

1 Σκοπός

Όταν αναλύεται το φως που εκπέμπεται από ένα σώμα τότε λαμβάνεται το φάσμα του. Ειδικά το φάσμα των αερίων αποτελείται από μία σειρά γραμμών που είναι χαρακτηριστικές για το κάθε αέριο και επομένως δύναται έτσι να ταυτοποιηθεί.

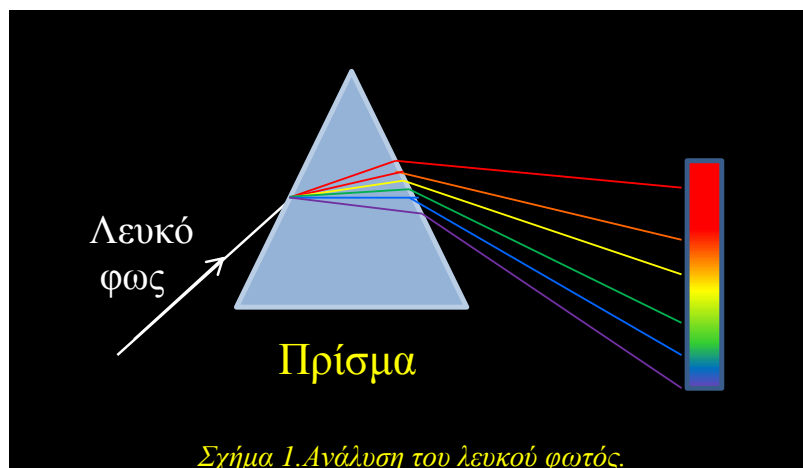
Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της ταυτότητας άγνωστου αερίου από τη μελέτη του φάσματος εκπομπής του αλλά και με την αξιοποίηση πινάκων βιβλιογραφικής αναφοράς. Προς τούτο προηγείται η βαθμολογία του φασματοσκοπίου. Ακόμη στην άσκηση γίνεται η παρατήρηση του φάσματος εκπομπής πυρακτωμένου μετάλλου (συνήθως βολφράμιο) και ο προσδιορισμός των περιοχών απορρόφησης έγχρωμων φίλτρων.

2 Θεωρία

2.1 Ανάλυση λευκού φωτός.

Όταν λεπτή δέσμη φωτός (προερχόμενη από τον ήλιο ή ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως) προσπέσει επί της μιας έδρας οπτικού πρίσματος, τότε η διερχόμενη δέσμη διαθλάται και αναλύεται σε φωτεινές ακτίνες διαφόρων χρωμάτων.

Αν οι ακτίνες αυτές προσπέσουν σε πέτασμα λαμβάνεται μία έγχρωμη φωτεινή ταινία που ονομάζεται φάσμα (Σχήμα 1). Τα χρώματα του φάσματος αυτού είναι απλά δηλαδή δεν αναλύονται περαιτέρω.

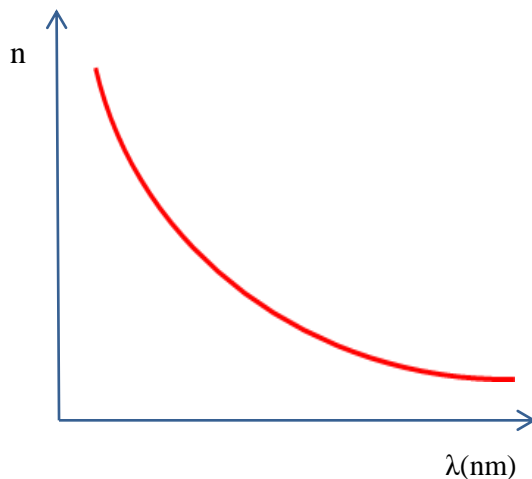


Η ανάλυση του φωτός ερμηνεύεται ως εξής:

Το λευκό φως συνιστάται από άπειρο πλήθος ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικό μήκος κύματος λ και συχνότητα f . Αυτά συνδέονται με τη γνωστή σχέση: $c = \lambda \cdot f$, όπου c η ταχύτητα διάδοσης του φωτεινού κύματος.

Για κάθε διαφανές οπτικό μέσο σε κάθε μήκος κύματος λ αντιστοιχεί ένας δείκτης διάθλασης n , ο οποίος μάλιστα ελαττώνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος.

