

Μια καινοτομική αντίληψη για τη διδασκαλία της Φυσικής: ανάκλαση, φύση και διάδοση του φωτός – ο σεληνιακός ανακλαστήρας

Καλλιόπη Μέλι

Υπ. Διδάκτορας, Τ.Ε.Ε.Α.Π.Η., Πανεπιστήμιο Πατρών
kmeli@upatras.gr

Δημήτρης Κολιόπουλος

Καθηγητής, Τ.Ε.Ε.Α.Π.Η., Πανεπιστήμιο Πατρών
dkoliop@upatras.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στις αντιλήψεις για το μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης στη σχολική εκδοχή της. Ειδικά εξετάζει μέρος της ενότητας της οπτικής της Γ' Γυμνασίου και συγκεκριμένα την ανάκλαση, τη φύση και τη διάδοση του φωτός. Τα χαρακτηριστικά των παραγράφων αυτών συνάδουν με την παραδοσιακή αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα της φυσικής και φαίνεται να εγείρουν σημαντικά εμπόδια για τη διδασκαλία και τη μάθηση. Εναλλακτικά, η εργασία αυτή παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη διδακτική πρόταση σύμφωνα με την καινοτομική αντίληψη. Πρόβλημα-στόχος που διέπει την πρόταση αυτή είναι ο σεληνιακός ανακλαστήρας.

Λέξεις κλειδιά: διδακτικός μετασχηματισμός, καινοτομική αντίληψη, οπτική

Εισαγωγή

Τα αναλυτικά προγράμματα κορμού φυσικών επιστημών, ειδικά αυτά της φυσικής, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, καθεμία από τις οποίες συγκροτεί μια αντίληψη για το είδος μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης στη σχολική εκδοχή της. Η ταξινόμηση αυτή προέρχεται από την ομαδοποίηση των συμπερασμάτων μετά από την ανάλυση της φύσης και των χαρακτηριστικών του διδακτικού μετασχηματισμού της γνώσης της φυσικής σε αναλυτικά προγράμματα διάφορων εκπαιδευτικών βαθμίδων (Κολιόπουλος, 2004, σ. 45).

Οι τρεις αντιλήψεις για το αναλυτικό πρόγραμμα φυσικών επιστημών είναι (α) η παραδοσιακή, (β) η καινοτομική και (γ) η εποικοδομητική. Η καθεμία από αυτές τις αντιλήψεις αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο κάθε σχολικό πρόγραμμα χειρίζεται τις έννοιες, τη μεθοδολογία και τα πολιτισμικά χαρακτηριστικά μίας ή περισσότερων θεματικών εννοιών. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, θα αναφερθούμε ειδικά στις δύο πρώτες (Κολιόπουλος, 2004, σ. 47).

Η παραδοσιακή αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα των φυσικών επιστημών είναι η επικρατούσα αντίληψη μεταξύ των σχολικών προγραμμάτων σε όλες τις βαθμίδες του ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος. Τα κύρια στοιχεία της παραδοσιακής αντίληψης, όπως τα κατηγοριοποιεί ο Κολιόπουλος (2004, σ. 47), είναι τα εξής:

- (1) παράθεση, διασπορά ή/και ανάμειξη διαφορετικών εννοιολογικών πλαισίων, η οποία οφείλεται στον κατακερματισμό των θεματικών ή εννοιολογικών εννοιών (εννοιολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης),
- (2) μαθηματικοποιημένη ή «ψευδοποιοτική» πραγμάτευση εννοιών των φυσικών επιστημών (εννοιολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης),
- (3) εμπειριστική-επαγωγική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στην αντίληψη ότι η επιστημονική γνώση παράγεται από δεδομένα της εμπειρίας (μεθοδολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης) και
- (4) υποβαθμισμένη χρήση των πολιτισμικών χαρακτηριστικών (πολιτισμική διάσταση της επιστημονικής γνώσης).

Η καινοτομική αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα των φυσικών επιστημών πηγάζει από τις αλλαγές που επήλθαν τις δεκαετίες του '70 και του '80 στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, οι οποίες προσανατολίστηκαν στη διεύρυνση της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών σε μεγαλύτερο

μέρος του πληθυσμού από τις μικρές κιόλας ηλικίες και στη βελτίωση της στάσης των μαθητών προς τις θετικές επιστήμες, με σκοπό να κατευθυνθούν περισσότερα άτομα προς τους αντίστοιχους επαγγελματικούς κλάδους. Τα κύρια χαρακτηριστικά της καινοτομικής αντίληψης, σύμφωνα με τον Κολιόπουλο (2004, σσ. 60-61), είναι τα παρακάτω:

- (1) διαμόρφωση ευρέων θεματικών/εννοιολογικών ενότητων, όπου η έμφαση δίνεται στη δομή της ενότητας ή/και στο λεγόμενο καθοδηγούν θέμα (εννοιολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης),
- (2) «σε βάθος» πραγμάτευση ενός εννοιολογικού πλαισίου με παράλληλη εισαγωγή στοιχείων «ποιοτικής φυσικής» (εννοιολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης),
- (3) υποθετικό-παραγωγική προσέγγιση (μεθοδολογική διάσταση της επιστημονικής γνώσης) και
- (4) οργανική ένταξη της πολιτισμικής διάστασης των φυσικών επιστημών στις διάφορες θεματικές ενότητες (πολιτισμική διάσταση της επιστημονικής γνώσης).

