

1. Σκοπός

Η εργαστηριακή αυτή άσκηση αποσκοπεί α) στην μελέτη του φαινομένου της εξασθένησης του φωτός καθώς αυτό διέρχεται μέσα από διαφανή σώματα και β) στον προσδιορισμό του γραμμικού συντελεστή απορρόφησης των σωμάτων αυτών.

2. Θεωρία

2.1 Απορρόφηση του φωτός

Όταν προσπίπτει ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε διαφανές υλικό, ανάλογα με το είδος του υλικού, είναι δυνατόν μέρος της ενέργειας να παραμείνει στο υλικό και έτσι το κύμα που εξέρχεται να έχει μικρότερη ένταση από την αρχική. Τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της απορρόφησης της έντασης του κύματος.

Όταν στο σώμα προσπίπτει φως που χαρακτηρίζεται από συνεχές φάσμα το διερχόμενο φως έχει γενικά διαφορετικό φάσμα από το προσπίπτον. Όταν όλα τα μήκη κύματος απορροφώνται το ίδιο θεωρείται ότι εμφανίζεται γενική απορρόφηση (Σχήμα 1).

Όταν απορροφώνται κατά προτίμηση και επιλεκτικά ορισμένες στενές περιοχές γύρω από κάποια μήκη κύματος εμφανίζεται εκλεκτική απορρόφηση (Σχήμα 2). Στην εκλεκτική απορρόφηση απορροφούνται κυρίως εκείνα τα μήκη κύματος $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ που αντιστοιχούν σε συχνοτητες κοντά στις ιδιοσυχνότητες $\omega_1, \omega_2, \dots$ της ταλάντωσης των μορίων του υλικού.



Το μέλαν σώμα έχει γενική απορρόφηση και μάλιστα 100% σε όλα τα μήκη κύματος. Τα ουδέτερα ή γκριζα σώματα έχουν αντίστοιχα γενική απορρόφηση ίδια σε όλα τα μήκη κύματος μικρότερη όμως από 100% .

Τα σώματα που ονομάζονται αδιαφανή σε πολύ μικρά πάχη γίνονται διαφανή, τέτοιο παράδειγμα είναι τα μέταλλα. Λεπτά μεταλλικά φύλλα όμως παρουσιάζουν εκλεκτική διαφάνεια. Λεπτά φύλλα χρυσού στην διέλευσή του λευκού φωτός φαίνονται κυανο - πράσινα. Λεπτά φύλλα αργύρου φαίνονται διαφανή στην περιοχή 316nm (υπεριώδες).

Η στεφανύαλος είναι διαπερατή στην περιοχή $350\text{nm} \leq \lambda \leq 20000\text{nm}$. Ο χαλαζίας είναι διαφανής στην περιοχή $190\text{nm} \leq \lambda \leq 40000\text{nm}$. Ο αέρας απορροφά περιοχές με μικρά μήκη κύματος $\lambda < 125\text{nm}$.

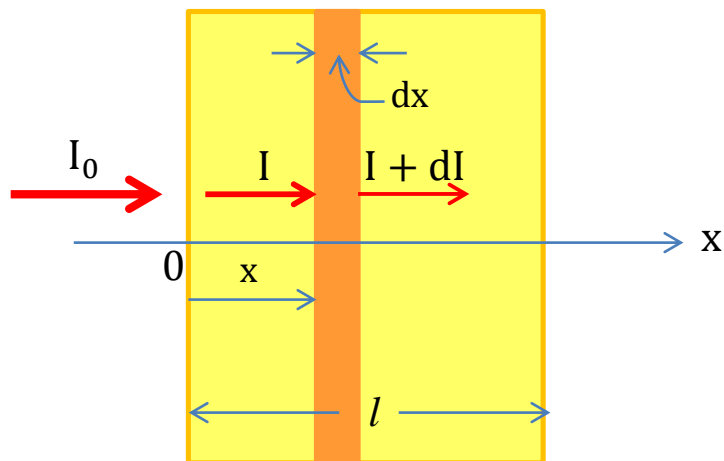
2.2 Νόμος απορρόφησης των Lambert - Beer

Η απορρόφηση μίας ακτινοβολίας εξαρτάται από το υλικό του σώματος που απορροφά, το πάχος του απορροφητικού στρώματος και από την συχνότητα ω (ή το αντίστοιχο μήκος κύματος: $\lambda = \frac{2\pi c_0}{\omega}$).