Η συνάρτηση $n = f(\lambda)$ για όλα τα άχρωμα διαφανή υλικά στην περιοχή του ορατού φάσματος έχει γενικά την μορφή της καμπύλης του σχήματος 2 που ακολουθεί.



Σχήμα 2. Σχέση δείκτη διάθλασης υλικού και μήκους κύματος ακτινοβολίας.

Όταν αναφέρεται μονοχρωματικό φως εννοείται μια δέσμη φωτεινών ακτίνων που περιέχει μια αρκετά στενή περιοχή μηκών κύματος. Σύμφωνα με τα προηγούμενα η έκφραση ότι το λευκό φως αναλύεται στα λεγόμενα χρώματα της ίριδας δεν είναι ακριβής αφού το κάθε χρώμα αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών αποχρώσεων του ίδιου χρώματος και η μετάβαση από το ένα χρώμα στο άλλο είναι συνεχής.

Ο ανθρώπινος οφθαλμός έχει την ικανότητα να διακρίνει περίπου από 150 – 180 αποχρώσεις σε ολόκληρο το ορατό φάσμα.

Στον πίνακα I που ακολουθεί εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα του ορατού φάσματος και οι περιοχές συχνοτήτων ή μηκών κύματος (στον αέρα) των διαφόρων αποχρώσεων των χρωμάτων αυτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Χρώμα	Μήκος κύματος σε (nm)	Συχνότητα σε (Hz) ($\times 10^{12}$)
Ερυθρό (Κόκκινο)	770 - 640	380 - 465
Πορτοκαλί	640 - 590	465 - 500
Κίτρινο	590 - 550	500 - 550
Πράσινο	550 - 490	550 - 610
Κυανό (μπλέ)	490 - 450	610 - 660
Ιώδες	450 - 400	660 - 750

Το αντίστροφο της ανάλυσης του φωτός είναι η διαδικασία της σύνθεσης δηλαδή η δημιουργία λευκού φωτός από τα επί μέρους χρώματα που το συνιστούν.

2.2 Είδη φασμάτων.

Α. Φάσματα Εκπομπής.

Τα διάφορα σώματα στερεά, υγρά ή αέρια όταν βρίσκονται σε διάπυρη κατάσταση ή σε διεγερση (αέρια) εκπέμπουν φως του οποίου η ακριβής σύνθεση εμφανίζεται όταν αυτό αναλυθεί. Όταν το φως που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή διαβιβάζεται απ' ευθείας στο φασματοσκόπιο, το φάσμα που λαμβάνεται καλείται φάσμα εκπομπής του ακτινοβολούντος σώματος. Από την μελέτη – διερεύνηση των φασμάτων εκπομπής των διαφόρων σωμάτων προέκυψαν τα εξής:

1. Το φάσμα εκπομπής στερεών ή υγρών σωμάτων σε διάπυρη κατάσταση είναι συνεχές, δηλαδή δεν παρουσιάζει σε όλη του την έκταση σκοτεινές γραμμές, αλλά η χρωματική μετάβαση είναι συνεχής από τις λιγότερο θλαστικές ακτίνες (ερυθρές) προς τις θλαστικότερες (ιώδεις).

Το συνεχές φάσμα επομένως είναι μια έγχρωμη ταινία που εκτείνεται από την περιοχή του υπέρυθρου έως την περιοχή του υπεριώδους, χωρίς ασυνέχειες (σχήμα 3). Αυτή τη μορφή έχουν τα φάσματα που λαμβάνονται από το διάπυρο σίδηρο (Fe), το διάπυρο νήμα ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως, το διάπυρο μεταλλικό Ni, το βολταϊκό τόξο, ο διάπυρος Pt, Pb, Cu, Au και γενικότερα μέταλλα σε κατάσταση τήξης.

Το φάσμα των σωμάτων αυτών δεν είναι ακριβώς το ίδιο στις διάφορες θερμοκρασίες αλλά καθώς αυξάνει η θερμοκρασία τους εκπέμπονται αρχικά υπέρυθρες ακτίνες ενώ το σώμα παραμένει σκοτεινό. Περί τους 500°C εμφανίζεται να κυριαρχεί η ερυθρά ακτινοβολία και καθώς ανέρχεται η θερμοκρασία εμφανίζονται και τα υπόλοιπα χρώματα της ορατής περιοχής (λευκοπυρώνεται). Τέλος το σώμα εμφανίζεται να εκπέμπει και υπεριώδη ακτινοβολία.

