

## ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΣΚΗΣΗ 6

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

με τη βοήθεια παλμογράφου και φωτοπύλης

#### B. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Θα πρέπει να έχετε μελετήσει και να γνωρίζετε τη συνοπτική θεωρία που περιγράφηκε στο αρχείο Άσκηση6 (για μελέτη) και έχετε παρακολουθήσει το [VideoΑΣΚΗΣΗ6](#).

#### ΑΠΑΝΤΗΣΤΕ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Πόση μπορεί να είναι η σχετική συγκέντρωση των οπών και ηλεκτρονίων στους ενδογενείς ημιαγωγούς χωρίς προσμίξεις;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Στους ενδογενείς ημιαγωγούς χωρίς προσμίξεις η συγκέντρωση των οπών και των ηλεκτρονίων είναι ίση και μπορεί να είναι δισεκτομμύρια φορές μικρότερη της συγκέντρωσης των ατόμων.

2. Τι είναι ημιαγωγός n-τύπου και τι p-τύπου και πόση μπορεί να είναι η συγκέντρωση των οπών και των ηλεκτρονίων;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Ημιαγωγός n-τύπου προκύπτει όταν στον ημιαγωγό εισάγεται πολύ μικρή συγκέντρωση ατόμων πρόσμιξης με σθένος μεγαλύτερο αυτού των ατόμων του ημιαγωγού ενώ ημιαγωγός p-τύπου όταν τα άτομα πρόσμιξης είναι με σθένος μικρότερο αυτού των ατόμων του ημιαγωγού. Στον ημιαγωγό n-τύπου το επιπλέον ηλεκτρόνιο σθένους του ατόμου της πρόσμιξης ελευθερώνεται και έτσι η συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων μπορεί να αυξάνεται δραματικά σε σχέση με αυτήν του ενδογενούς ημιαγωγού. Στον ημιαγωγό p-τύπου τα άτομα της πρόσμιξης με μικρότερο σθένος αντικαθιστούν από ένα άτομο του ημιαγωγού. Επειδή το άτομο της πρόσμιξης έχει έλλειμα ενός ηλεκτρονίου σθένους, τότε σε ένα από τους ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γειτονικά άτομα υπάρχει κενό, δηλαδή οπή, η οποία μπορεί να κινηθεί εύκολα και ελεύθερα και να συνεισφέρει στο ηλεκτρικό ρεύμα. Άρα η συγκέντρωση των ελεύθερων οπών μπορεί να αυξάνεται δραματικά ως προς αυτή του ενδογενούς ημιαγωγού.

3. Περιγράψτε συνοπτικά το μηχανισμό με τον οποίο εκπέμπει φως μια δίοδος LED. Που οφείλεται το χρώμα των ;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Η p-n επαφή μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα: Όταν η επαφή συνδέεται με πηγή σε ορθή πόλωση και διαρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε μπορεί να εκπέμπει φως και να λειτουργήσει σαν LED. Αν για τις p-n επαφές του LED χρησιμοποιούνται p- και n-τύπου ημιαγωγοί με μεγαλύτερο μήκος δεσμών, τότε μετά την επανασύνδεση εκπέμπονται φωτόνια μικρότερης ενέργειας και μεγαλύτερου μήκους κύματος. Έτσι μπορούμε να πάρουμε LED με διαφορετικά μήκη κύματος εκπομπής και έτσι διαφορετικά χρώματα.

4. Περιγράψτε συνοπτικά με ποιό μηχανισμό όταν ένα φωτοκύτταρο φωτίζεται τότε αυτό παράγει ρεύμα. Η περιοχή των μηκών κύματος που αποκρίνεται και ευρίσκεται η φασματική απόκριση του φωτοκυττάρου από τι καθορίζεται;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια είναι λεπτά αφήνοντας μεγάλα ανοίγματα για να διέρχεται το φως. Καθώς δεν υπάρχει μπαταρία, τα ζεύγη ηλεκτρόνια-οπές απο την απορρόφιση του φωτός κινούνται και διαχωρίζονται με την βοήθεια του εσωτερικού πεδίου της p-n επαφής. Συνδέοντας τα ηλεκτρόδια της p-n επαφής με ένα εξωτερικό κύκλωμα η επαφή λειτουργεί σαν μπαταρία παρέχοντας ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρική ισχύ βρίσκοντας εφαρμογή σαν φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η περιοχή των μηκών κύματος που αποκρίνεται και ευρίσκεται η φασματική απόκριση του φωτοκυττάρου καθορίζεται απο το μήκος των δεσμών του ημιαγωγού.

