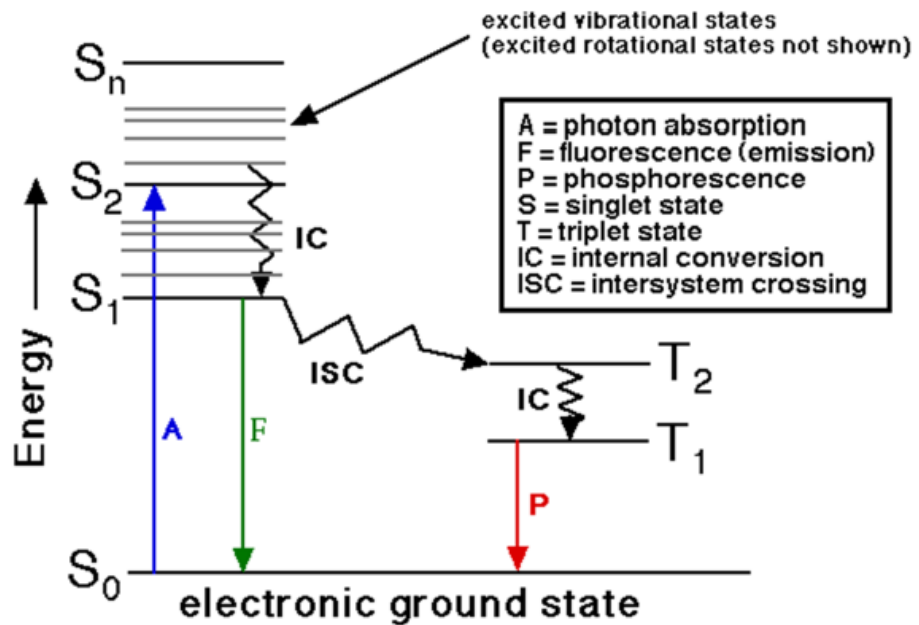


ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

• Τύποι εκπομπής

- Φθορισμός
 - Επιστροφή από μονήρη διεγερμένη κατάσταση στη βασική κατάσταση (ground state) → δεν απαιτεί αλλαγή στον προσανατολισμό του σπιν (πιο συχνή από αποδιέγερση (relaxation))
- Φωσφορισμός
 - Επιστροφή από τριπλή διεγερμένη κατάσταση στη βασική κατάσταση (ground state) → απαιτεί αλλαγή στον προσανατολισμό του σπιν
- Ο ρυθμός εκπομπής του φθορισμού είναι αρκετές τάξεις μεγέθους πιο γρήγορος από ότι του φωσφορισμού

• Διάγραμμα ενεργειακών επιπέδων (Διάγραμμα Jablonski)



ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

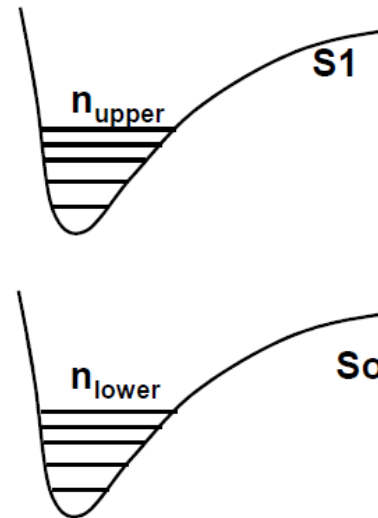
- Πληθυσμός των ενεργειακών καταστάσεων

- Η αναλογία των μορίων σε άνω και κάτω ενεργειακό επίπεδο

$$\frac{n_{upper}}{n_{lower}} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

$k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ (σταθερά Boltzmann)

