

Εκπαιδευτική πρόταση στη Γενική Θεωρία Σχετικότητας

Γεώργιος Κοντόκωστας
gakon67@hotmail.com

Φυσικός, Νέα Εκπαιδευτήρια Μαλιάρα

Περίληψη. Η αέναη τεχνολογική ανέλιξη της κοινωνίας μας καθιστά σημαντική τη διδασκαλία εννοιών της σύγχρονης φυσικής, όπως αυτές που περιλαμβάνονται στο σχολικό βιβλίο της φυσικής προσανατολισμού της Γ' λυκείου (6^ο κεφ). Η παρούσα εργασία είναι μια εκπαιδευτική πρόταση διδασκαλίας για τη Γενική Θεωρία Σχετικότητας, απαλλαγμένη από τα δύσκολα μαθηματικά (τανυστικός λογισμός), που την περιγράφουν έτσι ώστε συγκεκριμένες έννοιες της Θεωρίας να γίνουν προσιτές. Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μεταξύ μαθητριών/των της Β' Λυκείου των θετικών σπουδών κατά τα σχολικά έτη 2012-13 και 2013-14 στο πλαίσιο του μαθήματος της Αστρονομίας του ιδιωτικού σχολείου. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν η επιστημονική/διερευνητική με τη διεξαγωγή συνέντευξης ανά ομάδες (έναυσμα, υπόθεση, πειραματισμός, συμπέρασμα, γενίκευση) και οι διδακτικοί στόχοι που τέθηκαν ήταν: η μαθήτρια/της να χρησιμοποιεί την αρχή ισοδυναμίας και να κατανοεί την επίδραση του βαρυτικού πεδίου στη συχνότητα και τη τροχιά του φωτός. Μετά τη διδακτική παρέμβαση διαπιστώθηκε ότι όλες οι μαθήτριες/τες όχι μόνο κατανόησαν και ήταν ικανές/νοι να ερμηνεύσουν φαινόμενα σχετικά με τη Γενική Θεωρία, αλλά αντιλήφθηκαν τη χρησιμότητα και αγάπησαν τη συνεργατική μάθηση.

Λέξεις- κλειδιά: Σχετικότητα, γεωδειακή, ντόπλερ, μαύρες τρύπες.

Εισαγωγή

Οι προσδοκίες της κοινωνίας για τη νέα γενιά, σε μεγάλο βαθμό, περιγράφονται στο πλαίσιο των Αναλυτικών Προγραμμάτων Σπουδών. Τα σχολεία πρέπει να προετοιμάσουν τους μαθητές ώστε να αντιμετωπίσουν τον αέναα μεταβαλλόμενο κόσμο, στον οποίο μελλοντικά θα ενταχθούν ως ενήλικες. Ποιος όμως μπορεί να προβλέψει την εικόνα του μελλοντικού μας κόσμου και τι θα ζητήσει το μέλλον από τα παιδιά μας (Bruner, 1996). Η διδασκαλία της σύγχρονης επιστήμης αποτελεί απαραίτητο συστατικό της εκπαίδευσης των μελλοντικών πολιτών. Συμβάλει στο να διαμορφώσει υπεύθυνους, ενημέρους και ενεργούς πολίτες σε έναν κόσμο που τα ζητήματα που σχετίζονται με τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία θα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας.

Η διδασκαλία των φυσικών επιστήμων είναι χρήσιμη και έχει διττό χαρακτήρα, παιδευτικό και εκπαιδευτικό: Παιδευτικό, γιατί στοχεύει στη διεύρυνση του ορθολογικού τρόπου σκέψης και της κριτικής ικανότητας των μαθητριών/των, ευαισθητοποιεί σε ζητήματα ατομικού και κοινωνικού ενδιαφέροντος και αναπτύσσει δεξιότητες δράσεων και λύσεων. Δηλαδή στη δημιουργία απροκατάληπτων και συνεργατικών μελλοντικών πολιτών της κοινωνίας μας. (Καλκάνης, 2007; 2011). Εκπαιδευτικό γιατί αναπτύσσει το γνωσιακό επίπεδο, επιτυγχάνει την επιμόρφωση των μαθητριών/των και ενισχύει δεξιότητες για την αξιοποίηση ή αντιμετώπιση φυσικών-χημικών-βιολογικών-τεχνολογικών φαινομένων από ενημέρους πολίτες στην καθημερινή τους ζωή. Συγκεκριμένα η διδασκαλία της Γενικής Θεωρίας της σχετικότητας είναι ενδιαφέρουσα και καλύπτει την ανθρώπινη ανάγκη για

εξερεύνηση των μυστικών του διαστήματος. Επίσης η γνώση της διευκολύνει την μαθήτριά/τη να κατανοήσει σύγχρονα ερωτήματα που σχετίζονται όχι μόνο με σημαντικές καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες, αλλά και με την κατάκτηση του διαστήματος.

Η κοινωνική απαίτηση για μόρφωση του κριτικού και αυτόνομου πολίτη επέβαλαν θεωρητικά τις διερευνητικές στρατηγικές ως διδακτική αναγκαιότητα, (Ματσαγγούρας, 1996, σελ. 400). Ο Dewey, όρισε την αυθεντική μάθηση ως διαδικασία ενεργητικής διερεύνησης προβληματικών καταστάσεων (πρόδρομος η μαιευτική μέθοδος του Σωκράτη) και οργάνωσε ανάλογα στην πράξη σχολικά προγράμματα, (Ματσαγγούρας, 1994, σελ. 398). Στις στρατηγικές αυτές δίνεται έμφαση στην ενεργητική φύση της μάθησης με τη δημιουργία προβληματισμού και γνωστικού αδιεξόδου (discomfort), (Ματσαγγούρας, 1994, σ. 400).

Είναι σαφής η αντιστοίχιση της κατευθυνόμενης διερευνητικής στρατηγικής με την καταξιωμένη μεθοδολογία της επιστημονικής έρευνας των φυσικών επιστημών. Η ελεύθερη αλληλοεπικοινωνία μαθήτριά/τη με τους υπόλοιπους παράγοντες της διδασκαλίας οδηγεί τη μαθήτριά/τη στην ανακάλυψη του καινούριου και στη λύση των αρχικών προβλημάτων που εντοπίστηκαν. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική και ολοκληρώνεται σε προκαθορισμένο αριθμό διδακτικών ωρών, εξοικονομώντας χρόνο, καθώς τα συμπεράσματα και οι γενικεύσεις έχουν προκαθορισθεί από τον εκπαιδευτικό, σε αντίθεση με την στρατηγική ελεύθερης διερεύνησης που μπορεί να έχει διάρκεια μέχρι μερικούς μήνες (projects).

Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας έχει σκοπό: Να καταστήσει τις μαθήτρίες/τες ικανές/ους να αντιμετωπίζουν αυτόνομα, αλλά και συνεργατικά τις προβληματικές καταστάσεις και να επιτυγχάνουν τους στόχους που επιδιώκουν. Να αναπτύξουν στρατηγικές διερεύνησης και επίλυσης προβλημάτων με την επιστημονική μέθοδο, δηλαδή ο τρόπος διδασκαλίας δεν είναι μόνο μέθοδος, αλλά και σκοπός .

Είναι ευνόητο ότι από την επάρκεια και την καταλληλότητα του υλικού θα επηρεασθεί η επιτυχία της διδακτικής παρέμβασης. Πηγή πληροφόρησης είναι ο εκπαιδευτικός στον οποίο υποβάλλονται ερωτήσεις πληροφόρησης και όχι γνώμης (διδακτικό μοντέλο Suchman, όπως περιγράφεται από τους Joyce και Weil 1986, σελ.155) και ο εκπαιδευτικός απαντά με ένα ναι ή όχι, μέχρι να επιλύσουν το πρόβλημα που τους απασχολεί μόνοι τους.

Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας της Φυσικής (Physics by inquiry) βασίζεται στην μεθοδολογία της επιστημονικής έρευνας όπου σταδιακά η μαθήτριά/της εξοικειώνεται με την φυσική και τις φυσικές επιστήμες, (McDelmot, 1996)

Μελετώντας απλά νοητικά παραδείγματα οι μαθήτρίες/τες αποκτούν άμεσα την εμπειρία της επιστημονικής μεθόδου. Τα νοητικά πειράματα είναι πειράματα, που σχετίζονται με φανταστικά σενάρια. Σενάρια που αναφέρονται σε καταστάσεις, που είναι πέρα από την καθημερινή εμπειρία και έχουν ως στόχο την επικύρωση ή την απόρριψη μιας υπόθεσης ή μιας θεωρίας. Τα νοητικά πειράματα έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της φυσικής, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των επιστημονικών επαναστάσεων του 17ου και του 20ου αιώνα (Kuhn,1977) Η χρήση τους στη σχολική τάξη απαιτεί από τους μαθητές να χρησιμοποιούν τη φαντασία τους, να αναπτύξουν την κριτική τους σκέψη, να κάνουν υποθέσεις, να βγάζουν συμπεράσματα και να ανταλλάσσουν τις απόψεις τους με τους συμμαθητές τους. Επιπλέον τα εποικοδομητικά (constructive) νοητικά πειράματα (όπως τα ταξινομεί ο Brown,1991 ανάλογα με τη χρήση τους), μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές

να προσεγγίσουν τις φυσικές επιστήμες μέσω της ιστορίας τους και να τους εξοικειώσουν με πρακτικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες. (Gilbert & Reiner, 2000).