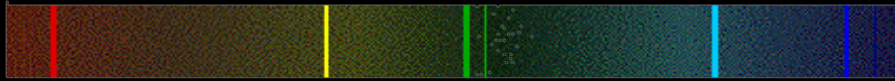
Πρέπει να τονισθεί ότι το φάσμα εκπομπής των στερεών και υγρών δεν είναι χαρακτηριστικό του σώματος που ακτινοβολεί. Δηλαδή σώματα από διαφορετικά υλικά φαίνεται να εμφανίζουν το ίδιο ακριβώς συνεχές φάσμα εκπομπής.



2. Το φάσμα εκπομπής αερίων σωμάτων είναι γραμμικό (παρουσία κάποιων έγχρωμων ραβδώσεων), δηλαδή αποτελείται από διακεκριμένες γραμμές (κατακόρυφες ραβδώσεις) οι οποίες χαρακτηρίζουν μονοσήμαντα την φύση του αερίου (σχήμα 4). Έτσι για παράδειγμα το φάσμα του υδρογόνου στην ορατή του περιοχή αποτελείται από τέσσερις έγχρωμες φωτεινές διακεκριμένες γραμμές. Τα φάσματα αυτά προέρχονται από διακριτά άτομα αερίων ή ατμών σε κατάσταση διεγερσης όπως είναι το H, το He, το Ne καθώς και οι ατμοί Na, K, Hg, Cd κλπ.

Για να ληφθεί το φάσμα εκπομπής αερίου πρέπει να αναγκασθεί το αέριο σε φωτοβολία και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο σωλήνας Geissler. Αυτός είναι διαφανής γυάλινος σωλήνας εντός του οποίου υπάρχει το σχετικό αέριο υπό χαμηλή πίεση (5-10) Torr και τροφοδοτείται με τάση μερικών χιλιάδων Volts.

Γραμμικό φάσμα



Σχήμα 4. Γραμμικό φάσμα εκπομπής αερίου σε κατάσταση διέγερσης.

Πολλές φορές τα φάσματα μερικών αερίων (ή ατμών) περιέχουν μεμονωμένες έγχρωμες φωτεινές ταινίες (ή ζώνες) οπότε και το φάσμα τους καλείται φάσμα ζωνών. Αέρια τα οποία τη στιγμή της ακτινοβολίας τους βρίσκονται υπό μορφή μορίων και εκπέμπουν ταινιωτό φάσμα είναι το O_2 , N_2 , Cl_2 καθώς και ατμοί διαφόρων χημικών ενώσεων όπως H_2O , SO_2 , CO_2 κ.α..

Β Φάσματα Απορρόφησης.

Το λευκό φως όταν διέλθει δια μέσου κάποιου διαφανούς σώματος (στερεού, υγρού ή αερίου) υφίσταται επιλεκτική απορρόφηση ορισμένων ακτινοβολιών του. Επομένως αν αναλύσουμε με φασματοσκόπιο το φως παρατηρούμε ότι το φάσμα αυτού είναι σε κάποιες περιοχές ασθενέστερο ή και λείπουν εντελώς ορισμένες ακτινοβολίες. Αυτά τα φάσματα καλούνται φάσματα απορρόφησης και διακρίνονται σε συνεχή και γραμμικά φάσματα απορρόφησης.

1. Τα στερεά και τα υγρά απορροφούν από το λευκό φως ολόκληρες περιοχές του συνεχούς φάσματος αυτού και παρέχουν έτσι συνεχή φάσματα απορρόφησης στα οποία παρατηρούνται μεγάλες, χαρακτηριστικές σκοτεινές περιοχές. Έτσι τα έγχρωμα φίλτρα επιτρέπουν τη διόδο μόνο σε ορισμένα χρώματα. Επομένως το φως διερχόμενο δια μέσου αυτών δίνει φάσμα στο οποίο λείπουν όλες οι άλλες ακτινοβολίες πλην εκείνων που τελικά διήλθαν.