Έστω ότι το απορροφητικό στρώμα αρχίζει από $x = 0$ και τελειώνει στο $x = l$. Ας θεωρηθεί ένα λεπτό στρώμα πάχους dx σε βάθος x μέσα στο στρώμα. Στο λεπτό στρώμα προσπίπτει ένταση (I) και διέρχεται ένταση ($I + dI$) ($dI < 0$). Το πείραμα δείχνει ότι:

$$dI = -\mu I dx$$

όπου μ ένας συντελεστής που λέγεται γραμμικός συντελεστής εξασθένησης (ή απορρόφησης) και εξαρτάται από το υλικό, την κατάσταση του υλικού (στερεό, υγρό, αέριο) και από το μήκος κύματος λ .



Σχήμα 3. Απορρόφηση ακτινοβολίας σε στρώμα πάχους dx στο εσωτερικό υλικού.

Αν θεωρηθεί ότι προσπίπτει μονοχρωματική ακτινοβολία τότε ο συντελεστής εξασθένησης (μ) εκφράζει το ποσοστό ελάττωσης της έντασης ανά μονάδα πάχους ήτοι:

$$\mu = -\left(\frac{dI}{I}\right) / dx$$

Είναι προφανές ότι το μ έχει διαστάσεις: (μήκος).⁻¹

Η διαφορική εξίσωση λύνεται και η ολοκλήρωσή της δίνει την ένταση $I(x)$ σε βάθος (x) του υλικού όταν είναι γνωστή η ένταση I_0 που αντιστοιχεί σε «βάθος» $x = 0$, δηλαδή στην πρώτη επιφάνεια. Ο υπολογισμός τελικά δίνει το αποτέλεσμα:

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \text{ Νόμος απορρόφησης των Lambert - Beer}$$

όπου $e = 2.72 \dots$ η βάση των νεπέρειων (ή φυσικών) λογαρίθμων, (I_0) η ένταση που εισέρχεται στο στρώμα και (I) η τιμή της έντασης σε βάθος x .

Παρατηρήσεις:

(α) Το (I_0) είναι η ένταση που τελικά εισέρχεται και όχι αυτή που προσπίπτει διότι ένα μέρος

της προσπίπτουσας ανακλάται. Στην παρούσα άσκηση θεωρείται αμελητέο το ποσόν της έντασης του φωτός που ανακλάται στην πρόσθια αλλά και την πίσω πλευρά του κάθε πλακιδίου και έτσι δεν λαμβάνεται υπ' όψη.

(β) Εάν τα πλακίδια που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν γενική ουδέτερη απορρόφηση τότε ο συντελεστής εξασθένησης έχει την ίδια τιμή είτε προσπέσει μονοχρωματική ακτινοβολία είτε και λευκό φως.

(γ) Όταν τα χρησιμοποιούμενα διαφανή πλακίδια παρουσιάζουν επιλεκτική απορρόφηση τότε στο λευκό φως υπολογίζεται πειραματικά ο μέσος συντελεστής εξασθένησης ενώ σε κάθε μονοχρωματική ακτινοβολία θα παρουσιάζεται και διαφορετικός συντελεστής εξασθένησης.

Διαφάνεια υλικών

Διαφάνεια υλικών ονομάζεται το πηλίκο της διερχόμενης έντασης (I) προς την προσπίπτουσα ένταση (I_0):

$$\text{Διαφάνεια} = \frac{I}{I_0}$$

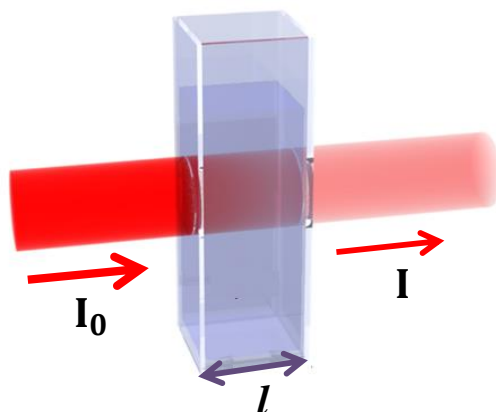
2.3 Άλλες μορφές του νόμου των Lambert - Beer

Αντί των νεπέρειων δύναται να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα οι δεκαδικοί λογάριθμοι. Προφανώς θα ισχύει:

$$e^{-\mu x} = 10^{-kx} \Rightarrow (\log e) \cdot (-\mu x) = 1 \cdot (-kx) \Rightarrow k = \mu \log e = \mu \log 2.72 = 0.434\mu$$

οπότε και η προηγούμενη σχέση γράφεται: $I = I_0 10^{-kx}$

Στις περιπτώσεις εγχρώμων διαλυμάτων η απορρόφηση εξαρτάται από την συγκέντρωση (C) της ουσίας που διαλύεται στο διάλυμα (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Απορρόφηση σε έγχρωμα διαλύματα.

Αν υποθεθεί ότι $k = \epsilon C$ τότε:

$$\text{Νόμος Beer: } I = I_0 10^{-\epsilon Cl}$$

Η αναλογία των k και C ισχύει μόνο για αραιά διαλύματα. Ο συντελεστής ϵ λέγεται δείκτης απορροφητικότητας της διαλυμένης ουσίας.