Ξεκινώντας με την υπόθεση και την παρατήρηση η μαθήτρια/της αναπτύσσει και κατανοεί βασικές φυσικές έννοιες, πραγματοποιώντας πειράματα και διατυπώνοντας συμπεράσματα χρησιμοποιεί επιστημονικούς τρόπους αναπαράστασης της πραγματικότητας και γενικεύοντας κατασκευάζει επεξηγηματικά μοντέλα με την δυνατότητα πρόβλεψης, (McDermot, 1996). Η εκπαιδευτική πρόταση έχει σχεδιαστεί ώστε να αναπτύξει η μαθήτρια/της τον επιστημονικό τρόπο δικαιολόγησης και παρέχει την πρακτική μέθοδο συσχέτισης των φυσικών εννοιών, των αναπαραστάσεων και των μοντέλων με φυσική πραγματικότητα. Με την επιστημονική μέθοδο η μαθήτρια/της δεν προσεγγίζει την γνώση παθητικά. Η μεθοδολογία δεν παρουσιάζει την κάθε πληροφορία και εξήγηση με ένα απλό και βολικό κείμενο. Η όλη διαδικασία αναπτύσσει την κριτική σκέψη της μαθήτριας/τη βοηθώντας τον να γεφυρώσει έννοιες που αρχικά φαίνονται ασύνδετες. Δεν στηρίζεται στο απλό διάβασμα, στην απλή παρακολούθηση και στην επίλυση προβλημάτων, αλλά η αποτελεσματική μάθηση μέσω της διαδραστικής νοητικής διεργασίας της επιστημονικής μεθόδου (Mc Dermot, 1996).

Η αποκτηθείσα γνώση είναι πιο χρήσιμη όταν ανακαλυφθεί μέσα από τις γνωστικές δυνατότητες του και συνδεθεί με προηγούμενη εμπειρία του. Η διαδικασία αυτή γοητεύει καθώς η ίδια η γνώση έχει ενδιαφέρουσα δομή, (Bruner,1996) Όσο περίπλοκη και εξειδικευμένη και αν είναι μπορεί να παρουσιαστεί με κατάλληλο τρόπο, ώστε να είναι προσβάσιμη μέσω μιας λιγότερο περίπλοκης διαδικασίας. Οποιαδήποτε έννοια μπορεί να διδαχτεί σε κάθε παιδί, σε οποιαδήποτε ηλικία με τίμιο τρόπο 'honest form' (Bruner, 1996).

Η Μεθοδολογία, τα Βήματα, η Εφαρμογή

Η επιστημονική μέθοδος διδασκαλίας που επιλέχθηκε σε αυτή την εργασία είναι μια κατευθυνόμενη διερευνητική στρατηγική που αναβαθμίζει την ενδοτριγωνική σχέση μεταξύ μαθητή-δασκάλου-διδασκτικό αντικείμενο. Ο δάσκαλος, σταδιακά ως καθοδηγητής, με αμοιβαία συνεργασία εμβαθύνει στην γνώση που θέλει να διδάξει, αφήνοντας τη μαθήτρια/τή να την ανακαλύψει, μια πρακτική που ξεκίνησε το 1950-60, και είναι μια εκδοχή πολιτιστικής εκπαίδευσης (Ματσαγγούρας,1994)

Η συχνή χρήση της διερευνητικής στρατηγικής αναπτύσσει τις γνωστικές δεξιότητες, αναπτύσσει την ερευνητική στάση του ατόμου, καθώς και την ικανότητα του να λειτουργήσει μέσα σε συνθήκες αβεβαιότητας και σύγκρουσης και να αποδέχεται τη διαφοροποίηση στη σκέψη και την πράξη. Ο ρόλος του μαθητή είναι να πειραματίζεται και να διακινδυνεύει λύσεις και προτάσεις τις οποίες καλείται να επαληθεύσει και να συστηματοποιήσει, με μικρό βαθμό καθοδήγησης.

Η εκπαιδευτική ενεργητική διαδικασία έχει διερευνητικό και ανακαλυπτικό χαρακτήρα. Είναι μια αλληλεπιδραστική εκπαιδευτική δραστηριότητα πέντε βημάτων, όπου επιβεβαιώνονται ή απορρίπτονται υποθέσεις, που διατυπώνονται από τους εκπαιδευομένους.

Πρώτο βήμα: Έναυσμα ενδιαφέροντος. Παρουσιάζεται πληροφορία που αντλείται από το φυσικό περιβάλλον ή την επικαιρότητα με σκοπό την αφόρμηση μιας συγκεκριμένης διδασκαλίας.

Δεύτερο Βήμα: Διατύπωση υποθέσεων. Αρχικά διατυπώνονται οι προβληματισμοί των μαθητριών/των μέσα από συζήτηση και σταδιακά εκμαιεύονται οι αρχές και η θεωρία.

Τρίτο Βήμα: Πειραματισμός. Μέσα από έρευνα και πειραματισμό πραγματοποιούνται υπολογισμοί και ποσοτικοί συσχετισμοί και αξιολογούνται αποτελέσματα.

Τέταρτο Βήμα: Διατύπωση θεωρίας και συμπέρασμα. Συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα, διατυπώνονται συμπεράσματα και θεωρίες.

Πέμπτο Βήμα: Γενίκευση συμπερασμάτων. Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας, γίνεται προσπάθεια εφαρμογής των συμπερασμάτων και σε άλλες παρόμοιες διαδικασίες και φαινόμενα του φυσικού μας κόσμου. (Καλκάνης, 2007; 2010)

Η συνολική διαδικασία πραγματοποιείται με τη μορφή ημιδομημένων συνεντεύξεων 3-4 ατόμων διάρκειας 2 διδακτικών ωρών για κάθε διδακτικό στόχο. Στη διάρκεια της συνέντευξης οι μαθήτριες/τες αναπτύσσουν ελεύθερα τις απόψεις τους σε προκαθορισμένες ερωτήσεις από τον διδάσκοντα. Η ημιδομημένη συνέντευξη έχει σημαντικό βαθμό ευελιξίας και αποτελεί ένα έγκυρο και αξιόπιστο ερευνητικό εργαλείο για τη συλλογή δεδομένων. (Ματσαγγούρας, 1999)

Το περιεχόμενο της διδακτικής πρότασης που παρουσιάζεται αφορά στη γενική θεωρία σχετικότητας, η οποία εξηγεί την καθυστέρηση σημάτων που κινούνται μέσα σε βαρυτικά πεδία, και μπορεί να δώσει ικανοποιητικές ερμηνείες σε αστρικά φαινόμενα, όπως τη μετάπτωση περιηλίου του Ερμή, τη μελέτη των μαύρων οπών, των αστέρων νετρονίων και των βαρυτικών φακών. Επίσης η θεωρία της γενικής σχετικότητας λαμβάνεται υπόψη και στην καθημερινή ζωή στο δορυφορικό σύστημα παγκόσμιας ναυσιπλοΐας και αεροπλοΐας, καθώς υπολογίζεται με ακρίβεια η μετατόπιση προς το ερυθρό των χρησιμοποιούμενων ρολογιών.

Η Γενική Θεωρία Σχετικότητας περιέχεται ως τμήμα του βου Κεφαλαίου της Φυσικής της Γ Λυκείου των θετικών σπουδών. Δεν αποκλείεται μάλιστα στο μέλλον να συμπεριληφθεί και στην εξεταστέα υλη από το Υπουργείο, όπως φέτος προστέθηκε η μηχανική ρευστών. Επίσης θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης κατά στην διεξαγωγή project με σχετική θεματική στις τάξεις της Α και Β λυκείου. Η συγκεκριμένη διδασκαλία της γενικής θεωρίας είναι απαλλαγμένη από τα δυσνόητα μαθηματικά και ολοκληρώθηκε επιτυχώς σε μαθήτριες/τες της Β λυκείου, που όχι μόνο είχαν το γνωστικά επίπεδο, αλλά ταυτόχρονα ήταν απαλλαγμένες από το άγχος των εξετάσεων της τελευταίας τάξης.

Οι διδακτικοί στόχοι που τέθηκαν είναι η μαθήτρια/της να χρησιμοποιεί την αρχή ισοδυναμίας και να περιγραφεί την επίδραση της βαρύτητας στη συχνότητα και τη τροχιά του φωτός. Η διαδικασία καθορισμού των εκπαιδευτικών αυτών στόχων πραγματοποιήθηκε μετά τον προέλεγχο που θα περιγραφεί διεξοδικά παρακάτω.