ΔE = Ενεργειακή διαφορά μεταξύ επιπέδων



ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

• Διέγερση

- Φως απορροφάται
- Για αραιό δείγμα, ισχύει ο νόμος Beer-Lambert
 - Το μέγεθος του ϵ αντανακλά την πιθανότητα απορρόφησης
 - Η εξάρτηση του ϵ ως προς το μήκος κύματος αντιστοιχεί στο φάσμα απορρόφησης

$$A = \epsilon(\lambda)CL$$

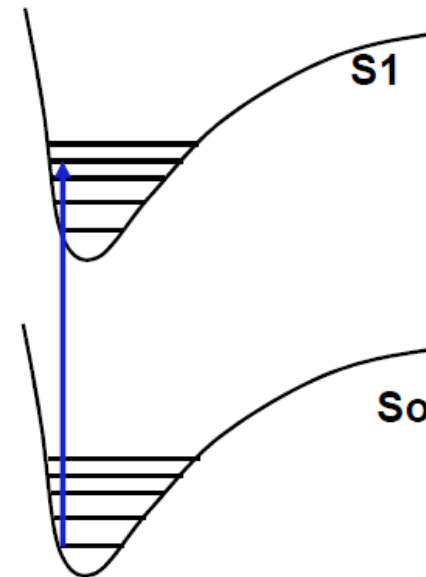
ϵ = συντελεστή μοριακής απορρόφησης (molar absorption coefficient) - ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

C = συγκέντρωση (concentration) (M)

L = μήκος διαδρομής (pathlength) (cm)

• Αρχή Franck-Condon

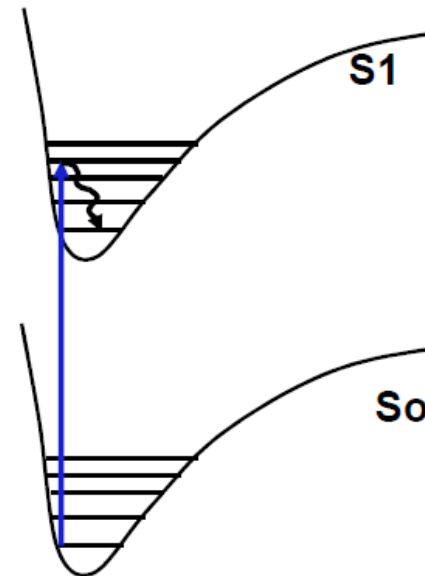
- Η διεργασία απορρόφησης λαμβάνει χώρα σε μια χρονική κλίμακα (10^{-15} s) πολύ ταχύτερα από εκείνη της μοριακής δόνησης



ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

- **Μη εκπέμπουσα μετάβαση (non-radiative relaxation)**

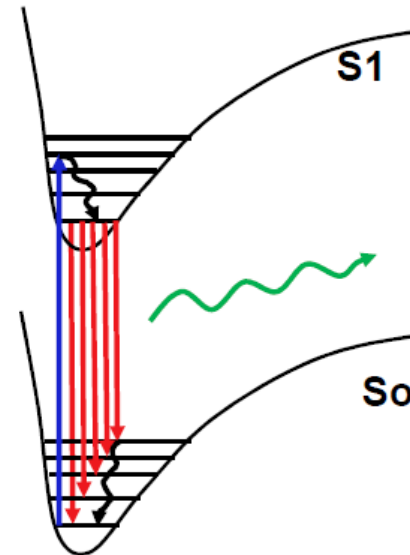
- Το ηλεκτρόνιο προωθείται σε υψηλότερο επίπεδο δόνησης στην κατάσταση S_1 από το επίπεδο δόνησης που ήταν στη βασική κατάσταση S_0
- Δονητική απενεργοποίηση πραγματοποιείται μέσω διαμοριακών συγκρούσεων
- Χρονική κλίμακα 10^{-12} s (γρηγορότερα από ότι η διαδικασία του φθορισμού)



ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

• Εκπομπή

- Το μόριο μεταβαίνει από το χαμηλότερο δονητικό ενεργειακό επίπεδο της διεγερμένης κατάστασης (S_1) σε κάποιο δονητικό ενεργειακό επίπεδο της βασικής κατάστασης (10^{-9} s)
- Η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται είναι μικρότερη από εκείνη των προσπιπτόντων φωτονίων
- Φάσμα εκπομπής
 - Για ένα δεδομένο μήκος κύματος διέγερσης, η μετάβαση των εκπομπών κατανέμεται μεταξύ διαφόρων δονητικών ενεργειακών επιπέδων του S_0
 - Για ένα μόνο μήκος κύματος διέγερσης, παρουσιάζεται ένα φάσμα εκπομπής φθορισμού



ΑΡΧΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

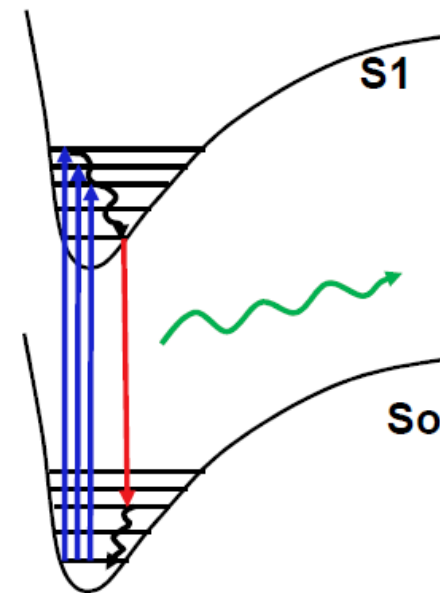
• Εκπομπή

• Μετατόπιση Stokes

- Φως φθορισμού με μεγαλύτερο μήκος κύματος σε σχέση με το φως που απορροφάται (φως διέγερσης)
- Εσωτερική μετατροπή (Internal conversion) επηρεάζει μετατόπιση Stokes
- Ο διαλύτης και η σχέση των διεγερμένων καταστάσεων μπορεί επίσης να επηρεάσουν το μέγεθος της μετατόπιση Stokes

• Το μήκος κύματος εκπομπής είναι ανεξάρτητο από το μήκος κύματος διέγερσης

- Μετάβαση στο χαμηλότερο δονητικό ενεργειακό επίπεδο της S_1
- Για ένα μόριο, το ίδιο μήκος κύματος εκπομπής φθορισμού παρατηρείται, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος διέγερσης





ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

○ ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

- Αν υπάρχει πλήρη αφαίρεση βερνικιού από την επιφάνεια του έργου.
- Γίνονται ορατά ξεθωριασμένα κείμενα- κειμήλια τέχνης
- Ορατές επιγραφές ή ενδεχόμενα σχήματα
- Ποιοτική ανίχνευση χρωστικών

○ ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

- Επιφανειακές φθορές
- Νεότερες επιζωγραφίσεις και επεμβάσεις
- Τοπικές αλλοιώσεις
- Γνωμάτευση της κατάστασης συντήρησης



ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΥΨΗΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ-ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

○ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

- Μικροστροματογραφική δομή
- Επιγραφές ή γεωμετρικά σχήματα
- Διαδοχικά στάδια δημιουργίας του καλλιτέχνη
- Αθέατες επιφανειακές λεπτομέρειες
- Παλαιότερες επεμβάσεις και επιζωγραφίσεις
- Πρώτο σχεδιαστικό σκαρίφημα
- Αρχική ζωγραφική σύνθεση

○ ΕΓΧΡΩΜΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

- Ταυτοποίηση διαφοροποίηση χρωστικών
- Παλαιότερα κιτρινωμένα από το χρόνο βερνίκια παρουσιάζονται ως άχρωμα ή διαφανή
- Παλαιότερες επιζωγραφίσεις
- Επεμβάσεις αλλοίωσης
- Αλλαγές στην ζωγραφική σύνθεση
- Αρχικά σχεδιαστικά σκαρηφήματα
- Γενική κατάσταση συντήρησης του έργου

○ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

- Ταυτοποίηση κατασκευαστικών υλικών των έργων τέχνης





Φθορισμός στο υπέρυθρο στην ορατή περιοχή προκαλούμενη από UV πηγή
διέγερσης



Φωτογραφία ανάκλασης στο υπεριώδες (950-1150nm)



Φωτογραφία ανάκλασης στο υπεριώδες (950-1150nm)