Συνεχή φάσματα απορρόφησης λαμβάνονται όταν μεταξύ του κατευθυντήρα και της πηγής του λευκού φωτός παρεμβληθεί:

- έγχρωμη γυάλινη πλάκα,
- έγχρωμη πλάκα κάποιου ορυκτού,
- έγχρωμο διάλυμα υγρού ή στερεού,
- οπτικά φίλτρα δηλαδή φίλτρα ή πλακίδια από υλικά τα οποία επιτρέπουν την εκλεκτική διέλευση ορισμένων μόνο περιοχών από ακτινοβολίες του ορατού φάσματος.

2. Τα αέρια και οι ατμοί όταν διαπερνούνται από λευκό φως παρέχουν γραμμικό (ή ταινιωτό) φάσμα απορρόφησης το οποίο παρουσιάζει ορισμένες σκοτεινές γραμμές, στις θέσεις των φωτεινών γραμμών (ή ταινιών) του φάσματος της εκπομπής τους (σχήμα 5). Για παράδειγμα, το φάσμα απορρόφησης των ατμών Νατρίου παρουσιάζει δυο σκοτεινές γραμμές ακριβώς στις θέσεις που βρίσκονταν οι κίτρινες φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του (λόγω του ότι διαμορφώνονται η μια πολύ κοντά στην άλλη, ο ανυποψίαστος παρατηρητής θα δει μια μόνο φασματική γραμμή).

Φάσμα απορρόφησης



Σχήμα 5. Γραμμικό φάσμα απορρόφησης όταν λευκό φως περάσει διά μέσου μη διεγερμένου αερίου.

Χαρακτηριστικά αέρια που δίνουν γραμμικό φάσμα απορρόφησης είναι τα H, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn και οι ατμοί των Na, K, Pb, Cs, Fr.

Ταινιωτό φάσμα απορρόφησης λαμβάνεται από χαρακτηριστικά αέρια όπως το NO και NO₂ καθώς και από τα διαλύματα της χλωροφύλλης, της αιμοσφαιρίνης κ.α..

Γ. Αντιστροφή των ραβδώσεων - Νόμος Kirchoff.

Το φάσμα απορρόφησης αερίων ή ατμών είναι ακριβώς το αντίστροφο του φάσματος εκπομπής τους. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως αντιστροφή των ραβδώσεων και διατυπώνεται σχετικά από το νόμο του Kirchoff ως εξής: κάθε αέριο ή ατμός απορροφά εκείνες τις ακτινοβολίες που μπορεί να εκπέμψει όταν διεγείρεται σε ακτινοβολία.

2.3 Φασματοσκοπική Ανάλυση

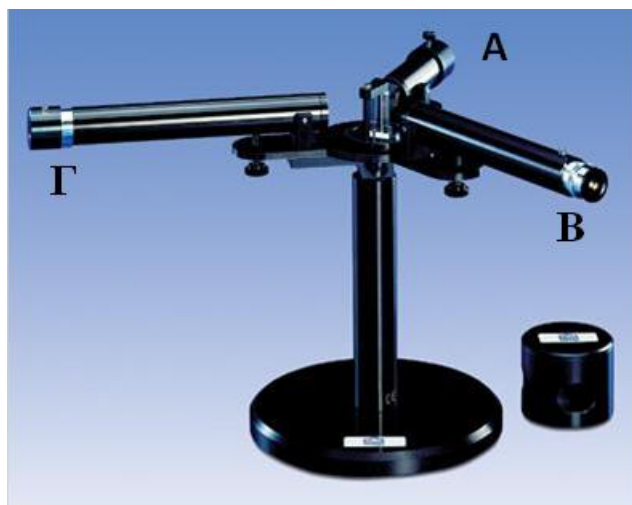
Το φάσμα εκπομπής αερίου (ή και ατμού) χαρακτηρίζει εντελώς την ουσία που εκπέμπει και είναι εντελώς ορισμένο αλλά και διαφορετικό για κάθε σώμα. Ομοίως το φάσμα απορρόφησης αερίου (ή ατμού) χαρακτηρίζει την απορροφούσα ουσία. Έτσι λοιπόν με την βοήθεια του φασματοσκοπίου ανιχνεύεται η ύπαρξη ενός ή περισσότερων χημικών στοιχείων σε κάποιο σώμα. Αυτή η ανάλυση του σώματος καλείται φασματοσκοπική ανάλυση. Η φασματοσκοπική ανάλυση επέτρεψε την μελέτη της σύστασης της επιφάνειας του ηλιακού μας δίσκου αλλά και των άλλων ουρανίων σωμάτων.