Οι μονάδες του ϵ εξαρτώνται από τις μονάδες με τις οποίες εκφράζεται η συγκέντρωση (C) αλλά και το πάχος (l).

Στο S.I. όπου η μονάδα της συγκέντρωσης (C) είναι $1\text{Kgr}/\text{m}^3$ και το μήκος (l) το 1m η μονάδα του δείκτη απορροφητικότητας (ϵ) είναι: m^2/Kgr .

3. Πειραματική διάταξη - Διαδικασία

Για την πραγματοποίηση της άσκησης απαιτούνται τα παρακάτω όργανα:

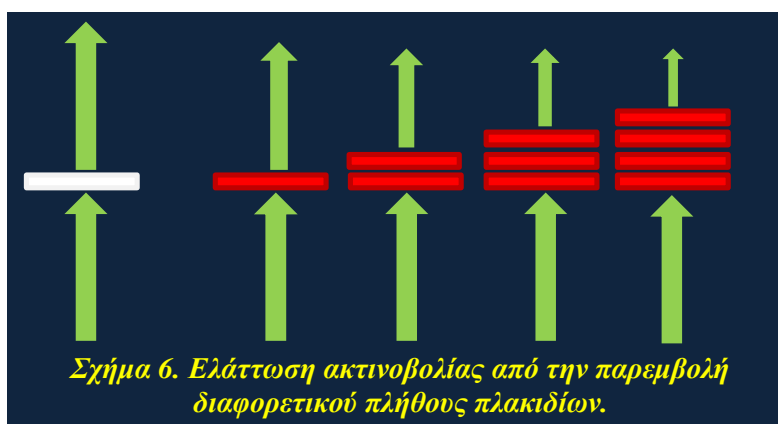
1. Φωτεινή πηγή: Τύπου λαμπτήρα πυρακτώσεως ή λευκού φωτός (περιοχή θερμοκρασιών $2800 - 5500^{\circ}K$).

2. Φωτόμετρο: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε φωτόμετρο που μετρά σε Lux, αρκεί να είναι γνωστή η περιοχή ευαισθησίας του (Σχήμα 5).

3. Υλικό απορρόφησης: Αν πρόκειται για στερεά διαφανή σώματα βοηθάει να είναι διαμορφωμένα σε σχήμα φύλλων διαφορετικού ή και ίδιου πάχους. Αυτά παρεμβάλλονται μεταξύ φωτεινής πηγής και φωτόμετρου και μετριέται η εξερχόμενη ένταση I που αντιστοιχεί στο εκάστοτε πάχος (Σχήμα 6).



Σχήμα 5. Φωτόμετρο, συσκευή μέτρησης αναλογικού χαρακτήρα.



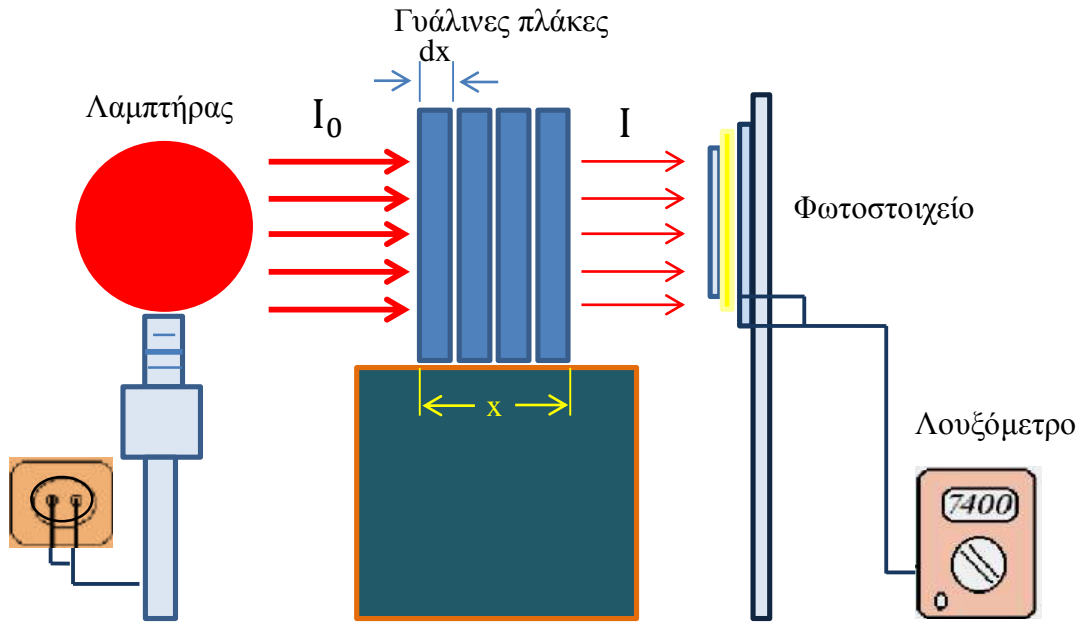
Στα υγρά για τον υπολογισμό του (ϵ) απαιτούνται δοχεία με διαφορετικά πάχη (l) που περιέχουν την ουσία σε μορφή διαλύματος της ίδιας συγκέντρωσης (C). Ο υπολογισμός του (ϵ) μπορεί να επιτευχθεί και με ένα δοχείο στο οποίο το επιπλέον διάλυμα τοποθετείται σταδιακά ώστε για κάθε νέο ύψος (l) να μετριέται η αντίστοιχη ένταση (I).