Πρώτο σκέλος της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση της θεματικής ενότητας της Οπτικής, όπως αυτή διδάσκεται στην Γ' Γυμνασίου, και ειδικά των παραγράφων για την ανάκλαση, τη φύση και τη διάδοση του φωτός ως προς την αντίληψή τους για το μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης στη σχολική εκδοχή τους. Η πλειονότητα των στοιχείων της συγκεκριμένης ενότητας συνάδει με την παραδοσιακή αντίληψη, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της όπως αυτά αναφέρονται παραπάνω. Για το λόγο αυτό, στο δεύτερο σκέλος της εργασίας επιχειρείται ένας διδακτικός μετασχηματισμός των παραγράφων αυτών σύμφωνα με την καινοτομική αντίληψη και προτείνεται ένα εναλλακτικό πλάνο μαθήματος με καινοτομικά χαρακτηριστικά. Πρόβλημα-στόχος γύρω από το οποίο περιστρέφεται η πρόταση είναι ο σεληνιακός ανακλαστήρας.

Η παραδοσιακή διδακτική προσέγγιση για τη διδασκαλία της ανάκλασης στη Φυσική της Γ' Γυμνασίου

Στα κεφάλαια 6 και 7 του σχολικού εγχειριδίου της Γ' Γυμνασίου (Αντωνίου κ.ά., 2014) οι μαθητές καλούνται να μάθουν για τη «Φύση και διάδοση του φωτός» και την «Ανάκλαση του φωτός» αντίστοιχα. Υποπαραγράφοι του 6^{ου} κεφαλαίου είναι η ευθύγραμμη διάδοση και η ταχύτητα διάδοσης του φωτός (πaráγραφος 6.2), ενώ στο 7^ο κεφάλαιο διδάσκεται μεταξύ άλλων η κατοπτρική ανάκλαση του φωτός (πaráγραφος 7.1). Τα παραπάνω αναμειγνύονται και με διάφορα άλλα στοιχεία γύρω από την έννοια «φως» και την οπτική γενικότερα, όπως τη φωτεινή ενέργεια, τη σκιά και τα είδωλα.

Το εν λόγω εγχειρίδιο συνιστά τον κύριο άξονα βάσει του οποίου αναπτύσσεται η διδασκαλία για την ανάκλαση του φωτός. Όμως, προκειμένου να διδαχθεί η ανάκλαση, τα χαρακτηριστικά της φύσης και της διάδοσης του φωτός θεωρούνται προαπαιτούμενα και καλά αφομοιωμένα από τη διδασκαλία τους στο κεφάλαιο που προηγείται αυτού της ανάκλασης. Γι' αυτό κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί συνολικά το περιεχόμενο της ενότητας, ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την διδακτική προσέγγιση που ακολουθείται, τα χαρακτηριστικά της οποίας συνάδουν κατά κύριο λόγο με την παραδοσιακή αντίληψη διδασκαλίας της φυσικής. Συγκεκριμένα, για το κομμάτι αυτό του αναλυτικού προγράμματος θα ερευνηθεί κατά πόσο εμφανίζονται τα τέσσερα κύρια στοιχεία της παραδοσιακής διδακτικής προσέγγισης, όπως αυτά αναφέρθηκαν στην Εισαγωγή.

Παράθεση, διασπορά και ανάμειξη εννοιολογικών πλαισίων

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές χαρακτηριστικές φράσεις στις διάφορες παραγράφους του εγχειριδίου προκειμένου να ερευνηθεί η αυτοσυνέπεια του κειμένου ως προς τα εννοιολογικά πλαίσια που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 16. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των εννοιολογικών πλαισίων του σχολικού εγχειριδίου

ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ	ΦΡΑΣΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ	ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	
6.1	Το φως μεταφέρει ενέργεια	«Η ενέργεια που μεταφέρει το φως ονομάζεται φωτεινή ενέργεια, η οποία αποτελεί ειδική περίπτωση της ενέργειας ακτινοβολίας». «Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται με φωτόνια». «Τα φωτόνια του κόκκινου χρώματος έχουν μικρότερη ενέργεια από τα φωτόνια του	Ενεργειακό πλαίσιο Κβαντικό πλαίσιο (σωματιδιακό μοντέλο)

		πράσινου».	
6.1	Το φως προκαλεί θέρμανση	«Όταν απορροφώνται φωτόνια από τους δομικούς λίθους ενός σώματος, τότε αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος».	Πλαίσιο στατιστικής μηχανικής (σωματιδιακό μοντέλο) Ενεργειακό πλαίσιο (θερμιδικό)
6.1	Το φως προκαλεί κίνηση	«Η ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στο ακτινόμετρο μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των πτερυγίων του»	Πλαίσιο στατιστικής μηχανικής (σωματιδιακό μοντέλο)
6.1	Το φως προκαλεί την όραση	«[...] η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται μεταφέρεται μέσω του οπτικού νεύρου στο αντίστοιχο κέντρο του εγκεφάλου [...]».	Ενεργειακό πλαίσιο Ηλεκτρομαγνητικό πλαίσιο (μοντέλο πεδίου)
6.2	Φωτόνια και διάδοση φωτός	«Στα διαφανή υλικά τα άτομα απορροφούν τα φωτόνια και στη συνέχεια επανεκπέμπουν φωτόνια που έχουν την ίδια ενέργεια με τα αρχικά». «Στα αδιαφανή υλικά η ενέργεια των φωτονίων μετασχηματίζεται με κινητική ενέργεια των ατόμων ή των μορίων του υλικού, δηλαδή έχουμε αύξηση της θερμικής ενέργειας του σώματος και τελικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας τους».	Κβαντικό πλαίσιο (σωματιδιακό μοντέλο) Πλαίσιο στατιστικής μηχανικής (σωματιδιακό μοντέλο) Ενεργειακό πλαίσιο (θερμιδικό)
6.2	Σκιά	«Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες όπου δε φτάνουν οι ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, γιατί στην πορεία τους παρεμβάλλεται το αδιαφανές σώμα». «Η σκιά είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός».	Πλαίσιο γεωμετρικής οπτικής
7.1	Διάχυση	«Το φως του ήλιου διαχέεται από τα μόρια του αέρα και εισέρχεται στο δωμάτιο»	Πλαίσιο γεωμετρικής οπτικής Σωματιδιακό μοντέλο