6. Πώς πρέπει να συνδέσω μια p-n επαφή ώστε αυτή να λειτουργήσει σαν φωτοανιχνευτής και πώς να τη συνδέσω ώστε να λειτουργεί σαν LED;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Την p-n επαφή την συνδέω με ανάστρογη τάση πόλωσης για να λειτουργήσει σαν φωτοανιχνευτής ενώ με ορθή πόλωση για να λειτουργήσει σαν LED.

7. Όταν στην πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε τη ταχύτητα του φωτός μετατοπίζουμε το LED πλησιάζοντας το φωτοκύτταρο, προς τα πού θα μετακινηθεί το ημιτονοειδές σήμα από το φωτοκύτταρο στην οθόνη του παλμογράφου και γιατί;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Αν πλησιάσουμε κατά  $\Delta x$  την δίοδο LED σε σχέση με τον φωτοκύτταρο, τότε τα μέγιστα και τα ελάχιστα του ημιτονοειδούς σήματος που εκπέμπει αυτή θα φθάνουν νωρίτερα στο φωτοκύτταρο και η  $\Delta\Phi$  θα αλλάξει. Αυτό θα φανεί στην οθόνη του παλμογράφου με την μετατόπιση των μέγιστων και των ελάχιστων του σήματος του ανιχνευτή σε χρόνους μικρότερους  $\Delta t$

8. Όταν μετρούμε μια δεδομένη μετατόπιση  $\Delta t = 0.5 \mu s$  στην οθόνη του παλμογράφου πόση είναι η διαφορά φάσης  $\Delta\Phi$  σε ακτίνια (rad), όταν η συχνότητα είναι  $f = 100 \text{ kHz}$  και η περίοδος  $T = 1/f = 10 \mu s$ ;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ** Σύμφωνα με τον τύπο  $\pm \Delta\Phi = \pm \Delta t \cdot 2\pi/T$ . Η  $\Delta\Phi$  είναι  $\pi/10$ .

## **Γ. ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

## Γ1 (Εργασία πριν από το εργαστήριο)

**ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ** (Γράφετε με δικά σας λόγια τι θα μετρήσετε και για ποιό σκοπό)

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ** (Περιγράψτε σύντομα τις πειραματικές συσκευές που θα χρησιμοποιήσετε)

## Γ2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

### I. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Όλη τη διαδικασία αυτή μαζί με τις μετρήσεις θα τις δείτε στα **Video6PIa** και **Video6PIb**

1. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις παρατηρείστε τις 2 κυματομορφές, όπου η μία είναι της αναφοράς  $V_0(t)$  που είναι η τάση τροφοδοσίας ορθής πόλωσης της pn επαφής LED και η άλλη  $\Delta V(t)$  είναι το σήμα του φωτοκύτταρου ή ανιχνευτή.
2. Παρατηρήστε τη μετατόπιση  $\Delta t$  στο χρόνο σε σχέση με την μετατόπιση  $\Delta x$  της διόδου LED του σήματος της τάσης από τον ανιχνευτή.
3. Ρυθμίζουμε την ευαισθησία του παλμογράφου, time/div, στα  $0.5 \mu s/div$  για τη μέτρηση του  $\Delta t$  την οποία και καταγράφετε στο επάνω μέρος του ΠΙΝΑΚΑ I.
4. Αρχικά τοποθετούμε το LED στη πιο κοντινή απόσταση  $x_0$  από το φωτοκύτταρο. Αυτή την αρχική απόσταση  $x_0$  την οποία μετρούμε και καταγράφουμε στο ΠΙΝΑΚΑ I.
5. Μετακινούμε το LED ώστε κάθε φορά στον παλμογράφο να μετράμε μεταβολή στο χρόνο κατά  $\Delta t = 0.1 \mu s$  και σημειώνουμε τη αντίστοιχη απόσταση  $x$  στον ΠΙΝΑΚΑ I που παρατηρούμε στα **Video6PIa** και **Video6PI b**.

ΠΙΝΑΚΑΣ I    time/div=                       $x_0 =$                       (m)

$\Delta t$	$\Delta t_r = \Delta t / 600$	$x$	$\Delta x = x - x_0$
------------	-------------------------------	-----	----------------------

(μs)	(ns)	(m)	(m)
0.0	0.00	18.2	-
0.1	0.17	20.5	2.3
0.2	0.33	24	3.5
0.3	0.50	28.6	4.6
0.4	0.67	33.2	4.6
0.5	0.83	37.3	4.1
0.6	1.0	45.7	8.4
0.7	1.2	50.8	5.1
0.8	1.3	55.7	4.9
0.9	1.5	60.1	4.4
1.0	1.7	65.4	5.3
1.1	1.8	70.8	5.4

$\Delta x = b\Delta t_r + A$   $b = \dots\dots\dots \text{cm/s}$  ,  $\Delta b = \dots\dots\dots \text{cm/s}$ ,