Αρχικά έγινε μια πιλοτική εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης σε μια ομάδα λίγων μαθητών, προκειμένου να διαπιστωθεί η λειτουργικότητά της και να πάρει την τελική του μορφή το ερωτηματολόγιο που θα χρησιμοποιούσαμε.

Στη συνέχεια διευρύναμε τη μικρή ομάδα μαθητών και με άλλους ώστε να σχηματισθεί μια πειραματική ομάδα από είκοσι μαθητές της Β λυκείου τα σχολικά έτη 2012-13 και 2013-14. Οργανώσαμε και πραγματοποιήσαμε δύο συνεδρίες, διάρκειας 45 περίπου λεπτών, για κάθε εκπαιδευτικό στόχο ακολουθώντας τα προσφερόμενα βήματα της επιστημονικής / εκπαιδευτικής μεθόδου με διερεύνηση:

Στην αρχή, παρωθούσαμε το ενδιαφέρον των μαθητριών/των (ακολουθώντας το πρώτο μεθοδολογικό βήμα) με την προβολή εικονοσκοπημένων πληροφοριών από το διαδίκτυο.

1ο Βήμα –Έναυσμα ενδιαφέροντος - Πληροφορούμαι



Εικόνα 1. Μαύρη τρύπα



Εικόνα 2. Μαύρη τρύπα



Εικόνα 3. Διαστημόπλοιο



Εικόνα 4. Δημιουργία συνθηκών βαρύτητας

Οι μαθήτριες/τες με αφορμή παρόμοιων ερεθισμάτων, όπως τις εικόνες 1 και 2, σχολίασαν την εικόνα του διαστήματος κοντά σε μια μαύρη τρύπα και με τις εικόνες 3 και 4, συζήτησαν τη δυνατότητα μελλοντικών ταξιδιών στο διάστημα. Οι εικόνες εμπεριέχονται στην κινηματογραφική ταινία *Interstellar* και στο αντίστοιχο βιβλίο (Thorne, 2014), που επιδιώκει να εξηγήσει με επιστημονικό τρόπο τις διάφορες πτυχές της ταινίας.

2ο Βήμα – Διατύπωση Υποθέσεων- Συζητώ- Προβληματίζομαι- Υποθέτω

Κατόπιν συζητήσαμε τις απαραίτητες γνώσεις με τον τρόπο που παρουσιάζονται από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα διεθνώς βιβλία αναφοράς (Serway, 1990) και (Young & Freedman, 2007) ώστε να διατυπώσουν υποθέσεις (ακολουθώντας το δεύτερο μεθοδολογικό βήμα). Τότε, ζητούσαμε από τους μαθητές τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου (pre-test). Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε 40 μαθήτριες/τες, της Β λυκείου που είχαν επιλέξει το μάθημα της αστρονομίας τα σχολικά έτη 2012-13 και 2013-14.

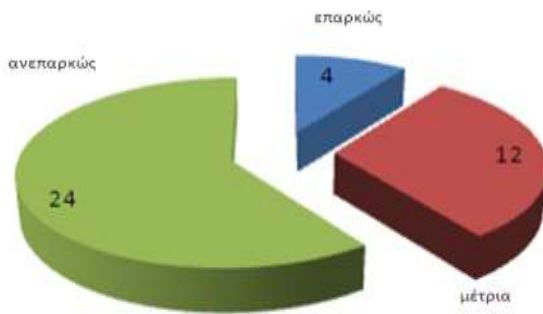
Από τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο (pre-test) προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.

Αρχή ισοδυναμίας



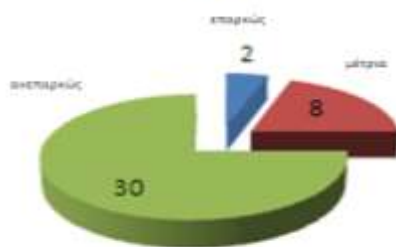
Εικόνα 5. Αποτελέσματα προελέγχου στην Αρχή Ισοδυναμίας

γεωδειακή τροχιά



Εικόνα 6. Αποτελέσματα προελέγχου στην επίδραση της βαρύτητας στην πορεία μιας ακτίνας.

Ντόπλερ



Εικόνα 7. Αποτελέσματα προελέγχου στην επίδραση της βαρύτητας στην συχνότητα μιας ακτίνας.

Τα χρώματα μπλε – κόκκινο – πράσινο αντιστοιχούν σε όσους απάντησαν επαρκώς – μέτρια-ανεπαρκώς στο pre-test.

Συγκεκριμένα κατά τον προέλεγχο, διαπιστώθηκε ότι μόνο 5 μαθήτριες/τες συνέδεαν ότι η επιτάχυνση, που δεχόταν κάποιο σώμα, ισοδυναμούσε με την ύπαρξη κάποιου αντίστοιχου βαρυτικού πεδίου (Εικόνα 5). Στην Εικόνα 6 διαπιστώνουμε ότι 4 μαθήτριες/τες απάντησαν ότι ένα βαρυτικό πεδίο επιδρά στην τροχιά της ακτίνας του φωτός (Εικόνα 6) και μόνο 2 μαθήτριες/τες ότι το βαρυτικό πεδίο επιδρά στη συχνότητα μιας φωτεινής ακτίνας (Εικόνα 7).

Οι διερευνητικές προσεγγίσεις αρχίζουν με τον εντοπισμό προβληματικών καταστάσεων, που δημιουργούν αμφιβολία στη μαθήτρια/τη με τη διεξαγωγή ενός αρχικού τεστ προελέγχου. Στην περίπτωση μας, οι έννοιες που προβληματίζουν είναι:

- Τι σημαίνει συνθήκες έλλειψης βαρύτητας και φαινόμενο βάρος;
- Τι μετρά η ζυγαριά μέσα σε κινούμενο ασανσέρ;
- Ποια η αρχή της ισοδυναμίας;
- Ποια η τροχιά του φωτός μακριά και κοντά σε μαύρες τρύπες;
- Ποια η γεωδειακή τροχιά του φωτός;
- Η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή στο κενό, ανεξάρτητα από τον παρατηρητή;
- Το φωτόνιο έχει μάζα;
- Το φωτόνιο έχει ενέργεια;

- Πως εξηγείται η μετατόπιση της συχνότητας ενός φωτονίου προς το ερυθρό ή το μπλε;

Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιήθηκε μια μορφή δημοσκόπησης, όπου ολοκληρώθηκε με την κατάστρωση ενός σχεδίου δράσης κατά το οποίο καθορίστηκαν ποιες διαδικασίες θα γίνουν και με ποια σειρά με τη διδακτική παρέμβαση. Φυσικά η προτεινόμενη στρατηγική έχει ενδεικτικό χαρακτήρα και προσαρμόζεται ανάλογα με τη φυσική εξέλιξη της επικοινωνίας.

Κατόπιν καθορίστηκαν οι διδακτικοί στόχοι περιεχομένου και διαδικασίας και η εύρεση του τρόπου προβληματισμού. Πράγματι οι διδακτικοί στόχοι που τέθηκαν είναι:

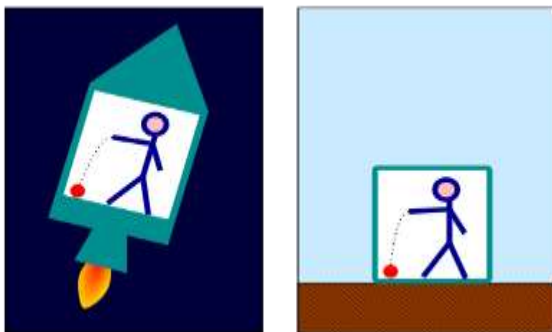
- Να διατυπώνει, να αναγνωρίζει και να χρησιμοποιεί την αρχή ισοδυναμίας.(ερμηνεία φαινομένων που εξελίσσονται κοντά σε ισχυρά βαρυτικά πεδία και επιταχυνόμενα συστήματα αναφοράς.)
- Να σχεδιάζει, να περιγράφει και να κατανοεί τη χρησιμότητα της έννοιας της γεωδειακής τροχιάς του φωτός.

Θεωρία

Αρχή της ισοδυναμίας

Τα βαρυτικά ή αδρανειακά φαινόμενα δεν μπορούν να διακριθούν. Αν κάποιος παρατηρητής βρίσκεται μέσα σε διαστημόπλοιο, που κινείται με σταθερή ταχύτητα μακριά από κάθε πλανήτη, είναι ισοδύναμο με κάποιον παρατηρητή, που πέφτει ελεύθερα σε ένα ομογενές βαρυτικό πεδίο. Αν κινείται ομαλά επιταχυνόμενα μακριά από πλανήτες είναι ισοδύναμο με το να ισορροπεί μέσα σε ομογενές βαρυτικό πεδίο.

Όποιο πείραμα και αν εκτελέσει δεν μπορεί ο παρατηρητής να διακρίνει σε ποια περίπτωση ανήκει. (Εικόνα 8)



Εικόνα 8. Ελεύθερη πτώση

Γεωδειακή τροχιά

Το φως όταν διαδίδεται καμπυλώνει κοντά σε μεγάλης μάζας πλανήτες. Το φως όταν διαδίδεται καμπυλώνει κοντά σε μεγάλης μάζας πλανήτες

Φαινόμενο Doppler

Ο χρόνος χτυπά πιο γρήγορα μέσα σε ισχυρά βαρυτικά πεδία.