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι υπάρχει τόσο παράθεση όσο και διασπορά των διάφορων εννοιολογικών πλαισίων, αλλά κυρίως έντονη ανάμειξή τους. Αυτές προκύπτουν από την ανάγκη του αναλυτικού προγράμματος να εξυπηρετήσει τους διδακτικούς σκοπούς που αφορούν κυρίως το περιεχόμενο της επιστήμης, παραβλέποντας όμως τις διάφορες επιπτώσεις στη διδασκαλία. Στην προκειμένη περίπτωση, οι μαθητές επιβαρύνονται με διάφορα μακροσκοπικά και μικροσκοπικά μοντέλα κατά τη μελέτη της φύσης, διάδοσης και ανάκλασης του φωτός. Ιδιαίτερες συγχύσεις μπορεί να προκαλέσει η αναφορά σε κβαντικά μοντέλα, τα οποία συνιστούν πηγή δυσκολιών για μαθητές και φοιτητές πολύ μεγαλύτερων ηλικιών και γνώσεων.

Μαθηματοποιημένη ή «ψευδοποιοτική» πραγμάτευση των εννοιών

Στα προαναφερθέντα κεφάλαια δεν εμφανίζεται αυτού του τύπου ο μετασχηματισμός, καθώς δεν προσφέρονται για εισαγωγή μαθηματικών λειτουργικών σχέσεων είτε με τη μορφή των μαθηματικών συμβόλων είτε με την περιγραφή τους σε μαθηματική γλώσσα. Τα όποια σχετικά εδάφια υπάρχουν, όπως για παράδειγμα η γεωμετρική απόδειξη της αρχής ελαχίστου χρόνου, έχουν αφαιρεθεί από την ύλη του αναλυτικού προγράμματος.

Εμπειριστική-επαγωγική προσέγγιση

Η εμπειριστική-επαγωγική προσέγγιση χρησιμοποιείται κατά κόρον για τη διδασκαλία της φύσης και διάδοσης του φωτός στο πλαίσιο της παραδοσιακής αντίληψης. Στο 6^ο κεφάλαιο, η φύση του φωτός εισάγεται με ιστορική αναδρομή των απόψεων σχετικά με την όραση, δίνοντας στο μαθητή την εντύπωση ότι το φως υπάρχει μόνο επειδή βλέπουμε τα διάφορα σώματα. Πρόκειται για μια αντίληψη ξεπερασμένη επιστημονικά και φιλοσοφικά εδώ και αιώνες, η οποία είναι, αφενός, εμπειριστική από την άποψη ότι μόνο μέσω των αισθήσεων γίνεται αντιληπτός ο κόσμος και, αφετέρου, ιδεαλιστική, αφού υπονοεί ότι η φύση εκπορεύεται από τη νόησή μας.

Η παραπάνω εμπειριοκριτικιστική αντιμετώπιση συνιστά μάλιστα και το συνδεδετικό κρίκο του παραπάνω κεφαλαίου με το επόμενο, δηλαδή αυτό της ανάκλασης. Αναφέρεται ότι «στο κεφάλαιο 6 είδαμε ότι ένα ετερόφωτο αντικείμενο γίνεται ορατό όταν το φωτίσουμε και ένα μέρος του φωτός επανεκπέμπεται και φθάνει στο μάτι μας». Στη φράση αυτή κρύβεται μεγάλη διδακτική, αν όχι και επιστημονική, στρέβλωση καθώς η κατανόηση της λειτουργίας των ετερόφωτων σωμάτων *προϋποθέτει* τη γνώση της ανάκλασης! Οι συγγραφείς κάνουν μια μάλλον ανεπιτυχή προσπάθεια να παρακάμψουν το σκόπελο χρησιμοποιώντας τη συνώνυμη λέξη «επανεκπέμπεται» αντί για «ανακλάται».