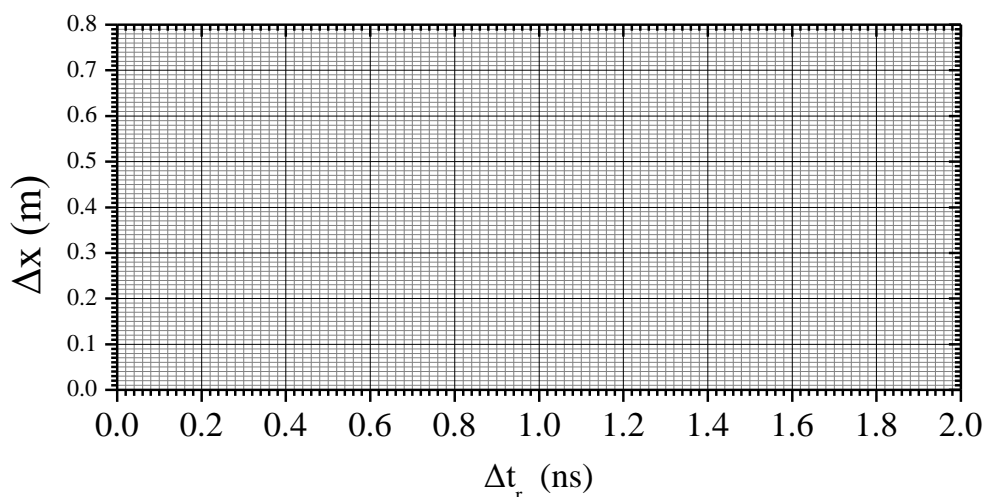
### Γ3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Σύμφωνα με τις οδηγίες στο video **Video6Analysis1**, έχετε εγκαταστήσει ήδη στο PC σας το πρόγραμμα γραφικών παραστάσεων και επεξεργασίας δεδομένων OriginPro όποια έκδοση βρείτε στο Internet. Στο Video **Video6Analysis2** εξηγείται γιατί μετρήσαμε το  $\Delta t$  στη περιοχή των  $\mu\text{s}$ , αντί για τα  $\text{ns}$ . Με το πρόγραμμα Origin θα κάνετε σύμφωνα με τις οδηγίες του Video **Video6Analysis3** τη γραφική παράσταση της απόστασης  $\Delta x$  έναντι της πραγματικής χρονικής μετατόπισης  $\Delta t_{\text{real}}$  στα  $\text{ns}$  που θα έχετε ήδη υπολογίσει στο ΠΙΝΑΚΑ I.

2. Η σχέση που προκύπτει μεταξύ των  $\Delta x$  και  $\Delta t_{\text{real}}$  είναι γραμμική όπως περιμένουμε. Θα προσδιορίσετε πιο κάτω τη βέλτιστη ευθεία ανάμεσα από τα πειραματικά σημεία.

3. Σύμφωνα με το Video **Video6Analysis3** με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων και με τη βοήθεια σχετικού προγράμματος στο Origin θα βρεθούν οι συντελεστές  $b$  και  $a$  της βέλτιστης ευθείας  $x = b\Delta t_r + a$ , καθώς και το σφάλμα  $\Delta b$  και να καταγραφούν στον ΠΙΝΑΚΑ I. Να κάνετε επικόλληση του Διαγράμματος του  $\Delta x$  έναντι του  $\Delta t_{\text{real}}$  που κάνατε στο Origin σύμφωνα με τις οδηγίες του Video **Video6Analysis3** αντικαθιστώντας το παρακάτω Διάγραμμα1.

Διάγραμμα 1



4. Ο συντελεστής  $b$  αναμένεται να μας δώσει μια τιμή κοντά στη ταχύτητα  $c$  του φωτός στον αέρα ( $c=2.99792 \times 10^8 \text{ m/s}$ ), ενώ η απόκλιση  $\Delta b$  θα μας δώσει το σφάλμα  $\Delta c$  στη μέτρηση της  $c$ . Γράψτε το αποτέλεσμα στη μορφή  $c \pm \Delta c$  με τα σωστά σημαντικά ψηφία.

**Παράδειγμα** Έστω ότι υπολογίσατε  $b=c=3.07 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ , ενώ η απόκλιση είναι  $\Delta b = \Delta c = 0.08634 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Άρα μπορώ να γράψω με 1 σημ. ψηφίο :  $\Delta c = 0.09 \times 10^{10} \text{ m/s}$  την ακρίβεια με την οποία μετρώ τη  $c$ .