3 Πειραματική διαδικασία

3.1 Φασματοσκόπιο

Το φασματοσκόπιο είναι όργανο που χρησιμεύει στην παρατήρηση αλλά και μελέτη των φασμάτων του φωτός διαφόρων φωτεινών πηγών (σχήμα 6). Αποτελείται από ένα πρίσμα τοποθετημένο οριζόντια στο κέντρο της συσκευής. Πέριξ του πρίσματος είναι στρεπτοί τρεις λεπτοί βραχίονες. Το πρίσμα είναι συνήθως από πυριτύαλο σχετικά μεγάλης καθαρότητας.

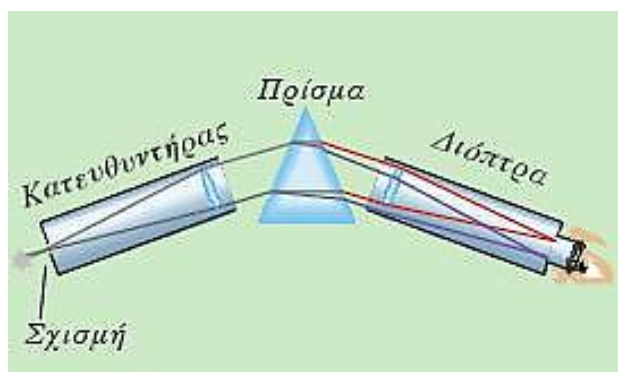
Ο βραχίονας Α φέρει σωλήνα ο οποίος στο ένα άκρο του έχει λεπτή σχισμή μεταβλητού πάχους και στο άλλο συγκλίνοντα φακό. Ο σωλήνας αυτός καλείται κατευθυντήρας και χρησιμεύει για τη δημιουργία της παράλληλης, φωτεινής δέσμης την οποία θα δεχθεί το πρίσμα. Στον κατευθυντήρα υπάρχει κοιλία που ρυθμίζει επακριβώς το εύρος της σχισμής και το παρατηρούμενο φάσμα φαίνεται να γίνεται τόσο καθαρότερο όσο η σχισμή είναι στενότερη.



Σχήμα 6. Φασματοσκόπιο.

Ο βραχίονας Β φέρει την διόπτρα παρατήρησης στην οποία συλλέγονται οι ακτίνες που εξέρχονται από το πρίσμα. Με την βοήθεια της διόπτρας ο παρατηρητής βλέπει το είδωλο του φάσματος. Σε αυτήν υπάρχει διάφραγμα που ρυθμίζει την παρατηρούμενη κάθε φορά περιοχή του ορατού φάσματος.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η πορεία των ακτίνων από την φωτεινή πηγή, της οποίας το φάσμα λαμβάνεται, διά μέσου του κατευθυντήρα, του πρίσματος αλλά και της διόπτρας παρατήρησης.

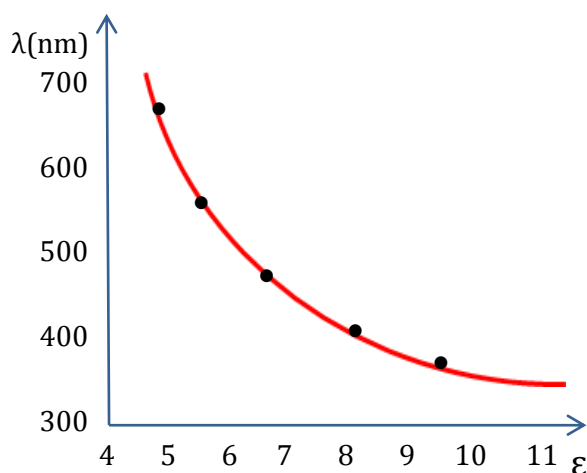


Σχήμα 7. Πορεία ακτίνων φωτεινής πηγής διά μέσου φασματοσκοπίου.