Επιστρέφοντας όμως στο κεφάλαιο 6, συναντάμε αρκετές περιπτώσεις εμπειριστικής-επαγωγικής προσέγγισης. Στην υποπαράγραφο «Φως και ενέργεια» χρησιμοποιούνται συνοπτικά παραδείγματα για διάφορες συσκευές προκειμένου να πειστούν οι μαθητές για τους διάφορους μετασχηματισμούς της φωτεινής ενέργειας. Ακολούθως, στην υποπαράγραφο «Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός» αναφέρονται οι δέσμες φωτός που παρατηρούμε να εκπέμπονται ανάμεσα σε πυκνά σύννεφα και σε άλλες παρόμοιες περιπτώσεις με βάση τις οποίες οι μαθητές πρέπει να συμφωνήσουν ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα σε κάθε ομογενές υλικό, όπως ο αέρας. Τέλος, στην υποπαράγραφο «Ταχύτητα διάδοσης του φωτός» αναφέρονται διάφορα παραδείγματα, όπως του ήχου, των αυτοκινήτων και τα διαστημολοίων, που αναπτύσσουν ταχύτητες μικρότερες από αυτή του φωτός, προκειμένου οι μαθητές να δεχτούν πως τίποτα δεν κινείται γρηγορότερα από το τελευταίο. Να επισημάνουμε εδώ ότι το φως συγκρίνεται με υλικά αντικείμενα, αλλά και με ένα κύμα όπως ο ήχος, χωρίς όμως να έχει αναφερθεί σε κάποιο σημείο η δυϊκή φύση του φωτός, παρά μόνο η σωματιδιακή. Επιπλέον παραλείπεται το στοιχείο ότι αποτελεί μια σταθερά για την κίνηση στο κενό, ενώ δίνονται παραδείγματα μέτρησης αποστάσεων.

Υποβαθμισμένη χρήση πολιτισμικών χαρακτηριστικών

Το κεφάλαιο 6 ξεκινάει υπό τον υπότιτλο «Φως: από το μύθο στην τεχνολογία», παραθέτοντας πολύ συνοπτικά μια σύνθεση από αρχαϊκές απόψεις για το φως και μερικών μοντέρνων τεχνολογικών εφαρμογών. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο Α3, προκειμένου να εισαχθεί η σύγχρονη θεώρηση για τη φύση του φωτός αναφέρονται οι ιστορικές αντιλήψεις για την όραση. Στο ίδιο κεφάλαιο, για τη διδασκαλία της σκιάς χρησιμοποιούνται οι εκλείψεις Σελήνης και Ηλίου, οι οποίες αρχικά φαίνεται να αξιοποιούνται ως πολιτισμικά στοιχεία, αλλά τελικά καταλήγουν να συνιστούν μάλλον αυτόνομους εννοιολογικούς στόχους, περιπλέκοντας αρκετά τους αρχικούς, με την εισαγωγή στοιχείων διαστημικής μηχανικής, που καμία σχέση δεν έχουν με την ενότητα της οπτικής. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή γίνεται μια απόπειρα για μετάβαση από το πολιτισμικό στο εννοιολογικό πλαίσιο κι όχι το αντίστροφο, που συνήθως χαρακτηρίζει την παραδοσιακή διδακτική προσέγγιση. Παρόλα αυτά όμως, η παράθεση των ιστορικών στοιχείων μοιάζει σχεδόν εξαναγκασμένη, καθώς παρουσιάζει ανεκδοτολογική μορφή και δε δένεται οργανικά και ομαλά με τους εννοιολογικούς στόχους της ενότητας.

Το κεφάλαιο 7 φέρει τον υπότιτλο «Το φως επιστρέφει» και ξεκινάει με μια μικρή αναφορά στην ιστορική κατασκευή των καθρεφτών. Για το υπόλοιπο κεφάλαιο οι καθρέφτες συνιστούν μεθοδολογικό εργαλείο προκειμένου να διδαχθεί η ανάκλαση, ενώ γίνεται μια ισχνή προσπάθεια να αξιοποιηθεί παράλληλα η αρχική πολιτισμική αναφορά. Η απόπειρα να εισαχθούν πολιτισμικά στοιχεία στο κεφάλαιο αυτό είναι πιο πετυχημένη σε σχέση με το προηγούμενο, με την έννοια ότι τουλάχιστον δεν ορθώνει περαιτέρω εμπόδια. Δεν μπορούμε όμως να παραγνωρίσουμε το γεγονός ότι ο καθρέφτης, ως κομμάτι του ανθρώπινου πολιτισμού, δεν παρουσιάζει αυτόνομα ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γι' αυτό και η αναφορά του περιορίζεται κυρίως στην εξυπηρέτηση του μεθοδολογικού σκοπού.

Η καινοτομική διδακτική προσέγγιση για τη διδασκαλία της ανάκλασης στη Φυσική της Γ' Γυμνασίου

Με βάση την κριτική που ασκήθηκε παραπάνω στην παραδοσιακή διδασκαλία της ανάκλασης του φωτός, σε συνδυασμό με τα εννοιολογικά πλαίσια της φύσης και διάδοσης του φωτός, θα προταθεί μια εναλλακτική διδακτική προσέγγιση, η οποία θα στηρίζεται κυρίως στα χαρακτηριστικά της καινοτομικής αντίληψης, όπως αυτά αναφέρθηκαν στην Εισαγωγή.

