

Από τα Επιστημονικά στα Εκπαιδευτικά πρότυπα και πειράματα – Το «Κβαντικό Φως» στο Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών

Νικόλαος Φ. Βουδούκης¹, Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης²

¹ Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε, Πανεπιστήμιο Αθηνών nvoudoukis@primedu.uoa.gr

² Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε, Πανεπιστήμιο Αθηνών kalkanis@primedu.uoa.gr

Περίληψη. Η παρούσα εργασία αποτελεί μία εκπαιδευτική πρόταση για την ανάδειξη της κβαντικής φύσης του φωτός σε φοιτητές (Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης), αλλά και σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Παράλληλα γίνεται προσπάθεια επισήμανσης του γεγονότος ότι πολλές σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές βασίζονται στις αρχές της κβαντομηχανικής. Ο τρόπος ένταξης της κβαντικής μηχανικής ως γνωστικού αντικειμένου στο αναλυτικό πρόγραμμα των τελευταίων τάξεων του λυκείου είναι ένα θέμα που απασχολεί τα τελευταία χρόνια τη διεθνή εκπαιδευτική κοινότητα. Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός του φωτός αποτελεί θεμελιώδη έννοια της κβαντικής μηχανικής. Η προτεινόμενη πειραματική διάταξη περιλαμβάνει ένα κύκλωμα LED, οπτική ίνα και ένα κύκλωμα φωτοδίοδου. Λαμβάνονται μετρήσεις και γίνεται μελέτη της διάταξης. Με ένα δεύτερο πείραμα (επίδειξης) μεταφέρουμε μέσα από οπτική ίνα ψηφιακό σήμα από πομπό υπέρυθρου φωτός σε αντίστοιχο δέκτη. Χρησιμοποιείται, ιδιαίτερα επιτυχημένα συνδυασμός Η/Υ (με δημιουργία υλικού που καλύπτει πλήρως την άσκηση) και κλασικού εργαστηρίου (με πραγματοποίηση διάταξης και λήψη μετρήσεων). Περιγράφεται η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού εργαστηρίου μόνο σε φοιτητές. Σύντομα πρόκειται να εφαρμοστεί και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Εισαγωγή

Η αναγκαιότητα της εισαγωγής της κβαντομηχανικής ως διδακτικού αντικειμένου στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς επίσης και στα Παιδαγωγικά Τμήματα, στηρίζεται σε δύο βασικούς λόγους: α) Οι νόμοι της κλασικής φυσικής αποτελούν οριακή περίπτωση των κβαντικών νόμων που κυβερνούν τον μικρόκοσμο. β) Πολλές εφαρμογές της σύγχρονης τεχνολογίας βασίζονται στις αρχές της κβαντομηχανικής (ημιαγωγοί, δίοδοι, τρανζίστορ, λέιζερ, LED, φωτοδίοδοι, κ.λ.π.)

Η προτεινόμενη πειραματική διάταξη περιλαμβάνει ένα κύκλωμα LED και ένα κύκλωμα φωτοδίοδου. Υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης LED υπέρυθρου και ορατού. Λαμβάνονται μετρήσεις και γίνεται μελέτη της διάταξης όταν πλησιάσουμε τη LED πολύ κοντά στη φωτοδίοδο (σχεδόν είναι σε επαφή). Αφού απομακρύνουμε τη LED και την φωτοδίοδο (μεταξύ τους υπάρχει αέρας), παρατηρούμε ότι το κύκλωμα της φωτοδίοδου δεν διαρρέεται από ρεύμα, ενώ αν στην απόσταση αυτή τις «συνδέσουμε» μεταξύ τους με μία οπτική ίνα τότε αυξάνει το ρεύμα μέσα από την φωτοδίοδο.

Παρατίθεται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας LED και φωτοδίοδου, επισημαίνονται οι τρόποι χρήσεις τους και διευκρινίζεται η μεταξύ τους διαφορά στην πόλωση και στη μετατροπή ενέργειας. Τονίζονται ιδιαίτερα οι κβαντικές διαδικασίες και φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στη μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος σε φως (LED) και του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα (φωτοδίοδος). Με τον τρόπο αυτό δικαιολογείται και νομιμοποιείται ο τίτλος «Κβαντικό Φως», που έχει δοθεί στην παρούσα εργασία. Επίσης γίνεται μία σύντομη αναφορά στη λειτουργία και στις χρήσεις των οπτικών ινών. Με ένα δεύτερο πείραμα μεταφέρουμε μέσα από οπτική ίνα ψηφιακό σήμα από πομπό υπέρυθρου φωτός, κατάλληλα διαμορφωμένου, σε αντίστοιχο δέκτη. Για την προσαρμογή της τάσης που παρέχει

η φωτοδίοδος χρησιμοποιείται ένας ενισχυτής κοινού εκπομπού ενώ η LED οδηγείται μέσω ενισχυτή ρεύματος από γεννήτρια τετραγωνικών παλμών.