3ο Βήμα- Ερευνώ- Ενεργώ- Πειραματίζομαι

Στη συνέχεια (ακολουθώντας το τρίτο μεθοδολογικό βήμα), πραγματοποιούσαμε διδακτική παρέμβαση, ζητώντας από τις μαθήτριες/τες να μελετήσουν και να αναγνωρίσουν νοητικά πειράματα, για να ελέγξουμε την κατανόησή τους από τις μαθήτριες/τες.

Κατά τη διδακτική παρέμβαση συζητήθηκαν:

1. Η αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων.
2. Η κίνηση μιας βάρκας στα ορμητικά νερά ενός ποταμού.
3. Η σωματιδιακή φύση του φωτός.
4. Η τιμή της ταχύτητας του φωτός, που είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα του παρατηρητή.

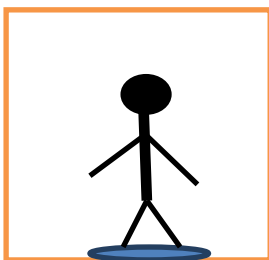
Κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης οι φοιτήτριες/τες αποσαφήνισαν την :

1. αρχή ισοδυναμίας
2. την γεωδειακή τροχιά του φωτός
3. την επίδραση ενός βαρυτικού πεδίου στην συχνότητα και την πορεία μιας ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα κατά τον προέλεγχο, διαπιστώθηκε ότι κανείς δεν συνέδεε ότι η επιτάχυνση που ένιωθε κάποιο σώμα, ισοδυναμούσε με την ύπαρξη κάποιου αντίστοιχου βαρυτικού πεδίου και ότι ένα βαρυτικό πεδίο επιδρά στην τροχιά μιας φωτεινής ακτίνας. Μετά τη διδασκαλία τα προηγούμενα κατανοήθηκαν σχεδόν από όλους.

Διδακτική παρέμβαση στην Αρχή ισοδυναμίας

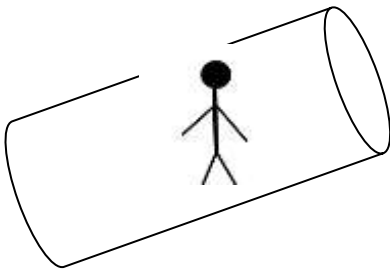
Κατά τη διδακτική παρέμβαση η μαθήτρια/της καλείται να διαχειριστεί αρχικά την επίδραση της επιτάχυνσης στην ένδειξη μιας ζυγαριάς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9, Ο παρατηρητής διαβάζει τις ενδείξεις της ζυγαριάς μέσα σε ασανσέρ.

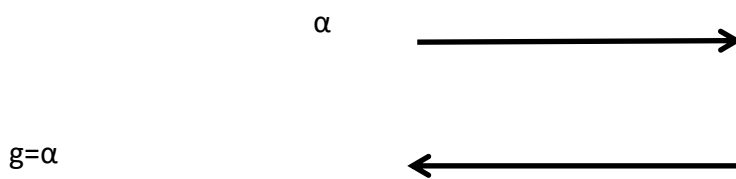
Ο άνθρωπος βρίσκεται μέσα σε ασανσέρ και παρατηρεί τη μεταβολή στις ενδείξεις της ζυγαριάς, όταν ανεβοκατεβαίνει με σταθερή ταχύτητα ή επιταχυνόμενα ή επιβραδυνόμενα.

Κατόπιν μελετήσαμε τι παρατηρεί ο άνθρωπος αν βρεθεί μέσα σε διαστημικό πύραυλο, που εκτελεί μεταβαλλόμενη κίνηση στο διάστημα.



Εικόνα 10. Ο παρατηρητής ταξιδεύει στο διάστημα.

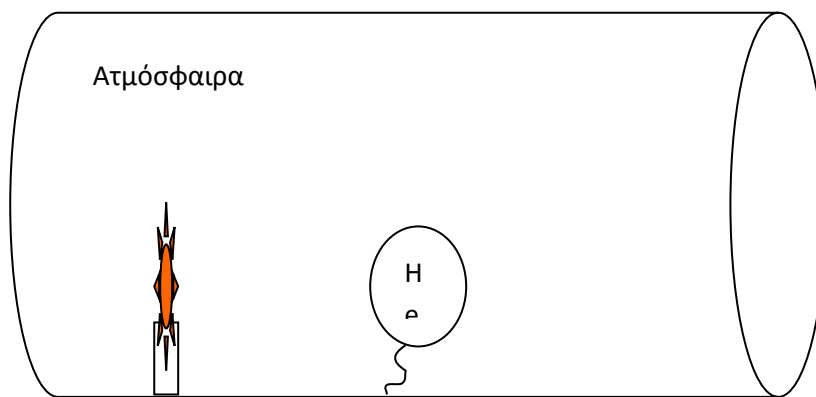
Διαπιστώσαμε ότι η μαθήτρια/της κατανοεί καλύτερα την αρχή ισοδυναμίας, αν θεωρήσει ότι η κίνηση με επιτάχυνση προς μία κατεύθυνση ισοδυναμεί με την επίδραση ενός βαρυτικού πεδίου με ένταση προς την αντίθετη κατεύθυνση (λόγω αδράνειας, Εικόνα 11).



Εικόνα 11. Αδράνεια.

Τότε, ζητούσαμε από τις μαθήτριες/τες να συμπληρώσουν ξανά το ερωτηματολόγιο (post-test).

Ερώτηση1

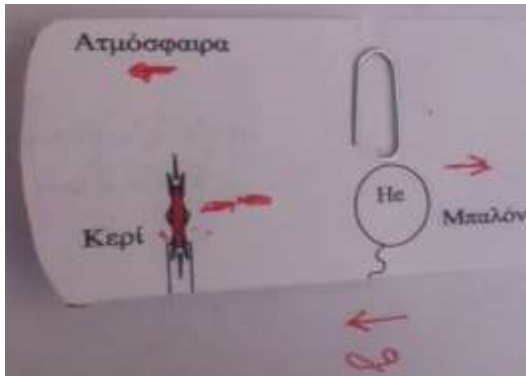


Εικόνα 12. Διαστημόπλοιο επιταχύνεται προς τα δεξιά.

Ένα διαστημόπλοιο κινείται με σταθερή ταχύτητα μακριά από πλανήτες. Μέσα στο διαστημόπλοιο υπάρχει ατμόσφαιρα, ένα μπαλόνι με ήλιο και ένα αναμμένο κερί (Εικόνα 12). Ξαφνικά το διαστημόπλοιο επιταχύνεται με σταθερό ρυθμό προς τα δεξιά. Σχολιάστε τι θα συμβεί στο μπαλόνι και στο κερί.

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες θεώρησαν ότι τα αποτελέσματα θα ήταν ισοδύναμα με το διαστημόπλοιο σαν να βρίσκεται κοντά σε πλανήτη με βαρυτικό πεδίο g , που έχει φορά προς τα αριστερά.

Διαπιστώσανε ότι η ατμόσφαιρα λόγω βαρύτητας 'μαζεύεται' προς τα αριστερά και λόγω διαφοράς στην πυκνότητα το μπαλόνι και η φλόγα του κεριού κατευθύνονται προς τα δεξιά (Εικόνα 13)



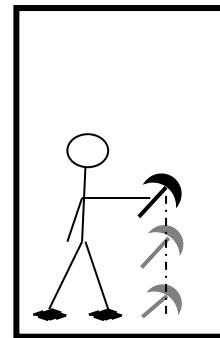
Εικόνα 13. Η ατμόσφαιρα μαζεύεται προς τα αριστερά.

Ερώτηση2

Αστροναύτης βρίσκεται μέσα σε διαστημικό θάλαμο και εκτελεί το εξής πείραμα:
Αφήνει ένα αντικείμενο και αυτό κατευθύνεται προς τα πόδια του.

Ποιο από τα παρακάτω εκτιμά ο αστροναύτης ότι μπορεί να συμβαίνει;

- A) Ο διαστημικός θάλαμος βρίσκεται κοντά σε βαρυτικό πεδίο κάποιου πλανήτη.
- B) Ο διαστημικός θάλαμος επιταχύνεται.
- Γ) Ο διαστημικός θάλαμος είτε βρίσκεται κοντά σε βαρυτικό πεδίο κάποιου πλανήτη είτε επιταχύνεται, χωρίς να μπορεί να το διακρίνει.