Διαμόρφωση ευρέων θεματικών/ενοσιολογικών ενοτήτων και καθοδηγούν θέμα

Η έμφαση της συγκεκριμένης διδακτικής πρότασης δίνεται στο καθοδηγούν θέμα, το οποίο είναι το πείραμα Lunar Laser Ranging (μέτρηση απόστασης Γης-Σελήνης με λέιζερ). Το ίδιο το πείραμα δε συνιστά αντικείμενο μελέτης, αλλά αποτελεί ένα πολιτισμικό στοιχείο που ανοίγει διαύλους επικοινωνίας ανάμεσα στην πολιτισμική συνιστώσα της επιστημονικής γνώσης με τις άλλες δύο, την ενοσιολογική και τη μεθοδολογική. Έχοντας το πείραμα αυτό ως έρεισμα, επιχειρείται να συγκροτηθεί ένα δίκτυο ευρέων θεματικών/ενοσιολογικών ενοτήτων σχετικών με την ανάκλαση και τα εξέχοντα χαρακτηριστικά του φωτός, που καθιστούν την πρώτη δυνατή. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η δομή της ακολουθίας των ενοτήτων και τα βασικά χαρακτηριστικά της επιδιωκόμενης γνώσης. Ο χωρισμός τους έχει γίνει ανά δύο διδακτικές ώρες, καθώς κρίνεται ότι υπάρχει εσωτερική συνέχεια στα θέματα και ο κατακερματισμός τους σε ωριαία μαθήματα θα αποδυνάμωνε τη διδακτική παρέμβαση.

Πίνακας 17. Δομή της ακολουθίας ενοτήτων και γνωστικοί στόχοι

ΔΙΑ-ΩΡΑ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΕΝΝΟΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ
1-2	Τι συμβαίνει στο πείραμα Lunar Laser Ranging;	ευθύγραμμη διάδοση φωτός σταθερή ταχύτητα φωτός ειδικά πλεονεκτήματα laser		τεχνολογικά χαρακτηριστικά του πειράματος LLR
3-4	Πώς είναι φτιαγμένα τα κάτοπτρα;	ανάκλαση	κατασκευή κατάλληλου σεληνιακού ανακλαστήρα	

«Σε βάθος» πραγμάτευση ενός ενοσιολογικού πλαισίου με παράλληλη εισαγωγή στοιχείων «ποιοτικής φυσικής»

Ξεκινώντας λοιπόν από το παραπάνω γενικό σχήμα, μπορούμε να ασχοληθούμε με τη βαθύτερη πραγμάτευση του κύριου ενοσιολογικού πλαισίου, το οποίο αφορά στην κατοπτρική ανάκλαση (πλαίσιο γεωμετρικής οπτικής), με την επιπρόσθετη αξιοποίηση ορισμένων χαρακτηριστικών της διάδοσης του φωτός (μακροσκοπικό μοντέλο) ως επικουρικών ενοσιολογικών πλαισίων. Αυτή η στόχευση σε ένα συγκεκριμένο ενοσιολογικό πλαίσιο με βοηθητικά στοιχεία ποιοτικού χαρακτήρα συνάδει με την καινοτομική αντίληψη για τη διδασκαλία της φυσικής. Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται όχι μόνο στον περιορισμό του αριθμού των φυσικών ενοσιολογικών πλαισίων που πραγματευόμαστε, αλλά και στα επιστημονικά μοντέλα που επικαλούμαστε. Είναι κρίσιμο για την καινοτομική προσέγγιση να υπάρχει αυτοσυνέπεια και όσο γίνεται μικρότερη διάχυση των επιστημονικών θεωριών που αξιοποιούμε εντός ενός πλάνου μαθήματος. Στους Πίνακες 3 και 4 δίνονται αναλυτικότερα οι ενέργειες ερευνητή-μαθητών και οι δραστηριότητες που αντιστοιχούν σε κάθε διδακτικό δίωρο.

Πίνακας 18. Ενέργειες και δραστηριότητες πρώτης και δεύτερης διδακτικής ώρας

ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗ	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
Περιγράψτε τα κύρια τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στο πείραμα LLR.	Αντιστοίχιση των κύριων τεχνολογικών στοιχείων του πειράματος ως πομπών και δεκτών της δέσμης laser.	Παρακολούθηση αποσπάσματος επεισοδίου της τηλεοπτικής σειράς “The Big Bang Theory”: https://www.dropbox.com/s/bx8g_gmwa70bz5my/TBBT_LLRLR%20Experiment_cut.mp4?dl=0
Ποια είναι η κατεύθυνση του φωτός;	Αναγνώριση της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.	Κατασκευή πειραματικής διάταξης για την ανάδειξη της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.
Αλλάζει η ταχύτητα του φωτός στο διάστημα (κενό);	Αναγνώριση της ταχύτητας του φωτός ως σταθερά.	

Για ποιο λόγο χρησιμοποιούμε laser και όχι λευκό φως στο πείραμα LLR;	Διαπίστωση της έντασης, της κατευθυντικότητας και της μικρότερης διάχυσης του laser έναντι του λευκού φωτός.	Επίδειξη laser και λευκού φωτός (στόχευση σε μη ανακλαστικό δέκτη).
---	--	---

Πίνακας 19. Ενέργειες και δραστηριότητες τρίτης και τέταρτης διδακτικής ώρας

ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗ	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
Πώς ερμηνεύετε την επιστροφή της δέσμης laser από τη Σελήνη στη Γη στο πείραμα LLR;	Εφαρμογή του νόμου της ανάκλασης σε επίπεδα κάτοπτρα.	Χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων: http://www.freezeray.com/flashFiles/Reflection1.htm http://kerala.skool.in/content/toolkits/physics/mirrors/index.html
Ποια είναι η ειδική μορφή του σεληνιακού ανακλαστήρα;	Εφαρμογή του νόμου της ανάκλασης σε κάτοπτρα στο πρότυπο αυτών του σεληνιακού ανακλαστήρα.	Κατασκευή πειραματικής διάταξης για την ανάδειξη της ανάκλασης από το σεληνιακό ανακλαστήρα.
Ανακεφαλαιωτική συζήτηση.	Σύνοψη των φυσικών και τεχνολογικών χαρακτηριστικών που κάνουν το πείραμα LLR εφικτό.	Παρακολούθηση αποσπάσματος επεισοδίου της τηλεοπτικής σειράς “Mythbusters”: https://www.youtube.com/watch?v=VmVxSFnjYCA