Η παρούσα εκπαιδευτική πρόταση εφαρμόζεται το τρέχον ακαδημαϊκό έτος 2006-07, σε τριτοετείς φοιτητές και φοιτήτριες, στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια μιας γενικότερης ερευνητικής εργασίας.

Συνοπτικά θεωρητικά στοιχεία για LED, φωτοδίοδο, οπτική ίνα

Η δίοδος εκπομπής φωτός - LED (Light Emitting Diode) είναι μια επαφή p-n που εκπέμπει φως, όταν είναι ορθά πολωμένη (εφαρμόζουμε συνεχή τάση με το “+” στο μέρος p της επαφής). Επαφή p-n είναι η ένωση/παράθεση δύο τμημάτων ημιαγωγού όπου το ένα εμφανίζει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου-n) και το άλλο περίσσεια οπών ή ισοδύναμα έλειμμα ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου - p). Δηλαδή η LED μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Οι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα ηλεκτρόνια. Η έλλειψη ηλεκτρονίου (λόγω διέγερσης) από μία θέση όπου πριν υπήρχε (το ηλεκτρόνιο) χαρακτηρίζεται ως οπή. Κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο επανασυνδέεται με οπή (αποδιέγερση ηλεκτρονίου) εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια περίπου ίση προς το ενεργειακό χάσμα. Αυτή η ενέργεια (και κατά συνέπεια η συχνότητα ή το μήκος κύματος του φωτονίου, άρα το χρώμα του φωτός) μπορεί να μεταβάλλεται μέσω επιλογής υλικών με διαφορετικά ενεργειακά χάσματα. Οι δίοδοι φωτοεκπομπής (LEDs) είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένες έτσι ώστε να διώχνουν προς τα έξω ένα μεγάλο αριθμό φωτονίων. Επιπλέον τοποθετούνται μέσα σε ένα πλαστικό περίβλημα το οποίο έχει την ιδιότητα να στέλνει το φως προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Το περισσότερο φως που εκπέμπεται από την δίοδο ανακλάται στα πλευρικά τοιχώματα του περιβλήματος και βγαίνει από την πάνω του μεριά που είναι στρογγυλή. Έχουν πολλές εφαρμογές. Μεταξύ άλλων, σχηματίζουν τους αριθμούς στα ψηφιακά ρολόγια, διαβιβάζουν τις πληροφορίες από συσκευές τηλεχειρισμού (remote controls) και μας πληροφορούν πότε ενεργοποιήθηκαν οι συσκευές μας.

Η φωτοδίοδος (photodiode) είναι μια φωτοβολταϊκή επαφή p-n ειδικά σχεδιασμένη και κατασκευασμένη ώστε να λειτουργεί υπό ανάστροφη πόλωση και με την καλύτερη δυνατή γραμμικότητα. Λειτουργεί ως φωτοφωρατής. Υπό τη γενική έννοια του όρου ως φωτοφωρατής, νοείται κάθε διάταξη η οποία όταν δεχτεί φως εκδηλώνει στην έξοδό της ένα ηλεκτρικό μέγεθος που η τιμή του εξαρτάται από την τιμή κάποιου χαρακτηριστικού μεγέθους της φωτοδέσμης. Η φωτοδίοδος λειτουργεί ως κβαντικός φωτοφωρατής. Προσπίπτουν φωτόνια στην φωτοληπτική επιφάνεια, τα οποία με την ενέργεια που μεταφέρουν, δημιουργούν «γεννού» άφθονα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών (εσωτερικό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Αν η φωτοδίοδος είναι συνδεδεμένη σε κύκλωμα ανιχνεύεται ρεύμα ανάλογο της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας.