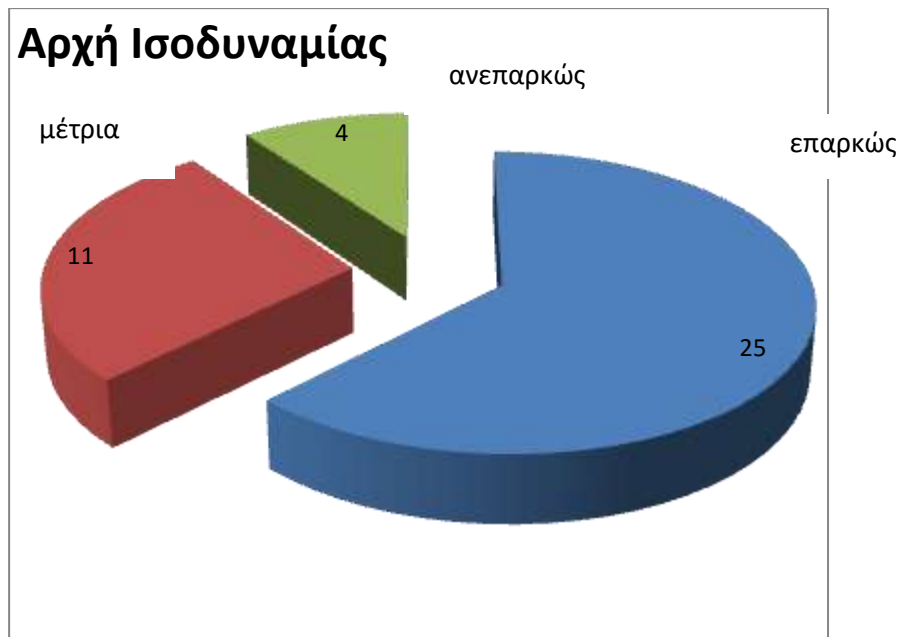


Εικόνα 14. Ο αστροναύτης αφήνει ένα σφυρί.

Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Ο αστροναύτης επαναλαμβάνει το πείραμα. Εκτιμάται πάλι ότι καταλήγει στο ίδιο συμπέρασμα;

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες επέλεξαν ορθά την Γ απάντηση και σχολίασαν ότι δεν είναι δυνατόν να διακρίνει ο αστροναύτης τις δύο περιπτώσεις, γιατί είναι ισοδύναμες. Μάλιστα σχολίασαν ότι αν ο θάλαμος κινιόταν με σταθερή ταχύτητα κοντά σε βαρυτικό πεδίο και ο αστροναύτης επαναλάμβανε το πείραμα, τότε θα διαπίστωνε διαφορετικό αποτέλεσμα, καθώς η επιτάχυνση βαρύτητας εξαρτάται από την απόσταση του θαλάμου από την επιφάνεια του πλανήτη.



Εικόνα15. Αποτελέσματα μετά-ελέγχου στην αρχή ισοδυναμίας.

Στην εικόνα 15 απεικονίζονται τα αποτελέσματα του μετά-ελέγχου (post-test) όπου τα χρώματα μπλε – κόκκινο – πράσινο αντιστοιχούν σε όσους απάντησαν επαρκώς – μέτρια-ανεπαρκώς.

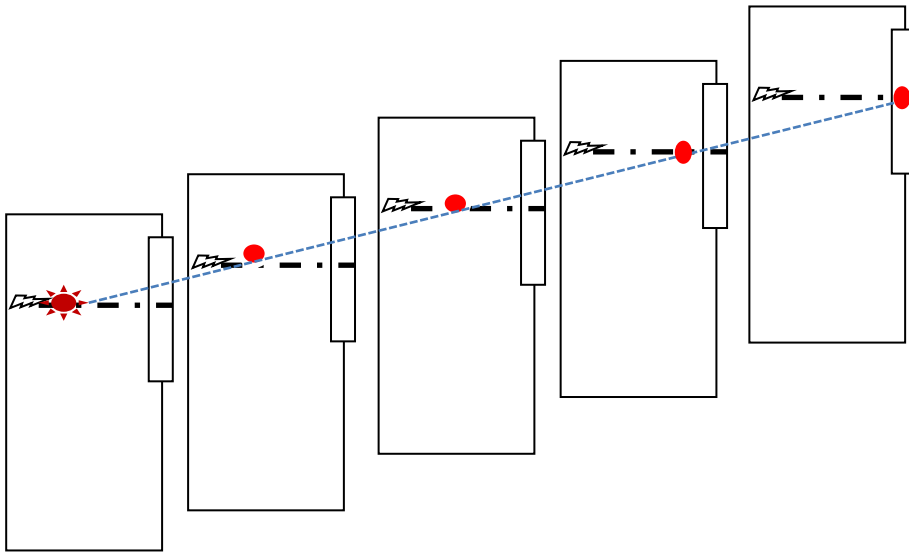
Διδακτική παρέμβαση στην επίδραση του βαρυτικού πεδίου στην τροχιά της φωτεινής ακτίνας.

Διαστημόπλοιο ανεβαίνει με σταθερή ταχύτητα . Μια φωτεινή ακτίνα εκπέμπεται από την αριστερή πλευρά και ταξιδεύει στη δεξιά πλευρά του διαστημοπλοίου. Αν εστιάσουμε την μελέτη μας στην πορεία ενός φωτονίου.

Ερώτηση 3

Ποια η πορεία της φωτεινής ακτίνας, όπως θα την έβλεπε ένας εξωτερικός παρατηρητής;

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες σχεδίασαν την παρακάτω ευθύγραμμη πορεία του φωτονίου (μπλε).

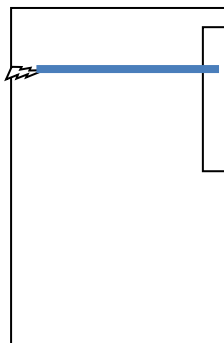


Εικόνα 16. Το διαστημόπλοιο κινείται με σταθερή ταχύτητα

Ερώτηση 5

Ποια πορεία, ακολουθεί η φωτεινή ακτίνα, όπως θα την έβλεπε ένας παρατηρητής μέσα στο διαστημόπλοιο;

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες σχεδίασαν την παρακάτω πορεία του φωτονίου. (Μπλε γραμμή)



Εικόνα 17. Ο εσωτερικός παρατηρητής βλέπει την ευθύγραμμη διάδοση της ακτίνας.

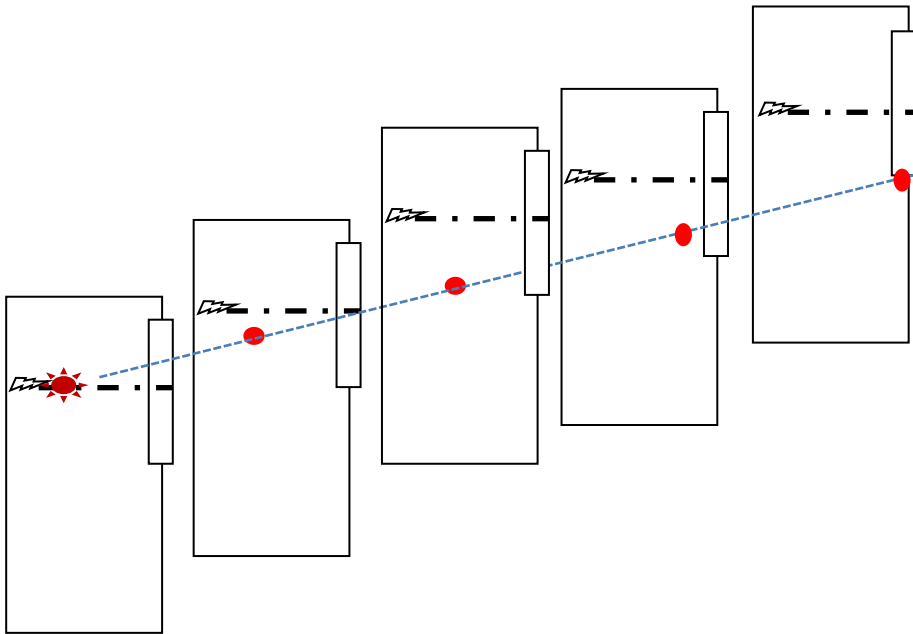
Οι μαθήτριες/τες συμπέραναν ότι ο εσωτερικός παρατηρητής, δεν αντιλαμβάνεται την ευθύγραμμη με σταθερή ταχύτητα κίνηση του διαστημοπλοίου. Και βλέπει το φως να ακολουθεί ευθεία γραμμή.

Ερώτηση 6

Το διαστημόπλοιο ανεβαίνει τώρα με σταθερή επιτάχυνση. Μια φωτεινή ακτίνα εκπέμπεται από την αριστερή πλευρά και ταξιδεύει στη δεξιά πλευρά του διαστημοπλοίου. Αν

εστιάσουμε την μελέτη μας σε ένα φωτόνιο. Ποια η πορεία της φωτεινής ακτίνας, όπως θα την έβλεπε ένας εξωτερικός παρατηρητής;

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες σχεδίασαν την παρακάτω ευθύγραμμη πορεία του φωτονίου (μπλε). Η κίνηση του φωτονίου εξελίσσεται ανεξάρτητα από την επιταχυνόμενη άνοδο του διαστημόπλοιου.