H επίδραση της υποθετικο-παραγωγικής μεθοδολογικής προσέγγισης

Όπως έχει ήδη διαφανεί σε ορισμένο βαθμό από τους Πίνακες 2, 3 και 4 που παρατέθηκαν παραπάνω, έχει γίνει προσπάθεια η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση να διαπνέεται από την υποθετικο-παραγωγική μεθοδολογική προσέγγιση. Εξ' αρχής τίθενται δυο «δραστηριότητες-προβλήματα», που οδηγούν σε καθοδηγούμενες δραστηριότητες, δραστηριότητες βασισμένες σε κάποιο έργο ή μη καθοδηγούμενες («ανοικτές») δραστηριότητες. Στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα φύλλα εργασίας που αντιστοιχούν στα δύο δίωρα της διδακτικής παρέμβασης, με μερικές επισημάνσεις προς το διδάσκοντα (με πλάγια γράμματα) όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο.

Ορισμένες από τις δραστηριότητες αφορούν στην επίλυση μη εργαστηριακών προβλημάτων, χωρίς όμως αυτά να προσομοιάζουν στα συνήθη προβλήματα της παραδοσιακής αντίληψης, που στην πλειονότητά τους εξαντλούνται στην παράθεση ορισμών και στη στείρα εφαρμογή τύπων. Αντιθέτως, ο ρόλος τους είναι να βάζουν το μαθητή μπροστά σε κάποιο πρόβλημα του οποίου τη λύση καλείται ο ίδιος να οικοδομήσει, χωρίς να του έχει προαναγγελθεί το αποτέλεσμα. Οι υπόλοιπες δραστηριότητες επιδιώκουν την πειραματική διδασκαλία, η οποία εξυψώνεται στο πλαίσιο της καινοτομικής αντίληψης. Σε αυτές περιλαμβάνονται τόσο πειράματα ελέγχου, όσο και ανακαλυπτικές επιδείξεις. Στο σύνολο των δραστηριοτήτων αξιοποιούνται τόσο ο εργαστηριακός εξοπλισμός, όσο και οπτικοακουστικά μέσα, υπολογιστικές προσομοιώσεις και γραφήματα. Οι διάφορες κατηγοριοποιήσεις των δραστηριοτήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 20. Κατηγοριοποίηση δραστηριοτήτων της διδακτικής παρέμβασης

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΤΥΠΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ
1	1		
1	3	καθοδηγούμενη δραστηριότητα	μη εργαστηριακή
2	3		
1	4	καθοδηγούμενη δραστηριότητα	ανακαλυπτική επίδειξη
2	1	δραστηριότητα	
2	2	βασισμένη σε έργο	πείραμα ελέγχου
2	4	ανοικτή δραστηριότητα	μη εργαστηριακή

Η οργανική ένταξη της πολιτισμικής διάστασης των φυσικών επιστημών στις διάφορες θεματικές ενότητες

Για τη διδακτική μας παρέμβαση, η πολιτισμική συνιστώσα εισάγεται με το πείραμα LLR, το οποίο συνιστά και το καθοδηγούν θέμα, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Από τα φύλλα εργασίας γίνεται προφανές ότι το αρχικό τεχνολογικό πρόβλημα διατρέχει ολόκληρο το πλάνο μαθήματος, δηλαδή δε μπαίνει ανεκδοτολογικά και δε χρησιμοποιείται ευκαιριακά, όπως πιθανά θα γινόταν στην παραδοσιακή εκδοχή της αντίστοιχης διδασκαλίας των ενοτήτων αυτών. Έτσι δένεται οργανικά με την εννοιολογική και μεθοδολογική συνιστώσα που μας ενδιαφέρει. Επιπλέον, το πείραμα LLR λειτουργεί ως στοιχείο προσέγγισης της τεχνολογικής πραγματικότητας από τους μαθητές και μάλιστα με έναν τρόπο που εμπλέκει τις διαστημικές αποστολές, οι οποίες εγείρουν το ενδιαφέρον μικρών και μεγάλων. Τα παραπάνω στοιχεία είναι χαρακτηριστικά για την ένταξη της πολιτισμικής συνιστώσας στην καινοτομική αντίληψη.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι παράγραφοι για την ανάκλαση, τη φύση και τη διάδοση του φωτός της ενότητας της οπτικής, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα της Γ' Γυμνασίου. Όπως αναδείχθηκε από την ανάλυση, οι παράγραφοι αυτοί συμφωνούν με την παραδοσιακή αντίληψη για το αναλυτικό πρόγραμμα των φυσικών επιστημών, η οποία μπορεί να ορθώσει σημαντικά εμπόδια τόσο στη διδασκαλία όσο και στη μάθηση των υπό διαπραγμάτευση εννοιών, καθώς και να δημιουργήσει σημαντικές στρεβλώσεις στο μεθοδολογικό και πολιτισμικό τομέα που τις αφορούν.