Η οπτική ίνα (fiber optic) είναι ίνα από διηλεκτρικό υλικό και χρησιμοποιείται ως αγωγός ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της ορατής ή της υπέρυθρης περιοχής του φάσματος. Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από τρία μέρη: α) τον πυρήνα, που είναι το τμήμα υψηλού δείκτη διάθλασης στο οποίο διαδίδεται το φως, β) τον μανδύα, που είναι ένας ομόκεντρος με τον πυρήνα κύλινδρος χαμηλότερου δείκτη διάθλασης ώστε μια φωτεινή ακτίνα που εισδύει στον πυρήνα της ίνας από το ένα του άκρο διαδίδεται κατά μήκος έως το άλλο άκρο, λόγω των ολικών ανακλάσεων που υφίσταται στην επιφάνεια επαφής μεταξύ του πυρήνα και του μανδύα και γ) το περίβλημα, που είναι αδιαφανές πλαστικό. Τα καλώδια οπτικών ινών, τα οποία, συνήθως περιέχουν δεσμίδες οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται, κυρίως, από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, αντικαθιστώντας τόσο τις γραμμές ομοαξονικών καλωδίων, όσο και τις επίγειες και δορυφορικές

μικροκυματικές ζεύξεις. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών είναι: μεγάλη χωρητικότητα, μικρό μέγεθος και βάρος, χαμηλή εξασθένιση, απρόσβλητη σε περιβαλλοντολογικές παρεμβολές, υψηλή ασφάλεια - δυσκολία στις υποκλοπές, μικρό κόστος (σε μεγάλες εγκαταστάσεις).

Η Εκπαιδευτική πρόταση

Κύρια επιδίωξη της παρούσας εκπαιδευτικής πρότασης αποτελεί ο μετασχηματισμός των επιστημονικών προτύπων για το φως σε εκπαιδευτικά πρότυπα και πειράματα. Αναπτύσσεται ένα εκπαιδευτικό εργαστήριο μέσω του οποίου οι φοιτητές έρχονται σε επαφή με σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές (LED, οπτική ίνα, φωτοδιόδος). Επιχειρείται να αναδειχθεί η κβαντική φύση του φωτός (φωτόνια) μέσω της αρχής λειτουργίας της LED και της φωτοδιόδου. Οι φοιτητές που συμμετέχουν στο εργαστήριο έχουν διδαχθεί στο προηγούμενο ακαδημαϊκό έτος τις σχετικές θεωρίες για τη φύση του φωτός, τα φαινόμενα του φωτός, για τον ηλεκτρισμό και το ηλεκτρικό ρεύμα, για τις μετατροπές ενέργειας, καθώς και τις βασικές αρχές της κβαντομηχανικής χωρίς τον αυστηρό μαθηματικό φορμαλισμό τους (αλλά με τρόπο ποιοτικό). Οι ασκούμενοι λοιπόν φοιτητές πρέπει να γνωρίζουν αυτές τις θεωρίες σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο. Δεν απαιτείται να έχουν προετοιμαστεί, διαβάζοντας εκ των προτέρων σχετικά θεωρητικά στοιχεία. Οι προϋπάρχουσες γνώσεις τους ελέγχονται με ένα pre-test. Όλα τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία δίνονται μέσω του υλικού (κείμενα, φωτογραφίες, προσομοιώσεις, βίντεο) που έχει δημιουργηθεί για τον Η/Υ. Απολυνθεί στη συνέχεια αναλυτική παρουσίαση της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Εκπαιδευτική Μεθοδολογία

Η εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της εκπαιδευτικής πρότασης είναι η ιστορικά καταξιωμένη επιστημονική / ερευνητική μέθοδος, που όχι μόνο απέτελεσε - και αποτελεί - το εργαλείο του ανθρώπου / ερευνητή / επιστήμονα για την κατανόηση και περιγραφή του κόσμου του και εξοικειώνει / ασκεί το μαθητή με / στην επιστημονική σκέψη, αλλά - τελικά - και οριοθετεί (μαζί με την επιστημονική δεοντολογία) και αυτή την ίδια την επιστήμη από τις άλλες γνωσιακές περιοχές. Η επιστημονική / ερευνητική μέθοδος έχει διαμορφωθεί κατάλληλα σε εκπαιδευτική μέθοδο με τα παρακάτω βήματα:

1. Έναυσμα ενδιαφέροντος – Παρατηρώ, Πληροφορούμαι, Ενδιαφέρομαι
2. Διατύπωση Υποθέσεων – Προβληματίζομαι, Συζητώ, Υποθέτω
3. Πειραματισμός – Ερευνώ, Ενεργώ, Πειραματίζομαι
4. Διατύπωση Θεωρίας – Συμπεραίνω, Καταγράφω, Ερμηνεύω
5. Συνεχής Έλεγχος – Εμπεδώνω, Γενικεύω