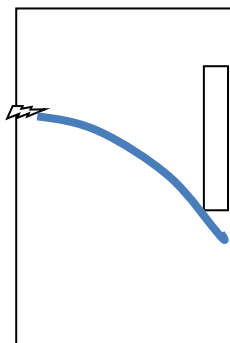


Εικόνα 18. Το διαστημόπλοιο επιταχύνεται.

Ερώτηση 7

Ποια η πορεία, ακολουθεί η φωτεινή ακτίνα, όπως θα την έβλεπε ένας παρατηρητής μέσα στο διαστημόπλοιο;

Οι περισσότερες μαθήτριες/τες σχεδίασαν την παρακάτω πορεία του φωτονίου. (Μπλε γραμμή)



Εικόνα 19. Ο εσωτερικός παρατηρητής διαπιστώνει την καμπύλη τροχιά της ακτίνας.

Κατόπιν ζητήσαμε από τις μαθήτριες/τες να συμπληρώσουν ξανά το ερωτηματολόγιο (post-test).

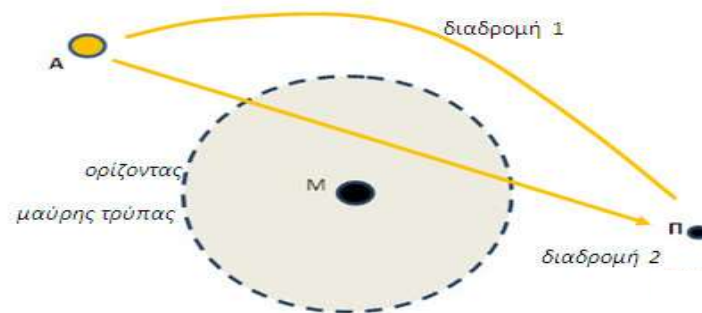
Ερώτηση 8

A) Στην εικόνα 20, φαίνεται μια μαύρη τρύπα M, ένας αστέρας A και ένας παρατηρητής Π. Αν η διακεκομμένη γραμμή είναι ο ορίζοντας της μαύρης τρύπας (οτιδήποτε βρεθεί μέσα σε αυτή την επιφάνεια έλκεται από τη μαύρη τρύπα)

α) Ποια η πραγματική πορεία της ακτίνας που φτάνει στον παρατηρητή;

β) Ποια διαδρομή δεν συμβαίνει και δικαιολογείστε την απάντησή σας.

γ) Ποια είναι η φαινόμενη θέση του παρατηρητή;

**Εικόνα 20. Μαύρη τρύπα**

δ) Εξηγείστε πως μεταβάλλεται η ακτίνα του ορίζοντα της μαύρης τρύπας στην διάρκεια του χρόνου. Δίνεται η σχέση

Όπου M η μάζα της Μαύρης τρύπας, c η ταχύτητα του φωτός και G η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας.

Όλες μαθήτριες/τες απάντησαν σωστά στα α και β υπό-ερωτήματα.

Αξιόλογες απαντήσεις αναφέρονται παρακάτω:

Η ακτίνα 2 περνά μέσα από τη μαύρη τρύπα, κάτι που δεν μπορεί να δει ο παρατηρητής.

Στο γ ερώτημα όλες οι απαντήσεις εκτίμησαν την ύπαρξη φαινομενικής θέσης του αστέρα.

Ενδεικτικά αναφέρω τις παρακάτω απαντήσεις.

---Ο αστέρας βρίσκεται στην ευθεία της ακτίνας του φωτός, όπου εκεί θα είναι και η φαινόμενη θέση του αστέρα.

---Η ακτίνα 2 δεν θα φτάσει ποτέ στον παρατηρητή. (Εικόνα 21)

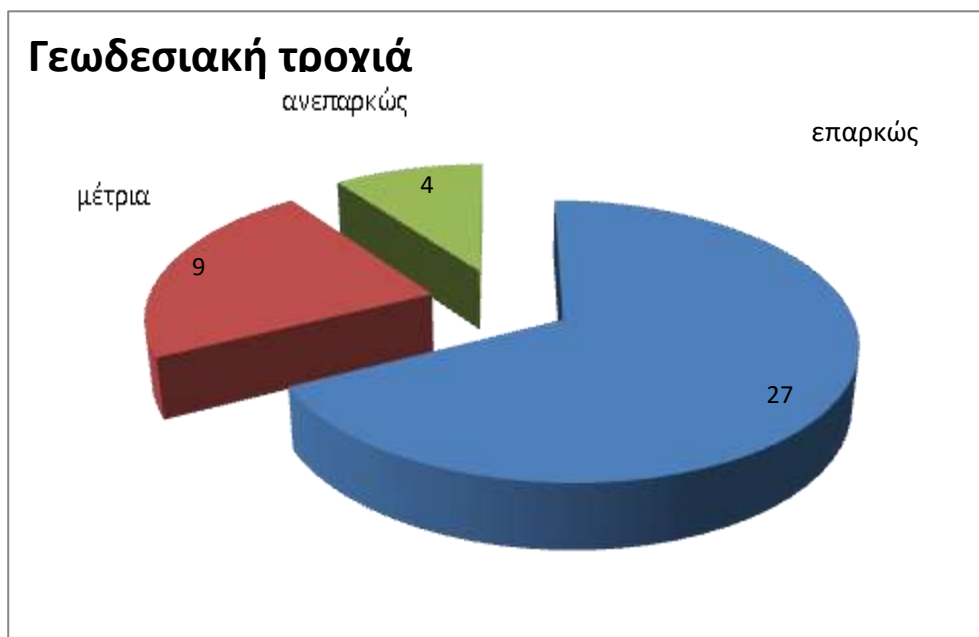
---Η ελκτική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός, ώστε αυτό να ξεφύγει. Συνεπώς αυτό απορροφάται από τη μαύρη τρύπα και δεν φτάνει στον παρατηρητή.

---Η ακτίνα ακολουθεί καμπυλόγραμμη πορεία. (Εικόνα 22)



Εικόνα 21. Απάντηση Μαθήτριας/τη Εικόνα 22. Απάντηση Μαθήτριας/τη

Στο δ υπό-ερώτημα οι περισσότερες μαθήτριες/τες προέβλεψαν ότι η ακτίνα του ορίζοντα θα αυξάνει με τον χρόνο, σχολιάζοντας ότι η μαύρη τρύπα καταβροχθίζει συνεχώς οτιδήποτε φτάνει μέσα στον ορίζοντα -----ο ορίζοντας της μαύρης τρύπας τραβά όλη την ακτίνα του φωτός.



Εικόνα 23. Αποτελέσματα μετά-ελέγχου στην βαρυτική επίδραση στη τροχιά μιας ακτίνας φωτός.

Στην εικόνα 23 απεικονίζονται τα αποτελέσματα του μετά-ελέγχου (post-test) όπου τα χρώματα μπλε – κόκκινο – πράσινο αντιστοιχούν σε όσους απάντησαν επαρκώς – μέτρια- ανεπαρκώς.

Διδακτική παρέμβαση στην επίδραση του φωτός στη συχνότητα της ακτίνας του φωτός. (Μετατόπιση προς το ερυθρό ή προς το μπλε.)

Αρχικά μελετήσαμε τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας μέσα σε βαρυτικό πεδίο χωρίς τριβές. Επισημάνσαμε ότι το φωτόνιο συμπεριφέρεται και ως σωματίδιο, αλλά κινείται με σταθερή ταχύτητα c . Όλες/οι οι μαθήτριες/τες θεώρησαν ότι: όταν το φωτόνιο πέφτει (Εικόνα 24), μειώνεται η δυναμική του ενέργεια και αφού η ταχύτητα του δεν αυξάνεται, αυξάνει η ενέργεια του και κατά επέκταση και συχνότητα του (Εικόνα 25).

$$\text{Doppler } \frac{\Delta f}{f} = g \frac{\Delta H}{c^2}$$

(απόδειξη: Διατήρηση της ενέργειας:

$$mg\Delta H + hf = hF, \quad mg\Delta H = h\Delta f, \quad g\Delta H = h\Delta f, \quad \frac{\Delta f}{f} = g \frac{\Delta H}{c^2}$$

Οι μαθήτριες/τες δυσκολεύτηκαν να συνδέσουν την αύξηση της ενέργειας φωτονίου με τη μείωση της δυναμικής ενεργείας.

Συζητήσαμε μετά ότι το μήκος κύματος λ , είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας και όλοι συμπεράνανε ότι συμβαίνει μετατόπιση προς το μπλε.

Υπενθυμίσαμε το παρακάτω τυπολόγιο.

Ενέργεια φωτονίου $E = hf$

Ταχύτητα φωτονίου $c = \lambda f = \text{σταθερή}$

Ορατό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα $400\text{nm} \leq \lambda \leq 700\text{nm}$

Ερώτηση 9

Κατόπιν ζητήσαμε να συμπληρώσουν τον πίνακα της Εικόνας 26 και να σχολιάσουν, πώς μεταβάλλονται τα μεγέθη, όταν πέφτει το φωτόνιο, ως ερώτηση μετά-ελέγχου (post-test).