Εναλλακτικά στην παραδοσιακή αυτή προσέγγιση, παρουσιάστηκε μια νέα διδακτική πρόταση, η οποία είναι σύμφωνη με την καινοτομική αντίληψη και πιθανά μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να πλησιάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό ορισμένες έννοιες της οπτικής, με οξυμένο ενδιαφέρον και ολόπλευρα αποτελέσματα ως προς την εννοιολογική, μεθοδολογική και πολιτισμική διάσταση της επιστημονικής γνώσης.

Περαιτέρω έρευνες θα πρέπει να αφορούν στην εφαρμογή της καινοτομικής πρότασης και της σύγκρισής της με το παραδοσιακό πρόγραμμα, όπως αυτό συνήθως εφαρμόζεται. Τα αποτελέσματα μπορούν να οδηγήσουν στη βελτίωση πτυχών της προτεινόμενης διδασκαλίας και να ανοίξουν έναν ακόμα δρόμο για περισσότερες διδακτικές προτάσεις στην ίδια κατεύθυνση.

Αναφορές

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπασίμπα, Λ. (2014). *Φυσική Γ' Γυμνασίου*. Αθήνα: Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων "Διόφαντος".
Κολιόπουλος, Δ. (2004). *Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών*. Αθήνα: Μεταίχμιο.

Παράρτημα

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Παρακολούθηση ειδικά διαμορφωμένου αποσπάσματος της δημοφιλούς τηλεοπτικής σειράς "The Big Bang Theory", όπου με χιουμοριστικό τρόπο παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του πειράματος LLR.

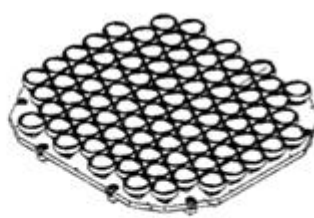
Στο απόσπασμα που παρακολούθησαμε, οι πρωταγωνιστές χρησιμοποιούν προηγμένο εξοπλισμό για την εκτέλεση του πειράματος Lunar Laser Ranging (μέτρηση απόστασης Γης-Σελήνης με λέιζερ). Παρακάτω δίνονται τα τεχνολογικά στοιχεία που αξιοποιούνται στο πείραμα αυτό.



Εικόνα 1: Συσκευή παραγωγής λέιζερ



Εικόνα 2: Φωτοπολλαπλασιαστής



Εικόνα 3: Σεληνιακός ανακλαστήρας



Εικόνα 4: Δέσμες λέιζερ

- 1.1 Ποια από αυτά συνιστούν πομπούς και ποια δέκτες της δέσμης λέιζερ;
1.2 Με ποια σειρά πρέπει να τοποθετηθούν ώστε να πραγματοποιηθεί το πείραμα;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Το λέιζερ είναι μια ειδική περίπτωση ακτινοβολίας, η οποία έχει τα ίδια θεμελιώδη χαρακτηριστικά με το ορατό λευκό φως. Η συσκευή εκπομπής του λέιζερ στο βίντεο δείχνει τη δέσμη να εκπέμπεται ευθύγραμμα.

- 2.1 Συμβαίνει όμως το ίδιο και με το λευκό φως που εκπέμπεται, για παράδειγμα, από ένα μικρό φακό;
2.2 Μπορείς να σκεφτείς ένα πείραμα που μπορούμε να κάνουμε στην τάξη ώστε να το διαπιστώσουμε; *Κατασκευή πειραματικής διάταξης με ευθυγραμμισμένα μη ανακλαστικά CD, από το κέντρο των οποίων περνά, αρχικά, δέσμη φωτός και, κατόπιν, δέσμη λέιζερ, που προσπίπτουν σε στόχο.*
2.3 Τόσο η δέσμη που εκπέμπεται από το λέιζερ όσο και αυτή από το φακό φαίνονται πως διαδίδονται ευθύγραμμα, τουλάχιστον για τη μικρή απόσταση που μπορούμε να τις δούμε με γυμνό μάτι. Πιστεύεις ότι η κατεύθυνση της δέσμης αλλάζει στις μεγάλες αποστάσεις, όπως αυτή της Γης-Σελήνης;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Το 1905 ο Άλμπερτ Αϊνστάιν στη θεωρία του έθεσε αξιωματικά την ταχύτητα του φωτός στο κενό ως μια σταθερά, δηλαδή υποστήριξε ότι έχει μια συγκεκριμένη τιμή εφόσον διαδίδεται στο διάστημα ή σε οποιοδήποτε άλλο χώρο που θεωρείται κενός. Η αντίληψη αυτή υποστηρίχτηκε από προγενέστερα και μεταγενέστερα πειραματικά δεδομένα και μέχρι σήμερα είναι γενικά αποδεκτή από τους επιστήμονες.