Ο βραχίονας Γ φέρει σωλήνα στο τέλος του οποίου υπάρχει κατάλληλη μικρομετρική κλίμακα. Αυτή έχει αποτυπωθεί φωτογραφικά σε γυάλινη κατακόρυφη πλάκα η οποία βρίσκεται στην κύρια εστία συγκλίνοντα φακού. Η μικρομετρική κλίμακα φωτίζεται κατάλληλα με λαμπτήρα πυρακτώσεως. Οι ακτίνες εξερχόμενες από το φακό αποτελούν παράλληλη δέσμη η οποία ανακλάται στην έδρα του πρίσματος Ρ και εισέρχεται στη διόπτρα παρατήρησης μαζί με τις φωτεινές ακτίνες που προέρχονται από την πηγή. Ο παρατηρητής βλέπει συγχρόνως το φάσμα και την φωτεινή κλίμακα η οποία χρησιμεύει ως κλίμακα αναφοράς για τις παρατηρούμενες φασματικές γραμμές.

Το πρίσμα, ο σωλήνας της μικρομετρικής κλίμακας αλλά και η διόπτρα παρατήρησης μπορούν να στρέφονται γύρω από κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο της κυκλικής πλάκας ώστε να δύναται ο ενδιαφερόμενος να ρυθμίζει την γωνία παρατήρησης.

Για την βαθμολογία της κλίμακας του φασματοσκοπίου χρησιμοποιείται το αέριο ήλιο (He) το φάσμα εκπομπής του οποίου διαθέτει πέντε έντονες φασματικές γραμμές που κατανέμονται περίπου ισόρροπα στο μεγαλύτερο τμήμα του ορατού φάσματος.



Σχήμα 8. Καμπύλη βαθμολογίας φασματοσκοπίου $\lambda = f(\epsilon)$.

Από τις ενδείξεις ϵ της κλίμακας με τις οποίες συμπίπτει κάθε μια από αυτές τις φασματικές γραμμές και τα αντίστοιχα μήκη κύματος λ , των οποίων οι τιμές αναγράφονται στον σχετικό πίνακα IV, χαράσσεται η καμπύλη βαθμολογίας του φασματοσκοπίου $\lambda = f(\epsilon)$. Η μορφή της καμπύλης βαθμολογίας του φασματοσκοπίου είναι αυτή του σχήματος 8.

Επισημαίνεται ότι κατά τη βαθμολόγηση των αξόνων δεν πρέπει να συμπίπτει η κοινή αρχή τους με το μηδέν των δυο κλιμάκων (λ και ϵ) αφού οι τιμές των επί μέρους ζευγών (λ , ϵ) είναι σε περιοχές που απέχουν αρκετά από το μηδέν. Θα πρέπει ακόμη να προβλεφθεί κατά την βαθμολόγηση των αξόνων η δυνατότητα επέκτασης της καμπύλης βαθμολογίας ώστε να είναι δυνατόν να προσδιοριστούν και μήκη κύματος για κάποιο άγνωστο αέριο εκτός των ορίων αναφοράς του φάσματος εκπομπής του He.

Σημείωση: Το μήκος κύματος του ορατού φωτός μετριέται συνήθως σε μm ή nm . Ισχύει $1 \text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$ ή και $1 \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$.

Προσοχή: Η τάση τροφοδοσίας των σωλήνων Geissler είναι συνήθως γύρω στα 5.000 Volt. Πριν αντικατασταθεί ένας τέτοιος σωλήνας πρέπει να τεθεί το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας και να αναμένετε λίγο. Απομακρύνετε με προσοχή τους ακροδέκτες τροφοδοσίας.

4 Εργασίες.

1. Τοποθετείται ο σωλήνας Geissler που περιέχει το αέριο He σε κατάσταση διέγερσης ακριβώς μπροστά από την κατακόρυφη σχισμή του κατευθυντήρα. Γίνονται οι απαραίτητες μικρο-μετακινήσεις του προσοφθαλμίου και του ρυθμιστικού κοχλία της σχισμής ώστε οι γραμμές του φάσματος να φαίνονται λεπτές και σχετικά ευκρινείς.
2. Φωτίζεται ο σωλήνας με λαμπτήρα πυρακτώσεως και απεικονίζεται κατά το δυνατόν ευκρινέστερα η φωτεινή κλίμακα. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρές μετακινήσεις του στηρίγματός της.
3. Προσδιορίζονται οι ενδείξεις της κλίμακας που αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του (He) και καταχωρούνται τα αποτελέσματα στη στήλη 3 του πίνακα II.

