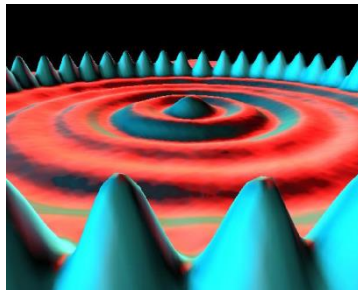


Κβαντοφυσική

*Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων
με τις μεγάλες εφαρμογές*



3^ο Μέρος : ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΡΙΟΤΗΤΕΣ

Μέτρηση της Σταθεράς του Planck με LEDs



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia

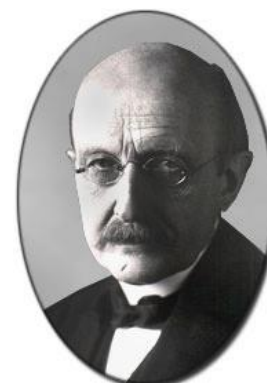
Επαφή: renaat.frans@khlm.be



Lifelong
Learning
Programme

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν

Μέτρηση της σταθεράς του Planck χρησιμοποιώντας LEDs.



Max Planck
(1858-1947)

Εισαγωγή¹

Ο Max Planck (1858-1947) ήταν ένας πρωτοπόρος στο πεδίο της κβαντικής μηχανικής. Περι το 1900 εισήγαγε την έννοια της κβάντωσης της ενέργειας. Έθεσε ότι ένα άτομο μπορεί να απορροφήσει και να εκπέμψει ενέργεια καθορισμένης τιμής, η οποία δίδεται από την σχέση:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Όπου το n είναι ένας ακέραιος αριθμός, f είναι η συχνότητα και h είναι η σταθερά του Planck.

Στα 1905 ο Einstein χρησιμοποίησε την ιδέα της κβαντισμένης ενέργειας για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Αυτό είναι το όνομα που δίδεται στο φαινόμενο κατά το οποίο ένα μέταλλο εκπέμπει ηλεκτρόνια όταν φως συγκεκριμένου μήκους κύματος προσπίπτει σε αυτό. Υπέθεσε ότι κάθε ένα από τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια είχε απορροφήσει ένα κβάντο ενέργειας (το επονομαζόμενο φωτόνιο) του οποίου η ενέργεια δίδεται από την σχέση:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Εδώ f είναι η συχνότητα του φωτός και λ είναι το μήκος κύματός του. Για να μπορέσει το ηλεκτρόνιο να απελευθερωθεί από το μέταλλο, η ενέργεια του φωτονίου πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, εννοώντας τουλάχιστον ίση με το έργο που δαπανάται για να φύγει από το υπο συζήτηση μέταλλο.

Ο Niels Bohr επίσης χρησιμοποίησε την ιδέα του Planck σαν βάση για το νέο μοντέλο του ατόμου. Υπέθεσε ότι τα ηλεκτρόνια μπορούσαν να κινηθούν μόνο σε καθορισμένες τροχιές γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από μια τροχιά που είναι μακριά από τον πυρήνα σε μια τροχιά πιο κοντά σε αυτόν, εκπέμπει φως το οποίο αποτελείται από φωτόνια των οποίων η ενέργεια είναι ίση με την ενεργειακή διαφορά των τροχιών.

$$\Delta E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Από τότε που ο Max Planck έθεσε το αξίωμα της κβάντωσης της ενέργειας, έχουν γίνει πολλά πειράματα τα οποία προσπάθησαν να μετρήσουν την σταθερά του Planck και να επιβεβαιώσουν την ιδέα του. Η σύγχρονη τιμή της σταθεράς του Planck είναι:

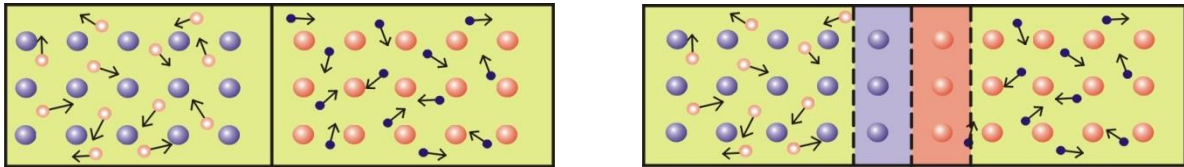
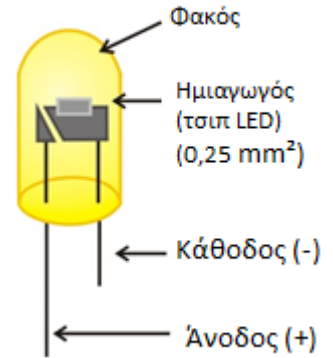
¹ Αυτή η δραστηριότητα βασίζεται εν μέρει στο «πρόγραμμα γέφυρα» του πανεπιστημίου του Antwerp, τμήμα Φυσικής (Prof. dr. J. Dirckx, W. Peeters)

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{Js} = 4,13566743 \cdot 10^{-15} \text{eVs}$$