Η διαδικασία των πέντε βημάτων της διδακτικής μεθόδου υποστηρίζεται από λογισμικό - υλικό το οποίο έχει αναπτυχθεί με τη χρήση του προγράμματος "Front Page". Κάθε ομάδα φοιτητών (3 φοιτητές) πηγαίνει στον Η/Υ του εργαστηρίου που αντιστοιχεί σε αυτήν. Στον Η/Υ υπάρχει το υποστηρικτικό υλικό – λογισμικό. Με βάση οδηγίες – φύλλα εργασίας που δίνονται σε μορφή φυλλαδίου οι φοιτητές χειρίζονται το υλικό. Όταν χρειάζεται (με βάση τις οδηγίες) «αφήνουν» τον Η/Υ και «πηγαίνουν» στον εργαστηριακό πάγκο για να εκτελέσουν πείραμα ή να δουν κάποιο εξάρτημα ή διάταξη. Στα φύλλα εργασίας τα οποία παραδίδονται στο τέλος καταγράφουν τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις τους. Δημιουργείται με τον τρόπο αυτό μία αρκετά επιτυχημένη αλληλεπίδραση Η/Υ (με δημιουργία υλικού που καλύπτει πλήρως την άσκηση, ακολουθώντας την εκπαιδευτική μεθοδολογία των πέντε βημάτων) και κλασικού εργαστηρίου (με πραγματοποίηση διάταξης, λήψη μετρήσεων κλπ.).

1. Ένασμα ενδιαφέροντος

Οι μαθητές ή φοιτητές παρατηρούν στον Η/Υ φωτογραφίες LED, φωτοδίοδου και οπτικής ίνας. Επίσης διαβάζουν (στον Η/Υ) υπό μορφή επιστημονικού άρθρου γενικά συνοπτικά θεωρητικά στοιχεία (όπως αυτά που προηγήθηκαν). Στη συνέχεια διατίθενται, ώστε να τα περιεργαστούν, LED διαφόρων χρωμάτων, οπτική ίνα μήκους 1m και φωτοδίοδος (συγκεκριμένα η BPW41). Τεντώνουν την οπτική ίνα και κατευθύνουν στο ένα άκρο της ένα φακό ή ένα laser pointer. Παρατηρούν το φως στο άλλο άκρο της. Επαναλαμβάνουν τη διαδικασία με λυγισμένη την οπτική ίνα σε ένα μεγάλο κύκλο. Παρατηρούν ξανά το φως στο άλλο άκρο της.

2. Διατύπωση υποθέσεων

Διατυπώνονται υποθέσεις σε ερωτήματα όπως τα ακόλουθα: Πώς παράγεται το φως σε μια LED; Πώς διαδίδεται το φως μέσα στην οπτική ίνα; Πόσο μακριά μπορεί να διαδοθεί; Τι νομίζετε; Με ποιο μηχανισμό η φωτοδίοδος μετατρέπει το φως που «πέφτει» πάνω της σε ηλεκτρικό ρεύμα; Γιατί χρησιμοποιούμε οπτικές ίνες και φωτοδίοδους;

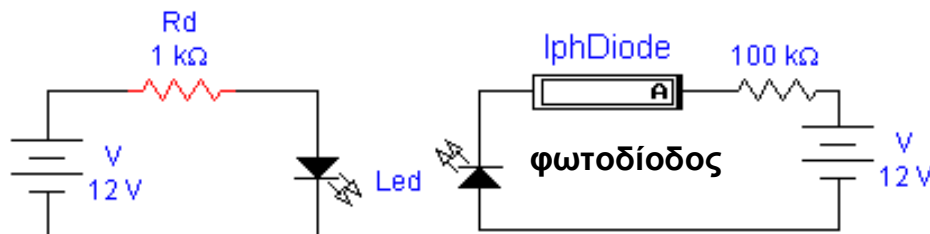
3. Πειραματισμός

Υλικά – Συσκευές: Τροφοδοτικό 12V ή δύο (2) μπαταρίες 4,5 V. Πινακίδα κατασκευής κυκλώματος (breadboard). Καλώδια σύνδεσης. Ψηφιακό πολύμετρο (αμπερόμετρο και βολτόμετρο). Αντίστασεις διάφορες. Τρία (3) LEDs: υπερύθρου με διαφανές κέλυφος, υπερύθρου σκούρο κέλυφος, κόκκινο. Φωτοδίοδο υπερύθρου BPW41. Οπτική ίνα μήκους περίπου 1m.