Πίνακας II

He		
Χρώμα γραμμής	Μήκος κύματος λ (nm)	Ενδείξεις (ϵ)
Ερυθρό	668	
Κίτρινο	585	
Πράσινο	502	
Κυανό	470	
Ιώδες	447	

4. Χαράσσεται η πειραματική καμπύλη βαθμολογίας $\lambda = f(\epsilon)$. Πρόκειται για μία συνεχή, ομαλή καμπύλη που διέρχεται ανάμεσα από τα περισσότερα πειραματικά σημεία.

5. Αντικαθιστάται η γνωστή, πηγή αναφοράς (Ηλιο: He) με αυτήν ενός αγνώστου αερίου που θα σας υποδειχθεί έγκαιρα από τον υπεύθυνο καθηγητή..

6. Καταχωρούνται στην στήλη 1 του πίνακα III τα χρώματα των εντονότερων φασματικών γραμμών και στη στήλη 2 οι αντίστοιχες ενδείξεις της κλίμακας επί των οποίων εμφανίζονται αυτές.

Πίνακας III

He		
Χρώμα γραμμής	Ενδείξεις (ε)	Μήκος κύματος λ (nm)

7. Βρίσκεται το μήκος κύματος κάθε μιας από τις έντονες γραμμές του αγνώστου αερίου μέσω της καμπύλης βαθμολογίας και καταχωρούνται οι τιμές τους στη στήλη 3 του πίνακα III.

8. Συγκρίνονται τα μήκη κύματος των φασματικών γραμμών του αγνώστου αερίου με αυτά των αερίων του πίνακα IV και αποφαινέστε για την ταυτότητα του.

Πίνακας IV

He		Hg		H ₂		Ne	
Χρώμα γραμμής	λ (nm)	Χρώμα γραμμής	λ (nm)	Χρώμα γραμμής	λ (nm)	Χρώμα γραμμής	λ (nm)
Ερυθρό	668	Κίτρινο	579	Ερυθρό	656	Ερυθρό 1	641
Κίτρινο	585	Πράσινο	546	Κυανό	486	Ερυθρό 2	616
Πράσινο	502	Ιώδες	438	Ιώδες	434	Κίτρινο	540
Κυανό	470						
Ιώδες	447						

Αναγράφεται το συμπέρασμα στο οποίο καταλήξατε:

Άγνωστο αέριο	
Όνομα:	Τύπος:

9. Φωτίζετε την σχισμή του κατευθυντήρα με το φως που εκπέμπει λαμπτήρας πυρακτώσεως. Τροφοδοτείτε προς τούτο τον λαμπτήρα με την τάση λειτουργίας του. Σημειώνετε τα όρια ϵ_1, ϵ_2 του ορατού φάσματος και από την καμπύλη βαθμολογίας βρίσκετε τα αντίστοιχα μήκη κύματος λ_1, λ_2 .

$\epsilon_1 =$	$\epsilon_2 =$
$\lambda_1 =$ (nm)	$\lambda_2 =$ (nm)

10. Επαναλαμβάνετε την εργασία 9 μειώνοντας την τάση του λαμπτήρα στο 60% της τάσης λειτουργίας του. Σημειώνετε τα νέα όρια του ορατού φάσματος που τώρα δημιουργήθηκε.

$\epsilon_3 =$	$\epsilon_4 =$
$\lambda_3 =$ (nm)	$\lambda_4 =$ (nm)

11. Παρεμβάλετε μεταξύ του λαμπτήρα πυρακτώσεως και του κατευθυντήρα του φασματοσκοπίου αρχικά ερυθρό φίλτρο και κατόπιν μπλε και αναγράφετε τα όρια των περιοχών μήκους κύματος που παρατηρήσατε να απορροφήθηκαν.

Κόκκινο φίλτρο

$\varepsilon_5 =$	$\varepsilon_6 =$
$\lambda_5 =$ (nm)	$\lambda_6 =$ (nm)

Μπλε φίλτρο

$\varepsilon_7 =$	$\varepsilon_8 =$
$\lambda_7 =$ (nm)	$\lambda_8 =$ (nm)