Οι αστροφυσικοί υπολογίζουν εδώ και δεκαετίες την απόσταση Γης-Σελήνης με το πείραμα Lunar Laser Ranging, μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται η δέσμη λέιζερ για να φτάσει στο φεγγάρι. Οι παρατηρήσεις τους αποδεικνύουν ότι η απόσταση αυτή δεν είναι σταθερή. Παρακάτω δίνονται κάποια στοιχεία για το έτος 2014:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΓΗΣ-ΣΕΛΗΝΗΣ (km)	ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (s)
16 Ιανουαρίου	406528	1,356
15 Απριλίου	385094	1,285
10 Αυγούστου	356898	1,190

3.1 Στο βίντεο που παρακολουθήσαμε, οι πρωταγωνιστές είναι βέβαιοι ότι το λέιζερ τους πέτυχε τη Σελήνη, επειδή η δέσμη χρειάστηκε 2,5s για να επιστρέψει πίσω στη Γη. Ποια στοιχεία θεωρούν δεδομένα προκειμένου να κάνουν αυτόν τον υπολογισμό;

3.2 Η ταχύτητα του φωτός στο κενό έχει τιμή $c=299.792.458$ m/s, την οποία μπορούμε με μια καλή προσέγγιση να τη θεωρήσουμε ίση με $c=300.000.000$ m/s και το φως διαδίδεται στο κενό ευθύγραμμα και ομαλά. Σε ποια απόσταση από τη Γη βρισκόταν η Σελήνη τη νύχτα που πραγματοποίησαν το πείραμα;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

Εκπομπή δέσμης λευκού φωτός και λέιζερ σε μη ανακλαστικό στόχο, για ανάδειξη της μονοχρωματικότητας, της έντασης, της κατευθυντικότητας και της μικρότερης διάχυσης της δεύτερης σε σχέση με την πρώτη.

4.1 Ποια είναι εκείνα τα χαρακτηριστικά που κάνουν το λέιζερ καταλληλότερο από το λευκό φως για το πείραμα Lunar Laser Ranging;

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Στο βίντεο που παρακολουθήσαμε, η δέσμη λέιζερ εκπέμπεται προς ένα ανακλαστήρα τοποθετημένο στη Σελήνη από τα πληρώματα αστροναυτών που βρέθηκαν εκεί τον περασμένο αιώνα.

1.1 Ποιες ανακλαστικές επιφάνειες μπορείς να σκεφτείς εσύ;

1.2 Με ποιον τρόπο ανακλάται μια δέσμη φωτός σε έναν απλό επίπεδο καθρέφτη;

Χρήση της υπολογιστικής προσομοίωσης 1 για την ανάδειξη του νόμου της ανάκλασης σε επίπεδο κάτοπτρο (γωνία πρόσπτωσης=γωνία ανάκλασης).

1.3 Στην επόμενη υπολογιστική προσομοίωση που θα δούμε, οι δέσμες λέιζερ πρέπει να φτάσουν στο χαρτί-στόχο που κρατάει το αγόρι. Έχουμε στη διάθεσή μας τέσσερις επίπεδους καθρέφτες. Μπορείς να προτείνεις λύσεις;

Χρήση της υπολογιστικής προσομοίωσης 2 για την εφαρμογή του νόμου της ανάκλασης σε πολλαπλά επίπεδα κάτοπτρα.

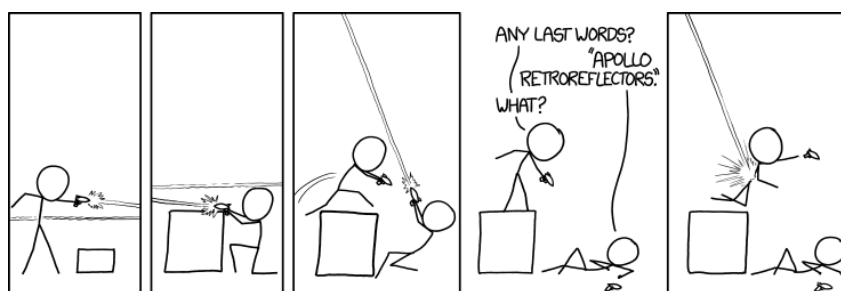
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Οι επιστήμονες που κατασκεύασαν τους σεληνιακούς ανακλαστήρες χρειάστηκε να σκεφτούν τη βέλτιστη διάταξη κατόπτρων, προκειμένου να εξασφαλίσουν την ανάκλαση της δέσμης λέιζερ έτσι ώστε αυτή να επιστρέψει στη Γη.

2.1 Ποια διάταξη μπορείς να προτείνεις εσύ; Σχημάτισε τη δική σου πρόταση, αν διαθέτεις μέχρι 5 μικρά κομμάτια καθρέφτη.

Έλεγχος των υποθέσεων με πραγματικούς μικρούς καθρέφτες, λέιζερ και στόχο.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3



3.1 Τι υποτίθεται ότι συμβαίνει στο παραπάνω σκίτσο;

3.2 Κάτω από ποιες προϋποθέσεις θα ήταν εφικτή μια τέτοια τροπή;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

Παρακολούθηση ειδικά διαμορφωμένου αποσπάσματος της δημοφιλούς τηλεοπτικής σειράς “Mythbusters”, όπου παρουσιάζεται το πείραμα LLR, όπως πραγματικά γίνεται από τα ερευνητικά κέντρα.

Η NASA προβλέπει ότι θα είναι έτοιμη να στείλει επανδρωμένες αποστολές στον Άρη γύρω στο 2035, οι οποίες θα μπορούν να εγκαταστήσουν ανακλαστήρες στην επιφάνεια του πλανήτη.

4.1 Μπορείς να σχεδιάσεις το δικό σου πείραμα “Mars” Laser Ranging;

4.2 Τι θα μπορούσες να υπολογίσεις ή να ανακαλύψεις με αυτό;