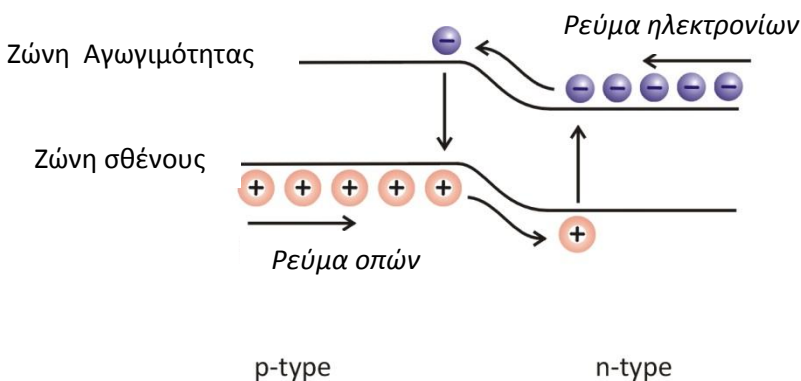
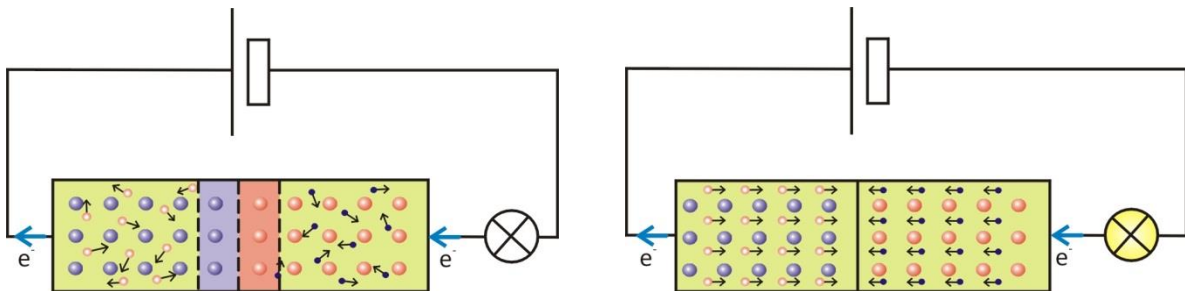
Σε αυτό το πείραμα θα χρησιμοποιήσετε LEDs για να προσδιορίσετε την σταθερά του Planck.

ΕΣΩΤΕΡΗ ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ LED

Το LED αποτελείται από δύο είδη ημιαγωγού: ημιαγωγούς τύπου -p και ημιαγωγούς τύπου -n. Ο τύπος -n έχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων, και ο τύπος -p έχει περίσσεια από τρύπες. Στο όριο στο οποίο και οι δύο τύποι ημιαγωγού έρχονται σε επαφή, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τύπου -n επανασυνδέονται με τις οπές του τύπου p και δημιουργούν την λεγόμενη περιοχή απογύμνωσης. Αυτή η περιοχή είναι αρνητικά φορτισμένη στην περιοχή -p και θετικά φορτισμένη στην περιοχή -n. Η επανασύνδεση προκαλεί ένα ηλεκτρικό πεδίο στο όριο ανάμεσα στους δύο ημιαγωγούς. Το ηλεκτρικό πεδίο με τη σειρά του συγκρατεί την κίνηση των ηλεκτρονίων στην περιοχή απογύμνωσης.



Αν το LED είναι συνδεδεμένο με μια πηγή τάσης τέτοια ώστε η θετική της πλευρά εφάπτεται στην p-πλευρά του ημιαγωγού και η αρνητική πλευρά στην n-πλευρά του ημιαγωγού ΚΑΙ η τάση γίνεται αρκετά υψηλή ώστε να δοθεί αρκετή ενέργεια στα ηλεκτρόνια για να υπερκεράσουν το ηλεκτρικό πεδίο στην ζώνη απογύμνωσης, τότε τα ηλεκτρόνια μπορούν να μετακινηθούν από το υλικό τύπου -n στο υλικό τύπου -p. Εκεί μπορούν να επανασυνδεθούν με τις τρύπες.



Μετά την επανασύνδεση μεταφέρονται από ένα υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο (την ζώνη αγωγιμότητας), σε ένα χαμηλότερο (τη ζώνη σθένους), και η ενεργειακή

Πρακτική Δραστηριότητα: Μέτρηση της Σταθεράς του Planck με LEDs

διαφορά εκπέμπεται με τη μορφή φωτός και το LED ανάβει. Η ελάχιστη απαιτούμενη τάση για να συμβεί αυτό καλείται τάση κατωφλίου.

Το φωτόνιο το οποίο εκπέμπεται όταν το ηλεκτρόνιο επανασυνδέεται με μια οπή, έχει ενέργεια: $E = h \cdot f$.

Αυτή η ενέργεια αντιστοιχεί σε αυτό που έλαβε το ηλεκτρόνιο όταν άναψε η πηγή τάσης. Κατά την διάρκεια των μαθημάτων σας στον ηλεκτρισμό, μάθατε ότι αυτή η ενέργεια ισούται με :

$$E = e \cdot U_0$$

όπου e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου ($1,60 \cdot 10^{-19}C$) και U_0 είναι η τάση κατωφλίου.