Οπτική ίνα, Laser pointer, LEDs

Πειραματική διαδικασία. Πραγματοποιείται το παρακάτω κύκλωμα:



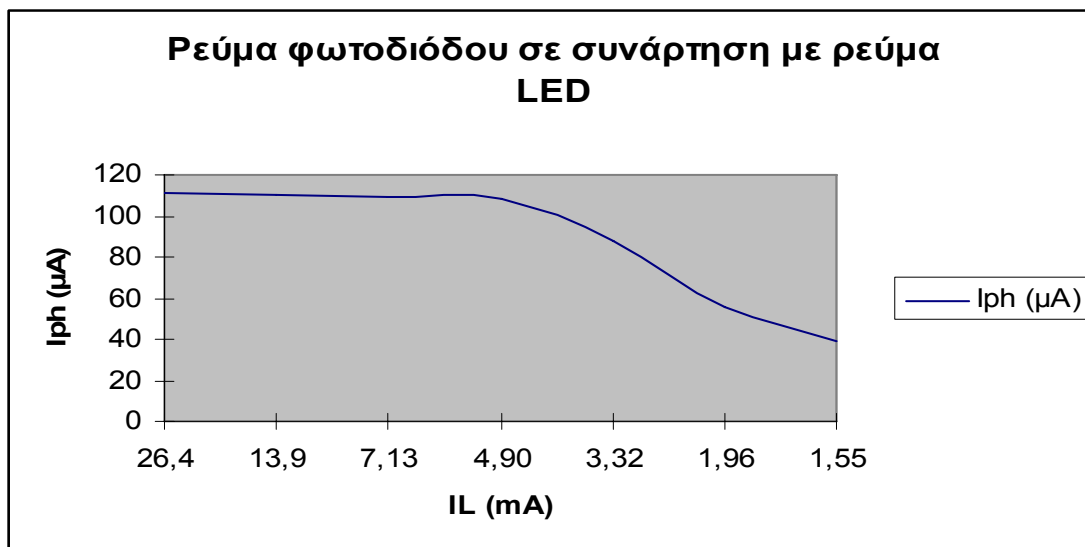
Αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες 4,5V τότε πρέπει $R_d = 470\Omega$ και αντίσταση στο κύκλωμα της φωτοδίοδου 47KΩ. Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν αυτά τα στοιχεία. Αφού συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα με την φωτοδίοδο υπερύθρου BPW41 και LED υπερύ-

θρου φωτός (διαφανές κέλυφος), συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας με τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ

R (Ω)	I _L (mA)	I _{ph} (μ A)
120	26,4	111
220	13,9	110
470	7,13	109
680	4,90	108
1200	3,32	88
1800	1,96	56
2200	1,55	39

Η LED είναι με διαφανές κάλυμμα και τοποθετημένη πολύ κοντά στη φωτοδίοδο (σχεδόν ακουμπούν). Σχεδιάζεται η γραφική παράσταση του I_{ph} σε συνάρτηση με το I_{LED} . Παρατηρούμε ότι περίπου από την τιμή $I_L = 4,90\text{mA}$ που αντιστοιχεί σε $R=680\Omega$ το ρεύμα της φωτοδίοδου που μέχρι τότε ήταν σχεδόν σταθερό, μειώνεται σημαντικά. Στην περιοχή $26,4\text{mA} > I_L > 4,90\text{mA}$ ο αριθμός των φωτονίων που προσπίπτουν στη φωτοδίοδο είναι περίπου σταθερός, ενώ για τιμές $I_L < 4,90\text{mA}$ ο αριθμός των φωτονίων που προσπίπτουν στη φωτοδίοδο μειώνεται σημαντικά.



Τοποθετείται στη θέση της LED υπερύθρων με διαφανές κάλυμμα μία LED υπερύθρων με σκούρο κάλυμμα. Δεν παρατηρείται ουσιαστική αλλαγή στο ρεύμα μέσα από την φωτοδίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται στην θέση της LED υπερύθρων μία κόκκινη LED. Τώρα το ρεύμα μέσα από την φωτοδίοδο μειώνεται πάρα πολύ. Αυτό συμβαίνει γιατί η φωτοδίοδος είναι υπερύθρου, δηλαδή ανιχνεύει ακτινοβολίες σε αυτό το τμήμα του φάσματος αγνοώντας τις άλλες ακτινοβολίες ή παρουσιάζοντας πολύ μικρή ευαισθησία στις άλλες περιοχές συχνοτήτων.