Δυναμική Ενέργεια
Ταχύτητα
Ενέργεια φωτονίου
Μήκος κύματος
Συχνότητα

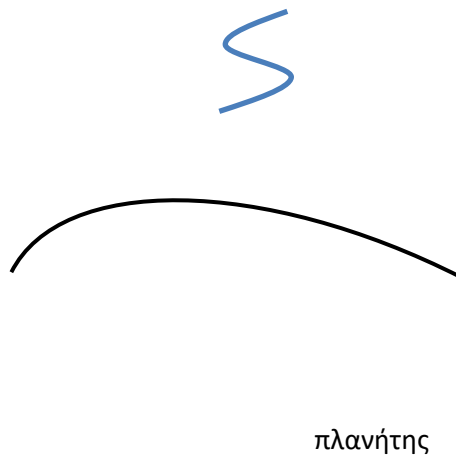
Εικόνα 26. Πίνακας με φυσικά μεγέθη του φωτονίου.

Ενέργεια φωτονίου σε ύψος H : $h + mgH$

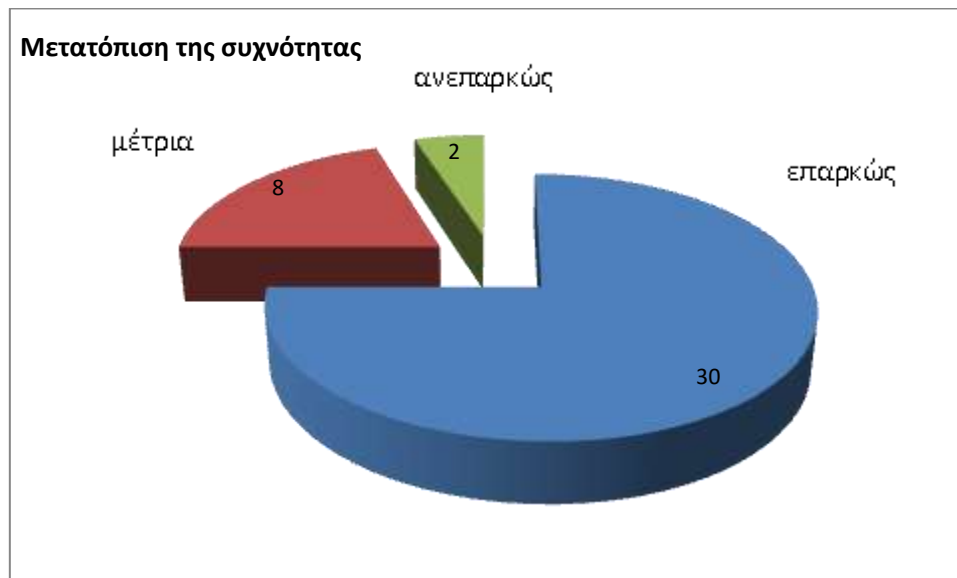


Εικόνα 24. Αρχική θέση φωτονίου

Ενέργεια φωτονίου κοντά στον πλανήτη: hf



Εικόνα 25. Τελική θέση φωτονίου.



Εικόνα 27. Αποτελέσματα μετά-ελέγχου στην βαρυτική επίδραση στη συχνότητα μιας ακτίνας φωτός.

Στην εικόνα 27 απεικονίζονται τα αποτελέσματα του μετά ελέγχου (post-test) όπου τα χρώματα μπλέ – κόκκινο – πράσινο αντιστοιχούν σε όσους απάντησαν επαρκώς – μέτρια- ανεπαρκώς.

4ο Βήμα-Διατύπωση Θεωρίας-Συμπεραίνω-Καταγράψω-Ερμηνεύω

Τότε, ζητούσαμε από τις μαθήτριες/τες να συνοψίσουν τα συμπεράσματά τους (ακολουθώντας το τέταρτο μεθοδολογικό βήμα) και να γράψουν παρατηρήσεις και σχόλια.

Συμπέρασμα

1. Διαπίστωσαν την εφαρμογή της αρχής ισοδυναμίας σε απλά παραδείγματα.

2. Οι μαθήτριες/τες συμπέραναν ότι ο εσωτερικός παρατηρητής, αντιλαμβάνεται την καμπύλη τροχιά της φωτεινής ακτίνας, όταν το διαστημόπλοιο επιταχύνεται προς τα πάνω και κατανόησαν την επίδραση της βαρύτητας τόσο στη τροχιά όσο και στη συχνότητα του φωτός.

5ο Βήμα-Συνεχής έλεγχος- Εμπεδώνω - Γενικεύω

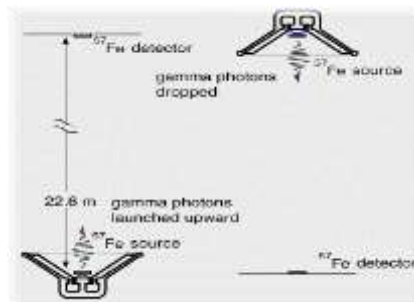
Αυξάνοντας ακόμη περισσότερο τη δυσκολία και ακολουθώντας το πέμπτο και τελευταίο μεθοδολογικό βήμα ζητάμε από τις μαθήτριες/τες να γενικεύσουν τα συμπεράσματά τους εφαρμόζοντας τα και σε άλλες περιπτώσεις.

Εξήγηση του πειράματος Pound-Rebka



Εικόνα 27. Πείραμα Pound-Rebka

Οι Pound-Rebka (Εικόνα 27) 1959 παρήγαγαν μια ερυθρή μετατόπιση Doppler, μετακινώντας την πηγή προς τα πάνω, η οποία αντιστάθμιζε τη βαρυτική κυανή μετατόπιση. Χρησιμοποιήθηκε ο πύργος Jefferson του κτιρίου φυσικής στο πανεπιστήμιο του Harvard, ύψους 23 μέτρα. Η πηγή εκπέμπει ακτινοβολία προς τα πάνω και ο δέκτης καταγράφει τη βαρυτική κυανή μετατόπιση. (Εικόνα 28).



Εικόνα 28. Πειραματική διάταξη του πειράματος Pound-Rebka.

Οι εικόνες 27 και 28 ανακτήθηκαν στις 4/10/2013 από την ιστοσελίδα:

<http://physicsgg.me/2013/10/20/%CE%B2%CE%B1%CF%81%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%A E-%CE%B5%CF%81%CF%85%CE%B8%CF%81%CE%AE-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%84%CF%8C%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%B7/>

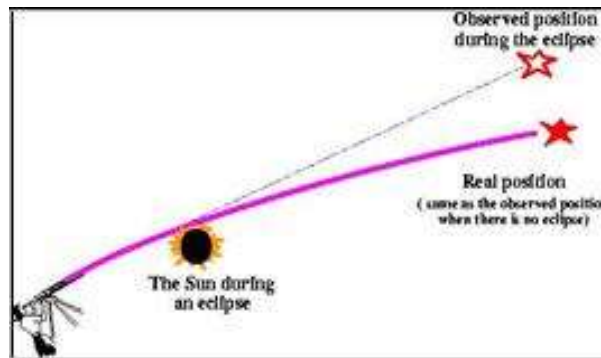
Εξήγηση του πειράματος Eddington (1919)

Ο Έντιγκτον τον Απρίλιο του 1919 στο Πρίντσιπε, κατέγραψε την εκτροπή της ακτίνας του φωτός (Εικόνα 30) κατά την έκλειψη του Ήλιου (Εικόνα 29). Οι εικόνες ανακτήθηκαν την 4/10/13 από την ιστοσελίδα:

<http://users.sch.gr/kassetas/zzzzzzzphEDDINGTON.htm> .



Εικόνα 29. Έκλειψη Ηλίου

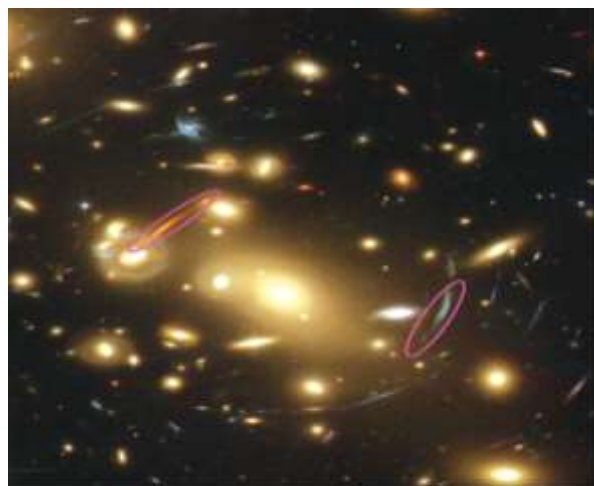


Εικόνα 30. Καμπύλωση της φωτεινής ακτίνας.