Από αυτά έπεται ότι:

$$e \cdot U_0 = h \cdot f \quad \Leftrightarrow \quad e \cdot U_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Αν μπορείτε να μετρήσετε την τάση κατωφλίου στην οποία ανάβει το LED και μετρήσετε το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτός, θα έχετε πλέον μια σχέση που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για να μετρήσετε την σταθερά του Planck.

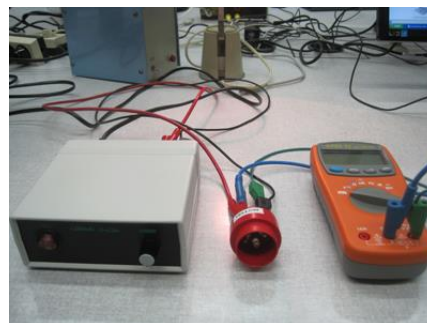
Πείραμα

Ερευνητική Ερώτηση: **Πως μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά η σταθερά του Planck;**

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΤΟΥ PLANCK

Υλικά

- 4 χρωματιστά λαμπάκια LED
- Φασματοσκόπιο
- Πηγή τάσης
- Βολτόμετρο
- Διάταξη στήριξης του LED



Ερώτηση I:

ΣΕ ΠΟΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑΒΕΙ ΤΟ LED;

Μέθοδος

1. Συνδέστε την πηγή με το βολτόμετρο (δείτε εικόνα)
2. Τοποθετήστε ένα από τα LEDs στο σημείο στήριξης
3. Εξασφαλίστε ότι η τάση της πηγής είναι 0
4. Συνδέστε το LED με την πηγή
5. Κρατήστε το σημείο στήριξης κοντά στο μάτι σας



Πρακτική Δραστηριότητα: Μέτρηση της Σταθεράς του Planck με LEDs

6. Αυξήστε αργά την τάση της πηγής μέχρι να δείτε ξεκάθαρα το LED να λάμπει.
7. Ελαττώστε την τάση μέχρι να σβήσει ξανά το LED.
8. Αυξήστε την τάση μέχρι το LED να ανάψει ξανά.
9. Αυτή είναι η τάση κατωφλίου που απαιτείται για να επιτραπεί στα ηλεκτρόνια να περάσουν μέσα από την περιοχή απογύμνωσης.

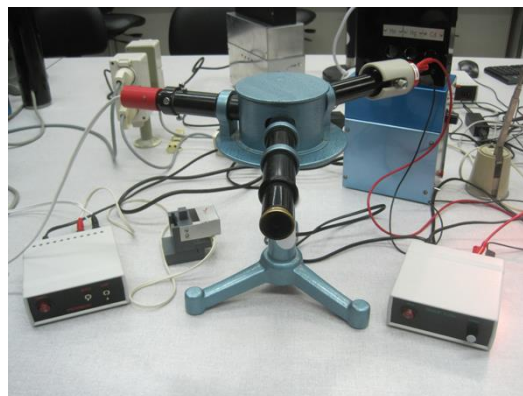
LED	Τάση U_0 (V)	Υπολογίστε $E = U_0 \cdot e$
Μπλε		
Πράσινο		
Κίτρινο		
Κόκκινο		

Ερώτηση 2:

Ποιο είναι το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται από τα LED;

Μέθοδος

1. Τοποθετήστε τη λάμπα με την κλίμακα στη μία πλευρά του φασματοσκοπίου.
2. Ανάψτε την πηγή της λάμπας
3. Συνδέστε το LED με την πηγή
4. Τοποθετήστε ένα από τα LED στο σημείο στήριξης
5. Εξασφαλίστε ότι η τάση της πηγής είναι 0
6. Τοποθετήστε την διάταξη στήριξης του LED στην άλλη πλευρά του φασματοσκοπίου
7. Αυξήστε την τάση μέχρις ότου το LED έχει ανάψει και προσπαθήστε να την θέσει σε σχέση με την κλίμακα.
8. Χρησιμοποιήστε την καμπύλη βαθμονόμησης για να προσδιορίσετε το μήκος κύματος που εκπέμπεται από το LED από τη θέση του στην κλίμακα.



LED	Μέτρηση	Μήκος Κύματος: λ (nm)
Μπλε		
Πράσινο		
Κίτρινο		
Κόκκινο		

Καταληκτικές ερωτήσεις 1 & 2

Χρησιμοποιούμε τη σχέση που δίδεται στην εισαγωγή

$$h = \frac{E}{f} = \frac{E \cdot \lambda}{c}$$

με $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

LED	Ερώτηση 1 E (J)	Ερώτηση 2 λ (m)	h (Js)
Μπλε			
Πράσινο			
Κίτρινο			
Κόκκινο			

Βρείτε την μέση τιμή της σταθεράς του Planck

$h =$ _____

Αντιστοιχεί αυτό στην θεωρητική τιμή; Βρίσκετε την σωστή τάξη μεγέθους ;

Συμπεράσματα και αξιολόγηση

Βιβλιογραφία

M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler. **Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface.** *Science* 262, 218-220 (1993).