Τελικά σα συμπέρασμα γράφω:  $c \pm \Delta c$ :  $(3.07 \pm 0.09) \times 10^8 \text{ m/s}$  κρατώντας 3 σημ. ψηφία στη  $c$  γιατί η απόκλιση  $\Delta c$  συμβαίνει στο 3<sup>ο</sup> σημ. ψηφίο της  $c$ .

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5. Εξετάστε αν η γνωστή τιμή  $c=2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$  είναι πράγματι στο διάστημα  $c \pm \Delta c$ .

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

## II. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΣΤΑΣΙΟΜΕΤΡΟ-RADAR

Η ίδια πειραματική διάταξη μπορεί τώρα να χρησιμοποιηθεί σαν αποστασιόμετρο. Βάζοντας σε μια τυχαία θέση το LED, μετρώντας στη οθόνη του παλμογράφου την αντίστοιχη μετατόπιση  $\Delta t$  στο χρόνο που εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου μπορούμε να βρούμε την απόσταση  $x$  από το φωτοκύτταρο που βρίσκεται το LED χωρίς να χρησιμοποιήσουμε πλέον την μετροταινία.

Σαν παράδειγμα αυτού έχουμε επιλέξει από το Πίνακα I τέσσερες διαφορετικές διαδοχικές αποστάσεις  $x$  που μετρήσαμε που απέχουν μεταξύ των κατά  $\Delta t=0.1 \text{ μs}$  και τα παρουσιάζουμε στο παρακάτω Πίνακα II. Θεωρούμε τη πρώτη τιμή  $x=50.9 \text{ cm}$  σαν αρχή μέτρησης της απόστασης  $x_0$  και έτσι θέτουμε  $\Delta t=0$ . Συνεπώς οι υπόλοιπες αποστάσεις θα απέχουν στο χρόνο  $\Delta t$  όπως φαίνεται στο

Πίνακα II. Αν υποθέσουμε πως μετρούμε αυτά τα  $\Delta t$  με το παλμογράφο, τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε την απόσταση  $\Delta x$  των σημείων αυτών από το  $x_0$  χωρίς τη χρήση μετροταινίας, απλά υπολογίζοντας το  $\Delta x_{\text{υπολ}} = c \Delta t_r$  με  $c = 3.00 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ .

Στο ΠΙΝΑΚΑ II υπολογίστε το  $\Delta x_{\text{υπολογισμ}} = c \Delta t_r$

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού αυτού να το γράψετε στη αντίστοιχη στήλη.

Υπολογίστε το % σφάλμα =  $(\Delta x_{\text{μέτρηση}} - \Delta x_{\text{υπολογισμ}}) / \Delta x_{\text{μέτρηση}}$  και να το γράψετε στη αντίστοιχη στήλη στον Πίνακα II.

Το σφάλμα θα δείτε ότι είναι αρκετά μικρό, δείχνοντας ότι η διάταξή μας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αποστασιόμετρο.

ΠΙΝΑΚΑΣ II  $x_0 = 50,9 \text{ cm}$

$\Delta t$ ( $\mu\text{s}$ )	$\Delta t_r = \Delta t / 600$ (ns)	x (m)	$\Delta x_{\text{μέτρηση}} =$ $ x - x_0 $ (m)	$\Delta x_{\text{υπολ}} =$ $c \Delta t_r$ (m)	% Σφάλμα = $(\Delta x_{\text{μέτρηση}} - \Delta x_{\text{υπολογισμ}}) / \Delta x_{\text{μέτρηση}}$
0	0	50,9	0	0	
0.1	1,66667E-10	55,8	4,9	5.00001	
0.2	3,33333E-10	60,1	9,2	9.99999	
0.3	5E-10	65,45	14,55	15	

Στη πράξη η συσκευή που λειτουργεί σαν αποστασιόμετρο είναι λίγο διαφορετική από αυτή που δείξαμε παραπάνω. Η συσκευή εκπέμπει μια δέσμη φωτός LED παρόμοια με αυτή χρησιμοποιήσαμε αλλά υπέρυθρου φωτός. Η ίδια συσκευή μέσω ενός φωτοκύτταρου συλλέγει την ανακλώμενη ακτινοβολία από ένα εμπόδιο που απέχει άγνωστη απόσταση L. Μετρά τη χρονική καθυστέρηση  $\Delta t$  να πάει και να επιστρέψει η δέσμη και υπολογίζει την συνολική απόσταση από τη σχέση  $\Delta x = c \Delta t$  που διανύει η δέσμη και έτσι προσδιορίζει την απόσταση  $L = \Delta x / 2$ .

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ** (Αναφέρατε παρακάτω περιληπτικά τα σημαντικότερα συμπεράσματα που βγάλατε μετά την εκτέλεση της άσκησης σε σχέση με τους σκοπούς που τέθηκαν αρχικά).