Σύμπλεγμα Γαλαξιών Abell 2218

Όταν οι μαθήτριες/τεσμελέτησαν παρόμοιες εικόνες του συμπλέγματος από τον αστερισμό Draco, παρατήρησαν στενόμακρες κυκλικές φωτεινές γραμμές και τους ζητήθηκε να τις ερμηνεύσουν. Όλες/οι διαπίστωσαν ότι :

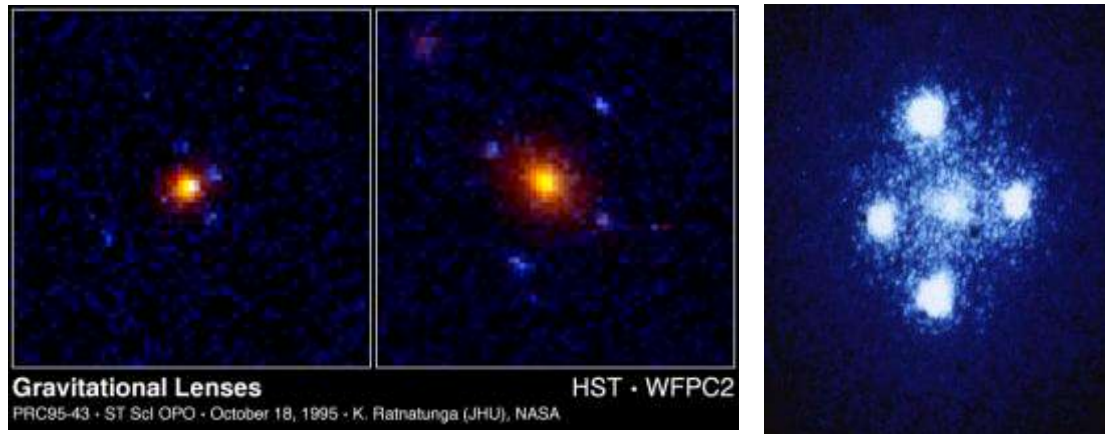
Ο αστερισμός δρώντας ως ισχυρός βαρυτικός φακός , μεγεθύνει και παραμορφώνει όλους τους γαλαξίες, που βρίσκονται πίσω από τον πυρήνα του, σε στενόμακρα κυκλικά τόξα.



Εικόνα 31.Σύμπλεγμα Γαλαξιών Abell 2218 (Thorne,2014)

Η εικόνα 31 καταγράφηκε από το τηλεσκόπιο Hubble. Η βαρύτητα καμπυλώνει το φως, επιτρέποντας οι τεράστιοι αστερισμοί των γαλαξιών να λειτουργούν ως τηλεσκόπια.

Ο γαλαξίας λειτουργεί ως βαρυτικός φακός



Εικόνα 32. Βαρυτικοί φακοί.

(ανακτήθηκε στις 3/10/2012 από την ιστοσελίδα: <http://apod.nasa.gov/apod/ap951220.html>)

Στην εικόνα 32, που καταγράφηκε τον Δεκέμβριο του 95, γύρω από τον κόκκινο γαλαξία παρατηρούμε 4 φωτεινές μουντζούρες. Κάθε μία από αυτές είναι μια διαφορετική οπτική γωνία του ίδιου κβάζαρ. Ο γαλαξίας τυχαίνει να πέφτει ακριβώς στο κέντρο, στην πορεία της ακτίνας, παρέχοντας πολλές πληροφορίες για το σύμπαν.

Οι μαθήτριες/τες βασιζόμενες στο προηγούμενο συμπέρασμα και λαμβάνοντας υπόψη την αρχή ισοδυναμίας, που λέει ότι:

όταν το διαστημόπλοιο επιταχύνεται προς τα πάνω, ο εσωτερικός παρατηρητής μπορεί να θεωρήσει ότι βρίσκεται υπό την επίδραση ενός βαρυτικού πεδίου με αντίθετη βαρυτική επιτάχυνση (προς τα κάτω).

Εύκολα συμπέραναν ότι το φως καμπυλώνεται και μεταβάλλεται η συχνότητα του, όταν διαδίδεται σε ισχυρά βαρυτικά πεδία.

Επίσης εξηγήθηκαν σύγχρονα φαινόμενα και εφαρμογές της τεχνολογίας, που βασίζονται στην γενική θεωρία της σχετικότητας.

Όπως: η δημιουργία βαρύτητας σε διαστημόπλοιο και η λειτουργία των GPS.

Συμπεράσματα

Με τη μεθοδολογία που εφαρμόσαμε τονίζονται οι διαδικασίες και όχι η σειρά που πρέπει να ακολουθηθεί.

Καταβάλλαμε προσπάθεια για υπέρβαση της απλής κατανόησης της αρχής ισοδυναμίας και της επίδρασης του βαρυτικού πεδίου στη συχνότητα και την τροχιά του φωτός. Δηλαδή στοχεύσαμε στην ανακάλυψη νέας γνώσης και στη δυνατότητα πρόβλεψης φυσικών φαινομένων και επεξήγησης / αξιολόγησης των διαπιστώσεων. Οι μαθήτριες/τες μπορούν να προβλέψουν την εξέλιξη κάποιων φαινομένων και να εφαρμόσουν τη νέα γνώση σε

παρόμοιες περιπτώσεις και να τη γενικεύσουν σε διαφορετικές περιπτώσεις, όπως περιγράφεται στο 5^ο βήμα της μεθοδολογίας.

Στο τέλος της συνέντευξης διεξήχθη μια μαθησιακή και μεταγνωστική αξιολόγηση, δηλαδή πραγματοποιήθηκε προφορική ανακεφαλαίωση των γενικεύσεων και των πληροφοριακών στοιχείων που εντάσσονται στους διδακτικούς σκοπούς της διδασκαλίας. Ήταν μια χρήσιμη και επιτυχής διαδικασία διάρκειας έξι διδακτικών ωρών (δύο διδακτικών ωρών ανά εκπαιδευτικό στόχο), που εμβαθύνει τη μάθηση με έντονο το στοιχείο του διαλόγου και της αντιπαράθεσης.

Η έρευνα έχει δείξει ότι οι μαθήτριες/τες εμφανίζουν δυσκολίες να παράγουν ουσιαστική ανακεφαλαίωση (Ματσαγγούρας, 1996, σ. 411) έτσι ο σκοπός της διαδικασίας ήταν και η ανακεφαλαίωση της γνώσης με τη μορφή γενικεύσεων και συμπερασμάτων.

Η ομάδα πειραματισμού είναι και ομάδα έλεγχου σε αυτήν την εργασία. Στο δεύτερο βήμα της διδασκαλίας, αφού συζητήσαμε τις απαραίτητες γνώσεις όπως παρουσιάζονται από τα διεθνή βιβλία αναφοράς, διενεργήθηκε pre-test, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα, κατόπιν είχαμε την διδακτική παρέμβαση και η επιτυχία της επιβεβαιώθηκε με τα post-test. Η μέθοδος που εφαρμόσαμε μειονεκτεί στον μικρό αριθμό μαθητών και στην εξεύρεση χρόνου για τη διεξαγωγή της.

Αναφορές

- Brown, J. (1991) *The Laboratory of the Mind. Thought Experiments in the Natural Sciences* Routledge, London.
- Bruner, J. (1996). *The Culture of Education*. New York: Harvard University Press.
- Dermott, L. (1996). *Physics by Inquiry*. Washington: Physics Education Group University of Washington.
- Gilbert, J. & Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization, *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283
- Joyce, B. & Weil, M. (1992). *Models of teaching*. M.A.: Needham Heights.
- Kuhn, T. (1977). A function of thought experiments. In T. Kuhn: *The Essential Tension Selected studies in scientific tradition and change*, Chicago University Press, 240-265.
- Serway, R.A. (1990). *Physics*. Saunders Golden Sunburst Series.
- Thorne, K. (2014). *The science of interstellar*. New York-London: W.W.Norton and Company.
- Young, H.D. & Freedman, R.A. (2007). *University Physics*. Addison Wesley.
- Velentzas A., Halkia K., Skordoulis C. (2005b), Thought experiments in physics theories of the 20th century: A tool for popularization and teaching in secondary education. *Proceedings of the ESERA 2005 conference*, Barcelona.
- Καλκάνης, Γ.Θ. (2007). *Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες Ι. οι θεωρίες*, Αθήνα 2007.
- Καλκάνης, Γ.Θ. (2008). *Οι Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση του 21ου Αιώνα*, Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Ερέτρια, 23-25 Νοεμβρίου 2008.
- Καλκάνης, Γ.Θ. (2010). *Εκπαιδευτικό εργαστήριο φυσικών επιστημών Ι. Το εργαστήριο*, Αθήνα 2010.
- Ματσαγγούρας, Η. (1994). *Στρατηγικές Διδασκαλίας, Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας*. Αθήνα: Αθανασόπουλος.
- Ματσαγγούρας, Η. (1999). *Η σχολική τάξη-Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας*, Αθήνα, Γρηγόρης.

Παράρτημα



Εικόνες από τα μελλοντικά ταξίδια της ανθρωπότητας στο διάστημα. Οι εικόνες εμπεριέχονται στην κινηματογραφική ταινία *Interstellar* και στο αντίστοιχο επιστημονικό βιβλίο (Thorne, 2014).



Εικόνες από επίσκεψη των μαθητριών/των στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο τμήμα Αστρονομίας.