Απομακρύνοντας τη LED υπερύθρων από τη φωτοδίοδο παρατηρούμε ότι το ρεύμα μέσα από τη φωτοδίοδο μηδενίζεται. Αν όμως συνδέσουμε τη LED (πομπό) με τη φωτοδίοδο (δέκτη) μέσω οπτικής ίνας τότε το κύκλωμα της φωτοδίοδου διαρρέεται ξανά από ρεύμα, το οποίο είναι μικρότερο από αυτό της αρχικής τοπολογίας (LED – φωτοδίοδος σε επαφή). Αυτό

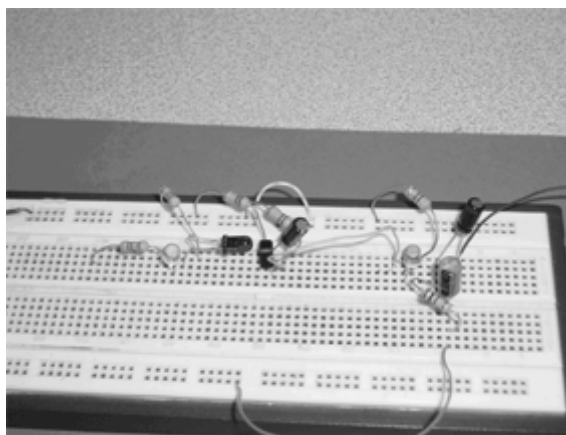
συμβαίνει γιατί στην ίνα εισέρχεται μία «στενή» δέσμη της ολικής εκπεμπόμενης από τη LED ακτινοβολίας.

4. Διατύπωση θεωρίας – Συμπεράσματα

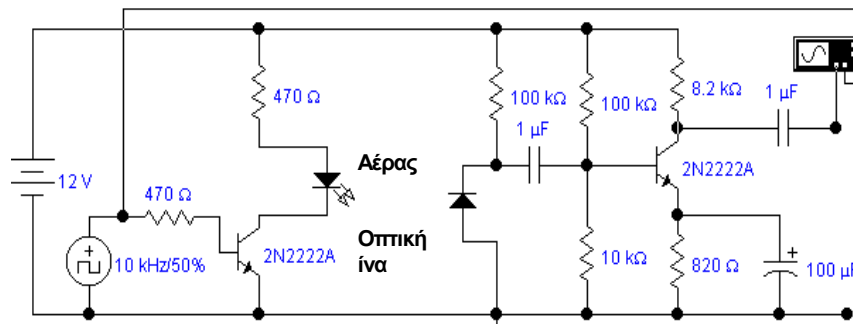
Η LED εκπέμπει ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας. Μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο επανασυνδέεται με οπή (αποδιέγερση ηλεκτρονίου) εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια περίπου ίση προς το ενεργειακό χάσμα. Αυτή η ενέργεια (και κατά συνέπεια η συχνότητα ή το μήκος κύματος του φωτονίου, άρα το χρώμα του φωτός) μπορεί να μεταβάλλεται μέσω επιλογής υλικών με διαφορετικά ενεργειακά χάσματα. Η φωτοδίοδος ως αισθητήριο φωτός (φωτοφωρατής) παρουσιάζει ευαισθησία σε συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος. Προσπίπτουν φωτόνια («Κβαντικό Φως») στην φωτοληπτική επιφάνεια, τα οποία με την ενέργεια που μεταφέρουν, δημιουργούν – «γεννούν» άφθονα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών (εσωτερικό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Το εισερχόμενο φως διαδίδεται μέσα από την οπτική ίνα σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς ουσιαστικές απώλειες.