Με την πειραματική διάταξη που παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί μετριέται η εξασθένηση του φωτός λαμπτήρα, καθώς το φως διαπερνά μια σειρά από γυάλινες διαφανείς πλάκες. Για δεδομένη απόσταση λαμπτήρα - φωτοστοιχείου μετριέται αρχικά ο φωτισμός χωρίς την παρεμβολή κάποιας γυάλινης πλάκας. Προσδιορίζεται έτσι η αρχική τιμή (I_0).

Ακολούθως τοποθετείται ανάμεσα στον λαμπτήρα και στο φωτοστοιχείο μια υάλινη πλάκα δεδομένου πάχους, π.χ. 5 mm και μετριέται ο φωτισμός, δηλαδή η ένταση του φωτός που διήλθε.

Στην συνέχεια προστίθεται και δεύτερη πλάκα, μετά και τρίτη κοκ., αυξάνοντας έτσι σταδιακά το συνολικό πάχος του υλικού, από το οποίο περνάει το φως.

Για τον περιορισμό του διάχυτου φωτός που προέρχεται από το περιβάλλον, είτε λαμβάνεται μια μέτρηση αναφοράς, δηλαδή πριν την εκάστοτε μέτρηση, η οποία και αφαιρείται κάθε φορά από την τιμή της μέτρησης, είτε χρησιμοποιείται ένα προστατευτικό κάλυμμα για συσκότιση.



Σχήμα 7. Πειραματική διάταξη για την εύρεση του συντελεστή εξασθένησης φωτός δια μέσου διαφανών πλακών.

4. Εργασίες

1. Αναγνωρίζεται η πειραματική διάταξη και επιλέγεται η κατάλληλη κλίμακα λειτουργίας του φωτόμετρου για κάθε τιμή της μετρούμενης έντασης.
2. Λαμβάνεται η ένδειξη του φωτόμετρου όταν δεν παρεμβάλλονται υλικά μεταξύ αυτού και της φωτεινής πηγής.
3. Τοποθετείται πάνω στην οριζόντια τράπεζα στήριξης το πρώτο δείγμα και καταγράφετε στον πίνακα το πάχος (l) του απορροφητή όπως και την ένταση (I) του φωτόμετρου.

Πίνακας μετρήσεων

α/α	l (mm)	I_0 (Lux)	I (Lux)	$\frac{I}{I_0}$	$\ln \frac{I}{I_0}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

4. Επαναλαμβάνονται διαδοχικά οι μετρήσεις της έντασης I ανάλογα με τον συνολικό αριθμό των δειγμάτων, προσθέτοντας διαδοχικά τα γυάλινα πλακίδια μέχρι και το τελευταίο.

Υπολογίζονται τα πηλίκα $\left(\frac{I}{I_0}\right)$ καθώς και οι λογάριθμοι $\ln \frac{I}{I_0}$, συμπληρώνετε την τελευταία στήλη του πίνακα μετρήσεων.

6. Δημιουργήστε σε δεκαδικό χιλιοστομετρικό χαρτί την γραφική παράσταση:

$$\ln \frac{I}{I_0} = f(l)$$

Τι παρατηρείτε; Τα πειραματικά σας σημεία βρίσκονται επί ευθείας;

Διέρχεται η πειραματική αυτή ευθεία από την αρχή των αξόνων; Πως δικαιολογείται ένα τέτοιο γεγονός;

7. Υπενθυμίζεται ότι ο νόμος της απορρόφησης $I = I_0 e^{-\mu x}$ μετατρέπεται στην σχέση:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$$

Επομένως, στο διάγραμμα $\ln \frac{I}{I_0} = f(x)$ η κλίση της πειραματικής ευθείας ταυτίζεται με τον συντελεστή μ .

8. Υπολογίζεται από την γραφική παράσταση της εργασίας 6 η κλίση της πειραματικής ευθείας και από αυτήν η τιμή (μ) του συντελεστή εξασθένησης.

$\mu =$	(m^{-1})
---------	------------