5. Γενικεύσεις

Ολοκληρώνοντας την εκπαιδευτική πρόταση – ως γενίκευση -θα μεταφέρουμε μέσα από οπτική ίνα ψηφιακό σήμα από πομπό υπέρυθρου φωτός, κατάλληλα διαμορφωμένου, σε αντίστοιχο δέκτη. Για την προσαρμογή της τάσης που παρέχει η φωτοδίοδος (BPW41) χρησιμοποιείται ένας ενισχυτής κοινού εκπομπού ενώ η LED οδηγείται μέσω ενισχυτή ρεύματος από γεννήτρια τετραγωνικών παλμών. Αφού συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα ρυθμίζουμε τη συχνότητα της γεννήτριας περίπου σε $f=10$ KHz με πλάτος $V_o = 1V_{pp}$. Χρησιμοποιείται τροφοδοτικό 12 V. Παρατηρούμε σε οθόνη παλμογράφου τις κυματομορφές στην έξοδο του τρανζίστορ (2N222A) στο κύκλωμα της φωτοδίοδου με οπτική ίνα και χωρίς αυτή.



Το κύκλωμα σε breadboard



Το κύκλωμα σχεδιασμένο σε Η/Υ. Σημειώνονται τα διάφορα στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, τρανζίστορ, φωτοдиодος, LED, γεννήτρια, παλμογράφος, τροφοδοτικό) του κυκλώματος.

Εφαρμογή και Αξιολόγηση

Η εκπαιδευτική πρόταση εφαρμόστηκε το χρονικό διάστημα Οκτωβρίου - Νοεμβρίου 2006 σε τριτοετείς φοιτητές και φοιτήτριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, και θα συνεχίσει να εφαρμόζεται μέχρι το τέλος του ακαδημαϊκού έτους 2006-07. Πραγματοποιήθηκε (μέχρι τώρα) από τέσσερις ομάδες των τριών φοιτητών η κάθε μία. Η κάθε ομάδα εργάστηκε επί δύο ώρες, ακολουθώντας τα πέντε βήματα της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Δόθηκε ένα φύλλο εργασίας και αναφοράς για κάθε ομάδα. Είχε προηγηθεί τεστ (pre-test) πριν την πραγματοποίηση της άσκησης και ακολούθησε τεστ ελέγχου (post-test) μία εβδομάδα αργότερα.

Συμπεράσματα και Σχόλια

Τα πρώτα συμπεράσματα από την εφαρμογή της εκπαιδευτικής πρότασης είναι θετικά και ενθαρρυντικά. Η εφαρμογή θα συνεχιστεί. Γενικά οι φοιτητές εργάστηκαν με ενδιαφέρον, συστηματικά και οι περισσότεροι διδακτικοί στόχοι επιτεύχθηκαν. Ιδιαίτερα επιτυχημένος κρίνεται ο συνδυασμός Η/Υ (με δημιουργία υλικού που καλύπτει πλήρως την άσκηση, ακολουθώντας την εκπαιδευτική μεθοδολογία των πέντε βημάτων) και κλασικού εργαστηρίου (με πραγματοποίηση διάταξης, λήψη μετρήσεων κλπ.). Δυσκολίες είχαν οι φοιτητές στη χρήση του πολυμέτρου για τη λήψη των μετρήσεων. Η γραφική παράσταση σχεδιάστηκε σχετικά εύκολα και η ερμηνεία της υπήρξε επιτυχής. Πριν την άσκηση οι φοιτητές αγνοούσαν τον τρόπο λειτουργίας και τη χρήση LED, φωτοδιόδου και οπτικής ίνας. Μία εβδομάδα μετά ήταν σε θέση να περιγράψουν με επιτυχία τον τρόπο λειτουργίας και τη χρήση τους, καθώς και τη διαδικασία δημιουργίας του «Κβαντικού Φωτός».

Παραπομπές

- Θεοφάνους Ν., (1989), Οπτρονική, Εκδόσεις Βασδέκης, Αθήνα.
- Καλκάνης Γ.Θ., (2002), Εκπαιδευτική ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, Εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών Πληροφόρησης (και) στην Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, 1^η έκδοση, Αθήνα.
- Καλκάνης Γ.Θ., (2005), Εκπαιδευτική ΦΥΣΙΚΗ Ι. οι Θεωρίες, 1^η έκδοση, Αθήνα.
- Καλκάνης Γ.Θ., (2005), Εκπαιδευτική ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ. τα Φαινόμενα, 1^η έκδοση, Αθήνα.
- John M. Senior, (1992), "Optical fiber communications principles and practice" Prentice Hall International.

- Voudoukis N., Oikonomidis S. & Kalkanis G. (2006), “Hands-on Activities with LEDs and Light”, HSCI2006, 3rd International Conference on Hands-on Science, University of Minho, Braga, Portugal, September 4-9, 2006.